

ارزیابی پتانسیل نشت از جناح راست سد بهشت آباد با استفاده از مطالعات هیدروژئولوژی

حسین عابدیان^{۱*}، غلامحسین کرمی^۲ و حاجی کریمی^۳

چکیده

ساخت سدها بر روی سازندهای آهکی هر چند از لحاظ مورفولوژی دارای ساختگاه‌های با شکل مناسب است؛ ولی معمولاً باعث نشت از مخزن سد به سمت پایین دست و یا حوضه‌های مجاور می‌شود و میزان آن گه‌گاه بیشتر از آنچه انتظار می‌رود، است. سد بهشت‌آباد در مرحله‌ی مطالعات قرار دارد و تقریباً در انتهای محور تاقدیسی به نام سنگویل از جنس دولومیت- آهکی با ضخامت حدود ۷۰۰ متر واقع شده است. جناح راست مخزن عمدتاً به‌طور مستقیم با این سازند کارستی در تماس است. بررسی‌های هیدروژئولوژی با هدف نشت از مخزن در جناح راست، شامل آزمایش‌های اندازه‌گیری سطح آب و هیدروشیمی گمانه‌ها، اندازه‌گیری دبی و هیدروشیمی چشمه‌ها و مطالعات ایزوتوپ‌های محیطی انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که سطح آب آبخوان در جناح راست مخزن دارای نوسانات بسیار مشابه با اختلاف حداقل و حداکثر ۲/۵ تا ۳ متر است. سطح آب از یال شمالی با تراز حدود ۱۶۲۵ به سمت چشمه‌ها در یال جنوبی با تراز حدود ۱۵۹۵ و با گرادیان حدود ۷ در هزار کاهش می‌یابد. تخلیه از چشمه‌ها در یال جنوبی نیز با نوسانات مشابه دارای سه ضریب فرود است. ضریب فرود α_1 در مرتبه‌ی 10^{-2} نشان‌دهنده‌ی جریان حدواسط (افشان- مجرای) با سهم ۱۵ درصد از جریان و ضرایب α_2 و α_3 در مرتبه‌ی 10^{-3} نمایانگر جریان افشان با سهم حدود ۸۵ درصد جریان آبخوان هستند. پارامترهای هیدروشیمی و ایزوتوپی چشمه‌ها و گمانه‌ها نیز دارای نوسانات کم است. این تغییرات برای آنیون‌ها و کاتیون‌ها کمتر از ۲۰ درصد و برای هدایت الکتریکی و اسیدیته کمتر از ۵ درصد است. میزان ایزوتوپ‌های محیطی در چشمه‌ها و گمانه‌ها نیز تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد؛ به‌طوری که انحراف معیار کمتر از ۱/۲ پرمیل برای δD و کمتر از ۰/۲ پرمیل برای $\delta^{18}O$ از اطلاعات برداشت ماهانه حاصل شد. همچنین، میزان ایزوتوپ‌های محیطی، ارتفاع تغذیه‌ی چشمه‌ها در یال جنوبی در پایین دست محور را حدود ۲۳۰۰ متر و از بارش‌های پر حجم و برف دو یال نشان می‌دهد. در نهایت، تلفیق بررسی‌های انجام شده، بیانگر وجود کارست با نوع جریان حدواسط (افشان- مجرای) تا افشان است که با این نوع جریان در زمان آبیگری نشت از مخزن به یال شمالی و از آنجا به یال جنوبی انتقال و از چشمه‌های پایین دست محور در یال جنوبی تاقدیس تخلیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ایزوتوپ‌های محیطی، جریان افشان، جریان مجرای، سد، کارست، نشت.

ارجاع: عابدیان ح. کرمی غ. و کریمی ح. ۱۳۹۹. ارزیابی پتانسیل نشت از جناح راست سد بهشت‌آباد با استفاده از مطالعات هیدروژئولوژی. مجله پژوهش آب ایران. ۳۶: ۲۹-۴۰.

۱- دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۲- دانشیار دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ایلام.

* نویسنده مسئول: hoseinkhf@gmail.com

تاریخ پذیرش: 1397/10/23

تاریخ دریافت: 1397/05/02

مقدمه

ایجاد سد در سازندهای کارستی دارای خطر میزان نشت آب بیش از اندازه از مخزن است که وجود پیچیدگی‌های کارست باعث پیچیده‌شدن بیشتر این موضوع می‌شود. به همین دلیل، نیاز است روش‌های مختلف بررسی هیدروژئولوژی برای مشخص‌شدن وضعیت کارستی‌شدن محدوده‌ی مخزن و محور سدها در مناطق کارستی به‌کار گرفته شود.

کارست، از جمله آسیب‌پذیرترین پدیده‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی در جهان برای طراحی و توسعه‌ی پروژه‌های مهندسی از جمله سدها است (گویترز، ۲۰۱۴). نشت از مخازن و تکیه‌گاه‌های سدها در تعداد زیادی از سدها در مناطق کارستی سرتاسر جهان گزارش شده است (میلانویچ، ۲۰۰۴). نقشه‌های هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی دقیق با به‌کاربردن روش‌های سنجش از دور، ترکیب روش‌های ژئوفیزیک و ژئوتکنیک، آزمایش‌های ردیابی و کنترل‌کردن طولانی مدت سطح آب زیرزمینی نیازهای اساسی در مطالعات نشت از سدهاست (میلانویچ، ۲۰۰۴).

به‌طور کلی، برای شناسایی منشأ و مسیرهای نشت از سدها از تکنیک‌های مختلفی استفاده شده است. برای مثال، استفاده از پاسخ سطح آب زیرزمینی و تخلیه‌ی چشمه نسبت به تغییرات تراز آب در مخزن در زمان بهره‌برداری از سدها (ساهوگولیو، ۱۹۸۵؛ تارکمن، ۲۰۰۳؛ بوناچی و بوناچی، ۲۰۱۳) استفاده از انواع آزمایش‌های ردیابی رنگی برای تعیین جهت جریان، سرعت جریان، نوع جریان قبل از احداث و تعیین میزان نشت از مخزن و تکیه‌گاه‌ها بعد از احداث سد (گوینلن، ۱۹۸۵؛ تارکمن و همکاران، ۲۰۰۲؛ مظفری و رئیسی، ۲۰۱۵)، استفاده از مطالعات هیدروشیمیایی چشمه‌ها، گمانه‌ها و رودخانه برای تعیین نوع جریان، منشأ جریان‌های زیرزمینی و انجام تحلیل‌های هیدروژئوشیمیایی (کریمی، ۲۰۰۳؛ توراک و همکاران، ۲۰۰۶؛ الوموش و همکاران، ۲۰۰۸)، استفاده از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی برای تعیین تکتونیک و مدل زمین‌شناسی محدوده که زیربنای تفاسیر هیدروژئولوژی و کارست محدوده است (گوینتر و چارلتون، ۲۰۰۹؛ بدروسین و همکاران، ۲۰۱۲؛ نسیمی و محمودیان، ۲۰۱۶)، استفاده از ردیاب‌های ایزوتوپی پایدار و ناپایدار برای تبیین شرایط هیدروژئولوژی و تعیین مکانیسم نشت

از مخزن به سمت پایین‌دست (گونی و همکاران، ۱۹۹۵؛ کریلی و توراک، ۲۰۰۲؛ لاکسیری، ۲۰۰۷)، استفاده از حفاری‌های اکتشافی و انجام آزمایش‌های نفوذپذیری برای روشن‌شدن شرایط هیدروژئولوژیک و خطر احداث سد بر روی سازندهای کارستی (زوکویچ، ۱۹۹۳؛ جارویس و همکاران، ۲۰۰۳؛ میلانویچ و همکاران، ۲۰۱۰).

