

ارزیابی شوری و آرسنیک به عنوان عوامل مخرب کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی (حوضه‌ی آبریز سد سهند)

عطاءالله نادیری^{۱*}

اصغر اصغری مقدم^۲

فریبا صادقی اقدم^۳

کیوان نادری^۴

چکیده

مدیریت تقاضا و تأمین آب برای کاربری‌های مختلف به‌همراه شناسایی، کنترل و کاهش آلاینده‌های آن، جهت ارتقای شاخص‌های کیفیت منابع آب و حفظ محیط زیست از رویکردهای مدیریت منابع آب کشور است. با توجه به تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت مردم ناحیه از سد سهند و موارد گزارش شده از تأثیرات سوء سلامت مردم روستاهای اطراف، ناشی از مصرف آب شرب حاوی غلظت‌های بالایی از آرسنیک (بیش از ۲۰۰ برابر حد استاندارد آب شرب)، مطالعه‌ی کیفی منابع آبی مرتبط با این سد ضرورت می‌یابد. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی کیفی منابع آب، ۵۰ نمونه از منابع آب منطقه‌ی مورد مطالعه جمع‌آوری و در آزمایشگاه آب‌شناسی گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. همچنین، از داده‌های تهیه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی جهت مطالعات سد سهند استفاده گردید. این مطالعه با روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تغییرات سری‌های زمانی، به منظور تعیین عوامل مؤثر بر هیدروشیمی منطقه انجام پذیرفت. پایش‌های کیفی و آنالیز عوامل مؤثر بر هیدروشیمی منابع آبی سد سهند، مشخص‌کننده‌ی دو عامل عمده تأثیرگذار بر هیدروشیمی محدوده‌ی مطالعاتی شامل آنومالی‌های آرسنیک و شوری می‌باشند. در این راستا مکان‌های متأثر از این آنومالی‌ها در ارتباط با منشأ مربوطه شناسایی و نقشه‌ی توزیع این عوامل در محدوده‌ی مطالعاتی تهیه گردید.

واژه‌های کلیدی: آرسنیک؛ پایش کیفی؛ سد سهند؛ شوری؛ نقشه‌ی توزیع

Email:nadiri@tabrizu.ac.ir

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول).

۲- استاد گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم طبیعی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز.

۳- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی دانشکده علوم طبیعی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز.

۴- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی دانشکده علوم طبیعی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز.

مقدمه

شناسایی و پایش کیفیت منابع آب از جمله مخازن سدها و منابع آبی مربوط به آن، جایگاه ویژه‌ای در مدیریت کیفیت منابع آب دارد. سدها به عنوان مهم‌ترین سازه‌های کنترل و تأمین آب برای کاربری‌های مختلف، اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای به همراه دارند. مدیریت کیفیت آب در مخازن سدها نیازمند مطالعه و ارزیابی تغییرات کیفیت آب و شناخت پدیده‌های مختلف است. امروزه بیشتر آب‌های طبیعی در معرض آلودگی قرار گرفته یا آلوده شده‌اند؛ از این رو لازمه‌ی هرگونه اقدام جهت کنترل و کاهش آلاینده‌های آبی و تأثیرات آنها، آگاهی کامل از نحوه‌ی توزیع و پراکندگی آلاینده‌های موجود در سطح است که در اختیار داشتن چنین اطلاعاتی صرفاً از طریق ایستگاه‌های سنجش آلودگی توزیع یافته در سطح منطقه‌ی مورد مطالعه و درون‌یابی نقاط نمونه‌برداری شده و انجام آنالیزهای مختلف امکان‌پذیر می‌باشد.

از جمله عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب‌ها، می‌توان زمین‌شناسی (هم^۱، ۱۹۸۹) و تأثیر سازندها (فریز و چری^۲، ۱۹۷۹)؛ (اصغری مقدم، ۲۰۱۱)، فرآیندهای واکنشی و فعالیت‌های بیولوژیکی و اختلاط آب‌ها (هانسلو^۳، ۱۹۹۵؛ فتر^۴، ۱۹۹۴)، نزولات جوی، آب و هوا و موقعیت جغرافیایی (دیویس و دویت^۵، ۱۹۶۶)، نیمرخ خاک و پوشش گیاهی (باور^۶، ۱۹۷۸) و عوامل شوری (شوارتز و زنگ^۷، ۲۰۰۳) را برشمرد.

غلظت بیش از حد استاندارد عناصر کمیاب به عنوان آلودگی‌هایی با منشأ طبیعی و مصنوعی از جمله نیترات، فلئور، آرسنیک به علت تأثیر زیاد بر سلامتی انسان، بسیار با اهمیت است (انور و همکاران^۸، ۲۰۱۱؛ کاردسو و همکاران^۹، ۲۰۱۰؛ بوندشو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۱؛ دیسچمپس و متسچولیت^{۱۱}، ۲۰۱۱). در صورت آلودگی طبیعی منابع آب که به شدت متأثر از فرایندها و سازندهای زمین‌شناسی است، نمی‌توان به سادگی این آلودگی‌ها را از بین برد و یا مانع گسترش آنها شد لذا این نوع آلودگی‌ها بایستی به دقت مورد بررسی قرار گیرند (چیبان و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۲؛ انور و همکاران، ۲۰۱۱؛ کرنجو و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۸؛ قورونگ و همکاران^{۱۴}، ۲۰۰۵).

-
- 1- Hem
 - 2- Freeze & Cheny
 - 3- Hounslow
 - 4- Fetter
 - 5- Davis & Dewiest
 - 6- Bouwer
 - 7- Schwartz & Zhang
 - 8- Anawar et al.,
 - 9- Cardoso et al.,
 - 10- Bundchuh et al.,
 - 11- Deschumps & Matschullat
 - 12- Chiban et al.,
 - 13- Cornejo et al.,
 - 14- Gurung et al

طی سال‌های اخیر غلظت آرسنیک تأثیرات سوئی بر سلامت مردم منطقه‌ی حوضه‌ی آبریز سد سهند داشته است (مسافری و همکاران، ۲۰۰۸) و با توجه به این که سد سهند و منابع آبی آن، آب شرب شهرستان هشتگرد و روستاهای اطراف را تأمین می‌کند، از اینرو، مطالعه‌ی منابع آبی در ارتباط با این سد اهمیت و ضرورت می‌یابد. مطالعات هیدروشیمیایی نمونه‌های آبی و همچنین مطالعه‌ی مقاطع تهیه شده از سازندهای زمین‌شناسی، وجود آرسنیک در سازندهای منطقه را همراه با آنومالی‌های خیلی بالای این عنصر نشان می‌دهد (ندیری و همکاران، ۱۳۹۰، صادقی اقدم، ۱۳۹۱؛ ندیری و همکاران، ۲۰۱۳).

اطلاع از وضعیت کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌وسیله تعیین عوامل عمده مؤثر بر هیدروشیمی آب‌ها و شاخص‌های کیفیت آب این امکان را فراهم می‌سازد تا ضمن استفاده از اطلاعات به‌دست آمده، در مواقع لزوم برای تأمین سلامت این منبع مهم و حیاتی، بتوان راهکارهای مدیریتی مناسب را اتخاذ نمود. استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای کنترل کمی و کیفی آب رودخانه‌ها و مخازن و آب‌های زیرزمینی موجب پایش کیفیت آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر می‌شود، مخصوصاً هنگامی که به‌دست آوردن اطلاعات از منابع آبی کل منطقه مورد نیاز باشد. با تعیین پارامترهای کیفی آب از نقاط قابل نمونه‌برداری و تعیین رگرسیون بین پارامترها و درون‌یابی بین نقاط، می‌توان نقشه‌های توزیع پارامترهای کیفی را تهیه کرد (سولومن و کوئل^۱، ۲۰۰۶؛ و دار و همکاران^۲، ۲۰۱۰) همچنین در شناسایی و تشخیص منابع آب زیرزمینی، انتخاب مکان‌های تغذیه‌ی مصنوعی، مدل‌سازی آلودگی و جریان‌ات سطحی بر پایه‌ی GIS، شناسایی خطرات آلودگی آب زیرزمینی و برنامه‌ریزی حفاظتی، تخمین توزیع تغذیه‌ی طبیعی، آنالیز داده‌های هیدروژئولوژیکی و بازیابی فرایندها می‌توان از این فناوری‌ها سود جست (Jha et al, 2006).

