اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۱۳-۱

تأثیر آبگیری سد سیمره بر شبکهٔ پایش کیفی منابع آب پایین‌دست

حمید کاردان مقدم[1*]، شهداد صفوی[2]، حسین شریفی‌منش[2]، شروین فقیهی‌راد[1]، حیدر امیرسلیمانی[2]، سید محمدهادی مشکاتی[1]

۱. استادیار پژوهشی مؤسسهٔ تحقیقات آب، وزارت نیرو
۲. کارشناس پژوهشی مؤسسهٔ تحقیقات آب وزارت نیرو

(تاریخ دریافت ۱٤۰۰/٦/۱٤؛ تاریخ تصویب ۱٤۰۰/۱۲/۱۷)

چکیده

سدهای احداثی به عنوان سازهٔ غیرطبیعی در بستر رودخانه‌ها اگرچه به عنوان یک ابزار مدیریتی و برنامه‌ریزی مطرح است، اما عدم مدیریت و پایش کمی و کیفی آن می‌تواند مشکلات محیط زیست را در بر داشته باشد. سد سیمره در حوضهٔ آبریز کرخه با هدف تولید انرژی برق‌آبی، افزایش قدرت تنظیم سدهای پایین‌دست و کنترل سیلاب از سال ۱۳۹۰ آبگیری شد. با توجه به فرایندهای آبی در شبکهٔ منابع آب سد و ارزیابی کمی و کیفی نقش آبگیری، نمونه‌برداری کمی و کیفی پیش و پس از احداث سد در یک دورهٔ ۱۰ ساله انجام گرفت. بررسی نتایج کیفی نشان داد نقش سازندهای زمین‌شناسی به‌خصوص سازندهای گچساران و آسماری در افزایش غلظت املاح و انحلال مؤثر بوده و چشمه‌های ساحل چپ با توجه به ضخامت و حجم بیشتر سازندهای گچساران و آسماری، روند تغییرات بیشتر کیفی را داشته است. از طرفی نیز همبستگی بین تراز آب مخزن در دورهٔ آبگیری و پارامترهای کیفی نشان داد آبگیری مخزن سد بیشترین تأثیر را در چشمه‌های ساحل راست داشته و ارتباط بیشتری در تغییرات داشته است. نتایج آنالیز کیفی در رودخانهٔ سیمره نیز نشان داد آنومالی در پارامترهای کیفی ایستگاه R4 با توجه به دو عامل نزولات آسمانی در فصل بهار و اضافه شدن آب خروجی از نیروگاه در تغییر کیفیت آب تأثیرگذار داشته است.

کلمات کلیدی: سد سیمره، چشمه، آنومالی، سازند گچساران و آسماری، شبکهٔ پایش کیفی.

