

تأثیرات زیست محیطی کروم (Cr) موجود در افیولیت ها و معادن کرومیتی منطقه گرماب - آبدارو (شمال شرق تربت حیدریه) بر منابع آب و خاک منطقه

علی قاسمی^{۱*}، مرتضی رزم آرا^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

Alighasemi6813@yahoo.com

چکیده

بررسی مهاجرت و جابجایی کروم در پساب های معدنی منطقه گرماب - آبدارو نشان داد که در این پساب ها، غلظت بالایی از کروم وجود دارد و حتی چندین منبع آبی منطقه در حد آب آلوده تشخیص داده شد که از نظر کروم مقادیر بالاتری از حد استاندارد (WHO) داشته که نشان دهنده آلایندهی این منابع آبی توسط واحدهای افیولیتی و پساب های معادن کرومیتی می باشد. با بررسی پراکندهی کروم بین خاک و پساب های معدنی در منطقه گرماب-آبدارو، مشخص شد که حد مهاجرت و جابجایی کروم در خاک های منطقه بستگی زیادی به تأثیرات خاک های رسی منطقه، نوع رس و بویژه تحرک کمپلکس های فلزی - مواد آلی خاک دارد. این تحرک توسط عوامل گوناگونی از جمله حد مقدار آلایندهی خاک توسط کروم، ظرفیت کروم، مقدار مواد آلی خاک (مواد هومیک) و اسیدیته آب های منطقه (pH) کنترل می شود. مطالعه پساب های معادن کرومیتی منطقه نشان داد که مقدار کروم خاک به شدت تحت تأثیر نوع خاک های رسی منطقه، اکسیدهای آهن (با تشکیل اکسیدهای آهن آبدار) و مقدار مواد آلی خاک می باشد. افزایش اسیدیته آب های منطقه منجر به افزایش حضور کروم (III) و در نهایت کروم (VI) در این محلول ها شده است.

کلمات کلیدی: کروم (VI)، افیولیت، leaching معادن کرومیت

۱- مقدمه

امروزه یکی از چالش های اساسی و مهم در زمینه های زیست محیطی، افزایش تدریجی و یا تجمع غلظت فلزات سنگین به سبب عدم تجزیه آنها در محیط می باشد (Lasate, 2003). کروم از نظر فراوانی هفدهمین عنصر پوسه زمین می باشد که میانگین تمرکز آن در پوسته زمین در حدود ۱۰۰ ppm ولی میانگین تمرکز آن در سنگ های بازالتی و اولترامافیک ۲۴۰۰-۲۰۰ ppm می باشد (Nriagu, 1988). معمول ترین کانی کروم، کرومیت با فرمول شیمیایی $(Cr, Al, Fe^{3+})_2O_4$ (Mg, Fe^{2+}) می باشد اما این عنصر در اسپینل ها، گارنت، آمفیبول و پیروکسن هم دیده می شود (Reiman and Caritat, 1998). منشأ آلودگی به کروم بسیار متنوع می باشد که از جمله می توان به صنایع دباغی، آبکاری، فولاد، رنگ و معدنکاری (به عنوان منابع بشرزاد) و هوازدگی کانی های حاوی کروم (به عنوان منابع زمین زاد) اشاره نمود (Rai and Zachara, 1989).

کروم در آب های زیرزمینی به دو شکل کروم (III) و کروم (VI) در محیط وجود دارد. کروم (III) در آب های طبیعی کمی محلول است و بنابراین تقریباً غیرمتحرک است در حالی که کروم (VI) در آب محلول است و در مقایسه با کروم (III) تحرک پذیری بیشتری دارد (Rai et al., 1988). کروم موجود در سرپانتینیت ها بیشتر از نوع کروم (III) می باشد (Oze, 2003) در حالی که تمرکز کروم (VI) در آنها بسیار کم و در حدود ۰/۰۶ ppm می باشد (Steinpress, 2001). از آنجایی که واحدهای

افیولیتی (بوئزه سنگ‌های سرپانتیتی)، خاک‌ها و رسوبات غنی از کروم تولید می‌کنند لذا تاثیر زیادی در کیفیت آب‌های آشامیدنی دارند (Fendorf, 1995).

حالت‌های اکسیداسیونی مختلف عناصر فرعی (مثل کروم) در آب به شرایط اکسیداسیون و کاهش (احیاء)، درجه-حرارت، pH آب بستگی دارد (Ball and Izbicki, 2004). زمانی که کروم (III) از کانی‌ها و سنگ‌ها به داخل آب، آزاد می-گردد توسط اکسیدهای منگنز و اکسیژن محلول، به کروم (VI) تبدیل می‌شود (Robles and Armienta, 2002). حدود استاندارد کروم برای سلامت انسان بر طبق استاندارد EPA (2006)، 0.05 ppm، استاندارد WHO (2008)، 0.05 ppm و طبق استاندارد ایران (۱۳۸۸) 0.1 ppm تعیین شده است.

گرچه کروم (III) یک عنصر مغذی ضروری برای بدن است (Daugherty, 1999) که به مقدار کم برای بدن ضروری و در متابولیسم قند در بدن انسان و نیز در عملکرد انسولین موثر است (Anderson, 1989) اما کروم (VI) سمی و سرطانزا می‌باشد (Richard and Bourg, 1991) که سبب زخم پرده بینی برونشیت، خشکی و حساسیت پوست و نیز سرطان ریه و پوست می-شود (Gad, 1989) که تغییرات ژنتیکی و تولد نوزادان ناقص‌الخلقه از عوارض آن می‌باشد (Nordberg et al., 2007). کروم سمی عمدتاً به کروم (VI) نسبت داده می‌شود. این عنصر می‌تواند توسط ریه و دستگاه گوارش و حتی به مقدار وسیعی از پوست سالم نیز جذب شود (Dayan and Paine, 2001).

