

بررسی منشاء شوری آب رودخانه زهره در پایین دست سد چم شیر و قابلیت آن برای مصارف کشاورزی

حمیدرضا محمدی بهزاد

دانشجوی دکتری گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

نصراله کلانتری

استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

بابک بیگلری

سرپرست واحد آب زیر زمینی شرکت مهندسی مشاور بهکار آب اهواز، خوزستان، اهواز، ایران

مهدی ترابی کاوه

دانشجوی دکتری گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۸

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۱

nkalantari@hotmail.com

چکیده

محدوده مورد مطالعه، بخشی از مخزن سد چم شیر و قسمت‌های پایین دست آن در حوضه آبریز رودخانه زهره می‌باشد که در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر گچساران (جنوب غرب ایران) واقع گردیده است. به منظور تأمین آب اراضی کشاورزی پایین دست سد، کیفیت آب رودخانه زهره با تشکیل ۸ ایستگاه نمونه برداری طی دو دوره زمانی قبل و بعد از بارندگی در محدوده مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی‌های اولیه نشان داد که دو زون آلوده کننده جزئی و اصلی در موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری R_4 و R_5 وجود دارد که به ترتیب با تغییرات ناگهانی یون‌های کلسیم-سولفات و سدیم-کلر همراه می‌باشند. بر اساس نتایج به دست آمده، موقعیت زون‌های آلودگی یاد شده با موقعیت گسل‌های اصلی منطقه انطباق دارد و این گسل‌ها با انتقال آب‌های شور سولفات و کلروره از بخش‌های مختلف در زیرزمین و اضافه نمودن آنها به سطح اساس رودخانه، نقش مهمی را در آلودگی‌های بوجود آمده ایفا می‌کنند. شدت آلودگی‌ها به اندازه‌ای است که استفاده از آب رودخانه را برای مصارف کشاورزی با مشکل مواجه ساخته است.

کلمات کلیدی: رودخانه زهره، سد چم شیر، زون‌های آلودگی، گسل‌های اصلی

مقدمه

در سال‌های اخیر، شور شدن و کاهش کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی به یکی از مشکلات محیطی جدی در ایران و جهان تبدیل شده است (کردوانی، ۱۳۷۱؛ کلانتری و علیجانی، ۱۳۸۷؛ Glynn and Plummer, 2005; Djabri et al., 2008).

این موضوع بر اهمیت مدیریت مناسب مصرف منابع آبی مذکور می‌افزاید. مدیریت و کنترل کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی نیازمند شناسایی عوامل مؤثر و تعیین منشأ تغییرات کیفی آب می‌باشد (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۸۹؛ بوسلیک، ۱۳۹۰؛ کلانتری و همکاران، ۱۳۹۰؛ روحی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Cloutier, Marie and Vengosh, 2001; 2004; Yong-Hong et al., 2007; De-montety et al., 2008; Khodapanah et al., 2009; Chiesi et al., 2010; Obiefuna and Orazulike, 2011; Hofmann and Cartwright, 2013; Srinivasamoorthy et al., 2014). شور شدن منابع آب سطحی متأثر از عوامل طبیعی و انسانی است. چشمه‌های آب شور، نفوذ آب‌های شور زیرزمینی و محلول‌های نمکی به سطح اساس منابع آب‌های سطحی نظیر دریاچه و رودخانه، انحلال سازندهای گچی و نمکی در مسیر جریان آبراهه و رودخانه، کیفیت آب‌های نفوذی از آبخوان‌های مجاور و شرایط زمین‌شناسی حوزه آبرگیر رودخانه از عوامل طبیعی مهم در افت کیفیت منابع آب‌های سطحی محسوب می‌شوند (Richter and Kreitler,

1986; Vengosh and Rosenthal, 1994; Howard et al., 1996; Pecka and Hatton, 2003; Xie et al., 2006; Lugli, 2009).

رودخانه زهره با حوضه آبرگیری به وسعت ۱۷۱۵۰ کیلومتر مربع و طول ۴۹۰ کیلومتر، یکی از بزرگترین رودخانه‌های ایران است که از ارتفاعات جنوبی رشته کوه‌های زاگرس در جنوب غرب ایران سرچشمه می‌گیرد و در نهایت به خلیج فارس می‌ریزد. محدوده مطالعاتی این تحقیق، بخشی از مخزن و قسمت‌های پایین دست سد چم شیر در حوضه-آبریز رودخانه زهره است که در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر گچساران (دوگنبدان)، قرار گرفته است. نوع سد بتنی (قوسی و وزنی)، ارتفاع از پی ۱۵۵ متر و حجم مفید مخزن ۱/۸ میلیارد مترمکعب می‌باشد. موقعیت استثنائی رودخانه در محل تنگه چم شیر از نظر توپوگرافی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی باعث گردیده است که این محل یکی از گزینه‌های مناسب برای احداث سد مخزنی از دید منابع ملی کشور معرفی گردد (شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک یاسوج، ۱۳۸۷). مطالعات نشان می‌دهد که کیفیت آب رودخانه زهره در پایین دست سد چم شیر دستخوش تغییرات زیادی شده، بطوریکه در طول ۲/۲ کیلومتر بعد از محل سد، کیفیت آب رودخانه به شدت افت پیدا می‌کند. این کاهش شدید کیفیت آب در فاصله کوتاه، باعث اعمال محدودیتی در مقصود اصلی پژوهش، یعنی تأمین آب کشاورزی اراضی پایین دست سد گردیده است.

همچنین در محدوده مخزن و در اطراف رودخانه زهره، تراس‌های قدیمی و جدید رودخانه‌ای با ضخامت متغیر وجود دارد (شکل ۱). این نهشته‌ها، از رسوبات درشت شن و ماسه همراه با سیلت و ذرات گچ و رسوبات سیلتی ماسه‌ای دانه‌ریز تشکیل شده‌اند.

از نظر تکتونیکی، منطقه مورد مطالعه در نوار چین خورده زاگرس قرار گرفته است. به هم فشردگی ناشی از اعمال نیروهای تکتونیکی در نوار چین خورده زاگرس، پاره‌ای از گسل‌ها و رورانده‌های کوچک و نسبتاً بزرگ را در منطقه مورد مطالعه ایجاد کرده که راندگی دژ سلیمان و گسل‌های چم‌شیر ۱ و ۲ مهمترین آنها می‌باشند (شکل ۱). نقش راندگی دژ سلیمان در منطقه مورد مطالعه از چند نظر حائز اهمیت است: ابتدا با بالا آوردن سازند گچساران از قسمت‌های زیرین به بخش‌های بالاتر باعث جدا شدن قسمتی از سازند میشان در یال شمال شرقی ناودیس چم‌شیر گشته و سپس سازند گچساران را بر روی سازند میشان رانده است. دوماً فشارهای تکتونیکی ناشی از این بالا آمدگی، باعث تشکیل زون گسله مهمی بنام زون گسله چم‌شیر گردیده است. گسل‌های کم عمق و نسبتاً عمیق چم‌شیر ۱ و ۲ از مهمترین گسل‌های تشکیل شده در این زون گسله هستند (ترابی کاوه، ۱۳۸۹). ظهور چشمه‌های متعدد در امتداد این گسل‌ها و راندگی دژ سلیمان، نشان از فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه مورد مطالعه دارند.