محمدی و رئیسی (۲۰۰۷) سه مرحله را برای بررسی میزان نشت از سدها در مناطق کارستی پیشنهاد می‌کنند که شامل: الف) شناخت هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی محدوده ب) تعریف عملکرد و سیستم کارست بعد از ایجاد مخزن و ج) ارزیابی پتانسیل نشت است.

کریمی و همکاران (۱۳۹۲) کاربرد ردیاب‌ها را در بررسی فرار و نشت آب از مخازن و تکیه‌گاه‌های سدها، مطالعات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی کارست و بررسی‌های اکتشافی را برای تعیین مدل مفهومی کارست، پیش‌نیاز مطالعات ردیابی ذکر کرده‌اند.

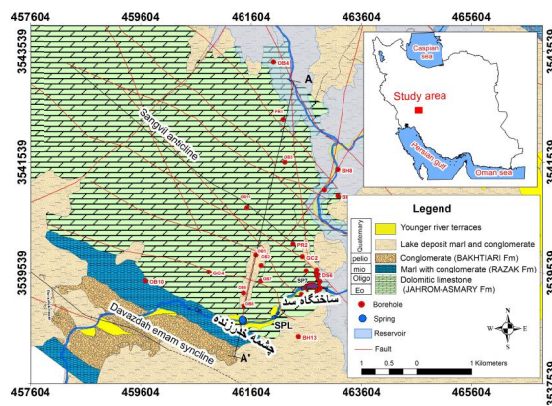
سد بتنی دو قوسی بهشت‌آباد به ارتفاع ۱۸۰ متر و حجم مخزن ۱۰۵۰ میلیون مترمکعب در مرحله‌ی مطالعات برای ساخت است. هدف از احداث سد تأمین آب شرب برای استان‌های فلات مرکزی در ایران است. موقعیت سد بر روی رودخانه بهشت‌آباد با میانگین آبدهی ۳۳ مترمکعب بر ثانیه قرار دارد. تراز نرمال پیش‌بینی شده ۱۷۸۰ متر بالاتر از سطح آب آزاد دریا است؛ این تراز حدود ۱۶۰ متر بالاتر از بستر رودخانه در محل ساختگاه است. مخزن در جناح چپ به‌طور عمده در تماس با تناوب کنگلومرا و مارن‌های دریاچه‌ای قرار دارد. همچنین، در جناح راست با دولومیت‌های آهکی تاقدیس سنگویل با نام سازندی جهرم-آسماری و ضخامت حدود ۷۰۰ متر در تماس است (شکل ۱).

در مقاله‌ی حاضر، روش‌های مختلف هیدروژئولوژی مانند اندازه‌گیری سطح آب گمانه‌ها، دبی چشمه‌ها، هیدروشیمی گمانه‌ها و چشمه‌ها و مطالعات ایزوتوپی انجام شد. با استفاده از روش‌های مختلف، نوع جریان کارستی در جناح راست مخزن سد بهشت‌آباد تعیین و پتانسیل و چگونگی نشت از جناح راست مخزن سد مشخص شد.

نمونه برداری هیدروشیمی از چشمه‌ها، گمانه‌ها و رودخانه به صورت ماهانه در طول یک سال آبی انجام و به آزمایشگاه هیدروشیمی آب برای تحلیل ارسال شد. با استفاده از میزان تغییرات هر پارامتر، نوع سیستم جریان کارستی با این روش نیز مشخص شد.

برای تعیین حوضه، منشأ چشمه‌های پایین دست سد و ارتباط هیدرولیکی یال شمالی و جنوبی تاقدیس از ایزوتوپ‌های محیطی منابع آب محدوده استفاده شد. تغییرات ترکیب ایزوتوپی به تاریخچه‌ی آب از زمان تبخیر از اقیانوس‌ها و تشکیل ابر و زمان بارش و چگونگی نفوذ آب به داخل زمین بستگی دارد. این تغییرات می‌تواند برای تعیین زمان تغذیه، سرعت جریان و مشخص کردن اثر جریان‌های سریع استفاده شود (مازور، ۲۰۰۴). در همین راستا، از چشمه خدرزنده و یک گمانه (OB₈) به صورت ماهانه نمونه برداری شد. نمونه برداری بارش به صورت تجمعی در ارتفاعات مختلف در فصل تر به صورت ماهانه برداشت شد. همچنین، از رودخانه و سایر گمانه‌ها و چشمه‌ها در دو نوبت (فصل خشک و تر) نمونه برداری انجام و به آزمایشگاه انرژی اتمی ایران ارسال شد. برای تحلیل ایزوتوپی آب از دستگاه طیفسنجی لیزری ساخت شرکت (Los Gatos Research) است که بر پایه‌ی تکنولوژی (Off-Axis Integrated Cavity) OA- ICOS (Output Spectroscopy) عمل می‌کند. اساس کار این دستگاه بر جداسازی طیف‌های منعکس شده از آینه‌هایی با قدرت انعکاس بالاست که درون حفراتی تعبیه شده است. استفاده از آینه‌هایی با چنین قابلیت، به طور مؤثری طول خط سیر پرتو نور را تا حدود ۳۰۰۰ متر گسترش می‌دهد که از ملزومات کار برای طیف‌نمایی لیزری است. همچنین، این خط سیر نوری طولانی ایجاد شده، سبب افزایش قدرت جذب می‌شود (لیس و همکاران، ۲۰۰۸). طبق مدل اتمی بور، اتم‌ها وقتی فوتون‌ها را جذب می‌کنند که انرژی فوتون درست برابر با اختلاف انرژی دو تراز انرژی اتم باشد. بنابراین، طول موج دستگاه باید نسبت به جذب طیفی نمونه مورد نظر و ایزوتوپ‌های آن که در اینجا H₂O است، تنظیم شود. در نتیجه، این دستگاه به طور اختصاصی تنها برای بررسی نسبت‌های ایزوتوپی مولکول‌های آب عمل می‌کند (ابوکاظمی، ۱۳۸۱).

با تحلیل ایزوتوپی نمونه‌های آب شرایط هیدروژئولوژیک



شکل ۱- زمین‌شناسی محدوده ساختگاه و مخزن سد بهشت‌آباد (زاینده‌آب، ۱۳۸۶)

مواد و روش‌ها

برای تعیین نوع جریان و پتانسیل نشت از سد بهشت‌آباد، تکنیک‌های مختلف هیدروژئولوژی به طور هم‌زمان در آهک‌های جهرم آسماری جناح راست مخزن به کار گرفته شد. در این مطالعات، سطح آب ۲۷ گمانه اکتشافی بر روی تاقدیس جناح راست مخزن به صورت ماهانه برداشت شد. کمترین عمق حفاری این گمانه‌ها، ۷۵ متر در گمانه DT₂ با تراز سطح گمانه ۱۶۵۸ متر از سطح دریا و بیشترین آن ۵۰۰ متر در گمانه OB₁₁ با تراز سطح گمانه ۱۹۴۰ متر از سطح دریاست. موقعیت و پراکندگی این گمانه‌ها در تاقدیس سنگویل در شکل ۱ ارائه شده است. با تحلیل نوسانات و عمق برخورد به آب زیرزمینی در آهک‌های جهرم - آسماری سیستم جریان و جهت جریان آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. هم‌زمان مظهر چشمه‌ها بسترسازی و دبی مهم‌ترین چشمه در جناح راست (چشمه خدرزنده) و جناح چپ (SP₁) به صورت هفتگی با استفاده از میکرومولینه برداشت شد. با تجزیه و تحلیل بخش نزولی هیدروگراف چشمه‌ها (منحنی فرود) نوع جریان سیستم کارستی و سهم هر سیستم جریان مشخص شد.

