

بررسی شاخص‌های آلودگی منابع آب، در منطقه افیولیتی کته تلخ

(شمال غرب تربت حیدریه، خراسان رضوی)

اسحاق نظری^۱، مرتضی رزم آرا^۲، علی قاسمی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

E_nazari_664@yahoo.com

چکیده

از آنجا که شاخص آلاینده‌گی (Pollution index)، ابزار بسیار قوی در ارزیابی‌های ژئوشیمیایی زیست‌محیطی محسوب می‌شود لذا در این مطالعه از شاخص‌های ارزیابی آلودگی آب جهت بررسی آلودگی منابع آب به فلزات سنگین استفاده شد. بدین منظور ۶ نمونه آب برداشت شد، سپس نمونه‌ها برای تعیین ۱۲ عنصر به روش کوره گرافیتی (GTA) مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد میانگین عناصر Ni، As، Pb، Cd در منابع آب بالاتر از حد مجاز WHO می‌باشد. تعیین شاخص فلزی (MI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) نیز نشان داد که ۵ نمونه از لحاظ آشامیدن غیرقابل مصرف هستند. نتایج آنالیزها نشان‌دهنده منشا چندگانه منابع آلاینده‌گی در آب‌های منطقه می‌باشد که دو منبع عمده آن یکی مرتبط با لیتولوژی حاکم بر توالی افیولیتی منطقه (گسترده‌گی سرپانتینیت‌ها و دایک‌های حاوی کانیهای سولفیدی) و دیگری فعالیت‌های معدنکاری در منطقه می‌باشد. بالا بودن مقادیر عناصر Ni، Cu، As، Fe، Mn و Cr به لیتولوژی ولی مقادیر بالای Ni و Cr مرتبط با فعالیت‌های معدنکاری می‌باشد. بالا بودن Cd احتمالاً مرتبط با کودهای استفاده شده در کشاورزی و Pb بالا می‌بایستی حاصل انتشار دود خودروها (به دلیل ترافیک سنگین جاده‌ای) باشد.

کلمات کلیدی: شاخص فلزی، شاخص آلودگی فلزات سنگین، منابع آب، افیولیت، کته تلخ

۱. مقدمه

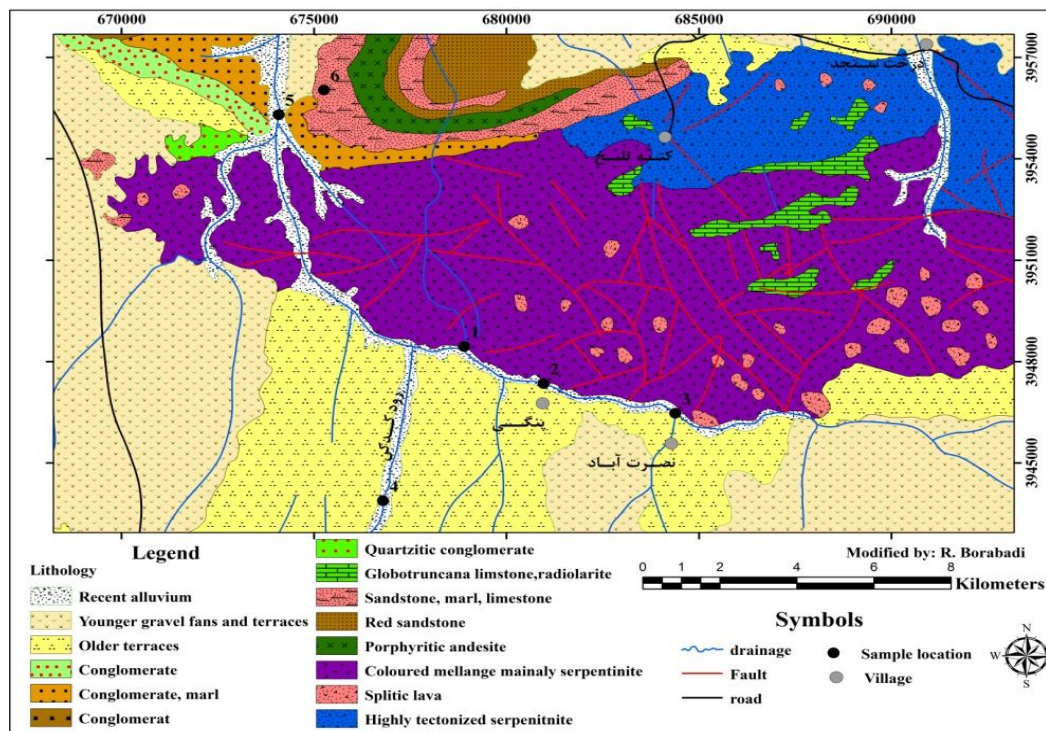
افزایش بیش از حد استفاده از فلزات سنگین در طی چند دهه‌ی اخیر باعث افزایش سریع مواد فلزی در محیط شده است. فلزات بدلیل تجزیه‌ناپذیر بودنشان ماندگار بوده و از این رو اهمیت بخصوصی دارند. در سال‌های اخیر توجه روبه رشدی به حفاظت محیط زیست شده است. این هدف هم می‌تواند با کاهش ورود آلوده‌کننده‌ها به محیط زیست و هم بوسیله حذف آنها از محیط زیست بدست آید. غلظت فلزات سنگین در آب هم به منابع بشرزاد (معدنکاری و فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی) و هم زمین‌زاد (هوازده‌گی و فرسایش سنگ‌ها) بستگی دارد [5]. آلودگی فلزات به فرم‌های شیمیایی مختلفی بصورت محلول و متحرک و سمی در سیستم‌های آب‌زیرزمینی نفوذ می‌کند [8]. فلزات سنگین همچون سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، جیوه (Hg)، نیکل (Ni)، کروم (Cr) و آرسنیک (As) بسیار سمی هستند. اثرات سمی آنها شامل سردرد، فشارخون بالا، بیماری‌های کلیوی، عصبی، قلب و عروق، کم‌خونی و حتی در مواردی می‌تواند کشنده باشد [9].