*نویسندهٔ مسئول
Email: hkardan@ut.ac.ir

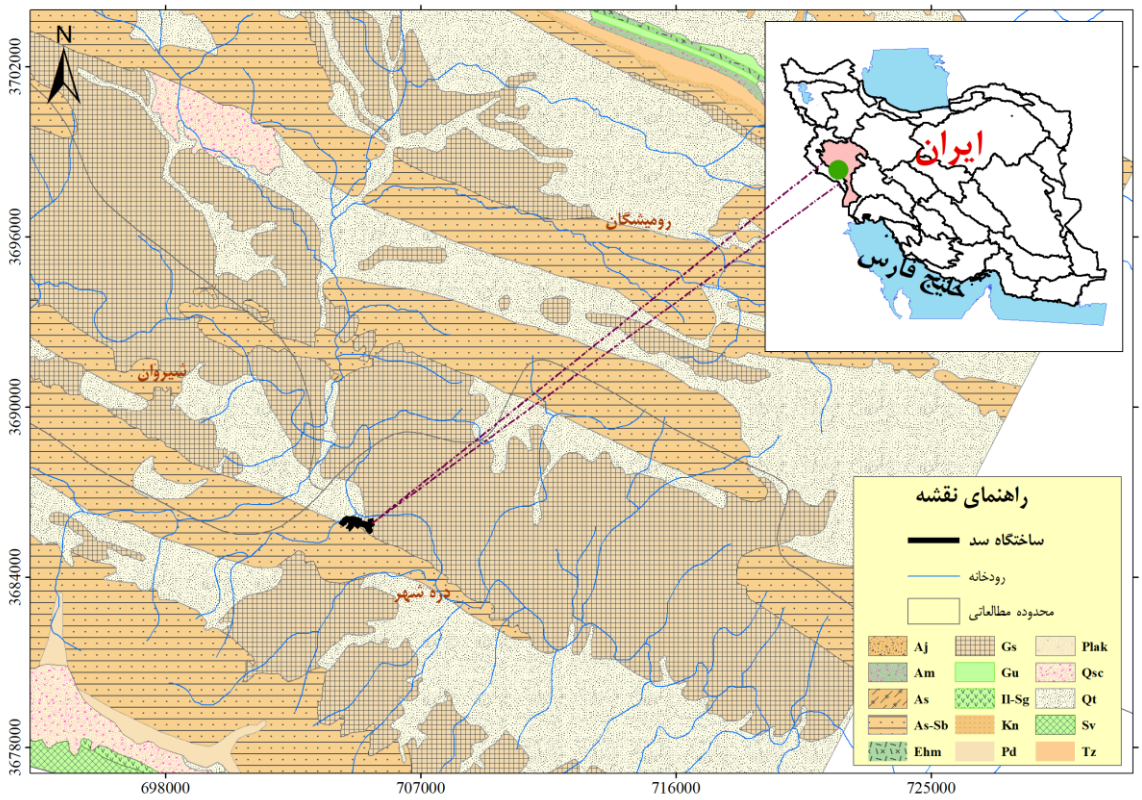
مقدمه

رشد و توسعه‌های انجام‌شده در چند دههٔ اخیر بحث عرضه و تقاضای آب را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و این موضوع نیاز به استفاده از ابزارهای سازه‌ای را برای ذخیره‌سازی آب به‌شدت افزایش داده است. از چند دههٔ اخیر احداث سدهای بزرگ با توجه به قابلیت ذخیره‌سازی زیاد و پایداری بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. این موضوع اگرچه از دیدگاه بهره‌برداری با توجه به ایجاد یک سیستم انعطاف‌پذیر در تخصیص و تأمین منابع آب بسیار حائز اهمیت است، اما ایجاد یک سازه در مسیر رودخانه تغییرات اکولوژیکی در منطقهٔ پیرامون خود ایجاد می‌کند. تغییرات کمی رودخانه، تأمین نیازهای زیست‌محیطی و تغییرات کیفی در مسیر رودخانه بر اثر احداث سد از جمله مهم‌ترین تغییرات اکولوژیک شناخته می‌شوند. افزایش تراز آب در مخازن سد باعث تأثیرپذیری بیشتر سازندهای زمین‌شناسی و تغییرات اکولوژیک در رودخانه‌ها می‌شود [۱]. مهم‌ترین موضوع و دغدغهٔ ایجادشده در بحث کیفیت آب بحث شوری است [۲]. تبادل آب با سازندهای شور که ناشی از شرایط زمین‌شناسی، چین‌خوردگی‌ها و فعالیت‌های تکتونیکی است یک بعد ایجاد شوری و کیفیت آب و نقش فعالیت‌های انسانی در افزایش غلظت املاح بعد دیگری در ایجاد شوری و کاهش کیفیت آب تلقی می‌شود. مطالعات مختلفی در خصوص نقش سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت منابع آب انجام شده است، اما در بحث تأثیر آبگیری سد بر وضعیت کیفی منابع آب می‌توان به سد گتوند که بررسی‌های متعددی انجام شده است، اشاره داشت. این سد که یکی از سدهای بزرگ کشور است تحت تأثیر سازندهای شور منطقه قرار داشته و مطالعات مختلف نشان داده که ارزیابی کیفی ناشی از عوامل طبیعی منطقه نقش اصلی در تغییرات کیفیت آب داشته است. دهرآزما و همکاران (۱۳۹۳) بررسی ژئوشیمی سازندهای زمین‌شناسی مخزن سد گتوندعلیا را بر کیفیت منابع آب این سد مورد بررسی قرار دادند. نتایج ارزیابی نشان داد سازندهای گچساران و میشان در سه تراز ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ متری بعد از آبگیری سبب آزاد شدن آنیون‌ها و کاتیون‌ها شده و هدایت الکتریکی مخزن سد در این ترازها به بیش از ۲۵ هزار میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌رسد [۳]. ناظری‌تهرودی و شهیدی (۱۳۹۶) با ارزیابی کیفی دو ایستگاه هیدرومتری سوسن و گتوند اثربخشی احداث سد گتوند بر وضعیت کیفی پایین‌دست این سد را انجام دادند. نتایج تحلیل آماری با روش آزمون من‌ــ کندال نشان داد غلظت کل املاح محلول در آب (TDS) و هدایت الکتریکی در ایستگاه سوسن بیانگر معنادار نبودن روند افزایشی تغییرات است. همچنین، نتایج حاصل از آزمون من‌ـ کندال اصلاح‌شده نشان‌دهندهٔ کاهش معنادار کیفیت آب رودخانهٔ کارون بعد از سد گتوند است. از طرفی نیز مطالعات برای ارزیابی کیفی منابع آب موجود در حوضهٔ یک سد بیانگر توصیف کلان وضعیت آبی و بهره‌برداری منابع آب در آن است [۴]. همچنین، نقش و بررسی عواملی نظیر خشکسالی توسط آزیش و همکاران (۱۳۹۸) روی رودخانهٔ دز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج مطالعه در ایستگاه‌های هیدرومتری بیانگر افزایش ۱۵ درصد شوری در شرایط خشکسالی است [۵]. مطالعات نیسی و تیشه‌زن (۱۳۹۷) با استفاده از روش‌های آماری من‌کندال، اسپیرمن، تجزیهٔ واریانس، حداقل اختلاف معنادار (LSD) و تحلیل خوشه‌ای اثر احداث سد جره را بر وضعیت کیفی آب رودخانهٔ زرد مورد بررسی قرار دادند [۶]. ندیری و همکاران (۱۳۹۴) ارزیابی هیدروشیمی منابع آب سد سهند را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پایش کیفی آب در مخزن سد با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تغییرات سری زمانی نشان داد دو عامل مهم آنومالی آرسنیک و شوری آب بر کیفیت آب این مخزن تأثیرگذار است [۷]. رضایی مقدم و همکاران (۲۰۱۷) اثر عوامل هیدروژئومورفولوژی روی کیفیت آب سیمینه‌رود و روند تغییرات آن بین دورهٔ ۱۰ ساله ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ را ارزیابی کردند. نتایج مطالعه نشان داد عوامل هیدروژئومورفولوژی روی وجود داشتن و یا نداشتن منابع آلاینده و تغییرات فصلی کیفیت سیمینه‌رود اثر داشته و کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی مناسب است [۸]. مطالعات در حوضهٔ سد سیمره و ارزیابی‌های کمی و کیفی در رودخانه و دریاچهٔ سد در سال‌های اخیر رشد زیادی داشته است که از آن جمله می‌توان به ارزیابی نشت آب از جناح راست سد سیمره توسط چشمی و همکاران (۱۳۹۳)، اثر تغییر اقلیم بر جریان ورودی به سد سیمره توسط گودرزی و همکاران ۱۳۹۹ و ارزیابی کیفی منابع آب سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مخزن سد سیمره توسط جهانگیر و مشیدی (۱۴۰۰) اشاره داشت [۹ـ ۱۱].

بررسی‌های انجام‌شده بیانگر ضعف شدید مطالعات کمی- کیفی در بهره‌برداری از سدها در زمان آبگیری است. بررسی‌های انجام‌شده بیانگر پایش کمی و کیفی بیشتر متمرکز بوده و بحث اثر آبگیری از نظر کمی و کیفی و نقش آن در پایین‌دست کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه به ارزیابی کمی و کیفی شبکهٔ پایش پایین‌دست سد سیمره که سطحی حدود ۷۰ درصد حوضهٔ آبریز کرخه را زهکشی می‌کند، بررسی شده است. مطالعات کمی و کیفی در حوضهٔ سدها نشان می‌دهد ارزیابی شبکهٔ پایش منابع آب در یک سد تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است. این مطالعه با هدف ارزیابی کمی و کیفی آبگیری سد سیمره بر وضعیت شبکهٔ پایش منابع آب رودخانه و چشمه‌های منطقه انجام شده است.

مواد و روش‌ها

سد بتنی دو قوسی سیمره در مسیر رودخانهٔ سیمره که یکی از سه زیرحوضه، حوضهٔ آبریز کرخه است در سال ۱۳۹۰ آبگیری شد. این سد در بخش شمالی تاقدیس راوندی واقع در جنوب غربی زون زاگرس چین‌خورده در فاصلهٔ ۳۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان دره‌شهر در استان ایلام احداث شده است. ساختگاه سد در یک دره‌ای U شکل با ارتفاع ۱۳۰ متر با قابلیت حجم ۲/۸ میلیارد مترمکعب در تراز نرمال ۷۲۳ متر دارد. این سد با هدف کنترل سیلاب و ذخیره‌سازی آب و تأمین انرژی برق‌آبی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. بخش عمده‌ای از ساختگاه سد و نیروگاه سیمره در سازند آسماری واقع شده که توسعهٔ کارست در آن، کیفیت و حجم آب موجود در منطقه را تحت تأثیر قرار داده (درزها و شکستگی‌ها) و حتی منجر به فرار آب از مخزن نیز شده است. در زمان آبگیری سد به منظور کنترل نشت در جناح راست، پردهٔ تزریق در دو جهت این جناح ساخته شده است. این وضعیت باعث شده تا آنالیز کمی و کیفی منطقه تحت تأثیر فرار آب بسیار حائز اهمیت شود. در شکل ۱ موقعیت سد سیمره نشان داده شده است.