یکی دیگر از راهکارهای تعیین نوع جریان و تمایز جریان افشان و مجرای تفسیر تغییرات زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی است؛ به طوری که تغییرات آبدی چشمه‌ها پس از بارندگی در جریان مجرای نسبت به افشان سریع‌تر به آبدی حداکثر می‌رسد و بعد از اوج به سرعت کاهش می‌یابد؛ در حالی که در جریان افشان این کاهش تدریجی است (جاکوبسون و لانگمویر، ۱۹۷۴).

الیگوسن و سازند مارنی رازک به سن میوسن و سازند کنگلومرای بختیاری به سن پلیوسن است. مخزن سد در جناح راست با آبخوان کارستی جهرم-آسماری (Jahrom - Asmari Karst Aquifer) در تماس است که به وسیله‌ی سازند رازک، که یک سازند نفوذناپذیر است، در یک ساختار تاقدیس-ناودیس احاطه می‌شود (زاینده‌آب، ۱۳۸۶). در آبخوان JAAK، سیمای کارست پیشرفته از قبیل آب فروچاله (Sinkhole)، چاه قائم (Shaft) و پلیه (Polje) مشاهده نشده است و آثار سطحی کارست غالباً به صورت کارن‌های شکافی است. چشمه‌های موجود در JAAK در یال جنوبی و بلافاصله بعد از محور ساختگاه سد قرار دارد. مجموع آبدهی میانگین چشمه‌ها در یال جنوبی حدود ۸۵۰ لیتر بر ثانیه است. بزرگ‌ترین چشمه تاقدیس به نام خدرزنده با متوسط آبدهی ۴۴۰ لیتر بر ثانیه، پایین‌دست محور و در جناح راست رودخانه قرار دارد (شکل ۲).

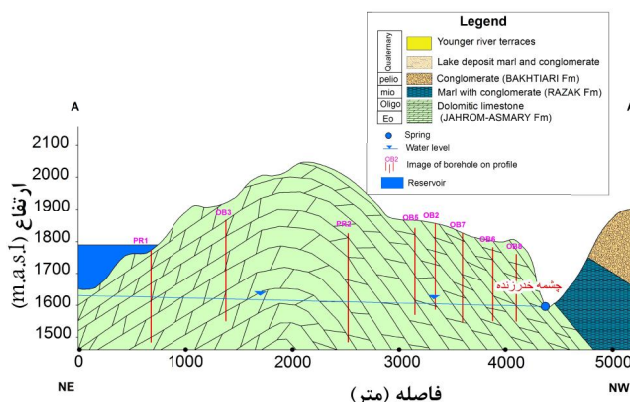
چشمه‌های پایین‌دست شامل منشأ، حوضه و ارتباط هیدرولیکی یال شمالی و جنوبی تاقدیس برای انتقال آب مخزن مشخص شد.

در نهایت، با ارزیابی روش‌های مختلف هیدروژئولوژی نوع جریان کارستی تاقدیس مشخص و مسیرهای اصلی جریان در حال حاضر و مسیرهای نشت بعد از احداث مخزن به سمت پایین‌دست تعیین شد.

نتایج و بحث

هیدروژئولوژی

محدوده‌ی مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در زون زاگرس قرار گرفته است. زون زاگرس، یکی از پنج زون ساختاری اصلی در ایران است (استوکلین، ۱۹۶۸). در این زون، بیشتر سازندهای کارستی بین سازندهای نفوذناپذیر محصور شده و آبخوان‌های کارستی جداگانه را تشکیل داده است (رئیس، ۲۰۰۸). سازندهای موجود در محدوده، شامل سازند آهکی جهرم-آسماری به سن ائوسن و

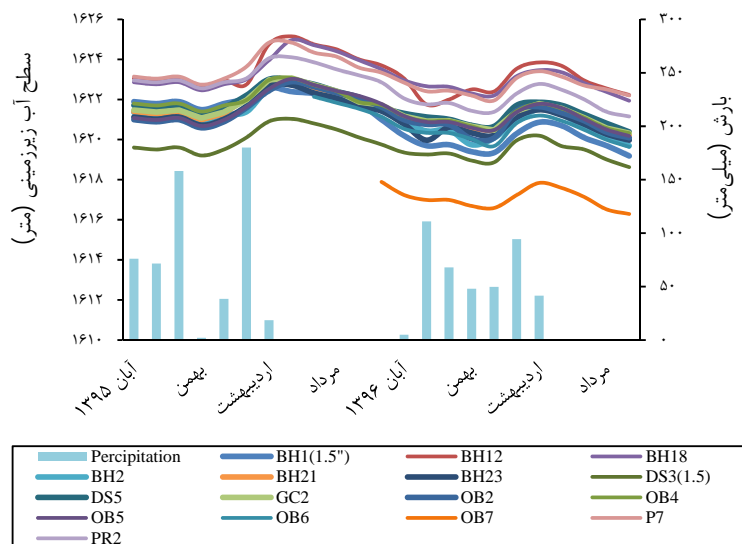


شکل ۲- پروفیل زمین‌شناسی محدوده‌ی مخزن به سمت پایین‌دست در جناح راست

اضافه خواهد شد. در حال حاضر، سطح آب از سمت گمانه‌ها در یال شمالی و یال جنوبی با تراز حدود ۱۶۲۵ متر به سمت چشمه‌ها در یال جنوبی با تراز حدود ۱۵۹۵ با گرادیان حدود ۷ در هزار کاهش پیدا می‌کند. همچنین، سطح آب زیرزمینی در یال شمالی تا حدود محور تاقدیس زیر تراز رودخانه و از محور تاقدیس تا کنتاکت سازند مارنی رازک، بالای تراز رودخانه قرار دارد.

ارزیابی تغییرات سطح آب زیرزمینی

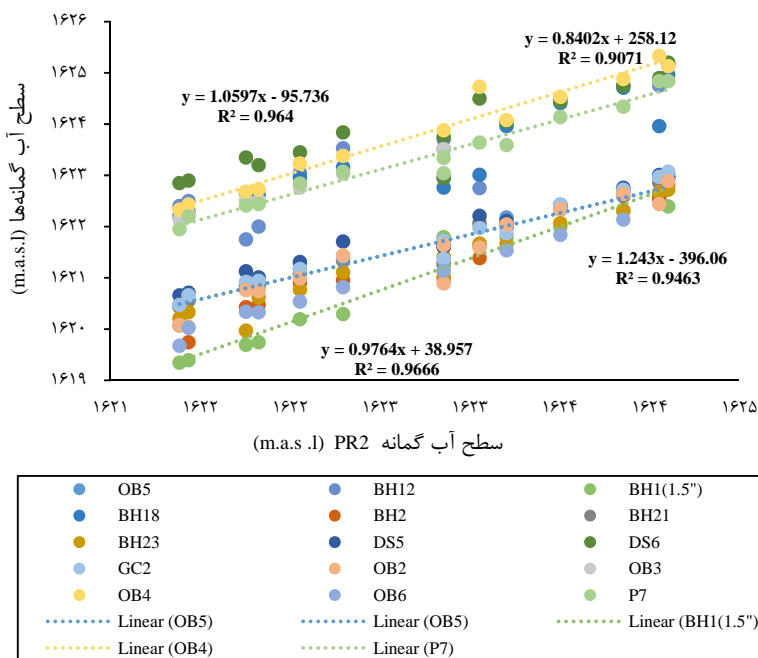
سطح آب ۲۷ گمانه در یال شمالی و جنوبی از زمان اتمام گمانه‌ها و پیزومتر شدن آنها به صورت ماهانه اندازه‌گیری شد (شکل ۳). سطح آب در JAAK بین تراز ۱۶۰۰ تا ۱۶۲۵ متر از سطح دریا (m.a.s.l) متغیر است که با توجه به تراز نرمال مخزن ۱۷۸۰ متر (m.a.s.l) و متوسط تراز آب زیرزمینی در یال شمالی (حدود ۱۶۲۵)، ۱۵۸ متر ارتفاع آب به تراز آب زیرزمینی JAAK در یال شمالی



