

ارزیابی اثرات زیست محیطی عنصر باریم بر منابع خاک و آب در مناطق مینرالیزه دوست بیگلو (استان اردبیل)

رضا طلائئی^{۱*}، فرزانه عظیمی مطعم^۲، حمیدرضا پیروان^۳

۱- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، اردبیل، صندوق پستی: ۵۶۱۳۵-۵۴۵
۳- حمید رضا پیروان، عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، صندوق پستی: ۱۳۴۴۵-۱۱۳۶
RZTALA@yahoo.com

چکیده

این تحقیق در منطقه مینرالیزه دوست بیگلو در شمال غرب مشگین شهر در استان اردبیل، جهت ارزیابی آلودگی منابع آب و خاک به عنصر باریم انجام شده است. در این منطقه شرایط تولید باریم بیش از حد استاندارد، در محیط خاک و آب فراهم شده است. به منظور مطالعه نحوه و میزان اثرات زیست محیطی عنصر باریم در مناطق مینرالیزه تعداد ۱۱۰ نمونه خاک از افق‌های سطحی خاک (A و B) و تعداد ۲۰ نمونه آب از منابع آب چاه، چشمه و آبراهه و رودخانه قره سو در مناطق دگرسانی و غیر دگرسانی به صورت موردی جمع‌آوری و تجزیه شدند. این فلز با دو ترکیب اصلی، یعنی سولفات و کربناتی، بیشتر در محل ذخایر معدنی یافت می‌شود و به دلیل تشکیل نمک‌های کم محلول در آب معمولاً تحرک کمتری نیز در خاک دارد. در محیط‌های مینرالیزه به دلیل وجود اسید و تشکیل کمپلکس‌های باریم احتمال حرکت برای این عنصر بیشتر می‌شود. در شرایط اسیدی احتمال ورود باریم در محیط‌های آبی بیشتر است، چرا که میزان حلالیت آن با کاهش pH افزایش می‌یابد. خوردن و آشامیدن بیش از حد باریم محلول در آب می‌تواند باعث فلج و ناراحتی‌های قلبی در انسان شود. نتایج به دست آمده از این مقایسات نشان دهنده آلودگی در ۱۶/۵٪ تا ۴۵/۲٪ درصد از نمونه‌های خاک می‌باشد که در نهایت سبب تجمع باریم در محیط آبی شده است. بر مبنای استانداردهای موجود میزان باریم آب‌های سطحی و زیر زمینی در منطقه بیش از مقدار عادی است و لذا پاک‌سازی و پالایش منطقه با روش‌های فیزیکی-شیمیایی ضروری است.