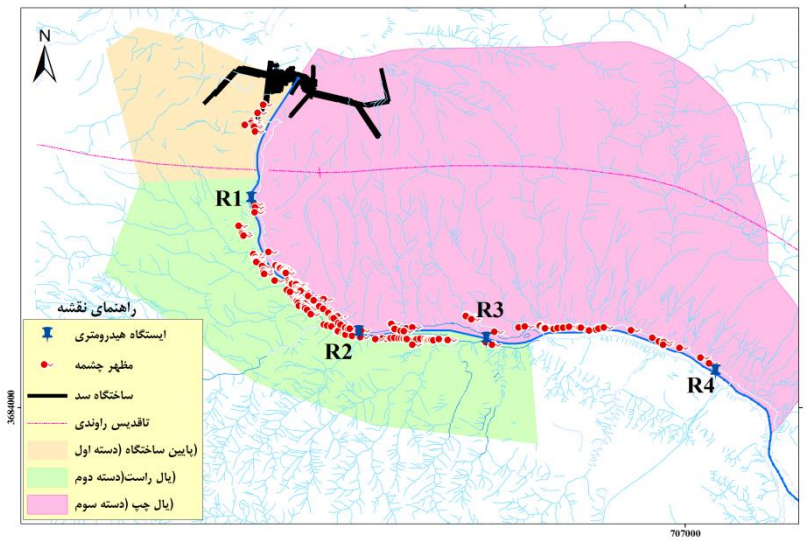


شکل ۱. موقعیت سد سیمره

یکی از اهداف مهم این سد بحث برق‌آبی است که یک نیروگاه روباز زمینی با سه توربین و انرژی متوسط سالانه ۸۵۰ گیگاوات ساعت در آن به کار گرفته شده است. این نیروگاه با ظرفیت ۴۸۰ مگاوات با راندمان ۹۴/۵ درصد از سال ۱۳۹۴ به مرور در مدار قرار گرفته است. تقسیم‌بندی سازندهای زمین‌شناسی اطراف سد سیمره بیانگر وجود رسوبات در بخش رودخانه، سازند گچساران با ضخامت متوسط مارن، نمک و ژیپس به وجود آمده که به صورت هم‌شیب روی آهک‌های آسماری فوقانی قرار می‌گیرد (Aghanabati, 2005). سازند گچساران در محدودهٔ ساختگاه سد روی تکیه‌گاه چپ و بستر دریاچه گسترده است. سازند آسماری از آهک‌های متبلور خاکستری روشن و لایه‌بندی متوسط تا توده‌ای با تناوبی از لایه‌های مارنی تشکیل شده است و آثاری از پدیدهٔ کارستی شدن به‌خصوص در بخش‌های پایینی توده‌های آهکی دیده می‌شود. در بخش میانی این سازند، آهک‌های دولومیتی با توسعهٔ کارست قرار دارد. آسماری پایینی در هستهٔ تاقدیس راوندی داخل تنگه رخنمون با شدت کارستی شدن بسیار ضعیف است. سازند پابده که شامل مارن و شیل‌های خاکستری و لایه‌های آهک رسی دریایی است که دو بخش غیر رسمی به نام‌های بخش شیل ارغوانی و بخش آهک‌های چرتی دارد. این سازند در عمق هستهٔ تاقدیس قرار گرفته و نقشی به لحاظ اجرایی در ساخت ندارد.

با توجه به وضعیت سازندهای زمین‌شناسی ساختگاه سد سیمره شبکهٔ پایش منابع آب برای ارزیابی وضعیت کمی و کیفی مورد تحلیل قرار گرفت. شبکهٔ پایش در مخزن سد، چشمه‌های پایین‌دست سد، رودخانه، گالری زهکشی و چاه‌های مشاهده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. دو شبکهٔ پایش برای رودخانهٔ سیمره در پایین‌دست در ۴ ایستگاه و چشمه‌های پایین‌دست سد در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور بررسی و ارزیابی تغییرات افزایش یا کاهش کیفیت آب در چشمه‌های پایین‌دست سد سیمره و شناخت عامل مؤثر بر این تغییرات با دو رویکرد ارزیابی شد. در رویکرد اول با استفاده از نمودارهای گیبس (Gibbs) تحلیل روند غالب فرایندهای شیمیایی تغییر کیفیت آب بررسی شد. این نمودارها بیانگر سه دسته تعاملات شیمیایی است. تعاملات مربوط با فرایند انحلال متأثر از تبخیر، تعاملات ناشی از تغییرات حجم آب و تعاملات ناشی از تأثیر سازندهای زمین‌شناسی به عنوان سه دستهٔ کلی این فرایندها معرفی می‌شوند. به منظور آنالیز مناسب از نظر مکانی و زمانی چشمه‌های منطقه به سه دسته تقسیم شدند. دستهٔ اول شامل ۴ دهنه چشمه در پایین‌دست ساختگاه سد، دسته دوم شامل چشمه‌هایی هستند که در یال راست ساختگاه قرار دارند و دستهٔ سوم چشمه‌هایی هستند که در یال چپ قرار دارند. پراکنش مکانی این چشمه‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. ۴ ایستگاه مربوطه به صورت R1 تا R4 از مخزن سد سیمره تا پایین‌دست نیروگاه قرار دارند. بر این اساس، در دوره‌های مختلف برای چشمه‌های سه منطقه درنظرگرفته‌شده با استفاده از نمودارهای گیبس تحلیل انجام گرفت.



شکل ۲. تقسیم‌بندی چشمه‌های مطالعه‌شده

آماربرداری از شبکهٔ پایش این سد از سال ۱۳۸۹ قبل از آبگیری سد تا پایان سال ۱۳۹۷ انجام و مورد تحلیل قرار گرفته است. شبکهٔ پایش براساس پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی (Ec)، اسیدیته (pH)، کل املاح محلول (TDS)، کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم)، آنیون‌ها (بی‌کربنات، کلراید، سولفات و کربنات) و سختی آنالیز کیفی شده است.

با توجه به انجام یک دورهٔ بلندمدت نمونه‌برداری کیفی از منابع آب در پایین‌دست سد سیمره در مؤسسهٔ تحقیقات آب، روند انجام تحلیل در گام‌های زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

گام اول: ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت آب با استفاده از نمودار گیبس. نمودار گیبس بیان‌کنندهٔ نقش عوامل طبیعی و انسانی در تغییر وضعیت کیفی آب است که با توجه به طبقه‌بندی مکانی چشمه‌های منطقه آنالیز شد. با توجه به نتایج گیبس تحلیل منشأ کیفی آب در هر بخش از پایین‌دست ساختگاه سد در چشمه‌ها تعیین می‌شود.

گام دوم: روند تغییرات کل املاح محلول در آب طی دورهٔ زمانی براساس سری زمانی اندازه‌گیری‌شده تحلیل می‌شود. همچنین، با توجه به آبگیری مخزن سد سیمره، همبستگی بین تراز مخزن و غلظت کل املاح (TDS) بررسی و ارزیابی می‌شود. در این حالت میزان تأثیرگذاری کیفیت آب در مقابل افزایش تراز آب مخزن مورد آنالیز قرار می‌گیرد. تحلیل روند براساس آزمون ناپارامتریک من‌ـ کندال انجام می‌گیرد که فرض اولیه بر نبود روند در سری زمانی پارامترها تمرکز دارد و براساس این موضوع، تحلیل وجود داشتن یا نداشتن روند انجام می‌شود.

گام سوم: مقادیر حدی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری‌شده در چشمه‌های مختلف شبکهٔ پایش منطقه براساس مقادیر آماری مورد تحلیل قرار می‌گیرد و وضعیت کیفی از این منظر آنالیز می‌شود. از طرفی نیز با توجه به تأثیر کمی آبگیری سد، ارزیابی وضعیت نشت و آبدهی چشمه‌های پایین‌دست انجام می‌گیرد.

گام چهارم: کیفیت آب در ۴ ایستگاه آب‌سنجی پایین‌دست ساختگاه سد آنالیز و ارزیابی آنومالی کیفی رودخانه انجام می‌شود.

نتایج و بحث

۱. شناخت منشأ تغییرات کیفی آب چشمه‌های منطقه

به منظور بررسی نقش عوامل مختلف در کیفیت آب چشمه‌های پایین‌دست سد سیمره از نمودار گیبس برای تحلیل استفاده شد. با توجه به تقسیم‌بندی چشمه‌های به سه منطقه، مطابق شکل ۳ نمودار گیبس ترسیم شد.