شکل ۳- نوسانات سطح آب گمانه‌ها در آهک‌های دولومیتی جناح راست نسبت به بارندگی

و حداکثر ارتفاع در همه‌ی گمانه‌ها تقریباً با هم برابر و ۲/۵ تا ۳ متر است. این همبستگی بالا بین سطح آب گمانه‌ها و فاصله کم نوسان حداقل و حداکثر می‌تواند نشان‌دهنده‌ی یک سیستم همگن و افشان با ضریب ذخیره نسبتاً بالا باشد.

همبستگی بین گمانه‌ها نسبت به یک گمانه در محور تاقدیس (PR₂) مورد بررسی قرار گرفت که غالباً دارای همبستگی بالای ۹۰ درصد است (شکل ۴). همچنین، مقایسه‌ی تراز آب زیرزمینی با بارندگی روزانه نشان می‌دهد که حدود یک ماه طول می‌کشد تا بارندگی‌ها بر سطح آب زیرزمینی تأثیرگذار باشد. فاصله‌ی بین حداقل



شکل ۴- همبستگی سطح آب گمانه‌ها در جناح راست مخزن نسبت به سطح آب گمانه (PR₂)

بررسی تغییرات دبی چشمه‌های یال جنوبی

تجزیه و تحلیل بخش نزولی هیدروگراف، کمک شایانی در مورد شناخت سیستم درونی آبخوان می‌کند. متداول‌ترین فرمول برای توصیف یال نزولی هیدروگراف مطابق با معادله‌ی (۱) است که توسط مایلت ارائه شده است (مایلت، ۱۹۰۵).

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

که در آن Q_0 ، آبدی چشمه در زمان t_0 ، Q_t ، آبدی بعد از مدت زمان t ؛ و α ، ضریب فرود چشمه است. بر اساس این معادله، پارامتر بدون بعد α از معادله‌ی (۲) محاسبه می‌گردد.

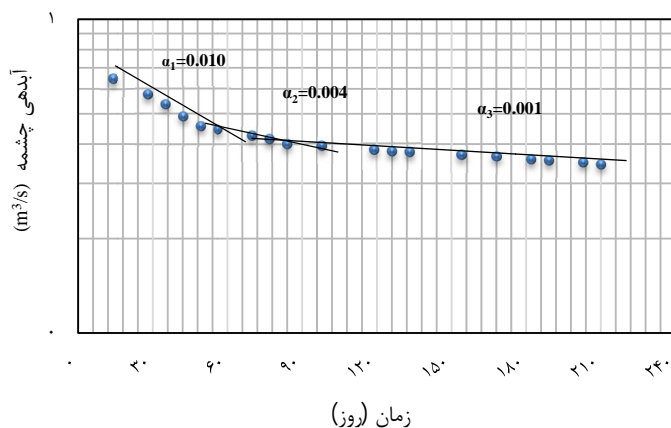
$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343t} \quad (2)$$

معمولاً در منحنی فرود چشمه‌های کارستی بیش از یک ضریب فرود وجود دارد. در ابتدای دوره‌ی فروکش شیب منحنی بیشتر بوده و مقدار ضریب فرود α_1 بزرگ‌تر است؛ با گذشت زمان شیب منحنی کمتر شده و ضریب فرود کمتر می‌شود. ضرایب فرود بزرگ‌تر، نماینده‌ی تخلیه‌ی سریع‌تر آب از مجاری بزرگ و ضرایب فرود کوچک‌تر، نماینده‌ی تخلیه‌ی کندتر آب از درز و شکاف و منافذ ماتریکس آبخوان در نظر گرفته می‌شوند (میلانویچ، ۱۹۸۱؛ وایت، ۱۹۸۸؛ سوتر، ۱۹۹۲). با توجه به بررسی‌هایی که تاکنون روی منحنی فرود چشمه‌های

کارستی انجام شده است، مقدار ضریب فرود بیش از ۰/۱، بیانگر وجود سیستم جریان مجرای؛ بین ۰/۱ تا ۰/۰۱، بیانگر وجود جریان حدواسط (افشان - مجرای)؛ و کمتر از ۰/۰۱، بیانگر وجود جریان افشان است (وینی، ۱۹۹۷؛ کارانجاک و آلتاگ، ۱۹۸۰).

برای تحلیل منحنی فرود چشمه‌های پایین‌دست محور، تغییرات دبی به صورت هفتگی و ماهانه و در طول دو سال برداشت شد. چشمه‌ی خدرزنده دارای حداکثر آبدی ۶۳۰ لیتر بر ثانیه و حداقل ۳۴۰ لیتر بر ثانیه و چشمه جناح چپ (SP_L) با حداکثر آبدی ۸۰ لیتر بر ثانیه و حداقل ۲۰ لیتر بر ثانیه مهم‌ترین چشمه‌ها در یال جنوبی تاقدیس هستند.

منحنی فرود چشمه خدرزنده (SP_S) از اواخر اردیبهشت‌ماه شروع شده و دارای سه شیب است. α_1 با شیب ۰/۰۱، نشان‌دهنده‌ی جریان حدواسط و α_2 ، α_3 با ضرایب ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۱، نمایانگر جریان افشان و چشمه SP_L نیز دارای سه شیب α_1 با شیب ۰/۰۱ و نشان‌دهنده‌ی جریان حد واسط و α_2 ، α_3 با ضرایب ۰/۰۰۹ و ۰/۰۰۰۴، نمایانگر جریان افشان در این تاقدیس هستند (شکل ۵). سهم جریان حدواسط (افشان - مجرای) حدود ۱۵ درصد و سهم جریان افشان حدود ۸۵ درصد محاسبه شد.



