

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

هیدروژئولوژی محدوده سد دامغان

نگارنده: فاطمه میرشکاری

استاد راهنما:

دکتر رحیم باقری

استاد مشاور:

دکتر علی اکبر مؤمنی

بهمن ماه ۱۳۹۵

سپاسگزار کسانی هستم که سر آغاز تولد من هستند. از یکی زاده می شوم و از دیگری جاودانه.

تقدیم به مقدس ترین واژه مادر لغت نامه دلم:

بادرود فراوان به روح پر قوت پدر بزرگوارم

و سپاس میکران بر همدلی و همراهی و یگامی مادر دلسوز و مهربانم که سجده ایشان کل محبت را در وجودم پروراند و دامن

گمبارش بخت های مهربانی را به من آموخت.

و همسر م که سایه مهربانش سایه ساز زندگیم می باشد. او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.

تشکر و قدردانی

نمی دانم کد این جلد را برای توصیف محبت بیتان بنویسم، نمی دانم چگونه شمارا توصیف کنم، معلمی از جنس بلور، آسمانی و مهربان، پتدر زیبا و اژه مارا آسمانی می کنید.

به مصداق "من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق" بسی شایسته است از:

استاد فرهیخته و شایسته جناب آقای دکتر رحیم باقری که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را بار اهنایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند، تشکر و قدردانی نمایم.

از استید دلوز و فرزانه جناب آقای دکتر کرمی و جناب آقای دکتر جعفری که علاوه بر زحمت بی دریشتان در طول دوره کارشناسی ارشد، زحمت داور ی این رساله را منتقل شدن کمال قدردانی و تشکر را داشته باشم.

از استاد صبور و باتقوا جناب آقای دکتر مؤمنی که زحمت مشاوره این رساله را در حالی منتقل شدن که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید. سپاسگزارم.

با اتنان سکران از مساعدت های بی شائبه خانم باقری و بوسلیک در آزمایشگاه آب و زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود، از دوستان خوبم خانم با بهاره یزدی زاده، فرخنده طاهری و آقای سلیمانی به واسطه تمامی زحماتشان در بازدید های صحرایی و در نهایت از تمامی دوستان و بهکلاسی های عزیزم صمیمانه تشکر می کنم.

تعهدنامه

اینجانب **فاطمه میرشکاری** دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین‌شناسی – آبشناسی دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان **هیدروژئولوژی محدوده سد دامغان** تحت راهنمایی دکتر رحیم باقری متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایان-های، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

سد دامغان یک سد خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد که با حجم مخزن ۲۱ میلیون متر مکعب بر روی رودخانه چشمه علی احداث شده است. محل ساختگاه سد در تکیه‌گاه راست بر روی آهک‌های سازند الیکا با سن تریاس و تکیه‌گاه چپ بر روی گنگلومرای دوره پلیستوسن قرار دارد. وجود و ظهور چشمه‌هایی در پایین دست و در تکیه‌گاه راست ساختگاه یکی از مهم‌ترین مسائل سد دامغان به شمار می‌رود. در این پژوهش با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک، هیدروژئولوژیکی و هیدروئوشیمیایی امکان ارتباط هیدرولیکی بین مخزن سد و چشمه‌های پایین دست واقع در تکیه‌گاه راست ساختگاه سد، تعیین منشأ چشمه‌ها و بررسی محتمل‌ترین مسیر نشت و فرار آب، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. وضعیت زمین‌شناسی، داده‌های هیدرولیکی و نتایج آنالیز هیدروشیمیایی نشانگر آن است که رابطه هیدرولیکی بین مخزن سد و چشمه‌های پایین دست در تکیه‌گاه راست ساختگاه سد وجود دارد و پس از آگیری سد جریان از سمت مخزن به تکیه‌گاه‌ها و چشمه‌ها جریان پیدا کرده است. همچنین بررسی بیلان یک ساله سازند آهکی بالادست چشمه‌ها نشان داد که بیلان آب زیرزمینی منفی بوده و سازند آهکی بالادست به تنهایی نمی‌تواند تأمین کننده آب چشمه‌های پایین دست باشد بنابراین آب چشمه‌های پایین دست باید از محل دیگری تأمین گردد که این منبع احتمالی می‌تواند مخزن سد باشد. با توجه به دبی نشت در پایین دشت به صورت چشمه، کسری مخزن سد بیشتر بوده که نشانگر این است که آب مخزن علاوه بر نشت به پایین دست، از مسیرهای دیگری از طریق درزه و شکاف و یا گسل نهفته فرار می‌کند. نتایج ژئوتکنیکی نشان از وجود یک زون خرد شده با شکستگی‌های زیاد و تراوایی بالا و دارای پتانسیل نشت در جناح راست را دارد. در نهایت با توجه به نتایج و شرایط هیدروژئولوژیکی محدوده سد دامغان، نشت و فرار آب از طریق شکستگی‌های جناح راست و همچنین زیر پی سد وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: سد دامغان، نشت و فرار آب، هیدروژئولوژی، ارتباط هیدرولیکی، ژئوتکنیک

لیست مقاله‌های مستخرج از پایان نامه:

۱- هیدروژئوشیمی منابع آب ساختگاه سد دامغان. بیستمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. تهران. دانشگاه

تهران. شهریورماه ۱۳۹۵.

۲- بررسی پتانسیل نشت در جناح راست ساختگاه سد دامغان. چهارمین گنگره بین المللی عمران. معماری و

توسعه شهری. تهران. دانشگاه شهید بهشتی. دی ماه ۱۳۹۵.

فصل ۱ مقدمه و کلیات

۱ - ۱	بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق	۲
۱ - ۲	مشخصات عمومی ساختگاه سد دامغان	۳
۱ - ۳	موقعیت جغرافیایی سد دامغان و راه‌های ارتباطی	۴
۱ - ۴	آب و هوای منطقه مورد مطالعه	۶
۱ - ۵	هیدرولوژی حوضه آبرگیر سد دامغان	۶
۱ - ۶	موقعیت ساختگاه سد به لحاظ زمین‌شناسی	۸
۱ - ۶ - ۱	زمین ریخت شناسی	۸
۱ - ۶ - ۲	سنگ چینه‌شناسی	۹
۱ - ۶ - ۳	زمین ساخت	۱۴
۱ - ۶ - ۴	زمین ریخت شناسی	۱۷
۱ - ۶ - ۵	مشخصات زمین‌شناسی جایگاه سرریز	۱۷

فصل ۲ مروری بر مطالعات پیشین

۲ - ۱	مقدمه	۲۰
۲ - ۲	روش‌های مطالعه هیدروژئولوژی کارست در محدوده سدها	۲۱
۲ - ۲ - ۱	مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی	۲۴
الف: بررسی‌های هیدروژئولوژیکی		۲۵
- ارزیابی بیلان دریاچه سد		۲۵
- بررسی چشمه‌های پایین دست سد		۲۶
- بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در گمانه‌های پایین دست سد		۲۶
- بررسی ارتباط هیدرولیکی مخزن با چشمه‌های پایین دست و تشخیص زون‌های ارتباطی		۲۷
- ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با منابع پایین دست از طریق نهشته‌های آبرفتی		۲۸
- ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با منابع آب پایین دست از طریق سازندهای کارستی		۲۸
- تعیین وضع تراوایی زون‌های ارتباطی		۳۰
ب) بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی		۳۰
۲ - ۳	مروری بر مطالعات و پروژه‌های انجام شده	۳۲

فصل ۳ روش مطالعه

	مقدمه	۴۲
۳ - ۱	منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه (محدوده ساختگاه سد دامغان)	۴۳
۳ - ۱ - ۱	موقعیت محل‌های نمونه‌برداری	۴۳

۳-۲	نمونه‌گیری از منابع آب موجود در ساختگاه سد جهت آنالیز شیمیایی	۴۶
۳-۳	اندازه‌گیری‌های صحرایی	۴۹
۳-۳-۱	اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)، درجه حرارت (T) و pH	۴۹
۳-۳-۲	اندازه‌گیری دبی چشمه‌های پایین دست	۴۹
۳-۳-۳	تعیین عمق برخورد به آب در چاه‌های مشاهده‌ای واقع در ساختگاه سد با استفاده از دستگاه عمق‌یاب	۵۰
۳-۴	آنالیزهای آزمایشگاهی	۵۱
۳-۴-۱	اندازه‌گیری پارامترهای هیدروژئوشیمیایی در آزمایشگاه	۵۱
۳-۴-۲	محاسبه درصد خطای آزمایش	۵۲
۳-۵	بررسی مشخصات ژئوتکنیکی ساختگاه سد بر مبنای نتایج	۵۴
۳-۶	نرم‌افزارهای استفاده شده جهت تهیه نقشه و نمودارهای مورد نیاز	۵۴

فصل ۲: نتایج و بحث

۴-۱	مقدمه	۵۶
۴-۱-۱	جهت جریان آب در تکیه‌گاههای ساختگاه سد	۵۷
۴-۲	مقدمه	۶۹
۴-۲-۱	نتایج آنالیز شیمیایی	۷۰
۴-۲-۲	بررسی هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب منطقه ساختگاه سد دامغان	۷۴
۴-۲-۳	بررسی هیدروژئوشیمیایی منابع آب محدوده ساختگاه سد	۷۷
۴-۳	مقدمه	۹۷
۴-۳-۱	شرایط لیتولوژیکی ساختگاه سد دامغان	۹۸
۴-۳-۲	ارزیابی وضعیت نفوذپذیری توده سنگ در ساختگاه سد	۱۰۰
۴-۳-۳	ارزیابی وضعیت درزه‌ها و شکستگی‌ها در تکیه‌گاه راست سد	۱۰۲
۴-۳-۴	چگونگی اجرای پرده تزریق و بررسی عملکرد آن	۱۰۵

فصل ۳: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱	نتایج	۱۱۴
۵-۲	پیشنهادها	۱۱۵
	مراجع	۱۱۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن (برگرفته از نقشه راه‌های کشور)..... ۵
- شکل ۲-۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه..... ۱۶
- شکل ۱-۳ موقعیت محل‌های نمونه‌برداری..... ۴۴
- شکل ۲-۳ نحوه نمونه‌برداری به روش تدریجی از چاه‌های مشاهده‌ای تکیه‌گاه راست ساختگاه سد..... ۴۷
- شکل ۳-۳ نمونه‌برداری از پیزومتر کاساگراند واقع در تاج سد با استفاده از پمپ مکش..... ۴۷
- شکل ۴-۳ نمونه‌برداری از پیزومتر کاساگراند واقع در بدنه و پی سد با استفاده از پمپ مکش..... ۴۸
- شکل ۵-۳ نمونه‌برداری از چشمه‌های پایین‌دست در تکیه‌گاه راست ساختگاه سد دامغان..... ۴۸
- شکل ۶-۳ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، pH و دما..... ۴۹
- شکل ۷-۳ اندازه‌گیری دبی چشمه‌های پایین‌دست به روش حجمی..... ۵۰
- شکل ۸-۳ تعیین عمق برخورد به آب در چاه‌های مشاهده‌ای..... ۵۱
- شکل ۹-۳ آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب به روش تیتراسیون در آزمایشگاه..... ۵۲
- شکل ۱۰-۳ اندازه‌گیری مقدار سولفات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کدرسنجی..... ۵۳
- شکل ۱۱-۳ اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه نورسنجی شعله‌ای..... ۵۳
- شکل ۲-۴ نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان در تکیه‌گاه‌ها و پایین‌دست سد..... ۵۸
- شکل ۳-۴ روند تغییرات سطح تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای در تکیه‌گاه راست ساختگاه و دریاچه سد..... ۶۱
- شکل ۶-۴ اختلاف ورودی و خروجی به مخزن و اختلاف حجم ذخیره مخزن..... ۶۸
- شکل ۱۸-۴ نمودار شولر نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان (بهمن ماه ۹۴)..... ۹۴
- شکل ۱۹-۴ نمودار شولر نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان..... ۹۵
- شکل ۲۰-۴ نمودار شولر نمونه‌های آب پیزومترهای بدنه و پی ساختگاه سد دامغان..... ۹۵
- شکل ۲۱-۴ مقطع زمین‌شناسی ساختگاه سد دامغان..... ۹۸
- شکل ۲۲-۴ نتایج آزمایش فشار آب (لوژان) در تکیه‌گاه راست ساختگاه سد..... ۱۰۰
- شکل ۲۳-۴ تغییرات مقادیر لوژان (Lu) و شاخص کیفی سنگ (RQD) در گمانه..... ۱۰۰
- شکل ۲۴-۴ نمودار گلسرخی ناپیوستگی‌ها در تکیه‌گاه راست و امتداد محور سد سد دامغان..... ۱۰۳

- شکل ۴-۲۵ زون گسلی موجود در تکیه‌گاه راست و موقعیت چشمه‌های پایین دست ساختگاه سد..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۶ جانمایی مانومترها در گالری تزریق و چاه‌های فشارشکن در بستر..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۷ مسیر احتمالی حرکت آب از مخزن به سمت چشمه‌ها در جناح راست..... ۱۱۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱	مشخصات ساختمانی سد دامغان.....	۴
جدول ۲-۱	مقادیر دبی سیلابی نسبت به زمان بازگشت.....	۸
جدول ۱-۳	موقعیت جغرافیایی و محل نمونه‌برداری منابع آب انتخابی ساختگاه سد دامغان.....	۴۴
جدول ۱-۴	میزان بده چشمه‌های پایین دست سد.....	۶۳
جدول ۲-۴	محاسبه نرخ بیلان آبی سازند طی بازه زمانی یک ساله.....	۶۵
جدول ۳-۴	نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب در منطقه ساختگاه سد دامغان براساس epm.....	۷۳
جدول ۴-۴	نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب در منطقه ساختگاه سد دامغان براساس epm.....	۷۱
جدول ۵-۴	نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب در منطقه ساختگاه سد دامغان براساس epm.....	۷۹
جدول ۶-۴	تیپ و رخساره‌های نمونه‌های آب دریاچه سد دامغان - خرداد ۹۵.....	۸۰
جدول ۷-۴	تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح راست سد دامغان - بهمن ماه ۹۵.....	۷۸
جدول ۸-۴	تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح راست سد دامغان - اسفند ماه ۹۴.....	۷۹
جدول ۹-۴	تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح راست ساختگاه سد دامغان - خرداد ماه ۹۵.....	۸۴
جدول ۱۰-۴	تیپ و رخساره نمونه‌های آب دریاچه سد دامغان - اسفند و بهمن ماه ۹۴.....	۸۴
جدول ۱۱-۴	تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان - بهمن ماه ۹۴.....	۸۳
جدول ۱۲-۴	تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان - خرداد ماه ۹۵.....	۸۳
جدول ۱۳-۴	تیپ و رخساره نمونه‌های آب پی‌زومترهای بدنه و پی سد دامغان - خرداد ماه ۹۵.....	۸۵
جدول ۱۴-۴	مشخصات هندسی و ویژگی‌های برجای ژئوتکنیکی ناپیوستگی‌های تکیه‌گاه راست سد دامغان.....	۱۰۳
جدول ۱۵-۴	میزان حفاری و تزریق در گمانه‌های جناح راست پرده آب‌بند.....	۱۰۶
جدول ۱۶-۴	میزان حفاری و تزریق در گمانه‌های جناح چپ پرده آب‌بند.....	۱۰۷

فصل ۱

مقدمه و کلیات

۱-۱ بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

امروزه احداث سد در بسیاری از کشورهای جهان امری متداول و مرسوم بوده و به عنوان شاخصی از پیشرفت و توسعه یک کشور محسوب می شود. در کشورهای خشک و نیمه خشک یکی از کارهای لازم برای میل به توسعه پایدار صنعتی، کشاورزی، گردشگری و کنترل سیلاب ها، ساخت سد می باشد. زیرا با احداث یک سد هم ذخیره مطمئنی از آب برای توسعه کشاورزی و شرب به وجود می آید و هم از انرژی آن می توان بهره گرفت. با در نظر گرفتن این امر که ایران از نظر اقلیمی در منطقه خشکی از جهان قرار گرفته و میزان نزولات جوی در آن به استثناء نقاط محدود، از مقدار پایینی نسبت به متوسط جهانی برخوردار است، مسئله تأمین آب از حساسیت خاصی برخوردار می باشد. تاکنون سدهای زیادی بر روی رودخانه ها با صرف هزینه های زیاد برای ذخیره آب رودخانه ها احداث گردیده است. ولی متأسفانه به دلیل دقیق نبودن مطالعات به خصوص مطالعات زمین شناسی سطحی و زیرسطحی و هیدروژئولوژی با صرف هزینه های کلان سدهایی ساخته می شود که بعد از آبرگیری دارای فرار آب از پی یا تکیه گاه سد می باشد. با توجه به کم آبی ایران و لزوم احداث سد جهت تأمین آب و برق کشور و با توجه به قرارگیری محور و مخزن بسیاری از سدهای کشور در محیط های آهکی، اهمیت مطالعات کارست در کشور دو چندان می شود (کریمی وردجانی، ۱۳۸۹). از آنجایی که پس از آبرگیری سد، بار هیدرولیکی افزایش می یابد، فرار آب هرچند به مقدار ناچیز اجتناب ناپذیر است و هیچ مخزنی را نمی توان آب بند کامل در نظر گرفت. مسئله فرار آب در مناطق کارستی با توجه به توسعه درز و شکاف ها و مجاری انحلالی دارای پتانسیل بیشتری نسبت به سایر مناطق می باشد.

در منطقه دامغان به دلیل افت سریع سفره آب زیرزمینی، بایر شدن قنات ها، تمایل روزافزون به کاهش کیفی آب چاه ها، پیش روی کویر از یک طرف و بالا رفتن جمعیت و نیاز به آب کشاورزی و شرب از طرف دیگر موجب گردیده که خطر کم آبی با پیامدهای ناگوار را در آینده ای نه چندان دور می توان شاهد شد. از این رو هر طرحی که موجب کنترل، مهار و استحصال آب گردد می تواند پاره ای از نیازهای منطقه را تأمین

نماید. با توجه به این اهداف، کنترل سیلاب‌های رودخانه دامغان، آستانه و چشمه علی در مواقعی که از جریان آب آن استفاده نمی‌گردد، مورد توجه قرار گرفته و طرح سد دامغان را مطرح نموده است. اهداف اصلی احداث سد دامغان عبارتند از: کنترل سیلاب‌ها و ذخیره مازاد آب رودخانه چشمه علی در طی فصولی که نیاز به آب در بخش کشاورزی محسوس نمی‌باشد و از این طریق به همراه اقدامات فنی در بالا بردن بازده آب آبیاری در اراضی موجود، آب ذخیره شده جهت توسعه کشت پسته مصرف می‌گردد. موضوع نشت یکی از مسائلی است که بعد از آبیاری سدها مورد توجه و کنترل دائمی بوده و سد دامغان نیز از این دیدگاه مورد توجه می‌باشد. وجود و ظهور چشمه‌هایی در پایین دست در تکیه‌گاه راست و محل پاشنه سد و همچنین نشت از محل اتصال بدنه سد به تکیه‌گاه چپ از مهم‌ترین مسائل مربوط به سد دامغان می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی ارتباط هیدرولیکی بین چشمه‌های پایین دست سد با مخزن و منابع آب مجاور و همچنین تعیین محتمل‌ترین مسیر نشت و فرار آب می‌باشد.

۱-۲ مشخصات عمومی ساختگاه سد دامغان

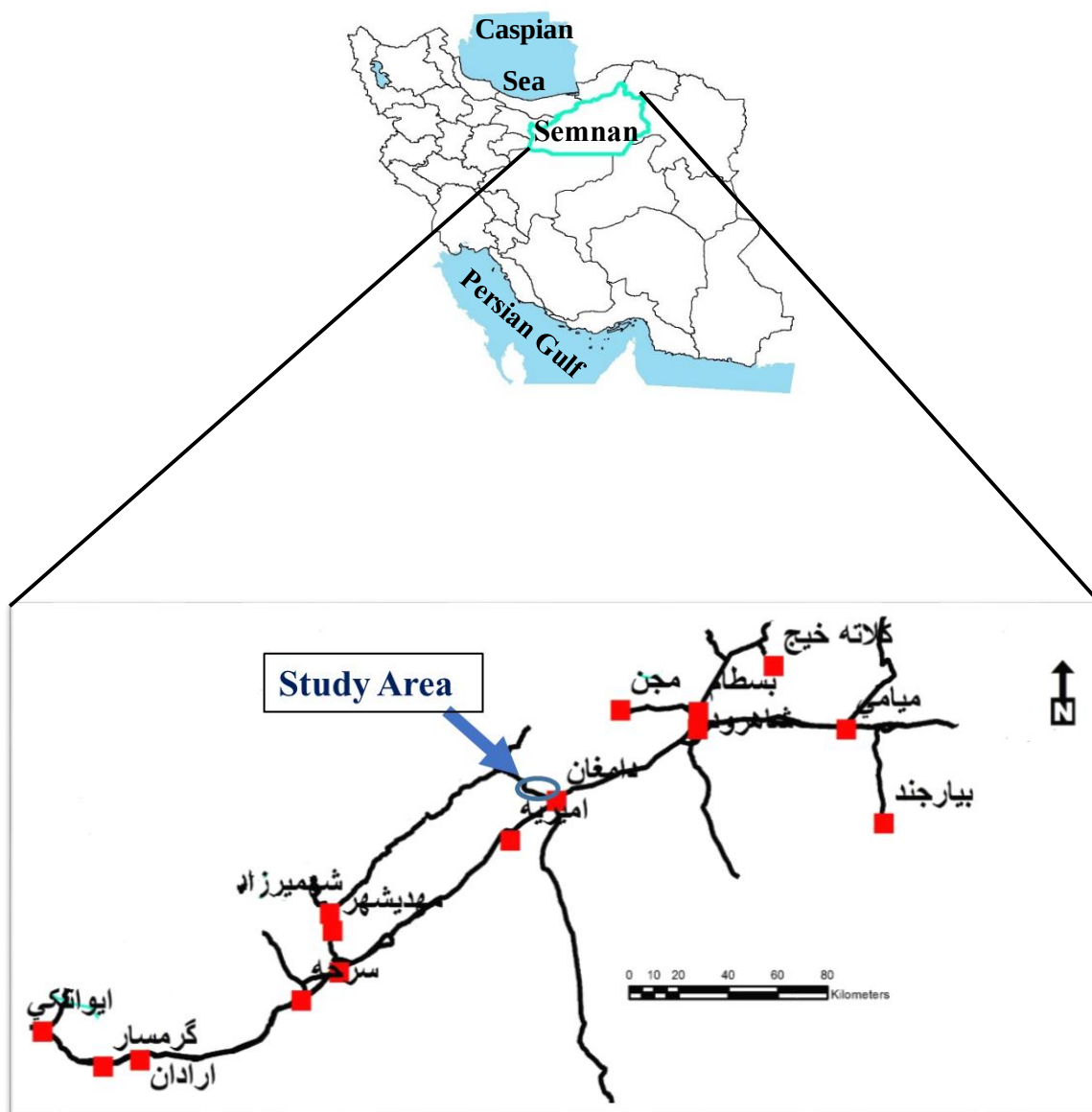
سد دامغان یک سد خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی است که به منظور کنترل سیلاب و ذخیره آب مازاد چشمه علی در فصول غیر کشت و تأمین آب مطمئن برای کشاورزی اراضی پایین دست احداث شده است. عملیات اجرایی سد دامغان در تابستان ۱۳۸۱ شروع شد. عملیات ساخت سد در اسفندماه ۱۳۸۳ به اتمام رسیده و متعاقب آن آبیاری سد آغاز شد. تجهیزات ابزار دقیق سد دامغان طی دو مرحله نصب شده‌اند. بخشی از تجهیزات همزمان با ساخت سد نصب شده و بخش دیگر با عنوان ابزارگذاری تکمیلی طی سال ۱۳۹۰ و در دوران بهره برداری نصب شده‌اند.