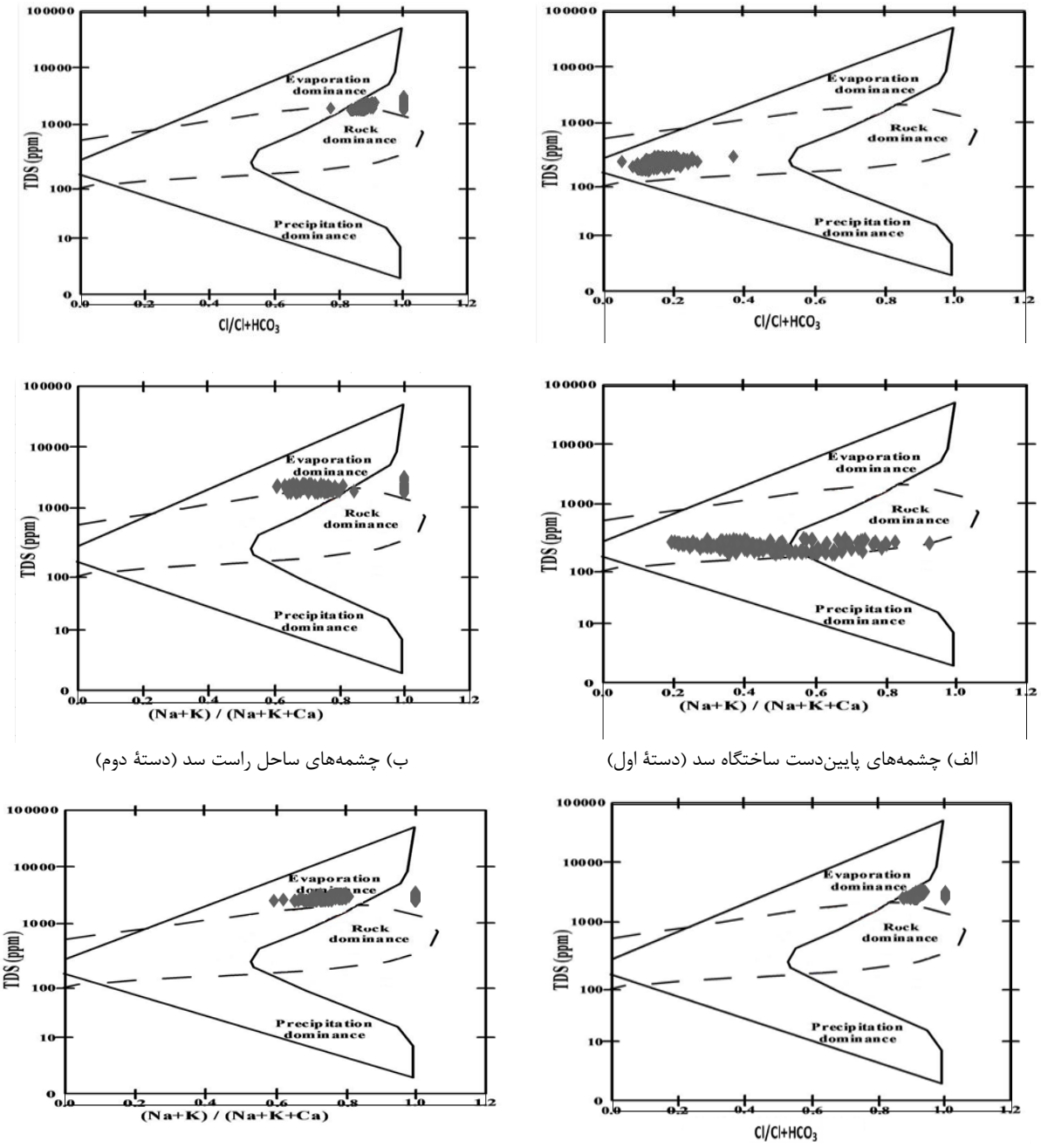
بررسی تغییرات کیفی در شکل (۳-الف) بیانگر این موضوع است که روند تغییرات کیفی در چشمه‌ها ناشی از سازندهای زمین‌شناسی منطقه و با توجه به احداث سد سیمره، مربوط به تغذیهٔ ناشی از سازندهای زمین‌شناسی در این منطقه است. بررسی سازندهای زمین‌شناسی بالادست این چشمه‌ها نشان می‌دهد تغذیه از سازندهای آسماری عبور می‌کند و در این سازندها با توجه به وجود لایه‌های آهک مارنی افزایش غلظت املاح در آب وجود دارد.

نتایج استخراجی از نمودار گیبس مطابق شکل (۳-ب) نشان داد بیشتر چشمه‌های ساحل راست طی دورهٔ نمونه‌برداری تحت تأثیر سازندهای زمین‌شناسی و کریستالیزاسیون تبخیر قرار دارند. بررسی سازندهای زمین‌شناسی در بخش ساحل راست رودخانه نشان می‌دهد تغذیهٔ این منطقه ناشی از عبور جریان‌های زیرزمینی از سازند آسماری است و در فاصلهٔ دورتر از مسیر رودخانهٔ سازند گچساران قرار دارد. با توجه به شبکهٔ جریان آب زیرزمینی این منطقه، تغذیه ناشی از تراز آب مخزن سد از سازند آسماری عبور می‌کند و تغذیهٔ ناشی از رواناب بیشتر از سازندهای گچساران و در ادامه از سازندهای آسماری می‌گذرد. بنابرین، افزایش غلظت املاح که فرایند تبخیر انحلالی و سازندهای زمین‌شناسی است، بسیار محتمل است.

بررسی تغییرات کیفی در چشمه‌های ساحل چپ بیانگر نقش مهم فرسایش انحلالی آب و تعامل کیفیت آب چشمه‌ها بر اثر انحلال تبخیری سازندها را نشان می‌دهد. این موضوع با توجه به حجم بیشتر جریان آب زیرزمینی انتقالی از مسیر مخزن سد تا رودخانه در این بخش است و همچنین، تأثیر سازندهای آسماری و گچساران را نیز مشهود می‌کند. میزان افزایش غلظت املاح در ساحل چپ نسبت به سایر مناطق مورد سنجش بیشتر است که یکی از دلایل مهم آن شاید ضخامت و حجم بیشتر آهک‌های مارنی در لایه‌بندی سازند آسماری باشد.

۲. روند تغییرات کل املاح محلول در چشمه‌های منطقه

پارامتر کیفی TDS یکی از پارامترهای کیفی مهم در شناخت وضعیت کیفی آب در چشمه‌های منطقه طی دورهٔ آماربرداری مورد آنالیز قرار گرفت. بر این اساس، مطابق شکل ۴ نمودار تغییرات TDS برای سه دسته چشمه منطقه ترسیم شد.

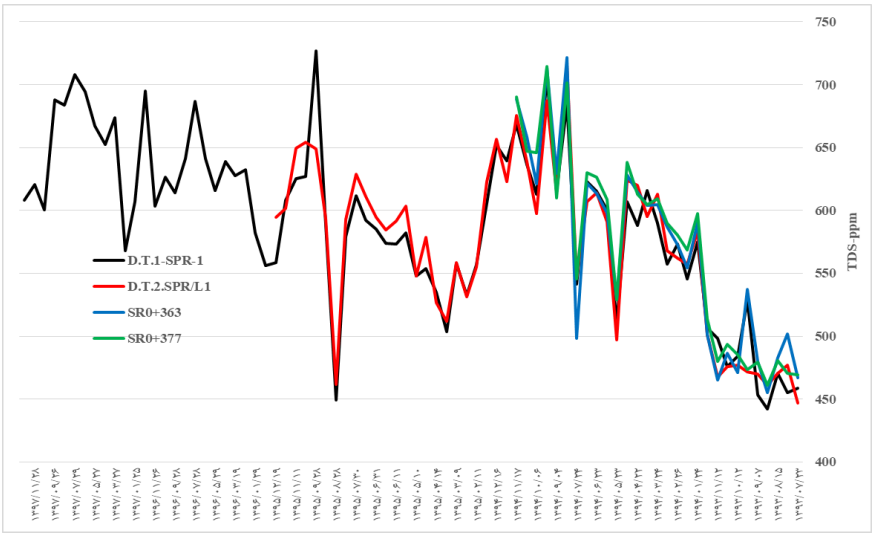


الف) چشمه‌های پایین‌دست ساختگاه سد (دستهٔ اول)