منطقه‌ی مطالعاتی

منطقه‌ی مطالعاتی به مساحت حدود ۳۸۴ کیلومتر مربع در استان آذربایجان شرقی، در غرب شهرستان هشتگرد و در محدوده‌ای به مختصات جغرافیایی، ۵۵° ۵۵' ۶۲" تا ۴۶° ۰۰' ۴۹" طول شرقی و ۳۴° ۳۲' ۳۷" تا ۳۷° ۵۲' ۵۰" عرض شمالی واقع شده است. این محدوده در حد فاصل رشته‌کوه بزقوش در شمال شرق، توده‌ی آتشفشانی سهند در شمال غرب و رشته‌کوه‌های تخت سلیمان (واقع در شهرستان چاراویماق) در جنوب قرار گرفته است. موقعیت مکانی حاصل از پیوند عناصر واحدهای توپوگرافی فوق‌الذکر باعث شکل‌یابی منطقه به

1- Solomon & Quiel

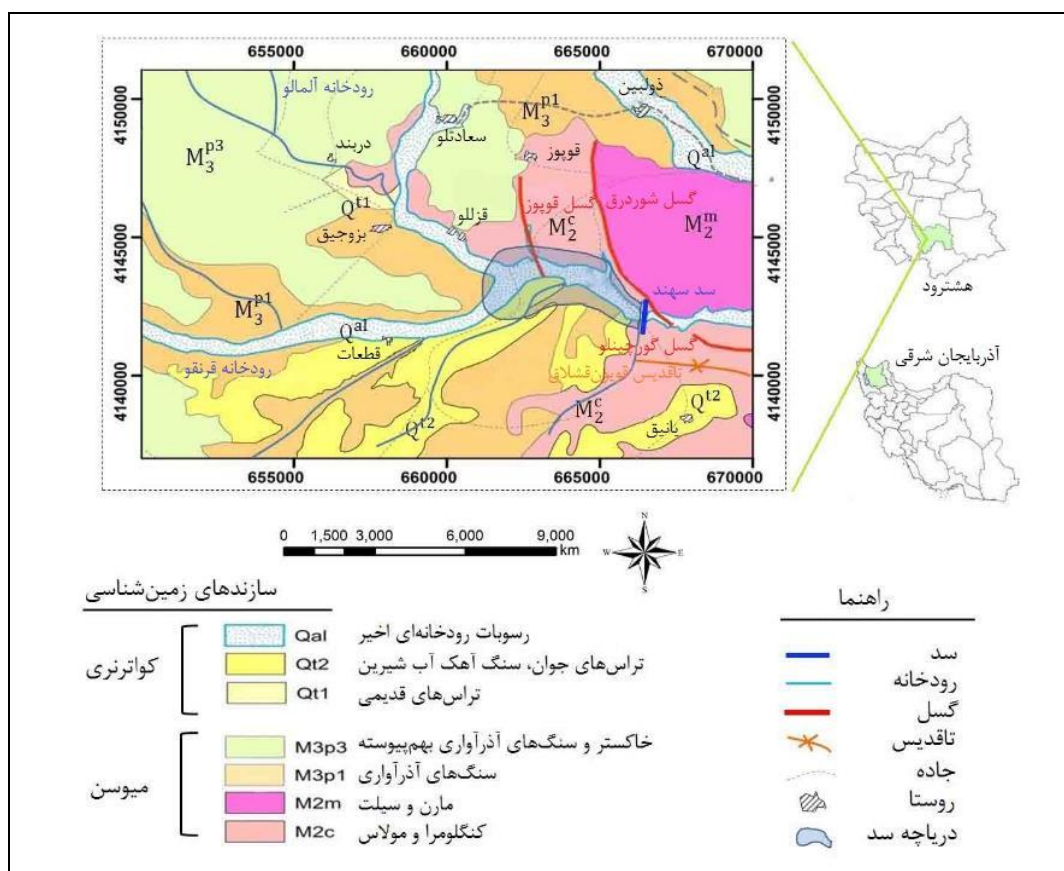
2- Dar et al.,

صورت یک چاله‌ی بسته‌ای که تنها به سمت شرق و دره‌ی قزل‌اوزن باز می‌شود، شده است. این منطقه از لحاظ زمین‌شناسی مشابه با زون البرز- آذربایجان بوده (آقنابتی، ۱۳۸۳) و جزو مناطق آتشفشانی-رسوبی جوان می‌باشد. سد سهند در پایین‌دست محل تلاقی دو رودخانه‌ی آملو و قرنقو احداث گردیده است. این سد با حجم مخزنی ۱۶۵ میلیون مترمکعب، تأمین‌کننده‌ی منابع آب کشاورزی، صنعت و شرب منطقه می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، ۱۳۸۶).

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه‌ی مطالعاتی

در محدوده‌ی مطالعاتی سازندهای مربوط به میوسن تا کواترنری وجود دارد. در شکل (۱) نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه قابل مشاهده است. سازندهای زمین‌شناسی در منطقه‌ی مورد مطالعه به دو بخش مهم نهشته‌های قرمز زیرین و فوقانی و نهشته‌های آذرآواری و گدازه‌های توده آتشفشانی سهند تقسیم می‌شوند که کیفیت آب‌های منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. سازند قرمز زیرین شامل کنگلومرا و ماسه سنگ و بخش فوقانی آن شامل مارن و سیلت استون می‌باشد. لایه‌های دارای ژئوپس، انیدریت و هالیت مکان‌های شمالی و جنوبی حاشیه‌ی سد و رودخانه‌ی آملو واقع شده‌اند. پدیده‌هایی همچون گسلش، چین‌خوردگی، بالاآمدگی و زمین‌لغزش، از جمله پدیده‌های زمین‌شناسی در سازندهای منطقه هستند. سازندهای ولکانیکی به سن میوسن و پلیوسن شامل نهشته‌های پیروکلاستیک سهند و خاکسترهای آتشفشانی هستند که رودخانه‌ی قرنقو از بین این تشکیلات جریان می‌یابد. سازندهای کواترنری منطقه شامل تراس‌های آبرفتی قدیمی و جوان، سنگ آهک و رسوبات آبرفتی عهد حاضر می‌باشند.

مطالعات و بررسی‌های صحرایی منجر به شناسایی چندین گسلش در سازندهای میوسن گردید که این گسل‌ها آب‌های زیرزمینی و سطحی را به یکدیگر مرتبط می‌سازند. طی مطالعه‌ی مقاطع نازک و صیقلی سولفیدهای آرسنیک در شکستگی‌ها و درز و شکاف‌های سنگ آهک، مارل و کنگلومرا ماسه سنگ و سازند قرمز مشاهده و بیشترین غلظت‌های آرسنیک در نمونه‌های آنالیز شده از آب چشمه‌های مرتبط با گسل‌ها شناسایی گردید. تغلیظ ابی‌ترمال عنصر آرسنیک در شکستگی‌های سازند میوسن عمده منشأ این آنومالی شناخته شد (ندیری و همکاران، ۱۳۹۰؛ ندیری و همکاران ۲۰۱۳).



شکل (۱) نقشه‌ی زمین‌شناسی محدوده‌ی مطالعاتی

محدوده‌ی مطالعاتی از نظر هیدروژئولوژیکی جزوی از حوضه‌ی آبریز سفیدرود دریای خزر است. با توجه به داده‌های آب و هوایی برای دوره‌ی ده‌ساله (۱۳۷۹-۱۳۸۹)، مطابق جدول (۱) متوسط میزان بارش در ایستگاه‌های ساریقمیش، چپینی، سراسکند حدود ۳۵۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه $+11^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. اقلیم منطقه با استفاده از تقسیم‌بندی اقلیم‌نمای آمبرژه (۱۹۳۰)، جزو مناطق نیمه‌خشک سرد می‌باشد. از نظر هیدروژئولوژیکی در محدوده‌ی مطالعاتی سفره‌ی آب زیرزمینی وسیع و یکپارچه وجود ندارد و منابع آب زیرزمینی از تعدادی سفره‌های هتروژن کم وسعت و پراکنده تشکیل شده است. شرایط هیدروژئولوژیکی محدوده‌ی مطالعاتی با سازندهای زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه رابطه‌ی مستقیم دارد. آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه با یکدیگر مرتبط هستند، به طوری که آب‌های سطحی ناشی از بارش جوی و ذوب برف دامن «های سهند ضمن نفوذ در زمین به صورت جریان‌ات زیرسطحی، ب «آب‌های زیرزمینی م» پیوندند و آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق به وسیله چشمه‌ها به سطح راه می‌یابند. اکثر این منابع آبی در ارتباط با سازند قرمز میوسن و نهشته‌های کواترنری می‌باشند.