جدول ۱-۱ مشخصات ساختمانی سد دامغان

عنوان	مشخصات
ارتفاع از پی	۵۴/۵ متر
ارتفاع از بستر	۵۱/۵ متر
طول تاج	۴۴۵ متر
عرض تاج	۱۰ متر
تراز تاج سد	۱۳۲۴/۵ متر
رقوم آب در تراز نرمال	۱۳۲۰/۵ متر
حجم مخزن در تراز نرمال	۲۱ میلیون متر مکعب
حجم مفید مخزن	۱۲/۸ میلیون متر مکعب
وسعت دریاچه در تراز نرمال	۱/۵ کیلومتر مکعب

۱-۳ موقعیت جغرافیایی سد دامغان و راه‌های ارتباطی

منطقه مورد مطالعه در طول شرقی ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ۱۲ کیلومتری در شمال غرب دامغان قرار دارد. دسترسی به محل ساختگاه سد دامغان از طریق جاده آسفalte چشمه علی، پس از طی مسافت ۸ کیلومتر از جاده مذکور و سپس طی مسافت ۱/۵ کیلومتر از طریق جاده شوسه (جاده اختصاصی سپاه پاسداران) امکان‌پذیر می‌باشد.



شکل ۱-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن (برگرفته از نقشه راه‌های کشور)

۱- ۴ آب و هوای منطقه مورد مطالعه

گرچه مقدار ریزش‌های آسمانی در شهر دامغان اندک و در حدود ۹۴ میلیمتر در سال است، اما به دلیل مجاورت حوضه با نقاط شمال کشور و ارتفاعات بلند حوضه، مقدار متوسط بارش حوضه نسبت به حوضه‌های کویری نسبتاً بالاتر است و یکی از دلایل عمده این نظریه وجود چشمه پرآب در منطقه است که می‌تواند دال بر ریزش مناسب به ویژه برف در ارتفاعات حوضه باشد. میانگین بارش حوضه آبریز در حدود ۱۸۵ میلیمتر در سال و تعداد روزهای بارانی در طی سال ۲۶-۲۲ روز تعیین شده است. حداکثر تعداد روز بارانی در حوضه سد دامغان ۴۰ روز تعیین شده است. مجموع بارش ۵ ماهه آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین در حدود ۸۰ درصد بارش سالانه است. مقدار PMP حوضه آبریز در حدود ۲۰۰ میلیمتر بدست آمده است. تعداد روزهای زیر صفر در محل سد ۱۱۲ روز تخمین زده شده است و دمای متوسط ساختگاه سد که به دمای دامغان نزدیک در حدود ۱۵، حداکثر دما ۴۱/۵ و حداقل آن ۱۶- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مقدار تبخیر در محل سد در حدود ۱۸۰۰ میلیمتر اندازه‌گیری شده است.

۱- ۵ هیدرولوژی حوضه آبگیر سد دامغان

رودخانه چشمه علی به دلیل جریان دائمی چشمه علی همواره آبدار بوده و نقش مهمی در تنظیم دبی پایه آب سد دامغان ایفا می‌کند. فیزیوگرافی حوضه آبریز نشان می‌دهد که سطح و محیط حوضه آبریز به ترتیب ۱۳۷۸ کیلومتر مربع و ۲۲۸ کیلومتر است. شکل حوضه آبریز نزدیک به دایره یا گلابی است. طول بزرگ‌ترین آبراهه حوضه ۶۵ کیلومتر و زمان تمرکز حوضه در محل سد دامغان ۱۰ ساعت برآورد گردیده و نشان می‌دهد در طی یک زمان کوتاه حداکثر سیلاب از محل سد عبور می‌نماید. در حدود ۴۹ درصد حوضه در رقوم ۱۵۰۰-۲۰۰۰ و ۵۰ درصد سطح حوضه در رقوم بالاتر از ۱۹۷۰ متری از سطح دریا واقع شده است.

حداکثر ارتفاع در حوضه ۳۷۰۰ و ارتفاع متوسط ۲۰۳۲ متر از سطح دریا می‌باشد. شیب حوضه آبریز بطور متوسط در حدود ۱/۳۸ درصد می‌باشد.

الف: آبدهی رودخانه چشمه علی

با بررسی آمار و اطلاعات مربوط به دبی سنجی رودخانه و محاسبات آن در محل سد نشان می‌دهد که :

۱- حداکثر مقدار برآورد سالانه ۱/۵۶ مترمکعب بر ثانیه معادل ۴۹/۲ میلیون متر مکعب

۲- حداقل مقدار آورد سالیانه ۰/۷ مترمکعب بر ثانیه معادل ۱۰/۲۲ میلیون متر مکعب

۳- متوسط مقدار آورد سالیانه ۱/۰۳ مترمکعب بر ثانیه معادل ۵۲/۳۲ میلیون متر مکعب

در حدود ۷۰-۸۰ درصد آورد سالیانه حوضه آبریز توسط جریان دائم " چشمه علی " تأمین می‌شود. تداوم جریان چشمه علی از یک طرف و تغییرات دبی اندک آن از طرف دیگر از مسائل مهمی است که در طرح سد ذخیره‌ای دامغان مورد توجه بوده است. دبی سالیانه چشمه علی از حدود ۲۲-۲۶/۵ میلیون مترمکعب در سال و یا ۸۴/۰ - ۷/۰ متر مکعب در ثانیه در تغییر است. مقداری از دبی چشمه علی در اراضی بالادست سد استفاده می‌شود و میزان تبخیر سطحی نیز در مقدار آبی که به محل سد می‌رسد تأثیر می‌گذارد.

ب: سیلاب حوضه آبریز سد دامغان

تحلیل سیلاب‌های حوضه آبریز با استفاده از آمار محدود و روش‌های علمی نشان می‌دهد که اصولاً مقدار سیلاب‌های حوضه در دوره‌های برگشت مختلف تفاوت نسبتاً کمی دارد. مقادیر دبی سیلابی نسبت به زمان بازگشت به شرح زیر ارائه شده است (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۲ مقادیر دبی سیلابی نسبت به زمان بازگشت

حجم سیلاب MCM	دبی سیلابی به متر مکعب بر ثانیه	زمان بازگشت به سال
۰/۱	۲	۲
۱/۸	۳۱	۵
۳/۶	۶۳	۱۰
۶/۳	۱۱۰	۲۰
۱۰/۳	۱۲۸	۲۵
۱۴	۲۴۰	۱۰۰
۲۷	۴۷۲	۱۰۰۰
۴۳	۵۵۷	۲۰۰۰
۶۰	۷۴۶	۱۰۰۰۰
---	۱۲۷۰	PMF

۱-۶ موقعیت ساختگاه سد به لحاظ زمین‌شناسی

گستره ساختگاه سد در منتهی الیه جنوبی زون ساختاری البرز جنوبی و تقریباً در مرز دو زون ساختاری البرز جنوبی و ایران مرکزی قرار دارد. با مطالعه نهشته‌ها و مقایسه آنها می‌توان رخساره‌های موجود در محدوده طرح را به زون ساختاری البرز جنوبی نسبت داد.

۱-۶-۱ زمین ریخت شناسی

محدوده سد دامغان در منطقه‌ای کوهستانی و مرتفع واقع شده که بخش‌هایی از آن دارای مورفولوژی تپه ماهوری می‌باشد. از سمت شمال خاوری تا شمال باختری ارتفاعات با شیب ملایم افزایش می‌یابد. بخش‌های مرتفع عمده از سازندهای سخت (آهک‌های تریاس، پرمین و واحدهای سنگی ائوسن) تشکیل شده که آبراهه‌های موجود در آنها از انواع آبراهه‌های کنترل شده توسط ساخت‌ها و یا از نوع نامنظم و غیر قرینه می‌باشد. ارتفاعات تپه ماهوری عمدتاً از گنگلومرای نئوژن و رسوبات عهد حاضر تشکیل شده است که نهایتاً

به صورت دشت کم شیب و پوشیده از برف در آمده و زمین های کشاورزی را تشکیل می دهند. بستر رودخانه، دشت های سیلابی و تراس های دامغان پست ترین مکان های منطقه را به وجود آورده اند.

۱- ۶- ۲ سنگ چینه شناسی

سازند باروت مربوط به اینفراکامبرین قدیمی ترین سنگی است که در منطقه برونزد دارد و شامل مجموعه ای از طبقات دولومیتی به رنگ خاکستری تیره، افق های شیلی به رنگ قرمز و صورتی، ماسه سنگ به رنگ قرمز تیره و گاهی بخش های ولکانیکی می باشد. نهشته های دونین-کربونیفر با گسترش بسیار محدوده از طبقات نازک تا ضخیم دولومیتی و آهکی به رنگ های مختلف نظیر قهوه ای تیره، طبقات منظم نازک لایه تا متوسط لایه، شیل و مارن صورتی و ارغوانی، ماسه سنگ و کوارتزیت تشکیل شده است. رسوبات تریاس که تکیه گاه راست محدوده ساختگاه سد را در برمی گیرد شامل تناوبی از آهک های خاکستری تیره و کرم مایل به قهوه ای، آهک نازک لایه تا متوسط لایه ورقه ای به رنگ زرد نخودی، افق هایی از ماسه سنگ های کوارتزیتی به رنگ قهوه ای مایل به قرمز با سطح هوازده، آهک مارنی خاکستری متمایل به سبز و آهک خاکستری تیره و میکوله دار می باشد که با توجه به نوع لیتولوژی می توان آن را با سازند الیکا در البرز مقایسه کرد. ارتباط این سازند با رسوبات دونین-کربونیفر گسله بوده و خود نیز توسط نهشته های نئوژن به طور دگرشیب پوشیده می شود. دوران ژوراسیک در منطقه شامل سازندهای شمشک و دلیچای (با گسترش محدود) و سازند لار با گسترش نسبتاً زیاد می باشد. سازند لار در بخش تحتانی شامل آهک و آهک مارنی و بخش فوقانی اینکه ارتفاعات منطقه را شکل داده از آهک های کریستالی ضخیم لایه یا توده ای با درز و شکاف فراوان می باشد. از ویژگی های ظاهری این آهک ها وجود حفرات انحلالی در آنها است. رسوبات مربوط به نئوژن با گسترش زیاد ساحل چپ ساختگاه را تشکیل می دهند و شامل کنگلومراهای با ماتریکس ماسه ای سیلتی و سیمان رسی یا آهکی می باشد که عناصر آن را اکثراً آهک ها و دولومیت های سازند الیکا، مبارک و سنگ های آهکی لار تشکیل داده است. پلیوسن در این محدوده از مارن های گچ دار هوازده، کنگلومرای رسی

با سیمان ضعیف و شیل‌های رسی تشکیل شده و به علت سیمان رسی از لیتولوژی نرم و زود فرسایی برخوردار است و نهایتاً نهشته‌های کواترنر شامل تراس‌های قدیمی، تراس‌های جوان، نهشته‌های مخروط افکنه و نهشته‌های آبرفتی جوان است.

۱- ۶- ۲- ۱ سازند باروت (Ebt):

قدیمی‌ترین واحدی که در ناحیه رخنمون دارد سازند باروت می‌باشد. این سازند در نواحی جنوبی روستای لبرود گسترش دارد. از نگاه ریخت‌شناسی به علت وجود طبقات ضخیم دولومیتی و آهکی واحدی تقریباً سخت و ارتفاع ساز می‌باشد. به دلیل وجود لیتولوژی‌های مختلف در آن سازندی ناهمگن بوده و در اثر فرسایش شکل ریختاری ناهموار و خشن به خود گرفته است. در یک نگاه کلی این سازند از مجموعه طبقات نازک تا متوسط و گاهی ضخیم لایه دولومیتی به رنگ قهوه‌ای و کرم، طبقات آهکی به رنگ خاکستری تیره، افق‌ها و بخش‌های شیلی به رنگ قرمز و صورتی، ماسه سنگ به رنگ قرمز تیره و گاهی بخش‌های ولکانیکی نیز در آن مشاهده می‌گردد. برحسب درصد هریک از اجزا تشکیل دهنده فوق می‌توان واحدهای فرعی نیز در آن تفکیک نمود که عبارتند از:

۱- ۶- ۲- ۲ بخش ماسه سنگی (Sst):

بخش‌هایی از سازند باروت از ماسه سنگ کواترنری سفید و صورتی تا قرمز یکنواخت تشکیل شده است که می‌توان آن را به عنوان یک زیر واحد در نقشه نمایش داد. ضخامت این بخش به طور جانبی متغیر است و گاهی ضخامت قابل ملاحظه‌ای دارد. در بعضی نقاط از ماسه سنگ شیلی قرمز تشکیل شده است که در این حالت از فرسایش بیشتری برخوردار است.

۱ - ۶ - ۲ - ۳ شیل (Sh):

این زیر واحد گسترش کمی داشته و در نواحی جنوبی لبرود مشاهده می‌گردد. از نگاه ریخت‌شناسی واحدی نرم و زود فرسایبی بوده و در بین طبقات ضخیم آهک دولومیتی افتاده و پست می‌باشد در مجموع از مارن گچ‌دار، شیل و ماسه‌سنگ گریوکی تشکیل شده است. شیل توفی به رنگ خاکستری و کرم رنگ است.

سنگ‌های ولکانیکی (V):

این بخش ولکانیکی از نوع اسیدی می‌باشد. هرچند در سایر نقاط نظیر زون ساختاری بینالود سازند باروت دارای سنگ‌های ولکانیکی در حد آندزیت-بازالت است ولی در این جا به نظر می‌رسد که اسیدی بوده و به رنگ روشن می‌باشد و بخش بسیار کوچکی در ارتفاعات جنوبی روستای لبرود را تشکیل می‌دهد.

۱ - ۶ - ۲ - ۴ رسوبات تریاس (Tr):

این سازند ساحل راست محل سد را تشکیل می‌دهد و از گسترش قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. از نگاه ریخت‌شناسی جناح راست دارای دامنه‌ای پرشیب و مرتفع می‌باشد. از نظر فرسایش دارای سطحی ناهموار و زبر و خشن بوده و در اثر فشارهای تکتونیکی دارای شکستگی‌های فراوانی است. از این که این واحد در بین واحدهای موجود در نقشه از اهمیت خاصی برخوردار است و تکیه‌گاه راست سد بر روی این سازند قرار می‌گیرد لیتولوژی آن با دقت بیشتری بیان می‌گردد. شیب عمومی طبقات متشکله این واحد به سمت شمال بوده و از پایین به بالا عبارتند از:

الف - تناوبی از آهک‌های خاکستری تیره کرم مایل به قهوه‌ای و آهک دولومیتی، افق‌هایی به صورت میان لایه‌ها با ضخامتی در حدود نیم متر متشکل از لایه‌های آهک خاکستری تیره با ضخامت ۱ تا ۳ سانتی متر به صورت ورقه دیده می‌شود. بخش فوقانی این واحد به علت تحمل فشار خرد و برشی شده است.

ب- مجموعه‌ای از آهک‌های نازک لایه تا متوسط لایه، ورقه‌ای به رنگ زرد نخودی و خاکستری تیره و افق‌هایی از ماسه‌سنگ‌های کوارتزی به رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز با سطح هوازده، لایه‌هایی از آهک تخریبی و سپس در بخش فوقانی آن حدود ۲ متر آهک نازک لایه ورقه‌ای به رنگ زرد کرم تا تیره. این بخش به دلیل نازک لایه وسست بودن آهک‌ها از فرسایش بیشتری برخوردار است.

ج- این بخش از جنوب به شمال (از پایین به بالا) از آهک‌های ضخیم لایه به رنگ زرد نخودی که ضخامت آن به ۱/۵ متر می‌رسد، سپس آهک‌های خاکستری تیره با میان‌لایه‌هایی از آهک‌های نازک لایه ورقه‌ای به رنگ صورتی، آهک‌های دولومیتی قهوه‌ای متمایل به قرمز، آهک خاکستری تیره ورمیکوله‌دار که ترکیبات آهن به‌صورت ثانوی درز و شکاف سنگ‌ها را پر کرده است. در بخش فوقانی این بخش میان‌لایه‌هایی از آهک مارنی به رنگ خاکستری متمایل به سبز دیده می‌شود.

د- آخرین عضو این واحد شامل یک متر مارن و سپس تناوب آهک‌های دولومیتی متوسط تا ضخیم لایه به رنگ زرد متمایل به صورتی و آهک‌های تیره با میان‌لایه‌هایی از آهک مارنی و آهک‌های ورقه‌ای حاوی ورمیکوله‌های فراوان می‌باشد. در این بخش درز و شکاف موجود در سنگ‌ها اغلب توسط کلسیت پر شده است. با توجه به این که در این واحد شیب دامنه و طبقات هماهنگ است و شیب هر دو به سمت شمال می‌باشد و نیز با توجه به وجود میان‌لایه‌هایی از لیتولوژی نرم‌تر نظیر مارن و آهک مارنی شکستگی در این واحد فراوان دیده می‌شود و خزش‌هایی بر اثر نیروی ثقل ایجاد شده و قطعا سرعت مندی داشته و در گذشته‌های دورتر رخ داده‌اند و همچنین تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی نیز شکستگی‌های زیادی در آن مشاهده می‌گردد. ضخامت این واحد را می‌توان ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر تخمین زد. با توجه به نوع لیتولوژی و آهک‌های نازک لایه ورقه مرمیکوله‌دار می‌توان آن را با سازند الیکا در البرز مقایسه نمود. در بین لایه‌هایی آهکی و دولومیتی این سازند و به‌طور محلی می‌توان واحدهای فرعی کوچکی را تفکیک نمود که این زیر واحدها گسترش کمی دارند و به‌صورت عدسی‌هایی مشاهده می‌گردند.

۱- ۶- ۲- ۵ رسوبات نئوژن:

رسوبات مربوط به این مقطع زمانی در ناحیه گسترش زیادی دارند. نواحی ساحل چپ سد را تشکیل می‌دهد. نظر به اینکه تکیه‌گاه چپ روی این نهشته‌ها بنا شده لذا بررسی دقیق این واحد حائز اهمیت می‌باشد در این قسمت واحدهای تشکیل دهنده از یکدیگر تفکیک شده است و واحدهای مذکور در زیر به طور دقیق بررسی می‌گردند. این واحدها عبارتند از:

الف- واحد گنگلومرای زیرین (Ngc1)

این واحد اولین واحد از نهشته‌های تخریبی نئوژن می‌باشد. در مجموع از گنگلومرا با پیل‌های در ابعاد مختلف از دانه‌ریز تا دانه‌درشت تشکیل شده است. قطر بعضی از پیل‌ها به ۷۰ سانتی متر می‌رسد ولی متوسط اندازه آنها ۷ سانتی متر است. ماتریکس ذرات ماسه‌ای دانه‌درشت و سیمان آهکی-ماسه‌ای است سیمان ضعیف تا متوسط است و جنس پیل‌ها عمدتاً از آهک‌های خاکستری تیره و گاهی آهک‌های دولومیتی زرد نخودی و به‌ندرت ماسه سنگ کوارتزیتی است.

ب- واحد گنگلومرای بالایی (Ngc2)

این واحد نسبت به واحدهای دیگر نئوژن از گسترش بیشتری برخوردار است و مشابه آنچه که در واحد گنگلومرای زیرین (Ngc1) توصیف گردید می‌باشد. یعنی گنگلومرای دانه‌ریز تا دانه‌درشت با سیمان آهکی-رسی ضعیف است.

ج- گنگلومرا (Qplc)

این واحد گنگلومرای در حال حاضر دارای ضخامت کمی بوده و ضخامت آن احتمالاً کمتر از ۱۰۰ متر می‌باشد و در منتهی الیه شمال شرقی محور سد (جناح چپ) گسترش دارد. از نظر ریخت‌شناسی فرسایش

ملایمی داشته و از سرعت فرسایش زیادی نیز برخوردار است. بر اثر فرسایش این واحد در محل مذکور گنگلومرای سست Qt1 به جای مانده است.

۱- ۶- ۲- ۶ نهشته‌های آبرفتی کواترنر موجود در ناحیه

رسوبات آبرفتی مختلفی در نقاط متعددی از ناحیه مشاهده می‌گردد که با ضخامت کم خود واحدهای سنگی قدیمی‌تر را می‌پوشانند. این واحدها به شرح زیر می‌باشد:

Qt1: این رسوبات آبرفتی هرچند از ضخامت کمی در ناحیه برخوردار است ولی از نظر گسترش بیش‌ترین سطح را به خود اختصاص داده است. واحدی بسیار سست و زود فرسای می‌باشد و از نظر مقاومت و خواص فیزیکی سنگ‌ها در ردیف ضعیف‌ترین واحدها است. ضخامت واحد Qt1 گاهی به ۲۵ تا ۳۰ متر می‌رسد.

Qt2: نهشته‌های مسطح دشت‌هاست. اندازه پیل‌ها در اینجا از گنگلومرای Qt1 کوچکتر است. ذرات متشکله در اندازه‌های مختلفی بوده و میزان ذرات دانه‌ریز نسبتاً زیاد می‌باشد.