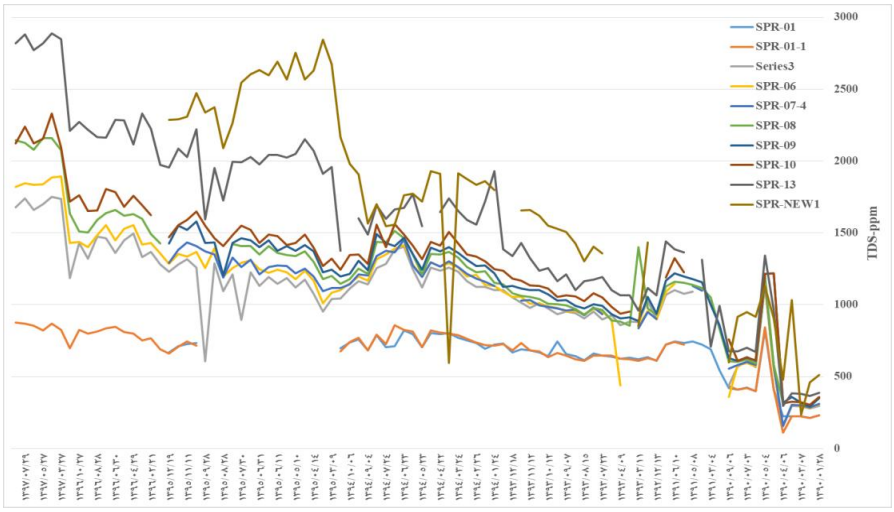
ب) چشمه‌های ساحل راست سد (دستهٔ دوم)

ج) چشمه‌های ساحل چپ سد (دستهٔ سوم)

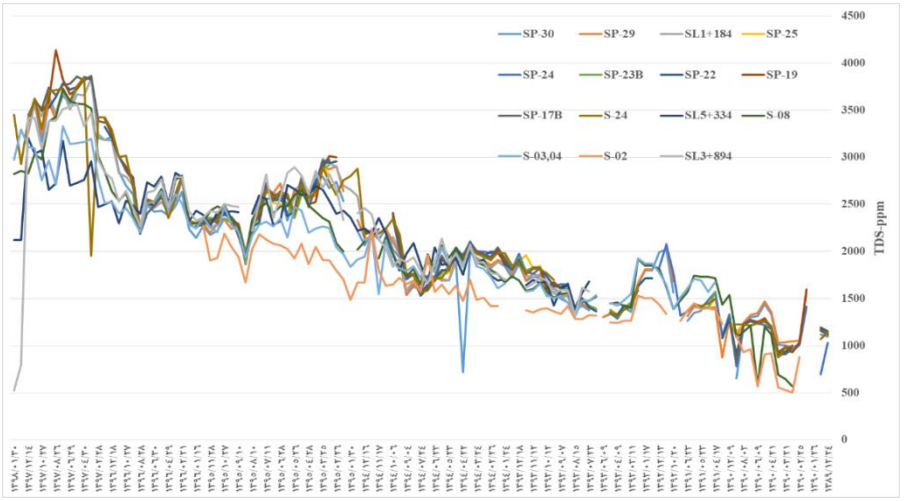
شکل ۳. نمودار گیبس در تحلیل منشأ کیفی آب



الف) چشمه‌های پایین‌دست ساختگاه سد (دستهٔ اول)



ب) چشمه‌های ساحل راست سد (دستهٔ دوم)



ج) چشمه‌های ساحل چپ سد (دستهٔ سوم)

شکل ۴. نمودارهای تغییرات TDS برای چشمه‌های پایین‌دست ساختگاه سد

بررسی روند تغییرات کیفی TDS در ۴ دهنه چشمه (دستهٔ اول) نیز بیانگر روند افزایشی را نشان می‌دهد. نتایج مطابق شکل (۴- ب) در دستهٔ دوم چشمه‌ها نشان می‌دهد غلظت کل املاح (TDS) طی زمان و افزایش تراز مخزن افزایش داشته و این موضوع با توجه به تغذیهٔ جریان‌های زیرزمینی در سازندهای منطقه دور از ذهن نیست. به منظور تحلیل آماری تعدادی از چشمه‌ها با پراکنش مناسب که دارای طول دورهٔ آماربرداری کیفی طولانی بودند، انتخاب شد. در چشمه‌های ساحل چپ ساختگاه سد (دستهٔ سوم) مطابق شکل (۴- ج) نتایج سری زمانی تغییر غلظت کل املاح بیانگر افزایش غلظت در چشمه‌های این منطقه است که با توجه به فرایند تعاملی فرسایش انحلالی که ناشی از لایه‌های آهک مارنی در سازند آسماری منطقه است، این موضوع را (نتایج نمودارهای گیبس) را نیز تأیید می‌کند.

۳. ارزیابی اثر آبگیری سد بر تغییرات کیفی چشمه

به منظور ارزیابی اثر تغییرات تراز آب مخزن سد بر تغییرات کیفی چشمه‌های این منطقه از همبستگی بین غلظت کل املاح (TDS) با تراز آب مخزن مطابق جدول ۱ تا ۳ برای سه دسته چشمه استفاده شد. همبستگی برقرار شده طی دورهٔ آماربرداری و با افزایش تراز آب در مخزن و غلظت کل املاح محلول در آب بررسی شد.

جدول ۱. همبستگی بین تراز مخزن و TDS در چشمه‌های پایین‌دست ساختگاه (دستهٔ اول)

همبستگی	چشمهٔ دستهٔ اول			
	D.T.1-SPR-1	D.T.2.SPR/L1	SR0+363	SR0+377
مخزن	0.47	0.47	0.82	0.85

جدول ۲. همبستگی تراز آب مخزن سد و غلظت کل املاح محلول در آب در ساحل راست

همبستگی	چشمهٔ دستهٔ دوم									
	SPR-01	SPR-01-1	SPR-05	SPR-06	SPR-07-4	SPR-08	SPR-09	SPR-10	SPR-13	SPR-NEW1
مخزن	0.75	0.79	0.75	0.80	0.84	0.79	0.82	0.80	0.86	0.90

جدول ۳. همبستگی تراز آب مخزن سد و غلظت کل املاح محلول در آب در ساحل چپ

همبستگی	چشمهٔ دستهٔ سوم														
	SP-23B	SP-22	SP-19	SP-17B	S-24	S-08	S-03,04	S-02	SL3+894	SL5+334	SL1+184	SP-25	SP-24	SP-30	SP-29
مخزن	0.80	0.73	0.73	0.72	0.74	0.77	0.68	0.87	0.49	0.75	0.68	0.83	0.82	0.70	0.75

بررسی نتایج به‌دست‌آمده از میزان همبستگی نشان می‌دهد دو چشمه SR0+377 و SR0-363 که در دستهٔ اول چشمه‌های مورد آنالیز هستند، دارای سری زمانی کوتاهی در سال‌های ابتدای آبگیری و دارای همبستگی نسبتاً مناسبی است. اما دو چشمهٔ D.T.1-SPR-1 و D.T.2.SPR/L1 که دارای سری زمانی طولانی و مناسبی هستند، عدم همبستگی را نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به نتایج مورد تحلیل در این بخش، افزایش غلظت املاح در این چشمه‌ها بیشتر تحت تأثیر تغذیهٔ ناشی از سازندهای زمین‌شناسی بر اثر آبگیری سد سیمره شناخته می‌شود. همبستگی بین افزایش تراز آب مخزن سد و غلظت کل املاح محلول در آب چشمه‌های دستهٔ دوم همبستگی مناسبی دارد و تغییرات همبستگی کمی در این چشمه‌ها مشاهده می‌شود. میانگین همبستگی در این چشمه‌ها ۰/۸۱ است که با توجه به حداقل (۰/۷۵) و حداکثر (۰/۹) مناسب ارزیابی می‌شود. در چشمه‌های دستهٔ سوم نتایج به‌دست‌آمده بیانگر پایین بودن همبستگی بین تراز آب مخزن سد سیمره و افزایش غلظت املاح آب (TDS) در چشمه‌های مورد مطالعه است. بنابراین در این منطقه، تأثیر فرسایش انحلالی در

سازندهای منطقه تأثیر بیشتری بر کیفیت آب و افزایش غلظت املاح داشته است.