کلمات کلیدی: باریم، مینرالیزه، محیط زیست، آلودگی و پالایش

۱- مقدمه

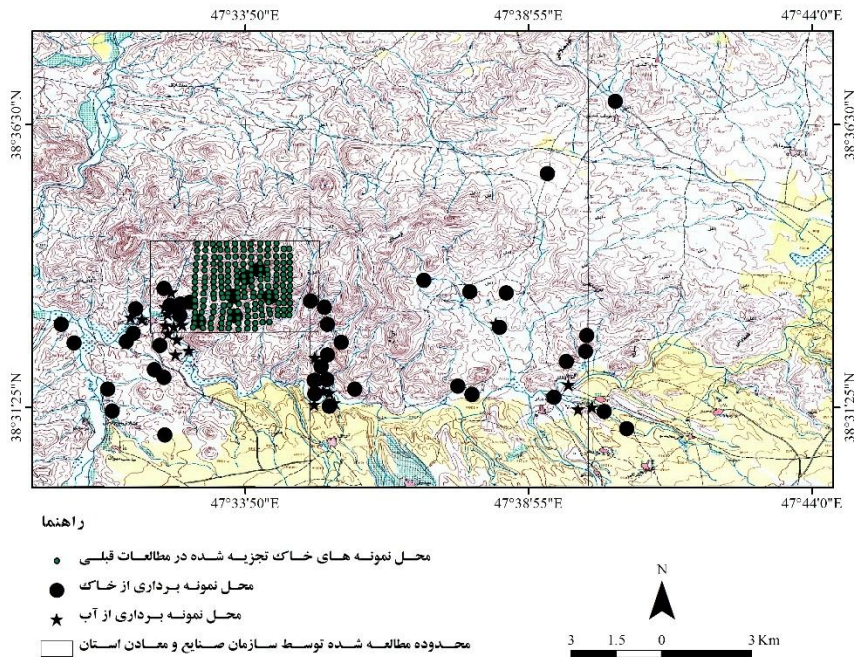
باریم از گروه فلزات قلیایی خاکی به رنگ سفید-نقره‌ای است که به دلیل فعالیت شیمیایی زیاد در طبیعت بطور آزاد یافت نمی‌شود. این فلز بیشتر بصورت سولفات و کربنات دیده می‌شود (WHO, 1990 and ATSDR, 1992). این ترکیبات هم توسط انسان و هم بطور طبیعی در مناطق معدنی تشکیل می‌شود. میزان تاثیر باریم بر سلامتی انسان به درجه حلالیت آن بستگی دارد. اگر ترکیبات باریم در آب محلول نباشد تاثیر کمتری بر سلامتی انسان خواهد داشت (Agency for toxic substances and disease registry, 2004). EPA حداکثر مقدار آلایندگی این عنصر در آب را ۲ میلی گرم در لیتر اعلام کرده است. جذب مقدار زیادی از باریم محلول در آب باعث فلج و در بعضی موارد مرگ می‌شود. مقادیر بالاتر از حد استاندارد باریم محلول در آب باعث مشکلات تنفسی، افزایش فشار خون، بیماری‌های قلبی، مشکلات دستگاه گوارشی، ضعف ماهیچه‌ها، تغییر واکنش‌های عصبی، تورم مغز و آسیب کبد، کلیه و قلب می‌شود (Thomas Jefferson national accelerator facility, 2004). سرطان‌زایی باریم در انسان ثابت نشده است ولی قرار گرفتن در معرض باریم بیش از حد استاندارد در مدت بیش از یک سال باعث فشار خون می‌شود. باریم در اتمسفر بصورت گرد و خاک معلق در هوا جابجا می‌شود. در آب‌های طبیعی میزان غلظت باریم بر اساس حلالیت نمک باریم و جذب آن توسط سطوح فعال تعیین می‌شود. در محیط‌های آبی طبیعی که شامل یون‌های کلرید، سولفات، نترات و کربنات در $pH > 9.3$ است، یون $Ba(II)$ تنها گونه مهم می‌باشد که غلظت آن توسط غلظت یون سولفات آب تعیین می‌گردد (ATSDR, 1992). در این شرایط کربنات باریم

ترکیب اصلی خواهد بود و به این ترتیب از حلالیت باریم کاسته می شود (Bodek I. and et al., 1988). باریم در خاک تجمع می یابد و توسط رس ها، مواد آلی، اکسید آن آهن و منگنز و کانی های ژئولیتی جذب می شود. هرچند باریم بطور طبیعی در خاک ها کم تحرک می باشد ولی در شرایط اکسیداسیون و اسیدی می تواند به راحتی حرکت نماید. در این شرایط از خاک وارد آب می شود (WHO, 1990)، چرا که با کاهش pH بر میزان حلالیت این عنصر افزوده می شود (ATSDR, 1992). در منطقه میزالیزه دوست بیگلو در شمال غرب مشگین شهر (استان اردبیل) شرایط تولید باریم بیش از حد استاندارد، در محیط خاک و آب فراهم شده است. خصوصاً خاصیت اسیدی آب های سطحی و زیر زمینی این منطقه شرایط مساعدی را جهت انتقال باریم به چرخه محیط زیست فراهم ساخته است. از طرف دیگر از آنجائیکه در منطقه مورد مطالعه، منبع آلوده کننده خاک، آب و گیاه از نوع غیر متمرکز بوده و هیچ گونه بررسی علمی از دیدگاه محیط زیست در آن تا به حال صورت نگرفته، لذا انجام این تحقیق جهت شناخت کمیت و کیفیت آلودگی به عنصر باریم به عنوان نمونه ای از زون متالوژن قره داغ- طارم ضروری به نظر می رسد. اهمیت محیط زیستی این عنصر باعث شده تا در نقاط مختلف دنیا تحقیقات گسترده ای در خصوص تاثیرات آن بر سلامت محیط صورت گیرد، در این زمینه به عنوان مثال می توان به تحقیقاتی از جمله بررسی کیفیت آب Kentucky براساس میزان باریم (Davidson B. and Fisher S., 2006)، ارزیابی سمیت باریم و ترکیبات آن در محیط های مختلف (Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR), 2007) و ارائه مقادیر رهنمودی برای حفظ سلامت محیط زیست و انسان در خاک کانادا (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999) اشاره کرد. همچنین در بسیاری از مطالعات، باریم در مجموعه عناصر موثر در محیط زیست مورد بررسی قرار گرفته است، Sonia Maria B.O. and et al., 2007 عناصر نادرخاکی را به عنوان ردیاب هایی برای آلودگی رسوبات توسط گچ فسفاته، در سانتوس برزیل مطالعه کردند. نتایج نشان داد که غلظت REE، باریم، زیرکونیم و توریم در رسوبات غیر آلوده مشابه غلظت آنها در پوسته قاره ای فوقانی است ولی غلظت این عناصر در رسوباتی که از آب های تحت تاثیر گچ فسفاته ته نشین شده اند به مراتب بیشتر است. همچنین آنها نشان دادند که آلودگی این رسوبات به وسیله عناصر آزاد شده طی مرحله آب شست گچ فسفاته صورت گرفته است. در این پژوهش نمونه های خاک و آب از سایت های مختلف برداشته شد و بعد از تجزیه غلظت این عنصر براساس استانداردهای موجود مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش ها