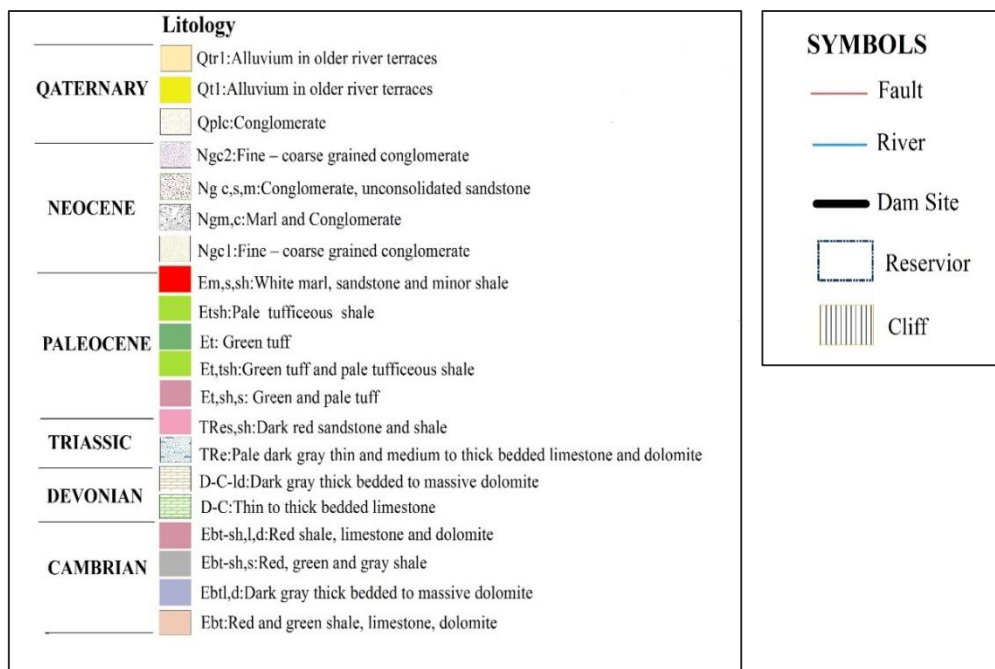
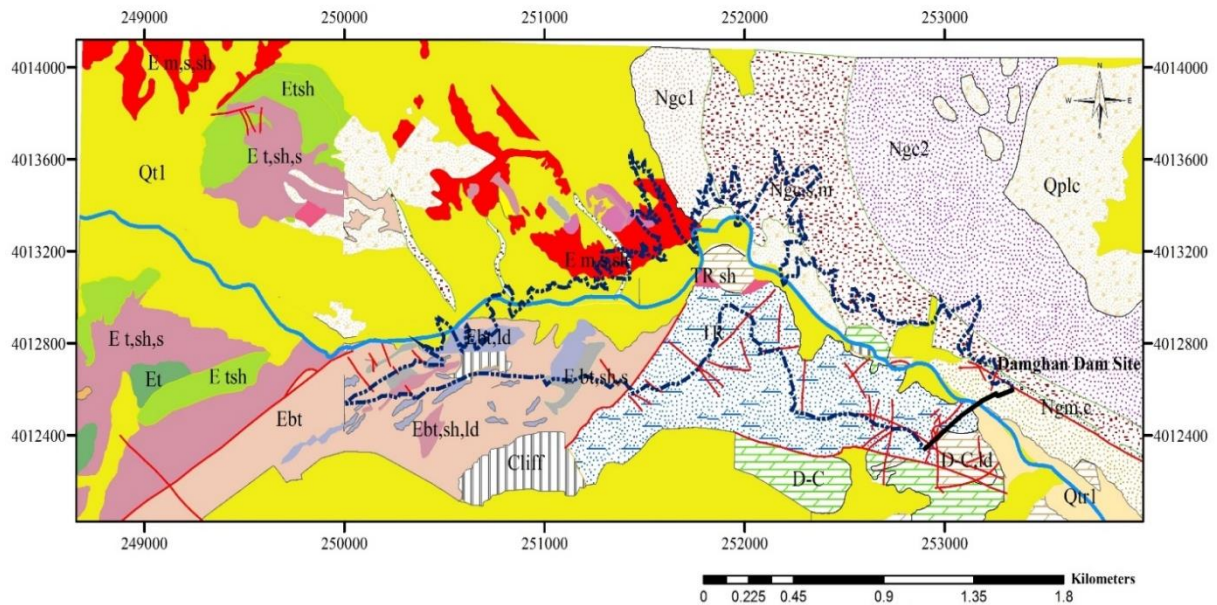
آبرفت‌های بستر رودخانه‌ای: جدیدترین نهشته‌های موجود در ناحیه می‌باشند که به صورت آبرفت‌های قدیمی‌تر در کنار رودخانه (Qal1) و رسوبات آبرفتی جدید (Qal2) در بستر آبراهه‌های کنونی مشاهده می‌شوند، ضخامت این آبرفت‌ها گاهی به ۲ یا ۳ متر نیز می‌رسد.

۱- ۶- ۳ زمین ساخت

با توجه به اینکه محدوده طرح در نزدیکی محل تلاقی ایالت‌های زمین ساختی البرز، کپه داغ و ایران مرکزی قرار دارد روند چیره و کنترل کننده آن شمال خاوری به جنوب باختری است. گسله‌های اصلی و هم‌چنین ریزچین‌های اصلی که از ناحیه گذر نموده‌اند از همین روند پیروی می‌کنند گسله‌های بنیادی این منطقه دارای روندهای گوناگون از خاوری-باختری و از نوع فشاری و یا راست لغز هستند. گسل‌های اصلی منطقه شامل گسل‌های دامغان، گسل نصرت آباد، گسل لبرود و گسل آستانه است.

۱ - ۶ - ۳ - ۱ گسل‌های مهم موجود در ساختگاه سد

براساس مطالعات به گسل‌هایی در محور سد اشاره گردیده است که هم در تکیه‌گاه چپ و هم در تکیه‌گاه راست وجود دارد. در تکیه‌گاه چپ سیستم گسل شامل گسله‌های مهم و اصلی F3 و مجموعه فرعی‌تر F2 می‌باشد. گسله F3 تا حدود ۳ کیلومتر پایین‌دست محور سد ادامه یافته و در طول مسیر خود مارن‌های گچ‌دار بر روی گنگلومرا قرار گرفته است. در تکیه‌گاه راست در محل تکیه‌گاه گسل F1 قرار دارد که عامل اصلی پایین‌افتادگی گنگلومرا و رسوب QT بر روی آن است.



شکل ۲-۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱- ۶- ۴ زمین ریخت شناسی

محدوده محور و مخزن سد از لیتولوژی مختلفی تشکیل شده که برخی دارای شکل برجسته و برخی دیگر افتاده و پست هستند. واحدهای سنگی بسیار سخت با مقاومت بالا و فرسایش پذیری کم (آهک‌های دولومیتی و ماسه‌سنگ‌های متراکم) به وجود آورنده ارتفاعات بلند و پرتگاه‌ها شده که شکل دره‌ها و آبراهه‌ها در آن‌ها به شکل U می‌باشد. تکیه‌گاه راست سد و بخشی از مخزن از این ریختار پیروی می‌کند. واحدهای سنگی که از مقاومت و فرسایش‌پذیری بالایی برخوردار بوده، ارتفاعات متوسط و یا کوتاهی را می‌سازند که عمده شکل دره‌ها و آبراهه‌های ایجاد شده به شکل V می‌باشد. تکیه‌گاه چپ سد و بخش عمده‌ای از مخزن دارای این ریختار می‌باشند. نهشته‌های نرم و بسیار سست و زودفرسا که بیشتر در کف مخزن گسترش دارند اغلب پایین‌ترین نقاط را تشکیل می‌دهند. مغزه تاقدیس مزبور حدوداً در منتهی‌الیه دامنه جنوبی تکیه‌گاه راست رخنمون داشته که یال شمالی آن دارای شیب ۳۰-۳۵ درجه به سمت شمال تا شمال غرب و یال جنوبی آن نیز دارای شیب ۳۰-۳۵ درجه به سمت غرب تا جنوب غربی می‌باشد.

۱- ۶- ۵ مشخصات زمین شناسی جایگاه سرریز

براساس بررسی‌های زمین‌شناسی به عمل آمده در ساختگاه سد (گزارش زمین‌شناسی مهندسی-آبان ماه ۱۳۸۷)، جنس سنگ‌های در بر گیرنده سازه سرریز از گنگلومرای پلیوسن و میوسن می‌باشد. گنگلومرای پلیوسن از گنگلومرا و ماسه‌سنگ رسی همراه با رگچه‌های پراکنده گچ می‌باشد که به‌طور دگرشیب بر روی گنگلومرای میوسن قرار دارد. شاخص کیفی توده سنگ جایگاه سرریز در رده متوسط و زون فرسوده آن‌ها بین ۳ تا ۶ متر می‌باشد. از نظر نفوذپذیری در رده سنگ‌های با نفوذپذیری کم کلاسه بندی شده است.

فصل ۲

مروری بر مطالعات پیشین

۲- ۱- مقدمه

فرار آب از مخزن سدها پدیده‌ای است که آب به‌صورت کنترل نشده و به‌دور از انتظار، از طریق مجاری و درزه و شکاف‌های موجود در توده سنگ‌های داخل مخزن، تکیه‌گاه‌ها و یا پی سد خارج می‌گردد و اصولاً هیچ سدی را نمی‌توان یافت که میزان آب‌بندی آن صد در صد باشد. پدیده فرار آب از مخازن سد در بسیاری از سدهای کارستی جهان مشاهده شده است (Milanovic, 2004). در این پدیده، مسیرهای خروج آب را می‌توان به‌صورت زیر تقسیم‌بندی نمود (طلایی، ۱۳۷۸. محمدی، ۱۳۸۳. باقری، ۱۳۸۶):

۱. نشت آب از طریق ساختگاه سد که در بعضی از سدها مانند سدهای خاکی این مسئله علاوه بر از دست دادن آب، با خطرات عمده‌ای از جمله شستشوی مواد ریزدانه خاک، انحلال بعضی از مواد و نهایتاً ایجاد حفراتی در داخل سد و انهدام سد همراه خواهد بود.

۲. خروج آب از محل تماس بدنه سد و سازند زمین‌شناسی موجود در آن که در این صورت علت فرار آب، نامتجانس بودن مواد بکار رفته در ساخت بدنه سد با جنس سازند زمین‌شناسی تکیه‌گاه‌های سد می‌باشد.

۳. خروج و فرار آب از طریق شکستگی‌ها و درزه‌ها و حفرات انحلالی واقع در سازندهای زمین‌شناسی تکیه‌گاه‌های سد

جلوگیری از فرار آب از طریق سازندهای زمین‌شناسی در صورتی که در محدوده زیادی نباشد، امکان‌پذیر است. در این صورت وسعت و عمق محدوده فرار آب، سرعت حرکت آب و مسیر آن باید کاملاً شناخته شده باشد. روش‌های زیادی برای رسیدن به این شناخت وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و هیدروژئولوژیکی اشاره نمود. هرچند در اکثر موارد، مطالعه هم‌زمان روش‌های اشاره شده می‌تواند کارایی بهتر داشته باشد، ولی کاملاً جوابگوی حل مسئله فرار آب از سد نمی‌باشند.

۲-۲ روش‌های مطالعه هیدروژئولوژی کارست در محدوده سدها

احداث سد در مناطق با پتانسیل فرار آب (مخصوصاً در مناطق کارستی) به دلیل توسعه زیاد آنها و همچنین تشکیل منابع عظیم آب در آنها و با توجه به وجود حفرات و مجاری انحلالی، امری رایج می‌باشد. لازمه داشتن یک مخزن ایمن در برابر فرار آب، کسب اطلاعات دقیق از سیستم‌های مجاری کارستی است (Raeisi., 2005). پدیده فرار آب تحت تأثیر مستقیم و یا غیر مستقیم رخساره‌های کارستی عمدتاً افزایش می‌یابد. انحلال کارستی، اشکال مجرایی با ابعاد و شکل هندسی غیر قابل پیش‌بینی را به وجود آورده که دارای نفوذپذیری یک سانتی‌متر تا یک متر بر ثانیه می‌باشند. اهمیت فرار آب بایستی در برآورد هزینه تأکید شود که می‌تواند ۱۵ تا ۲۰ درصد هزینه پروژه را به رفتار پی سد و سایر کارهای مربوط به بررسی رخساره‌های کارستی اختصاص دهد (Mohammadi *et al.*, 2006). در بعضی موارد، فرار آب در طول اولین آبدگیری مخزن سد رخ می‌دهد و شاید مخزن را علاوه بر انجام برنامه‌های آب‌بندی برای آن، از پر شدن آن جلوگیری شود. برنامه طراحی و ساخت پرده تزریق جدید، شاید میزان فرار را به اندازه کمتر از ۵ درصد کاهش دهد. تعداد زیادی از مقاله‌های چاپ شده در زمینه فرار آب از سد بررسی شده است. برخی از مقالات به بخش‌های جزئی مشکلات و برخی به راهکارهایی اشاره کرده‌اند. به هر حال تعداد زیادی راهکار برای فرار آب و ترمیم آن در گزارش‌های شرکت مشاوره وجود دارد. بررسی این سندها نشان می‌دهد که یک یا چند تا از تکنیک‌های زیر برای به دست آوردن اطلاعاتی درباره توسعه کارست و مطالعه فرار آب استفاده شده است (Mohammadi *et al.*, 2006):

✓ بررسی و مطالعه نقشه زمین‌شناسی منطقه و محدوده ساختگاه سد

✓ بررسی هیدروژئولوژی منطقه

✓ بررسی تغییرات سطح آب گمانه‌ها

✓ روش‌های آنالیز هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی

✓ روش‌های ژئوفیزیکی

در بهترین شرایط، این روش‌ها، وجود رخساره‌های کارستی را اثبات کرده‌اند. رفتار رخساره‌های کارستی در جریان آب زیرزمینی در بعضی شرایط نامشخص باقی می‌ماند. بررسی‌ها بایستی درباره دوباره فعال شدن رخساره‌های کارستی قدیمی (Paleokarst) به علت شرایط جدید جریان آب زیرزمینی و یا شسته شدن مواد پرکننده به علت افزایش گرادیان هیدرولیکی تحت آبیگری سد، انجام گیرد. کمبودهای روش‌های بالا، فرضیه عدم قطعیت را در مطالعات فرار آب در مکان‌های کارستی غیرهموژن را تأیید می‌کنند. نقش‌های اصلی رخساره‌های کارستی در ویژگی‌های مربوط به جریان آب زیرزمینی را می‌توان با آزمایش ردیابی، مطالعات هیدروژئولوژی چشمه‌ها و نوسانات آب در گمانه‌ها مشخص کرد. در چند دهه اخیر در دنیا و سال‌های اخیر در ایران، مطالعه کلاسیک اشاره شده همراه با مطالعات ردیابی کاربرد وسیعی پیدا نموده و نتایج شایان توجهی را به همراه داشته است. سطح وسیعی از اطلاعات مربوط به فرار آب، قبل از احداث سد فراهم می‌گردد. اطلاعات به دست آمده از گمانه‌های حفر شده در منطقه نیز تا حدودی جهت و نوع جریان، نوع و ویژگی‌های سازندهای موجود در منطقه را روشن می‌سازد. بنابراین شناخت هیدروژئولوژی و هیدرولوژی و زمین‌شناسی محدوده مؤثر در فرار آب، همیشه نقطه شروع این نوع مطالعات است. اطلاعات کامل‌تر بعد از پر شدن سد و رخ دادن نشت از سازندها فراهم می‌گردد. برای مطالعه هیدروژئولوژی سازند کارستی، چشمه‌ها بهترین شاخص و نماینده از سازند کارستی می‌باشد که منعکس کننده نوع سیستم جریان و ویژگی‌های سازند کارستی منطقه می‌باشد. یکی از اساسی‌ترین مطالعات هیدروژئولوژی کارست، محاسبه بیلان آب و منشأ آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه می‌باشد. تعیین حوضه آبرگیر و منشأ چشمه‌ها در مطالعات منابع آب، آلودگی و سدسازی اهمیت و کاربرد زیادی دارد. اگر سد در حوضه آبرگیر یک چشمه بزرگ ساخته شود، احتمال کارستی شدن و فرار آب از مخزن سد زیاد می‌باشد. محل احتمالی و مرز حوضه آبرگیر هر چشمه با توجه معیارهایی همچون: نزدیک بودن مرز حوضه آبرگیر نسبت به چشمه،

ارتفاع بالاتر حوضه آبرگیر و عدم وجود لایه غیر قابل نفوذ بین حوضه آبرگیر و چشمه، ژئومورفولوژی، تکتونیک و زمین‌شناسی جهت جریان عمومی آب زیرزمینی تعیین می‌شود. از روش‌های ایزوتوپی، ردیابی و هیدروشیمی منابع آب موجود نیز جهت تعیین حوضه آبرگیر و ارتباط بین منشأ با محل استفاده می‌شود. برای بررسی فرار آب نیز روش خاص و معینی وجود ندارد و در هر منطقه براساس شرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی موجود، از تکنیک‌ها و روش‌های خاصی استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی که برای شناسایی فرار آب وجود دارد به صورت زیر تقسیم بندی می‌شوند (جان پرور، ۱۳۸۰):

۱- روش‌های غیر ردیابی (Non-Tracing Technique) که عبارتند از:

- ✓ محاسبه بیلان آب در مخزن سد یا دریاچه
 - ✓ ارتباط میان سطح آب در مخزن سد و میزان فرار آب
 - ✓ آزمون تزریق آب درون گمانه‌ها
 - ✓ مطالعه تغییرات سطح آب در پی‌زومترهای حفر شده در منطقه و ارتباط آن با وضعیت هیدرولوژی و سطح آب در مخزن
 - ✓ روش‌های ژئوفیزیکی
 - ✓ اندازه‌گیری جریان آب در گمانه‌های حفر شده با استفاده از جریان‌سنج‌ها و تعیین لایه و افق‌های نفوذپذیر
 - ✓ بررسی و مطالعه پارامترهای طبیعی آب (ترکیب شیمیایی، دما و ایزوتوپ‌های طبیعی پایدار و ناپایدار)
 - ✓ روش‌های اندازه‌گیری جریان در درون مخزن برای تعیین محدوده نفوذ و نرخ نفوذ
- ۲- آزمایش‌های ردیابی با استفاده از تزریق ردیاب مصنوعی در درون گمانه‌ها یا مخزن سد.

۲- ۲- ۱ مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی

مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی یکی از سودمندترین روش‌ها می‌باشد که نتایج حاصل از آن تصویر و مدل تفهیمی بسیار خوبی از منطقه ارائه می‌دهد. مهم‌ترین اهدافی که در این مطالعات به‌منظور بررسی پتانسیل نشت مورد توجه قرار می‌گیرد عبارتند از:

✓ بررسی خصوصیات کمی منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه شامل بررسی سطح آب زیرزمینی و نوسانات آن، جهت جریان، بررسی تغییرات آبدی چشمه‌ها

✓ اندازه‌گیری آب سطحی در فصول خشک و تر در مقاطعی از بالادست و پایین دست محور سد به جهت اطمینان از تغذیه تکیه‌گاه‌ها از آب سطحی و یا رودخانه از تکیه‌گاه‌ها

✓ بررسی خصوصیات کیفی منابع آب موجود در منطقه شامل بررسی تغییرات هدایت الکتریکی، تغییرات آنیون‌ها و کاتیون‌ها

✓ نحوه ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌ها با منابع آب پایین دست و دره‌های مجاور

✓ تعیین وضع تراوایی زون‌های ارتباطی

✓ مطالعات زمین‌شناسی نیز به‌عنوان مطالعات پایه در پروژه‌های عمرانی کاربرد دارد و بسته به اهداف هر پروژه انتظارات خاصی را برآورده می‌نمایند. مهم‌ترین اهداف کاربرد مطالعات زمین‌شناسی در بررسی نشت و فرار آب از مخازن و تکیه‌گاه‌های سدها عبارتند از:

✓ تعیین و تفکیک سازندها و مناطق با پتانسیل ذخیره و انتقال آب با توجه به خصوصیات هیدروژئولوژیکی آنها

✓ بررسی‌های زمین‌شناسی ساختمانی اعم از بررسی گسل‌ها، شکستگی‌ها، چین خوردگی‌ها و خطواره‌ها

الف: بررسی‌های هیدروژئولوژیکی

براساس تراوایی سازندها، وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با منابع آب مجاور، ارزیابی وضعیت هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی در دیواره‌های مخزن بعد از آگیری مخزن و امکان رخداد جریان آب زیرزمینی به لحاظ بار هیدرولیکی ایجاد شده و انرژی مورد نیاز برای انتقال آب (افت بار) در مسیرهای مورد نظر، نقاط دارای پتانسیل نشت و فرار آب مشخص می‌شوند. در بررسی‌های هیدروژئولوژیکی با اندازه‌گیری سطح آب در پیزومترهای حفر شده، نقشه هم پتانسیل منطقه تهیه می‌شود. در مطالعات هیدروژئولوژی بررسی برخی موارد که در زیر شرح داده شده را می‌توان از بهترین روش‌های شناسایی مسیر فرار آب از مخزن سدها دانست.

- ارزیابی بیلان دریاچه سد

مقدار فرار و نشت آب از مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با تراز سطح آب دریاچه رابطه مستقیمی دارد. هرچه ارتفاع آب درون مخزن بالاتر رود به علت افزایش بار هیدرولیکی و اضافه شدن محدوده‌های جدیدی با پتانسیل نشت و فرار آب که در ترازهای پایین‌تر آب، دخالتی در فرار و نشت آب نداشتند، مقدار نشت و فرار آب از مخزن و تکیه‌گاه‌های سد بیشتر خواهد شد.

با توجه به شرایط محلی و ویژگی‌های زمین‌شناسی ساختگاه و تکیه‌گاه‌های سد می‌توان مقدار نشت و فرار آب احتمالی را از طریق تغییرات تراز آب دریاچه و محاسبه بیلان سد به دست آورد و در واقع می‌توان رابطه بین تراز آب در مخزن و مقدار فرار آب و نشت را به دست آورد. این رابطه معمولاً یک رابطه خطی نیست و بسته به زمین‌شناسی منطقه و ویژگی‌های ساختاری تکیه‌گاه‌ها می‌تواند رابطه پیچیده‌ای باشد به گونه‌ای که با بالا رفتن سطح آب در مخزن سد، سطح تماس مخزن و تکیه‌گاه‌ها با آب افزایش می‌یابد و در نتیجه محدوده‌های وسیع‌تری که قبلاً در فرار و نشت آب از مخزن و تکیه‌گاه‌ها نقش نداشتند وارد عمل می‌شوند

و به‌طور کلی می‌توان گفت مناطق با پتانسیل نشت و فرار آب و مستعد در هدایت آب در ترازهای مختلف کاملاً متفاوت می‌باشد که به شرایط زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد.