جدول (۱) متوسط پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی منطقه‌ی مطالعاتی برای دوره شاخص ده‌ساله (۱۳۷۹-۱۳۸۹)

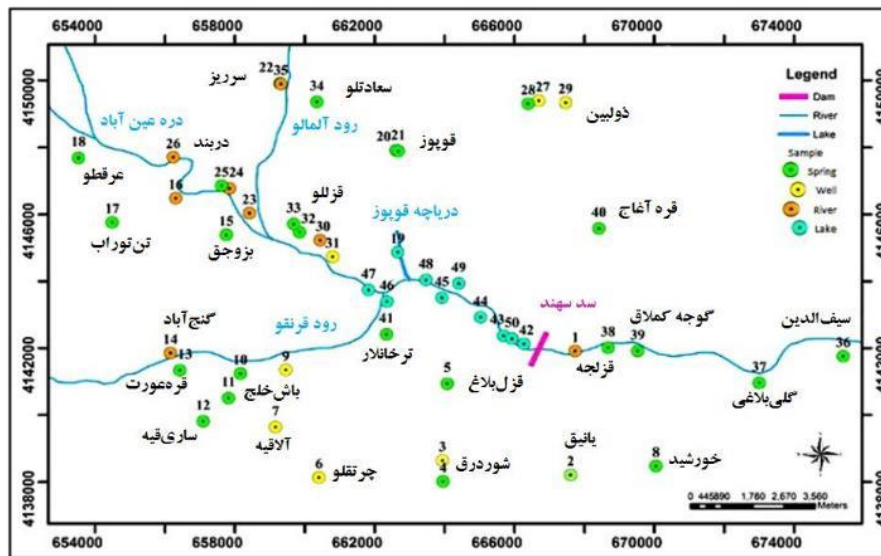
متوسط ایستگاه‌ها	ایستگاه			واحد	پارامترها
	سراسکند	چینی	ساریقمیش		
۳۵۰/۱۴	۳۳۰/۰۹	۳۶۴/۵۸	۳۳۵/۷۵	میلی‌متر	متوسط بارش سالانه
+۱۱/۱۸	+۱۰/۷۶	+۹/۹۸	+۱۲/۸۲	سانتی‌گراد	متوسط درجه حرارت سالانه
۱۳۱۴	۱۰۷۳/۴۱	۱۱۸۱/۳۱	۱۶۸۷/۳۰	میلی‌متر	متوسط تبخیر و تعرق از تشتک
۴۷/۹۹	۴۳/۴۷	۴۳/۳۴	۵۷/۱۷	درصد	متوسط رطوبت نسبی سالانه

مواد و روش‌ها

به منظور پیشبرد مطالعات از داده‌های تهیه شده توسط پایش‌های کیفی گروه آب‌شناسی دانشگاه تبریز در قالب پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد (صادقی اقدم، ۱۳۹۱) و مطالعات انجام یافته توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، استفاده گردید. مشخصات آماری مربوط به ۵۰ ایستگاه نمونه‌برداری (شهریورماه ۱۳۹۰) مطابق جدول (۲) و محل نمونه‌برداری‌ها در شکل (۲) ارائه شده است.

در این مطالعه به منظور تعیین عوامل مؤثر بر هیدروشیمی منطقه، از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA)، با استفاده از نرم‌افزار SPSS (V.17) استفاده گردید. تجزیه به عوامل از تکنیک‌های آماری گسترده در مطالعات هیدروشیمیایی است (خان، ۲۰۱۱؛ دراگون^۲، ۲۰۰۶؛ گوپتا و سابرامانین^۳، ۱۹۹۸). این آنالیز به طور عمده سعی در تفسیر یا آشکارسازی ساختارهای اساسی ساده و فرآیندهای اصلی حاکم بر هیدروشیمی منطقه به وسیله‌ی کاهش و طبقه‌بندی داده‌ها را دارد (ییدانا^۴، ۲۰۱۲؛ پاپادرو و همکاران^۵، ۲۰۰۶)، که به ویژه به عنوان روش طبقه‌بندی برای مطالعات رخساره‌های هیدروشیمیایی، تعیین منشأ آنها، مطالعات آلودگی آب‌های زیرزمینی، و شناسایی فرآیندهای زمین‌زاد^۶ و انسان‌زاد^۷ مؤثر در آنها به کار می‌رود (آریس و همکاران^۸، ۲۰۰۷؛ دراگن، ۲۰۰۶). برای تعیین عوامل مؤثر بر هیدروشیمی منطقه از داده‌های استاندارد شده (روش کایزنر) استفاده گردید. استخراج مقادیر ویژه حاصل از ماتریس ترانهاد این داده‌ها منجر به استخراج عامل‌های اصلی گردید. پس از استخراج عمده عوامل مؤثر بر منابع آبی، عوامل افت کیفیت و آلاینده‌ی آب، شامل عوامل شوری و آرسنیک در محدوده‌ی مطالعاتی بررسی می‌شود.

- 1- Principal Component Analysis
- 2- Dragen
- 3- Gupta & Subramanian
- 4- Yidana
- 5- Papatheodoroa et al.,
- 6- Geogenic
- 7- Anthropogenic
- 8- Aris et al.,



شکل (۲) موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری شده

جدول (۲) مشخصات آماری آنالیز نمونه‌برداری‌های محدوددهی مطالعاتی

پارامتر	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	میانه	انحراف معیار	واریانس
Ca (mg/L)	۳۵/۲۹	۴۱۷/۰۴	۱۲۱/۶۵	۷۷/۷۹	۱۰۲/۱۲	۱۰۴۲۹/۳۹
Mg (mg/L)	۲/۹۲	۲۱۶/۷۶	۳۱/۴۵	۱۲/۳۹	۴۶/۶۷	۲۱۷۷/۸۴
Na (mg/L)	۸/۷۳	۶۳۶۵/۱۷	۳۰۶/۶۱	۶۸/۷۱	۹۸۶/۵۵	۹۷۳۲۸۳/۵۸
K (mg/L)	۰/۶۲	۹۶/۷۵	۱۱/۷۵	۵/۷۳	۱۷/۰۸	۲۹۱/۸۱
CO ₃ (mg/L)	۰	۱۶/۸۰	۲/۵۰	۰	۴/۳۲	۱۸/۶۸
HCO ₃ (mg/L)	۱۴۶/۴۰	۳۷۰۸/۸۰	۵۲۳/۰۹	۳۱۸/۴۲	۶۰۸/۴۱	۳۷۰۱۵۶/۶۰
Cl (mg/L)	۰/۸۹	۸۵۰۸	۳۹۲/۷۹	۶۴/۷۰	۱۳۲۳/۰۵	۱۷۵۰۴۵۸/۴۴
SO ₄ (mg/L)	۱/۱۰	۱۴۱۷	۱۶۵/۲۸	۴۶/۵۰	۳۰۸/۵۷	۹۵۲۱۴/۸۸
NO ₃ (mg/L)	۰/۱۵	۴۲/۸۷	۴/۱۵	۱/۸۶	۷/۳۲	۵۳/۵۳
F (mg/L)	۰/۰۹	۱/۲۸	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۰۷
SiO ₂ (mg/L)	۰/۳۴	۴/۵۸	۱/۹۶	۱/۹۱	۱/۰۹	۱/۱۹
As (mg/L)	۰	۲/۰۱	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۳۹	۰/۱۵
Fe (mg/L)	۰	۰/۷۱	۰/۰۲	۱۷۳۸/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۱
EC(μs/cm)	۲۸۵	۲۵۱۰۰	۱۷۳۸/۱۰	۷/۶۹	۳۸۹۷/۲۰	۱۵۱۸۸۱۶۹/۰۳
PH	۶/۰۳	۸/۵۷	۷/۶۹	۷۷/۷۹	۰/۴۷	۰/۲۳

بحث و نتایج

عوامل مؤثر بر هیدروشیمی محدوده‌ی مطالعاتی از طریق بررسی پارامترهای مربوط به ۵۰ داده‌ی هیدروشیمیایی (شهریورماه ۱۳۹۰) تعیین گردید. جدول (۳) نشانگر درصد واریانس تجمعی و جدول (۴) بارهای عاملی مؤثر هر متغیر در عامل‌های استخراجی است که نمایش توزیع این بارها در هر عامل مطابق

شکل (۳) ارائه گردیده است. بر این اساس سه عامل مؤثر بر هیدروشیمی منطقه مشخص گردید. عامل اول که در بردارنده ۴۴ درصد کل واریانس داده‌ها می‌باشد، به عنوان اصلی‌ترین عامل در هیدروشیمی منطقه دانسته می‌شود. این عامل نشان دهنده‌ی روند عمومی و عامل شوری آب‌های زیرزمینی است که همراه با افزایش مواد محلول و هدایت الکتریکی نشانگر تعامل بین زون آب - خاک و تأثیر سازنده‌ی زمین‌شناسی در منطقه است. عامل دوم دارای ۱۶ درصد واریانس کل داده‌ها نشانگر منشأ مرتبط با آنومالی آرسنیک موجود در منابع آبی و تأثیر نترات حاصل از کودهای کشاورزی می‌باشد. عامل سوم با ۱۲ درصد واریانس کل داده‌ها نشانگر چگونگی افزایش یون‌های کربنات، آهن و سیلیس در منابع آبی منطقه است.

طبق مطالعات و گزارشات کیفی این منابع آبی، دو عامل اول و دوم یعنی شوری (هدایت الکتریکی) و آرسنیک، در منطقه مشکل‌ساز می‌باشد که به بررسی بیشتر این دو عامل پرداخته می‌شود.

