

بررسی آنومالی آرسنیک موجود در منابع آب سد سهند

عطاالله ندیری^{۱*}، اصغر اصغری مقدم^۲، فریبا صادقی^۳، حسین آقایی^۴

۱- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشگاه تبریز

۲- استاد دانشکده علوم طبیعی، گروه زمین شناسی، دانشگاه تبریز Moghaddam@tabrizu.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه تبریز f.merko@gmail.com

۴- کارشناس ارشد آب زیرزمینی، گروه زمین شناسی، دانشگاه تبریز H.aghaee634@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۱۸

چکیده

سد سهند با حجم مخزنی ۱۳۵ میلیون متر مکعب در جنوب غرب شهرستان هشترود یکی از مهمترین سدهای استان آذربایجان شرقی محسوب می‌شود. این سد علاوه بر تأمین آب شرب و صنعتی شهرستان هشترود، آب کشاورزی حدود ۱۱ هزار هکتار از اراضی این منطقه را تأمین می‌کند. با توجه به اهمیت این منبع آبی از نظر کشاورزی، شرب و صنعت، طی ۸ سال اخیر (۱۳۸۱-۱۳۸۸) کیفیت آب مخزن سد و منابع آب سطحی و زیرزمینی مرتبط با آن مورد پایش قرار گرفته است. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل ۳۰۸ نمونه آبی به دست آمده که شامل تجزیه و تحلیل مشخصه‌های فیزیکی، عناصر اصلی، یون‌های فرعی و فلزات سنگین بود، آنومالی از آرسنیک در منطقه مشاهده شد. به طوری که در برخی از منابع آبی مرتبط با مخزن سد غلظت آرسنیک به ده برابر استاندارد جهانی (10ppb) نیز می‌رسد. هدف این تحقیق تعیین منشأ و بررسی هیدروشیمیایی آنومالی‌های موجود در آب انباشته شده در سد سهند و منابع سطحی و زیرزمینی مرتبط با آن است. بدین منظور از روش‌های گرافیکی و تجزیه به عوامل استفاده شد. این روش‌ها توانستند به کمک شواهد صحرایی و مطالعات زمین شناسی سه تیپ و پنج منشأ کلی برای منابع آبی منطقه شناسایی و پنج عامل اصلی مؤثر بر هیدروشیمی منطقه را مشخص کنند. بر اساس نتایج به دست آمده، تغلیظ آبی ترمالی آرسنیک در سازندهای میوسن می‌تواند منشأ اصلی آنومالی آرسنیک در منابع آبی منطقه باشد که نتایج هیدروشیمیایی نشان داد که جداسازی آن از منشأ و آزادسازی آن در منابع آبی، عموماً از طریق کمپلکس سازی یون بی‌کربنات صورت گرفته است.

کلید واژه

آب‌های سطحی و زیرزمینی، آنومالی آرسنیک، تجزیه به عوامل، روش گرافیکی و سد سهند

سر آغاز

فلزات سنگین و فلوراید، نیترات و غیره هستند. منشأ این مواد در آب می‌تواند طبیعی (عوامل زمین شناسی) و غیر طبیعی (فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی و پساب‌ها، معدنکاری و غیره) باشد (Dragon, 2006; Jiang, et al., 2009). با توجه به سمی بودن غلظت بالای فلزات سنگین اخیراً مطالعات فراوانی روی این عناصر در منابع آب صورت گرفته است (Manzoor, et al., 2006). از میان فلزات سنگین غلظت بالای سرب، روی، آهن، منگنز، کادمیم، مس، نیکل و کرم در منابع آبی گزارش شده است (HawaBili, et al., 2006). آرسنیک به طور گسترده‌ای در سنگ، خاک، ارگانسیم‌ها، پساب‌ها و غیره یافت می‌شود، بنابراین این عنصر که غلظت بالای آن در آب آشامیدنی باعث ایجاد زخم‌های پوستی، بیماری‌های عروق محیطی، فشارخون، بیماری پای سیاه^۱ و خطر

در دهه اخیر بررسی کیفیت منابع آبی و به تبع آن آنومالی‌های هیدروشیمیایی موضوع بسیاری از مطالعات هیدروژئولوژیکی بوده است (Copertino, et al., 1998; Simeonove, et al., 2003; Singh, et al., 2004; Ouyang, et al., 2006; Nori, et al., 2010). از نظر هیدروشیمیایی مواد تشکیل دهنده غیرآلی منابع آبی را می‌توان در سه دسته کلی دسته بندی کرد: (۱) یون‌هایی اصلی با غلظت بیشتر از ۵ میلی گرم بر لیتر، (۲) یون‌هایی فرعی با غلظت ۰/۰۱ تا ۱ میلی گرم بر لیتر، (۳) یون‌هایی کمیاب با غلظت کمتر از ۰/۰۱ میلی گرم بر لیتر (Davis and Dawiest, 1966). از این میان مهمترین و تأثیر گذارترین مواد تشکیل دهنده آب بر سلامتی انسان یون‌هایی فرعی و کمیاب هستند که عموماً شامل

پایش که شامل یون‌های اصلی، فرعی و کمیاب مبین وجود آنومالی‌های هیدروشیمیایی مانند آرسنیک در این منابع آبی بود. این تحقیق سعی در بررسی چگونگی توزیع آنومالی آرسنیک موجود و منشاء آن برای مقابله و کاهش این آنومالی دارد.

مواد و روشها

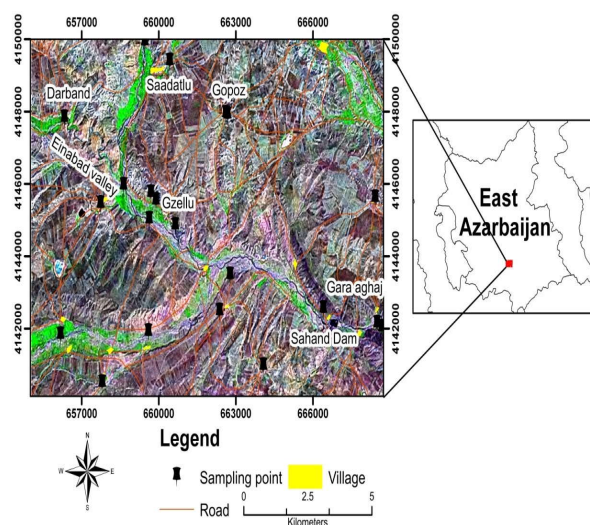
موقعیت منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه در شمال غرب کشور، در استان آذربایجان شرقی و در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری غرب شهرستان هشترود با مختصات UTMX=644000 تا X=677000 طول شرقی و Y=4134000 تا Y=4155000 عرض شمالی قرار گرفته است.

در ضمن محدوده مورد مطالعه در جنوب کوه‌های آتشفشانی سهند واقع و به شدت از آتشفشان سهند متأثر شده است. شکل شماره (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

محدوده از نظر تقسیمات هیدروژئولوژیکی در حوضه آبریز دریای خزر و زیر حوضه سفید رود است.

رودخانه‌های مهم منطقه شامل قرنقو، آمالو، هشترود چای (آغبلاغ)، شورچای، کلکان چای، ینگلی چای، جنید و مغایر است که این هشت رودخانه که از رشته کوه سهند سرچشمه می‌گیرند باعث شده که این منطقه را هشت رود بنامند. سد سهند در ادامه محل تلاقی دو رودخانه قرنقو و آمالو احداث شده است.



شکل شماره (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل های

نمونه برداری

بالای انواع سرطان‌ها می‌شود (پورفیسی و همکاران، ۱۳۸۶)، می‌تواند به‌وفور در منابع آبی ظاهر شود. غلظت بالای آرسنیک در منابع آب بسیاری از نقاط جهان مانند بنگلادش، هند، نپال، تایلند، چین، تایوان، ویتنام، شیلی، قسمت‌هایی از آمریکا و بعضی قسمت‌های اروپا (رومانی، صربستان، مونته‌نگرو، مجارستان) دیده شده است (Smedley and Kinniburgh, 2002; Garcia-Sanchez and Alvarez-Ayuso, 2003). آرسنیک در طبیعت می‌تواند ظرفیت‌های ۰، ۳-، ۳+ و ۵+ را اختیار کند که به دو صورت آلی و غیرآلی ظاهر می‌شود.