با توجه به گسترش سازندهای زمین‌شناسی و ظهور چشمه‌ها و نتایج آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی آب آنها (جدول ۱)، آبخوان‌های محدوده مورد مطالعه به دو دسته عمده شامل آبخوان‌های میشان و گچساران قابل تقسیم می‌باشند. بر اساس نتایج آبدی چشمه‌ها (جدول ۱)، آبخوان‌های مذکور در رده واحدهای هیدروژئولوژیکی ضعیفی قرار دارند. بررسی‌های نشان می‌دهد، تناوب لایه‌های آهک مارنی و مارن‌های سازند میشان و نفوذپذیری کم آنها از یک سو و رخداد کم بارندگی‌ها از سوی دیگر، سبب گردیده تا میزان آبدی چشمه‌های خروجی از این سازند کم باشد. اما در مورد سازند گچساران، با توجه به گسلس شدید و حضور لایه‌های انحلال‌پذیر گچ و نمک، پتانسیل آبدی خروجی‌های این سازند بنظر بایستی بهتر باشد، ولی شواهد نشان می‌دهد که بخش مهمی از آب‌های تغذیه‌ای توسط سامانه گسلی منطقه مورد مطالعه، در جای دیگری تخلیه می‌شوند (ترابی کاوه، ۱۳۸۹). آبخوان میشان با توجه به میزان TDS چشمه‌های خروجی، از لحاظ کیفی وضعیت خوبی را نشان می‌دهد. چشمه‌های SF_1 ، SF_2 و SF_3 خروجی‌های آبخوان میشان هستند که در راستای گسل چم‌شیر ۲ ظهور می‌یابند (شکل ۱). آب‌های خروجی از واحدهای هیدروژئولوژیکی سازند گچساران از میزان TDS بالایی برخوردار هستند و براساس نتایج هیدروشیمی آب‌های تخلیه شده از آنها (جدول ۱)، به دو دسته آبخوان سولفات و آبخوان کلروره تقسیم می‌شوند.

آبخوان‌های سولفات با توجه به میزان متوسط TDS چشمه‌های خروجی SS_1 تا SS_7 (حدود ۳۳۰۰ کمتر از ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در مقایسه با آبخوان‌های کلروره از قسمت‌های کم عمق‌تر (بخش‌های ۶ و ۷ سازند گچساران) تغذیه می‌شوند. همچنین غلظت بالای یون سولفات (حدود ۲۱۵۰-۱۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در چشمه‌های مذکور، دلیل دیگری بر تغذیه آنها از آبخوان‌های کم عمق سولفات با سنگ مخزن ژپسی و انیدریتی می‌باشد.

در این محدوده بیش از ۶۰٪ از مسیر رودخانه، توسط سازند گچساران متشکل از رخنمون لایه‌های مارن و گچ پوشیده شده است و چشمه‌های شور متعددی در طول مسیر دیده می‌شوند که می‌توانند کیفیت آب رودخانه را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین هدف اصلی این تحقیق بررسی منشأ شوری آب رودخانه زهره در پایین دست سد چم‌شیر جهت استفاده از آن برای تأمین آب کشاورزی اراضی پایین دست سد می‌باشد.

وضعیت زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

سازندهای زمین‌شناسی موجود در محدوده مورد مطالعه به ترتیب از قدیم به جدید شامل: گچساران (میوسن آغازی)، میشان (میوسن آغازی-میانی)، آجاجاری (میوسن-پلیوسن پایانی)، کنگلومرای بختیاری (پلیوسن پایانی-پلیستوسن) و رسوبات آبرفتی عهد حاضر می‌باشند (شکل ۱).

از نظر زمین‌شناسی مخزن سد چم‌شیر تماماً روی سازندهای گچساران، میشان و آجاجاری قرار دارد. قدیمی‌ترین رخنمون در مخزن متعلق به سازند گچساران می‌باشد. در برش نمونه که بر پایه اطلاعات حاصله از حفاری‌های نفتی در ناحیه گچساران بدست آمده، این سازند شامل هفت بخش به شرح زیر می‌باشد (Setudehnia, 1972):

- بخش اول: تناوب انیدریت ضخیم لایه، آهک و شیل به ضخامت ۴۰ متر
- بخش دوم: نمک ضخیم لایه، انیدریت همراه با آهک‌های نازک لایه به ضخامت ۱۱۶ متر

- بخش سوم: انیدریت ضخیم لایه همراه با نمک به ضخامت ۲۳۰ متر
- بخش چهارم: نمک ضخیم لایه همراه با مارن، آهک خاکستری و انیدریت به ضخامت ۸۴۸ متر

- بخش پنجم: مارن قرمز و خاکستری در تناوب با انیدریت (یا ژپیس) به ضخامت ۳۲۴ متر

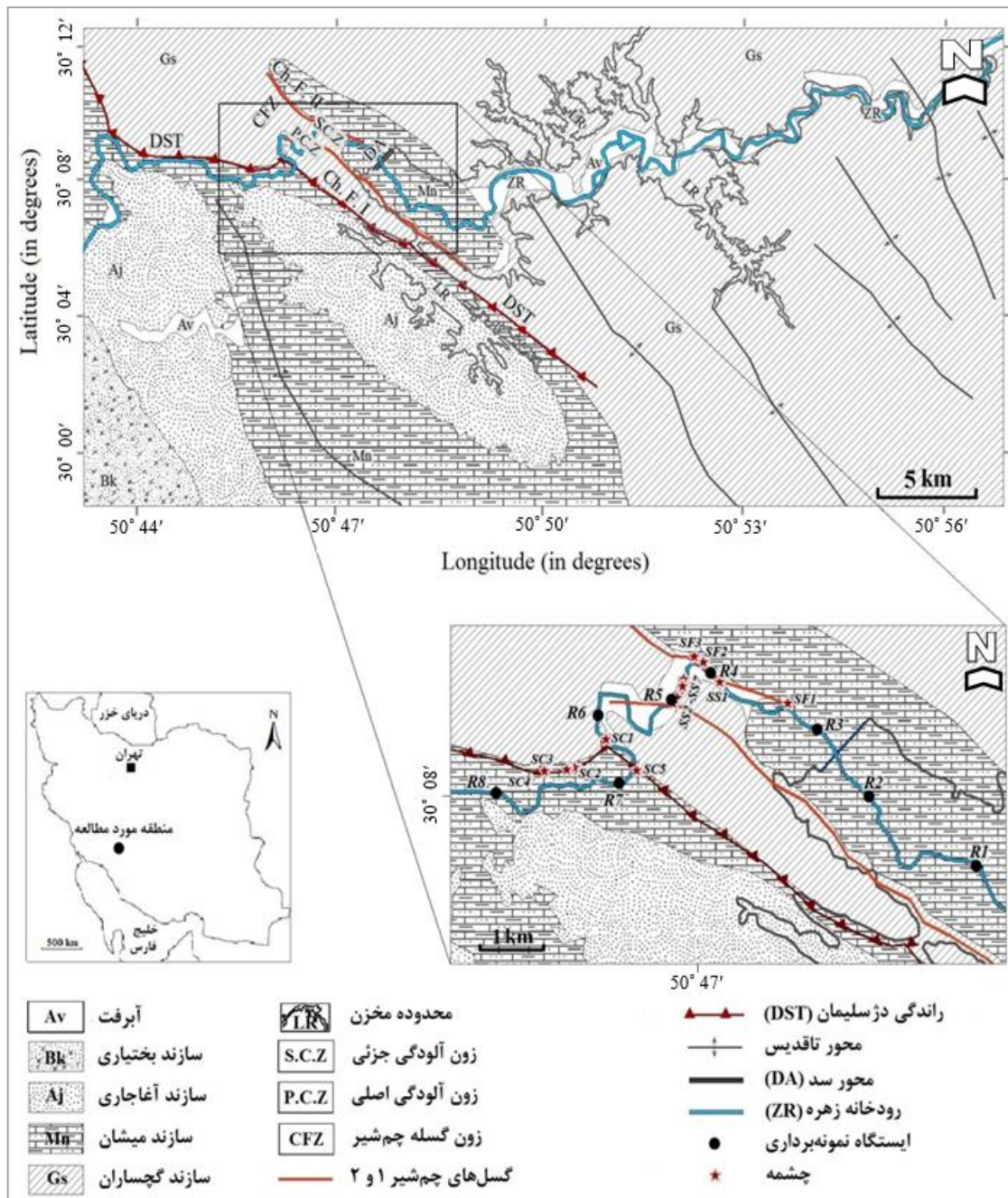
- بخش ششم: تناوبی از لایه‌های انیدریت (یا ژپیس)، نمک، مارن قرمز و آهک به ضخامت ۲۸۶ متر

- بخش هفتم: تناوبی از لایه‌های ژپیس، مارن خاکستری و آهک به ضخامت ۱۳۹ متر

ذکر این نکته لازم است که لایه‌های گچی در بخش‌های سطحی بیشتر بصورت ژپیس و در بخش‌های عمیق‌تر بیشتر بصورت انیدریت دیده می‌شوند.