شکل ۵- ضرایب فرود چشمه خدرزنده در سال آبی (۹۶-۱۳۹۵)

چشمه‌های افشان و مجرای افزایش پیدا می‌کند و هم‌زمان با این افزایش، پارامترهای هیدروشیمیایی نیز بسته به نوع جریان دستخوش تغییر می‌شوند. به‌طور کلی، در سیستم‌های مجرای تغییرات سریع‌تر و ضریب تغییرات

تحلیل پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌ها و گمانه‌ها

بر اساس نوع جریان، پاسخ هیدروشیمیایی چشمه نسبت به بارندگی متفاوت است. پس از بارندگی، آبدی

نشان‌دهنده‌ی وجود سیستم کارستی حدواسط (افشان-مجریایی) و افشان در این آبخوان است. همچنین، تغییرات فیزیکوشیمیایی رودخانه در بالادست و پایین‌دست چشمه‌ها عمدتاً دارای ضریب تغییرات بین ۲۰ تا ۵۰ درصد است که نسبت به تغییرات چشمه‌ها و گمانه‌ها دارای تغییرات به مراتب بیشتری است؛ به‌طور مثال، میزان Ec رودخانه در فصل‌تر و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به حدود ۳۷۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و در ماه‌های مهر و آبان به حدود ۸۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌رسد؛ ولی میزان هدایت هیدرولیکی چشمه‌ها بین ۷۵۰ تا ۸۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. همچنین، تغییرات دمایی در هر دو مقطع رودخانه بین ۶ درجه در بهمن‌ماه تا ۲۱ درجه در تیرماه متغیر است؛ در حالی‌که تغییرات دمای چشمه‌ها بین ۱۲/۵ تا ۱۳/۵ درجه سلسیوس تغییر می‌کند. تغییرات کم هیدروشیمی چشمه‌ها، گمانه‌های یال شمالی و گمانه‌های یال جنوبی نسبت به هیدروشیمی رودخانه می‌تواند به دلیل تأثیرگذاری کم رودخانه بر روی آبخوان تأقدیس باشد.

نیز بیشتر است؛ ولی در سیستم‌های افشان این تغییرات کندتر و ضریب تغییرات آن نیز کمتر است (سوتر و وایت، ۱۹۷۱).

برای تعیین نوع جریان با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی از چشمه خدرزنده و چشمه SP_L، گمانه‌های PR₁ و PR₂ در یال شمالی، گمانه‌های OB₅ و OB₇ در یال جنوبی، رودخانه در بالادست چشمه‌ها (R₁) و رودخانه در پایین‌دست چشمه‌ها (R₂) به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری صورت گرفت. موقعیت این نقاط، مطابق با شکل ۱ و میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات ۱۲ ماه برداشت از این منابع مطابق با جدول ۱ و ۲ است. ضرایب تغییرات پارامترها مختلف در چشمه‌ها و گمانه‌ها نشان می‌دهد که آنیون و کاتیون این منابع عمدتاً دارای ضریب تغییرات ۱۰ تا ۲۰ درصد است. دبی چشمه خدرزنده به عنوان بزرگ‌ترین خروجی آبخوان حدود ۱۵ درصد تغییرات دارد. هدایت الکتریکی چشمه‌ها و گمانه‌ها به عنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفی دارای ضریب تغییرات حدود ۵ درصد است. این نتایج، همانند نتایج منحنی فرود

جدول ۱- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی چشمه‌ها و رودخانه

SP ₅			SP _L			R ₁			R ₂			نام گمانه
N=12			N=12			N=12			N=12			تعداد برداشت
Ave	SD	CV	Ave	SD	CV	Ave	SD	CV	Ave	SD	CV	پارامتر
۲/۵۳	۰/۳۴	۱۳/۶۳	۲/۵۶	۰/۳۳	۱۲/۸۸	۲/۳۰	۰/۳۸	۱۶/۷۳	۲/۳۹	۰/۳۵	۱۴/۴۷	کلسیم (me/l)
۱/۲۱	۰/۱۸	۱۵/۰۳	۱/۵۱	۰/۲۳	۱۵/۲۲	۰/۷۶	۰/۳۷	۴۸/۱۷	۰/۹۳	۰/۳۵	۳۷/۲۴	منیزیم (me/l)
۴/۲۲	۰/۶۲	۱۴/۷۶	۴/۳۵	۰/۶۴	۱۴/۶۶	۲/۲۱	۰/۹۷	۴۳/۶۶	۲/۵۸	۱/۰۴	۴۰/۱۹	سدیم (me/l)
۰/۰۶	۰/۰۱	۱۷/۷۴	۰/۰۸	۰/۰۱	۱۴/۴۴	۰/۰۹	۰/۰۳	۳۱/۹۶	۰/۰۸	۰/۰۳	۳۶/۵۹	پتاسیم (me/l)
۳/۱۵	۰/۳۹	۱۲/۳۳	۳/۴۰	۰/۲۷	۷/۹۹	۲/۶۱	۰/۳۷	۱۴/۲۳	۲/۷۰	۰/۴۰	۱۴/۷۶	بی‌کربنات (me/l)
۱/۳۴	۰/۰۸	۵/۸۳	۱/۳۶	۰/۰۷	۵/۴۵	۰/۸۰	۰/۲۱	۲۶/۵۵	۰/۹۰	۰/۳۱	۳۴/۲۳	سولفات (me/l)
۳/۹۲	۰/۲۱	۵/۴۰	۴/۱۴	۰/۲۶	۶/۲۲	۲/۰۵	۱/۰۶	۵۲/۰۵	۲/۴۹	۱/۱۵	۴۶/۱۸	کلراید (me/l)
۵۷۴/۵۰	۳۶/۳۰	۶/۳۰	۶۰۳/۶۰	۳۹/۹۰	۶/۶۲	۴۰۰/۹۴	۸۶/۰۴	۲۱/۴۶	۴۱۱/۴۵	۱۳۰/۷۹	۳۱/۷۹	کل مواد جامد محلول در آب (mg/l)
۷۹۴/۱۰	۲۱/۷۰	۲/۷۰	۸۲۴/۰۰	۱۱/۴۱	۱/۳۹	۵۴۳/۲۷	۱۲۱/۰۷	۲۲/۲۸	۶۰۶/۲۷	۱۳۰/۸۳	۲۱/۵۸	هدایت الکتریکی (μS/cm)
۸/۱۰	۰/۳۰	۴/۰۳	۸/۱۰	۰/۳۰	۴/۳۰	۸/۲۴	۰/۳۲	۳/۸۳	۸/۱۱	۰/۳۰	۳/۶۸	اسیدیته
۱۳/۱۰	۰/۲۰	۱/۸۰	۱۳/۰۲	۰/۲۰	۱/۲۰	۱۳/۱۳	۵/۰۴	۳۸/۳۸	۱۲/۸۴	۴/۰۹	۳۱/۸۳	دما (°C)
۴۳۸/۷۰	۶۹/۴۰	۱۵/۸۰	۳۵/۳۰	۱۶/۹۰	۴۷/۹۰	۲۹/۱۸	۲۲/۴۶	۷۶/۹۹	۲۹/۹۹	۲۲/۴۸	۷۴/۹۴	دبی (lit/s)