فرم معمول آرسنیک در منابع آب، آرسنات (AsO_4^{-3}) و آرسنیت (AsO_3^{-3}) است. آرسنیک در بدن انسان به طور غیرآلی و سه ظرفیتی سمی‌تر از حالت آلی و ظرفیت‌های دیگر است (Bhattacharyya, et al., 2003).

غلظت بالای آرسنیک در منابع آب عموماً منشأ طبیعی داشته و وابسته فرایندهای هیدروژئولوژیکی منطقه است. سازوکار اصلی ورود آرسنیک به فاز آبی، فاز هیدروکسیدی آهن و منگنز و سولفیدی کانی‌های آرسنیک دار است (Zheng, et al., 2004). بر اساس استاندارد آژانس حفاظت محیطی آمریکا (USEPA, 2001) و سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2004) سطح حداکثر آرسنیک در منابع آب طبیعی ۱۰ ppb مقرر شده است.

با این حال، هنوز استاندارد داخلی ایران ۵۰ ppb است. که این مقدار از نظر سازمان بهداشت جهانی نیز میزان بالایی محسوب می‌شود، و سلامتی افراد را تهدید می‌کند. هدف این تحقیق بررسی آنومالی آرسنیک در آب انباشته شده در مخزن سد سهند و منابع آبی مرتبط با آن است.

این سد به منظور ایجاد مخزنی به حجم ۱۳۵ میلیون متر مکعب بر روی شاخه اصلی رودخانه قرنقوچای و قبل از اتصال آن با رودخانه کلکان و با هدف توسعه کشاورزی در بخشی از اراضی جنوب غرب شهرستان هشترود صورت پذیرفته است. وسعت این اراضی حدود ۱۱ هزار هکتار است به علاوه تأمین آب شرب و صنعتی شهرستان هشترود نیز به میزان ۶ میلیون متر مکعب در سال تأمین می‌شود.

بر این اساس برای پایش این منابع آبی سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و گروه زمین‌شناسی دانشگاه از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸ اقدام به نمونه‌برداری از آب انباشته شده در مخزن سد و منابع آب سطحی و زیر زمینی مرتبط با آن کردند. نتایج حاصل از این

می‌شود که در بعضی از آنها نظیر گل تپه، چشمه‌های آهکی هم اکنون نیز در جریان است. این پهنه‌های تراورتنی عموماً در امتداد گسل‌ها شکل گرفته اند و ضخامت آنها گاهی به چندین متر می‌رسد. به طور کلی از نظر هیدروژئولوژیکی سازندهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه به دو بخش مهم تقسیم می‌شوند: ۱- نهشته‌های سازند قرمز فوقانی: نهشته‌های این سازند از نوع تخریبی بوده و به لحاظ این که دریای آن کم عمق بوده است، رسوبات تخریبی گچ و نمک بویژه در بخش زیرین آن به فراوانی دیده می‌شود، به همین دلیل آب‌های جاری و چشمه‌هایی که در این سازند ایجاد شده‌اند املاح گچی و نمکی فراوان دارند. لایه‌های این سازند در همه جای این منطقه شیبدار و چین خورده وجود دارد و در آنها گسل‌های کوچک و بزرگ فراوانی به چشم می‌خورد (آقایی، ۱۳۸۸). ۲- نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌های توده آتشفشانی سهند: گدازه‌های سهند و نهشته‌های آذرآواری آن، بخش وسیعی از گستره مورد بررسی را می‌پوشاند در گستره مورد بررسی حوضه آبریز قرنقو، تنها گدازه‌های داسیتی و کوارتز- آندزیتی آن است این گدازه‌ها به صورت قله‌های پراکنده آتشفشانی به صورت منفرد یا مختلط در ناحیه، دیده می‌شوند.

گسل‌های مهم منطقه، گسل گورچینلو و گسل دشمنلو هستند که امتداد آنها شمال غربی - جنوب شرقی است (شکل شماره ۲). با این وجود گسل‌ها و شکستگی‌های کوچک فراوانی بخصوص در شمال غرب منطقه دیده می‌شود (شکل شماره ۲).

هواشناسی و هیدرولوژی

عوامل آب و هوایی (درجه حرارت، بارندگی، رطوبت نسبی هوا و تبخیر)، به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر منابع آب تأثیر می‌گذارند. به منظور بررسی تأثیر این عوامل در منطقه مورد مطالعه از آمار دراز مدت تبخیر، درجه حرارت، ساعت آفتابی و رطوبت نسبی ایستگاه‌های هشترود، سهند، مراغه استفاده شده است (جدول شماره ۱). با توجه به مشخصه‌های ارائه شده در جدول شماره ۱(و بر اساس اقلیم نمای آمبرژه، اقلیم منطقه نیمه خشک سرد است.

بررسی داده‌ها

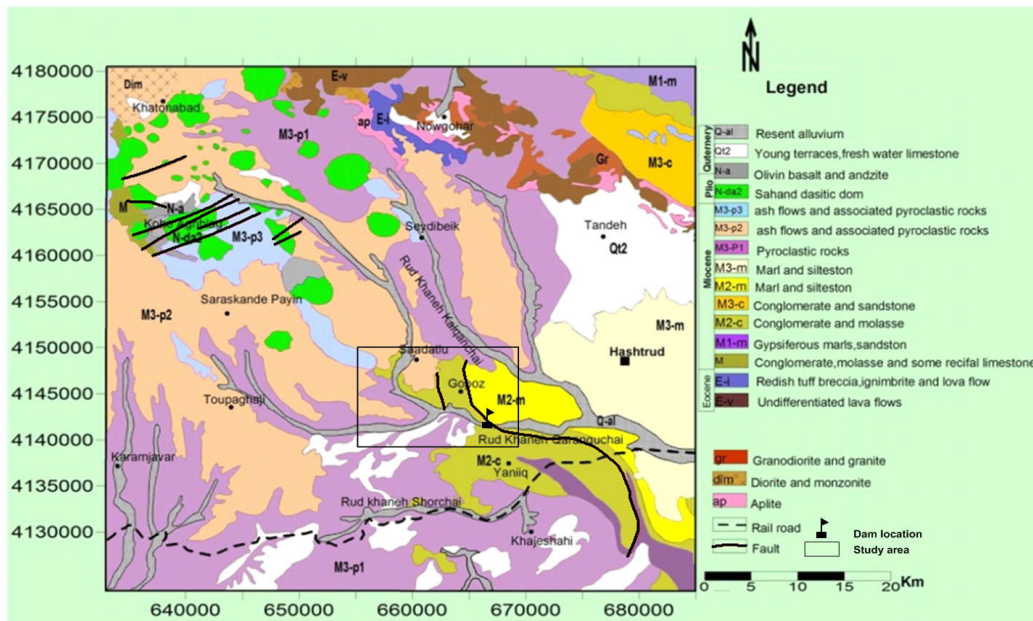
به منظور بررسی هیدروشیمیایی منابع آبی منطقه مطالعاتی از اواسط سال ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۸۸ نمونه‌برداری از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی، مخزن سد و خروجی آن انجام شده است و تا کنون نیز این پایش ادامه دارد.

این سد از نوع هسته خاکی با هسته ناتراوای میانی بوده، طول تاج سد ۴۰۵ متر و عرض آن ۱۰ متر و ارتفاع سد از بستر پی نیز ۳۶ متر است. این سد ۶ روستا با جمعیت حدود ۱۰۰۰ نفر و جمعاً ۳۲۰ هکتار اراضی زراعی را زیر آب برده است. وسعت حوضه آبریز رودخانه قرنقوچای در حدود ۸۲۰ کیلومتر مربع است. جریان رودخانه قرنقو از ارتفاعات کوه سهند به بلندی ۳۵۴۲ متر شروع شده و تا محل ساختگاه به ارتفاع ۱۵۶۰ متر، مسافتی بالغ بر ۵۱ کیلومتر را می‌پیماید. بخش عمده مسیر رودخانه آلمالو در بستر آن از سازندهای قرمز بالایی تشکیل شده است. عبور آب از این سازند، باعث افت کیفیت آب رودخانه می‌شود.