منطقه مورد مطالعه در یک زون افیولیتی واقع شده است که از ویژگی‌های بارز این مناطق وجود سنگ‌ها و خاک‌هایی با غلظت بالای فلزات سنگین می‌باشد. اغلب چشمه‌های مناطق افیولیتی از سنگ‌های اولترامافیکی شدیداً سرپنتینیت‌ته خارج می‌شوند و خاک‌های تشکیل شده بر روی سرپنتینیت‌ها نسبت به دیگر انواع خاک‌ها غلظت بالایی از فلزات سنگین را دارا می‌باشند [4]. از ویژگی‌های مهم این مناطق بالاتر بودن غلظت منیزیم و بیکربنات (در محیط‌های آب‌گین) و عناصر سنگین کروم، نیکل، منگنز و کبالت می‌باشد و در عوض عناصری همچون فسفر، سدیم و پتاسیم غلظت‌های پایینی را دارا می‌باشند. بنابراین خاک‌های نواحی افیولیتی از لحاظ طبیعی آلوده شده اند و تا حد بسیار زیادی بر کیفیت منابع آبی موجود در این مناطق موثر می‌باشند [6]. با توجه به این که خاک‌های افیولیتی از پایداری چندان بر خوردار نیستند و حاوی فلزات سنگین زیادی هستند در نتیجه می‌تواند وارد منابع آب و چرخه ی گیاهی شوند

و باعث انتقال این عناصر به چرخه ی غذایی انسان شوند و مشکلات سلامتی را ایجاد کنند. بنابراین لزوم بررسی کیفی آب و تعیین درجه آلودگی آن از نقطه نظر فلزات سنگین موجود در آنها ضروری به نظر می‌رسد. بویژه آنکه این منابع آبی تأمین کننده آب شرب، کشاورزی و دامی ساکنان منطقه ی مورد مطالعه می‌باشند.