تمرکز عنصر کروم در پوسته زمین حدود 100 ppm گزارش شده است ولی مقدار آن در سنگ‌های آذرین فلسیک مثل گرانیت کم (20 ppm) اما در سنگ‌های اولترامافیک تا 2000 ppm ممکن است برسد. میانگین غلظت کروم در خاک‌ها 54 ppm می‌باشد و غلظت‌های بیشتر مربوط به خاک‌های مشتق شده از سنگ‌های مافیک و رسوبات آرژولیتی که تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته اند می‌باشند (Guertin et al., 2005). جذب کروم به وسیله خاک به درصد رس خاک و با قدرت کمتری به درصد هیدرواکسیدهای آهن و مواد آلی خاک بستگی دارد (Bartlet, 1999).

منطقه مورد مطالعه توسط واحدهای افیولیتی سرپانتیتی شده احاطه گردیده است که پتانسیل زیادی را در آلوده نمودن منابع آبی منطقه دارند. وجود معادن و سدهای باطله متعدد کرومیت در این منطقه، موجب رهاسدن فلز کروم و مشتقات سمی آن در محیط زیست می‌شود. با در نظر گرفتن تاثیرات مخرب کروم بر سلامتی انسان، احتمال تاثیر پساب معادن بر منابع آب و خاک منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