زمین‌شناسی منطقه

بر اساس تقسیم‌بندی ایران به واحدهای مهم تکتونیکی، این منطقه بخشی از البرز است که پی سنگ پرکامبرین با رسوبات اینفراکامبرین و پالئوزوئیک در آن گسترش زیادی داشته است اما رسوبات مزوزوئیک و سنوزوئیک در برخی نقاط آن ضخامت زیادی دارند. به طور کلی با تلفیق نظریات مختلف، محدوده مورد مطالعه بیشتر مربوط به زون البرز غربی - آذربایجان است (آقنابتی، ۱۳۸۳). قدیمی‌ترین سنگی که در این حوضه دیده می‌شود مربوط به پرکامبرین در کوه دامان داغ در جنوب غربی ناحیه است. بر روی این شیست‌های پرکامبرین، شیست‌های سبز کهر، که مربوط به قسمت بالای پرکامبرین است قرار دارد و سپس سازندهای بایندور، سلطانیه، باروت، لالون و میلا به ترتیب بر روی آن قرار دارند. رسوبات سازند الیکا و شمشک با کنتاکت گسلی در مقابل سنگ‌های دوران اول قرار گرفته اند.

از تشکیلات متعلق به دوره ژوراسیک می‌توان به شیل و ماسه سنگ اشاره کرد. از سنگ‌های دوره ائوسن جریان‌های لاوا، سنگ‌های آهکی و مارنی متعلق به تشکیلات زیارت و گنگلومرا و سنگ آهک قرمز متعلق به تشکیلات فجن و بالاخره ریولیت و لاتیت از نوع پورفیری در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شوند. از تشکیلات قرمز فوقانی دو رخنمون در شمال شرقی محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود و رخنمون‌های سنگ‌های پیروکلاستیک و خاکسترهای همراه با سنگ‌های پیروکلاستیک بیشتر محدوده مورد مطالعه را پر کرده‌اند که به کمپلکس رسوبی و آتشفشانی سهند تعلق دارند. در آخر جدیدترین نهشته‌ها عبارتند از نهشته‌های آبرفتی که عموماً در حاشیه رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند و در اطراف روستاهای گل تپه و سعادتلو پهنه‌های کم وسعتی از سنگ‌های تراورتنی دیده

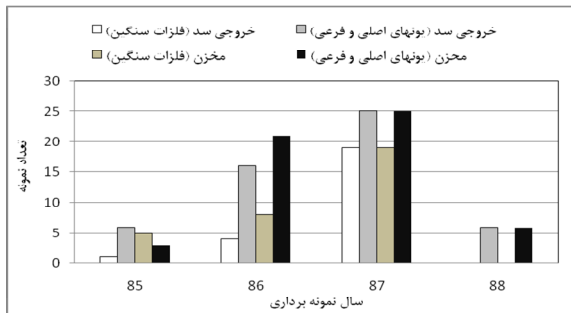


شکل شماره (۲): نقشه زمین شناسی منطقه و محدوده محل های نمونه برداری

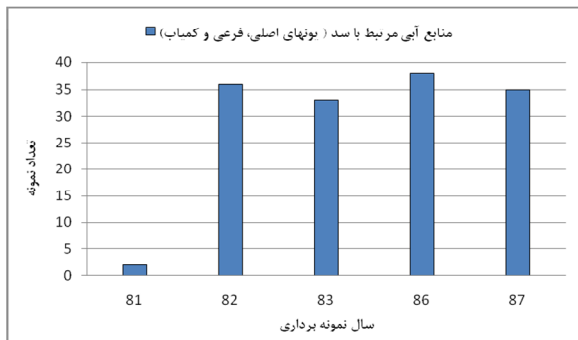
جدول شماره (۱): متوسط سالانه مشخصه های هیدرولوژیکی و هواشناسی منطقه مطالعاتی

جدول شماره (۱): متوسط سالانه مشخصه های هیدرولوژیکی و هواشناسی منطقه مطالعاتی

مشخصه ها	محل ایستگاه		
	هشتگرد	سپهند	مراغه
دمای	۸/۸۹	۷/۶۸	۱۴/۲۲
تبخیر از تشتک	۱۵۱۸/۹	۱۱۵۹/۸	۲۰۰۹/۸
رطوبت	۴۹/۱۴	۶۵/۵۲	۵۱/۵۴
ساعات آفتابی	۲۵۷/۷۷	۲۴۰/۱۶	۲۴۰/۹۳
بارش	-	-	۳۲۵/۹



الف



ب

شکل شماره (۳): نمونه های اخذ شده از منابع آبی منطقه

مطالعاتی، الف) نمونه های مخزن و خروجی سد، ب) نمونه های آب سطحی

و زیرزمینی.

این نمونه برداری ها در دو ظرف مجزای یک لیتری پلاستیکی (پلی اتیلنی) برای تجزیه و تحلیل عناصر اصلی، فرعی و کمیاب صورت گرفت. برای نمونه برداری برای تجزیه و تحلیل عناصر کمیاب که عموماً شامل فلزات سنگین است، با اضافه کردن اسید نیتریک غلیظ به هر یک از ظروف نمونه برداری pH آب به ۲ رسانده شد. این نمونه ها در آزمایشگاه های آشناسی دانشگاه تبریز، آب منطقه ای آذربایجان شرقی و شرکت آب فاضلاب استان تهران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. کلاً ۳۰۸ نمونه در طی ۸ سال (۱۳۸۱-۱۳۸۸) از منابع منطقه اخذ شده است که به تفکیک در شکل شماره (۳) ارائه شده است. مشخصه های تجزیه و تحلیل شده شامل مشخصه های فیزیکی (EC, pH, COD, BOD) و مشخصه های شیمیایی بودند. مشخصه های شیمیایی نیز شامل یون های اصلی، Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , CO_3^{2-} , HCO_3^{-}

هم که احتمال جایگزینی متقابل را دارند، مانند آهن و منگنز، سدیم و پتاسیم و کلسیم و منیزیم و نیز یون‌هایی که می‌توانند تحت تأثیر تعویض یونی قرار گیرند مانند کلسیم و سدیم مشاهده کرد. بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی تمام مشخصه‌ها به جز آرسنیک کمتر از حد مجاز است. مقادیر آرسنیک در آب مخزن سد و منابع سطحی و زیرزمینی مرتبط با آن در شکل شماره (۴) ارائه شده است.

علاوه بر نمونه‌های آبی، نمونه‌هایی از سنگ‌ها و رسوبات منطقه جهت تهیه مقاطع میکروسکوپی و انجام مطالعات پتروگرافیکی تهیه شد که در بخش بررسی منشاء آرسنیک به تفصیل بحث خواهد شد.

برای به‌دست آوردن ماتریس همبستگی از همبستگی اسپیرمن که مستقل از نوع توزیع داده‌ها است، استفاده شد. ماتریس همبستگی رسم شده توسط نرم افزار برای متغیرها نشان می‌دهد که همبسته ترین مشخصه‌ها با آرسنیک به ترتیب عبارت است از یون‌های فسفات، سدیم، بی کربنات و کلراید است (جدول شماره ۳). در این تحقیق همبستگی‌های بالاتر از ۰/۵ به عنوان همبستگی بالا انتخاب و پررنگ نشان داده شده اند. بالاترین همبستگی‌ها بین مشخصه‌ها عموماً مربوط به کاتیون‌ها و آنیون‌های مرتبط است. به طوری که کلسیم و منیزیم و سدیم همبستگی بالایی با آنیون‌های مرتبطی مثل سولفات، کلراید و بی کربنات نشان می‌دهند. همچنین می‌تواند همبستگی بالایی بین یون‌هایی با شعاع یونی نزدیک به

جدول شماره (۲): خصوصیات آماری داده های هیدروشیمیایی.