- بررسی چشمه‌های پایین دست سد

یکی از راه‌های شناسایی و تشخیص نشت و فرار آب از مخزن سدها بررسی تغییرات آبدی چشمه‌های پایین دست سد می‌باشد. بنابراین در مطالعه چشمه‌های پایین دست در راستای بررسی فرار آب از سدها، جنبه‌های ظهور چشمه‌های جدید در پایین دست سد پس از آبدگیری مخزن و تغییرات دبی چشمه‌های دائمی و فصلی موجود در پایین دست سد از مهم‌ترین روش‌های مطالعات در این زمینه می‌باشد. البته قابل ذکر است که تغییرات آبدی چشمه‌ها علاوه بر تراز آب مخزن سد، توسعه و نوع مسیرهای هیدرولیکی محدوده سد و میزان نفوذپذیری توده‌های سنگی مخزن و تکیه‌گاه‌های سد و به تراوایی مواد تشکیل دهنده آبخوان نیز بستگی دارد.

- بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی در گمانه‌های پایین دست سد

بررسی خصوصیات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی می‌تواند حاوی اطلاعات مفیدی از جمله منشأ آن، تراوایی لایه‌ها و فاصله محل‌های تغذیه و تخلیه باشند. کاربردی‌ترین و ساده‌ترین شیوه در مطالعه منابع آب زیرزمینی در راستای نشت و فرار آب از مخزن سدها، بررسی تغییر تراز آب زیرزمینی پایین دست در فصول و سال‌های مختلف قبل و بعد از آبدگیری سد و تفسیر ارتباط آن با تغییرات راقومی آب در مخزن سد می‌باشد. در این روش در صورت فرار آب از مخزن سد و با توجه به جهت جریان و میزان نفوذپذیری توده‌های سنگی معمولاً با یک فاصله زمانی تغییراتی در تراز آب زیرزمینی در پایین دست سد رخ می‌دهد که در ارتباط با تغییرات تراز آب دریاچه سد می‌باشد. البته باید به موقعیت تراز آب زیرزمینی نسبت به تراز کف مخزن و حداکثر تراز آب مخزن توجه شود.

بررسی سطح آب زیرزمینی و تغییرات آن برای بررسی وضعیت هیدروژئولوژیکی آبخوان‌ها بسیار ضروری است. به‌طور کلی مطالعه این امر در شناخت نوسانات سطح آب و ارتباط آن با سامانه ورودی آب به داخل آبخوان و همچنین حداقل و حداکثر ارتفاع سطح آب زیرزمینی می‌تواند در بحث مربوط به فرار آب از مخازن سدها بسیار مفید باشد.

- بررسی ارتباط هیدرولیکی مخزن با چشمه‌های پایین دست و تشخیص زون‌های ارتباطی

میزان نشت در بسیاری از سدها بعد از آبرگیری و افزایش سطح آب دریاچه در نقاط مختلف سد افزایش می‌یابد. این نشت را معمولاً می‌توان به‌صورت افزایش دبی چشمه‌های قدیمی و یا ایجاد چشمه‌های جدید و افزایش سطح تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای پایین دست سد مشاهده نمود. نبود دید دقیق در شرایط کارستی در ساختگاه سدها مخصوصاً در مراحل قبل از ساخت سد، فرار آب بزرگی را در سدهای نواحی کارستی سبب شده است (Mohammadi et al., 2006). به عقیده میلانووویچ (Milanovic, 2004) یک نقشه زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی دقیق با استفاده از روش‌های سنجش از دور، ترکیبی از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی، آزمایش‌های ردیابی آب‌های زیرزمینی و کنترل بلند مدت آب‌های زیرزمینی، از الزامات اساسی در مطالعه نشت می‌باشد. در صورت نشت آب از مخزن و نفوذ آن به آبخوان پایین دست می‌توان تأثیر آن را به‌صورت افزایش دبی چشمه‌ها یا افزایش سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای و نزدیک شدن شیمی آب چشمه‌ها به شیمی آب مخزن سد مشاهده کرد. بررسی و کنترل رفتار متقابل چشمه‌های کارستی موجود در تکیه‌گاه و مخزن سدها به‌منظور شناسایی ارتباط آنها با مخزن و تأثیر آنها بر پایداری بدنه سد بسیار حائز اهمیت است (ماجدی و همکاران، ۱۳۸۶). ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با منابع آب پایین دست ممکن است از طریق نهشته‌های آبرفتی، تشکیلات کارستی و یا سازندهای سخت باشد.

- ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با منابع پایین دست از طریق نهشته -

های آبرفتی

اگرچه در اکثر سدها تکیه‌گاه‌ها و مخازن از طریق سازندهای سخت یا سازندهای کارستی با منابع آب پایین دست ممکن است ارتباط هیدرولیکی داشته باشند، در بعضی موارد ممکن است این ارتباط هیدرولیکی از طریق نهشته‌های آبرفتی انجام شود. در نهشته‌های آبرفتی، بخش‌هایی که نفوذپذیری آنها حدود ۲ الی ۳ برابر نفوذپذیری توده خاک است، بخش اعظم سامانه جریان آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند و این بخش‌ها از نظر بررسی و مقدار فرار و نشت آب حائز اهمیت می‌باشند. به‌منظور بررسی وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بین مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با منابع آب پایین دست سد در نهشته‌های آبرفتی به‌صورت زیر عمل می‌شود. اول این که با انجام بازدید صحرایی وجود یا عدم زون‌های با تراوایی بیشتر مورد شناسایی قرار می‌گیرند. دوم این که با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطح آب زیرزمینی در چاهک‌های مشاهده‌ای و ترسیم نقشه هم‌پتانسل سطح آب زیرزمینی وجود یا عدم وجود جریان زیرزمینی و جهت آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که بررسی سطح آب در داخل چاهک‌های مشاهده‌ای باید برای دو حالت (قبل از آبیگری و بعد از آبیگری مخزن) مورد توجه قرار داده شود.

- ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با منابع آب پایین دست از طریق

سازندهای کارستی

جریان آب زیرزمینی در سفره‌های کارستی از طریق خلل فرج، و شکستگی‌ها، مجاری لوله مانند و دیگر مجاری بزرگ منتقل می‌شود. از آنجایی که شبکه انتقال دهنده آب معمولاً به‌طور یکنواختی توزیع نمی‌شوند، سفره‌های کارستی عموماً ناهمگن و ناهمسو هستند. سازندهای کارستی که ممکن است به‌عنوان تکیه‌گاه‌های سد و دیواره‌ها و یا بستر دریاچه سد مورد استفاده قرار گیرند، شامل سازندهای آهکی و دولومیتی می‌شوند.

این سازندهای سخت دارای نفوذپذیری اولیه بسیار ناچیزی هستند، به گونه‌ای که می‌توان از آن چشم پوشی نمود. در حالی که نفوذپذیری ثانویه این قبیل سنگ‌ها می‌تواند بسیار قابل ملاحظه باشد و این نوع نفوذپذیری معمولاً در امتداد دسته‌های درزه‌ها، زون‌های گسلی، مجاری انحلالی و دیگر فضاهای خالی متمرکز شده است. براساس مطالعات گسترده‌ای که در خصوص نفوذپذیری سازندهای کارستی انجام شده است، می‌توان نفوذپذیری این سازندها را به دو مؤلفه کلی تقسیم نمود: نفوذپذیری اولیه که در داخل بلوک‌های سنگی وجود دارد و نفوذپذیری ثانویه که شامل درزه‌ها و شکستگی‌ها، مجاری انحلالی و سایر فضاهای خالی می‌شود که بین بلوک‌های تقریباً غیرقابل نفوذ این سنگ‌ها ایجاد شده‌اند. میزان نفوذپذیری و توسعه آنها در سازندهای کارستی به درجه کارستی شدن این سازندها وابسته می‌باشد. بنابراین به‌منظور ارزیابی ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌های سد از طریق سازندهای کارستی باید نوع سامانه کارستی و در نتیجه درجه توسعه کارست در منطقه مورد نظر شناسایی شود. بررسی خصوصیات هیدروژئولوژیکی سازندهای سخت به خاطر ناهمگنی آنها مشکل می‌باشد. سازندهای سخت تفاوت فاحشی با نهشته‌های آبرفتی دارند. در سازندهای سخت نفوذپذیری قطعات سنگی در مقایسه با سامانه سطوح لایه‌بندی، مجاری انحلالی، درزه‌ها و شکستگی‌ها قابل اغماض است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نشت آب در سازندهای سخت فقط از میان ناپیوستگی‌های سنگ (شامل انواع مختلف شکستگی‌ها، سطوح لایه‌بندی و مجاری انحلالی) صورت می‌گیرد. در سازندهای سخت که نفوذپذیری آنها عمدتاً به درزه‌ها و شکستگی‌ها محدود می‌شود، چگالی درزه‌ها و شکستگی‌ها، جهت‌یابی درزه‌ها و شکستگی‌ها، بازشدگی، شکل و پرشدگی آنها مهم‌ترین پارامترهایی هستند که بر میزان نفوذپذیری این سازندها تأثیر می‌گذارند. برخلاف سازندهای کارستی که با گذشت زمان نفوذپذیری شکستگی‌ها و مجاری انحلالی به‌دلیلی عملکرد انحلال بیشتر می‌شود، در بیش‌تر سازندهای سخت میزان نفوذپذیری به‌دلیل پرشدگی درزه‌ها و شکستگی‌ها با زمان کاهش می‌یابد. در سازندهای سخت به‌دلیل این‌که از بازشدگی شکستگی‌ها با عمق کاسته می‌شود، قسمت اعظم جریان

در ۹ متر ابتدایی رخ می‌دهد و در اعماق حدود ۳۰ متر مقدار جریان به صفر می‌رسد. شناسایی سامانه جریان در سازندهای سخت با روش‌های ریاضی بسیار مشکل است و برای این امر می‌توان از اطلاعات مربوط به مغزه‌های حفاری، آزمایش پمپاژ، آزمایش ردیابی، اکتشافات ژئوفیزیک و آزمایش لوژان استفاده کرد (کرمی و همکاران، ۱۳۹۳).

- تعیین وضع تراوایی زون‌های ارتباطی

پس از شناسایی زون‌های ارتباطی در محدوده مخزن و تکیه‌گاه‌های سد، لازم است که مقدار تراوایی این زون‌های ارتباطی تعیین شود. نحوه برآورد مقدار نفوذپذیری در زون‌های ارتباطی (زون‌های با تراوایی نسبی بالا) در نهشته‌های آبرفتی و یا در سازندهای سخت متفاوت می‌باشد. در نهشته‌های آبرفتی بهترین و ساده‌ترین روش برآورد مقدار تراوایی زون‌های ارتباطی، انجام آزمایش پمپاژ و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله از این آزمایش می‌باشد. انجام آزمایش لفران و لوژان برای تعیین میزان نفوذپذیری در مواد غیر پیوسته و همچنین سنگ‌های سست و خرد شده (خاک) و سازندهای سخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت این روش در مقایسه با آزمایش پمپاژ کمتر است.

ب) بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی

هیدروژئوشیمی راهکاری برای درک بهتر از شرایط هیدروژئولوژی ساختگاه سد است. در این خصوص، اندازه‌گیری پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی آب از قبیل هدایت الکتریکی، اسیدیته، درجه حرارت، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در منطقه مورد نظر و منابع آب مجاور می‌تواند اطلاعات مفیدی مبنی بر وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌ها سد با منابع آب مجاور ارائه دهد. در میان خصوصیات هیدروژئوشیمیایی، تغییرات هدایت الکتریکی و نسبت‌های یونی (برای مثال نسبت کلر به مجموع آنیون‌ها و یا نسبت سدیم به مجموع کاتیون‌ها و دیگر نسبت‌های آنیونی و کاتیونی) در مقایسه با غلظت تک تک

کاتیون‌ها و آنیون‌ها بسیار مفیدتر و گویاتر می‌باشد. چنانچه تغییرات هدایت الکتریکی و همچنین تغییرات نسبت‌های یونی در هر منطقه مطالعه با منابع آب همخوانی داشته باشند، به احتمال قوی ارتباط هیدرولیکی وجود دارد. چنانچه دو یا چند مورد از موارد مذکور، وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه-گاه‌های سد با منابع آب مجاور را به وضوح بیان نمایند احتمال وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی بسیار زیاد خواهد بود. بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدروشیمی یک از مطالعات پایه‌ای در طراحی و اجرای سدها می‌باشد. آب زیرزمینی در اثر حرکت در درز و شکستگی‌ها یا خلل و فرج زمین در تماس با مواد مختلف قرار گرفته و با توجه به قابلیت انحلال آن، حاوی مقادیری از کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول می‌گردد. در نتیجه با بررسی تغییرات مقادیر و نوع مواد محلول در مسیر جریان آب زیرزمینی می‌توان به بسیاری از خصوصیات آبخوان و تأثیرات عواملی که به نوعی با آب زیرزمینی در ارتباط می‌باشند، پی برد. این عوامل شامل سازندهای منطقه، مسیر جریان آب زیرزمینی، چگونگی ارتباط هیدروژئولوژیکی آب‌های سطحی و زیرزمینی و اثر نواحی تخلیه و تغذیه می‌گردد.

۱. هیدروشیمی چشمه‌ها

ترکیب شیمیایی آب همیشه اطلاعات با ارزشی در مورد جریان آب زیرزمینی و منشأ خروجی را ارائه می‌دهد. در اغلب اوقات آب مخزن دارای محتوای نمک کمی هستند که در طول مسیر حرکت از میان سنگ‌ها تغییر می‌یابد. اگر آب از میان محیط متخلخل دانه‌ای عبور کند، این تغییرات معمولاً خیلی بیشتر از حالتی است که آب از میان سنگ‌های تحکیم یافته حرکت کند. در بعضی از حالت‌ها، اندازه‌گیری ساده هدایت الکتریکی آب کافی است. هرچند آنالیز شیمیایی کامل نمونه‌ها توصیه می‌شود. این امر به‌خصوص هنگامی که آب در تماس با انواع مختلفی از سنگ‌ها باشد، ضروری است. به‌طوری که اثر یک عنصر و یا یک ترکیب جزئی، می‌تواند اطلاعات با ارزشی را ارائه نماید. هنگامی که چندین چشمه موجود باشد، هدایت

الکتریکی آب می‌تواند اطلاعات کیفی از زمان انتقال (Transit Time) نسبی آب از مخزن به نقطه خروجی را بیان نماید. معمولاً ضریب هدایت الکتریکی بالا مربوط به انتقال زیاد می‌باشد.

۲. هیدروشیمی گمانه‌ها

گمانه‌ها را می‌توان برای بیان جریان آب زیرزمینی از مخزن تا چشمه‌ها جهت تحقیقات در رابطه با جریان آب زیرزمینی در کل ضخامت سازند زمین‌شناسی اشباع از آب به کار برد. هنگامی که از گمانه‌ها برای بررسی جریان آب زیرزمینی از مخزن به طرف چشمه‌ها استفاده شود، مقدار متوسطی از هدایت الکتریکی مشاهده می‌گردد زیرا این پارامتر در طول مسیر تغییر می‌کند. هدایت الکتریکی بالای گمانه‌ها نسبت به چشمه‌ها، نشان دهنده این است که این گمانه، لایه نفوذپذیر مرتبط با فرار آب را قطع نکرده است. این احتمال نیز وجود دارد که آب این گمانه با آب‌های دیگری با هدایت الکتریکی پایین مخلوط شود، بدون این که از چشمه خارج شود. در کل برای تعیین منشأ و مسیرهای گوناگون آب‌هایی که هدایت الکتریکی متفاوتی دارند، آنالیز شیمیایی کامل نمونه‌ها استفاده می‌شود.

۲-۳ مروری بر مطالعات و پروژه‌های انجام شده

در زمینه مطالعه فرار آب و نشت از ساختگاه‌های سدهای مختلف خاکی و بتنی پژوهش‌های مختلفی در ایران و دنیا انجام شده است که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌گردد.

ترکمن و همکاران (S.Turkmen et al., 2001)، نیز به بررسی مسئله فرار آب از پی آهکی سد Kalecik در جنوب ترکیه پرداخته‌اند. جهت تعیین مسیر فرار آب و الگوی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه، مطالعات هیدروژئولوژی و سه آزمایش ردیابی انجام شد. توسعه کارست در امتداد درزه و شکاف موجود در سنگ‌های آهکی صورت گرفته است. برای مطالعات بیشتر، تعدادی گمانه جهت مطالعه نوسانات سطح آب

زیرزمینی و همچنین مطالعات هیدروشیمی و ردیابی، حفاری گردید. که در نهایت ساخت یک پرده تزریق در زیر سد پیشنهاد گردید.

رئیزی و همکاران (Raeisi *et al.*, 2004)، با انجام یک آزمایش ردیابی در ساختگاه سد سازبن، ۱۰ کیلوگرم ماده رنگی اورانین را در یک گمانه ۲۰۰ متری که در تکیه‌گاه راست و درون مخزن واقع شده بود، تزریق کرد. این گمانه در سازند آسماری فوقانی حفر گردیده بود و نفوذپذیری بالایی داشت. نمونه‌برداری از همه گمانه‌ها و چشمه‌ها و رودخانه به مدت ۵ ماه انجام گرفت. رنگ در چهار گمانه در تکیه‌گاه چپ ظاهر شد. نتایج ردیابی نشان داد که جریان آب بر خلاف شیب سازندهای آسماری تحتانی و فوقانی حرکت می‌کند. سرعت حرکت رنگ در حد بین افشان-مجریایی بود. براساس موقعیت زمین‌شناسی منطقه، ۵ گزینه پتانسیل مسیر حرکت آب پیشنهاد گردیده است که یکی از آنها براساس نتایج مدل ردیابی، سطح تراز آب، هدایت الکتریکی و نفوذپذیری، به‌عنوان مدل احتمالی حرکت آب انتخاب گردید. نتایج یک آزمایش ردیابی به تنهایی برای مشخص کردن توسعه کارست در چنین منطقه پیچیده کارستی کافی نمی‌باشد. مطالعات دقیق‌تر زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و دو آزمایش ردیابی دیگر برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردید.

یانگ‌لی و همکاران (Jin-Yang Lee *et al.*, 2005) به بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی سد بزرگ خاکی Unmun با نگرشی بر فرار آب، پرداخته است. این سد خاکی با هسته رسی و پوسته گراول ماسه‌ای بر روی رودخانه Nakdong در کشور کره ساخته شده است. بعد از آگیری کامل مخزن سد، موقعی که ارتفاع سطح آب در مخزن حدود ۱۵۰ متر رسید، سه حفره نشست (Sinkholes) در تاج سد پیدا شد. مطالعات هیدروژئولوژیکی (سطح آب مخزن، هدایت هیدرولیکی عمودی و افقی و میزان نفوذپذیری، آنالیز کیفیت آب، تغییرات الکتریکی (EC) به‌طور پیوسته انجام شد. با توجه با نتایج این مطالعه، احتمال فرار آب و نشت مربوط به جناح چپ سد و با گسترش کمتر در جناح راست وجود داشته است.

قبادی و همکاران (Gobadi et al., 2005)، به بررسی مسئله نشت در تکیه‌گاه راست سد شهید عباس‌پور پرداختند. جهت بررسی نشت از تکیه‌گاه راست از داده‌های شیمی آب، ردیابی مواد رنگی و آزمون XRF استفاده شد. نتایج نشان داد که فرار و نشت آب از طریق واحدهای آهکی کارستی از جناح راست به سمت پایین دست صورت می‌گیرد که توسعه و اجرای پرده تزریق برای جلوگیری از نشت بیش‌تر، در نهایت پیشنهاد شد.

کریمی و همکاران (Karimi et al., 2007)، به بررسی پتانسیل فرار آب از ساختگاه سد خرسان ۳، پرداختند. سد خرسان ۳ بر روی سازند آسماری در جنوب ایران قرار دارد. آهک آسماری در ساختگاه سد شامل یک سفره آزاد و سه زیرسفره آرتزین می‌باشد. سفره آرتزین در عمق ۲۰۰ متری در زیر ساختگاه سد قرار داشته و در فاصله حدود ۵۰۰ متری از ساختگاه به سمت پایین دست سد در سطح زمین رخنمون پیدا کرده است. هدف از این مطالعه، بررسی مسیر نشت و تعیین الگوی توسعه کارست می‌باشد که برای این منظور، مطالعات هیدروژئولوژی، هیدروشیمی و ایزوتوپ‌های محیطی آب، انجام شد. جهت جریان عمومی آب در ساختگاه سد به سمت پایین دست سد می‌باشد. و فرار آب از طریق زیر سفره آرتزین آزاد اتفاق می‌افتد چون که آب مخزن در تماس مستقیم با سازند آسماری است حتی آن طرف‌تر از پرده تزریق و احتمال دارد که نشت از طریق سیستم مجرای رخ دهد. همچنین سطح آب در زیر سفره آرتزین حدود ۱۴۲ متر کم‌تر از سطح مخزن است که دلیل آن می‌تواند توسعه کارست در آن منطقه باشد.

گل‌تکین و همکاران (Gultekin et al., 2010)، به مطالعه و بررسی منشأ چشمه‌های آب گرم هامامایاگی (Hamamayagi) پرداختند. چشمه آب گرم هامامایاگی با دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد، در امتداد گسل شمالی آناتولی در ترکیه واقع شده است. با توجه به نسبت‌های ایزوتوپی ^2H ، ^3H ، ^{18}O و همچنین با در نظر گرفتن رابطه بین δO^{18} - δH^2 منشأ همه آب‌ها متئوریک (Meteoric) تشخیص داده شد.

مظفری و همکاران (Mozafari et al., 2012)، به منظور تعیین مسیر نشت و فرار آب از سد دوستی و همچنین بررسی ارتباط هیدرولیکی بین مخزن سد و چشمه‌های پایین دست، مطالعات هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی و آزمایش ردیابی با ۵۰ کیلوگرم ماده رنگی فلئورنس سدیم در گمانه تزریقی با عمق ۱۱۳ متر، انجام دادند. سد دوستی بین مرز ایران و ترکمنستان با ظرفیت مخزن ۱/۲۵۰ میلیون متر مکعب، سد خاکی با هسته رسی با ارتفاع ۶۵۵ متر، بر روی رودخانه هریود ساخته شده است. لیتولوژی جناح راست سد شامل سازند ماسه سنگی نیزار، سازند آهکی کلات و پسته‌لیق است و مخزن سد در ارتباط مستقیم با این سازندها در جناح چپ می‌باشد. بعد از آگیری سد، تعدادی چشمه در پایین دست سد مشاهده شد. برای این موضوع پرده تزریق اجرا و طراحی شد. نوع سیستم جریان در حد افشان بوده که نشان از عملکرد مطلوب پرده تزریق در سازند پسته‌لیق بوده است. ماده رنگی در سایر سازندها مشاهده نشد زیرا گمانه تزریقی در تماس مستقیم با این سازندها نبود. به منظور تعیین ارتباط هیدرولیکی بین مخزن و سازندهای محدوده سد مطالعات هیدروژئوشیمی انجام شد که نتایج نشان داد که مخزن سد با سازند نیزار ارتباط دارد و میزان نشت از این سازند با گردایان هیدرولیکی ۲۴٪ است که عملکرد خوب پرده تزریق را نشان می‌دهد. در صورت افزایش میزان فرار و نشت آب از مخزن سد در آینده، انجام آزمایش‌های ردیابی در سازندهای نیزار و کلات پیشنهاد داده شد.