- ۱- تهیه نقشه های زمین شناسی با تاکید بر محدوده های زون های آلتراسیون در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰
- ۲- به منظور مطالعه نحوه و میزان اثرات زیست محیطی زون های آلتراسیون هیدروترمال بر کیفیت منابع خاک منطقه مورد مطالعه، تعداد ۱۱۰ نمونه خاک از افق های سطحی خاک (افق A و B) در مناطق آلتره و غیر آلتره جمع آوری گردید. از هر کیلومتر مربع نمونه انتخاب شده است (شکل ۱).
- ۳- آنالیز خاک ها به روش ICP
- ۴- تعداد ۲۰ نمونه آب از منابع آب چاه، چشمه و آبراهه و رودخانه قره سو در مناطق دگرسانی و غیر دگرسانی به صورت موردی جمع آوری گردید. نمونه های آب نیز جهت تعیین غلظت عناصر فلزی و شبه فلزی، به روش ICP-OES (coupled Inductively plasma-optical emission spectrometer) تجزیه شدند، در این روش دقت و حساسیت نتایج به دست آمده براساس انحراف معیار غلظت عناصر تعیین می شود و در نمونه های تصادفی که حداقل سه بار تجزیه شدند انحراف معیار از ۱۰٪ کمتر بوده است.

۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه غلظت آنها با مقادیر استاندارد، در این قسمت میزان عناصر فلزی و سنگین در ترکیب خاک و آب‌های مناطق آلتزه و مینرالیزه با استانداردهای موجود برای هر عنصر مقایسه شده، و غنی شدگی و یا تهی شدگی عنصری مشخص می‌گردد. همچنین غلظت عناصر با زمینه محلی تهیه شده براساس نتایج آنالیز نمونه‌های خاک از منطقه و محدوده‌های اطراف آن مقایسه گردیده است.