Parameter	Unit	Minimum	Maximum	Mean	Std/ Deviation	Skewness	Kurtosis
Fe	ppb	۰/۰	۲۰۸/۷۸	۵۴/۰۷	۴۳/۸۴	۰/۹۰	۱/۶۴
Mn	ppb	۲/۷۰	۲۱۱/۳۷	۳۹/۳۴	۳۶/۴۸	۲/۴۶	۹/۰۱
AS	ppb	۰/۰۰	۱۴۴۰	۱۷۱/۶۸	۲۶۵/۲۲	۲/۸۷	۱۰/۰۷
Zn	ppb	۱۱/۹۷	۲۱۷۰/۶۵	۴۴/۳۴	۴۰/۶۶	۳/۱۲	۱۰/۱۰
Cd	ppb	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	ppb	۹/۱۸	۳۴/۱۱	۱۳/۳۶	۴/۳۴	۴/۰۷	۱۷/۴۰
Cu	ppb	۴/۶۶	۱۴/۶۰	۹/۶۱	۳/۰۱	۰/۰۳	-۱/۲۵
PO ₅ -3	mg/L	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۳	۱/۱۶	۳/۶۴
NO ₃ ⁻	mg/L	۰/۲۵	۶/۱۰	۱/۷۱	۱/۳۲	۱/۰۸	۱/۰۴
NH ₄ ⁻	mg/L	۰/۰۶	۲/۲۰	۰/۳۶	۰/۴۲	۳/۰۱	۹/۹۶
SiO ₂	mg/L	۱۴/۴۶	۱۲۰/۴۸	۵۳/۵۶	۲۶/۲۵	۰/۷۹	-۰/۰۴
F	mg/L	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۷۶	-۰/۰۷
K ⁺	mg/L	۰/۰۴	۳۳/۳۶	۱/۱۴	۳/۶۰	۷/۶۱	۶۴/۸۸
Na ⁺	mg/L	۰/۴۲	۱۸۵/۹۴	۶/۲۴	۱۹/۴۶	۹/۰۶	۸۴/۳۷
Mg ⁺²	mg/L	۰/۳۰	۴۲/۳۹	۲/۵۶	۵/۰۲	۶/۰۹	۴۵/۱۷
Ca ⁺²	mg/L	۱/۳۵	۴۴/۸۲	۳/۵۸	۴/۵۷	۸/۵۶	۷۷/۷۵
SO ₄ ⁻²	mg/L	۰/۱۲	۱۳/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۶	۵/۵۵	۳۹/۶۴
CL ⁻	mg/L	۰/۰۹	۲۷۴/۹۱	۶/۶۶	۲۸/۸۶	۹/۳۴	۸۶/۶۹
HCO ⁻²	mg/L	۰/۹۵	۱۲/۸۰	۳/۱۵	۱/۷۵	۳/۱۶	۱۳/۰۱
CO ₃ ⁻	mg/L	۰/۰۰	۱	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۵۵	-۰/۳۲
COD	mg/L	۵	۶۱	۲۱/۸۴	۱۰/۱۸	۱/۱۵	۲/۵۸
BOD ₅	mg/L	۰/۷۰	۸/۶۰	۳/۰۴	۱/۵۲	۱/۴۲	۲/۸۶
EC	μmoh/cm	۲۵۶	۲۷۰۰۰	۱۱۴۱	۲۸۳۰	۸/۹۷	۸۲/۶۶
pH		۶/۹	۹/۱۰	۸/۲۰	۰/۴۶	-۰/۸۴	-۰/۳۷

جدول شماره (۳): ماتریس همبستگی بین مشخصه‌های هیدروشیمیایی

Parameter	Fe	Mn	AS	Zn	Pb	Cu	COD	BOD5	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	CL ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	EC	pH	
Fe	۱																					
Mn	۰/۶۲	۱																				
AS	-۰/۳	-۰/۳۷	۱																			
Zn	-۰/۰۵	-۰/۴	-۰/۱۲	۱																		
Pb	-۰/۱۹	-۰/۳۷	-۰/۱۵	-۰/۰۵	۱																	
Cu	-۰/۴۲	-۰/۰	-۰/۱۶	-۰/۴۴	-۰/۴۸	۱																
COD	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۰	-۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۱۹	۱															
BOD	-۰/۳۸	-۰/۰۴	-۰/۳۲	-۰/۳۱	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۳۳	۱														
PO ₄ ³⁻	-۰/۳۱	-۰/۰۱	-۰/۳۴	-۰/۴	-۰/۳۷	-۰/۳۱	-۰/۳	-۰/۳۲	۱													
NO ₃ ⁻	-۰/۰۱	-۰/۰۹	-۰/۰	-۰/۳۳	-۰/۳۶	-۰/۰۳	-۰/۳	-۰/۱۴	-۰/۳۱	۱												
NH ₄ ⁺	-۰/۱۴	-۰/۰۵	-۰/۱۹	-۰/۱۲	-۰/۱۷	-۰/۳۴	-۰/۱۷	-۰/۱۴	-۰/۲۰	-۰/۵۹	۱											
K ⁺	-۰/۲۶	-۰/۲۷	-۰/۰۵	-۰/۴۵	-۰/۱۲	-۰/۱۴	-۰/۰۷	-۰/۰۴	-۰/۴۲	-۰/۶۲	-۰/۵۲	۱										
Na ⁺	-۰/۳۳	-۰/۱۱	-۰/۳۲	-۰/۴۳	-۰/۱۸	-۰/۰۳	-۰/۶	-۰/۳۲	-۰/۴۱	-۰/۵۳	-۰/۳۵	-۰/۶۲	۱									
Mg ²⁺	-۰/۵	-۰/۰	-۰/۰	-۰/۲۹	-۰/۲	-۰/۳۲	-۰/۵۹	-۰/۰۶	-۰/۲۸	-۰/۵۷	-۰/۴۶	-۰/۶۴	-۰/۸۵	۱								
Ca ²⁺	-۰/۳۵	-۰/۱۶	-۰/۲۸	-۰/۳۷	-۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۷۲	-۰/۱۵	-۰/۲۹	-۰/۳۵	-۰/۲۴	-۰/۴۹	-۰/۹۵	-۰/۸۱	۱							
SO ₄ ²⁻	-۰/۲۲	-۰/۲	-۰/۱۸	-۰/۴۵	-۰/۲۴	-۰/۰۵	-۰/۵۵	-۰/۱۱	-۰/۴۶	-۰/۶۴	-۰/۴۶	-۰/۶۷	-۰/۹۷	-۰/۸۵	-۰/۸۸	۱						
CL ⁻	-۰/۴	-۰/۰۹	-۰/۳۰	-۰/۴۲	-۰/۱۶	-۰/۰۸	-۰/۶	-۰/۳۲	-۰/۴۰	-۰/۵۵	-۰/۳۹	-۰/۶۷	-۰/۹۹	-۰/۸۹	-۰/۹۴	-۰/۹۵	۱					
HCO ₃ ⁻	-۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۳۰	-۰/۲۸	-۰/۰۹	-۰/۰۱	-۰/۶۸	-۰/۲۶	-۰/۱۳	-۰/۰۴	-۰/۰۲	-۰/۲۰	-۰/۷۹	-۰/۵۸	-۰/۸۸	-۰/۶۸	-۰/۷۵	۱				
CO ₃ ²⁻	-۰/۰۳	-۰/۳۸	-۰/۲۷	-۰/۳۷	-۰/۱۸	-۰/۰۲	-	-۰/۳۴	-۰/۲۸	-۰/۱۰	-۰/۱۳	-۰/۲	-۰/۶۱	-۰/۲۸	-۰/۶۱	-۰/۵۸	-۰/۵۴	-۰/۸۲	۱			
EC	-۰/۳۵	-۰/۱۱	-۰/۲۸	-۰/۴۱	-۰/۱۷	-۰/۰۶	-۰/۶۴	-۰/۱۹	-۰/۳۸	-۰/۵	-۰/۳۵	-۰/۶۱	۱	-۰/۸۸	-۰/۸۷	-۰/۹۶	-۰/۹۹	-۰/۸۱	-۰/۵۹	۱		
pH	-۰/۱۰	-۰/۳۲	-۰/۲۱	-۰/۳۹	-۰/۲۳	-۰/۱۰	-۰/۵	-۰/۲۶	-۰/۱۵	-0/02	-۰/۱۴	-۰/۳	-۰/۷۱	-۰/۴۸	-۰/۷۲	-۰/۶۶	-۰/۶۵	-۰/۹	-۰/۹۳	-۰/۷۱	۱	

بررسی هیدروشیمیایی منابع آب

در این دسته داده افزون بر عناصر اصلی و سیلیس، EC، pH، یون‌های فرعی (F, NO₃⁻) و فلزات سنگین (Fe, As) تجزیه شده‌اند. دیاگرام‌های استیف می‌توانند در مقایسه نمونه‌ها برای به‌دست آوردن منشأ آنها راه حلی مفید و سریع باشند، به طوری که در این دیاگرام‌ها اختلاف بین تجزیه و تحلیل‌های شیمیایی متفاوت به خوبی نشان داده می‌شود (Hounslow, 1995). نمودارهای استیف رسم شده نشانگر پنج منشأ کیفی برای نمونه‌ها است شکل شماره (۵الف) دیاگرام‌های استیف را برای چند نمونه انتخابی که مبین نمونه‌ای از هر مجموعه است، ارائه می‌دهد.