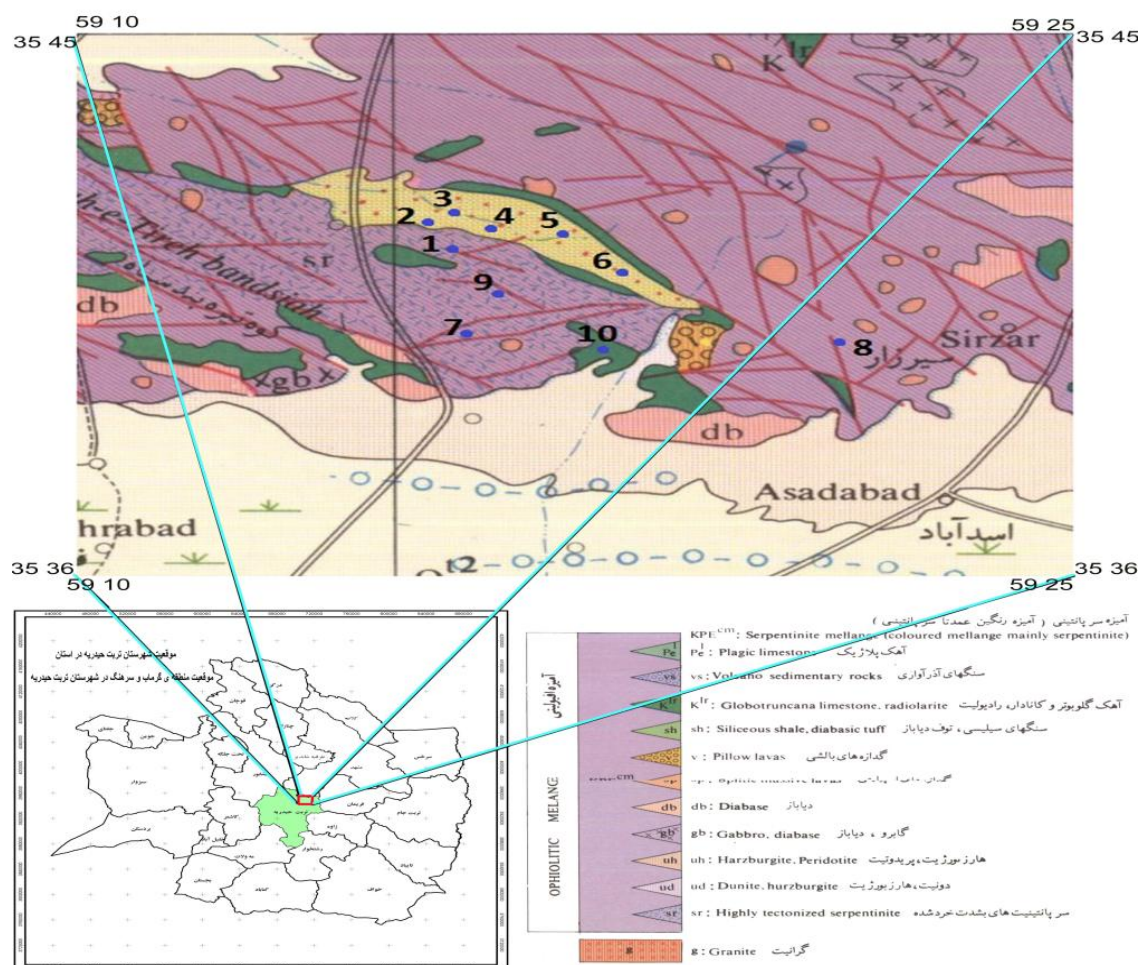
۲- زمین شناسی منطقه

مطالعات دورسنجی (RS)، صحرایی و پتروگرافی بر روی افیولیت‌های منطقه حاکی از توالی کامل افیولیتی (پریدوتیت، گابرو، دیاباز، بازالت) در منطقه می‌باشد. در منطقه، بیشترین واحدهایی که در مجموعه افیولیتی برونزد دارند، سنگ‌های اولترامافیکی، دایک‌های دیابازی و بازالت‌های اسپیلیتی می‌باشند که به صورت گسترده در منطقه دیده می‌شوند. مطالعات صحرایی و ژئوشیمیایی نشان داده است که پتانسیل معدنی قابل توجهی از کرومیت و تالک در منطقه وجود دارد (رزم آرا، ۱۳۶۹). آنالیزهای نمونه‌های پریدوتیتی نشان داده است که عمده اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌ها غنی از کروم می‌باشند. این کانی‌ها در درجه-حرارت 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 (Razmara et al., 2010). در اثر آلتراسیون و تبدیل کانی‌هایی همچون الیوین به سرپانتین، کروم در سرپانتینیت‌ها تمرکز یافته به گونه‌ای که آنومالی‌های بالایی از کروم در کرومیت منطقه مشاهده می‌شود جدول ۱.

جدول ۱- آنومالی‌های بالای کروم بر حسب (ppm) در نمونه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه

نمونه	نام سنگ	Cr	Ni	Co	Zn	Cl	V	Cu
۱	بازالت	۳۰۶	۱۴۶	۸۹	۱۵۵	۱۴۷	۶۰۸	۷۳
۲	دیاباز	۴۸۲	۱۶۶	۸۷	۱۳۶	۴۹	۴۰۴	۲۶۳
۳	گابرو	۱۰۳۳	۱۲۸	۸۹	۱۳۴	۲۴	۴۴۱	۱۱۷
۴	هارزبورگیت	۳۸	۴۲	-	-	۱۵	-	-
۵	سریانتینیت	۴۰۰۴	۵۱۷۹	۱۷۶	۸۲	۶۱۶	۳۵	۱۵
۶	سریانتینیت	۲۴۰۰	۳۲۰۰	-	-	-	-	-
۷	سریانتینیت	۳۴۰	۳۳۰۰	-	-	-	-	-
۸	کرومیت	۵۳۳۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰	-	۲۰۰	۶۰۰	۲۰۰

مکان نمونه‌های آب و خاک برداشت شده در شکل ۱ نشان داده شده است. نمونه‌های خاک از مناطق مجاور معادن برداشت شد تا حد مهاجرت و جابجایی کروم در خاک‌های منطقه مشخص شود.



۳- روش نمونه برداری

نمونه برداری از منابع آب منطقه در اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ به منظور تعیین مقادیر کروم در منابع آب و اندازه گیری خواص فیزیکی و شیمیایی آب در دو روستای آبدارو و گرماب انجام شد. پارامترهای فیزیکی شامل هدایت الکتریکی (EC)، دما (T) و اسیدیته (pH) در منطقه مورد بررسی، اندازه گیری شد. به منظور تعیین خواص شیمیایی از هر منبع، یک ظرف پلی اتیلن ۵۰۰ cc آب برداشت شد (در حین نمونه برداری سه بار با آب محل شستشو داده شد). پس از فیلتر کردن نمونه ها به هر ظرف آب، ۱۰ cc اسید نیتریک (2 ≤ pH)، جهت تثبیت فلزات سنگین اضافه گردید. سپس نمونه ها جهت تعیین غلظت فلزات سنگین (بویژه کروم) با استفاده از روش کوره گرافیتی، در آزمایشگاه تحقیقاتی ایران (شعبه مشهد) آنالیز گردید.

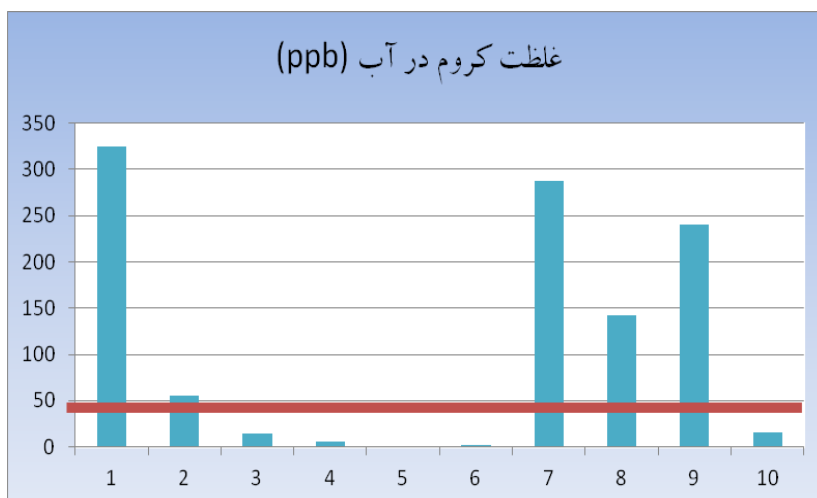
در این مطالعه، جهت بررسی روند و توزیع آلودگی خاک، تعداد ۱۰ نمونه از عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک اطراف معادن و مناطق همجوار با نمونه برداری آب منطقه برداشت شد. بعد از انتقال به آزمایشگاه، نمونه های خاک در اون خشک گردید. پس از آن ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون توسط الک جدا شدند و نمونه ها برای تعیین غلظت عناصر سنگین به روش جذب اتمی (AAS) به آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد ارسال شدند.