۲. زمین شناسی منطقه

افیولیت ملائزهای منطقه مورد مطالعه دارای واحدهای سکانس گوشته‌ای و نیز واحدهای پوسته‌ای می‌باشند. واحدهای ولکانیک منطقه عمدتاً شامل آندزیت‌ها، ولکانوسدیمتری‌ها، برش‌های هیالو کلاستیک، توف‌ها (توف‌های داسیتی، آندزیتی و ویتریک توف) می‌باشند. بازالت‌های بالشی منطقه از نوع الیوین تولتیت‌های غنی از منیزیم متعلق به پشته‌ی میان-اقیانوسی (MORB) می‌باشند. (شکل ۱) [2]. آنالیزهای نمونه‌ها نشان داده است که عمده اسپینل‌های موجود در پریدوتیت-ها غنی از کروم می‌باشند. این کانی‌ها در درجه‌حرارت بالا به صورت محلول جامد بوده و در درجه حرارت پایین از حالت محلول جامد خارج و به صورت سری‌های مختلف ظاهر و در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. بررسی‌های انجام شده توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) نشان‌دهنده‌ی حضور کانی‌های سولفیدی آهن (پیریت) در گابروها و حضور Ni در کانی‌های اپک در سرپانتینیت‌های منطقه می‌باشد که در اثر سرپانتینیزاسیون کانی‌های سیلیکاته‌ی مافیک از ترکیب این کانی‌ها آزاد گشته‌اند. بررسی‌های SEM بر روی اسپینل‌های موجود در سرپانتینیت‌ها نشان دهنده‌ی وجود محلول جامد بین اسپینل، منیزیکرومیت، و کرومیت است که در اثر جانشینی عناصر Al, Cr, Mg و Fe ایجاد شده‌اند [6].



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه کنه تلخ، اقباس از نقشه (۱:۲۵۰۰۰۰) تربت حیدریه [3].

۳. روش نمونه برداری

نمونه برداری از منابع آب منطقه به منظور تعیین غلظت فلزات سنگین در منابع آب و اندازه گیری خواص فیزیکی و شیمیایی آب انجام شد. پارامترهای فیزیکی شامل EC، pH و Eh در منطقه مورد بررسی، اندازه گیری شد. به منظور تعیین خواص شیمیایی از هر منبع، یک ظرف پلی اتیلین ۲۵۰ cc آب برداشت شد، پس از فیلتر کردن نمونه ها به هر ظرف آب، ۵ cc اسید نیتریک (pH ≤ ۲)، جهت تثبیت فلزات سنگین اضافه گردید. سپس نمونه ها برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در آزمایشگاه آب منطقه ای خراسان رضوی با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Spectra AA 220 مجهز به کوره گرافیتی مدل GTA-110 ساخت شرکت واریان (Varian) که به طور جانبی بوسیله دو الکتروود گرم می شود انجام شد.

۴. نتایج و بحث

منطقه مورد مطالعه دارای پوشش وسیعی از سنگ های اولترامافیک به شدت سرپانتینی شده است بنابراین، بخشی فلزات موجود در آب ها، مرتبط با این سنگ ها می باشند. نتایج آنالیزهای فلزات سنگین در جدول ۱ آمده است. در مجموع، فراوانی فلزات به ماهیت سنگ بستر، شرایط آب و هوایی و تحرک فلزات وابسته است. علاوه بر بررسی غلظت و منشاء عناصر، این غلظت ها با استاندارد سازمان بهداشت جهانی WHO [29] مقایسه شد. آرسنیک و سرب در تمامی منابع آبی دارای غلظتی بیشتر از حد مجاز می باشند، کادمیوم هم به جز در قنات مهدی آباد در سایر نقاط غلظتی بیشتر از حد مجاز دارد. نیکل به جز در منطقه گلبو و قنات مهدی آباد در سایر مناطق غلظتی بیشتر از حد مجاز دارد. کروم در دو منطقه ترقی و رود کدکن دارای غلظت بیشتر از حد مجاز بود و آلومینیوم تنها در منطقه گلبو دارای مقادیر بیشتر از حد مجاز بود.

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی مرتبط با نمونه های آب منطقه ای افیولیتی کته تلخ (ppb)

عنصر	سیلاب ترقی 1	سیلاب پنگی 2	ابتدای رود شور 3	رود کدکن 4	منطقه گلبو 5	قنات مهدی آباد 6	استاندارد WHO
Ni	127.1	14	582.87	393.7	10	86.6	70
Cd	5.76	10.66	111.92	8.25	5.74	1.08	3
Cr	97.42	34.82	5.37	54.5	24.03	12.86	50
Pb	166	25.15	14.46	41.26	24.31	25.31	10
As	119.3	115.5	14.2	111.4	124	27.3	10
Ba	103	21	90.4	115	199	27.3	700
Hg	0.92	0.86	0.2	0.88	1	0.82	6
Mn	195	206	130.57	186.6	114	20.61	400
Cu	117.4	16.7	122.35	70.57	27	18.4	2000
Zn	31.5	17.73	10.13	17.42	19.15	22.1	1500
Fe	183	305	—	201	296	—	1000
Al	169	177	75.16	105.6	211	157.78	200

۴.۱. تعیین شاخص های آلودگی:

برای تعیین میزان آلودگی منابع آب از نظر وجود فلزات سنگین از 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 استفاده شده است. بطوریکه برای تعیین این دو شاخص از داده‌های مربوط به ۱۲ عنصر Ba, Cr, Cd, Mn, Fe, Zn, As, Mn, Pb, Hg, Ni, Al استفاده شد (معادله ۱ و ۲).