در این تحقیق به منظور بررسی دقیق هیدروشیمی منطقه و منشأ آنومالی‌های موجود از روشهای گرافیکی و آماری چند متغیره استفاده شد. روشهای گرافیکی شامل دیاگرام‌های مثلثی مانند پاپیر، دروو و دیاگرام‌های الگویی^۲ مانند استیف، دایره ای، ستونی و غیره، یکی از روشهای معمول در بررسی‌های هیدروشیمیایی است، بدین منظور از داده‌های اخذ شده از منابع آبی مرتبط با مخزن در آب‌انماه سال ۸۷ استفاده شد.

دسته C1 نشان‌دهنده اختلاط در نمونه‌هاست و دسته‌های C3، C4 و C5، به ترتیب مبین منشأ آذرین، آهکی و ژئوسی نمونه‌هاست. در نهایت دسته C2 که خصوصیاتش شبیه آب دریا نشان می‌دهد که عموماً نشان‌دهنده تأثیر لایه‌های نمک دار مارنی منطقه بر این دسته از نمونه‌ها است.

دیگرام‌های دایره‌ای و استیف برای مقایسه سریع ترکیب شیمیایی نمونه‌های مجزا مفید هستند اما برای ارائه گرافیکی تعداد زیادی از نمونه‌ها دیگرام‌های مثلثی مناسب هستند (Freeze & Cherry, 1979).

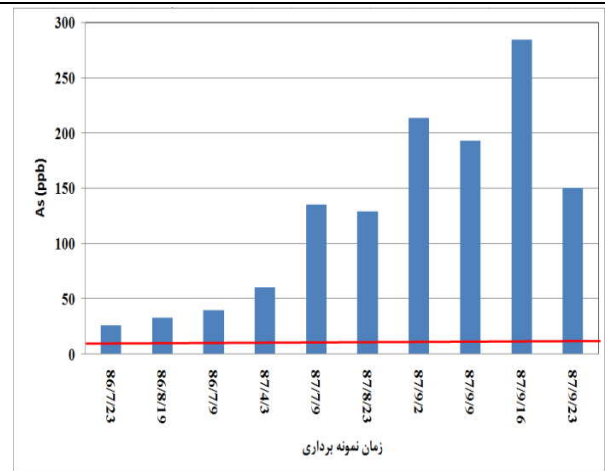
شکل شماره (۵) (ب) دیگرام پایپر را برای این نمونه‌ها نشان می‌دهد. براساس دیگرام پایپر آب زیرزمینی در منطقه از سه تیپ مختلف است، که بر روی دیگرام به تفکیک مشخص شده‌اند. روش بعدی که برای بررسی هیدروشیمی منطقه استفاده شد روش تجزیه به عوامل بود. بدین منظور همانند روش گرافیکی از داده‌های اخذ شده از منابع آبی مرتبط با مخزن در آبانماه سال ۸۷ استفاده شد. اولین مرحله در این روش استاندارد کردن مشخصه‌هاست که برای تمام مشخصه‌ها صورت گرفت.

این کار به منظور غلبه بر مشکل متفاوت بودن واحدهای متغیرها می‌باشد. مرحله بعدی، به دست آوردن عوامل از مشخصه‌های مورد استفاده است. سپس برای انجام تجزیه از میان روش‌های مختلف روش اجزای اصلی^۳ مورد استفاده قرار گرفت. جدول شماره (۳) مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی را نشان می‌دهد. بر این اساس ۵ عامل مؤثر که مقادیر ویژه‌ای بیشتر از یک دارند به عنوان عوامل اصلی شناسایی شده‌اند که ۷۹ درصد از تغییرات کل را شامل می‌شود.

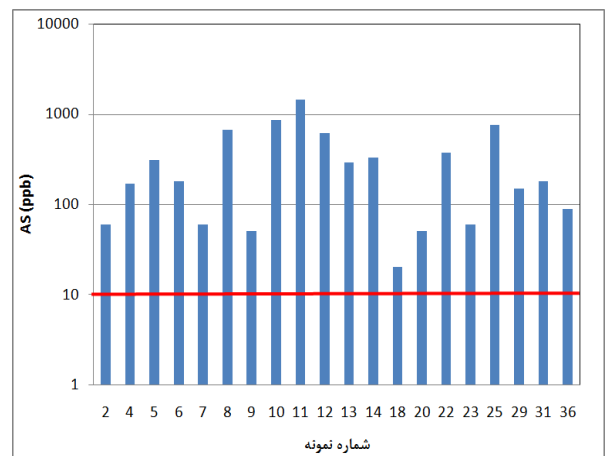
درصد واریانس هر یک از مشخصه‌ها نشان از اهمیت آن مشخصه در هیدروشیمی منطقه دارد. بنابراین، از این میان سه عامل اول به نسبت بیشترین واریانس را شامل می‌شوند.

جدول شماره (۴) ماتریس عوامل این پنج عامل را نشان می‌دهد. ضرایب بالای (۱ تا -۱) مشخصه‌های به دست آمده (مثبت یا منفی) که تشکیل دهنده هر یک از عوامل هستند نشان‌دهنده تأثیر بالای آن متغیر (مثبت یا منفی) است.

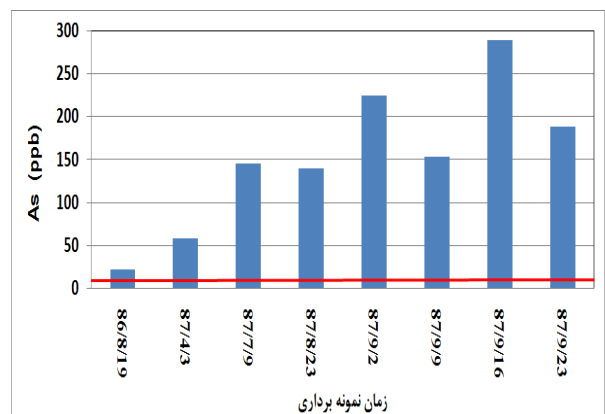
بر این اساس مشخصه‌های مؤثر در عامل اول شامل یون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلراید، بی کربنات و هدایت الکتریکی است. مشخصه‌های مؤثر در دومین عامل عبارت بودند از: یون‌های آرسنیک، آهن، کربنات، فلوئورید و نیترات.



الف



ب



ج

شکل شماره (۴): مقادیر آرسنیک منطقه مطالعاتی، الف) منابع آبی مرتبط (نمونه‌هایی با آرسنیک کمتر از حد آشکارسازی ذکر نشده‌اند) ، ب) مخزن، ج) خروجی سد (خط قرمز نشانگر حد استاندارد است).

- عامل اول نشان دهنده روند عمومی آبهای زیرزمینی که با افزایش مواد محلول و هدایت الکتریکی همراه است که می توان آن را عامل زمین شناسی^۴ نامید.

- عامل دوم را که مشخصه های مؤثر آن آرسنیک، بیکرینات، نیترات و فلوراید به طور مثبت و آهن به طور منفی است، مبین عامل افزایش آرسنیک در منابع آب^۵ است، که چگونگی انجام این فرایند در بخش آزاد شدن آرسنیک به منابع آبی در منطقه توضیح داده خواهد شد.

- عامل سوم مبین چگونگی افزایش آهن در منابع آبی منطقه اند.

- عوامل چهارم و پنجم نیز به ترتیب نشانگر تأثیر یون های سیلیس و فلوراید در منابع آبی منطقه هستند که تأثیر این دو عامل کم اهمیت است.

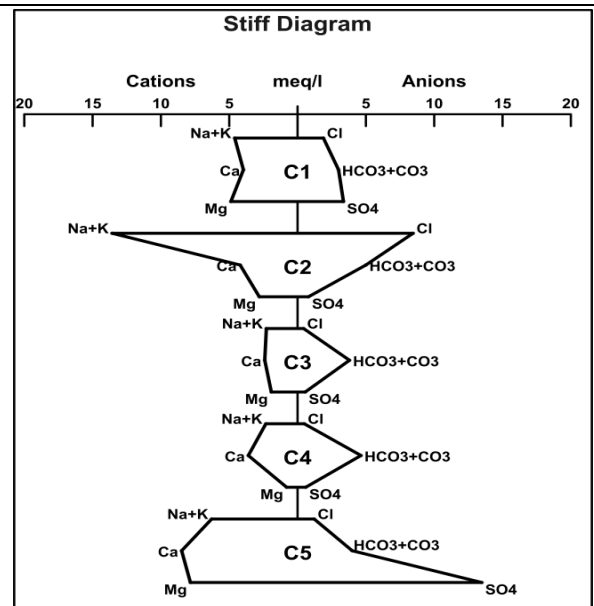
عامل دوم و سوم به وضوح می تواند چگونگی ظهور آنومالی آرسنیک در منابع آبی منطقه را نشان دهد.