جدول (۳) عامل‌های استخراجی و مقادیر واریانس آنها

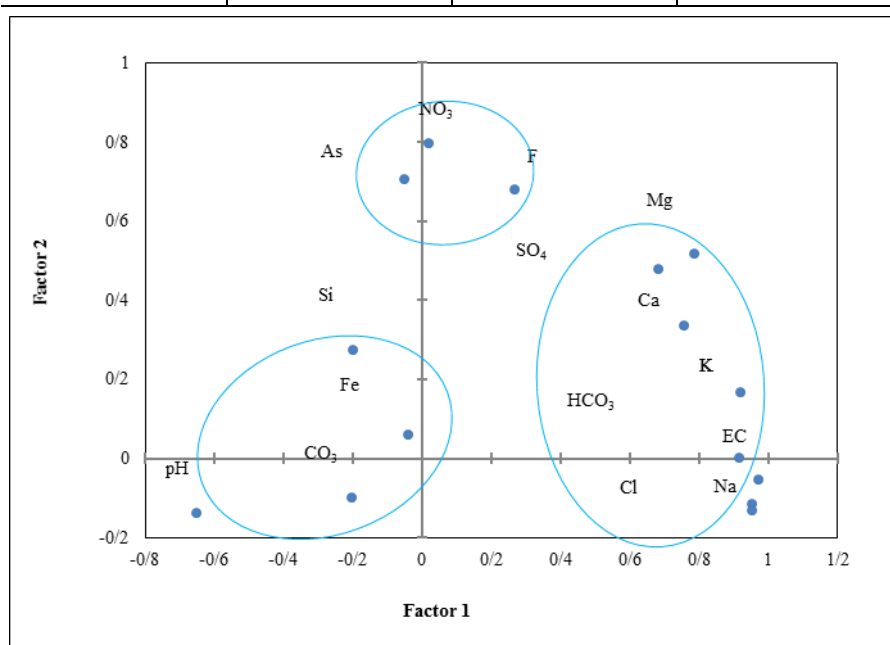
عوامل	مقادیر ویژه اولیه		مجموع چرخش مربع بارها		
	کل	% واریانس	% تجمعی	کل	% واریانس
۱	۷/۱۲۹	۴۷/۵۲۷	۴۷/۵۲۷	۶/۶۶۹	۴۴/۴۶
۲	۲/۳۵۰	۱۵/۶۶۷	۶۳/۱۹۴	۲/۳۷۶	۱۵/۸۴
۳	۱/۴۲۱	۹/۴۷۶	۷۲/۶۷۰	۱/۸۵۴	۱۲/۳۶
۴	۰/۹۸۰	۶/۵۳۴	۷۹/۲۰۴		
۵	۰/۸۱۰	۵/۴۰۶	۸۴/۶۱۱		
۶	۰/۷۶۶	۵/۱۱۳	۸۹/۷۲۳		
۷	۰/۵۴۸	۳/۶۵۴	۹۳/۳۷۸		
۸	۰/۴۰۱	۲/۶۷۸	۹۶/۰۵۶		
۹	۰/۳۰۳	۲/۰۲۰	۹۶/۰۷۶		
۱۰	۰/۱۵۶	۱/۰۴۴	۹۹/۱۲۰		
۱۱	۰/۰۷۳	۰/۴۹۰	۹۹/۶۱۱		
۱۲	۰/۰۵۱	۰/۳۴۳	۹۹/۹۵۵		
۱۳	۰/۰۰۶	۰/۰۴۱	۹۹/۹۹۶		
۱۴	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۳۴	۹۹/۹۹۹		
۱۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۲	۱۰۰		

امتیازات عاملی مرتبط با شدت فرآیندهای شیمیایی توصیف شده را می‌توان در نمودارهای پراکندگی و نقشه‌ها پلات نمود (دراگن، ۲۰۰۶). نقشه‌ی توزیع عوامل مؤثر در منطقه با توجه به پراکندگی نمونه‌های برداشت شده و امتیازات عاملی مطابق شکل (۴) از روش پهنه‌بندی کریجینگ معمولی به وسیله نرم‌افزار ArcGIS (V, 9.3) تهیه گردید. عامل اول در نواحی شمال‌غربی و جنوب‌شرقی محدوده‌ی مطالعاتی و در

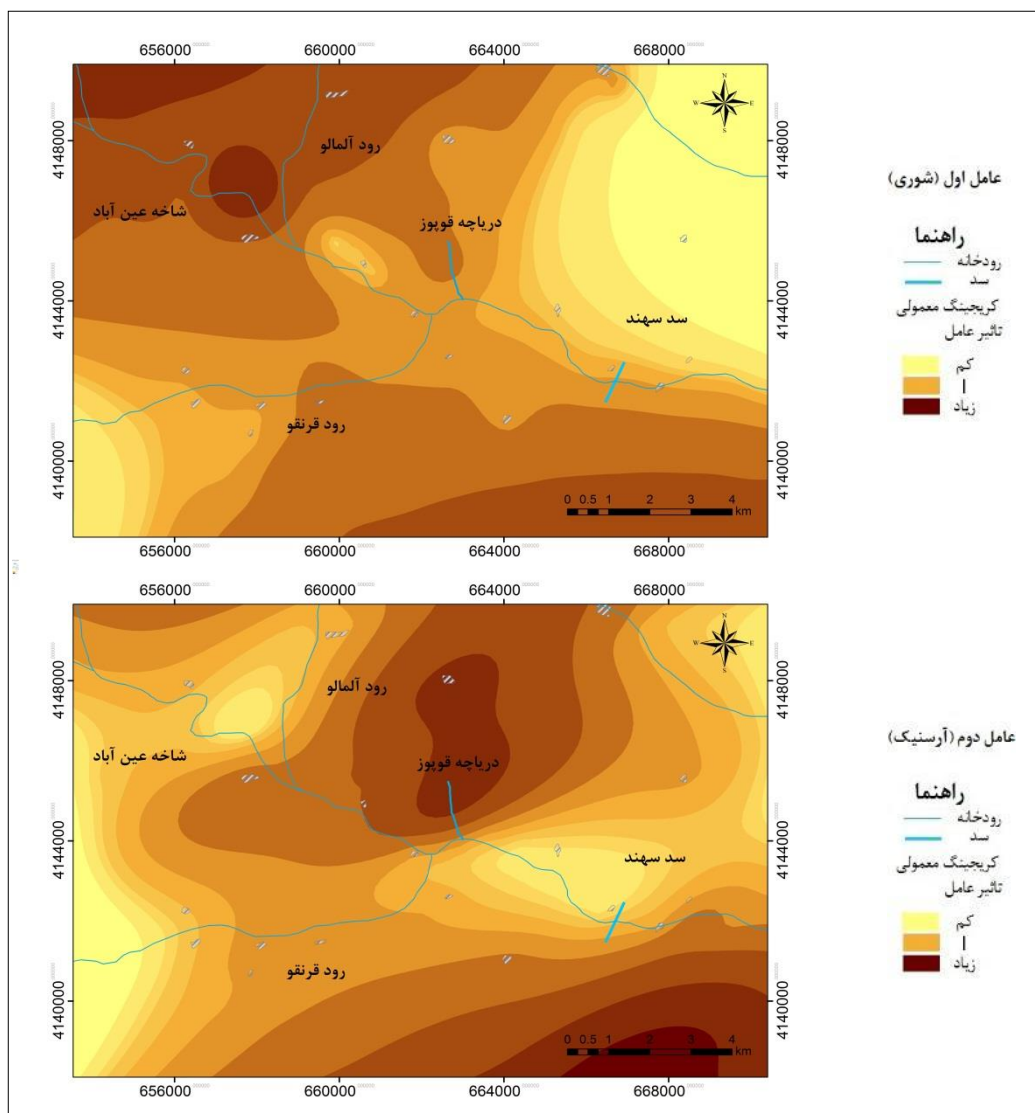
عمده مناطق دره‌ی عین‌آباد، رودخانه‌ی آلمالو، روستای شوردرق و یانیق و عامل دوم در جناح راست و چپ دریاچه‌ی سد و در نواحی روستای قوپوز، شوردرق و ذولبین می‌باشد.