ناصر و همکاران (Nasseh et al., 2013)، به بررسی پتانسیل نشت از جناح چپ سد بیدواز واقع در جنوب منطقه کپه داغ و در ۲۰ کیلومتری اسفراین، پرداخته است. این سد خاکی سنگریزه‌ای با ارتفاع ۶۶ متر بر روی پی آبرفتی ساخته شده و برای مصارف کشاورزی و همچنین پرورش ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختگاه سد بیدواز اسفراین از نظر تقسیمات زمین‌شناسی ایران در جنوب منطقه ساختمانی کپه داغ قرار دارد. تکیه‌گاه‌های چپ و راست که دیواره‌های جنوبی مخزن را تشکیل می‌دهند و نیز پی مرکزی سد از آهک تیرگان به سن کرتاسه پایین تشکیل شده است. همزمان با آگیری سد در سال ۲۰۰۳ مقداری نشت

آب در محدوده پاشنه سد در پایین دست مشاهده گردید و برای این موضوع پرده تزریق طراحی و اجرا شد. جهت ارزیابی پتانسیل نشت از جناح چپ سد و همچنین بررسی عملکرد پرده تزریق در منطقه مورد مطالعه، مطالعات هیدروژئولوژی و تکنیک ردیابی انجام شد. در عملیات ردیابی از دو ماده رنگی اورانین و رودامین B استفاده شد. نتایج نشان می دهد که فرار آب از جناح چپ سد بیدواز وجود دارد.

چشمی و همکاران (Cheshomi *et al.*, 2014)، به منظور برآورد و پیش‌بینی میزان نشت و فرار آب از تکیه‌گاه راست سد سیمره با استفاده از داده‌های سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین دبی چشمه‌های پایین دست، از مدل عددی (Numerical Modeling) استفاده کردند. نتایج مدل نشان داد که اگر سطح آب مخزن در طی آبیگری سد بالا بیاید امکان نشت و فرار آب از جناح راست سد وجود دارد.

زو و همکاران (Zhou *et al.*, 2014)، در مطالعه‌ای موردی به بررسی و منبع و منشأ تغذیه آب‌های زیرزمینی محدوده پی ساختگاه سد کینگجو (Qingju) در چین، با استفاده از ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن پرداختند. نتایج ایزوتوپی نشان داد که منبع اصلی تغذیه آب‌های زیرزمینی محدوده پی سد، بارش است.

گوتیرز و همکاران (Gutierrez *et al.*, 2015)، به بررسی مسئله نشت و فرار آب از سدهایی که بر روی کارست‌های تبخیری و انحلالی ساخته شده‌اند، در یک مطالعه موردی روی سد لالوتتا (La Loteta) پرداخته است. این سد خاکی با ظرفیت مخزن ۱۰۵ میلیون متر مکعب به طول ۱۴۲۷ متر و حداکثر ارتفاع ۳۴ متر از کف و سطح نرمال آب مخزن ۲۹۹ متر بر روی رودخانه ابرو (Ebro River) در یک منطقه کارست تبخیری در شمال شرقی اسپانیا، ساخته شده است. پی و تکیه‌گاه‌های سد بر روی یک واحد گچی به ضخامت ۱۱ متر قرار دارند. وجود سنگ گچ در جناح چپ سد، به‌طور قابل توجهی شواهد زیادی از کارستی شدن نشان داده است. مهم‌ترین نشت و فرار آب از جناح چپ، در زیر و نزدیک لبه بدنه سد رخ می‌دهد. همچنین همبستگی زمانی بین سطح آب مخزن و سطح آب درگمانه‌های موجود در پایین دست، نشان‌دهنده ارتباط هیدرولیکی مؤثری بین مخزن و مناطق پایین دست سد است. به‌منظور جلوگیری و کنترل میزان نشت و

فرار آب در سد، کاهش سطح آب مخزن به ارتفاعی که میزان نشتی به طور قابل توجهی تقلیل یابد و همچنین ساخت و اجرای یک دیوار آب بند سیمانی-پلاستیک بین هسته رسی و جناح چپ تا مانع فاصله موجود شود، پیشنهاد شد.

مظفری و رئیسی (Mozafari and Raeisi., 2015)، به مطالعه مسئله فرار آب و تعیین مسیر نشت از مخزن سد کوثر پرداختند. این سد خاکی با ارتفاع ۱۴۴ متر و ظرفیت مخزن ۵۸۰ میلیون متر مکعب و سطح نرمال مخزن ۶۲۵ متر بر روی رودخانه خیرآباد ساخته شده است. منطقه سد کوثر جزئی از زاگرس چین خورده است و محدوده ساختگاه سد بر روی یال شمالی طاق‌دیس دوک قرار دارد. سازند آهکی آسماری، سازند غالب در منطقه است و پی و تکیه‌گاه‌های سد بر روی این سازند ساخته شده‌اند. فرار آب از بالادست ساختگاه به سمت چشمه‌های پایین دست بیشتر از طریق یک سیستم جریان مجرای توسعه یافته سازند آسماری صورت می‌گیرد. بعد از آگیری مخزن سد چندین چشمه جدید در پایین دست مشاهده شد. جهت تعیین مسیر فرار آب و الگوی توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه، مطالعات هیدروژئولوژی انجام شد. برای بررسی بیشتر همچنین رفتار بده چشمه‌های پایین دست و اندازه‌گیری دبی این چشمه‌ها با استفاده از روش حجمی و سرریز برای حدوداً دو سال، تغییرات سطح آب در گمانه‌ها و مخزن سد نسبت به یکدیگر در یک دوره هفت ساله، مطالعات هیدروشیمی، ثبت تغییرات هدایت الکتریکی (EC) به صورت ماهانه و انجام آزمایش‌های نفوذپذیری (تست لوژان) صورت گرفت. نتایج نشان داد که مسیر فرار آب از زیر یا بین پرده تزریق نبوده و مسیر اصلی نشت از سیستم جریان مجرای از سازند آسماری می‌باشد که برای اطمینان بیشتر ساخت یک پرده تزریق جدید در بالادست سازند گچساران در جناح راست سد و همچنین انجام آزمایش‌های ردیابی پیشنهاد گردید.

باتاگلیا و همکاران (Battaglia et al., 2016)، برای تشخیص مسیرنشت و فرار آب از سد بامبونا، آزمایش‌های ردیابی با ماده رنگی فلئورسنت انجام داد که موفقیت آمیز بود. آزمایش ردیابی فلورسنت تأثیرگذارترین

روش برای تشخیص نشت از سد تشخیص داده شد که می‌تواند در مورد سایر سدها نیز مورد استفاده قرار گیرد.

باقری و همکاران (۱۳۸۶)، به بررسی پتانسیل فرار آب از ساختگاه سد سیمره پرداختند. هدف از این مطالعه، تعیین ارتباط هیدرولیکی بین دو یال تاقدیس راوندی و پتانسیل فرار آب از مخزن پس از آبگیری سد با استفاده از ردیابی ماده رنگی بود که در نهایت گسترش و توسعه گالری پرده تزریق تا سازند گچساران و تزریق سیمان در بخش‌های خرد شده و یا مجاری کارستی پیشنهاد گردید.

ماجدی و همکاران (۱۳۸۶)، به ارزیابی متغیرها و ردیابی چشمه کارستی سبزاب به منظور بررسی ارتباط هیدرولیکی آن با مخزن سد شهید عباس‌پور پرداختند. بررسی این متغیرها در کنار فرآیند ردیابی رسوبی چشمه و آزمایش‌های XRD رس‌های چشمه، مخزن و سازندهای تکیه‌گاه، در خصوص ارتباط هیدرولیکی و منشأ چشمه قطعیت نشان داد. پس از قطعیت از منشأ دبی چشمه و رس‌های موجود در آن مشخص گردید که این چشمه کارستی با مخزن سد ارتباط هیدرولیکی نداشته و رس‌های موجود در آن نیز با رسوب‌های مخزن متفاوت بوده است.

سپندار و همکاران (۱۳۸۷)، از داده‌های هیدروژئوشیمی برای شناخت بهتر شرایط هیدروژئولوژی ساختگاه سد سیمره استفاده کردند. در این مطالعه از نتایج آنالیز شیمیایی تعداد ۱۴ نمونه آب برداشت شده از ۹ منبع آبی واقع در محدوده جناح راست ساختگاه سد در دو فصل تر و خشک در یک سال برای بررسی هیدروژئوشیمی ساختگاه سد سیمره استفاده شد. نتایج به دست آمده از آنالیز شیمیایی و تفسیر داده‌ها حاکی از آن بود که تیپ آب در جناح چپ کلروره سدیک می‌باشد. می‌توان از تأثیر لایه‌های نمک سازند گچساران و همچنین طی کردن مسافت طولانی آب از طاق‌دیس ویزنهار به طاق‌دیس راوندی به عنوان دلیل اصلی این مطلب یاد کرد. اما تیپ و رخساره نمونه‌های برداشت شده از جناح راست به علت رخنمون کم سازند گچساران و همچنین جوان بودن آب (زمان ماندگاری کم) بی‌کربناته و سولفات کلسیک بود.

میرانی و اسپندار (۱۳۸۸)، در مطالعه‌ای به بررسی پدیده نشت از پی سد بیدواز با استفاده از مدل سازی دو بعدی جریان پایدار، پرداختند. نتایج حاصل از مدل سازی بیانگر این بود که میزان نشت که از طریق پی مرکزی و بدنه سد صورت می‌گرفت بسیار کم بوده و در مقابل نشت کل ساختگاه ناچیز است. بیشترین میزان نشت از تکیه‌گاه‌های سد و مقدار کمی از فضای زیر پرده تزریق عبور می‌کرده که توسعه پرده تزریق می‌تواند تا حدی از فرار آب از تکیه‌گاه‌ها جلوگیری کند.

داموغ و زارعی (۱۳۸۸)، به بررسی ارتباط هیدرولیکی رودخانه کارون (مخزن) در محل سد کارون ۳ و چشمه‌های پایین دست قبل و بعد از آگیری سد پرداختند. در این پژوهش با استفاده از مطالعات زمین-شناسی و هیدروژئولوژیکی امکان ارتباط هیدرولیکی رودخانه کارون در بالادست موقعیت سد با چشمه‌ها، قبل و بعد آگیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد قبل از آگیری سد، ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه کارون و چشمه‌های مذکور وجود نداشته است اما با آگیری سد امکان ارتباط مخزن و چشمه‌ها برقرار شده است.

اجل لوثیان و همکاران (۱۳۹۰)، به‌طور موردی به موضوع نشت در سد تنگاب سمیرم پرداخته است. در فاز اول مطالعات ساختگاه سد تنگاب، ۸ گمانه اکتشافی حفاری شده و در گمانه‌های مذکور حدود ۱۲۰ آزمایش لوژان جهت ارزیابی میزان نفوذپذیری و نشت و تعیین رفتار هیدرولیکی در مقاطع مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت که در پایان براساس لوژان به دست آمده از آزمایش‌های فشار آب، هدایت هیدرولیکی محاسبه و میزان نشت از ساختگاه برآورد شد.

صهبانیا و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی ارتباط هیدرولیکی مخزن و پایین دست در جناح راست سد سیمره پرداختند، هدف از این تحقیق، بررسی پتانسیل نشت از مخزن سد با استفاده از داده‌های سطح تراز آب، آبدهی چشمه‌ها و پارامترهای شیمیایی بود که در نهایت این بررسی‌ها نشان داد که یال شمالی تاقدس در ارتباط هیدرولیکی با مخزن است، اما یال جنوبی به طور بسیار محدود و نامفهومی این ارتباط را نشان داد.

بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژی، هیدرولوژی و زمین‌شناسی از مطالعات اساسی در طراحی سدها و بررسی میزان فرار آب می‌باشد. یکی از اساسی‌ترین مطالعات هیدروژئولوژی، محاسبه بیلان و منشأ آب چشمه‌های محدوده مورد مطالعه می‌باشد. علاوه بر این، مطالعات هیدروژئوشیمی نیز برای درک بهتر از شرایط هیدروژئولوژی ساختگاه سد به کار می‌رود. یک نمای کلی از مطالعات نشان می‌دهد که تکنیک‌های ذیل بیشترین کاربرد را در مطالعه و شناسایی منبع و مسیر نشت و فرار آب دارد:

- ✓ رفتار دبی چشمه‌های پایین دست سد
- ✓ تغییرات سطح آب در گمانه‌ها و مخزن سد
- ✓ مطالعات هیدروژئوشیمی
- ✓ آزمایش‌های ردیابی
- ✓ مطالعات ایزوتوپی
- ✓ روش‌های ژئوفیزیکی
- ✓ حفاری‌های اکتشافی، نفوذپذیری سنگ‌ها (تست لوژان) و طراحی و عملکرد پرده تزریق

فصل ۳

روش مطالعه

مقدمه

جهت بررسی دقیق و جامع هر مطالعه، جمع‌آوری و کسب اطلاعات از محدوده مطالعاتی امری ضروری می‌باشد. در این مطالعه به‌منظور بررسی هیدروژئولوژی محدوده ساختگاه سد دامغان و بررسی ارتباط هیدرولیکی احتمالی بین چشمه‌های پایین دست در تکیه‌گاه راست و مخزن سد و همچنین بررسی احتمال فرار آب از مخزن و تعیین محتمل‌ترین مسیر نشت آب از مخزن و تعیین منشأ چشمه‌ها، مراحل ذیل صورت گرفته است:

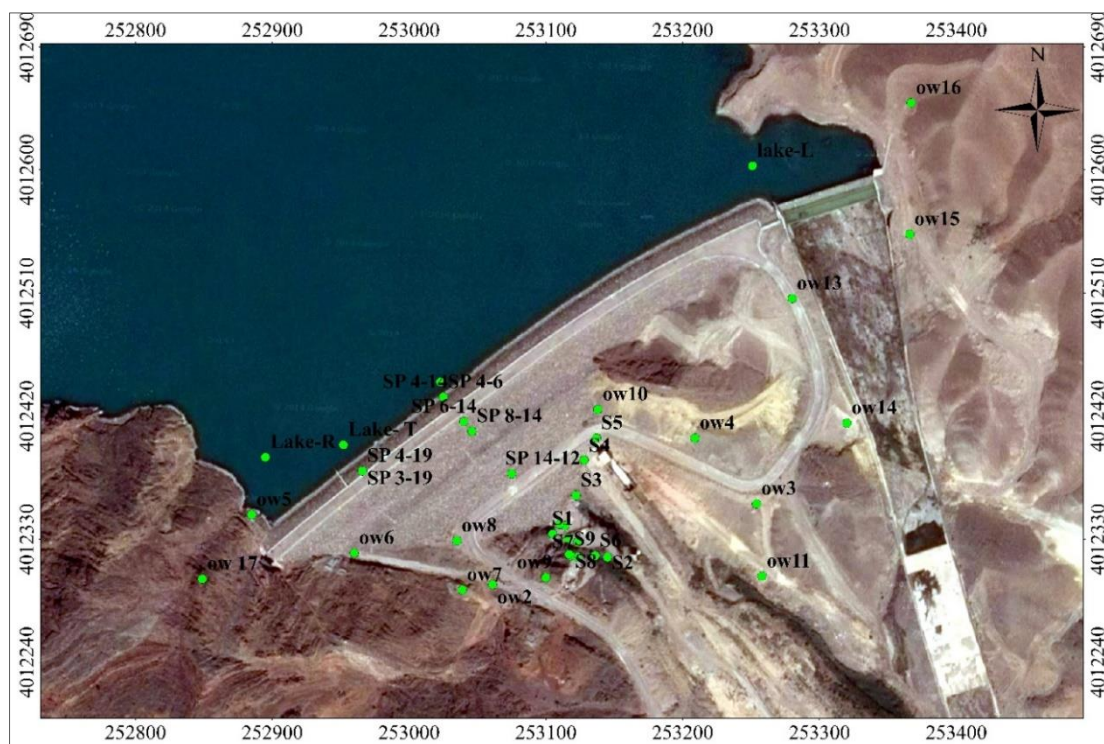
- ۱- انتخاب منابع آب محدوده ساختگاه سد دامغان جهت انجام عملیات نمونه‌برداری
- ۲- تهیه نقشه زمین‌شناسی محدوده ساختگاه سد دامغان با استفاده از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰ سازمان آب منطقه‌ای سمنان با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.2
- ۳- تعیین موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری
- ۴- نمونه‌گیری از منابع آب موجود در محدوده ساختگاه سد دامغان جهت انجام مطالعات آزمایشگاهی
- ۵- اندازه‌گیری‌های صحرایی
- ۶- آنالیزهای آزمایشگاهی
- ۷- محاسبه بیلان دریاچه سد
- ۸- محاسبه بیلان چشمه‌های تکیه‌گاه راست ساختگاه سد دامغان
- ۹- تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل جهت تعیین جریان آب زیرزمینی در تکیه‌گاه‌ها و پایین دست سد
- ۱۰- بررسی مشخصات ژئوتکنیکی ساختگاه سد بر مبنای نتایج آزمایش‌های موجود
- ۱۱- استفاده از نرم‌افزارهای مناسب جهت تهیه نقشه و نمودارهای مورد نیاز بر مبنای داده‌های موجود
- ۱۲- تحلیل و تفسیر داده‌های مربوط و در نهایت نتیجه‌گیری

۳- ۱ منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه (محدوده ساختگاه سد دامغان)

منابع آب منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل محل نشتی‌هایی است که به صورت چشمه‌هایی در پایین دست تکیه‌گاه راست و همچنین محل اتصال بدنه سد به تکیه‌گاه چپ، ظاهر شده‌اند. ۹ چشمه که هر کدام در طی انجام مرحله بازدید صحرایی شناسایی و نامگذاری شده‌اند که در واقع مهم‌ترین مسئله سد دامغان وجود و ظهور این چشمه‌ها می‌باشد. همچنین پس از آبیگری سد به منظور کاهش فشار آب منفذی در پی سد، در پایین دست آن تعداد ۴ حلقه چاه کاهش فشار حفر شده است که دبی آنها اندازه‌گیری شده است. به منظور اندازه‌گیری فشار آب منفذی در پی و بدنه سد از پیزومترهای مکانیکی کاساگراند استفاده شده است. در طی دوره ساخت ۲۰ پیزومتر در نقاط مختلف و در ابزارگذاری تکمیلی ۵ پیزومتر نصب گردیده است که در اینجا با علامت اختصاری SP شناخته می‌شوند. علاوه بر پیزومترهای نصب شده فوق تعداد ۷ مانومتر در گالری تزریق نیز وجود دارد. جهت سنجش وضعیت تراز آب در تکیه‌گاه‌ها و پایین دست سد، تعداد ۴ حلقه مشاهده‌ای در طی دوره ساخت و تعداد ۱۲ حلقه چاه مشاهده‌ای در ابزارگذاری تکمیلی حفاری و تجهیز شده است، این تجهیزات با علامت اختصاری OW مشخص شده‌اند. از تمامی منابع آب موجود در محدوده ساختگاه سد دامغان در طی سه دوره آماری بهمن، اسفند ۹۴ و خرداد ۹۵ نمونه‌برداری جهت آنالیز شیمیایی صورت گرفت.

۳- ۱- ۱ موقعیت محل‌های نمونه‌برداری

ایستگاه‌های نمونه‌برداری پس از انجام مطالعات اولیه و همچنین بازدیدهای صحرایی از منطقه مطالعاتی انتخاب شدند و موقعیت آنها ثبت گردید. موقعیت جغرافیایی منابع انتخابی محدوده ساختگاه سد دامغان در جدول (۳-۱) و شکل (۳-۱) ارائه شده است.