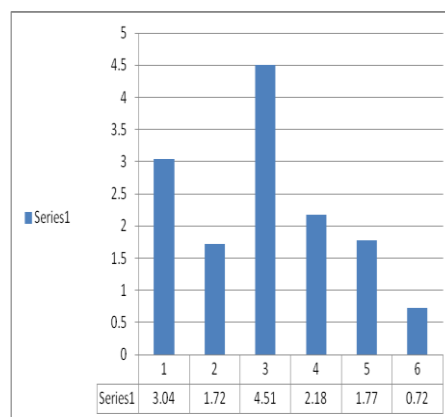
$$MI = \sum \frac{C_i}{(MAC)} \quad (1)$$

در این رابطه C غلظت هر یک از عناصر در محلول، MAC (Maximum Acceptable Concentration) بیشترین حد مجاز غلظت برای یک عنصر فلزی در حالت استاندارد و i شماره‌ی عنصر می‌باشد. اگر مقادیر بدست آمده برای MI کمتر از یک باشد آب قابل آشامیدن، و اگر بیشتر از یک باشد آب غیر قابل آشامیدن و اگر برابر با یک باشد در حد آستانه‌ی خطر قرار دارد [10]. جدول ۲ مقادیر محاسبه شده‌ی شاخص فلزی براساس استاندارد WHO [11] و شکل ۲ نمودار مقادیر شاخص فلزی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر شاخص فلزی

نمونه	سیلاب ترقی 1	سیلاب پنگی 2	ابتدای رود شور 3	رود کدکن 4	گلبو 5	قنات مهدی آباد 6
MI	3.04	1.72	4.51	2.18	1.77	0.78

با محاسبه شاخص فلزی مشخص شد به جز قنات مهدی آباد، سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری دارای مقادیر بالاتری از حد مجاز دارند و غیر قابل آشامیدن می‌باشند. علت اصلی بالا بودن MI در منابع آب بالا بودن غلظت فلز کادمیوم می‌باشد به طوری که در نمونه شماره ۳ به میزان ۳۷ برابر حد استاندارد اعلام شده بود. علت دیگر مقادیر بالای آرسنیک، کروم، نیکل، سرب و آلومینوم منابع آب می‌باشد.



شکل ۲- نمودار مقادیر شاخص فلزی

با محاسبه شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) می‌توان اثر فلزات سنگین را بر روی سلامت انسان تعیین کرد (معادله ۲).

$$HPI = \frac{\sum w_i q_i}{\sum w_i} \quad (2)$$

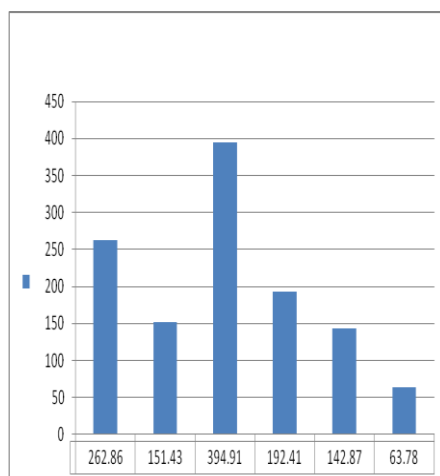
در این معادله W_i نسبت وزنی i امین مؤلفه می باشد که از طریق معکوس استاندارد محاسبه می شود ($W_i=1/S_i$) و q_i نرخ کیفی i امین مؤلفه که از معادله شماره ۳ قابل محاسبه است. در این معادله V_i غلظت i امین مؤلفه، S_i مقدار استاندارد i امین مؤلفه است [3].

$$q_i = \frac{V_i}{S_i} \quad (3)$$

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. جدول ۳ مقادیر محاسبه شده شاخص فلزی براساس استاندارد WHO [11] و شکل ۳ نمودار مقادیر شاخص فلزی را نشان می دهد.