سازند گچساران بیشتر قسمت‌های دریاچه سد را در خود جای داده است (شکل ۱). در این منطقه بخش‌های ۵، ۶ و ۷ از سازند یاد شده در تماس با مخزن می‌باشند، اما در پایین دست سد فقط بخش ۷ از آن رخنمون دارد. سازند میشان که بطور هم‌شیب بر روی رسوبات گچساران قرار دارد، قسمت‌های غربی تا جنوب غربی دریاچه سد را شامل می‌شود و محور و ساختگاه سد چم‌شیر را در خود جای داده است. این سازند دارای دو رخساره مختلف می‌باشد. رخساره سنگ آهک توده‌ای؛ تشکیل شده از یک توده آهک بیوهرمی که به صورت یک لنز بزرگ در میان رخساره دوم (تناوب لایه‌های مارن و آهک کوکونوئیددار) قرار گرفته است.

رودخانه زهره در محل تنگه چم‌شیر با فرسایش رخساره‌های فوق تنگه نسبتاً طویل (حدود یک کیلومتر) و کم عرض (حداقل ۱۰ متر) را در توده آهک بیوهرمی ایجاد نموده و شرایط مناسبی را برای احداث سد مخزنی چم‌شیر بوجود آورده است. سازند آجاجاری که بخش محدودی از مخزن را تشکیل داده بیشتر در جنوب غرب دریاچه سد بیرون‌زدگی دارد و متشکل از ماسه‌سنگ، سیلتستون، لایه‌های کنگلومرا و مارن‌های ژپیس‌دار است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی، موقعیت منطقه مورد مطالعه، و موقعیت چشمه‌ها و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

همچنین درصد بالای نمک (بیش از ۱۰۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در بخش‌های ۶ به پایین سازند گچساران بنابر داده‌های به دست آمده از حفاری چاه‌های نفت در این سازند (شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک یاسوج، ۱۳۸۷)، و شواهد دیگری از جمله استنشام بوی گوگرد، دمای نسبتاً بالا و pH کم بعضی از چشمه‌های کلروره مؤید مطلب فوق هستند. همه چشمه‌ها کلروره همراه با یدیدگر و بعد از ایستگاه R₅، در راستای راندگی دژ سلیمان ظهور می‌یابند.

این چشمه‌ها بجز چشمه SS₁ که در تراز نزدیک به رودخانه و در راستای گسل چم شیر ۲ و قبل از ایستگاه R₄ ظهور می‌یابد، همگی در ارتباط با گسل چم شیر ۱ و در تراز نزدیک به رودخانه ظهور می‌یابند. آبخوان‌های کلروره با توجه به آنالیز فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌های خروجی آن (SC₁ تا SC₅)، برخلاف آبخوان‌های سولفاته و میشان دارای شوری (حدود ۵۸۷۱۲-۲۸۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و همچنین غلظت یون کلر (حدود ۲۹۹۵۴-۱۶۹۳۱ میلی‌گرم بر لیتر) بسیار بالایی می‌باشند. این مسئله می‌تواند بیانگر تغذیه از بخش‌های عمیق‌تر سازند گچساران باشد.

جدول ۱. نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی چشمه‌های منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی شهریور ۱۳۸۷

چشمه	ارتفاع (m)	Q (lit/sec)	T (°C)	pH	EC (µmho/cm)	TDS (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	تیپ آب
SF1	۵۰۰	۰/۱-۱	۲۴	۷/۶	۸۲۴	۵۱۲	۱۶۲	۶۳	۳۲	۲	۱۸۴	۱۴۲	۴۹	بیکربناته کلسیک
SF2	۵۵۰	۰/۱-۱	۲۴	۷/۷	۸۸۰	۵۴۷	۱۷۶	۶۸	۲۹	۳	۱۹۲	۱۵۱	۵۴	بیکربناته کلسیک
SF3	۴۳۷	۱-۱۰	۲۴	۷/۵	۷۱۹	۴۶۶	۱۴۸	۵۶	۳۵	۲	۱۷۸	۱۳۶	۵۸	بیکربناته کلسیک
SS1	۴۴۰	۱-۱۰	۲۶	۷/۴	۴۹۸۹	۳۲۹۳	۵۵۶	۷۹	۲۱۰	۳	۱۵۰	۱۴۵۴	۳۰۰	سولفاته کلسیک
SS2	۴۳۲	۰/۱-۰/۰۱	۲۶	۷/۴	۶۳۵۰	۴۱۹۱	۶۴۸	۸۳	۲۱۷	۴	۱۴۷	۱۷۹۶	۳۴۱	سولفاته کلسیک
SS3	۴۳۲	۰/۱-۰/۰۱	۲۷	۷/۳	۷۲۳۰	۴۷۷۲	۷۰۱	۸۷	۲۶۸	۴	۱۴۱	۲۱۰۷	۴۱۴	سولفاته کلسیک
SS4	۴۵۶	۰/۱-۰/۰۱	۲۶	۷/۵	۶۱۲۰	۴۰۳۹	۶۱۴	۹۴	۲۲۴	۴	۱۵۱	۱۷۵۴	۳۳۷	سولفاته کلسیک
SS5	۵۰۰	۰/۱-۰/۰۱	۲۷	۷/۴	۶۸۷۰	۴۵۳۴	۶۷۲	۸۴	۲۵۵	۴	۱۴۶	۲۰۰۲	۳۸۶	سولفاته کلسیک
SS6	۴۸۰	۰/۱-۰/۰۱	۲۶	۷/۳	۶۶۵۰	۴۳۸۶	۶۶۹	۸۲	۲۴۶	۴	۱۴۸	۱۹۱۷	۳۶۹	سولفاته کلسیک
SS7	۴۸۵	۰/۱-۰/۰۱	۲۷	۷/۲	۷۴۰۰	۴۸۶۹	۷۱۸	۹۱	۲۷۴	۴	۱۴۳	۲۱۵۶	۴۲۳	سولفاته کلسیک
SC1	۴۴۰	۰/۱-۰/۰۱	۳۰	۷/۱	۷۳۲۵۰	۴۶۲۱۰	۲۷۴	۱۰۷	۲۳۶۱۸	۶	۱۳۴	۴۵۶	۲۷۴۵۶	کلروه سدیک
SC2	۴۳۹	۰/۱-۰/۰۱	۲۹	۷/۲	۴۲۵۰۰	۲۸۶۰۰	۲۲۳	۹۸	۱۲۸۶۲	۵	۱۴۱	۳۷۲	۱۶۹۳۱	کلروه سدیک
SC3	۴۳۹	۰/۱-۰/۰۱	۲۹	۷/۱	۴۳۵۹۰	۲۹۴۶۰	۲۲۹	۹۸	۱۲۸۹۴	۵	۱۳۹	۴۱۲	۱۶۹۷۴	کلروه سدیک
SC4	۴۴۲	<۰/۰۱	۲۹	۷/۱	۴۴۶۰۰	۳۰۱۲۰	۲۳۶	۱۰۱	۱۳۱۱۶	۵	۱۳۹	۴۰۷	۱۷۰۴۸	کلروه سدیک
SC5	۴۱۹	۰/۱-۰/۰۱	۲۹	۷/۱	۸۶۹۵۴	۵۸۷۱۲	۲۸۲	۱۰۴	۲۴۲۱۶	۶	۱۳۶	۴۷۱	۲۹۹۵۴	کلروه سدیک

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه زهره و تعیین منشأ شوری آن در پایین دست سد چم‌شیر، ۸ ایستگاه نمونه‌برداری در طول این رودخانه (از بالا دست محور سد تا موقعیت در نظر گرفته شده برای احداث نیروگاه در پایین دست سد چم‌شیر) انتخاب گردید و سپس از آنها در دو دوره زمانی قبل از بارندگی (شهریور) و بعد از بارندگی (آبان) در سال ۱۳۸۷ نمونه‌برداری بعمل آمد. انتخاب این ایستگاه‌ها بر اساس تغییرات EC در طول مسیر رودخانه زهره، تغییرات لیتولوژیکی، موقعیت ظهور چشمه‌ها و همچنین موقعیت ساختارهای تکتونیکی صورت گرفته است. همزمان با مطالعات فوق، طی بازدیدهای صحرایی بعمل آمده ۱۵ چشمه در محدوده مورد مطالعه شناسایی و از آنها (با توجه به تغییرات جزئی در میزان آبدی آنها) تنها در دوره زمانی قبل از بارندگی (شهریور ماه ۱۳۸۷) نمونه آب برداشت گردید. در (شکل ۱) موقعیت چشمه‌های مذکور و ایستگاه‌های نمونه‌برداری منتخب نشان داده شده است. نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت به آزمایشگاه انتقال داده شدند و جهت تعیین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی مورد آنالیز قرار گرفتند. همچنین برای تمامی نمونه‌های برداشت شده در سر محل، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نظیر دبی (Q)، هدایت الکتریکی (EC)، درجه حرارت (T) و اسیدیته (pH) اندازه‌گیری شد. در جدول‌های (۱ و ۲) نتایج آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی آب چشمه‌ها و رودخانه زهره (در ایستگاه‌های منتخب) ارائه شده است.