جدول ۲- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی گمانه‌ها

PR ₁			PR ₂			OB ₅			OB ₈			نام گمانه
N=12			N=12			N=12			N=12			تعداد برداشت
Ave	SD	CV	Ave	SD	CV	Ave	SD	CV	Ave	SD	CV	پارامتر
۱/۸۳	۰/۲۷	۱۴/۷۴	۲/۳۱	۰/۳۸	۱۶/۴۵	۱/۹۶	۰/۲۶	۱۳/۱۶	۱/۵۵	۰/۲۰	۱۲/۸۷	کلسیم (me/l)
۱/۵۰	۰/۲۴	۱۶/۱۳	۱/۶۰	۰/۲۹	۱۸/۰۶	۱/۵۷	۰/۲۶	۱۶/۸۵	۱/۳۳	۰/۲۱	۱۵/۵۴	منیزیم (me/l)
۰/۱۵	۰/۰۲	۵۱/۴۱	۲/۸۳	۰/۵۳	۱۸/۸۴	۲/۳۶	۰/۳۷	۱۵/۸۲	۰/۱۶	۰/۰۳	۱۷/۷۴	سدیم (me/l)
۰/۱۹	۰/۰۴	۱۹/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۱	۱۵/۵۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۱۹/۲۵	۰/۱۳	۰/۰۳	۲۱/۶۵	پتاسیم (me/l)
۲/۴۱	۰/۱۶	۶/۷۲	۲/۸۹	۰/۲۰	۶/۷۸	۲/۸۵	۰/۳۴	۱۲/۰۰	۲/۲۸	۰/۱۹	۸/۴۲	بی‌کربنات (me/l)
۰/۹۷	۰/۰۸	۷/۹۴	۱/۳۱	۰/۲۳	۱۷/۲۸	۱/۱۹	۰/۱۳	۱۱/۳۸	۰/۵۶	۰/۱۲	۲۰/۸۸	سولفات (me/l)
۰/۴۴	۰/۰۸	۱۸/۳۷	۳/۱۵	۰/۲۱	۶/۵۵	۱/۸۲	۰/۲۲	۱۲/۲۱	۰/۴۲	۰/۰۶	۱۵/۶۰	کلراید (me/l)
۲۸۴/۸۰	۱۴/۰۷	۴/۹۴	۵۰۳/۴۰	۲۸/۲۰	۵/۶۰	۴۰۴/۶۰	۲۸/۰۲	۶/۹۳	۲۵۲/۲۰	۱۹/۵۳	۷/۷۴	کل مواد جامد محلول در آب (mg/l)
۳۹۷/۴۰	۴۸/۳۴	۱۲/۱۶	۵۲۹/۰۰	۲۶/۷۵	۵/۰۶	۵۲۳/۸۰	۲۶/۴۱	۵/۰۴	۳۳۰	۰/۰۲	۶/۸۸	هدایت الکتریکی (μS./cm)
۸/۱۰	۰/۳۷	۴/۶۳	۸/۰۰	۰/۴۱	۵/۰۶	۸/۱۰	۰/۴۱	۵/۱۲	۸/۱۰	۰/۳۶	۴/۴۵	اسیدیته
۱۵/۱۰	۱/۱۳	۷/۴۸	۱۵/۰۰	۱/۵۱	۱۰/۰۲	۱۵/۵۰	۰/۸۴	۵/۳۸	۱۵/۵۰	۰/۸۴	۵/۳۸	دما (°C)

ردیابی ایزوتوپی

میلی‌متر با همبستگی حدود ۷۰ درصد حاصل شد. همچنین، تغییرات $\delta^{18}\text{O}$ نمونه‌های بارندگی با همبستگی خیلی کم (حدود ۲۵ درصد) نسبت به دما حدود ۰/۹ پرمیل (per mil) در هر ۵ درجه تغییر دماست.

برای بررسی تغییرات ایزوتوپی آبخوان کارستی محدوده از چشمه خدرزنده (SP_5) و از گمانه (OB_5) در ۵۰۰ متری مشرف به چشمه به صورت ماهانه نمونه‌برداری شد. همچنین، از چشمه‌ها و گمانه‌های محدوده و رودخانه در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۶ نمونه‌برداری به صورت استاندارد در ظروف مناسب انجام و سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال شد و با استفاده از روش (Spectroscopy-Laser LGR) اندازه‌گیری شد. موقعیت ایزوتوپ‌های نمونه‌های آب نسبت به خط آب جوی عمدتاً در محدوده با دوتریم و اکسیژن ۱۸ پایین قرار گرفته است که تغذیه از برف و ارتفاعات بالا را نشان می‌دهد (شکل ۶).

مطابق با تغییرات $\delta^{18}\text{O}$ نمونه‌های بارندگی نسبت به ارتفاع، متوسط ارتفاع تغذیه حوضه‌ی آبرگیر چشمه‌های یال جنوبی حدود ۲۳۰۰ متر است. بر اساس اطلاعات ماهانه‌ی ایزوتوپی ایستگاه‌های باران‌سنجی میزان، انحراف معیار در بارندگی تاقدیس بسیار بالاست؛ این در صورتی است که اطلاعات ماهانه ایزوتوپ چشمه خدرزنده و گمانه دارای انحراف معیار بسیار پایین و حداقل و حداکثر داده‌ها بسیار نزدیک به هم است (جدول ۳).

با توجه به نبود آب فروچاله، تغذیه به صورت نقطه‌ای در

با اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های پایدار $\delta^{18}\text{O}$ و δD در آب زیرزمینی، آب سطحی و بارندگی و تحلیل ساختارهای هیدروژئولوژیک و جریان آب زیرزمینی می‌توان منشأ، شرایط مختلف تغذیه‌ای و منابع مختلف تغذیه‌ای را مشخص کرد (کلرک و فریتز، ۱۹۹۷).

در بررسی‌های ایزوتوپی بارش، نمونه‌گیر باران‌سنج در ۷ محدوده در ارتفاعات مختلف نصب شد و نمونه‌برداری از ۵ ایستگاه به صورت تک بارش و از دو ایستگاه بر روی حوضه چشمه در ارتفاعات ۱۸۰۰ و ۲۳۰۰ متری، نمونه‌برداری ماهانه انجام و به آزمایشگاه انرژی اتمی ایران ارسال و با روش (Spectroscopy-Laser LGR) اندازه‌گیری شد. با استفاده از نمونه‌های بارش خط بارش محلی (local meteoric water line) ترسیم شد و معادله‌ی (۳) با همبستگی ۹۵ درصد حاصل شد.

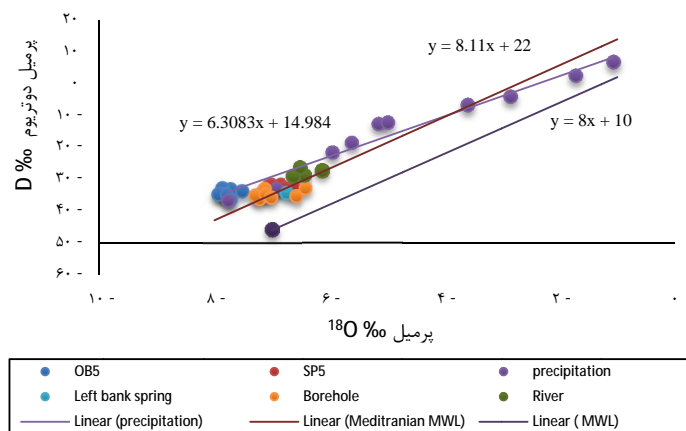
$$\delta\text{D} = 6.3\delta^{18}\text{O} + 14.98 \quad (3)$$

خط آب جوی محلی محاسبه شده، شیب کمتر از آب جهانی و منطقه‌ای دارد. این وضعیت نشان‌دهنده‌ی شرایط محلی در محدوده‌ی مورد مطالعه است (کریمی، ۱۳۹۲).

تغییرات $\delta^{18}\text{O}$ نمونه‌های بارندگی نسبت به ارتفاع حدود ۰/۱۴ پرمیل (per mil) در هر ۱۰۰ متر با همبستگی حدود ۹۰ درصد (با استفاده از نمونه‌های آب ۵ ارتفاع مختلف) است. تغییرات $\delta^{18}\text{O}$ نمونه‌های بارندگی نسبت به حجم بارش حدود ۱/۳ پرمیل (per mil) در هر ۲۰

ترکیب ایزوتوپی نمونه‌های آب گمانه‌ها در ترازهای مختلف نشان می‌دهد که مقدار ایزوتوپ‌ها در گمانه‌های با تراز بالاتر به سمت گمانه‌های با تراز پایین‌تر سنگین‌تر می‌شود. این موضوع به دلیل نفوذ ترکیبات ایزوتوپی سنگین‌تر بارش، در ارتفاعات پایین‌تر حوضه چشمه است؛ به طوری که هرچه به سمت ترازهای پایین و خروجی چشمه‌ها نزدیک می‌شود، ترکیب ایزوتوپی گمانه‌ها به ترکیب ایزوتوپی چشمه نزدیک‌تر می‌شود. همچنین، ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های پایین‌دست محور سد بر روی نمودار $\delta^{18}\text{O}$ نسبت به δD حد فاصل مقادیر ایزوتوپی گمانه‌های یال شمالی و یال جنوبی قرار دارد. این موضوع نشان می‌دهد حوضه‌ی آبرگیر چشمه‌ها در یال جنوبی و پایین‌دست محور سد از دو یال تاقدیس منشأ می‌گیرد.