جدول ۳- شاخص آلودگی فلزات سنگین

نمونه	سیلاب ترقی 1	سیلاب پنگی 2	ابتدای رود شور 3	رود کدکن 4	گلبو 5	قنات مهدی آباد 6
HPI	262.86	151.43	394.91	192.41	142.87	63.78



شکل ۳- نمودار مقادیر شاخص آلودگی فلزات سنگین

۲.۴. تعیین ضریب همبستگی عناصر:

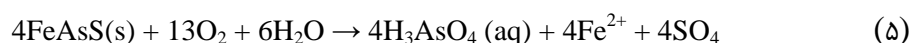
برای بررسی ماتریکس همبستگی از نرم افزار SPSS استفاده شد. اساس ماتریکس همبستگی ضریب پیرسون رابطه (۴) می باشد. که در آن n تعداد نمونه ها، x و y مقدار هر یک از متغیرها، \bar{x} و \bar{y} میانگین ریاضی، S_1 و S_2 انحراف از معیار این متغیرها می باشد.

$$R = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n-1)(S_x S_y)} \quad (4)$$

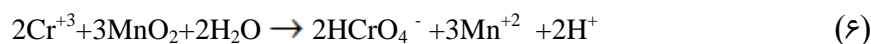
با این روش می توان رابطه و ضریب همبستگی بین عناصر مختلف را تعیین نمود. در جدول ۴ ماتریس همبستگی پیرسون عناصر به همراه سه پارامتر pH، TDS و EC نشان داده شده است.

	Ni	Cd	Cr	Pb	As	Ba	Hg	Mn	Cu	Zn	Fe	Al	pH	EC	TDS
Ni	1														
Cd	.801	1													
Cr	-.193	-.458	1												
Pb	-.170	-.299	.919**	1											
As	-.528	-.649	.690	.408	1										
Ba	.016	-.047	.097	.074	.372	1									
Hg	.773	.990**	-.449	-.271	-.618	.081	1								
Mn	.092	-.016	.653	.410	.662	-.010	-.051	1							
Cu	.714	.606	.385	.516	-.194	.147	.622	.350	1						
Zn	-.582	-.686	.785	.855*	.454	.028	-.651	.094	.034	1					
Fe	-.564	-.539	.389	.124	.938**	.310	-.517	.624	-.372	.202	1				
Al	-.963**	-.731	.205	.196	.600	.230	-.669	-.060	-.619	.557	.635	1			
pH	.689	.451	.495	.435	.155	.250	.453	.668	.880*	-.063	.002	-.584	1		
EC	.930**	.621	-.153	-.264	-.276	.180	.597	.213	.553	-.631	-.300	-.875*	.695	1	
TDS	.932**	.621	-.165	-.274	-.290	.173	.596	.196	.546	-.635	-.312	-.879*	.683	1.000**	1

طبق بررسی‌های صورت گرفته بر روی ضرایب همبستگی محاسبه شده، همبستگی مثبت قوی بین دو فلز سرب و کروم (r = 0.919)، جیوه و کادمیم (r = 0.990)، آهن و آرسنیک (r = 0.938)، مشاهده شد که نشان دهنده منشاء مشترک این عناصر می‌باشد. به عنوان مثال واکنش اکسایش آرسنوپریت به صورت رابطه ۵ می‌باشد که در آن آرسنیک به همراه آهن و سولفات وارد محلول می‌شود:



با در نظر گرفتن رابطه (۵) و همبستگی مثبت آهن و آرسنیک و همچنین بالا بودن مقادیر سولفات در آب (میانگین ppm ۲۵۸/۵)، می‌توان آلودگی آرسنیک در منطقه را ناشی از آلتراسیون کانی‌های سولفیدی و رگه‌های هیدروترمال دانست. همبستگی مثبت بالای منگنز و کروم (r = -0.653) در منابع آب و همچنین بالا بودن مقادیر منگنز در آب، این احتمال را می‌دهد که منگنز طبق رابطه ۶ باعث اکسیداسون کروم (III) به کروم (VI) شود.



همبستگی منفی بالایی بین آلومینیوم و نیکل (r = -0.963)، منطقی می‌باشد چون آلومینیوم عمدتاً در سنگ‌های اسیدی و نیکل در سنگ‌های اولترامافیک حضور دارند.