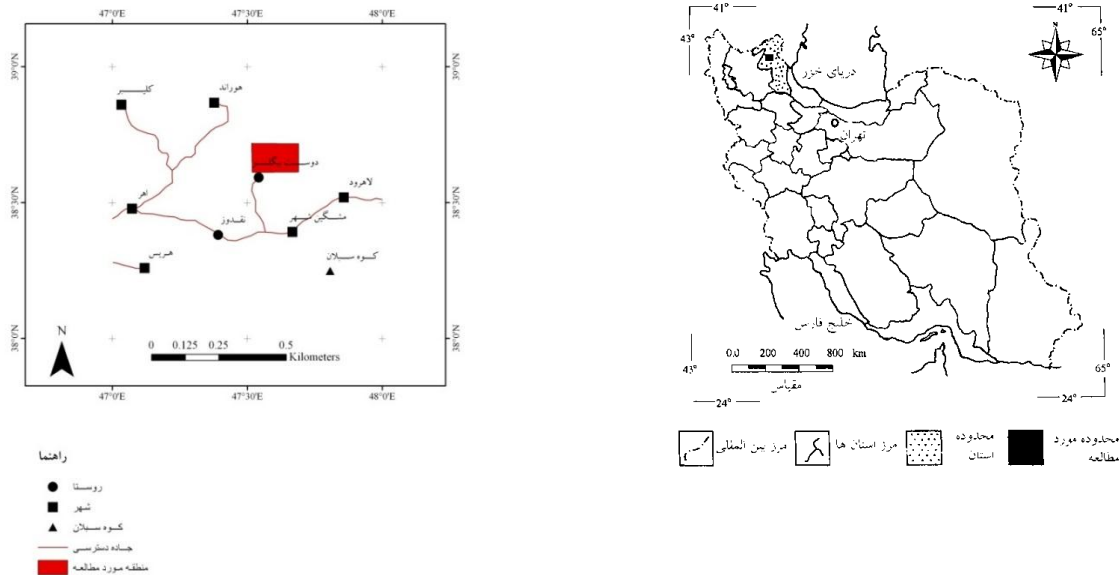


شکل ۱- موقعیت نمونه‌ها در منطقه

۱-۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی

محدوده دوست بیگلو در ۲۷ کیلومتری شمال غرب شهرستان مشگین شهر، بین طول‌های جغرافیایی $32^{\circ} 12' 12''$ تا $35^{\circ} 09' 47''$ و عرض‌های جغرافیایی $38^{\circ} 25' 34''$ تا $38^{\circ} 46' 32''$ واقع گردیده است. این محدوده در یک ناحیه کوهستانی تا تپه ماهوری در شمال و شمال شرق روستای دوست بیگلو و نیز شرق-شمال شرق روستای زاخور قشلاق قرار گرفته است (شکل ۲). مناطق دگرسان شده (سیلیسی، آرژیلیک و...) وسیعی که بعضاً دارای علایم کانی سازی نیز می‌باشند، در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. این محدوده دارای آب و هوای سرد در زمستان و معتدل در تابستان است. با این حال بخشی از نواحی پست بخصوص در جنوب و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه، در پیرامون رودخانه قره سو دارای زمستان‌های معتدل تر و تابستان‌های تقریباً گرم می‌باشد. سطح وسیعی از این منطقه دارای ۴ تا ۵ ماه فصل خشک است و علاوه بر آن ۲ تا ۳ ماه نیز فصل یخبندان بر منطقه حکمفرما است. متوسط میزان بارندگی منطقه بین ۳۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در سال گزارش شده است. سردترین ماه سال در منطقه بهمن ماه است که حداقل دمای گزارش شده در آن در حدود ۱۲- درجه سانتیگراد بوده و گرمترین ماه سال نیز مرداد ماه می‌باشد که حداکثر دمای گزارش شده در آن حدود ۳۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. بلندترین نقطه ای که در منطقه دوست بیگلو و پیرامون آن

وجود دارد مربوط به ارشاق قلعه می باشد که حدود ۱۳۱۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و پست ترین نقطه نیز مربوط به مناطق پست پیرامون رودخانه قره سو و کف آبراهه های منطقه می باشد که از سطح تراز دریا حدود ۸۰۰ متر ارتفاع دارند.

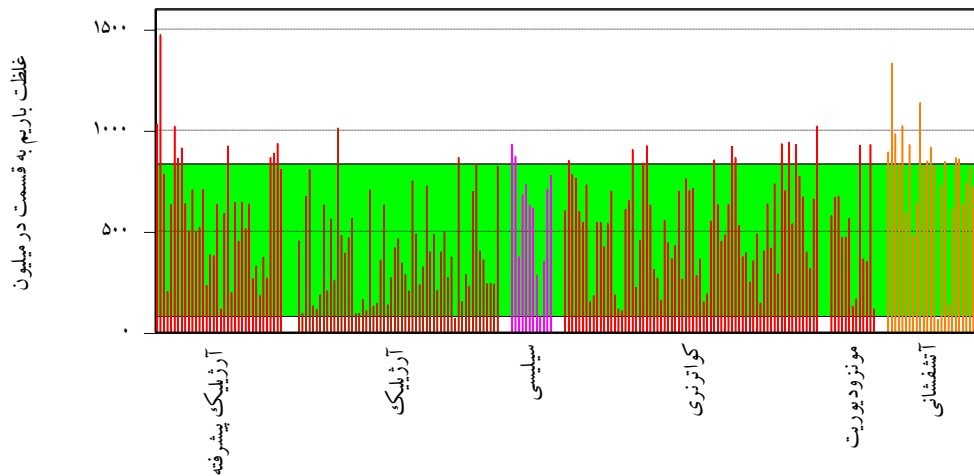


شکل ۲- موقعیت و راه های دسترسی به محدوده دوست بیگلو

۳- نتایج

نمونه ها در محدوده مختلف سنگ مادر آتشفشانی، مونزودیوریتی، زون های آلتراسیون سیلیسی، آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته و نهشته های کواترنری برداشت و مقایسه شده است. مقدار متوسط باریم در پوسته زمین ۴۲۵ میلی گرم در کیلوگرم (and Dannis Krauskopf K.P K.B., 1995) و در خاک ها ۵۸۰ میلی گرم در کیلوگرم (Donald L.S., 1995) گزارش شده است. ۱۰۰ نمونه (۴۵/۲ درصد) از خاک های منطقه دارای غلظت بیش از میانگین جهانی (۵۸۰ میلی گرم در کیلوگرم) دارند.