بررسی منشأ آرسنیک

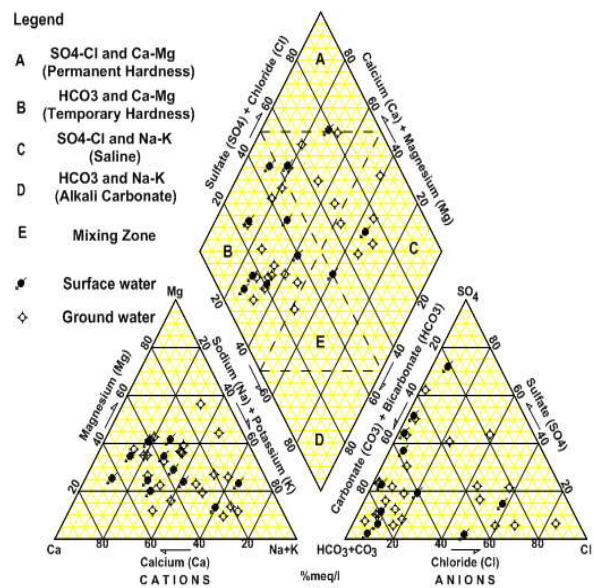
وجود مقادیر بالای آرسنیک در منابع آب عموماً از سازندهای منطقه منشأ می گیرد (Gurung, et al., 2005). بنابراین بر این اساس برای بررسی منشأ آنومالی آرسنیک در منابع آبی منطقه، مطالعات صحرایی و نمونه برداری از سازندهای موجود در مناطقی با آرسنیک بالا در منطقه صورت گرفت.

در مطالعات صحرایی شواهدی از سولفید آرسنیک در شکستگی ها و درز و شکاف آهک، مارن و ماسه سنگها و کنگلومرای قرمز فوقانی مشهود بود (شکل شماره ۶ الف و ب). در مقاطع تهیه شده نیز دو کانی اصلی سولفید قرمز رنگ آرسنیک (رآلگار) و سولفید زرد رنگ آرسنیک (اورپیمنت) که به ترتیب با ۷۰ و ۶۱ درصد آرسنیک مشاهده شد (شکل شماره ۶ ج و د). مطالعات اخیر نیز کانه سازی آرسنیک از نوع اپی ترمال در سازندهای فوق را مورد تأیید قرار داده اند (فتاحی، ۱۳۸۶).

با توجه به نتایج حاصل از بررسی های صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و بررسی های ژئوشیمیایی انجام شده در منطقه عوامل کنترل کننده و تمرکز کانه های آرسنیک دار در منطقه مربوط به ماگماتیسیم، دگرسانی و تکتونیک و تخلخل در منطقه است.



الف



ب

شکل شماره (۵): دیاگرام استیف و پایپر برای تمام نمونه های

آبناماه سال ۸۷، الف - استیف، ب - پایپر

مشخصه های مؤثر سومین عامل شامل یون های آهن، سولفات، اسیدیتنه، سیلیس و نیترات بودند. بر اساس مشخصه های مؤثر در هر عامل:

جدول شماره (۳): مقادیر واریانس عوامل اولیه

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
۱	۵/۳۷	۳۴/۴۹	۳۴/۴۹	۵/۱۹	۳۴/۶۲	۳۴/۶۲
۲	۲/۴۷	۱۵/۸۶	۵۰/۳۴	۲/۳۸	۱۵/۵۸	۵۰/۴۷
۳	۱/۹۱	۱۲/۲۵	۶۲/۶۰	۱/۸۳	۱۲/۲۳	۶۲/۷۰
۴	۱/۳۸	۸/۸۴	۷۱/۴۴	۱/۳۱	۸/۷۶	۷۱/۴۶
۵	۱/۱۴	۷/۳۰	۷۸/۷۳	۱/۱۰	۷/۳۴	۷۸/۸۰
۶	۰/۹۶	۷/۱۳	۸۴/۸۶			
۷	۰/۷۴	۴/۷۷	۸۹/۶۴			
۸	۰/۵۹	۳/۷۹	۹۳/۴۳			
۹	۰/۳۲	۲/۰۵	۹۵/۴۸			
۱۰	۰/۳۱	۲/۰۰	۹۷/۴۹			
۱۱	۰/۲۴	۱/۵۵	۹۹/۰۴			
۱۲	۰/۱۱	۰/۷۰	۹۹/۷۴			
۱۳	۰/۰۳	۰/۱۹	۹۹/۹۲			
۱۴	۰/۰۱	۰/۰۷	۹۹/۹۹			
۱۵	۰/۰۰	۰/۰۱	۱۰۰/۰۰			

جدول شماره (۴): ماتریس عاملها

parameter	Component				
	۱	۲	۳	۴	۵
Fe	۰/۰۹	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۱۱	۰/۳۷
AS	۰/۰۹	۰/۷۱	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۲۶
K ⁺	۰/۸۲	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۱۹
Na ⁺	۰/۹۱	۰/۳۰	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۰۹
Mg ⁺²	۰/۸۶	۰/۰۱	۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۲۳
Ca ⁺²	۰/۸۰	۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۲
SO ₄ ⁻²	۰/۳۹	۰/۰۰	۰/۶۱	۰/۰۶	۰/۰۹
Cl ⁻	۰/۸۶	۰/۳۷	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۱۰
HCO ⁻²	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۲۳	۰/۲۹	۰/۲۰
CO ₃ ⁻	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۰۴	۰/۵۳
EC	۰/۹۸	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳
pH	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۲۷
SiO ₂	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۵۰	۰/۶۷	۰/۳۷
F ⁻	۰/۳۱	۰/۶۶	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۵۱
NO ₃ ⁻	۰/۱۱	۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۱۷

وجود مقادیر زیادی از کانی‌های آبدار مانند آمفیبول و بیوتیت در توده آذرین منطقه مبین توانایی ماگما در تولید سیالات گرمایی است، با این وجود عموماً در کانسارهای اپی‌ترمال جزء متئوریک مهمتر از جزء ماگمایی است ولی شواهد ماگمایی حاکی از وجود جزء ماگمایی علاوه بر جزء متئوریک است که در ارتباط با دم‌های سه‌پند است که سازندهای فوق را تحت تأثیر قرار داده است و نیز در منطقه انواع دگرسانی‌های سیلیسی شدن، دولومیتی شدن، پیرییتی شدن، دکلسیفیکاسیون با شدت و ضعف مختلف دیده می‌شود که تمرکز آرسنیک بیشتر در ارتباط با زون‌های دگرسانی است.

در محدوده مطالعاتی شکستگی‌ها مهمترین کنترل کننده‌های ساختاری در امر تثبیت کانی‌های آرسنیک دار است. بر اساس شواهد صحرایی در شکستگی‌های آهک، مارن و ماسه سنگ‌ها و کنگلومرای قرمزفوقانی رخ داده است و نیز وجود بافت‌های پرکننده فضاهای خالی و بافت کلوپورم در این گونه رگه‌ها، مبین کانی سازی در حرارت و عمق کم است (فتاحی، ۱۳۸۶). وجود این شکستگی‌ها به عنوان معابری برای حرکت محلول‌های هیدروترمال تحت فشار بودند و در تمرکز کانی‌های آرسنیک دار نقش اساسی داشته‌اند به طوری که تمرکز آنها از راستا و توزیع گسلها تبعیت می‌کنند.

با وجود این که گسل‌های اصلی نقش کنترل کننده‌ای دارند، ولی این نوع کانی زایی عموماً در گسل‌های فرعی و شکستگی‌ها تشکیل شده است (Mitchel and Balse, 1990). بنابراین شکستگی‌ها و به طور کلی تکتونیک منطقه کنترل کننده توزیع و تمرکز کانی‌های آرسنیک دار است.