بطور کلی ۵ نمونه آب برداشت شده بر اساس استاندارد WHO برای سلامت انسان مضر است. میانگین عناصر Ni, As, Pb, Cd در منابع آب بالاتر از حد مجاز WHO می‌باشد. تعیین شاخص فلزی (MI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) نیز نشان داد که ۵ نمونه از لحاظ آشامیدن غیرقابل مصرف هستند. نتایج آنالیزها نشان‌دهنده منشا چندگانه منابع آلودگی در آب‌های منطقه می‌باشد که دو منبع عمده آن یکی مرتبط با لیتولوژی حاکم بر توالی افیولیتی منطقه (گسترده‌ی سرپانتینیت‌ها و دایک‌های حاوی کانی‌های سولفیدی) و دیگری فعالیت‌های معدنکاری در منطقه می‌باشد. بالا بودن مقادیر عناصر Fe, As, Cu, Mn و Cr به لیتولوژی ولی مقادیر بالای Ni و Cr مرتبط با فعالیت‌های معدنکاری می‌باشد.

باشد. بالا بودن Cd احتمالاً مرتبط با کودهای استفاده شده در کشاورزی و Pb بالا می بایستی حاصل انتشار دود خودروها (به دلیل ترافیک سنگین جاده ای) باشد.

۵. نتیجه گیری

به منظور ارزیابی کیفی و کمی آلودگی فلزات سنگین در منابع آبی منطقه افیولیتی کته تلخ ازدو شاخص فلزی (MI) و آلودگی فلزات سنگین (HPI) بر اساس استاندارد WHO استفاده شد که نتایج زیر حاصل گشت:

- با بررسی شاخص فلزی (MI) و شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) مشخص شد که ۵ نمونه از لحاظ آسامیدن غیرقابل مصرف هستند.
- میانگین عناصر Cd، Pb، As، Ni در منابع آب بالاتر از حد مجاز WHO می باشد. به نحوی که میزان کادمیم در برخی از منابع آب به ۳۷ برابر حد استاندارد رسید.
- همبستگی مثبت آهن و آرسنیک ($r = 0.938$) و همچنین بالا بودن مقادیر سولفات در آب را می توان به آلتراسیون کانی-های سولفیدی و رگه های هیدروترمال نسبت داد.
- همبستگی مثبت بالای منگنز و کروم ($r = 0.653$) در منابع آب و همچنین بالا بودن مقادیر منگنز در آب، این احتمال را می دهد که منگنز باعث اکسیداسون کروم (III) به فرم سمی تر، کروم (VI) شده باشد.

۶. مراجع

- ۱- رزم آرا، م. (۱۳۶۹). بررسی زمین شناسی، ژئوشیمی و پتانسیل معدنی افیولیت ملائزهای شمال تربت حیدریه (ناحیه اسداباد). رساله فوق لیسانس. دانشگاه تهران، ۱۸۲ صفحه.
- ۲- جلیلیان، م.، اعتمادی، ن.، افشاریان زاده، م. (۱۳۷۰). نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه، سازمان زمین شناسی کشور.

3- Ameh E.G., Akpah, F.A., (2011) Heavy metal pollution indexing and multivariate statistical evaluation of hydrogeochemistry of River PovPov in Itakpe Iron-Ore mining area, Kogi State, Nigeria. *Advances in Applied Science Research*, V: 2, pp: 33-46.

4- Caridad Cancelar, R., Paz- Gozalez, A. , Abreu, C. A., (2002) Heavy metal reference values for natural soils, from Galicia, Spain.

5- Nriagu, J.O., Pacyna, J.M. (1988) Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace-metals. *Nature*, V: 333, pp:134-139.

6- Pekey, H., Karaka, D., Bakoglu, M. (2004) Source apportionment of trace metals in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. *Marin Pollution Bulltin*, V: 49, pp: 809-818.

7- Razmara, M., Khadivi, H., and Soudabi H, (2010) Petrology and geochemistry of nickeliferous peridotites in the charbast area (NW of Fariman). *The first international applied geological congress. Mashhad, Iran. Proceeding. V:1, pp: 1209-1214.*



8- Sargaonkar, A.,Deshpande,V., (2003) *Development of an overall index of pollution for surfacewater based on a general classification scheme in Indian context. Environmental Monitoring and Assessment, V: 89 pp: 43-67.*

9- Shah, M.T., Ara, J., Khan, S., Tariq, S. ,(2012) *Health risk assessment via surface water and sub– surface water consumption in the mafic and ultramafic terrain, mohmand agency, northern Pakistan. Journal of Geochemical Exploration, V:8, pp: 120-134.*

10- 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 V:327, pp: 41– 51.*

11- World Health Organization, (2011). *Guidelines for drinking-water quality.*