McBride M.B. (1994)، میزان غلظت باریم را در خاک های جهان ۸۴ تا ۸۳۸ میلی گرم در کیلوگرم تعیین کرده است. هرچند این عنصر جزء عناصر سمی طبقه می شود (زرین کفش م.، ۱۳۷۶) اما غلظت آلوده کنندگی آن در خاک اعلام نشده است. با در نظر گرفتن رنج جهانی ۸۴ تا ۸۳۸ میلی گرم در لیتر بعنوان محدوده نرمال می توان ۳۷ نمونه از خاک های منطقه (۱۶/۵ درصد از آنها) را آلوده بحساب آورد (شکل ۳).



نوع سنگ و زون دگرسانی زیر خاک

شکل ۳- نتایج تجزیه شیمیائی نمونه‌های خاک برای عنصر باریم روی زون‌های دگرسانی و مینرالیزه و سنگ‌های با دگرسانی ضعیف، محدوده نرمال (۸۴-۸۳۸ میلی گرم در کیلوگرم) منگنز باریم بوسیله یک نواری خاکستری رنگ نشان داده شده است (McBride M.B., 1994)

مقایسه مقادیر میانگین غلظت عنصر باریم در خاک‌های منطقه با مقادیر میانگین آن در خاک (۵۸۰ میلی گرم در کیلوگرم) نشان می‌دهد که بین میانگین غلظت باریم خاک‌ها و مقدار آزمون، به غیر از خاک‌های روی سنگ‌های آتشفشانی و زون آذرآبیک اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و مقادیر منفی در ارقام مربوط به اختلاف میانگین این خاک‌ها نشان دهنده پائین بودن سطح غلظت باریم از میانگین جهانی آن است (جدول ۱).

نتایج تجزیه واریانس یک طرفه نشان می‌دهد ($F(5,211)=9/64; p < 0/001$) که اختلافات بین میانگین غلظت باریم در خاک‌های روی زون‌های دگرسانی و لیتولوژی‌های مختلف در سطح فراتر از ۰/۰۱ معنی‌دار است، براساس نتایج مقایسه میانگین غلظت باریم، خاک‌های روی زون دگرسانی آذرآبیک با حداقل میانگین بعنوان گروه اول و سنگ‌های آذرین خروجی با حداکثر میانگین بعنوان گروه سوم قابل تفکیک هستند؛ بقیه خاک‌ها به دلیل تغییرات غیر معنی‌دار مقدار باریم در یک گروه قرار می‌گیرند (جدول ۲).

جدول ۱- نتیجه مقایسه میانگین غلظت عنصر باریم در خاک‌های با سنگ مادر مختلف با مقدار آزمون