بحث و بررسی

بررسی سری‌های مکانی TDS و یون‌های اصلی آب رودخانه

زهره

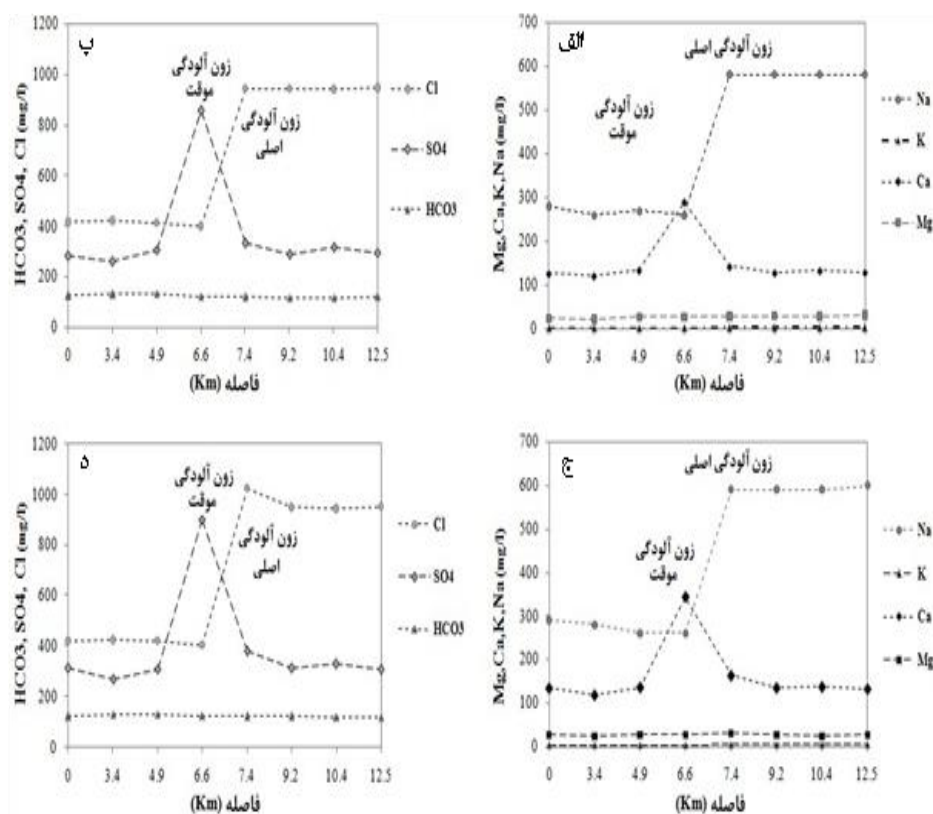
بررسی نتایج آنالیز کیفی آب رودخانه زهره در دوره‌های زمانی قبل و

بعد از بارندگی در ۸ ایستگاه منتخب بعد از محل سد تا موقعیت نیروگاه (جدول ۲)، بیانگر وجود یک زون آلوده‌کننده جزئی و یک زون آلوده‌کننده اصلی است که به ترتیب در موقعیت ایستگاه‌های R₄ و R₅ در فاصله کمتر از ۸۰۰ متر اتفاق می‌افتند و بعد از عبور از ایستگاه‌های مذکور تا موقعیت ایستگاه R₈ (محل نیروگاه) و بعد از آن، کیفیت آب رودخانه زهره تقریباً ثابت می‌ماند و تغییر محسوسی در آن رخ نمی‌دهد. هر دو زون آلودگی در محدوده زون گسله چم‌شیر اتفاق می‌افتند، بطوریکه موقعیت زون آلودگی جزئی در راستای گسل چم‌شیر ۲ و موقعیت زون آلودگی اصلی در راستای گسل چم‌شیر ۱ قرار دارد (شکل ۱).

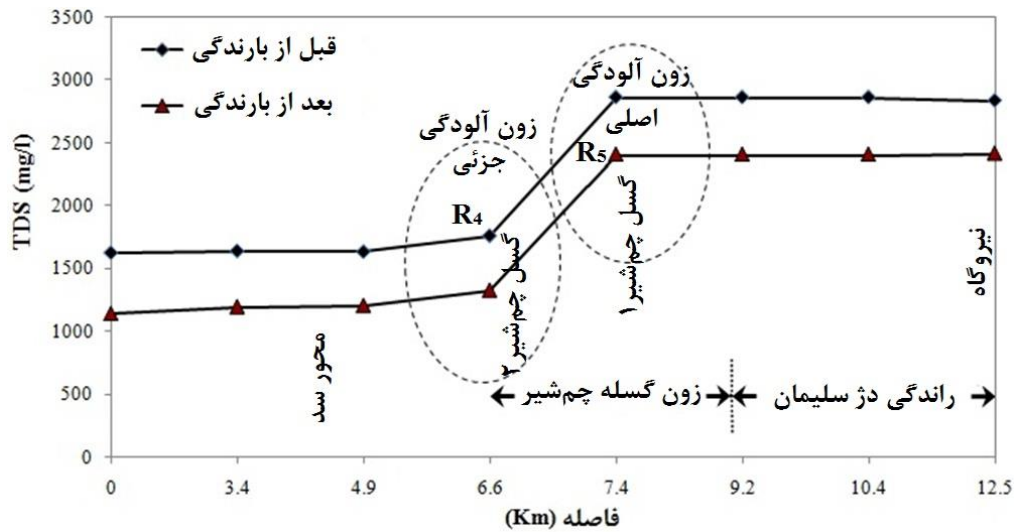
بررسی روند تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی آب رودخانه زهره در زون آلوده‌کننده جزئی، افزایش قابل ملاحظه‌ای را در غلظت یون‌های سولفات و کلسیم در هر دو دوره آماری فوق نشان می‌دهند (شکل ۲). ارزیابی‌ها نشان دهنده‌ی این مطلب می‌باشد که این افزایش جزئی و نسبی شوری آب (TDS) (به میزان ۱۲۴ mg/L) (شکل ۳) در ارتباط با یک عامل سطحی نمی‌باشد. حضور چشمه سولفاته SS₁ در این محدوده از زون آلودگی با توجه به میزان آبدی و EC نسبتاً پایین آن نیز نمی‌تواند به تنهایی سبب این آلودگی گردیده باشد. بنابراین عامل اصلی افزایش قابل ملاحظه سولفات و کلسیم، نفوذ آب‌های غیر قابل مشاهده سولفاته نسبتاً شوری است که از آبخوان‌های سولفاته یا ژئوسی کم عمق (بخش‌های ۶ و ۷) سازند گچساران منشأ گرفته و توسط شکستگی‌های اصلی منطقه یعنی گسل چم‌شیر ۲، به سطح اساس رودخانه اضافه شده و بدین ترتیب موجب آلودگی آب رودخانه زهره در زون آلودگی جزئی می‌گردد (شکل ۴).