۴- نتایج و بحث

نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه آب از منابع مختلف شرب و کشاورزی منطقه گرماب - آبدارو و پساب های معادن کرومیتی منطقه، نشان داد که غلظت کروم در پساب های معادن بیشتر از حد مجاز می باشد. چند نمونه از منابع آب منطقه نیز از نظر کروم مقدار بالاتری از حد استاندارد (WHO) داشته که به عنوان آب آلوده تشخیص داده شدند که نشان دهنده آلاینده گی منابع آب توسط واحدهای افیولیتی و پساب های معادن کرومیتی می باشد. با توجه به pH قلیایی نمونه ها و محلول بودن کروم (VI) در شرایط قلیایی، می توان نتیجه گرفت بخشی از کروم در منابع آب منطقه از نوع کروم (VI) و به فرم کرومات (CrO_4^{2-}) می باشد که برای سلامتی انسان بسیار مضر می باشد. نتایج اندازه گیری پارامترهای صحرايي (EC, T, pH) و نتایج آنالیزهای آب در جدول ۲ و مقایسه کروم نمونه های مختلف در شکل ۲ آمده است.

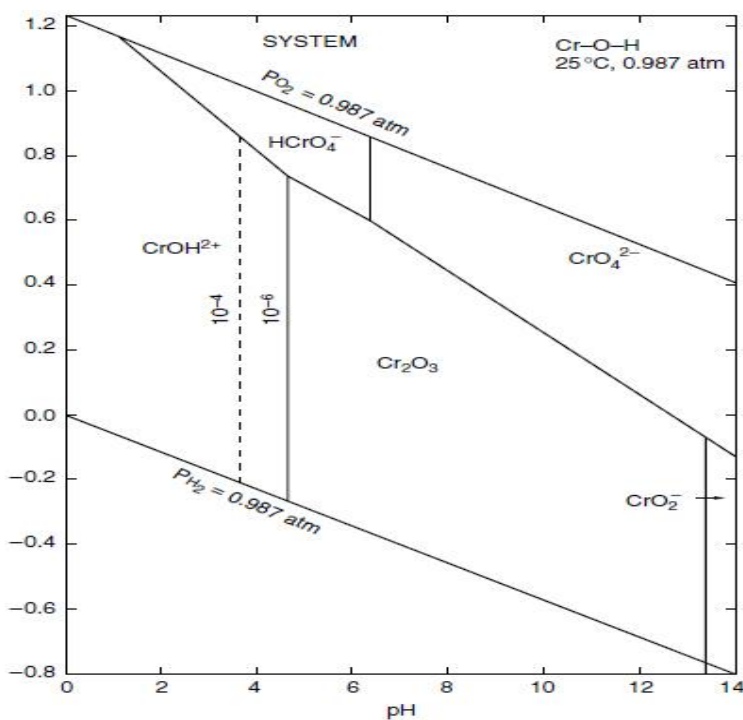
جدول ۲- نتایج اندازه گیری پارامترهای فیزیکی و آنالیز آب در منطقه مورد مطالعه

شماره	منطقه نمونه برداری	pH	EC (μs/cm)	T (°C)	T.D.S (mg/l)	Cr (ppb)
۱	پساب معدن کرومیت و منگنز گرماب	۹/۲۳	۲۵۵۲	۱۱	۱۴۷۰	۳۲۴/۸
۲	قنات کلاته ثم گرماب	۷/۹۲	۱۵۳۳	۱۰	۹۹۰	۵۵/۹
۳	قنات علیای گرماب	۸/۱۵	۷۳۹	۱۰/۵	۴۹۰	۱۴/۹
۴	قنات قلعه کهنه گرماب	۸/۱۶	۷۱۶	۱۰	۴۸۰	۶/۳
۵	چشمه حسن عیشاه گرماب	۷/۸۳	۵۱۸	۱۰	۳۱۰	۱/۱
۶	چشمه آب باریک گرماب	۷/۵۹	۵۶۲	۹	۳۳۰	۱/۶
۷	پساب معدن کرومیت سرهنگ	۸/۶۱	۲۷۰۳	۱۲	۱۵۳۰	۲۸۷/۵
۸	چشمه آب گردوی تلخ	۱۰/۴۲	۳۰۵۹	۱۱	۱۷۲۰	۱۴۲/۵
۹	چشمه عسگرد	۹/۹۲	۲۳۴۹	۹/۵	۱۴۳۰	۲۴۰/۱
۱۰	چشمه سرهنگ	۸/۶۳	۱۲۹۸	۱۱	۷۱۰	۱۵/۴



شکل ۲- نمودار غلظت کروم در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

کروم (III) در شرایط اسیدی محلول می‌باشد در صورتی که کروم (VI) در شرایط قلیایی تا خنثی، تمایل به حل شدن دارد و با کاهش pH جذب آن توسط محیط افزایش می‌یابد (Bartlett and Kimble, 1976). کروم (VI) در پساب‌ها به فرم‌های کرومات (CrO_4^{2-}) و دی کرومات ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) حضور دارد (Matei et al., 2010). در محلول‌های آبی اکسیژن‌دار، در $\text{pH} < 6$ ، گونه کروم (III) پایدار است ولی در $\text{pH} > 7$ ، یون‌های کرومات پایدار می‌باشند و در شرایط Eh پایین، شکل‌های اصلی کروم، کاتیون کروم Cr^{+3} و CrOH^{+2} می‌باشد. شکل ۳ محدوده ترکیبات کروم در محیط آب را نشان می‌دهد (Brookins, 1987).