۴. تحلیل مقادیر حدی غلظت چشمه‌های منطقه

به منظور بررسی مقادیر حدی تغییرات پارامترهای کیفی چشمه‌ها، حداکثر و حداقل مقادیر اندازه‌گیری‌شده آنالیز شد. بر این اساس، نتایج نشان داد بیشترین میزان TDS اندازه‌گیری‌شده مربوط به چشمهٔ SP-19 در آبان ۱۳۹۶ بوده است. روند تغییرات TDS در این چشمه به‌شدت افزایشی بوده و بررسی چشمه‌های این منطقه (یال چپ) بیانگر زیاد بودن غلظت کل املاح است. این منطقه تحت تأثیر تغذیهٔ جریان‌های زیرزمینی و سازندهای مارنی قرار داشته و این موضوع با افزایش تراز آب مخزن سد نیز تشدید شده است. از طرفی، با توجه به زیاد بودن غلظت کل املاح محلول در آب در این چشمه و بالا بودن شوری، دو پارامتر سدیم و کلراید نیز در همین چشمه، بیشترین میزان غلظت را ثبت کرده است که فرضیه تأثیر سازندهای شور در افزایش غلظت در کنار افزایش تراز آب مخزن محتمل است.

بررسی مقادیر حداکثر آنیون‌ها در چشمه‌های منطقه نشان می‌دهد در ساحل چپ غلظت کلراید و سولفات نسبت به بی‌کربنات بیشتر است. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده زیاد بودن این دو آنیون احتمالاً بر اثر حل شدن سنگ گچ (ژیپس) و سایر رسوبات معدنی در منطقهٔ تاقدیس راوندی به وقوع پیوسته است. از طرفی، در ساحل راست غلظت بی‌کربنات نسبت به ساحل چپ بیشتر بوده که بیشتر ناشی از فرسایش انحلالی در سازندهای آسماری این منطقه است. دامنهٔ تغییرات آنیون‌ها در ساحل چپ بسیار بالا است و روند افزایشی را نشان می‌دهد، به طوری که غلظت سولفات در چشمه S-08 به میزان ۸۱۲ میلی‌گرم در لیتر، غلظت کلراید در چشمهٔ S-19 به میزان ۱۹۳۱ میلی‌گرم در لیتر و غلظت بی‌کربنات در چشمهٔ SPR-NEW2 به میزان ۲۴۸ میلی‌گرم در لیتر افزایش داشته است. بررسی مقادیر حداکثر کاتیون‌ها در چشمه‌های منطقه شبیه تغییرات آنیون‌ها است، به طوری که در ساحل چپ غلظت سدیم، منیزیم و کلسیم بالاتر بوده که با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی و افزایش تراز آبگیری این موضوع به وقوع پیوسته است. همچنین، با توجه به زیاد بودن میزان غلظت کلسیم و منیزیم در این منطقه سختی آب در چشمه‌های منطقه نیز بالاتر بوده و وضعیت رسوب‌گذاری در منطقه وجود خواهد داشت. بررسی سختی آب در چشمه‌های منطقه نشان داد چشمه‌های نزدیک ساختگاه سد دارای سختی کمتر بوده و بیشترین میزان سختی اندازه‌گیری‌شده مربوط به «رانش تلخاب چپ» بوده و پس از آن چشمه‌های ساحل چپ دارای مقادیر حداکثری است. چشمه‌های ساحل راست با توجه به پایین بودن سطح غلظت کاتیون‌های مربوطه دارای سختی پایین است و وضعیت مناسبی از این نظر دارند. از این نظر بررسی پارامتر pH آب در چشمه‌های منطقه نیز نشان داد چشمه‌های ساحل چپ دارای مقادیر حداکثری pH بوده و از این نظر نتایج آن با سختی کل اندازه‌گیری‌شده همخوانی دارد. بر این اساس، در جدول ۴ مقادیر آماری حداقل، حداکثر و میانگین کلیهٔ پارامترهای اندازه‌گیری‌شده طی دورهٔ نمونه‌برداری به همراه چشمهٔ آن ارائه شده است.

۵. تحلیل وضعیت نشت سد سیمره

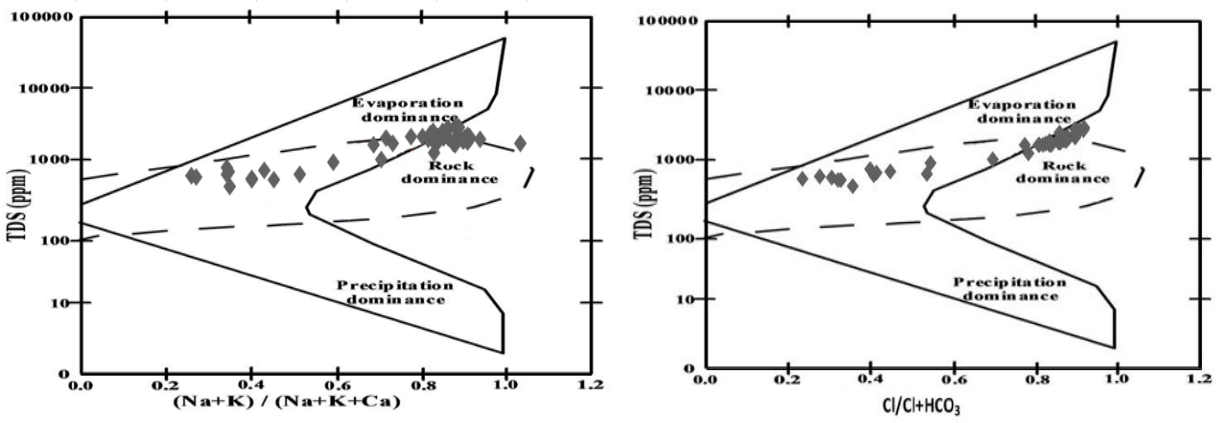
بررسی نتایج به‌دست‌آمده از تفسیر میزان آبدهی چشمه‌ها، تراز آب مخزن سد سیمره و آبدهی در رودخانه مشخص می‌شود که با افزایش تراز آب مخزن میزان نشت افزایش یافته که این موضوع در آبدهی چشمه‌ها به طور کاملاً مشخص مشهود است. طی دورهٔ ۵ ساله ابتدایی اندازه‌گیری، آبدهی چشمه‌ها نسبت به شیب افزایش تراز آب مخزن بیشتر است و در ۵ سالهٔ دوم آبدهی چشمه‌ها با وجود کاهش شیب افزایش تراز آب مخزن، افزایش نشان می‌دهد یکی از دلایل مهم این موضوع را می‌توان به بالا بودن سطح غلظت دو کاتیون کلسیم و منیزیم که در واقع، باعث افزایش سختی آب می‌شود، نسبت داد. افزایش سختی آب در جریان‌های زیرزمینی که از مظهر چشمه‌ها خارج می‌شوند در مسیر احتمالاً دچار رسوب‌گذاری شده و این موضوع سبب شده تا شیب افزایشی دورهٔ دوم اندازه‌گیری (۵ ساله انتهایی) نسبت به شیب افزایشی دورهٔ اول اندازه‌گیری که بعد از آبگیری بوده است، کاهش داشته باشد. در این تحقیق اشاره‌ای به ثابت بودن میزان نشت نشده است که این موضوع با توجه به بالا بودن سطح میزان عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌های کمی در واقع امکان‌پذیر نیست.