(۵۸۰ میلی گرم در کیلوگرم) به روش T

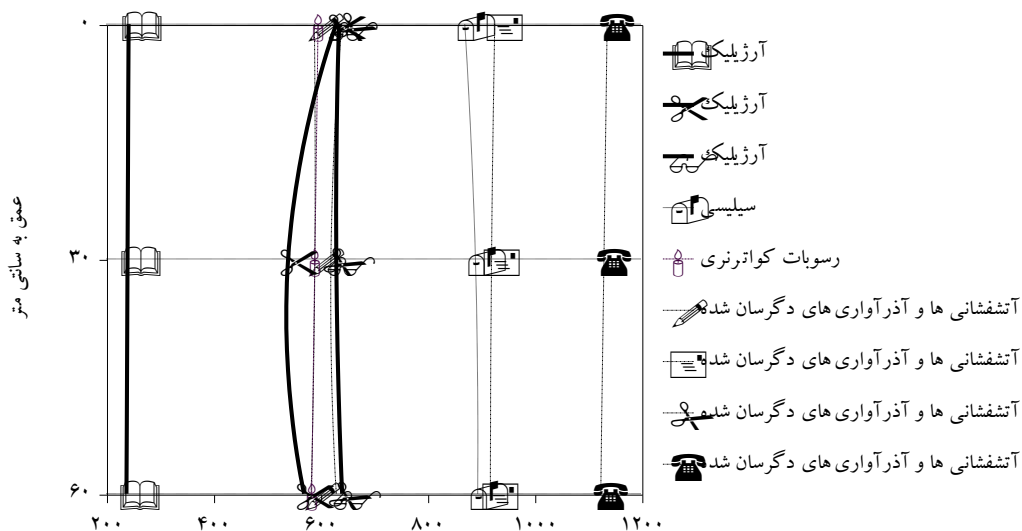
فاصله اطمینان ۹۵٪	اختلاف میانگین	سطح معنی‌دار بودن آزمون	درجه آزادی	آماره آزمون	خاک روی	
					پائین	بالا
۱۲۳/۲۲	-۷۸/۸۸	۲۲/۱۶	۰/۶۵۹	۳۵	۰/۴۴۵	آذرآبیک پیشرفته
-۱۲۹/۷۸	-۲۵۵/۳۷	-۱۹۲/۵۷	۰/۰۰۰	۵۶	-۶/۱۴	آذرآبیک
۱۰/۶۸	-۱۰۳/۳۴	-۴۶/۳۳	۰/۱۱۰	۷۱	-۱/۶۲	رسوبات کواترنری
۱۶۸/۴۶	-۱۵۹/۶۲	۴/۴۱	۰/۹۵۴	۱۱	۰/۰۵۹	سیلیسی
۷۳/۷۲	-۲۵۲/۱۸	-۸۹/۲۳	۰/۲۵۶	۱۲	-۱/۱۹۳	سنگ‌های مونزودپوریتی
۳۱۸/۱۲	۱۰۰/۰۹	۲۰۹/۱۱	۰/۰۰۱	۲۶	۱/۸۴	آذرآواری و آتشفشانی

جدول ۲- مقایسه میانگین عنصر باریم در خاک‌های مختلف به روش آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪

زیر مجموعه ها			تعداد	نوع خاک براساس زون دگرسانی و لیتولوژی زیرین
۳	۲	۱		
		۳۸۷/۴۲	۵۷	زون دگرسانی آرژلیک
	۴۹۰/۷۶	۴۹۰/۷۶	۱۳	سنگ های نیمه نفوذی مونزودپوریت
	۵۳۳/۶۶	۵۳۳/۶۶	۷۲	آبرفت‌های کوتاه‌تری
	۵۸۴/۴۱		۱۲	زون دگرسانی سیلیسی
	۶۰۲/۱۶		۳۶	زون دگرسانی آرژلیک پیشرفته
۷۸۹/۱۱			۲۷	آتشفشانی و آذرآواری
۱	۰/۱۸۲	۰/۰۶۳		pمقدار-

با توجه به عدم تحرک کافی در رفتار این عنصر می‌توان سنگ‌های آتشفشانی را منبع اصلی تمرکز باریم دانست که در مرحله دگرسانی و شستشوی متعاقب آن از مقدار باریم سنگ‌های دگرسان شده و در نتیجه خاک‌های روی آنها کاسته شده است. به غیر از تهی شدگی اندک باریم در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی متری، از خاک پروفیل روی زون دگرسانی آرژلیک، در خاک‌های سایر مناطق تغییرات آن قابل توجه نمی‌باشد (شکل ۴).

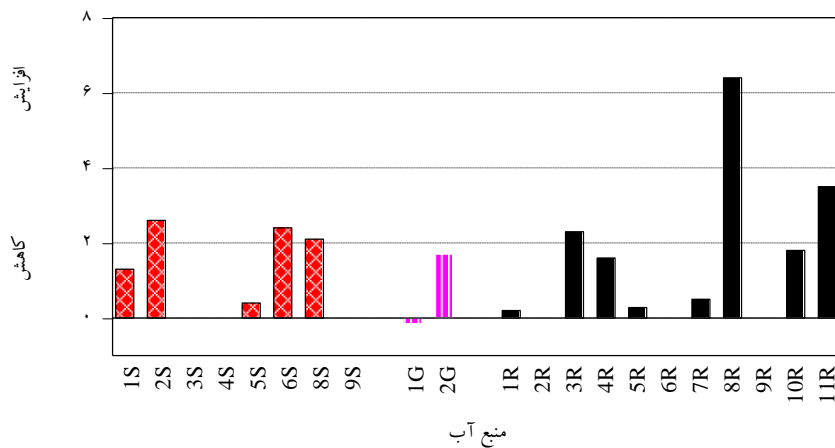
غلظت معمولی باریم در منابع آب زیرزمینی ۱۰ (اسماعیلی ساری ع.، ۱۳۸۱)، ۵۰ (Netherlands Ministry of Housing, 1991) و ۵۰-۱۰۰ (Dragun J., 1988) میلی گرم در لیتر تعیین شده است. در تمام نمونه‌های آب زیرزمینی و آب‌های سطحی منطقه (که بیشتر منبع زیر سطحی دارند) غلظت باریم زیر سطح مقادیر فوق قرار دارد.