جدول (۴) نتایج تجزیه به عوامل بعد چرخش وریماکس

عوامل			پارامترهای استاندارد
۳	۲	۱	شده
-۰/۲۰۴	۰/۳۳۵	۰/۷۵۶	(Ca)
-۰/۰۴۲	۰/۴۷۸	۰/۶۸۲	(Mg)
۰/۰۰۲	-۰/۱۱۵	۰/۹۵۳	(Na)
-۰/۰۸۰	۰/۱۶۸	۰/۹۱۸	(K)
۰/۷۶۸	-۰/۰۹۹	-۰/۲۰۶	(CO ₂)
-۰/۲۳۲	۰/۰۰۳	۰/۹۱۶	(HCO ₃)
۰/۰۰۵	-۰/۱۳۰	۰/۹۵۰	(Cl)
۰/۱۰۲	۰/۵۱۹	۰/۷۸۶	(SO ₄)
-۰/۱۲۳	۰/۷۹۷	۰/۰۲۰	(NO ₃)
-۰/۳۶۳	۰/۶۸۲	۰/۲۶۷	(F)
-۰/۶۱۱	۰/۲۷۴	-۰/۲۰۲	(Si)
-۰/۰۴۱	۰/۷۰۶	-۰/۰۵۱	(As)
۰/۵۵۵	۰/۰۶۱	-۰/۰۴۰	(Fe)
-۰/۰۰۶	-۰/۰۵۳	۰/۹۶۹	(EC)
۰/۵۷۹	-۰/۱۳۸	-۰/۶۵۱	(PH)



شکل (۳) نمایش بارهای عاملی مؤثر در هر عامل استخراجی



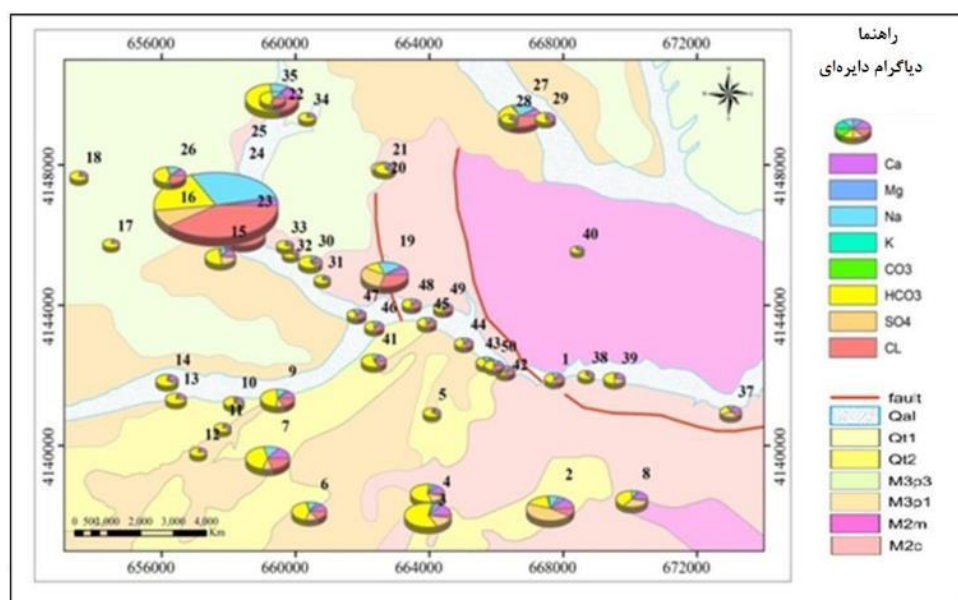
شکل (۴) توزیع نتایج امتیازات عامل اول (شوری) و عامل دوم (آرسنیک) در محدوده مطالعاتی به روش کریجینگ معمولی

ارزیابی شوری منابع آبی

مقادیر هدایت الکتریکی در محدوده مطالعاتی در محدوده عددی $25000-300$ $\mu\text{s/cm}$ متغیر است. بیشترین دامنه تغییرات مربوط به این پارامتر است که کمترین مقدار آن 285 $\mu\text{s/cm}$ مربوط به روستای قره‌آغاج و بیشترین مقدار آن 25100 $\mu\text{s/cm}$ مربوط به دره‌ی عین‌آباد می‌باشد که به‌طور عمده از سازند قرمز فوقانی منشأ می‌گیرند. آب‌های دارای مقادیر هدایت الکتریکی پایین در مکان‌هایی از جمله قره‌آغاج، باش‌خلج، ساری‌قیه، تن‌توراب، عرقطو، سیف‌الدین و قزللو و آب‌های دارای مقادیر هدایت الکتریکی بالا در مکان‌های نمونه‌برداری شده از دره‌ی عین‌آباد و دیگر نمونه‌های دارای مقادیر هدایت الکتریکی بالا در دریاچه‌ی قوپوز،

ذولبین، یانیق و رودخانه‌ی آملالو مشاهده می‌شود. مکان‌های دارای آنومالی‌های بالای عناصر اصلی عمدتاً در مجاورت با سازندهای گچی و نمکی سازند قرمز فوقانی مشاهده می‌شوند که این سازندها فراهم‌کننده‌ی مواد قابل انحلال بالا در آب هستند.

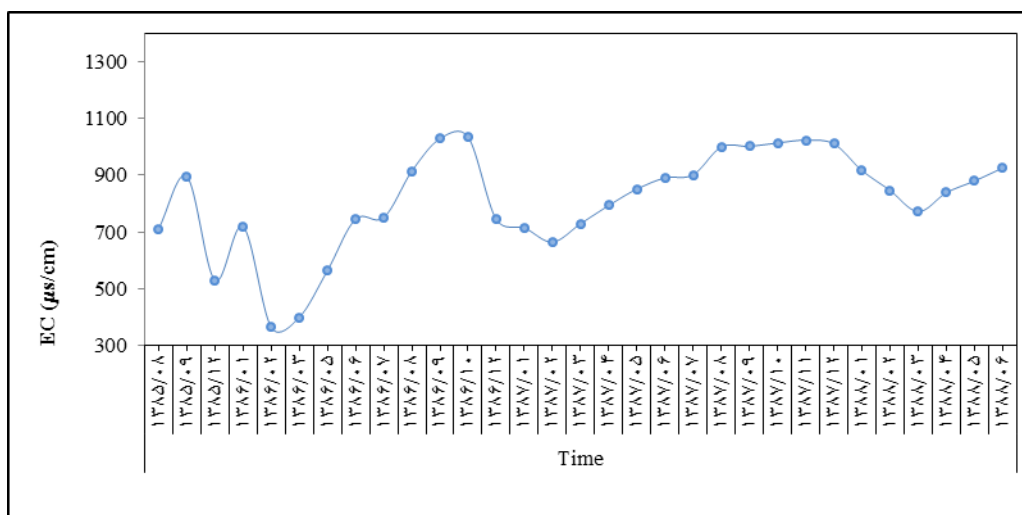
میانگین هدایت الکتریکی مخزن سد حدود $600 \mu\text{s}/\text{cm}$ گزارش شده است. آب‌های سطحی رودخانه‌ها به ویژه رودخانه‌ی آملالو، نسبت به رودخانه‌ی قرنقو دارای مقادیر بالایی از عناصر اصلی است. شکل (۵) نمودار دایره‌ای توزیع عناصر اصلی و هدایت الکتریکی را در منطقه‌ی مطالعاتی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که توزیع آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در منطقه از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند که علت آن ممکن است ناشی از وجود آب‌های با منشأ مختلف و آبخوان‌های پراکنده‌ی کم‌عمقی باشد که اغلب آب خود را به صورت چشمه تخلیه می‌کنند.



شکل (۵) نمودار دایره‌ای توزیع عناصر اصلی و هدایت الکتریکی در منطقه‌ی مطالعاتی

مطالعات صورت گرفته تاکنون منجر به شناسایی منابع شوری عمده شامل دره‌ی عین‌آباد، قزل‌بلاغ، قوپوز، چشمه‌های نمکی دشمن‌لو و چشمه‌های تراوشی در ساختگاه سد شده است. علاوه بر این حرکت آب از بالادست به سمت مخزن سد همراه با افزایش شوری در اثر برخورد با سازندهای شورکننده و چشمه‌های شور ناپیدا در کف رودخانه می‌باشند. طبق بررسی‌های انجام شده، کل میزان نمک محلول در آب رودخانه مربوط به تمام گستره‌ی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ها نیست؛ بخشی از حوضه‌ی آبریز رودخانه در بالادست مخزن و به خصوص در رودخانه‌ی آملالو از سنگ‌های آواری-تبخیری واحد قرمز بالایی تشکیل شده که لایه‌های گچ و نمک در

بین آنها وجود دارد. رواناب سطحی این گستره چندان تأثیری در کیفیت آب رودخانه ندارد؛ جریان‌های زیرسطحی که از درون این واحد می‌گذرد، مقدار زیادی نمک در خود حل کرده و به جریان رودخانه‌ای انتقال می‌دهد. به همین دلیل اندازه‌گیری نمک در دبی‌های مختلف تفاوت چندان نشان نمی‌دهد. همچنین تغذیه‌ی آب کشاورزی توسط آب شور حاصل از نفوذ آب کشاورزی اراضی مشرف به مخزن باعث تشدید شوری آب مخزن می‌شود (سازمان آب منطقه‌ای، ۲۰۰۷). مطابق شکل (۶) در بازه‌ی زمانی سال‌های ۸۸-۱۳۸۵، روند تغییرات شوری در فصول آغازین سال مقادیر کمتری را نشان می‌دهد که مناسب‌ترین زمان برای آبیاری مخزن سد می‌باشد.