آبخوان وجود ندارد و تغذیه عمدتاً توسط سیستم درز و شکستگی در آهک‌های جهرم- آسماری انجام می‌شود. به همین خاطر، انتظار می‌رفت تفریق ایزوتوپی بیشتری در ترکیب ایزوتوپ‌های بارش‌های نفوذی صورت پذیرد؛ ولی ایزوتوپ‌های آبخوان کارستی دارای مقادیر کم نسبت به خط آب جوی و انحراف معیار پایین هستند. با توجه به این‌که بارش در محدوده فقط در فصل تر صورت می‌گیرد که رطوبت هوا بیشترین و تبخیر در این ماه‌ها در حد صفر است، به همین دلیل تأثیر دما بر ایزوتوپ‌های بارش محدوده بسیار کم است. از سویی دیگر، حجم و نوع بارش بر ترکیب ایزوتوپی تأثیر زیاد دارد که می‌توان نتیجه گرفت بارش‌های با حجم بالا و تغذیه از برف ترکیب ایزوتوپی آبخوان تاقدیس را تعیین می‌کنند و بارش‌های با حجم کم و ترکیب ایزوتوپ سنگین کمتر در آبخوان نفوذ می‌کنند.



شکل ۶- نمودار تغییرات $\delta^{18}\text{O}$ نسبت به δD منابع آب نسبت به خط آب جوی محلی

جدول ۳- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات بارندگی نسبت به گمانه و چشمه خدرزنده (SP_5)

نام	P_2	P_1	SP_5	OB_5
تعداد نمونه	۵	۵	۱۲	۱۲
ترکیب ایزوتوپی	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{18}\text{O}$
حداقل	-۶/۹۳	-۷/۷۶	-۷/۱۶	-۷/۹۳
حداکثر	-۱/۰۷	-۱/۷۳	-۶/۶۴	-۷/۵۲
میانگین	-۵/۰	-۴/۷	-۶/۹	-۷/۸
انحراف از معیار	۳/۰۸	۲/۴۲	۱۵/۳۴	۰/۱۳
	۱۶/۶۰	۱۴/۳۷	-۳۱/۸۱	-۳۴/۴
	-۳۳/۱۲	-۳۶/۷۹	-۳۴/۰۷	-۳۶/۴۹

گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده همدیگر را تأیید می‌کنند. سطح آب آبخوان سازند جهرم-آسماری در جناح راست مخزن دارای نوسانات بسیار مشابه با اختلاف

نتیجه‌گیری

بررسی‌های مختلف هیدروژئولوژی برای تعیین ارتباط هیدرولیکی یال شمالی و جنوبی تاقدیس سنگویل صورت

محور سد با گرادیان بیشتر (حدود ۳۷ در هزار) برقرار می‌گردد. در این صورت با آگیری سد، عمده‌ی جریان نشتی از جناح راست مخزن در یال شمالی تاقدیس به سمت یال جنوبی حرکت کرده و در نهایت در چشمه‌های یال جنوبی تخلیه می‌شود.

منابع

۱. ابوکاظمی م. ۱۳۸۱. دانشنامه فیزیک (جلد سوم). بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی، چاپ اول. ۶۴۸ ص.
۲. زاین‌آب. ۱۳۸۶. گزارش زمین‌شناسی محدوده مخزن و ساختگاه سد بهشت‌آباد. ۱۲۱ ص.
۳. کرمی غ. کاظمی غ. افتخاری ع. نیستانی م. ک. ۱۳۹۲. راهنمای کاربرد ردیاب‌ها در بررسی نشت و فرار آب از مخزن و تکیه‌گاه‌های سد، وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، نشریه شماره ۵۶۱، ۱۲۶ ص.
۴. کریمی ح. ۱۳۹۲. بررسی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در بارش‌های زاگرس غربی. نخستین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار، اردیبهشت ماه ۱۳۹۲، دانشگاه فردوسی مشهد. ۶ ص.
5. Al-Omosh H. Al-Farajat M. and Zunic F. 2008. Leakage in Bayer Dam in Jordan: Its causes and consequences. *Jordan: Journal of Civil Engineering*. 2(4): 363-375.
6. Bedrosian P. A. Burton B. L. Powers M. H. Minsley B. J. Phillips J. D. and Hunter L. E. 2012. Geophysical investigations of geology and structure at the Martis Creek Dam, Truckee, California. *Journal of Applied Geophysics*. 77: 7-20.
7. Bonacci R. T. and Bonacci O. 2013. The possible negative consequences of underground dam and reservoir construction and operation in coastal karst areas: an example of the hydro-electric power plant (HEPP) Ombla near Dubrovnik (Croatia). *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 13(8): 2041-2052.
8. Clark I. and Fritz P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press. ISBN 1-56670-249-6. 342 p.
9. Crilley D. M. and Torak L. J. 2002. Physical and hydrochemical evidence of lake leakage and assessment of karst features in the vicinity of Lake Seminole, southwestern Georgia and northwestern Florida. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.

حداقل و حداکثر ۲/۵ تا ۳ متر است. جریان از یال شمالی با تراز حدود ۱۶۲۵ به سمت چشمه‌ها در یال جنوبی با تراز حدود ۱۵۹۵ و با گرادیان حدود ۷ در هزار صورت می‌گیرد. تخلیه از چشمه‌ها در یال جنوبی و پایین‌دست محور سد با نوسانات مشابه دارای سه ضریب فرود است. ضریب α_1 در پایه 10^{-2} نشان‌دهنده‌ی جریان افشان-مجریایی و ۱۵ درصد از جریان آبخوان را شامل می‌شود. ضرایب α_2, α_3 در پایه 10^{-3} نمایانگر جریان افشان آبخوان و حدود ۸۵ درصد جریان منحنی فرود چشمه را تشکیل می‌دهد. تغییرات پارامترهای هیدروشیمی آبخوان در جناح راست مخزن در چشمه‌ها و گمانه‌ها نیز دارای نوسانات کم است. این تغییرات برای آنیون‌ها و کاتیون‌ها کمتر از ۲۰ درصد و برای هدایت الکتریکی و pH کمتر از ۵ درصد است. این میزان تغییرات نشان‌دهنده‌ی جریان افشان تا حدواسط (افشان - مجریایی) آبخوان کارستی جهرم-آسماری است. تغییرات ماهانه ایزوتوپ‌های محیطی نیز در چشمه‌ها و گمانه‌های آبخوان جناح راست مخزن کم است؛ به طوری که انحراف معیار نمونه‌های ایزوتوبی چشمه و گمانه معرف برای $\delta^{18}O$ کمتر از ۰/۲ و برای δD حدود ۱/۲ پرمیل است.