آزاد شدن آرسنیک به منابع آبی در منطقه

Kim و همکاران در سال ۲۰۰۰ گزارش کردند که بیکرنات باعث آزادسازی آرسنیک از کانی‌های سولفات به آب زیرزمینی می‌شود. اگرچه این فرایند در برخی مناطق مانند بنگلادش که سولفیدها منشأ اصلی آرسنیک منطقه نیست، تأثیر گذار به نظر نمی‌رسد ولی در محدوده مطالعاتی از فرایندهای اصلی به شمار می‌رود. به طوری که در آبهای کم عمق در شرایط اکسیدان و در حضور کانی‌های سولفات آرسنیک، مقدار آزادسازی آرسنیک از رسوبات سفره به آب زیرزمینی به مقدار بی کربنات سدیم وابسته است (Kim et al., 2000).

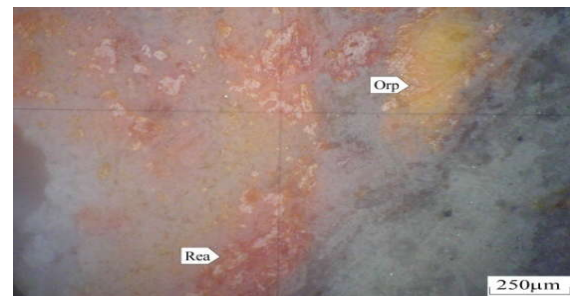
همبستگی بین آرسنیک و بی کربنات و سدیم مبین تأثیر فرایند فوق است. به طوری که در محلول‌های بیکرنات‌یون‌های بیکرنات می‌توانند HAsO_4^{2-} جذب شده روی



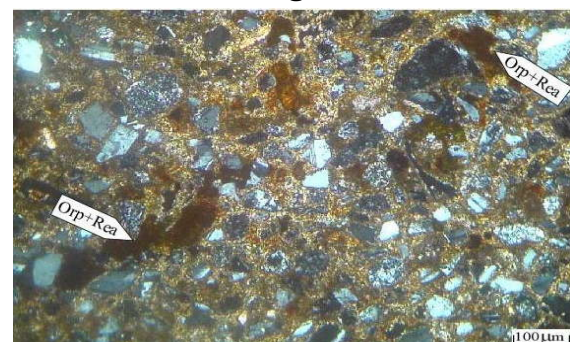
الف



ب



ج



د

شکل شماره ۶: عکس برخی از سازندهای آرسنیک‌دار و

مقاطع نازک آنها در منطقه مورد مطالعه، الف) سولفیدهای آرسنیک در داخل شکستگی‌های موجود در مارن‌های میوسن، ب) لایه زردرنگ حاوی سولفیدهای آرسنیک در داخل کنگلومرای سیاه رنگ آثاری از کانی‌سازی، ج) اورپیمنت و رالگار به صورت پراکنده و رگه‌ای در داخل حفرات ماسه سنگ پلی میکتیت، د) اورپیمنت و رالگار به صورت رگه‌ای و پراکنده در داخل سنگ آهکی در مقطع صیقلی (مقطع انعکاسی).

دانست. شرایط کاهشی در محیط‌های آبی احتمالاً بوسیله اکسید شدن مواد آلی حاضر در رسوبات بوجود می‌آیند (Ahmed, et al., 2004). بنابراین محیط‌های آبی متأثر از آلودگی مواد آلی، دارای غلظت بالایی از آرسنیک حل شده به عنوان نتیجه انحلال کاهشی کانی‌های سولفات آرسنیک است (Smedley and Nikson, et al., 2000; Kinnibargh, 2002). با توجه به همبستگی منفی آرسنیک با آهن و همبستگی نسبتاً پایین سولفات تأثیر این فرایند در آزادسازی آرسنیک در منابع آبی منطقه کم اهمیت به نظر می‌رسد.

جذب و آزاد شدن آرسنیک به اکسیدها، بیشتر به pH وابسته است. آرسنات ترجیحاً روی اکسیدهای آبدار با محدوده pH ۷-۴ جذب می‌شود در حالی که آرسنیت بیشتر در محدوده pH ۱۰-۷ جذب می‌شود جدایی آرسنات از هیدروکسیدها نیز از pH نزدیک ۸ شروع می‌شود بنابراین تغییرات pH کنترل کننده نوسانات مکانی و زمانی غلظت‌های As(V) و As(III) در آب زیرزمینی کم عمق است. به طوری که غالب بودن این گونه‌ها و توزیع آنها بین فاز جامد و مایع به طور عمده به شرایط pH و اکسیداسیون و احیا وابسته است و توانایی انحلال آرسنیک در نمونه‌های آبی محدوده مورد مطالعه با افزایش pH افزایش می‌یابد (Alvarez, et al., 2006).

Stute و همکاران در سال ۲۰۰۷ بر پایه اندازه‌گیری‌های غلظت آرسنیک آبهای زیرزمینی و سن آب زیرزمینی با داده‌های تریتیوم و هلیوم پیشنهاد کردند که میزان تغذیه سفره‌های کم عمق تر به عنوان یک عامل کنترل کننده در غلظت آرسنیک منابع آب زیرزمینی است به طوری که با افزایش تغذیه از میزان غلظت آرسنیک کاسته می‌شود.

در نتیجه هر چه سن آب نسبتاً زیاد باشد امکان وجود آرسنیک با غلظت بالا، در آن وجود خواهد داشت.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل ۳۰۸ نمونه آبی مقادیر بالایی از آرسنیک در منطقه مشاهده می‌شود که بیشینه مقدار آن در منابع آب زیرزمینی منطقه با بیش از ۱۰۰ برابر مقدار استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) است. روشهای گرافیکی و تجزیه به عوامل سه تیپ و پنج منشأ کلی برای منابع آبی منطقه شناسایی و پنج عامل اصلی مؤثر بر هیدروشیمی منطقه را مشخص کنند. عوامل افزایش آرسنیک و افزایش آهن می‌تواند در توضیح چگونگی

اکسی-هیدروکسیدهای سفره را، جایگزین کند (Garcia-Sanchez et al., 2005). رسوبات حاوی حجم نسبتاً بالایی از آرسنیک جذب شده در محیط‌های آب سطحی، با غلظت پایین کربنات ته‌نشین می‌شوند، در نتیجه رسوبات در معرض آب زیرزمینی با حجم بیکربنات حل شده بالا قرار گرفته و آرسنیک می‌تواند با جایگزینی از سطوح کانی‌ها، متحرک شود که این فرایند در pH بالا به صورت مطلوب‌تر، انجام می‌گیرد (Anawar, et al., 2004).

همچنین مقادیر فسفات و نترات در محلول با سازوکاری شبیه بی‌کربنات موجب تسهیل آزادسازی آرسنیک در محلول می‌شود (Cai, et al., 2002).

در این میان تأثیر هر یک از این آنیون‌ها در آزادسازی و توانایی تشکیل کمپلکس برای جداسازی آرسنیک جذب شده به سطح هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیم متفاوت است به طوری که بی‌کربنات سدیم با بالاترین توانایی و فسفات و نترات به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند (Anawar, et al., 2003). بالاترین همبستگی یون‌ها با آرسنیک مربوط به فسفات، سدیم و بی‌کربنات است که نشان دهنده تأثیر فرایندهای فوق در آزادسازی آرسنیک در منطقه است. یون‌هایی مانند آهن، منگنز و آلومینوم نیز در آزادسازی آرسنیک در آب اثر گذارند.

جذب آرسنیک (As(V)) روی سطوح کانی‌ها فرایند مهمی است که روی تحرک و تثبیت آرسنیک تأثیر می‌گذارد. گروه‌های هیدروکسی (بوپزه آهن و منگنز) روی سطح بیشتر کانی‌ها فراوان هستند و مکان‌های جذبی و واکنشی‌اند در نتیجه اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن ارتباطی قوی، با آرسنیک (As(V)) دارند (Pierce and Moore, 1982; Gustafsson and Jacks, 1995). تحت شرایط کاهش متوسط، توانایی انحلال آرسنیک می‌تواند با انحلال این اکسی-هیدروکسیدها کنترل شود.