شکل (۶) روند تغییرات هدایت الکتریکی در آب ورودی مخزن سد

ارزیابی آرسنیک منابع آبی

عناصر سنگین با غلظت اندک در سنگ، خاک، آب، گیاهان، هوا و حتی در بدن انسان یافت می‌شوند. از میان این عناصر، آرسنیک به دلیل داشتن سم بسیار بالا، یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌های طبیعی است که در اثر پدیده‌های انسان‌زاد و زمین‌زاد غلظت آن افزایش یافته و باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌گردد. آرسنیک عنصری با منشأ طبیعی است که ممکن است متحمل چندین سازوکار پیچیده شامل اکسایش-کاهش، انحلال-ته‌نشینی، جذب-پراکندگی، و متیلیزاسیون گردد. این عنصر از جمله فلزات سنگین و آلاینده‌های منابع آب و مواد غذایی، و تهدیدی مهم برای حیات انسان و سایر ارگانیسم‌ها است که مشکلات زیست‌محیطی عمده‌ای را در سراسر جهان به وجود آورده است و به عنوان مسأله‌ی حاد سلامت عمومی مطرح است (سیگریست و همکاران، ۲۰۰۹). این عناصر با حضور در آب و خاک، وارد گیاهان شده و خود را به چرخه

و هرم غذایی منتهی به انسان می‌رسانند؛ و موجب بیماری در موجودات زنده می‌شوند. از آن جمله بیماری آرسنیکوزیس^۱ است که افراد در اثر مصرف آرسنیک موجود در آب‌های آشامیدنی، به آن مبتلا می‌شوند. زخم‌های پوستی و انواع سرطان در انسان از دیگر عوارض آن است (پورفیسی، ۱۳۸۶). طی چند سال اخیر گزارشات عوارض ناشی از مصرف آب شرب حاوی آرسنیک در مردم روستاهای منطقه تهیه شده است (مسافری و همکاران، ۲۰۰۸).

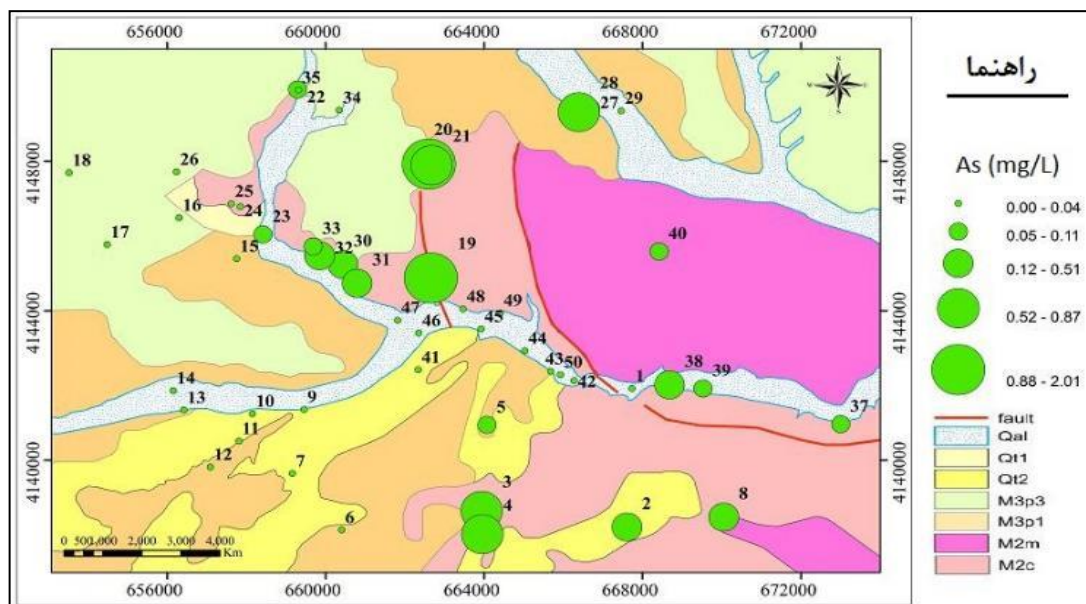
یکی از روش‌های بررسی غلظت عناصر محلول و شناسایی مکان‌های آلوده، تعیین ضریب کیفیت مجاز می‌باشد. این ضریب مطابق رابطه‌ی زیر با استفاده از نسبت غلظت عناصر در نمونه، به غلظت استانداردهای بین‌المللی تعیین می‌شود.

ضریب کیفیت مجاز آرسنیک = غلظت استاندارد آرسنیک در آب شرب (0.01 mg/L) / غلظت آرسنیک در نمونه (mg/L)

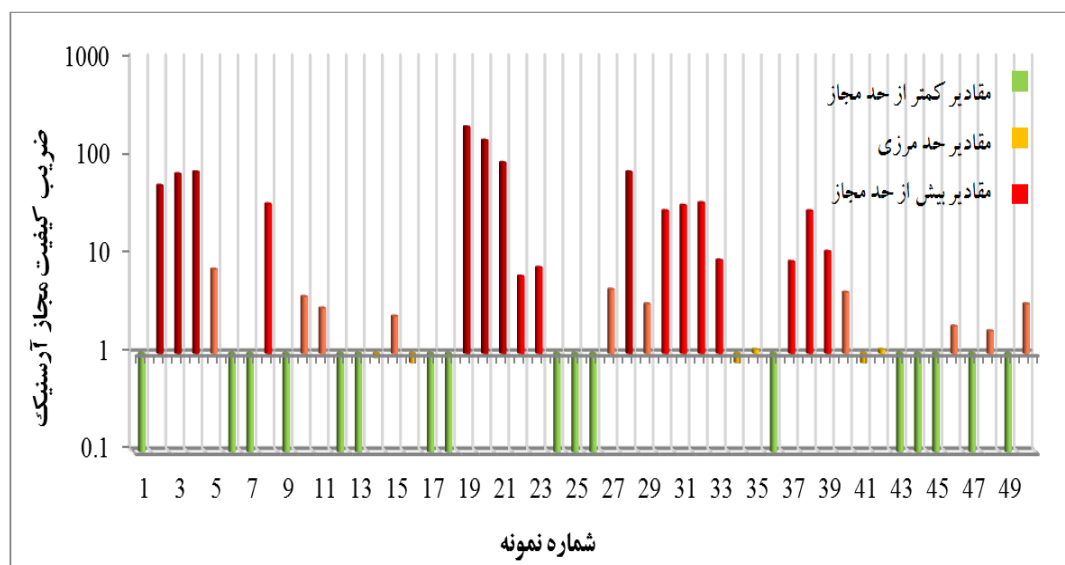
پس از محاسبه‌ی ضریب کیفیت مجاز آرسنیک در نمونه‌ها معلوم شد که غلظت عنصر موجود در نمونه چندین برابر غلظت حد استاندارد (سازمان سلامت جهانی^۱، ۲۰۰۸) است. نمونه‌های قرزلو، خورشید، قزله و گوجه‌کملاق بیش از ۱۰ برابر حد مجاز و نمونه‌های مربوط به قوپوز (شماره‌ی ۲۱)، چشمه ذولبین (شماره‌ی ۲۸) و شوردرق (شماره‌ی ۲، ۳ و ۴) بیش از ۵۰ برابر حد مجاز را دارا هستند. بیشترین آنومالی آرسنیک منطقه در نمونه‌ی مربوط به چشمه و دریاچه‌ی روستای قوپوز (شماره‌ی ۲۰ و ۱۹) به ترتیب در حدود ۱۴۷ برابر و ۲۰۰ برابر حد مجاز آرسنیک در آب شرب می‌رسد. مطالعه‌ی مقادیر آرسنیک در سایر نقاط در دسترس از جمله مسیر رودخانه‌های آمالو و قرنقو و برخی چشمه‌ها و مخزن سد منجر به شناسایی مکان‌های دارای آنومالی گردید.