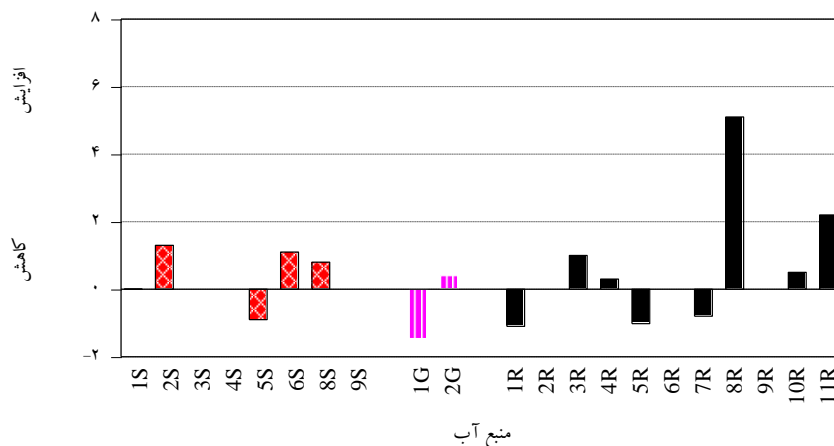
غلظت عنصر به میلی گرم در کیلوگرم

شکل ۴- تغییرات عمقی عنصر باریم در خاک‌های مختلف منطقه

غلظت کمتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر باریم، در آب‌های منطقه، به تمرکز زیاد سولفات مربوط است (غضبان ف.، ۱۳۸۱)؛ براساس استاندارد WHO (۰/۷ میلی گرم بر لیتر) یک نمونه (شکل ۵)، و طبق مقادیر مجاز EPA (۲ میلی گرم بر لیتر) ۵ نمونه جهت شرب مناسب هستند (شکل ۶).



شکل ۵- افزایش و کاهش عنصر باریم در آب‌های منطقه نسبت به استاندارد WHO (۰/۷ میلی گرم بر لیتر) (S: چشمه‌ها؛ G: چاه آب و R: رودخانه‌ها)



شکل ۶- افزایش و کاهش عنصر باریم در آب‌های منطقه نسبت به استاندارد EPA (۲ میلی گرم بر لیتر) (S: چشمه‌ها؛ G: چاه آب و R: رودخانه‌ها)

۴- بحث

عوارض ناشی از باریم در اثر تنفس گرد و غبار باریم، خوردن خاک یا گیاهان یا آب آشامیدنی آلوده به باریم ایجاد می‌شوند. تماس با پوست هم ممکن است باعث آلودگی شود. عوارض ناشی از باریم بستگی به میزان انحلال پذیری ترکیبات آن دارد. آن دسته از ترکیبات باریم که در آب محلول هستند برای سلامتی انسان مضر می‌باشند. جذب مقدار زیادی از باریم محلول در آب باعث فلج و در بعضی موارد مرگ می‌شود. مقادیر اندک باریم محلول در آب باعث مشکلات تنفسی، افزایش فشار خون، تغییرات ضربان

قلب، سوزش معده، ضعف ماهیچه‌ها، تغییر واکنش‌های عصبی، تورم مغز و آسیب کبد، کلیه و قلب می‌شود. سرطان زایی باریم در انسان ثابت نشده است (U. S. Environmental Protection Agency, 2009). به علاوه در مورد این که باریم باعث نقص مادرزادی شود هم مدرکی وجود ندارد. اما Fergusson L. (1985)، باریم را مسمومیت‌زا معرفی کرده است. با توجه به آزمایشات انجام شده بر روی جانوران، مقدار ۵ میلی گرم در لیتر استات باریم هیچ گونه اثرات سمی در طولانی مدت در بر ندارد (WHO, 1987). اثرات سمی حاد، با مصرف نمک‌های محلول باریم، ظاهر می‌شود. دوز مهلک کلرید باریم برای افراد بزرگسال حدود ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی گرم است. دوزهای بالاتر باریم سبب تحریک فعالیت‌های عضلانی قلب و دستگاه گوارش می‌شود (اسماعیلی ساری ع، ۱۳۸۱).