شکل ۳- نمودار pH-Eh در سیستم Cr-O-H در منابع آب (Brookins, 1987)

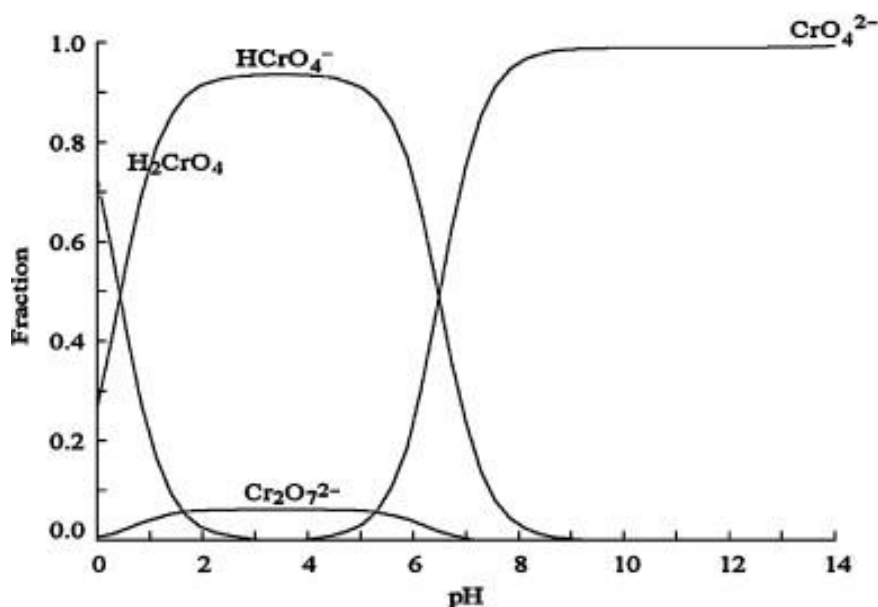
بررسی مهاجرت و جابجایی کروم در پساب‌های معدنی منطقه گرماب-آبادرو نشان داد که در این پساب‌ها، غلظت بالایی از کروم وجود دارد. غلظت کروم در محدوده مورد مطالعه از توزیع یکنواختی برخوردار نمی‌باشد که کمترین مقدار در در چشمه قابل شرب حسن علیشاه با ۱/۱ ppb و بیشترین مقدار در چشمه عسگرد با ۲۴۰/۱ ppb می‌باشد. میانگین کروم در نمونه‌های برداشتی شرب و کشاورزی ۵۹/۸ ppb می‌باشد که بیانگر بالا بودن غلظت کروم از استاندارد اعلام شده WHO (2008)، می‌باشد. ۳ نمونه از ۸ نمونه آب، در منطقه آلوده به کروم می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رفت غلظت کروم در چشمه‌هایی که از مناطق افیولیتی نشات می‌گیرند بیشتر می‌باشد و با دور شدن از مناطق افیولیتی، غلظت کروم نیز کاهش یافت تا جایی که در بعضی نمونه‌ها مقدار این عنصر به حدود ۱ ppb رسید که مطابق با معدن کرومیت سوکیندا درهند (Dhakat et al, 2008) و در تضاد با شیب کریک فن مکزیک می‌باشد (Ball and Izbicki, 2008).

به طور کلی در مناطق حاوی سنگ‌های اولترامافیک، دو نوع آب سطحی، تولید می‌شود که معمول‌ترین آن نوع قلیایی با $pH=8.3-8.6$ و غنی از بیکربنات منیزیم می‌باشد. نوع دوم که کمتر دیده می‌شود حاوی هیدروکسید کلسیم بالا با مقدار 11.8-11.2- pH می‌باشد (Gray and Sanzalone, 2001). در بررسی‌های انجام گرفته در ایتالیا و مکزیک، تیپ آب در اکثر مناطق افیولیتی از نوع $Ca-HCO_3$ و $Mg-HCO_3$ می‌باشد که حاصل هوازدگی سنگ‌های اولترامافیک سرپانتینیتی شده و یا به طور کلی سنگ‌های کلسیم و منیزیم‌دار (از قبیل گابرو یا بازالت) می‌باشند که حاوی کروم (III) و (VI) ظرفیتی باشند. آب‌های تیپ بیکربناته‌ی منیزیک معمولاً از طریق برهمکنش آب‌های جوی با سرپانتین و سنگ‌های اولترامافیکی تولید می‌شوند، در حالی که آب‌های تیپ بیکربناته کلسیک از طریق برهمکنش آب‌های جوی با سنگ‌های گابرو و بازالتی به وجود می‌آیند. آب‌های تیپ بیکربناته منیزیک نسبت به کلسیک، از کروم غنی‌ترند (Fantoni et al., 2002). منطقه مورد مطالعه، منطقه آلوده‌ای است، زیرا تمرکز کروم در آب‌های غیرآلوده کمتر از ۱۰ ppb می‌باشد (Luyaux et al., 2008)، نظیر چشمه حسن علیشاه و آب باریک و قنات قلعه، اما سایر داده‌ها نشان‌دهنده مقادیر بالاتر از ۱۰ ppb می‌باشد که نشان می‌دهد فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدروشیمیایی انحلال کروم را کنترل می‌کنند.