جدول ۴. تحلیل آماری مقادیر حدی اندازه‌گیری در چشمه‌های منطقه

پارامتر کیفی	حداقل غلظت	متوسط غلظت	حداکثر غلظت	بیشترین تغییرات
HCO3	46.0 SP-24	166.9	351.6 SPR-NEW1	248.8 SPR-NEW2
Cl	7.1 SPR-01	614.7	2154.7 SP-19	1931.6 SP-19
So4	0.1 SP-30	361.1	963.5 SL5+334	812 S-08
NO3	0.0 S-20	6.9	300.8 SPR-NEW2	300.2 SPR-NEW2
Na	10.8 SPR-01-1	375.0	1102.2 SP-19	957 SPR-NEW2
K	0.1 SPR-11	2.4	58.5 SPR-01	58 SPR-01
Mg	6.7 S-08	42.4	125.0 SL5+334	95 SP-30
Ca	35.1 D.T.1-SPR-1	174.1	486.2 SL1+595	385 S-23
TDS	110.3 SPR-01-1	1657.8	4134.4 SP-19	3284 SP-19
TH	184.9 D.T.1-SPR-1	608.8	1516.4 رانش تلخاب چپ داخل چاله	1148 S-23
T	12.7 D.T.1-SPR-1	19.8	30.6 SL5+334	15.7 SL5+334
Ec	168.9 SPR-01-1	2612.0	6500 SP-19	5360 SP-19
pH	5.8 SP-19	7.8	9.9 SP-25B	3.4 SP-25B

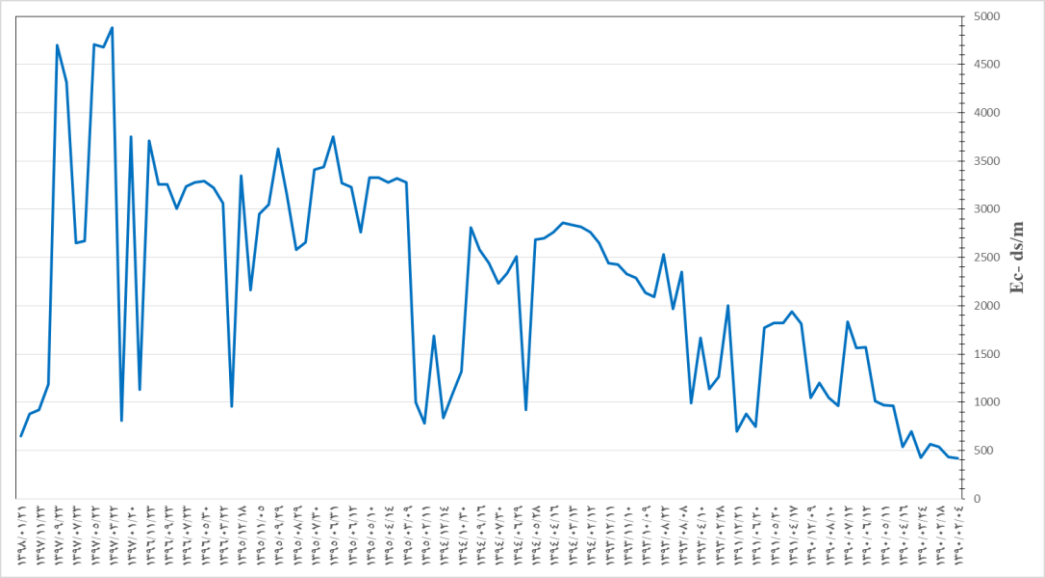
۶. ارزیابی آنومالی کیفی رودخانه

بررسی تغییرات کیفی رودخانه در ۴ ایستگاه در پایین‌دست سد سیمره بررسی شد. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد پایش در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از تغییرات کیفی در این ۴ ایستگاه بیانگر یکسان بودن تغییرات در ۳ ایستگاه و آنومالی در ایستگاه R4 است. تغییرات غلظت پارامترهای کیفی در ایستگاه R4 رودخانه دارای یک آنومالی شدید در برخی دوره‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. با توجه به تأثیر عوامل مختلف در این آنومالی، نمودار گیبس برای تحلیل منشأ تغییرات کیفی بررسی شد. تغییرات پارامترهای کیفی در سه ایستگاه دیگر در مسیر پایین‌دست رودخانهٔ سیمره مشابه رفتار ایستگاه R4 بوده و تنها آنومالی‌هایی زمانی در آن‌ها اتفاق نمی‌افتد. در شکل ۵ نمودارهای مربوطه برای ایستگاه R4 در کل دورهٔ نمونه‌برداری ترسیم شد.



شکل ۵. نمودار گیبس برای ایستگاه R4

نتایج به‌دست‌آمده از نمودارهای گیبس بیانگر نقش مهم سازندهای منطقه در کیفیت آب رودخانه در ایستگاه R4 است. بنابراین، با توجه به آنومالی مشاهده‌شده در غلظت پارامترهای کیفی در ایستگاه R4، بررسی زمانی این تغییرات نیز بررسی شد که نتایج نشان می‌دهد به‌جز بهار ۱۳۹۴ در سایر سال‌ها، در فصل بهار آنومالی در کاهش شدید غلظت املاح (کلیهٔ کاتیون‌ها و آنیون‌ها) در ایستگاه R4 اندازه‌گیری شده است. میزان کاهش پارامترهای کیفی در سال‌های اولیه کم و در سال‌های اخیر افزایش زیادی داشته است. شکل ۶ سری زمانی هدایت الکتریکی (Ec) در برای ایستگاه R4 نشان می‌دهد. همچنین، در انتهای دورهٔ اندازه‌گیری که به بهار ۱۳۹۸ ختم می‌شود، این آنومالی کاهشی در پارامترهای کیفی مشاهده می‌شود.



شکل ۶. سری زمانی تغییرات هدایت الکتریکی در ایستگاه R4

ارزیابی روند تغییرات هدایت الکتریکی در ایستگاه R4 با استفاده از آزمون من‌ـ کندال انجام گرفت که نتایج نشان داد میزان هدایت الکتریکی اگرچه دارای کاهش مقادیر است، اما از نظر آماری در سطح معناداری ۹۵ درصد فاقد روند است. متأسفانه برای تحلیل تأثیر احتمالی تغییرات آبدهی اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه R4 بر تغییرات کیفی آب در این ایستگاه، تنها در بهار ۱۳۹۳ اندازه‌گیری ثبت شده که نتایج در فصل بهار بیانگر روند افزایشی آبدهی از ابتدای سال تا ابتدای تابستان است. از طرفی، همبستگی بین تراز آب مخزن سد سیمره و آبدهی در ایستگاه R4 مناسب نیست و بررسی‌ها نشان می‌دهد از با حذف اطلاعات قبل از سال ۱۳۹۱، همبستگی ۰/۸۲ محاسبه می‌شود که بیانگر ارتباط بین افزایش تراز آب مخزن سد و افزایش آبدهی در ایستگاه R4 را نشان می‌دهد. همچنین، با توجه به نقش مهم چشمه‌های منطقه در تأمین آبدهی ایستگاه R4 در تاریخ‌هایی که کاهش پارامترهای کیفی اندازه‌گیری‌شده نیز براساس کیفیت آب چشمه‌ها آنالیز شد که نتایج نشان می‌دهد هیچ ارتباطی از این نظر وجود نداشته است. روند افزایشی پارامترهای کیفی در چشمه‌ها به‌خصوص در سال‌های انتهایی اندازه‌گیری وجود داشته و در این دورهٔ آنومالی برای ارتباط با کیفیت آب در ایستگاه R4 رودخانه وجود ندارد. با توجه به تحلیل‌های انجام‌گرفته مشخص شد که سازندهای زمین‌شناسی نقش مهمی در تغییر کیفیت آب داشته و نقش چشمه‌ها و افزایش تراز آب مخزن سد سیمره اگرچه از نظر کمی مؤثر بوده، اما از نظر کیفی در وضعیت ایستگاه R4 رودخانه کمتر تأثیر داشته است. بنابراین، دو عامل نزولات آسمانی در فصل بهار و اضافه شدن آب خروجی از نیروگاه در تغییر کیفیت آب می‌تواند مطرح شود. اقلیم منطقه در محدودهٔ ساختگاه سد به گونه‌ای است که ذخیرهٔ برفی زیادی ندارد، اما در حوضهٔ آبریز سد سیمره این وضعیت وجود دارد. از طرفی نیز این منطقه در فصل بهار بارش قابل ملاحظه‌ای دارد که علاوه

بر افزایش آبدهی رودخانه سبب بهبود وضعیت کیفی نیز می‌شود که این موضوع در کاهش یکباره پارامترهای کیفی می تواند مؤثر باشد. از طرفی، با توجه به آبگیری نیروگاه به صورت مستقیم از مخزن و کیفیت مناسب آب در مخزن سد سیمره، ورود جریان خروجی نیز می‌تواند دومین دلیل بر کاهش یکباره پارامترهای کیفی در ایستگاه R4 باشد. از طرفی نیز با توجه به افزایش غلظت نیترات در ایستگاه R4 به‌خصوص در فصول بهار، تأثیر دفع فعالیت‌های کشاورزی و انسانی در منطقه نیز توسط نزولات مشخص می‌شود.