جدول ۲. نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب رودخانه زهره در موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای دوره‌های زمانی قبل و بعد از بارندگی (شهریور و آبان ۱۳۸۷)

ایستگاه	قبل از بارندگی (شهریور ۱۳۸۷)								بعد از بارندگی (آبان ۱۳۸۷)							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
فاصله (km)	-۳/۵	-۰/۸	۰/۵	۲/۲	۳	۴/۸	۶	۸	-۳/۵	-۰/۸	۰/۵	۲/۲	۳	۴/۸	۶	۸
Q (m ³ /s)	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۷/۱	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۷	۷/۷	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹
T (°C)	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۱	۲۲	۲۲	۲۲	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴
pH	۷/۷	۷/۷	۷/۸	۷/۸	۷/۹	۷/۸	۷/۷	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۹	۷/۸	۷/۹	۷/۷	۷/۹
SAR	۵/۹۹	۶/۱۹	۵/۳۶	۳/۶۳	۱۱/۲	۱۲/۲	۱۲/۳	۱۲/۴	۵/۹۹	۵/۷	۵/۵۶	۳/۹۲	۱۱/۶	۱۲	۱۱/۹	۱۱/۸
EC (umho/cm)	۲۴۸۰	۲۴۷۰	۲۴۷۰	۲۶۹۰	۴۳۴۰	۴۳۴۰	۴۳۴۰	۴۳۰۰	۱۷۸۰	۱۸۷۰	۱۸۷۰	۲۰۶۴	۳۶۵۰	۳۶۵۰	۳۶۵۰	۳۶۶۰
TDS (mg/l)	۱۶۲۸	۱۶۴۳	۱۶۳۷	۱۷۶۳	۲۸۶۴	۲۸۵۳	۲۸۶۶	۲۸۳۸	۱۱۴۲	۱۱۹۶	۱۲۰۶	۱۳۲۷	۲۴۱۸	۲۴۰۹	۲۴۱۳	۲۴۱۶
Ca ²⁺ (mg/l)	۱۳۳	۱۱۷	۱۳۵	۳۴۳	۱۶۲	۱۳۴	۱۳۶	۱۳۱	۱۲۶	۱۲۱	۱۳۴	۲۸۹	۱۴۲	۱۲۸	۱۳۳	۱۲۹
Mg ²⁺ (mg/l)	۲۷	۲۳	۲۶	۲۷	۳۰	۲۶	۲۴	۲۸	۲۴	۲۲	۲۷	۲۷	۲۸	۳۰	۲۸	۳۲
Na ⁺ (mg/l)	۲۹۰	۲۸۰	۲۶۰	۲۶۰	۵۹۰	۵۹۰	۵۹۰	۶۰۰	۲۸۰	۲۶۰	۲۷۰	۲۶۰	۵۸۰	۵۸۰	۵۸۰	۵۸۰
K ⁺ (mg/l)	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۴
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	۱۲۲	۱۲۹	۱۳۱	۱۲۳	۱۲۱	۱۲۲	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۶	۱۳۱	۱۳۲	۱۲۴	۱۲۰	۱۱۸	۱۱۶	۱۲۱
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	۳۱۳	۲۶۸	۳۰۹	۹۰۲	۳۷۹	۳۱۲	۳۲۹	۳۰۵	۲۸۴	۲۵۹	۳۰۷	۸۵۷	۳۳۴	۲۸۸	۳۱۷	۲۹۶
Cl (mg/l)	۴۲۰	۴۲۳	۴۱۹	۴۰۲	۱۰۲۵	۹۴۸	۹۴۲	۹۵۲	۴۱۶	۴۲۰	۴۱۴	۳۹۸	۹۴۴	۹۴۴	۹۴۰	۹۴۶



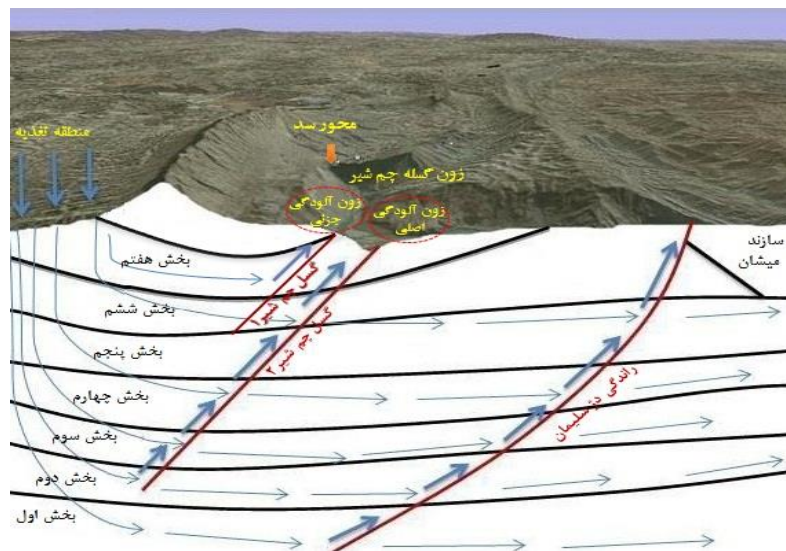
شکل ۲. تغییرات مکانی آنیون‌ها (ب و د) و کاتیون‌های (الف و ج) اصلی نمونه‌های آب رودخانه زهره در موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای دوره‌های زمانی قبل از بارندگی (شهریور ۱۳۸۷) (شکل‌های بالا) و بعد از بارندگی (آبان ۱۳۸۷) (شکل‌های پایین)



شکل ۳. تغییرات مکانی TDS نمونه‌های آب رودخانه زهره در موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای دوره‌های زمانی قبل و بعد از بارندگی (شهریور و آبان ۱۳۸۷)

محل زون آلودگی اصلی ظهور می‌یابند. ولی در عوض، در این محدوده چشمه‌های سولفاته متعددی با میزان آبدی بسیار پایین دیده می‌شوند که آنها نیز نقشی در آلودگی ندارند (شکل ۱). بدین ترتیب می‌توان گفت که هیچگونه شواهد سطحی وجود ندارد که بتواند باعث تغییر این چینی کیفیت آب رودخانه گردد. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و بازدیدهای صحرایی، گسل چم‌شیر ۱ تنها شاهد تکنونیک در محل زون آلودگی اصلی است که می‌تواند به عنوان یک سد طبیعی عمل کرده و باعث نفوذ شورابه‌های نمکی نسبتاً عمیق درون سازند گچساران (بخش‌های ۲، ۳، ۴ و ۶) به سطح اساس رودخانه زهره و آلودگی آب آن گردد (شکل ۴).

از طرف دیگر در زون آلوده کننده اصلی، افزایش ناگهانی TDS (به میزان ۱۱۲۱ میلی‌گرم بر لیتر) با افزایش چشمگیر غلظت یون‌های کلر و سدیم همراه است (شکل‌های ۲ و ۳). واضح است که این افزایش ناگهانی مقدار EC در یک فاصله نسبتاً کوتاه نمی‌تواند ناشی از انحلال لایه‌های نمکی بطور مستقیم توسط آب رودخانه باشد. از طرف دیگر پیمایش‌های صحرایی، نتایج آزمایشات انحلال‌پذیری، XRD (تراپی‌کاو، ۱۳۸۹) و اطلاعات لیتولوژیکی بدست آمده از حفاری چاه‌های نفتی در پایین دست سد چم‌شیر (مطیعی، ۱۳۷۲) نیز هیچگونه آثاری از رخنمون لایه‌های نمکی را تأیید نمی‌کنند. همچنین در این محدوده چشمه‌های شور نمکی وجود ندارند و این چشمه‌ها با فاصله بیش از ۲ کیلومتر در پایین دست



شکل ۴. مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی محتمل برای انتقال شورابه‌های سولفاته و کلروره واحدهای هیدروژئولوژیکی گچساران به سطح اساس رودخانه زهره در موقعیت زون‌های آلودگی

تجزیه و تحلیل دیاگرام پایپر آب رودخانه زهره

دیاگرام پایپر جهت تعیین رخساره‌ها و مسیرهای تکامل هیدروشیمیایی، نمایش تعداد زیادی نمونه در یک دیاگرام، نشان‌دادن تفاوت‌ها و شباهت‌های بین نمونه‌های آب، تأثیر اختلاط بین آب‌های مختلف و بررسی تغییرات زمانی و مکانی نمونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Güler and Thyne, 2004).