رس‌ها به دلیل داشتن سطح ویژه بسیار بزرگ، پایداری شیمیایی و مکانیکی، ساختار لایه‌ای و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (CEC)، جاذب‌های بسیار خوبی در جذب و بی‌تحرك کردن آلاینده‌ها می‌باشند (Gopal Bhattaryya and Sen Gupta, 2009). با توجه به وجود رس‌های بنتونیتی در اطراف روستای گرماب (نمونه‌های ۵ و ۶)، عامل جذب سطحی فلز کروم توسط رس‌ها، عامل بسیار کارآیی می‌باشد. به طور مثال، در نمونه شماره ۲ (مربوط به منطقه گرماب) که رس‌های بنتونیتی مشاهده نشد، غلظت کروم در این منطقه به حدود ۵۶ ppb رسید که نشان‌دهنده تاثیر قابل توجه رس‌های موجود در منطقه در جذب کروم می‌باشد. به علت قرارگیری نمونه شماره ۹ در حوالی افیولیت‌ها و سدهای باطله و غلظت بسیار زیاد کروم در آن، احتمال تغذیه چشمه، توسط سدهای باطله در منطقه وجود دارد. به طور کلی نتایج مبین این است که غلظت کروم در مناطق حوالی معادن و افیولیت‌ها بالاتر از حد مجاز سلامت انسان می‌باشد.

رابطه مستقیمی بین مقدار کروم و ریز بودن اجزای خاک مشاهده شده است. هر چه خاک‌ها ریز بافت تر باشند، کروم بیشتری دارند (Kabata Pendias and Mukherjee, 2007). کروم عمدتاً به دو حالت اکسیداسیون کروم (III) و کروم (VI) در خاک وجود دارد. در خاک‌های طبیعی کروم (III) به شدت در ذرات خاک باقی می‌ماند به صورت $Cr(OH)_3$ نامحلول یا به صورت کروم (III) جذب سطحی ذرات خاک می‌شود که این عمل مانع از نفوذ به آب زیر زمینی یا جذب توسط گیاه می‌شود. گونه‌های کروم (VI) نظیر کرومات (CrO_4^{2-}) و دی کرومات ($Cr_2O_7^{2-}$) در محیط‌های قلیایی تا نسبتاً اسیدی به طور ضعیف

جذب خاک می‌شوند و این امر موجب انتقال آنها به محیط نیمه سطحی می‌شود (Bartlett and Kimble, 1976). شکل ۴ نشان دهنده محدوده پایداری انواع ترکیبات کروم در خاک است.



شکل ۴- محدوده پایداری انواع ترکیبات کروم در خاک (Bartlett and Kimble, 1976)

در شرایط خنثی، پتانسیل اکسایش و کاهش کروم به طور مستقیم تحت تاثیر محتوای اکسیژن و منگنز خاک می‌باشد. پوشش نامحلول اکسید های منگنز در خاک و رسوب موجود در زون اشباع طبق رابطه (1) کروم (III) را به کروم (VI) اکسید می‌کنند:



در خاک‌های خنثی تا قلیایی، کروم (VI) محلول می‌باشد اما تحرک کروم (III) به دلیل ساختمان پایدار اکسی هیدروکسید ها محدود است. تحرک کروم (VI) به اکسیدهای آهن، منگنز، و pH خاک وابسته می‌باشد و خصوصیات خاک مثل ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد رس نمی‌تواند تاثیر مهمی بر خصوصیات کروم (VI) در خاک داشته باشد (Eary and Rai, 1986). در حالی که کروم (VI) توسط مواد آلی خاک از جمله هیومیک اسید، فولیک اسید و هیومین و آهن (II)، به کروم (III) احیاء می‌شود. رابطه های زیر روند احیاء کروم (VI) به کروم (III) را توسط آهن (II)، نشان می‌دهد (Sedlak and Chan, 1997).

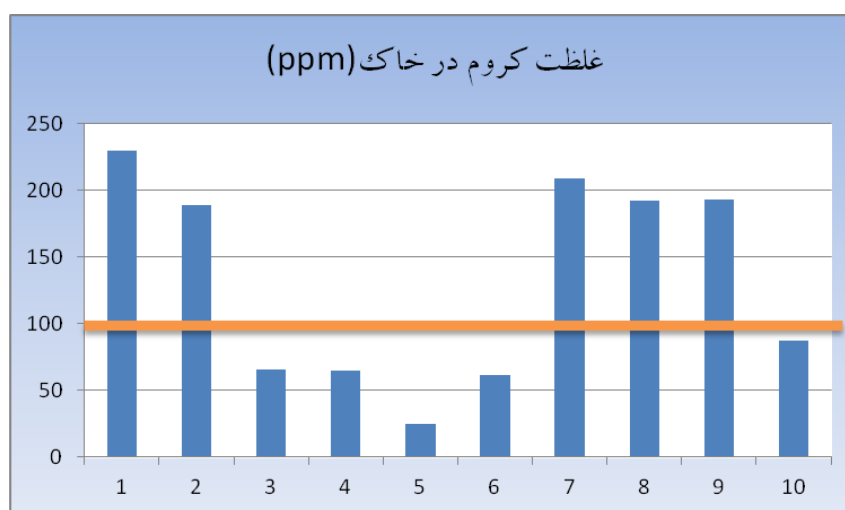


با توجه به وجود معدن منگنز گرماب در منطقه و این موضوع که حداکثر مقدار مجاز منگنز در خاک ۶۰۰ ppm می‌باشد (Lindsay, 1979)، بنابراین نتایج آنالیز خاک ها نشان می‌دهد مقادیر بسیار زیادی از اکسید منگنز در خاک‌ها وجود دارد که باعث اکسید کروم (III) به کروم (VI) می‌شوند. با توجه به حداکثر مجاز کروم در خاک ۱۰۰ ppm (EPA, 1983) پنج نمونه دارای آلودگی به کروم می‌باشد (جدول ۳). مقایسه کروم موجود در خاک در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج اندازه گیری غلظت کروم، منگنز و آهن در خاک‌های محدوده مورد مطالعه