شکل ۳-۱ موقعیت محل های نمونه برداری

جدول ۳-۱ موقعیت جغرافیایی و محل نمونه برداری منابع آب انتخابی ساختگاه سد دامغان

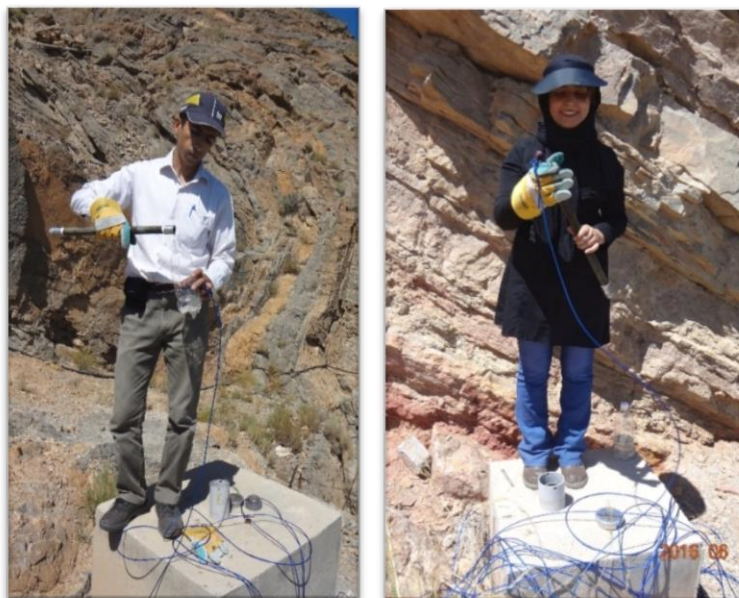
ایستگاه	مختصات بر حسب UTM			ارتفاع از سطح دریا (m)
RP1	X	25-	Y 401-	-
RP2	-	-	-	-
RP3	-	-	-	-
RP4	-	-	-	-
RP5	-	-	-	-
RP6	-	-	-	-
OW2	۲۵۳۰۶۱		۴۰۱۲۲۹۷	۱۲۹۹
OW3	۲۵۳۲۵۴		۴۰۱۲۳۵۶	۱۲۲۶
OW4	۲۵۳۲۰۹		۴۰۱۲۴۰۴	۱۲۶۴
OW5	۲۵۲۸۸۵		۴۰۱۲۳۴۸	۱۳۲۲
OW6	۲۵۲۹۶۰		۴۰۱۲۳۲۰	۱۳۰۷
OW7	۲۵۳۰۳۹		۴۰۱۲۲۹۳	۱۳۰۳
OW8	۲۵۳۰۳۵		۴۰۱۲۳۲۹	۱۲۹۰
OW9	۲۵۳۱۰۰		۴۰۱۲۳۰۲	۱۲۹۴
OW10	۲۵۳۱۳۸		۴۰۱۲۴۲۵	۱۲۹۱

ادامه جدول ۱-۳

OW11	۴۰۱۲۳۰۳	۲۵۳۲۵۸	۱۲۷۸
OW13	۴۰۱۲۵۰۶	۲۵۳۲۸۰	۱۳۱۳
OW14	۴۰۱۲۴۱۵	۲۵۳۳۲۰	۱۴۰۰
OW15	۴۰۱۲۵۵۳	۲۵۳۳۶۶	۱۳۱۵
OW16	۴۰۱۲۶۴۹	۲۵۳۳۶۷	۱۳۲۷
OW17	۴۰۱۲۳۰۱	۲۵۲۸۴۹	۳۳/۱۳۳۷
S1	۴۰۱۲۳۳۴	۲۵۳۱۰۵	۱۲۷۳
S2	۴۰۱۲۳۱۷	۲۵۳۱۴۵	۱۲۷۵
S3	۴۰۱۲۳۶۲	۲۵۳۱۲۲	۱۲۸۱
S4	۴۰۱۲۳۸۸	۲۵۳۱۲۸	۱۲۹۱
S5	۴۰۱۲۴۰۴	۲۵۳۱۳۷	۱۲۹۶
S6	۴۰۱۲۳۱۸	۲۵۳۱۳۶	۱۲۷۳
S7	۴۰۱۲۳۱۷	۲۵۳۱۲۳	۱۲۷۵
S8	۴۰۱۲۳۱۸	۲۵۳۱۱۸	۱۲۷۵
S9	۴۰۱۲۳۱۹	۲۵۳۱۱۷	۱۲۴۵
RW1	۴۰۱۲۳۳۱	۲۵۳۱۱۶	۱۲۸۲
RW2	۴۰۱۲۳۴۰	۲۵۳۱۱۴	۱۲۸۰
RW3	۴۰۱۲۳۲۸	۲۵۳۱۲۳	۱۲۸۱
R-Lake	۴۰۱۲۳۵۹	۲۵۲۸۲۲	۱۳۱۷
L-Lake	۴۰۱۲۶۰۳	۲۵۳۲۵۱	۱۳۱۷
Lake	۴۰۱۲۳۸۸	۲۵۲۹۵۷	۱۳۱۷
SP1-14	۴۰۱۲۴۴۵	۲۵۳۰۲۳	۱۳۲۵
SP2-14	۴۰۱۲۴۴۵	۲۵۳۰۲۳	۱۳۲۵
SP3-14	۴۰۱۲۴۳۴	۲۵۳۰۲۵	۱۳۲۵
SP4-14	۴۰۱۲۴۳۴	۲۵۳۰۲۵	۱۳۲۵
SP6-14	۴۰۱۲۴۱۶	۲۵۳۰۴۰	۱۳۱۲
SP8-14	۴۰۱۲۴۰۹	۲۵۳۰۴۶	۱۳۰۸
SP3-19	۴۰۱۲۳۸۰	۲۵۲۹۶۶	۱۳۲۴
SP4-19	۴۰۱۲۳۸۰	۲۵۲۹۶۶	۱۳۲۴
SP4-6	۴۰۱۲۵۲۰	۲۵۳۱۶۲	۷۱/۱۳۲۴
SP14-14	۴۰۱۲۳۴۱	۲۵۳۱۱۰	۱۲۷۵
SP14-12	۴۰۱۲۳۷۸	۲۵۳۰۷۵	۱۲۹۰
خروجی مخزن سد	-	-	۱۳۱۷
نشتی گالری تزریق	-	-	-
چشمه علی	۴۰۱۸۸۶۹	۲۳۸۰۱۳	۱۴۹۵

۳-۲ نمونه‌گیری از منابع آب موجود در ساختگاه سد جهت آنالیز شیمیایی

جهت بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب ساختگاه سد از دریاچه در سه مقطع (تکیه‌گاه راست، تکیه‌گاه چپ و کنار ترازپای)، ۹ چشمه پایین دست سد و ۱۵ چاه مشاهده‌ای (گمانه) و ۳ حلقه چاه فشار شکن که به موازات محور سد و در پاشنه سد قرار دارند، ۶ مانومتر (فشارسنج) داخل گالری تزریق، آب نشتی از گالری تزریق و آب دریاچه خروجی سد در سه نوبت بهمن، اسفند ۹۴ و خردادماه ۹۵ نمونه‌برداری صورت گرفت. ضمن آنکه از چشمه‌های اطراف ساختگاه سد از جمله چشمه علی در اسفند ۹۴ نمونه جهت آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب برداشت شد. نمونه‌برداری از آب چاه‌های مشاهده‌ای توسط نمونه‌گیر به صورت تدریجی انجام شده تا نمونه برداشت شده نماینده آب در کل طول گمانه باشد شکل (۲-۳). همچنین نمونه‌برداری از پیژومترهای بدنه و پی سد با استفاده از پمپ مکش صورت گرفت. به منظور اندازه‌گیری غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های غالب موجود در آب از قبیل سولفات، پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم، نمونه‌ها در بطری‌های یک لیتری ریخته شد و بر روی بطری تاریخ، نام محل برداشت ثبت گردید. سعی شده است که محل نمونه‌برداری‌ها به دهانه خروجی چشمه نزدیک بوده تا ضمن کاهش میزان آلودگی، معرف بهتری از آب چشمه مورد نظر باشد. پس از جمع آوری، نمونه‌ها جهت آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه مرکزی آب و زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود فرستاده شد.



شکل ۲-۳ نحوه نمونه برداری به روش تدریجی از چاه های مشاهده ای
تکیه گاه راست ساختگاه سد



شکل ۳-۳ نمونه برداری از پیزومتر کاساگراند واقع در تاج سد با استفاده از
پمپ مکش



شکل ۳-۴ نمونه برداری از پیرومتر کاساگراند واقع در بدنه و پی سد با استفاده از پمپ مکش



شکل ۳-۵ نمونه برداری از چشمه های پایین دست در تکیه گاه راست ساختگاه سد دامغان

۳-۳ اندازه‌گیری‌های صحرایی

۳-۳-۱ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)، درجه حرارت (T) و pH

EC یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین خصوصیات هیدروشیمیایی آب است. این فاکتور باید در محل اندازه‌گیری شود. میزان هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity) و pH و آب چشمه‌ها، مخزن سد، چاه‌های مشاهده‌ای، مانومترها در گالری تزریق و سایر نقاط اندازه‌گیری شده است. همچنین دمای آب با استفاده از دماسنج دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد شکل (۳-۶).



شکل ۳-۶ اندازه‌گیری هدایت الکتریکی، pH و دما

۳-۳-۲ اندازه‌گیری دبی چشمه‌های پایین‌دست

دبی چشمه‌های منطقه مورد مطالعه توسط روش حجمی اندازه‌گیری گردید، در برخی محل‌ها که دبی یا کم بوده و یا اندازه‌گیری غیر ممکن بود، به‌صورت تخمینی برآورد شده است شکل (۳-۷).



شکل ۷-۳ اندازه‌گیری دبی چشمه‌های پایین‌دست به روش حجمی

۳-۳-۳ تعیین عمق برخورد به آب در چاه‌های مشاهده‌ای واقع در ساختگاه سد با

استفاده از دستگاه عمقیاب

دستگاه عمق سنج شامل یک پروپ از جنس نیکل با روکش برنجی می‌باشد که در انتها به یک نوار مدرج انعطاف پذیر متصل می‌باشد. این نوار به دور یک قرقره پیچیده می‌شود که در داخل آن یک مدار ترانزیستوری جهت کنترل سیگنال‌های خروجی پروپ قرار دارد. با پایین رفتن پروپ به واسطه نیروی ثقلش به هنگام تماس آن با سطح آب، با ایجاد یک مدار کامل، نشانگر دستگاه با کشیدن صوت و روشن شدن چراغ، رسیدن پروپ به تراز سطح آب را نشان می‌دهد. عمق برخورد به آب در کلیه چاه‌های مشاهده‌ای واقع در ساختگاه سد با استفاده از این روش در طی مراحل نمونه‌برداری و فیلد با دستگاه عمق‌سنج اندازه‌گیری شد شکل (۸-۳).

نکته: دقت دستگاه عمق‌سنج ۱۰+ و ۱۰- میلیمتر است. دستگاه عمق‌سنج در لوله‌های پیزومتر قائم تا زاویه ۲۵ درجه نسبت به قائم نیز قابل استفاده است.



شکل ۳-۸ تعیین عمق برخورد به آب در چاه‌های مشاهده‌ای

۳-۴ آنالیزهای آزمایشگاهی

۳-۴-۱ اندازه‌گیری پارامترهای هیدروژئوشیمیایی در آزمایشگاه

نمونه‌های آب برداشت شده از منابع آبی انتخابی محدوده ساختگاه سد دامغان جهت آنالیز شیمیایی عناصر اصلی (کاتیون‌ها و آنیون‌ها) پس از آماده سازی به آزمایشگاه آب و زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود فرستاده شدند. برای اندازه‌گیری کاتیون‌های قلیایی و قلیایی خاکی سدیم و پتاسیم از دستگاه نورسنجی شعله‌ای (Flam Photometer) استفاده شده است. خطای این دستگاه برای اندازه‌گیری یون‌های سدیم تا 0.01 ppm و برای پتاسیم 10 ppm می‌باشد. کاتیون‌های کلسیم و منیزیم و آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات و کلر به روش تیتراسیون اندازه‌گیری می‌شوند. آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون با اسید استاندارد $N/160$ نرمال و شناساگر فنل فتالین (برای تعیین مقدار CO_3) و شناساگر میتل اورانژ (برای تعیین مقدار HCO_3) اندازه‌گیری شد. میزان کلر از طریق تیتراسیون با تیتراست نقره $N/320$ نرمال و شناساگر

کرومات پتاسیم انجام گرفته است. یون سولفات با استفاده از روش کدر سنجی (Turbiditymetry) توسط دستگاه Turbi Direct اندازه گیری شده است.

۳-۴-۲ محاسبه درصد خطای آزمایش

درصد خطای آزمایش آنالیز شیمیایی یون های اصلی هر نمونه آب، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Hounsflow, 1995).

رابطه ۳-۱

$$Error \% = \frac{\sum Cation - \sum Anion}{\sum Cation + \sum Anion} \times 100$$

در رابطه فوق، مجموع کاتیون ها و آنیون ها بر حسب واحد میلی اکی والان بر لیتر (epm) می باشد.



شکل ۳-۹ آنالیز شیمیایی نمونه های آب به روش تیتراسیون در آزمایشگاه



شکل ۳-۱۰ اندازه‌گیری مقدار سولفات نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کدرسنجی



شکل ۳-۱۱ اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه نورسنجی شعله‌ای

۳- ۵ بررسی مشخصات ژئوتکنیکی ساختگاه سد بر مبنای نتایج

به منظور تعیین محتمل ترین مسیر و نشت آب و شناسایی حفرات کارستی احتمالی موجود در زیر و پی سد همچنین ارزیابی عملکرد پرده تزریق اجرا شده از داده های لوژان (آزمایش های فشار آب) مربوط به ۵ گمانه اکتشافی در جناح راست و میزان حفاری و تزریق سیمان در گمانه های جناح راست و چپ پرده آب بند (سیمان خوری) در کنار شاخص کیفی (RQD) توده های سنگی شالوده سد و درزه برداری انجام شده در تکیه گاه راست استفاده گردیده است.

۳- ۶ نرم افزارهای استفاده شده جهت تهیه نقشه و نمودارهای مورد نیاز

در این پژوهش از نرم افزارهای زیر استفاده شده است:

- نرم افزار Arc GIS 10.2، به منظور ترسیم نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه،
- نرم افزار Diagram، جهت ترسیم نمودار پایپر در تفسیر نتایج آنالیز هیدروشیمیایی
- نرم افزار AqQa، برای ترسیم نمودار پایپر و تعیین تیپ آب و رخساره نمونه های آب مورد آنالیز
- نرم افزار Phree Qc، برای بدست آوردن مقدار نمایه های اشباع نمونه های آب
- نرم افزار Excel 2016، به منظور ترسیم نموداری داده های کیفی و فرآیندهای ژئوشیمیایی و غیره...
- نرم افزار Grapher، جهت نشان دادن تراز سطح آب چاه های مشاهده ای در جناحین سد و پیزومتر- های واقع در بدنه و پی ساختگاه سد دامغان در کنار تراز سطح آب مخزن
- نرم افزار Corel. A.V.E.3 به منظور ترسیم کراس سکشن از مقطع ساختگاه سد

فصل ۴

نتایج و بحث

بخش اول: مطالعات هیدروژئولوژی ساختگاه سد دامغان

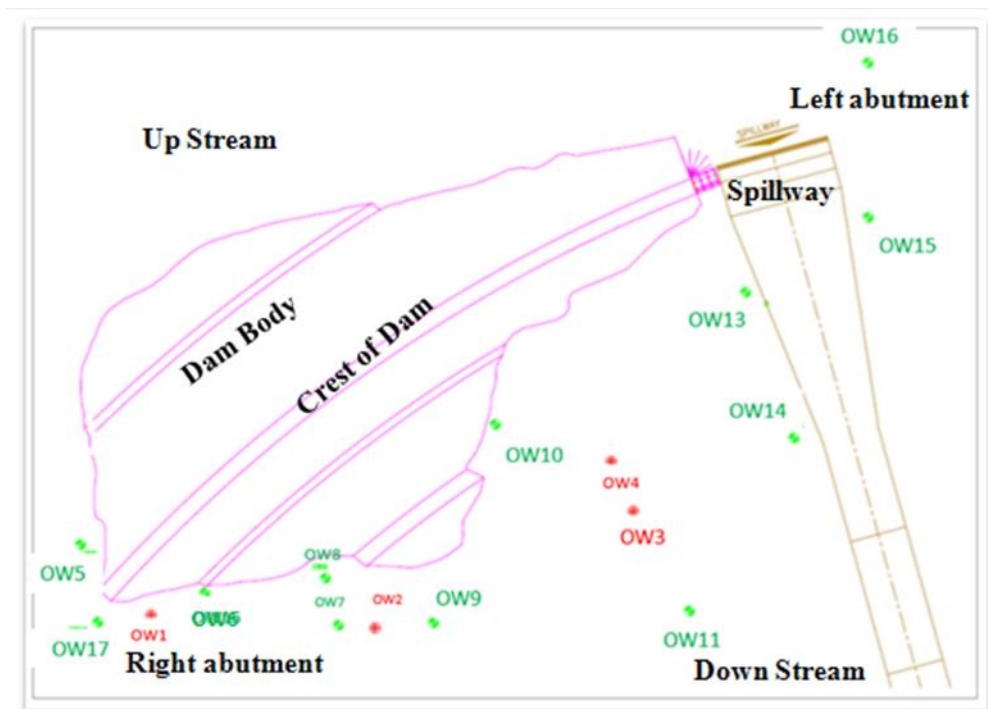
۴-۱ مقدمه

مطالعات هیدروژئولوژی در مشخص کردن رفتار سازندهای در تماس با مخزن، تعیین پتانسیل فرار آب به سمت پایین دست و حوضه های مجاور، تعیین ارتباط هیدرولیکی مخزن با چشمه های پایین دست و شناخت جهت، سرعت و نوع سیستم جریان آب زیرزمینی و طراحی پرده تزریق از اهمیت خاصی برخوردار است. بررسی ویژگی های هیدروژئولوژی و هیدرولوژی از مطالعات اساسی در طراحی سدها و بررسی میزان فرار آب می باشد. براساس تراوایی سازندها، وجود و عدم وجود ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه گاه های سد با منابع آب مجاور، ارزیابی وضعیت هیدرولیکی سفره آب زیرزمینی در دیواره های مخزن بعد از آبگیری مخزن و امکان رخداد جریان آب زیرزمینی به لحاظ بار هیدرولیکی ایجاد شده و انرژی مورد نیاز برای انتقال آب (افت بار) در مسیرهای مورد نظر، نقاط دارای پتانسیل نشت و فرار آب مشخص می شوند. به منظور بررسی و تعیین ارتباط هیدرولیکی بین مخزن سد با منابع آب پایین دست، مطالعات هیدروژئولوژی انجام شده است. منابع آب منطقه مطالعه عمده تاً شامل چشمه هایی در پایین دست سد و در تکیه گاه راست ساختگاه سد دامغان می باشد.

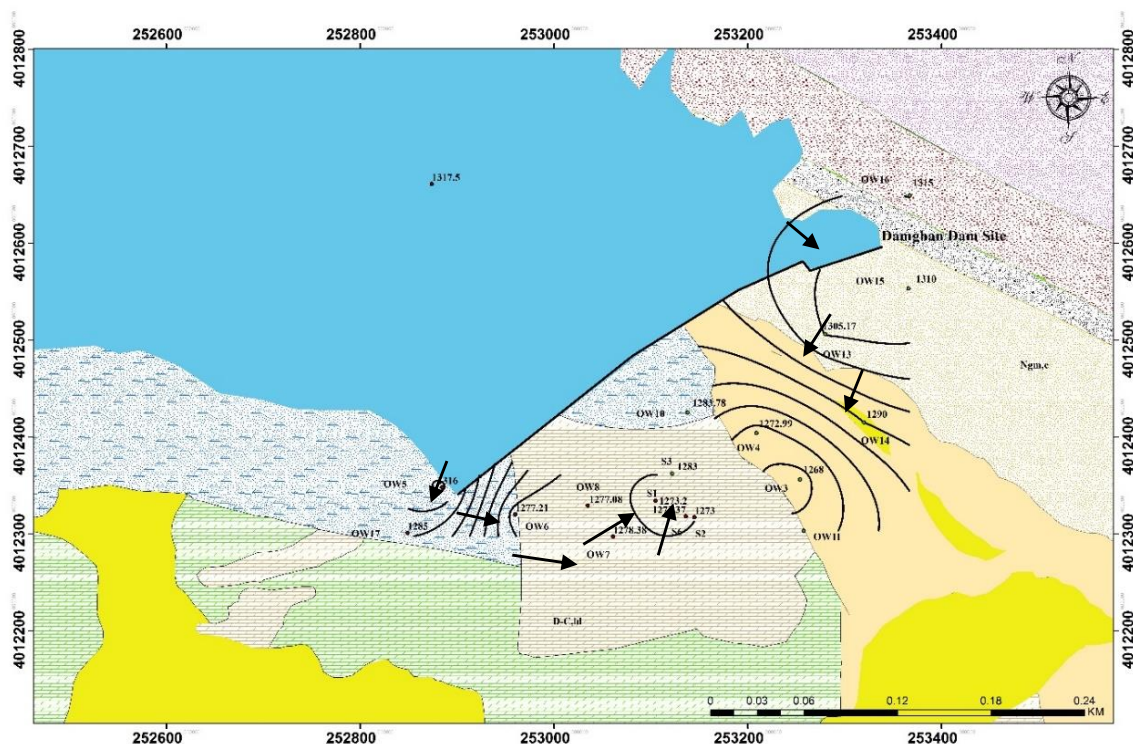
در این بخش به بررسی تغییرات سطح آب در پیزومترهای بدنه و همچنین چاه های مشاهده ای در تکیه گاه راست و چپ ساختگاه سد و ارتباط آن با نوسانات تراز سطح آب در مخزن، محاسبه گرادیان هیدرولیکی در تکیه گاه راست و تعیین جهت جریان آب زیرزمینی و همچنین محاسبه بیلان مخزن سد و چشمه های جناح راست ساختگاه سد دامغان، پرداخته شده است.

۴-۱-۱ جهت جریان آب در تکیه‌گاه‌های ساختگاه سد

اندازه‌گیری‌های مربوط به ارتفاع سطح آب در پیزومترها به عنوان اساس تعیین جهت آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نقشه‌های تراز آب زیرزمینی، چگونگی حرکت آب در زیرزمین و همچنین اطلاعات مفیدی در مورد لایه‌های آبدار محدوده مورد مطالعه در اختیار ما قرار می‌دهد و در حقیقت با تجزیه و تحلیل الگوی خطوط تراز می‌توان رژیم جریان در یک لایه آبدار را مورد بررسی قرار داد (صداقت، ۱۳۸۷). در همین راستا نقشه جهت جریان یا هم پتانسیل با استفاده از داده‌های سطح آب مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای (OW) در تکیه‌گاه راست و چپ و چشمه‌های پایین دست ساختگاه سد دامغان و مخزن سد در ابتدا به صورت دستی ترسیم و سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.2 رقومی شده و تهیه گردید. با توجه به نقشه هم پتانسیل تکیه‌گاه‌های سد دامغان جهت جریان آب زیرزمینی از بالادست و تکیه‌گاه‌ها به سمت پایین دست می‌باشد شکل (۴-۲).



شکل ۴-۱ موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در ساختگاه سد دامغان



شکل ۴-۲ نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان در تکیه‌گاه‌ها و پایین دست سد

قبل از آگیری سد، تراز سطح ایستابی گمانه‌های اکتشافی واقع در جناح راست مخزن سد نسبت به تراز آب رودخانه و بالتبع گرادیان هیدرولیکی از سمت تکیه‌گاه راست مخزن سد به سمت رودخانه بوده است. به عبارتی قبل از آگیری سد ارتفاع سطح آب زیرزمینی در تکیه‌گاه‌های سد بالاتر از کف بستر رودخانه بوده است، بنابراین رودخانه به اصطلاح گیرنده بوده (منبع آگیری) و توسط آب زیرزمینی تغذیه می‌شده است. اما با آگیری سد و افزایش ارتفاع آب در بستر رودخانه مسیر جریان آب زیرزمینی در محدوده مخزن سد تغییر و آب از مخزن به سمت جناحین حرکت کرده و وارد جناحین شده است. برای اساس گرادیان هیدرولیکی در جناح راست ۴ درصد محاسبه شد.