ایزوتوپ‌های پایدار ارتفاع تغذیه منابع آب یال جنوبی را حدود ۲۳۰۰ متر (ارتفاع از سطح دریا) و از بارش‌های پر حجم و برف نشان می‌دهد. این موضوع با واقعیت توپوگرافی و نوع و میزان بارش در محدوده‌ی تاقدیس منطبق است. ترکیب ایزوتوبی چشمه‌های یال جنوبی حد فاصل مقادیر ایزوتوبی گمانه‌های یال شمالی و یال جنوبی قرار دارد که نشان می‌دهد حوضه‌ی آگیری چشمه‌ها در یال جنوبی چه در جناح چپ (SP_L) و چه در جناح راست (SP_S) سد از دو یال تاقدیس منشأ می‌گیرد.

به‌طور کلی، بررسی‌های هیدروژئولوژی نشان می‌دهد آبخوان کارستی جهرم-آسماری در جناح راست مخزن سد یک آبخوان با نوع جریان افشان تا افشان-مجریایی است. تغذیه این آبخوان از دو یال تاقدیس و عمدتاً از طریق سیستم درز و شکستگی‌ها صورت می‌گیرد. جهت جریان آب زیرزمینی از یال شمالی به سمت یال جنوبی بوده و در چشمه‌های یال جنوبی تخلیه می‌شود. در چنین شرایطی، ارتباط هیدرولیکی بین یال شمالی تاقدیس با یال جنوبی در شرایط فعلی وجود دارد. این ارتباط در زمان تشکیل مخزن، بین مخزن و چشمه‌های پایین‌دست

20. Maillet E. 1905. *Essais d'Hydraulique souterraine et fluviale*, Hermann, Paris. 218 p.
21. Mazor E. 2004. *Chemical and isotopic groundwater hydrology*, third edition, Marcel Dekker, Inc. 453 p.
22. Milanovic P. 2004. *Water resources engineering in karst*. CRC press.
23. Milanovic P. T. 1981. *Karst hydrogeology*. Littleton, CO: Water Resources Publications. 434 p.
24. Milanovic S. Stevanovic Z. and Jemcov I. 2010. Water losses risk assessment: an example from Carpathian karst. *Environmental Earth Sciences*. 60(4): 817-827.
25. Mohammadi Z. Raeisi E. and Bakalowicz M. 2007. Method of leakage study at the karst dam site. A case study: Khersan 3 Dam, Iran. *Environmental geology*. 52(6):1053-1065.
26. Mozafari M. and Raeisi E. 2015. Understanding karst leakage at the Kowsar dam, Iran, by Hydrogeological Analysis Understanding Karst Leakage, Kowsar Dam, Iran. *Environmental and Engineering Geoscience*. 21(4): 325-339.
27. Nassimi A. and Mohammadi Z. 2016. Estimation of hydraulic conductivity using geoelectrical data for assessing of scale effect in a karst aquifer. *Acta Carsologica*. 45(3): 243-251.
28. Quinlan J. F. 1985. Application of dye-tracing to dam-site evaluation in a Kentucky karst area, USA. In *Proceedings of the International Symposium on Karst Water Resources*. 544 p.
29. Raeisi E. 2008. Ground-water storage calculation in karst aquifers with alluvium or no-flow boundaries. *Journal of cave and Karst studies* 70(1): 62-70.
30. Sahuguillo A. 1985. Spanish experience in karst water resources. In *Proceedings of the International Symposium on Karst Water Resources*, Ankara, Turkey, July 1985: International Association of Hydrological Sciences Publication. 161: 133-147.
31. Sauter M. 1992. Quantification and forecasting of regional groundwater flow and transport in a karst aquifer (Gallusquelle, Malm, SW Germany) PhD Thesis, Tiibingen Geowissenschaftliche Arbeiten, C13.
32. Shuster E. T. and White W. B. 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of lime-stone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers. *Journal of hydrology*. 14(2): 93-128.
10. Crilley, D. M. and Torak L. J. 2002. December. Physical and hydrochemical evidence of lake leakage and assessment of karst features in the vicinity of Lake Seminole, southwestern Georgia and northwestern Florida. In *AGU Fall Meeting Abstracts*.
11. Ginther C. H. and Charlton J. C. 2009. Comprehensive foundation rehabilitation at Bear Creek Dam. In *USSD 29th Annual Conference: United States Society on Dams*, Nashville, TN, 4/20/09.
12. Gunay G. Ekmekci M. and Tezcan L. 1995. Hydrogeochemical and isotopic evaluation of the hydrogeological system at Ceyhan-Berke dam site, Turkey. Application of tracers in arid zone hydrology. In *Proceedings of the Vienna Symposium, August 1994: International Association of Hydrological Sciences Publication*. 232: 395-408.
13. Gutierrez F. Parise M. De Waele J. and Jourde H. 2014. A review on natural and human-induced geo hazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*. 138: 61-88.
14. Jacobson R. L. and Langmuir D. 1974. Controls on the quality variations of some carbonate spring waters. *Journal of Hydrology*. 23(3-4): 247-265.
15. Jarvis T. Johnson K. S. and Neal J. T. 2003. The money pit: karst failure of Anchor Dam, Wyoming. Evaporite karst and engineering/environmental problems in the United States. *Oklahoma Geological Survey Circular*. 109: 271-278.
16. Karanjac J. and Altug A. 1980. Karstic spring recession hydrograph and water temperature analysis: Oymapinar Dam Project, Turkey. *Journal of Hydrology*. 45(3-4): 203-217.
17. Karimi H. 2003. Hydrogeological study of aquifers in Khersan 3 Dam area using time variations of physico-chemical parameters. M.Sc. Thesis, Department of Earth Sciences, Shiraz University, Shiraz karst: *Earth-Science Reviews*. 138: 61-88.
18. Laksiri L. K. 2007. Investigation of Water Leakage Mechanism in the Karstic Dam Site, Samanalawewa, Srilanka: Ph.D. thesis, Department of Engineering Systems and Technology, Graduate School of Science and Engineering, Saga University, Saga, Japan. 136 p.
19. Lis G. Wassenaar L. I. and Hendry M. J. 2008. High-precision laser spectroscopy D/H and ¹⁸O/¹⁶O measurements of microliter natural water samples. *Analytical chemistry*. 80(1): 287-293.

33. Stocklin J. 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG Bulletin. 52(7): 1229-1258.
34. Torak L. J. Crilley D. M. and Painter J. A. 2006. Physical and hydrochemical evidence of lake leakage near Jim Woodruff Lock and Dam and ground-water inflow to Lake Seminole, and an assessment of karst features in and near the lake, southwestern Georgia and northwestern Florida (No. 2005-5084).
35. Turkmen S. 2003. Treatment of the seepage problems at the Kalecik Dam (Turkey). Engineering Geology. 68(3-4): 159-169.
36. Turkmen S. Ozguler E. Taga H. and Karaogullarindan T. 2002. Seepage problems in the karstic limestone foundation of the Kalecik Dam (south Turkey). Engineering Geology. 63(3-4): 247-257.
37. Veini G. 1997. Geomorphology hydrogeology geochemistry and evolution of the karst Lower Glen Rose aquifer, South-central Texas. PhD dissertation, Pennsylvania state University, USA. 721 p.
38. White W. B. 1988. Geomorphology and hydrology of karst terrains. New York: Oxford University Press (vol.464).
39. Zogovic D. 1993. Storage water tightness problems and technical solutions in the highly developed karst area of the Nikić Polje. In Proceedings of the Hydrogeological Processes in Karst Terranes, Antalya Symposium and Field Seminar, October 1990: International Association of Hydrological Sciences Publication. 207: 85-93.