شماره نمونه	منطقه نمونه برداری	غلظت کروم در خاک (ppm)	غلظت منگنز در خاک (ppm)	غلظت آهن در خاک (ppm)
۱	خاک مجاور معدن کرومیت و منگنز گرماب	۲۴۲/۲	۴۴۴۳۳	۳۵۹۸
۲	قنات کلاته ثم گرماب	۱۸۸/۶	۲۴۲۷	۲۶۹۷
۳	قنات علیای گرماب	۶۶	۷۲۳۴	۳۷۱۱
۴	قنات قلعه کهنه گرماب	۶۴/۴	۲۲۳۴	۲۵۰۹
۵	چشمه حسن علیشاه گرماب	۲۴/۹	۹۲۱	۳۱۱۲
۶	چشمه آب باریک گرماب	۶۰/۵	۲۴۰۲	۲۲۵۵
۷	خاک مجاور معدن کرومیت سرهنگ	۲۰۸/۸	۴۹۴۵	۳۳۳۸
۸	چشمه آب گردوی تلخ	۱۹۱/۷	۳۸۹۷	۳۰۸۰
۹	چشمه عسگرد	۱۹۲/۸	۱۳۹۹	۲۹۰۳
۱۰	چشمه سرهنگ	۸۷/۳	۷۶۴۲	۳۰۱۷

مقایسه کروم موجود در خاک در شکل ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، خاک مجاور سه نمونه و اطراف معادن آلودگی به کروم را دارند. این مناطق شامل قنات کلاته، چشمه‌های آبگردوی تلخ و عسگرد می‌باشند.



شکل ۵- نمودار غلظت کروم در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه

مطالعه پراکندگی کروم در خاک و پساب‌های معدنی در منطقه گرماب- آبدارو، مشخص نمود که حد مهاجرت و جابجایی کروم در خاک‌های منطقه بستگی زیادی به تاثیرات خاک‌های رس منطقه، نوع رس و بویژه تحرک کمپلکس‌های فلزی - مواد آلی خاک دارد. این تحرک توسط عوامل گوناگونی از جمله حد مقدار آلاینده‌گی خاک توسط کروم، ظرفیت کروم، مقدار مواد آلی خاک (مواد هومیک) و اسیدیته آب‌های منطقه (pH) کنترل می شود. مطالعه پساب‌های معادن کرومیتی منطقه نشان داد که مقدار کروم خاک به شدت تحت تاثیر نوع خاک‌های رس منطقه، اکسیدهای آهن (با تشکیل اکسیدهای آهن آبدار)

و مقدار مواد آلی خاک می‌باشند. افزایش اسیدیته آب‌های منطقه منجر به افزایش حضور کروم (III) و در نهایت کروم (VI) در این محلول‌ها می‌شود.

۵- نتیجه گیری

- نتایج آنالیزهای شیمیایی آب و تعیین پارامترهای صحرایی در پساب‌های معدنی منطقه گرماب-آبدارو نشان داد که در این پساب‌ها، غلظت بالایی از کروم وجود دارد (حدود ۷ برابر استاندارد) و حتی چندین منبع آبی منطقه در حد آب آلوده تشخیص داده شد (۳ نمونه از آب‌های منطقه بالاتر از حد مجاز بود). بیشترین میزان کروم در آب‌های مجاور سدهای باطله چشمه عسگرد به علت قرارگیری در کنار سدهای باطله معادن کرومیتی موجود در افیولیت‌ها می‌باشد.

- کمترین آلاینده‌گی کروم در مجاورت رسها (در چشمه حسن علیشاه)، به دلیل جذب کروم توسط رسها می‌باشد.

- با توجه به میزان pH نمونه‌ها که در محدوده ۷/۵۹ تا ۱۰/۴۲ تغییر می‌کنند، اکثر نمونه‌های آب از نوع بیکربناته منیزیک می‌باشند.

- افزایش اسیدیته آب‌های منطقه منجر به افزایش حضور کروم (III) و در نهایت کروم (VI) در این محلول‌ها شده است. می‌توان نتیجه گرفت کروم (VI) در منابع آبی منطقه به فرم کرومات (CrO_4^{2-}) موجود می‌باشد که برای سلامتی انسان مضر می‌باشد.

- نتایج آنالیزهای خاک و آب، همبستگی خوبی را نشان می‌دهند به نحوی که تمام مناطقی که غلظت کروم در خاک آنها بالاتر از حد مجاز بود (پنج نمونه خاک دارای مقادیر کروم بیشتر از حد مجاز می‌باشند)، در منابع آبی مجاور نیز این آلودگی به کروم مشاهده می‌شود.

قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات آقای مهندس برآبادی تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران (۱۳۸۸). "آب آشامیدنی - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی". چاپ پنجم، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ص ۱-۱۸.

رزم‌آرا، م. (۱۳۶۹). "بررسی زمین‌شناسی، ژئوشیمی و پتانسیل معدنی افیولیت ملانژهای شمال تربت حیدریه (ناحیه اسدآباد)". رساله فوق‌لیسانس. دانشگاه تهران، ۱۸۲ صفحه.

جلیلیان، م.، اعتمادی، ن.، افشاریان‌زاده، م. (۱۳۷۰). "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه"، سازمان زمین‌شناسی کشور.

Anderson, R.A., (1989). "Essentiality of chromium in humans". Sci. Tot. Environ. 86, pp 75-81.

Ball, J.W. and Izbicki, J.A., (2004). "Occurrence of hexavalent chromium in groundwater in the Western Moave desert", California. Appl. Geochem. 19. pp 112-131.