نمودار دایره‌ای توزیع آرسنیک و نمودار ستونی مربوط به مقادیر ضرایب کیفیت مجاز آرسنیک در محدوده‌ی مطالعاتی مطابق شکل (۷) و (۸) ارائه شده است. آرسنیک نمونه‌ها بین 0.01 - 2 mg/L متفاوت است. وجود مقادیر بالای آرسنیک در منابع آب عموماً از سازندهای منطقه منشأ می‌گیرد. بنابراین، برای بررسی منشأ آنومالی آرسنیک در منابع آبی منطقه، مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری از سازندهای موجود در مناطق با آرسنیک بالا در منطقه صورت گرفت (ندیری و همکاران، ۱۳۹۰ و ۲۰۱۳). بالاترین غلظت‌های آرسنیک در نمونه‌های آب زیرزمینی است که ممکن است به دلیل فرآیندهای تقابل آب-سنگ طبیعی باشد. با توجه به این که هیچ‌گونه فعالیت آلوده‌کننده‌ی صنعتی و شهری در منطقه دیده نمی‌شود، تنها منشأ انسان‌زاد که می‌توان برای این آلودگی فرض کرد، استفاده از کود و سموم شیمیایی حاوی آرسنیک است؛ که به دلیل محدودیت

استفاده در منطقه، عامل اصلی آلودگی محسوب نمی‌شود. منشأ اصلی آنومالی آرسنیک در منطقه ناشی از سازندهای زمین‌شناسی مرتبط با ماگماتیسم، دگرگونی، تکتونیک و تخلخل می‌باشد. طی مشاهدات صحرایی و نمونه‌برداری از سازندهای موجود در مناطق دارای آرسنیک بالا، سولفید آرسنیک در شکستگی‌ها و درز و شکاف آهک، مارن و ماسه‌سنگ‌ها و کنگولومرای قرمز فوقانی، به صورت بافت‌های پرکننده فضای خالی دیده می‌شود و بافت کلو فورم در رگه‌ها، نشانگر کانی‌سازی در حرارت و عمق کم منطقه است. شکستگی‌ها در ایجاد مسیر حرکت محلول‌های هیدروترمال تحت فشار و تمرکز کانی‌های آرسنیک‌دار نقش دارند؛ به طوری که از راستا و توزیع گسل‌ها تبعیت می‌کنند. گسل‌های اصلی نقش کنترل‌کننده داشته و کانی‌زایی عموماً در گسل‌های فرعی و شکستگی‌ها روی داده است. کانی‌های اصلی آرسنیک در منطقه، شامل رآلگار و اورپیمنت می‌باشد. منشأ اصلی این کانی‌زایی‌ها فعالیت‌های اپی‌ترمال در سازندها است و وجود کانی‌های آمفیبول و بیوتیت در توده‌ی آذرین منطقه نشانگر توانایی ماگما در تولید سیالات گرمایی است که علاوه بر جزو متئوریک کانسارهای اپی‌ترمال، جزو ماگمایی در ارتباط با دم‌های سهند، سازندها را تحت تأثیر قرار داده و انواع دگرسانی‌های سیلیسی شدن، دولومیتی شدن، پیریتی شدن و دی‌کلسی‌فیکاسیون مرتبط با تمرکز آرسنیک را به وجود آورده است (ندیری و همکاران، ۲۰۱۲).

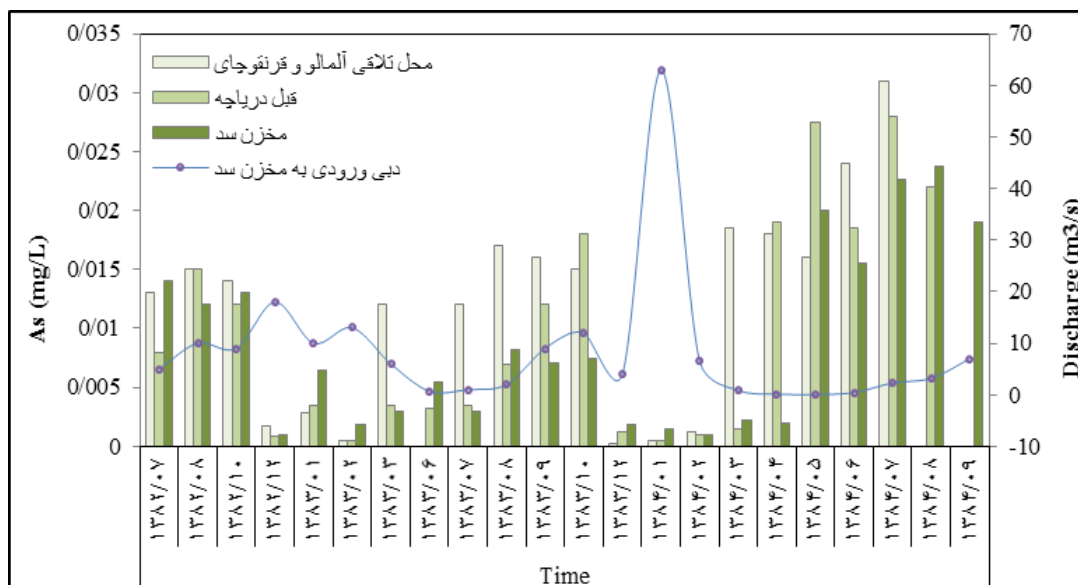


شکل (۷) نمودار دایره‌ای توزیع مقادیر آرسنیک از ۵۰ نقطه نمونه‌برداری شده در سال ۱۳۹۰

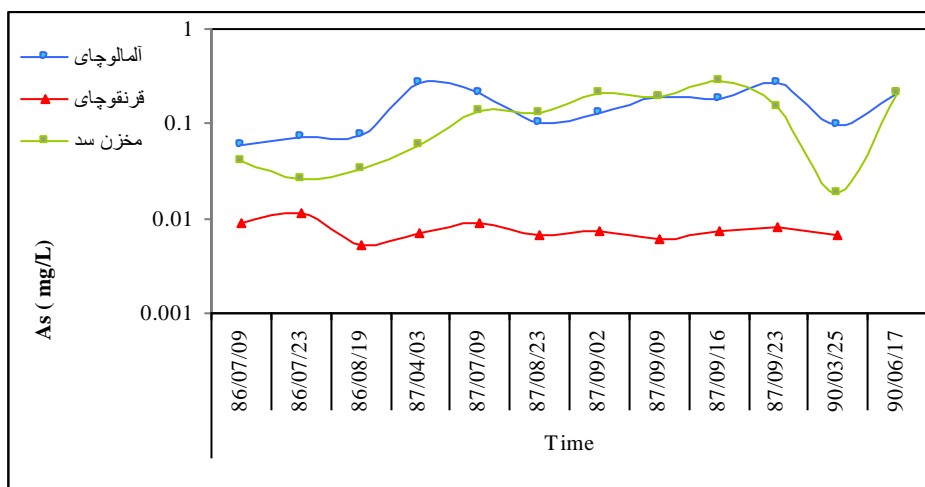


شکل (۸) ضریب کیفیت مجاز آرسنیک در نمونه‌های برداشت شده از منطقه‌ی مطالعاتی

برخی از منابع آبی دارای آنومالی آرسنیک تعیین شده از داده‌های هیدروشیمیایی قبلی شامل چشمه‌های بستر مخزن یا برخی چشمه‌های دیگر در حال حاضر خشک شده‌اند یا امکان دسترسی و نمونه‌برداری از آنها وجود ندارد. مطالعه‌ی مقادیر آرسنیک در سایر نقاط در دسترس از جمله مسیر رودخانه‌های آملو و قرنقو و برخی چشمه‌ها و مخزن سد منجر به شناسایی مکان‌های دارای آنومالی گردید. مطالعه‌ی تغییرات غلظت آرسنیک در آنها نسبت زمان و دبی‌های مختلف مطابق شکل (۹) انجام شد. تغییرات غلظت آرسنیک نسبت به دبی‌های مختلف نشان داد که با افزایش دبی رودخانه مقادیر آرسنیک کاهش می‌یابد. علت افزایش غلظت آرسنیک در فصول خشک می‌تواند مربوط به کاهش آب‌های جاری و تخلیه‌ی آب چشمه‌های دائمی و دارای آرسنیک بیشتر باشد (صادقی اقدام، ۲۰۱۳). این تغییرات مربوط به ساز و کارهای فرآیندهای جذب و آزادسازی عناصر در تعامل بین آب و رسوبات است. مقایسه‌ی مقادیر آرسنیک در رودخانه‌های آملو و قرنقو و مخزن سد مطابق شکل (۱۰) نشان می‌دهد که مقادیر آرسنیک در آملو به مراتب خیلی بیشتر از قرنقو است که آنومالی بالای مقادیر آرسنیک آورده شده توسط آملو باعث کاهش کیفیت آب مخزن می‌گردد.



شکل (۹) تغییرات غلظت آرسنیک نسبت به دبی



شکل (۱۰) تغییرات غلظت آرسنیک نسبت به زمان

نتیجه گیری

استخراج عوامل مؤثر بر هیدروشیمی منطقه منجر به شناسایی دو آنومالی اصلی منابع آبی شامل آرسنیک و شوری گردید. منشأ بیشترین مواد محلول آب دره‌ی عین‌آباد و رودخانه‌ی آملو تعیین گردید که این مکان‌ها مرتبط با سازند قرمز فوقانی و انحلال تشکیلات گچی و نمکی می‌باشد. غلظت آرسنیک تعدادی از نمونه‌های آنالیز شده به بیش ۲۰۰ برابر حد مجاز آرسنیک در آب شرب (۰/۱ mg/L) می‌رسد. آنومالی اصلی آرسنیک

مربوط به مناطق قوپوز، ذولبین و شوردرق است که علت آن عامل زمین‌زاد مرتبط با سازند آرسنیک‌دار منطقه می‌باشد. در شاخه‌ی عین‌آباد آنومالی آرسنیکی مشاهده نگردید و به طور کلی این مکان جزو عوامل افت کیفیت از لحاظ افزایش شوری و مواد محلول آب است. مقادیر آرسنیک و شوری بالای آورده شده توسط رودخانه‌ی آملو نسبت به رودخانه‌ی قرقو باعث کاهش کیفیت آب مخزن می‌گردد. کیفیت منابع آب شرب از نظر آرسنیک و شوری در نقاط مختلف محدوده‌ی مطالعاتی متفاوت است. با توجه به اینکه آب شرب شهرستان هشتروند از ذخیره‌ی این سد تأمین می‌گردد و با در نظر گرفتن کاهش آنومالی در زمان‌های آبیگری مخزن و فصول پر آب اتخاذ تدابیر مدیریتی مناسب برای کنترل کیفی آب مخزن الزامی است. کیفیت آب مخزن برای مصارف کشاورزی از نوع کمی شور و مناسب می‌باشد.