به منظور شناسایی منشأ شوری آب رودخانه زهره در محدوده مورد مطالعه، دیاگرام پایپر نمونه‌های آب رودخانه زهره در ۸ ایستگاه برای زمان‌های قبل و بعد از بارندگی ترسیم گردید (شکل ۵). با توجه به دیاگرام پایپر، سه خوشه متمایز آب (A، B و C) و دو مسیر تکاملی هیدروشیمیایی وجود دارد. همچنین بررسی این دیاگرام نشان می‌دهد که آب رودخانه زهره در هر دو دوره نمونه‌برداری قبل از رسیدن به زون‌های آلودگی، مسیر تکامل هیدروشیمیایی را طی نموده است و تیپ غالب آب در تمام ایستگاه‌ها بجز ایستگاه R₄ (سولفات-کلسیک)، کلروره-سدیک است (شکل ۵).

خوشه A با تیپ کلروره سدیک - سولفات کلسیک

ایستگاه‌های R₁ تا R₃ در این خوشه جای می‌گیرند. مشخصات شیمیایی این خوشه از بعضی جهت (تیپ آب کلروره سدیم و یون‌های غالب سدیم و کلر) با خوشه C شباهت دارد، اما میزان شوری (TDS) و غلظت یون‌های مذکور در این خوشه نسبت به خوشه C کمتر است. همچنین غلظت یون بیکربنات در این خوشه نسبت به خوشه C اندکی بیشتر است. مهم‌ترین تفاوت خوشه‌های A و C علاوه بر تفاوت‌های گفته شده، منشأ متفاوت یون‌های کلر و سدیم است، اما منشأ یون‌های کلسیم و سولفات در هر دو خوشه در بالادست محور سد:

۱- انحلال سطحی لایه‌های ژئوسی بخش‌های ۵، ۶ و ۷ سازند گچساران
۲- اضافه شدن آبراهه‌های گچی و ۳- چشمه‌های نسبتاً شور سولفات به آب رودخانه زهره؛ و در پایین دست محور سد علاوه بر موارد ۲ و ۳، انحلال سطحی لایه‌های ژئوسی بخش ۷ سازند گچساران و نفوذ عمقی آب‌های نسبتاً شور سولفات در موقعیت ایستگاه R₄ می‌باشند.

شواهد زیر نشان می‌دهند که منشأ یون‌های کلر و سدیم خوشه A بر خلاف خوشه C (که از انحلال زیر سطحی لایه‌های نمکی منشأ می‌گیرد)،

در نتیجه انحلال سطحی لایه‌های نمکی (هالیتی) است:

مطالعات قبلی انجام شده (شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک یاسوج، ۱۳۸۷) و اطلاعات بدست آمده از پیمایش‌های صحرایی و بررسی‌های لیتولوژیکی سازند گچساران در برش نمونه که بر پایه اطلاعات حاصله از حفاری‌های نفتی در ناحیه گچساران بدست آمده (مطیعی، ۱۳۷۲)، نشان می‌دهند که علاوه بر لایه‌های ژئوسی، لایه‌های نمکی نیز در بالا دست مخزن سد دارای رخنمون سطحی هستند، اما هیچگونه شواهدی از چشمه‌های نمکی در این ناحیه مشاهده نشده است. همچنین قابلیت انحلال بالای لایه‌های نمکی نسبت به لایه‌های ژئوسی و طولانی بودن مسیر جریان رودخانه زهره در بالادست مخزن سد (بیش از ۲۰ کیلومتر)، از جمله عواملی بوده که سبب می‌شوند تا تیپ غالب آب کلروره سدیک گردد.

خوشه B با تیپ سولفات کلسیک- کلروره سدیک (غنی از سولفات)

این خوشه به ایستگاه R₄ اختصاص دارد. مشخصه بارز شیمیایی این خوشه بالا بودن غلظت یون‌های کلسیم و سولفات و تیپ غالب سولفات کلسیک نسبت به دو خوشه دیگر است. همانطور که در بخش‌های قبلی اشاره شد تنها شاهد سطحی این مسئله چشمه سولفات SS₁ است که در فاصله کوتاهی قبل از ایستگاه مذکور ظهور می‌یابد. اما با توجه به میزان آبدی و TDS نسبتاً پایین آن، نمی‌تواند به تنهایی سبب این آلودگی گردیده باشد. همینطور این افزایش ناگهانی غلظت یون‌های مذکور در یک فاصله نسبتاً کوتاه نمی‌تواند ناشی از حل شدن لایه‌های ژئوسی به طور مستقیم توسط آب رودخانه باشد. بنابراین تنها عاملی که می‌تواند سبب افزایش قابل ملاحظه غلظت سولفات و کلسیم گردیده باشد، نفوذ آب‌های غیر قابل مشاهده سولفات نسبتاً شوری است که از آبخوان‌های (سولفات) کم عمق ژئوسی سازند گچساران منشأ می‌گیرد و توسط گسل چم شیر ۲ از سطح اساس رودخانه به آن اضافه شده و یک زون آلودگی محلی را بوجود می‌آورد.

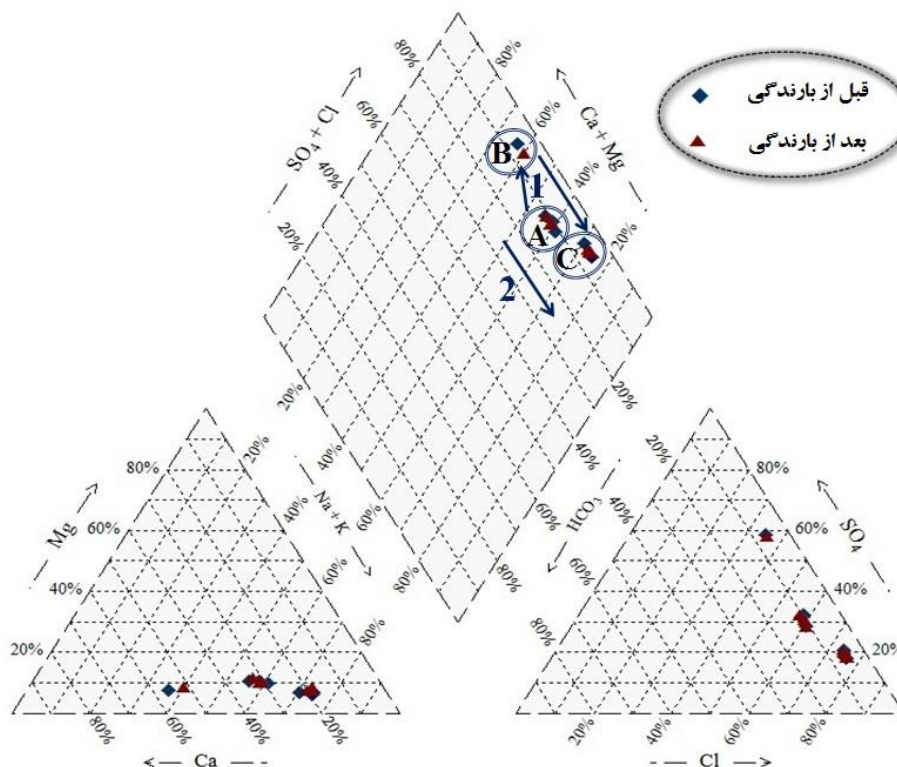
خوشه C با تیپ کلروره سدیک- سولفات کلسیک (غنی از کلر)

ایستگاه‌های R₅ تا R₈ به این خوشه تعلق دارند. این خوشه با میزان TDS و غلظت یون‌های سدیم و کلر بالا و یون بیکربنات نسبتاً کم نسبت به دو خوشه دیگر شناخته می‌شود. بنا به دلایلی که در بخش‌های قبلی اشاره گردید؛ افزایش ناگهانی میزان شوری (TDS) در ایستگاه R₅ همراه با افزایش ناگهانی یون‌های سدیم و کلر، نمی‌تواند دلیل انحلال سطحی لایه‌های نمکی به طور مستقیم توسط آب رودخانه بوده باشد. همچنین چشمه‌های شور نمکی نیز به دو دلیل نمی‌توانند چنین آلودگی را ایجاد نمایند؛ اولاً میزان آبدی این چشمه‌ها بسیار ناچیز است و ثانیاً با فاصله بیش از ۲ کیلومتر در پایین دست محل زون آلودگی اصلی ظهور می‌یابند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در غیاب شواهد سطحی، شانس عوامل زیر سطحی یعنی نفوذ شورابه‌های کلروره در ایجاد این آلودگی به صورت یک زون محلی افزایش پیدا می‌کند.