Ball, J.W., Izbicki, J.A., (2008). "Chromium, chromium isotopes and selected trace elements, western Mojave Desert, USA". Appl. Geochem. Vol. 23, pp.1326-1352.

Bartlett, R. J., (1999). "Characterizing soil redox behavior. In: Sparks DL (ed) Soil physical chemistry", 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, pp 371-397.

Bartlett R. J. and Kimble J. M., (1976). "Behavior of chromium in soils, I. Trivalent forms, II. Hexavalent forms". Journal of Environment Quality. 5, pp 379-386.

Brookins, D.G., (1987). "Eh-pH Diagrams for Geochemistry", Springer-Verlag, New York, 176 p.

Daugherty, M. L., (1992). "Toxicity summary for chromium". Oak Ridge National Laboratory Chemical Hazard Evaluation and Communication Group, Oak Ridge, Tenn.



- Dayan, A. D. and Paine A. J., (2001). "Mechanisms of chromium toxicity, carcinogenicity and allergenicity": review of the literature from 1985 to 2000. *Human & Experimental Toxicology* Vol.20(9), pp 439-451.
- Dhakate, R., Singh V.S., Hodlur, G.K., (2008). "Impact assessment of chromite mining on groundwater through simulation modeling study in Sukinda chromite mining area, Orissa, India". *Journal of Hazardous Materials* Vol.160, pp.535-547.
- Eary, L.E. and Rai, D., (1986). "The kinetics of Cr(VI) reduction to Cr(III) by ferrous iron-containing solids", *Geol. Soc. Am. Abstr. Programs*, 18, 6, 591.
- EPA (Environmental Protection Agency) Guidelines for drinking water quality (2006).
- EPA (1983). "Office of Solid Waste and Emergency Response". *Hazardous waste land treatment, SW-874*, p. 273.
- Fantoni D., Bronzoz G., Canepa M., Cipoli F., Marini L., Ottonello G. and Zuccolini N. V., (2002). "Natural Hexavalent Chromium in groundwater interacting with ophiolitic rocks". *Environmental Geology*, pp 871-882.
- Fendorf S. E., (1995). "Surface reactions of chromium in soils and waters", *Geoderma*, pp 55-71.
- Gad, C.S., (1989). "Acute and chronic systemic chromium toxicity". *Sci. Tot. Environ.*
- Gopal Bhattacharya, K. and Sen Gupta, S., (2009). "Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite". *J. Advance in Colloid and Interface*, pp 114-131.
- Gray, J. E. and Sanzolone, R. F., (2000). "Environmental studies of mineral deposits in Alaska". *US Geological survey Bulletin*, 2156 p.
- Guertin J., Jacobs J.A., Avakian C.P., (2005). "Chromium (VI)". *handbook Edited by Independent Environmental Technical Evaluation Group (IETEG), CRC Press.*
- Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, B. A., (2007). "Trace Elements from Soil to Human". *New York: Springer.* 450p.
- Lasate, M. M., (2003). "Phytoextraction of toxic metal": A review of biological mechanism, Review and analyses with heavy metal. *J. Environ, Qual*, 31: pp 109-120.
- Lindsay, W. L., (1979). "Chemical equilibria in soils". *New York: Wiley.* 449 p.
- Loyaux, S., Lecomte, P., Ehrhardt, J., (2008). "Behavior of hexavalent chromium in a polluted groundwater: redox processes and immobilization in soil", *Environ.Sci.Technol.* 35,1350-1357.
- Matei, E., Predescu, A., Vasile, E. and Predescu, A., (2010). "Properties of magnetic iron oxides used as materials wastewater treatment". *International Conference on Safe Production and Use of Nanomaterials. Minatex, France. Journal of Physics: Conference Series, Volume 304, Number 1.*
- Nordberg, G. F., Fowler, B. A., Nordberg, M. & Friberg, L., (2007). "Handbook on the Toxicology of metals", (3rd ed.), NY: Elsevier.
- Nriagu, J.O. (1988). Production and uses of chromium. In Nriagu, J.O., Nieboer, E., *Chromium in Natural and Environments*. Wiley interscience, New York, pp. 81-104.
- Oze, J. C., (2003). "Chromium geochemistry of serpentinite and serpentinite soils". *Department of Geology and Environmental Sciences and the Committee on Graduate Studies of Stanford University.*
- Rai, D. and Zachara, J. M., (1989). "Environmental Chemistry of chromium". *Sci. Tot. Environ.*
- Rai, D., Zachara, J.M., Eary, L.E., Ainsworth, C.C., Amonette, J.E., Cowan, C.E., Szelmezcza, R.W., Resch, C.T., Schmidt, R.L., Girvin, D.C., & Smith, S.C., (1988). "Chromium reactions in geological materials": *Interim Report, Electric Power Research Institute (EPRI) EA-5741, EPRI, Palo Alto, CA.*
- 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.* Pp 1209-1214.
- Reimann, C. and Caritat, P., (1998). "Chemical Elements in the Environment". *Springer-Verlag, Berlin.*
- Richard, F.C., Bourg, A.C.M., (1991). "Aqueous geochemistry of chromium": a review. *Wat. Res.* Vol.25, pp.807-816.
- Sedlak, D.L. and Chan, P.G., (1997). "Reduction of hexavalent chromium by ferrous iron", *Geochim. Cosmochim.*, 61, 11, 2185-2192.
- Steinpress M. G., (2001). "Hexavalent Chromium in Groundwater": *Natural Occurrences Versus the Erin Brockovich Effect, Groundwater Resources Association of California.*
- WHO (World Health Organization) Guidelines for drinking water quality (2008).