اکسی-هیدروکسیدها به سه طریق بر آزادسازی آرسنیک مؤثر است: الف) انحلال لایه‌های حاوی آرسنیک که منجر به آزاد شدن آرسنیک می‌شود، ب) جذب آرسنیک روی اکسی-هیدروکسیدهای (ج) آزاد شدن آرسنیک تحت pH بالا. ولی حضور آهن در غلظت‌های خیلی زیاد، مانع از جدایش آرسنیک به آب شده و در نتیجه به عنوان جاذب عمل می‌کند. بنابراین همبستگی منفی بین آهن و منگنز و آرسنیک در نمونه‌های آبی قابل مشاهده است. تحرک آرسنیک را می‌توان به انحلال کاهشی اکسید-هیدروکسید آهن و آزاد شدن همزمان آرسنیک جذب شده و هم‌نهمی، مرتبط

البته با وجود مسدود سازی چشمه‌های موجود در مخزن سد که دیگر نمونه برداری و یا پایش آنها امکان‌پذیر نیست و خاکبرداری برخی خاکهای آلوده در دیواره سد نمی‌تواند از تأثیر آلاینده‌گی این دو مورد نیز چشم پوشی نمود. برای ارائه راهکارهایی برای حذف این آنومالی از منابع آبی نیاز به پایش مناطق مذکور به طور دقیق‌تر است که به عنوان ادامه پایش فوق در حال انجام است.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز که هزینه تجزیه و تحلیل نمونه‌ها را تأمین کردند و بنیاد ملی نخبگان ایران به دلیل حمایت‌های مالی تشکر و قدردانی می‌شود.

یادداشت‌ها

- 1-Black foot
- 2-Pattern diagrams
- 3-Principle component
- 4-Geogenetic
- 5-Arsenic contamination factor

فرایند افزایش آرسنیک راهگشا باشد. بر اساس مطالعات صحرایی و زمین شناسی انجام شده در منطقه منشاء آرسنیک در سازندهای زمین شناسی منطقه مربوط به تغلیظ اپی ترمالی آن می‌باشد، که تکتونیک عامل اصلی کنترل کننده این تغلیظ در منطقه است. از میان روشهای مختلف آزادسازی آرسنیک از رسوبات در منابع آبی، تأثیرگذارترین عامل در آزادسازی آرسنیک در منابع آبی منطقه تشکیل کمپلکس آنیون‌هایی مانند بی کربنات، نترات برای جداسازی آرسنیک جذب شده به سطح هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینیم است.

چشمه‌های روستاهای قویوز، شوردرق، قزللو، قره آقاج، دشمن لو و رودخانه عبوری از دره عین آباد با دارا بودن بالاترین مقادیر آرسنیک به عنوان مناطقی با آلاینده‌گی بالا در منطقه شناسایی شد. با بررسی منابع آب ورودی به مخزن سد مشخص گردید که رودخانه آملو چای مقادیر بالایی از آرسنیک را وارد مخزن سد می‌کند که می‌تواند حاصل عبور از مناطقی با آلاینده‌گی بالا باشد. بنابراین از تأثیرگذارترین منطقه در افزایش مقادیر آرسنیک در آب انباشته شده در مخزن سد سهند، دره عین آباد و روستاهای در مسیر رودخانه آملو مانند قزللو است.

منابع مورد استفاده

- حسین پورفیضی، ح. و همکاران . ۱۳۸۶. بررسی شیوع عوارض بهداشتی در روستای قویوز آذربایجان شرقی و ارتباط آن با سطح آرسنیک آب شرب. مجله تخصصی اپیدمیولوژی ایران دوره ۳، شماره ۴ و ۳: صفحات ۱ تا ۹.
- آقاباتی، س.ع. ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۶ صفحه.
- فتاحی، ع. و باباپور، ش. ۱۳۸۶. بررسی ژنر پتانسیل‌های فلزی در منطقه شوردرق-هشترود از دیدگاه زمین شناسی اقتصادی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، ۱۴۳ ص.
- آقایی، ح. ۱۳۸۸. بررسی هیدروژئوشیمی محدوده غرب هشترود با تأکید بر آنومالی‌های احتمالی آرسنیک در منطقه. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، ۱۵۶ ص.
- Ahmed,K.M., et al .2004. Arsenic enrichment in groundwater of the alluvial aquifers in Bangladesh: an overview. *Appl. Geochem.*, 19,181–200.
- Alvarez,A., A., Ordonez, J.,Loredo .2006. Geochemical assessment of an arsenic mine adjacent to a water reservoir (Leon, Spain). *Environ. Geol.*, 50, 873-884.
- Anawar,H.M., et al .2003. Geochemical occurrence of arsenic in groundwater of Bangladesh: sources and mobilization processes. *J. Geochem. Explorat.* 77, 109–131.
- Anawar,H. M., J., Akai, H. ,Sakugawa .2004. Mobilization of arsenic from subsurface sediments by effect of bicarbonate ions in groundwater. *Chemosphere*, 54, 753–762.
- Bhattacharyya,M., T.M.,Langstaff, W.A.,Berzonsky .2003. Effect of frozen storage and freeze-thaw cycles on the rheological and baking properties of frozen dough. *Food Res Int.* 36, 365–372.

- Cai, X., et al .2003. Arsenic trioxide-induced mitotic arrest and apoptosis in acute promyelocytic leukemia cells *Leukemia* 17, 1333–1337.
- Copertino, V.A., B., Molino, V., Telesca .1998. Spatial and Temporal Evaluation of Water Quality in Reservoirs. *Phys. Chem. Earth* 23(4):475-478.
- Davis, N.S, R.J.M., Dawiest .1966. *Hydrogeology*. John Wiley & Sons Inc., U.S.A.
- Dragon, K. 2006. Application of factor analysis to study contamination of a semi-confined aquifer (Wielkopolska Buried Valley aquifer, Poland). 331, 272-279.
- Freeze, R.A., A.J., Cheery .1979. *Groundwater*, Prentice-Hall. Inc. pp.604.
- Garcia-Sanchez, A., E., Alvarez-Ayuso .2003. Arsenic in soils and waters and its relation to geology and mining activities (Salamanca Province, Spain), *J Geochem Explor*, 80, 69–79.
- Garcia-Sanchez, A., A., Moyano, P., Mayorga .2005. High arsenic contents in groundwater of central Spain. *Environ Geo* 147, 847–854.
- Gurung, K., I., Hiroaki, M.S., Khadka .2005. Geological and geochemical examination of arsenic contamination in groundwater in the Holocene Terai Basin, Nepal, *Environ Geol*, 49, 98–113.
- Gustafsson, J.P., G., Jacks .1995. Arsenic geochemistry in forest soil profiles as revealed by soil-phase studies. *Appl. Geochem.*, 10:307–315.
- HawaBibi, M., F., Ahmed, H., Ishiga .2006. Distribution of arsenic and other trace elements in the Holocene sediments of the meghna River Delta, Bangladesh *Env. Geol.*, 50, 1243–1253.
- Hounslow, A.W. 1995. *Water Quality Data: Analysis and interpretation*, CRC Press LLC, Lewis publishers, Chapter 2, 4. 397.
- Jiang, Y., et al .2009. Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong karst underground river system in Yunan, China. *Journal of Contaminant Hydrology*, 109, 49–61.
- Kim, M.J., J., Nriagu, S., Haack .2000. Carbonate ions and arsenic dissolution by groundwater. *Environ. Sci. Technol.* 34, 3094–3100.
- Manzoor, S., et al .2006. Multivariate analysis of trace metals in textile effluents in relation to soil and groundwater. *Journal of Hazardous Materials*, A137, 31–37.
- Mitchell, A.H.G., G.R., Balce .1990. An overview of epithermal gold mineralization in the philippines. *J. Geochem. Explor.*, 35, 241-296.
- Nickson, R.T., et al .2000. Mechanism of arsenic release to groundwater, Bangladesh and West Bengal. *Appl. Geochem.*, 15, 403–413.
- Noori, R., et al .2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. *Desalination*, 260 129–136.
- Ouyang, Y., et al .2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research*, 40(20), 3800-3810.
- Pierce, M.L., C.B., Moore .1982. Adsorption of arsenite and arsenate on amorphous iron oxyhydroxides. *Water Res.*, 16, 1247–1253.

Singh, K.P., et al .2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water Research*, 38(18), 3980-3992.

Smedley, P.L., D.G., Kinniburgh .2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural water. *Appl. Geochem.*, 17(5):517–568.

Smith, E., R., Naidu, A.M., Alston .1998. Arsenic in the soil environment. *AdvAgron* 64:149–195.

USEPA. 2001. Risk Assessment Guidance for Superfund. Human Health Evaluation. Manual Part A, Interim Final, vol. 1, EPA/540/1-89/002,.

WHO. 2004. Guidelines for drinking water quality, Third ed., World Health Organisation, Geneva. bnb.

Zheng, Y., et al .2004. Redox control of arsenic mobilization in Bangladesh groundwater. *Applied Geochemistry*, 19, 201–214.