در کل نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که دو مسیر تکاملی هیدروشیمیایی برای رسیدن به خوشه C (کلروره سدیک- سولفات کلسیک (غنی از کلر) با میزان املاح بیشتر) وجود دارد که بر روی دیاگرام پایپر به صورت پیکان با شماره‌های ۱ و ۲ مشخص شده است (شکل ۵):

- ۱- خوشه A (کلروره سدیک- سولفات کلسیک با میزان املاح کمتر) ← خوشه B (سولفات کلسیک- کلروره سدیک (غنی از سولفات)) ← خوشه C (کلروره سدیک- سولفات کلسیک (غنی از کلر) با میزان املاح بیشتر) و ۲- خوشه A (کلروره سدیک- سولفات کلسیک با میزان املاح کمتر) ← خوشه C (کلروره سدیک- سولفات کلسیک (غنی از کلر) با میزان املاح بیشتر).

نکته آخر اینکه؛ مسیرهای تکاملی هیدروشیمیایی از لحاظ زمانی تغییرات خاصی را از خود نشان نمی‌دهند و فقط میزان شوری تمامی نمونه‌های آب مربوط به دوره بعد از بارندگی همگی به یک نسبت کاهش یافته‌اند.



شکل ۵. دیاگرام پایپر نمونه‌های آب رودخانه زهره در موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای دوره‌های زمانی قبل و بعد از بارندگی (شهریور و آبان ۱۳۸۷). خوشه A: آب با تیپ کلروره سدیک-سولفاته کلسیک و میزان املاح کمتر، خوشه B: آب با تیپ سولفاته کلسیک-کلروره سدیک (غنی از سولفات)، خوشه C: آب با تیپ کلروره سدیک-سولفاته کلسیک (غنی از کلر) و میزان املاح بیشتر، پیکان ۱: مسیر تکاملی هیدروشیمیایی از خوشه A ← خوشه B ← خوشه C، پیکان ۲: مسیر تکاملی هیدروشیمیایی از خوشه A ← خوشه C

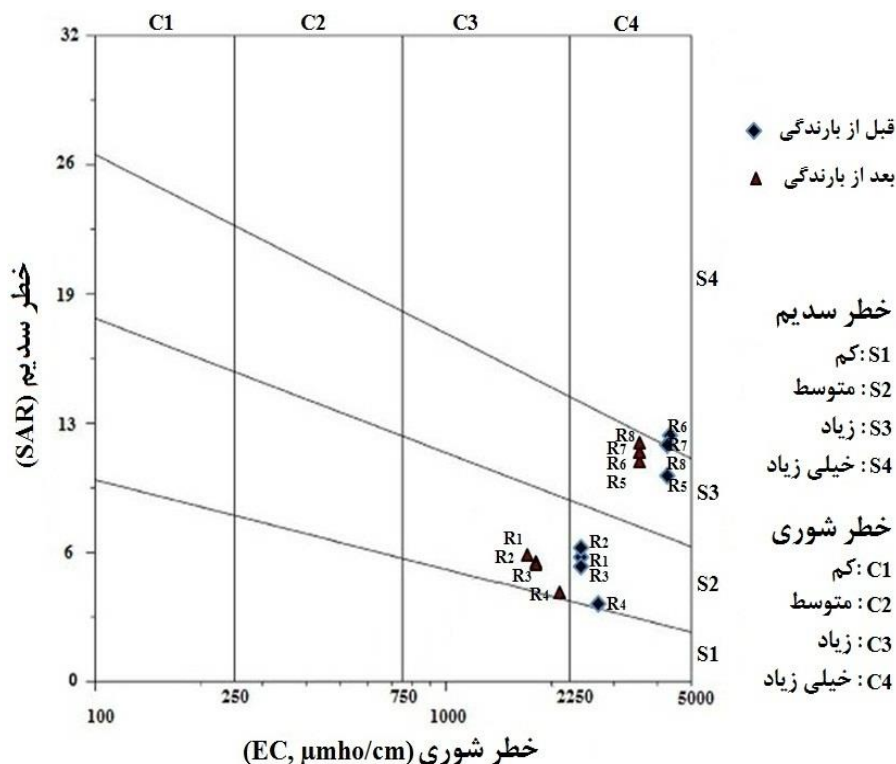
می‌یابند، در حالیکه ایستگاه‌های بعد از زون آلودگی اصلی همچنان در معرض خطر شوری خیلی بالا هستند. بنابراین ملاحظه می‌شود که کیفیت آب ایستگاه‌های بعد از زون آلودگی اصلی به شدت تحت تأثیر نفوذ شورابه‌های کلروره نسبتاً عمیق قرار گرفته و در هر دو دوره زمانی جهت کشاورزی نامناسب بوده و تنها برای گیاهان مقاوم به شوری قابل استفاده می‌باشد. اما کیفیت آب ایستگاه‌های قبل از زون آلودگی اصلی در دوره زمانی قبل از بارندگی برای کشاورزی، در رده آب‌های متوسط تا نامناسب بوده و قابل استفاده برای گیاهان غیر حساس به شوری می‌باشد و در دوره زمانی بعد از بارندگی برای کشاورزی در رده آب‌های متوسط بوده و حتی برای آبیاری زمین‌های درشت بافت و با زهکشی خوب نیز مناسب است. با توجه به اینکه دوره زمانی نمونه‌برداری بعد از بارندگی، یعنی ماه آبان، با زمان شروع بارش‌ها مطابقت دارد، بنابراین انتظار می‌رود از ماه یاد شده تا آخر فصل بارش‌ها که در منطقه مورد مطالعه معمولاً تا اوایل بهار ادامه می‌یابد، کیفیت آب رودخانه زهره نیز در موقعیت زون‌های آلودگی به طور نسبی بهبود پیدا کند. نکته حائز اهمیت دیگری که از نمودار ویلکاکس قابل برداشت می‌باشد، تأثیر مثبت نفوذ شورابه‌های سولفاته در موقعیت ایستگاه R₄ بوده که کیفیت آب را برای کشاورزی بهبود بخشیده است.

بررسی کیفیت آب رودخانه زهره جهت مصارف کشاورزی

به منظور ارزیابی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی می‌توان از نمودار ویلکاکس استفاده نمود. محورهای اصلی این نمودار، خطر شوری و خطر سدیم می‌باشند. خطر شوری برای یک نمونه، با هدایت الکتریکی (EC) و خطر سدیم (SAR) نیز با نسبت سدیم به یون‌های کلسیم و منیزیم (رابطه ۱) نشان داده می‌شوند (Hounslow, 1995).

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\text{Ca} + \text{Mg}}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

کیفیت آب رودخانه زهره جهت مصارف کشاورزی با استفاده از نمودار ویلکاکس در موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری، از لحاظ زمانی و مکانی مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۶). با توجه به این شکل، ایستگاه‌های قبل از زون آلودگی اصلی در هر دو دوره زمانی دارای خطر سدیم متوسط می‌باشند. ولی تمام ایستگاه‌های بعد از زون آلودگی اصلی (بجز ایستگاه R₅)، در دوره زمانی قبل از بارندگی با خطر سدیم خیلی بالا و در دوره زمانی بعد از بارندگی، با خطر سدیم بالا مواجه هستند. ایستگاه R₅ در هر دو دوره زمانی دارای خطر سدیم بالا می‌باشد. از سوی دیگر از لحاظ خطر شوری، تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در دوره زمانی قبل از بارندگی در معرض خطر شوری خیلی بالا قرار دارند، ولی با رخداد بارندگی ایستگاه‌های قبل از زون آلودگی اصلی به رده آب‌های با شوری بالا تنزل