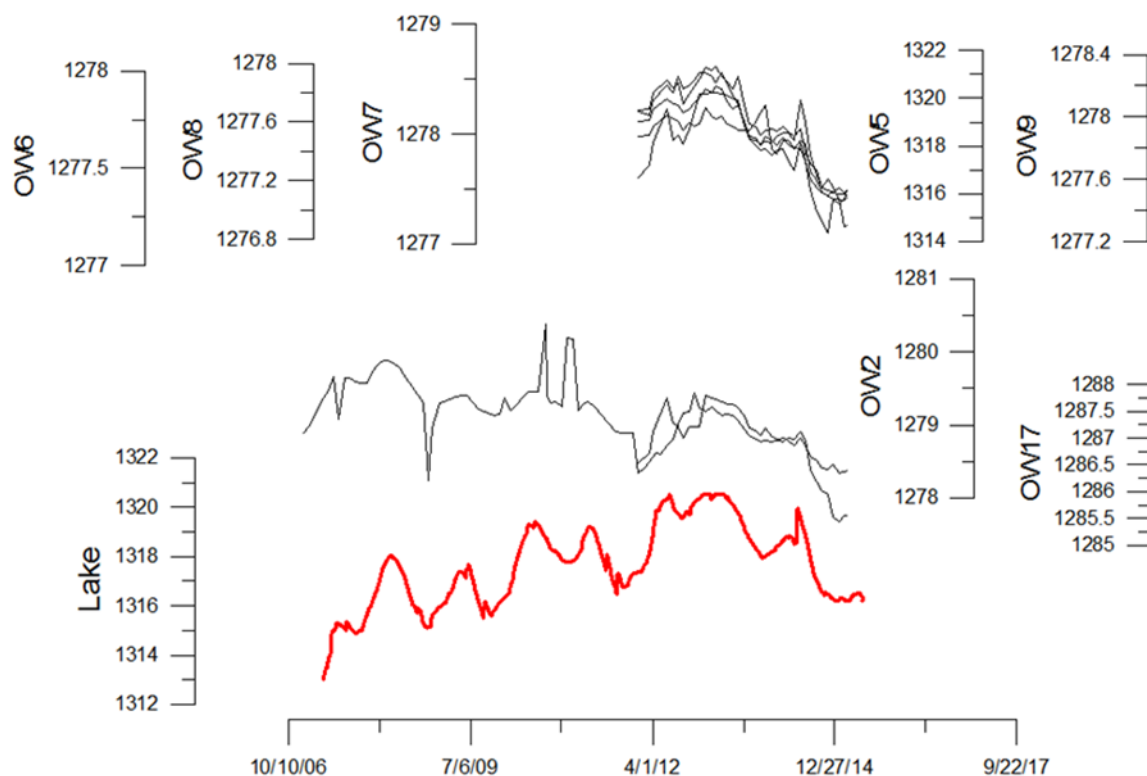
بررسی روند تغییرات تراز سطح آب دریاچه با چاه‌های مشاهده‌ای

در تکیه‌گاه‌ها و پایین دست سد دامغان تعداد ۱۶ حلقه چاه مشاهده‌ای حفاری و به منظور اندازه‌گیری تراز آب تجهیز گردیده‌اند شکل (۴-۱). تراز آب دریاچه از ابتدا تاکنون نوسانات مختلفی را نشان می‌دهد اما روند کلی آن از ابتدا افزایشی و سپس کاهشی بوده است. به‌طوریکه پس از زمان آ‌گیری از تراز ۱۳۱۲ متر به تراز حدود ۱۳۲۰ متر نیز رسیده و سپس روند کاهشی پیدا کرده است و اکنون تراز حدود ۱۳۱۷ متر را دارد. این نشان می‌دهد که ورودی دریاچه به مرور زمان کمتر شده است و اثرات کاهش بارش به وضوح در روند تراز سطح آب دریاچه مشاهده می‌گردد. جهت بررسی ارتباط هیدرولیکی بین سفره آب زیرزمینی در تکیه‌گاه‌های سد با آب دریاچه، تغییرات تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای مختلف در تکیه‌گاه‌ها با تراز سطح آب دریاچه مقایسه شده است. اگر روند تغییرات تراز آب دریاچه با هر محل دیگری مشابه بود، می‌تواند دلیل بر ارتباط هیدرولیکی آب دریاچه با آن محل باشد که این خود دلیلی بر وجود فرار آب از مخزن سد است. با این بررسی می‌توان مسیر حرکت آب در تکیه‌گاه‌های سد را بررسی کرده و محتمل‌ترین مسیر فرار آب را مشخص کرد. سازندهای زمین شناسی در جناح راست به‌شدت خرد شده و دارای درزه‌های فراوان می‌باشد. در چنین محیط هتروژن و درزه‌دار با سطوح لایه‌بندی مختلف، آب می‌تواند از این درزه‌ها و گسل‌ها کانالیزه شده و جریان یابد. در چنین محیطی دو پیزومتر در کنار یکدیگر و با فاصله کم می‌تواند رفتار هیدرولیکی متفاوتی را نشان دهند. بنابراین جهت تعیین مسیر حرکت و ارتباط هیدرولیکی بین نقاط مختلف، محل چاه‌ها و پراکندگی آنها در ساختگاه خیلی مهم و تعیین کننده است. به‌طوریکه اگر یک گمانه، درزه‌ای که مسیر حرکت آب می‌باشد را قطع کند دارای رفتار مشابه با مخزن و اگر قطع نکند رفتاری را نشان نمی‌دهد. همچنین قطر بازشدگی درزه‌های مسیر عبور آب نیز مهم است. درزه‌هایی با بازشدگی زیاد دارای سرعت جریان بیشتر و ارتباط هیدرولیکی مشخص‌تر می‌باشند.

رفتار گمانه واقع در چنین درزه‌ای نیز دارای نوسان‌های بیشتر و مشابه تر با آب مخزن است. اگر تغییرات تراز آب یک گمانه کم بود می‌تواند دلیل بر جریان افشان در این منطقه و همچنین برخورد گمانه با یک درزه‌ای با بازشدگی کم باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حتی اگر روند تغییرات تراز سطح آب در چاه مشاهده ای مشابه با روند تغییرات تراز دریاچه باشد، اما میزان تغییرات تراز آنها برابر نباشد، می‌توان بیان کرد که ارتباط هیدرولیکی برقرار است. روند تغییرات سطح آب دریاچه با چاه‌های مشاهده‌ای در ساختگاه سد در جناح راست و چپ به‌طور جداگانه ترسیم و نتایج در شکل‌های (۳-۴ و ۴-۴) ارائه شده است. با توجه به اینکه هدف بررسی روند تغییرات تراز آب است، هر کدام از چاه‌ها جداگانه مقایسه و در نهایت گروه‌بندی شده‌اند. نتایج حاصله در کنار تراز آب مخزن بررسی شده است.

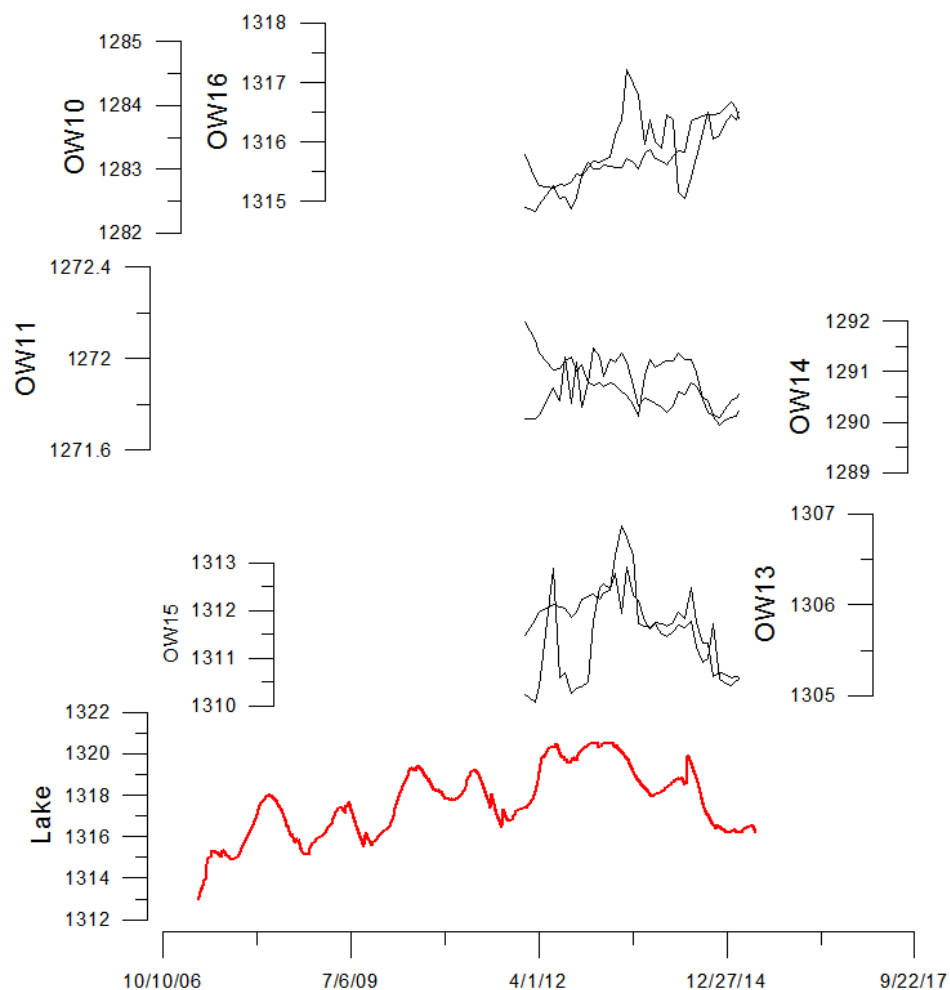
در جناح راست سد، چاه‌های مشاهده‌ای OW2 و OW17 روندی مشابه با دریاچه را نشان می‌دهند و متأثر از تراز دریاچه می‌باشند. چاه OW17 در امتداد محور سد و در پایین دست پرده تزریق حفاری شده است. این روند یکسان در این چاه می‌تواند دلیل بر ارتباط هیدرولیکی مخزن با این محل و دور زدن پرده تزریق توسط جریان آب باشد. اما چاه OW2 در فاصله دورتر و در پایین دست قرار گرفته است. رفتار یکسان آنها می‌تواند دلیل بر حفاری آنها در یک مسیر جریان باشد. چاه OW5 در نزدیکی دریاچه قرار دارد و رفتاری مشابه با دریاچه و این دو گمانه دارد. ارتباط این گمانه با مخزن امری طبیعی محسوب می‌شود. با توجه به تفاسیر بالا می‌توان بیان کرد که آب دریاچه می‌تواند از جناح راست حرکت کرده و به پایین دست سد از طریق درزه‌ها و یا گسل انتقال یابد. چاه‌های دیگری نیز در جناح راست وجود دارند و دارای داده‌های طولانی مدت نمی‌باشد. میزان نوسانات تراز آب این چاه‌ها بین یک تا دو متر بوده و در مقایسه با چاه OW5 که حدود ۵ تا ۶ متر است، کم می‌باشد؛ اما این چاه‌ها به‌خصوص در سال‌های اخیر نیز دارای روند مشابه با تراز آب دریاچه و حتی چاه OW5 می‌باشند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آب از مخزن سد از طریق یک مسیر جریان اصلی بین چاه‌های مشاهده‌ای OW2 و OW17 به پایین دست انتقال یافته و سپس در طول

مسیر جریان به وسیله درزه های فرعی تر به سمت سایر چاه ها انتقال می یابد. دلیل اینکه در سال های اخیر رفتار برخی از چاه ها بیشتر شبیه مخزن شده است می تواند به شسته شدن مواد بین درزه ها (پر کننده درزه ها) در طول زمان در طی جریان آب و بالتبع ایجاد ارتباط بیشتر باشد. تخلیه یکسری چشمه در جناح راست نیز می تواند دلیل بر وجود ارتباط هیدرولیکی در این مسیر باشد. این چشمه ها پس از آبیگری سد از طریق درزه ها و سطوح لایه بندی ظاهر شده اند. البته در مورد چشمه S1 یک علامت سوال وجود دارد که ممکن است این چشمه قبل از احداث سد نیز وجود داشته باشد. تغییرات قابل ملاحظه ای در دبی این چشمه ها وجود ندارد و تقریباً ثابت است که این می تواند دلیل بر حاکم بودن جریان افشان در این منطقه باشد.



شکل ۴-۱ روند تغییرات سطح تراز آب چاه های مشاهده ای در تکیه گاه راست ساختگاه و دریاچه سد

چاه‌های موجود در جناح چپ نیز رفتار متفاوتی را نشان می‌دهند. به‌طوریکه چاه‌های OW13 و OW15 روندی تقریباً مشابه‌ای با تراز مخزن و چاه OW5 نشان می‌دهند. سرعت کاهش نزولی تراز آب در این چاه‌ها مشابه با مخزن می‌باشد که می‌تواند دلیل بر ارتباط مستقیم بین آنها با دریاچه باشد که البته با توجه به وجود درزه‌ها در جناح چپ در نزدیکی سرریز دور از انتظار نیست. چاه‌های OW10 و OW16 رفتاری مستقل از دریاچه نشان می‌دهند و متأثر از نوسانات تراز دریاچه نمی‌باشند شکل (۴-۴).



شکل ۴-۴ روند تغییرات سطح تراز آب چاه‌های مشاهده‌ای در تکیه‌گاه چپ ساختگاه و دریاچه سد

۴-۲-۴ محاسبه بیلان چشمه‌های جناح راست ساختگاه سد دامغان

برای مطالعه هیدروژئولوژی سازند کارستی، چشمه‌ها بهترین شاخص و نماینده از سازند کارستی می‌باشد که منعکس کننده نوع سیستم جریان و ویژگی‌های سازند کارستی منطقه است. محاسبه بیلان منابع آب و بررسی منشأ آب چشمه‌های پایین دست محدوده مورد مطالعه، به عنوان یکی از اساسی‌ترین مطالعات هیدروژئولوژی، در این منطقه می‌باشند. در ساختگاه سد دامغان در جناح راست، چشمه‌هایی وجود دارند. یک فرضیه و احتمال این است که منشأ این چشمه‌ها آب زیرزمینی باشد و محتمل‌ترین منبع احتمالی تأمین کننده آب این چشمه‌ها، سازند آهکی بالادست چشمه‌ها در تکیه‌گاه راست می‌باشد. در این قسمت، در حد اطلاعات موجود، منشأ آب چشمه‌های پایین دست در جناح راست مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲-۴-۱ حوضه آبگیر منطقه مورد مطالعه

تعیین حوضه آبگیر و منشأ چشمه‌ها در مطالعات منابع آب و سدسازی اهمیت و کاربرد زیادی دارد. اگر سد در حوضه آبگیر یک چشمه بزرگ ساخته شود، احتمال کارستی شدن و فرار آب از مخزن سد زیاد می‌باشد. محل احتمالی و مرز حوضه آبگیر هر چشمه با توجه به معیارهایی همچون: نزدیک بودن مرز حوضه آبگیر نسبت به چشمه، ارتفاع بالاتر حوضه آبگیر نسبت به دهانه چشمه و عدم وجود لایه غیر قابل نفوذ بین حوضه آبگیر و چشمه، تکتونیک و جهت جریان عمومی آب زیرزمینی تعیین می‌شود. در همین راستا با بررسی‌های انجام شده بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی محدوده ساختگاه سد دامغان حوضه آبگیر چشمه‌های راست سد مشخص شد که حدود ۱ کیلومتر مربع برآورد شده است (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵ نقشه حوضه آبریز سازند یا تاق‌دیس واقع در جناح راست ساختگاه سد دامغان در محیط Google Earth

۴-۱-۱-۱ پارامترهای مختلف بیلان

مؤلفه‌های ورودی به سازند را می‌توان به‌طور عمده بارش در نظر گرفت. این فاکتور از اساسی‌ترین پارامتر-های بیلان می‌باشد. از طرفی دیگر دبی خروجی از چشمه‌های پایین دست در محدوده مطالعاتی مؤلفه خروجی از سازند می‌باشد. مجموع دبی چشمه‌های پایین دست سد در جدول (۴-۱) ارائه شده است.

جدول ۴-۱ میزان بده چشمه‌های پایین دست سد

Springs	S1	S2	S6	S7	S8	S9	جمع کل
Q (m ³ /s)	۰/۰۴۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۴۶

۴-۱-۱-۲ محاسبه بیلان

مقدار بیلان آبی سازند در محدوده ساختگاه سد دامغان برای دوره یک ساله (۱۳۹۴) براساس اطلاعات و داده‌های موجود براساس فرمول زیر محاسبه و نتایج در جدول (۲-۴) ارائه شده است.

$$V_{\text{inlet}} = P \text{ (m)} \times I \times A \text{ (m}^2\text{)} = ? \text{ m}^3/\text{years} \quad \text{معادله ۳-۴}$$

$$V_{\text{outlet}} = Q_{\text{springs}} \text{ (m}^3/\text{s)} \times 86400 \text{ (s)} \times 365 \text{ (years)} = ? \text{ m}^3/\text{years} \quad \text{معادله ۴-۴}$$

در این فرمول، P مقدار بارش سالانه، I ضریب نفوذ آب بارندگی، A مساحت حوضه آبرگیر چشمه‌ها و V حجم کل آب خروجی و ورودی از سازند می‌باشد. مجموعه آب خروجی از چشمه‌ها ۰/۰۴۶۹ متر مکعب در ثانیه بوده است. میزان بارندگی در یک سال ۰/۱۸۵ متر براساس ایستگاه باران سنجی و ضریب نفوذ در آهک ۶۰ درصد فرض شده است. کل ورودی سالانه به سازند (بارش) برابر با ۱۱۱۰۰۰ متر مکعب و کل حجم خروجی از سازند برابر با ۱۴۵۰۶۵۶ متر مکعب می‌باشد. بنابراین به صورت کلی و ضمن بررسی بیلان یک ساله سازند می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تبادلات بین آب زیرزمینی و سازند منفی بوده و سازند آهکی بالادست به تنهایی نمی‌تواند تأمین کننده آب چشمه‌های پایین دست باشد. بنابراین آب چشمه‌های پایین دست سد باید از محل دیگری تأمین گردد که این منبع احتمالی می‌تواند مخزن سد باشد.

جدول ۴-۲ محاسبه نرخ بیلان آبی سازند طی بازه زمانی یک ساله

مولفه ورودی به سازند	مولفه خروجی از سازند	تغییر در حجم ذخیره سازندهای آهکی جناح راست سد
بارش، ضریب نفوذ و مساحت حوضه آبگیر	دبی چشمه‌های پایین دست	-۱۳۳۹۶۵۶ (m ³ / years)
۱۱۱۰۰۰ (m ³ / years)	۱۴۵۰۶۵۶ (m ³ / years)	

۴-۱-۱-۳ محاسبه بیلان مخزن سد

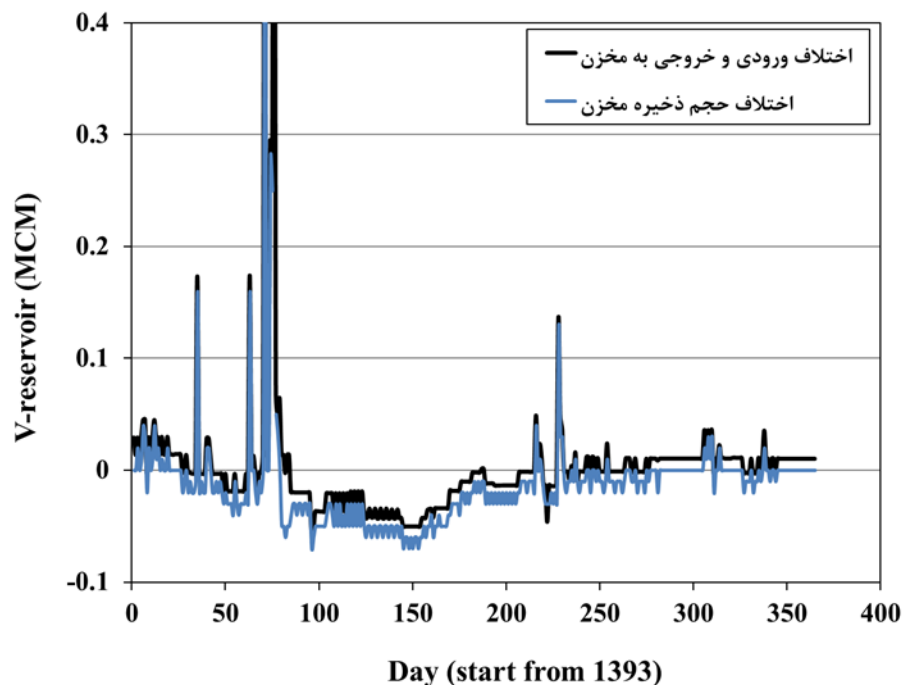
محاسبه بیلان مخزن سد یا دریاچه از جمله روش‌های شناسایی فرار آب به شمار می‌رود. مقدار فرار و نشت آب از مخزن و تکیه‌گاه‌های سد با تراز آب دریاچه رابطه مستقیمی دارد. هرچه ارتفاع آب درون مخزن بالاتر رود به علت افزایش بار هیدرولیکی و اضافه شدن محدوده‌های جدیدی با پتانسیل نشت و فرار آب که در ترازهای پایین‌تر آب، نقشی در فرار و نشت آب نداشتند، مقدار نشت و فرار آب از مخزن و تکیه‌گاه‌های سد بیشتر خواهد شد. با توجه به شرایط محلی و ویژگی‌های زمین‌شناسی ساختگاه و تکیه‌گاه‌های سد می‌توان مقدار نشت و فرار آب احتمالی را از طریق تغییرات تراز آب دریاچه و محاسبه بیلان سد به‌دست آورد و در واقع می‌توان رابطه تراز آب در مخزن و مقدار فرار و نشت را محاسبه کرد که معمولاً یک رابطه خطی نیست و بسته به زمین‌شناسی منطقه و ویژگی‌های ساختاری تکیه‌گاه‌ها می‌تواند رابطه پیچیده‌ای باشد به گونه‌ای که با بالا رفتن سطح آب در مخزن، سطح تماس مخزن و تکیه‌گاه‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه محدوده‌های وسیع‌تری که قبلاً در فرار و نشت آب از مخزن و تکیه‌گاه‌ها نقش نداشتند وارد عمل می‌شوند و به‌طور کلی می‌توان گفت مناطق با پتانسیل نشت و فرار آب و مستعد در هدایت آب در ترازهای مختلف کاملاً متفاوت است.