۵- نتیجه گیری

بر اساس نتایج فوق می‌توان انتقال باریم از طریق آب، گیاه و حتی هوا را بر چرخه زیست محیطی در منطقه و تاثیر سوء آن بر سلامتی اهالی را متصور شد. لذا احتمال گسترش بیماری‌های مختلف مرتبط با آلودگی محیط به باریم در منطقه دور از انتظار نیست. متأسفانه آمار و اطلاعات مستند و دقیق از بیماری‌های شایع در مراکز درمانی و بهداشتی وجود ندارد، اما بنا به اظهارات شفاهی اهالی و پزشکان منطقه گسترش بیماری‌های مختلف از جمله مسمومیت‌ها و بیماری‌های داخلی نسبت به مناطق دیگر شایع‌تر است. لذا پیشنهاد می‌شود در ادامه این تحقیق مطالعات بیشتری در زمینه رابطه میزان آلودگی گیاه، آب و خاک به باریم و با بیماری‌ها صورت گیرد.

منابع

- اسماعیلی ساری ع، (۱۳۸۱). "آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست"، انتشارات نقش مهر. ۷۶۷ صفحه.
- زرین کفش م، (۱۳۷۶). "مبانی علوم خاک در ارتباط با گیاه و محیط"، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی جلد اول، ۸۰۸ صفحه.
- غضبان ف، (۱۳۸۱). "زمین شناسی زیست محیطی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۱۶ صفحه.
- Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR), (2007). "Toxicological profile for Barium and compounds (update)", Atlanta, GA: U.S. Department of Public Health and Human Services, Public Health Service.
- Agency for toxic substances and disease registry, (2004). "Toxic facts for barium", www.atsdr.cdc.gov/tfacts24.html [accessed 11/11/04].
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), (1992). "ATSDR public health assessment guidance manual", PB92-147164. U.S. Department of Health and Human Resources. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Bodek, I., Lyman, W.J., and Reehl, W.F., (1988). "Environmental inorganic chemistry: Properties, processes, and estimation methods", Pergamon Press, New York, (Cited in ATSDR 1992).
- Canadian Council of Ministers of the Environment, (1999). "Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health: Barium", In: Canadian environmental quality guidelines, (1999). Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, pp. 7.
- Davidson, B., Fisher, S., (2006). "Groundwater quality in Kentucky: Barium", Kentucky Geological Survey, University of Kentucky, Lexington, Information Circular 11, Series XII.
- Donald, L.S., (1995). "Environmental soil chemistry", Academic Press, 267 pp.
- Dragun, J., (1988). "The soil chemistry of hazardous materials", Hazardous materials control research institute, Silver Spring, MD.
- Fergusson, L., (1985). "The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects", Pergamon Press, Oxford. 614 pp.
- Krauskopf, K.P. and Dannis, K.B., (1995). "Introduction to geochemistry", Third edition, McGraw-Hill.
- McBride, M.B. (1994). "Environmental Chemistry of Soils", Oxford University Press, New York. 406 pp.
- Netherlands Ministry of Housing, (1991). "Environmental quality standards for soils and waters", Ministry of Housing, Physical planning and environment.
- Sonia Maria, B.O., Paulo Sergio, C.S., Barbara, P.M., Deborah, I.T.F., Catia, H., (2007). "Rare earth elements as tracers of sediment contamination by phosphogypsum in the Santos estuary, southern Brazil", Applied Geochemistry, Vol. 22, pp. 837-850.
- Thomas Jefferson national accelerator facility- office of science education, (2004). "It's elemental: Barium", education, Jlab.org/itselemental/ele056.html.
- U. S. Environmental Protection Agency, (2009). "Technical Factsheet on: BARIUM", EPA Ground Water & Drinking Water breadcrumb Technical Factsheet on BARIUM. htm.
- WHO (World Health Organization), (1990). "Barium", Environmental Health Criteria 107, Geneva,
- WHO Regional Office for Europe, (1987). "Who Regional Publications", European Series, No. 23.