شکل ۶. نمودار ویلکاکس نمونه‌های آب رودخانه زهره در موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای دوره‌های زمانی قبل و بعد از بارندگی (شهریور و آبان ماه ۱۳۸۷)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، تحلیل‌های هیدروشیمیایی با کمک نمودارهای سری‌های مکانی تغییرات TDS و یون‌های اصلی، دیاگرام پایپر، شواهد تکتونیک و بازدیدهای صحرایی از منطقه مورد مطالعه، بیانگر وجود دو زون آلودگی جزئی و اصلی در طول مسیر رودخانه زهره در پایین دست سد چم‌شیر می‌باشند. علت اصلی این آلودگی‌ها در زون‌های یاد شده، به ترتیب نفوذ آب‌های نسبتاً شور سولفات‌ها از بخش‌های ژیبسی کم عمق (بخش‌های ۶ و ۷) و شورابه‌های کلوره نسبتاً عمیق از بخش‌های نمکی (بخش‌های ۲، ۳، ۴ و ۶) سازند گچساران می‌باشند که در امتداد شکستگی‌های اصلی منطقه (گسل‌های چم‌شیر ۲ و ۱) راهی برای خروج از سیستم پیدا نموده و با اضافه شدن به سطح اساس رودخانه زهره باعث زوال کیفیت آب آن در موقعیت زون‌های آلودگی می‌شوند. این امر، مسئله تأمین آب کشاورزی اراضی پایین دست سد را در حاله‌ایی از ابهام قرار داده است. طبق ارزیابی‌های صورت گرفته با استفاده از نمودار ویلکاکس، کیفیت آب رودخانه زهره در ایستگاه‌های بعد از زون

منابع

- بوسلیک، ز.، ۱۳۹۰، بررسی منشأ و خصوصیات چشمه‌های گوگردی دالکی شهرستان دشتستان، استان بوشهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- ترابی‌کاوه، م.، ۱۳۸۹، مطالعه انحلال‌پذیری سنگ‌های تخییری سازند گچساران در محل سد چم‌شیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان.
- روحی، ح.، کلاتری، ن.، محمدی‌بهباد، ح.ر.، و دانشیان، ح.، ۱۳۹۲، بررسی عوامل مؤثر بر خصوصیات شیمیایی آب‌زیرزمینی (مطالعه موردی دشت الباجی)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۹-۱: (۹).
- شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک یاسوج، ۱۳۸۷، گزارش مطالعات و تحقیقات مکانیک خاک و ژئوتکنیک سد و نیروگاه چم‌شیر گچساران.

آلودگی اصلی جهت تأمین آب اراضی کشاورزی پایین دست سد چم‌شیر در هر دو دوره زمانی نمونه‌برداری نامناسب و فقط برای گیاهان مقاوم به شوری قابل استفاده است. اما کیفیت آب رودخانه در ایستگاه‌های قبل از زون آلودگی اصلی جهت آبیاری، به خصوص در دوره زمانی بعد از بارندگی در حد قابل قبول بوده و برای کشت گیاهان غیر حساس به شوری مناسب می‌باشد. البته بسته به زمان شروع بارش‌ها و تداوم آن انتظار می‌رود کیفیت آب رودخانه زهره در موقعیت زون‌های آلودگی، نسبت به شرایط قبل از بارندگی به طور نسبی بهبود پیدا کند، اما این اثر بخشی بارش‌ها در ایستگاه‌های بعد از زون آلودگی اصلی خیلی چشمگیر نخواهد بود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات بی‌شائبه مسئولین و کارشناسان محترم شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس بالاخص جناب آقای دکتر زارعی کارشناس محترم آن شرکت، به خاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات و گزارشات لازم، تشکر و قدردانی می‌گردد.

مهندسين مشاور مهتاب قدس، تهران.

کردوانی، پ.، ۱۳۷۱، منابع و مسائل آب در ایران. جلد دوم، آب‌های شور، مسائل و راه‌های استفاده از آنها. نشر قومس، تهران.

کلانتری، ن. و علیجانی، ف.، ۱۳۸۷، بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت عباس استان خوزستان. مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، ۹۹-۸۴: (۲) ۱۹.

کلانتری، ن.، محمدی‌بهزاد، ح.ر.، چرچی، ع. و کشاورزی، م.ر.، ۱۳۹۰، هیدروگراف چشمه‌های کارستی به عنوان ساده‌ترین ابزار برای تعیین خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی، مطالعه موردی چشمه بی‌بی‌تلخون، شمال شرقی استان خوزستان، فصلنامه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۰۰-۹۰: (۲).

محمدی بهزاد، ح.ر.، رحمانی، غ.ر.، کلانتری، ن.، چیت‌سازان، م. و روحی، ح.، ۱۳۸۹، بررسی فرآیندهای اثر گذار بر کیفیت آب زیرزمینی دشت گتوند عقیلی. نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۴، زمین‌شناسی نفت زاگرس او ۲. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۰۹ صفحه.

Chiesi, M., Waele, J.D. and Forti, P., 2010, Origin and evolution of a salty gypsum/anhydrite karst spring: the case of Poiano (Northern Apennines, Italy). *Hydrogeology Journal*, doi:10.1007/s1004001005762.

Cloutier, V., 2004, Origin and geochemical evolution of groundwater in Paleozoic Bases –Laurentides sedimentary rock aquifer system St. Lawrence Lowlands, Quebec, Canada. PhD Thesis, INRS –Eau, Terre & Environment, Quebec, Canada (in French and English).

De-Montety, V., Radakovitch, O., Vallet-Coulomb, C., Blavoux, B., Hermitte, D. and Valles, V., 2008, Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in a confined coastal aquifer. *Applied Geochemistry*, 23:2337-2349.

Djabri, L., Rouabhia, A., Hani, A., Lamouroux, C.H. and Pulido-Bosch, A., 2008, Origin of water salinity in a lake and coastal aquifer system. *Environmental Geology*, 54:565-573.

Glynn, P.D. and Plummer, L.N., 2005, Geochemistry and the understanding of groundwater system. *Hydrogeology Journal*, 13:263-287.

Güler, C. and Thyne, G.D., 2004, Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells-Owens Valley area, southeastern California, USA. *Journal of Hydrology*, 285:177-198.

Hofmann, H. and Cartwright, I., 2013, Using hydrogeochemistry to understand inter-aquifer mixing in the on-shore part of the Gippsland Basin, southeast Australia. *Applied Geochemistry*, 33:84-103.

Hounslow, A.W., 1995, Water quality data: analysis and interpretation. CRC, Boca Raton, FL, USA. 75 pp.

Howard, F., Ken, W. and Mullings, E., 1996, Hydrochemical analysis of groundwater flow and saline intrusion in the Clarendon basin, Jamaica. *Groundwater*, 34(6):801-810.

Khodapanah, L., Sulaiman, W.N.A. and Khodapanah, N., 2009, Groundwater Quality Assessment for Different Purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran. *European Journal of Scientific Research*: 36(4):543-553.

Lugli, S., 2009, The geological history of the Triassic gypsum in the Secchia Valley. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, 22, Istituto Italiano di Speleologia, Bologna.

Marie, A. and Vengosh, A., 2001, Sources of salinity in groundwater from Jericho area, Jordan Vally. *Groundwater*, 39(2):240-248.

Obiefuna, G.I. and Orazulike, D.M., 2011, The hydrochemical characteristics and evolution groundwater in Semiarid Yola area. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(4):400-416.

Pecka, A.J. and Hatton, T., 2003, Salinity and the discharge of salts from catchments in Australia. *Journal of Hydrology*, 272:191-202.

Richter, B.C. and Kreitler, C.W., 1986, Geochemistry of salt water beneath the Rolling Plains, North-Central Texas. *Groundwater*, 24:735-742.

Setudehnia, A., 1972, Stratigraphic Lexicon of Iran. *Union International des Sciences Geologiques*, 315 p.

Srinivasamoorthy, K., Gopinath, M., Chidambaram, S., Vasanthavigar, M., Sarmad, V.S., 2014, Hydrochemical characterization and quality appraisal of groundwater from Pungar sub basin, Tamilnadu, India. *Journal of King Saud University-Science*, 26 (1):37-52.

Vengosh, A. and Rosenthal, E., 1994, Saline groundwater in Israel: it's bearing on the water crisis in the country. *Journal of Hydrology*, 155:103-124.

Xie, X., Fan, Z., Liu, X. and Lu, Y., 2006, Geochemistry of formation water and its implication on over pressured fluid flow in the Dongying Depression of the Bohaiwan Basin. *China J. Geochem Explor.*, 89:432-435.

Yong-Hong, S., Qi, F., Gao-Fang, Z., Jian-Hua, S. and Yan-Wu, Z., 2007, Identification and evolution of groundwater chemistry in the Ejn sub-basin of the Hiehe River. *Soil Science Society of China*, 17(3):331-342.