سپاسگزاری

از مسئول محترم آزمایشگاه آب‌شناسی گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز به دلیل همکاری و کمک‌های صمیمانه در تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌های آب و شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی به خاطر در اختیار قرار دادن گزارشات پایش‌های کیفی منطقه کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- آقاناتی، سیدعلی (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آقایی، حسین (۱۳۸۸)، بررسی هیدروژئوشیمی محدوده‌ی غرب هشتروند با تأکید بر آنومالی‌های احتمالی آرسنیک در منطقه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز.
- اصغری مقدم، اصغر (۱۳۸۹)، اصول شناخت آب‌های زیرزمینی، تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز.
- سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، (۱۳۸۶)، مطالعات هیدروژئولوژی طرح سد سهند، شرکت مشاورین آب‌بند، گزارش نهایی، نشریه‌ی شماره‌ی ۶۳۲.
- صادقی اقدم، فریبا (۱۳۹۱)، بررسی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت منابع آب ورودی به سد سهند هشتروند با تأکید بر آنومالی آرسنیک، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز.
- ندیری، عطالله؛ اصغری مقدم، اصغر؛ صادقی اقدم، فریبا و حسین آقایی (۱۳۹۰)، بررسی آنومالی آرسنیک موجود در منابع آب سد سهند، محیط‌شناسی، سال سی و هشتم، شماره‌ی ۳، ص ۶۱-۷۴.

- Anawar, H.M.; Akai, J.; Mihaljevic, M.; Sikder, A.M.; Ahmed, G.; Tareq, S.M. & Rahman, M.M., (2011), **Arsenic Contamination in Groundwater of Bangladesh: Perspectives on Geochemical, Microbial and Anthropogenic Issues**, Water, Vol. 3, PP 1050-1076.
- Aris, A.Z.; Abdullah, M.H.; Ahmed, A. and Woong, K.K., (2007), **Controlling Factors of Groundwater Hydrochemistry in a Small Island's Aquifer**, Environ Science, Vol. 4, No. 4, PP 441-450.
- Bouwer, H. (1978), **Groundwater Hydrology**. McGraw-Hill, Inc.
- Bundschuh, J.; Litter, M.I.; Parvez, F.; Román-Ross, G.; Nicolli, H.B.; Jean, J. Sh.; Liu Ch.; López, D; Armienta, M. A.; Guilherme, L.R.G.; Cuevas, A.G.; Cornejo, L.; Cumbal, L. & Toujaguez, L.R., (2011), **One Century of Arsenic Exposure in Latin America: A Review of History and Occurrence from 14 Countries**, Science of the Total Environment, Vol. 429, PP 2-35.
- Cardoso, S.; Grajeda, C.; Argueta, S. and Garrido, S.E., (2010), **Experiencia Satisfactoria Para la Remocion de Arsenico en Condado Naranjo, Mixco, Guatemala**. In: Litter, M.I., Sancha, A.M., Ingallinella, A.M. Editors. *Tecnologías Economicas Para el Abatimiento de Arsenico en Aguas*, Buenos Aires, Argentina: Editorial Programa Iberoamericano de Ciencia, Tecnologia para el Desarrollo, PP 211–22.
- Chiban, M., Zerbet, M., Carja, G. & Sinan, F., (2012), **Application of low-cost adsorbents for Arsenic Removal: A Review**, Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, Vol. 4, No. 5, PP 91-102.
- Cornejo, L.; Lienqueo, H.; Arenas, M.; Acarapi, J.; Contreras, D.; Yanez, J. & Mansilla, H.D., (2008), **In Field Arsenic Removal from Natural Water by Zero-valent Iron Assisted by Solar Radiation**, Environmental Pollution, Vol. 156, PP 827-831.
- Dar, I.A.; Sankar, K. & Dar, M.A., (2010), **Remote Sensing Technology and Geographic Information System Modeling: An Integrated Approach towards the Mapping of Groundwater Potential Zones in Hardrock Terrain, Mamundiyar Basin**, Journal of Hydrology, Vol. 394, No. 3-4, PP 285–295.
- Davis, N.S. & Dewiest, R.J.M., (1966), **Hydrogeology**, John Wiley and Sons Inc, U.S.A.
- Deschamps, E. & Matschullat, J. (2011), **Arsenic: natural and anthropogenic**. Bundschuh J, Bhattacharya P, editors, *Arsenic in the Environment* Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema Publisher.
- Dragon, K., (2006), **Application of Factor Analysis to Study Contamination of a Semi-Confined Aquifer (Wielkopolska Buried Valley Aquifer, Poland)**, Journal of Hydrology, Vol. 331, PP 272– 279.

- Emberger, L., (1930), **La vegetation de la Region Mediterraneenne, Essai D'une Classification des Groupements Vegetaux**, Rev. Gen. Bot, Vol. 42, PP 641-662, 705-721.
- Fetter, C.W., (1994), **Applied Hydrogeology**, New York: Prentice hall publishing.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., (1979), **GroundWater**, Prentice-Hall, Inc.
- Gupta, L.P. & Subramanian, V. (1998), **Geochemical Factors Controlling the Chemical Nature of Water and Sediments in the Gomti River; India**, Environmental Geology, Vol, 3, No. ½, , PP 102–108.
- Gurung, K.; Hiroaki, I; & Khadka, M.S., (2005), **Geological and Geochemical Examination of Arsenic Contamination in GroundWater in the Holocene Terai Basin, Nepal**, Environ Geol, Vol. 49, PP 98–113.
- Hem, J., (1989), **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, U.S**, Geological Survey Water-Supply Paper, 2254. 263.
- Hounslow, A.W. (1995), **Water Quality Data: Analysis and Interpretation**, Lewis Publishers.
- Jha, M.K.; Chowdhury, A. & Chowdary, V.M., (2006), **GroundWater Management and Development by Integrated Remote Sensing and Geographic Information System: Prospects and Constraints**, Water Resource Manage, Vol. 21, PP 427-467.
- Khan, A.T. (2011), **Multivariate analysis of Hydrochemical Data of the Groundwater in Parts of Karvan-Sengar SUB-basin, Central Ganga basin, India**, Global NEST Journal, Vol. 13, No. 3, PP 229-236.
- Mosaferi, M.; Yunesian, M.; Dastgiri, S.; Mesdaghinia, A. & Esmailnasab, N., (2008), **Prevalence of Skin Lesions and Exposure to Arsenic in Drinking Water in Iran**, Science of the Total Environment, Vol. 390, PP 69–76.
- Nadiri, A.A.; Sadeghi Aghdam, F.; Asghari Moghaddam, A. and Asadi, S., (2013), **Arsenic Anomalies Occurrence in Water Resources of Sahand Dam of Hashtrud, Iran**, ASCE Texas Section Fall Conference and Centennial Celebration. Dallas, Texas.
- Papatheodorou, G.; Demopulou, G. & Lambrakis, N., (2006), **A long-term Study of Temporal Hydrochemical Data in a Shallow Lake Using Multivariate Statistical Techniques**, Ecological Modelling, Vol. 193, PP 759–776.
- Richard, L.A., (1954), **Diagnosis and Impovement of Saline Alkali Soils Agriculture**, Handbook 60, US Department of Agriculture, Washington DC.
- Schwartz, F.W. & Zhang, H., (2003), **Foundamentals of groundwater**, John Wiley and Sons, Inc.

- Solomon, S. & Quiel, F. (2006), **Groundwater study using remote sensing and geographic information systems (GIS) in the central highland of Eritrea**, Hydrogeology Journal, Vol. 14, PP 729-741.
- Todd, D.K. and Mays, L.W. (2005), **Groundwater Hydrology**, John Wiley and Sons, NewYork.
- World Health Organization (WHO), (2008), **Guidelines for Drinking-water Quality**, Third Edition, Incorporating the First and Second Addenda, Vol. 1. Recommendations World Health Organization, WHO Press, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Yidana, M.S.; Banoeng-Yakubo, B. & Sakyi, A.P., (2012), **Identifying Key Processes in the Hydrochemistry of a Basin Through the Cmbined Use of Factor and Regression Models**, Earth Syst. Sci, Vol. 121, No. 2, PP 491-507.