نتیجه‌گیری

توسعه در کنار رشد تکنولوژی باعث شده تا برنامه‌ریزی برای تأمین آب جوامع مختلف با استفاده از رویکردهای سازه‌ای انجام گیرد. این موضوع باعث شده تا استفاده از سد جهت ذخیره‌سازی و تأمین آب و البته، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری چندمنظوره از این سازه‌ها در اولویت قرار گیرد. بنابراین، تغییرات ایجادشده برای بهره‌برداری باعث ایجاد آنومالی کمی و کیفی در شبکهٔ آبراهه‌ای منطقه می‌شود. بنابراین، پایش و برنامه‌ریزی برای شناخت تغییرات ایجادشده می‌تواند بستر مناسبی به منظور برنامه‌ریزی متولیان آب از منظر مدیریت کیفی منابع آب به وجود آورد. این مطالعه به ارزیابی نقش آبگیری سد سیمره در تغییرات کیفی چشمه‌ها و رودخانه در پایین‌دست ساختگاه سد براساس یک دوره نمونه‌برداری ۱۰ ساله تمرکز داشته است. بر این اساس، با رویکرد تعیین منشأ تغییر کیفی آب با نمودار گیبس مشخص شد که سازندهای زمین‌شناسی نقش مهمی در تغییر کیفیت آب چشمه‌های منطقه داشته است. سازند آسماری به عنوان منشأ اصلی جریان‌های تغذیه‌ای عبوری در حوضهٔ آبگیر چشمه‌ها شناسایی شده است. همچنین، نتایج نمونه‌برداری کیفی نشان داد میزان افزایش غلظت املاح در ساحل چپ نسبت به سایر مناطق مورد سنجش بیشتر بوده که ضخامت و حجم بیشتر آهک‌های مارنی در لایه‌بندی سازند آسماری مهم‌ترین عامل شناخته شد. از طرفی، تحلیل تغییرات کیفی در چشمه‌های منطقه بیانگر افزایش غلظت املاح و پارامترهای کیفی در کلیهٔ چشمه‌ها منطقه است که نقش افزایش تراز آبگیری در مخزن سد و افزایش حجم نست آب از طرف سد کاملاً مشهود است.

بررسی آماری تراز آب مخزن سد و آبدهی در رودخانه‌های منطقه بیانگر افزایش دبی رودخانه است که این موضوع فرضیه توسعهٔ سازندهای کارست منطقه را تأیید می‌کند. نتایج آماری نشان داد در دورهٔ ۵ ساله ابتدایی آبگیری مخزن سد، آبدهی چشمه‌ها نسبت به شیب افزایش تراز آب مخزن بیشتر بوده و در ۵ سالهٔ دوم آبدهی چشمه‌ها با وجود کاهش شیب افزایش تراز آب مخزن، افزایش داشته است. با توجه به غلظت زیاد سختی آب فرایند رسوب‌گذاری محتمل بوده و سبب شیب افزایشی دورهٔ دوم نمونه‌برداری (۵ ساله انتهایی) نسبت به شیب افزایشی دورهٔ اول نمونه‌برداری شده است. همچنین، ارزیابی تغییرات پارامترهای کیفی آب در رودخانهٔ سیمره نشان داد آنومالی در پارامترهای کیفی ایستگاه R4 وجود داشته که با توجه به موقعیت این ایستگاه، دو عامل نزولات آسمانی در فصل بهار و اضافه شدن آب خروجی از نیروگاه در تغییر کیفیت آب تأثیرگذار است. این موضوع با توجه به افزایش غلظت نیترات در ایستگاه R4 به‌خصوص در فصول بهار، که تحت تأثیر دفع فعالیت‌های کشاورزی و انسانی در منطقه است نیز قابل تأیید است. بررسی شبکهٔ پایش کیفی پایین‌دست سد سیمره نشان داد این احداث سد و آبگیری آن باعث افزایش تغییر کیفیت آب در این شبکه شده است. نقش سازندهای زمین‌شناسی با توجه به تغذیهٔ عبوری از آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. از طرفی نیز حجم زیاد آب و فرایند انحلال سازندهای کارستی منطقه سبب افزایش توسعه کارستی شدن شده و این موضوع باید در مدیریت برنامه‌ریزی بهره‌برداری این سد مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد.

سپاسگزاری

اعضای این مقاله بر خود واجب می‌دانند از شرکت توسعهٔ منابع آب و نیرو مؤسسهٔ تحقیقات آب در جهت تأمین و در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات نمونه‌برداری کیفی شبکه پایش سد سیمره تشکر و قدردانی کنند.

منابع

[1].Nielsen DL, Brock MA, Rees GN, Baldwin DS. Effects of increasing salinity on freshwater ecosystems in Australia. Australian Journal of Botany. 2003;51(6):655-65.

[2].Kardan Moghaddam H, Rahimzadeh Kivi Z, Bahreinimotlagh M, Moghddam HK. Evaluation of the groundwater resources vulnerability index using nitrate concentration prediction approach. Geocarto International. 2021 Sep 23:1-7.

[3].Dahrazma, B., Hafezi Moghaddas, N., Hasanvand, M., Karami, R. Investigation on the geochemistry of formations of Gotvand-olya dam reservoir and its influence on the quality of water in reservoir. Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology, 2014; 7(Number 1 & 2): 29-40 [In Persian].

[4].Nazeri Tahroudi, M., Shahidi, A. Evaluation of Gotvand Dam Construction Impacts on Time Series variability of water quality parameters. Iran-Water Resources Research, 2017; 13(3): 175-180 [In Persian].

[5].Azish, S., Asareh, A., Khodadadi Dehkordi, D. Effect of Drought on the Water Quality and Quantity of Dez River. Iran-Water Resources Research, 2019; 15(2): 306-318 [In Persian].

[6].Neisi L, Tishehzan P. Evaluation of the Quality of Irrigation Water of Downstream of the Zard River Using Statistical Analysis. JWSS. 2019; 23 (3) :81-93[In Persian].

[7].Nadiri, A., Sadeghi Aghdam, F., Aghari Moghaddam, A., Naderi, K. The Assessment of Salinity and Arsenic as the Destructive Factors Affecting on Surface and Ground Water Quality of Sahand Dam water Basin. Hydrogeomorphology, 2015; 2(4): 79-99 [In Persian].

[8].Rezaei Moghaddam, M., Nikjoo, M., Hejazi, M., Khezri, S., Kazemi, A. Study of the effects of hydro-geomorphology factors on the water quality changes of Siminehrood River at various stations during 2003-2013. Iranian journal of Ecohydrology, 2017; 4(2): 395-405. doi: 10.22059/ije.2017.61476[In Persian].

[9].Cheshomi, A., Sahbaniya, Y., Ashjari, J. Assessment of water leakage through the right abutment of the Seymareh dam. *Geopersia*, 2014; 4(2): 213-225. doi: 10.22059/jgeope.2014.52720 [In Persian].

[10]. Goodarzi, M., Vagheei, H., Mousavi, M. The Behavior of Inflow to the Seimareh Dam in the Face of Climate Change Impacts. Journal of Environmental Science and Technology, 2020; 22(3): 169-182. doi: 10.22034/jest.2018.20468.2956 [In Persian].

[11]. Jahangir, M., moshayedi, Z. Qualitative evaluation of surface water resources using satellite images in Seymareh dam reservoir. Iranian journal of Ecohydrology, 2021; (): -. doi: 10.22059/ije.2021.328294.1530 [In Persian].