جهت محاسبه بیلان آب مخزن سد، ورودی‌ها و خروجی‌ها در مدت یک سال آبی در سال ۱۳۹۳ محاسبه شده است. مؤلفه‌های ورودی شامل دبی رودخانه چشمه علی و بارش مستقیم به سطح دریاچه می‌باشد. مؤلفه‌های خروجی بیشتر شامل تبخیر و مقدار آب خروجی برای مصارف مختلف از دریچه سد می‌باشد. بنابراین طبق فرمول زیر مقدار بیلان محاسبه شده است.

$$\text{معادله ۴-۵} \quad \text{تغییر در حجم ذخیره مخزن} = \text{مؤلفه خروجی} - \text{مؤلفه ورودی}$$

تغییر در حجم ذخیره مخزن با استفاده از تغییرات تراز آب مخزن و مساحت مخزن محاسبه شده است. بنابراین اگر مقدار اختلاف ورودی یا خروجی با مقدار تغییر در حجم ذخیره محاسباتی برابر باشد بدین معنی است که فرار آب از مخزن وجود ندارد. شکل (۴-۶) اختلاف ورودی و خروجی در کنار اختلاف (تغییر) در حجم ذخیره مخزن در زمان‌های مختلف برای یک سال آبی ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد. اختلاف قابل توجهی بین این دو پارامتر مشاهده می‌گردد که این اختلاف همان کسری مخزن در زمان‌های مختلف و یا به عبارتی دیگر میزان فرار آب می‌باشد. با افزایش حجم مخزن میزان فرار آب و بالتبع کسری مخزن افزایش یافته است که این به دلیل افزایش ارتفاع آب و افزایش سطح تماس آب با سازند آهکی درز و شکافدار می‌باشد. در پایین دست مقادیر نشتی‌ها و چشمه‌هایی وجود دارد که یک احتمال این است که منشأ آنها مخزن سد باشد. داده‌های هیدروشیمیایی ارتباط هیدرولیکی را اثبات کرده است. داده‌های بیلان نیز تأثیر مخزن را تأیید می‌کند. با توجه به کسری مخزن در طول زمان، احتمال تخلیه آب مخزن از این چشمه‌ها وجود دارد. اگر فرض شود که کل حجم خروجی از نشتی‌ها و چشمه‌های پایین دست در طول یک سال آبی از آب مخزن باشد و اصلاً آب زیرزمینی نقش نداشته باشد می‌توان کسری مخزن را بررسی کرد. منظور از فرار آب همان مقدار حجم خروجی از چشمه‌های پایین دست می‌باشد که اندازه‌گیری شده است. در زمان‌های اولیه سال، مقدار کسری مخزن با مقدار فرار آب برابر بوده است. اما در زمان‌های بعد به دلیل افزایش حجم ذخیره

مخزن، مقدار کسری بیشتر شده است و مقدار فرار آب از پایین دست کمتر از کسری مخزن شده است. این نشانگر این است که آب مخزن در جای دیگری علاوه بر چشمه‌های پایین دست فرار و نشت کرده است. اختلاف بین دو خط کسری مخزن و مقدار فرار آب اندازه‌گیری شده حجم اضافه‌ای است که آب مخزن در طول زمان از مسیرهای دیگری فرار و نشت کرده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آب مخزن علاوه بر نشت به پایین دست از مسیرهای دیگری از طریق درزه و شکاف و یا گسل نهفته فرار می‌کند. اگر سهم آب زیرزمینی در تأمین آب چشمه‌ها در نظر بگیریم این اختلاف بیشتر می‌شود. در نهایت در طول یک سال آبی کسری مخزن حدود $5/8$ میلیون متر مکعب بوده که اگر $4/79$ میلیون متر مکعب آن را مربوط به فرار آب از طریق تخلیه از نشت‌های پایین دست سد در نظر بگیریم حدود یک میلیون متر مکعب در سال آب از مخزن از مسیرهای دیگر فرار می‌کند.



شکل ۴-۲ اختلاف ورودی و خروجی به مخزن و اختلاف حجم ذخیره مخزن

بخش دوم: هیدروژئوشیمی و تکامل ژئوشیمیایی

۴-۲ مقدمه

آب زیرزمینی در اثر حرکت در درز و شکستگی‌ها یا خلل و فرج زمین در تماس با مواد مختلف قرار گرفته و با توجه به قابلیت انحلال آن، حاوی مقادیری از کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول می‌گردد. در نتیجه با بررسی تغییرات مقادیر و نوع مواد محلول در مسیر جریان آب زیرزمینی می‌توان به بسیاری از خصوصیات آبخوان و تأثیرات عواملی که به نوعی با آب زیرزمینی در ارتباط می‌باشند، پی برد. این عوامل شامل سازندهای منطقه، مسیر جریان آب زیرزمینی، چگونگی ارتباط هیدروژئولوژیکی آب‌های سطحی و زیرزمینی و اثر نواحی تخلیه و تغذیه می‌باشد (اسپنادر و همکاران، ۱۳۸۷). هیدروژئوشیمی راهکاری برای درک بهتر از شرایط هیدروژئولوژی ساختگاه سد است. در این خصوص، اندازه‌گیری پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی آب از قبیل هدایت الکتریکی، اسیدیته، درجه حرارت، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در منطقه مورد نظر و منابع آب مجاور می‌تواند اطلاعات مفیدی مبنی بر وجود یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه‌گاه‌ها سد با منابع آب مجاور ارائه دهد.

در محدوده سد دامغان و در ساختگاه آن تعدادی چاه مشاهده‌ای در تکیه‌گاه‌ها، پیزومترهایی در بدنه و پی سد و چشمه‌هایی در پایین دست در جناح راست وجود دارد. رفتار هیدروژئوشیمیایی این منابع آب در جناحین سد و چشمه‌ها و پیزومترها یکسان نبوده و تحت تأثیر فرایندهای مختلفی قرار گرفته‌اند. در این بخش، علاوه بر بررسی کیفیت هیدروژئوشیمیایی منابع آب و فرایندهای ژئوشیمیایی حاکم بر منطقه ساختگاه سد، به بررسی وجود و یا عدم وجود ارتباط هیدرولیکی مخزن سد با چشمه‌های پایین دست و منابع آب اطراف و همچنین بررسی رفتار هیدروژئوشیمیایی آنها نسبت به مخزن سد با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی پرداخته می‌شود.

۴-۲-۱ نتایج آنالیز شیمیایی

آب‌های زیرزمینی از محل تغذیه تا تخلیه از داخل تشکیلات زمین‌شناسی عبور می‌نمایند، بنابراین کل مواد جامد حل شده و نوع یون‌ها بستگی به لیتولوژی محل عبور آب و زمان ماندگاری دارد. در این بخش با جمع‌آوری داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی هیدروژئوشیمی منابع آبی که شامل مخزن سد (Lake)، چشمه‌های پایین دست در تکیه‌گاه راست سد (S1,S2,S6,S7,S8,S9)، نشت از کالورت (S3)، نشت از محل اتصال بدنه به تکیه‌گاه چپ (S4,S5)، ۳ حلقه چاه فشارشکن به موازات محور سد (RW1, RW2, RW3)، ۱۰ پیزومتر کاساگراند واقع در بدنه سد در سه مقطع ۶ (SP4-6)، مقطع ۱۹ (SP 3-1۹, SP 4-19)، مقطع ۱۴ (SP 1-14, SP2-۱۴, SP 3-۱۴, SP4-۱۴, SP 6-1۴, SP 8-14, SP 14-۱۲, SP 14-۱۴) ۶ مانومتر (فشارسنج) (RP1, RP2, RP3,RP4,RP5,RP6) و آب نشتی (Seepage) واقع در گالری تزریق، آب خروجی از دریچه مخزن سد (Dam output) و چشمه‌های اطراف (S10, S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18) از جمله چشمه علی در محدوده ساختگاه سد دامغان مورد مطالعه قرار گرفته است. آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های آب منابع انتخابی محدوده ساختگاه سد، طی سه دوره آماری (بهمن ۹۴، اسفند ۹۴ و خرداد ۹۵) جهت تعیین یون‌های اصلی و پارامترهای عمده انجام گردیده است. سه پارامتر درجه حرارت، هدایت الکتریکی (EC) و pH در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده است. جداول (۳-۴، ۴-۴ و ۵-۴) نتایج آنالیز شیمیایی یون‌های اصلی و پارامترهای عمده که مطالعات هیدروژئوشیمی براساس این نتایج صورت گرفته است را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴ نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب در منطقه ساختگاه سد دامغان براساس epm-۹۴/۱۲/۱۳

Sample	pH	EC	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	K
S1	۷/۱۶	۱۳۱۶	۵/۹	۴/۵	۶/۶	۸/۳	۷/۱	۲/۵	۰	۰/۱۳
S2	۷/۷۵	۱۲۲۴	۴/۹	۴	۶/۷	۷/۹	۳/۷۵	۲/۷	۰	۰/۱۳
S3	۷/۶۵	۱۴۴۱	۵/۷	۴/۸	۷/۷	۱۱/۱	۴/۲۰	۲/۴	۰/۳	۰/۱۴
S4	۷/۷۵	۱۳۷۱	۶/۸	۴/۴	۷/۷	۱۱	۴/۷	۲/۵	۰/۲	۰/۱۴
S5	۷/۸۴	۱۵۵۸	۶/۸	۴/۹	۷/۱	۱۰/۲	۴/۷	۲/۶	۰	۰/۱۴
S6	۶/۷	۱۳۲۴	۶/۶	۴/۲	۶/۴	۸/۵	۷/۰۱	۲/۶	۰	۰/۱۳
S7	۶/۳۵	۱۲۳۶	۵/۴	۴/۶	۶/۶۴	۸/۱	۷/۴۵	۲/۴	۰	۰/۱۳
S8	۷/۰۸	۱۲۵۲	۶/۳	۳/۵	۶/۷	۸/۷	۳/۹	۲/۵	۰	۰/۱۳
S9	۷/۱۶	۱۳۱۶	۴/۸	۴/۲	۶/۷	۸/۳	۴/۳	۲/۷	۰	۰/۱۳
S10	۷/۴	۸۳۸	۲/۳	۵/۴	۴/۸	۴/۷	۱/۶	۳/۲	۰	۰/۱۲
S11-Input	۷/۵۲	۷۳۰	۳/۳	۴/۲	۳/۹	۴/۷	۱/۴	۳/۳	۰	۰/۰۷
S12	۷/۳۱	۱۱۷۶	۶/۲	۲/۶	۵/۵	۷	۲۵	۴/۹	۰	۰/۱۲
S13	۷/۶۶	۳۴۸	۲	۲/۷	۱/۱	۱/۱	۱/۳	۲/۳	۰/۲	۰/۳
S14	۷/۳۰	۳۲۲۰	۱۴/۸	۲/۵	۲۵/۱	۲۵	۶/۳	۶/۷	۰	۰/۵
S15	۷/۳۶	۱۷۷۳	۷/۵	۳/۵	۱۲/۵	۱۱/۳	۳/۹	۷/۹	۰	۰/۲
S16	۷/۲۳	۲۲۶۰	۱۰/۱	۱/۱	۱۳/۶	۱۵/۲	۳۶/۴	۵	۰	۰/۳۵
S17	۵۹/۷	۵۹۲	۲/۳	۲/۲	۲/۰۳	۲/۱	۸۷/۱	۳	۰	۰/۰۴
S18	۲۲/۷	۲۲۵۰	۲۷/۸	۹/۴	۴/۴	۲/۴	۱۸/۹	۲	۰	۰/۰۶
Lake1	۸/۳۴	۱۰۲۳	۵/۴	۳/۶	۶/۳	۷/۱	۵/۴	۳/۱	۰/۳	۰/۱۵
Lake2	۸/۲۷	۱۰۰۰	۳/۸	۵/۳	۶/۳	۷/۵	۵/۳	۲/۷	۰/۲	۰/۱۵
Rw1	۷/۳۶	۱۳۲۳	۶	۳/۹	۶/۷	۷/۷	۶/۶	۲/۷	۰	۰/۱۳
Rw2	۷/۵	۱۲۵۰	۶/۱	۴/۶	۶/۷	۷/۶	۶/۶	۲/۴	۰	۰/۱۳
Rw3	۷/۸۴	۱۲۳۷	۵/۸	۳/۹	۶/۸	۷/۸	۶/۳	۲/۶	۰	۰/۱۳

جدول ۴-۴ نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب در منطقه ساختگاه سد دامغان براساس epm – ۹۴/۱۱/۰۴

Sample	pH	EC	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	K
OW2	۸/۲۰	۱۱۱۵	۶/۴	۴/۸	۷/۹	۹/۴	۵/۱	۳/۲	۰	۰/۱۰
OW3	۷/۷۱	۶۲۷۰	۱۶/۹	۱۱/۶	۵۵/۱	۶۰/۸	۱۵/۶	۳/۴	۰	۰/۲۴
OW4	۸/۴۴	۱۷۸۵	۵/۴	۳/۵	۱۰	۱۰/۵	۵/۶	۳/۵	۰	۰/۱۳
OW5	۸/۶۹	۱۰۰۳	۴/۲	۳/۹	۶/۸	۷/۵	۵/۴	۳/۱	۰/۶	۰/۷۳
OW6	۸/۵۳	۱۱۲۷	۴/۹	۴/۲	۶/۷	۷/۳	۶/۷	۲/۵	۰/۲	۰/۱۶
OW7	۸/۴۱	۱۱۱۷	۴/۹	۴/۷	۵/۹	۶/۷	۶/۶	۲/۹	۰/۲	۰/۱۳
OW8	۸/۳۹	۱۲۷۳	۵/۵	۵/۴	۶/۶	۷/۷	۷/۷	۳	۰/۲	۰/۱۳
OW9	۸/۱۹	۱۰۱۴	۴/۴	۴/۱	۵/۶	۶	۶/۱	۳	۰	۰/۱۲
OW10	۸/۳۷	۲۹۸۰	۱۱/۷	۵/۴	۱۵/۵	۱۸/۴	۱۵/۸	۱/۸	۰/۳	۰/۳۸
OW11	۸/۲۰	۲۱۸۰	۱۱/۵	۸	۱۳/۸	۱۶/۸	۱۱/۶	۲/۸	۰	۰/۱۲
OW13	۸/۷۰	۴۵۶۰	۱۵	۸	۳۲/۷	۳۹/۱	۱۶/۳	۳/۲	۰	۰/۱۷
OW14	۸/۶۸	۱۳۵۴	۳۹/۵	۳۰	۱۳۹	۱۶۸	۴۸/۲	۲/۳	۰/۹	۰/۷۸
OW17	۸/۵۲	۱۱۶۳	۶/۳	۶/۱	۶	۷/۵	۶/۶	۳	۰/۳	۰/۲۸
RP1	۸/۹	۱۱۵۵	۶/۵	۵	۶/۶	۸/۴	۷/۳	۳/۵	۰	۰/۱۲
RP2	۹/۳	۸۷۲	۵/۴	۳/۸	۶/۱	۶/۲	۶/۱	۰/۸	۰/۲	۰/۳۳
RP3	۹/۱۵	۱۰۴۹	۴/۷	۴/۶	۵/۹	۷	۶/۵	۲/۷	۰/۳	۰/۱۸
RP4	۹/۵۳	۱۰۲۶	۴/۹	۴/۲	۵/۸	۶/۸	۶/۱	۲/۳	۰/۲	۰/۲۲
RP5	۱۰/۲	۸۶۰	۴/۳	۳/۵	۵/۹	۶/۴	۵/۳	۱/۵	۰/۲	۰/۵۱
RP6	۸/۷۴	۱۰۱۳	۵/۹	۳/۸	۵/۸	۷/۴	۵/۷	۳	۰/۲	۰/۱۱
RW1	۸/۱۶	۱۲۷۹	۳/۵	۳/۶	۶/۲	۷/۸	۵/۸	۲/۷	۰/۲	۰/۱۳
RW2	۸/۱۲	۱۳۱۰	۲/۵	۶/۶	۶/۳	۷/۹	۷/۸	۳	۰/۲	۰/۱۳
RW3	۸/۰۴	۱۳۱۵	۴	۳/۶	۶/۲	۸	۵	۲/۷	۰/۲	۰/۱۳
S1	۸/۳	۱۲۹۰	۵/۹	۴/۵	۶/۲	۷/۸	۶/۵	۳	۰/۲	۰/۱۳
S2	۸/۱	۱۲۷۸	۵/۶	۵/۳	۶/۲	۶/۹	۷/۵	۳	۰/۳	۰/۱۳
S3	۸/۴۷	۱۴۴۰	۵/۷	۵/۱	۷/۶	۹/۹	۷/۲	۲/۷	۰/۲	۰/۱۴
S4	۸/۳۸	۱۴۷۵	۵/۹	۴/۸	۷/۸	۱۰/۵	۶	۳	۰/۲	۰/۱۴
S5	۸/۳۴	۱۳۷۸	۵/۳	۵/۲	۷/۴	۱۰/۱	۶/۳	۲/۵	۰	۰/۱۴
Lake	۸/۶۷	۹۰۵	۵/۴	۴/۴	۶/۹	۸/۲	۶/۶	۲/۹	۰/۴	۰/۱۵
Seepage	۸/۷۴	۱۰۹۳	۶	۵	۶/۹	۷/۴	۶/۹	۲/۸	۰/۵	۰/۱۴

جدول ۴-۵ نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب در منطقه ساختگاه سد دامغان براساس $\text{epm} - 95/03/27$

Sample	pH	EC	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO ₃	CO ₃	SO ₄
RP 1	۷/۵۶	۱۲۲۳	۵	۲/۶	۷/۹	۰/۱۴	۷/۴	۴/۳	۰	۶/۴
RP 2	۹/۱	۱۱۰۳	۴/۱	۲/۴	۸/۲	۰/۴۴	۷/۳	۲/۳	۱/۳	۵/۴
RP 3	۷/۷۴	۱۱۷۰	۴/۴	۲/۳	۸/۰۱	۰/۲۳	۷/۷	۳/۴	۰	۶/۱
RP 4	۹/۸	۱۱۰۶	۴/۱	۲/۳	۸/۶	۰/۵۴	۷/۷	۲/۳	۲/۱	۵
RP 5	۸/۰۶	۱۱۳۶	۳/۴	۱/۹	۸/۴	۰/۳۳	۸	۲/۲	۰	۶
RP 6	۸/۱	۱۵۰۹	۵/۶	۳	۸/۷	۰/۱۳	۸/۳	۵/۱	۰	۶/۴
Seepage	۸/۲۶	۱۲۳۲	۴/۴	۲/۵	۷/۶	۰/۱۷	۸/۲	۴/۵	۰	۵/۵
Dam output	۸/۲۵	۱۰۳۹	۴/۳	۳	۷/۵	۰/۱۵	۷/۵	۴/۹	۰	۵/۲
S1	۷/۹۶	۱۱۸۱	۴/۴	۲/۸	۸	۰/۱۵	۷/۲	۴/۵	۰	۶/۶
S2	۷/۸۳	۱۲۲۰	۴/۴	۳/۸	۸/۲	۰/۱۳	۸/۶	۴/۳	۰	۷
S3	۸/۳۴	۱۷۵۶	۵	۴/۳	۱۰/۶	۰/۱۶	۱۰/۳	۳/۸	۰	۱۱/۴
S4	۸/۰۵	۱۷۸۲	۵/۴	۳/۶	۱۰/۴	۰/۱۶	۹	۴/۵	۰	۱۰/۶
S5	۸/۰۸	۱۷۹۵	۵/۶	۳/۶	۱۰/۳	۰/۱۵	۱۰/۲	۴/۲	۰	۱۰/۴
S6	۷/۷۱	۱۳۰۰	۴/۴	۳/۴	۸/۲	۰/۱۳	۷/۸	۴/۳	۰	۷/۷
S7	۷/۵۷	۱۲۶۸	۴/۶	۳/۴	۸/۲	۰/۱۴	۷/۸	۴/۶	۰	۷/۱
S8	۷/۵۶	۱۲۸۵	۴/۴	۳/۸	۸	۰/۱۴	۸/۳	۴/۳	۰	۶/۶
S9	۷/۶۶	۱۲۵۷	۴/۳	۳/۶	۸/۱	۰/۱۴	۸/۱	۴/۳	۰	۷/۲
Ali Spring	۸/۰۵	۵۰۶	۳/۴	۱/۵	۲	۰/۰۴	۳/۱	۴/۶	۰/۳	۰/۹
RW1	۷/۲۵	۱۳۱۳	۴/۴	۳/۵	۸/۲	۰/۱۴	۸/۱	۴/۲	۰	۶/۷
RW2	۷/۶۶	۱۲۳۲	۴/۷	۳/۳	۸	۰/۱۴	۷/۹	۴/۴	۰	۶/۸
RW3	۷/۶۸	۱۳۳۳	۴/۴	۳/۵	۸/۱۸	۰/۱۴	۷/۸	۴/۶	۰	۶/۶
Lake-R	۷	۹۰۵	۳/۶	۳/۳	۷/۶	۰/۱۷	۷/۸	۴/۳	۰/۳	۵/۲
Lake-L	۸/۳۹	۱۰۰۰	۳/۸	۳/۷	۷/۶	۰/۱۴	۷/۹	۴/۵	۰/۱	۴/۷
Lake- T	۸/۲۵	۱۰۰۰	۴/۲	۲/۵	۷/۶	۰/۱۶	۷/۲	۴/۶	۰/۱	۵/۲
OW2	۷/۶۶	۱۲۷۲	۴/۳	۳/۴	۷/۷	۰/۱۱	۶/۸	۶/۴	۰	۴/۸
OW3	۷/۲۲	۶۲۹۰	۲۰/۱	۱۲/۴	۲۲/۶	۰/۲۶	۳۲/۵	۵/۴	۰	۳/۶
OW4	۷/۷۴	۲۰۰۰	۵/۶	۴/۳	۱۱/۳	۰/۱۵	۱۲/۷	۴/۶	۰	۱۰

ادامه جدول ۴-۵

OW5	۸/۳۵	۱۰۴۲	۳/۴	۳	۹/۲	۰/۶۶	۶/۸	۴/۱	۰/۸	۶/۲
OW6	۷/۳۲	۱۳۱۰	۳/۵	۲/۵	۷/۶	۰/۱۸	۶/۴	۴/۷	۰	۵/۵
OW7	۷/۶۲	۱۱۳۹	۴/۳	۳/۲	۷/۹	۰/۱۵	۷/۵	۴/۸	۰	۶/۸
OW8	۷/۸۳	۱۱۵۹	۴/۳	۳/۲	۸/۰۲	۰/۱۴	۷/۳	۴/۸	۰	۶/۵
OW9	۷/۷۸	۱۱۴۸	۴/۳	۲/۵	۷/۲	۰/۱۴	۶/۳	۴/۲	۰	۵/۱
OW10	۷/۷۶	۳۲۶۰	۱۰/۹	۹/۶	۱۵/۷	۰/۳۳	۱۹/۵	۴/۲	۰	۲۱/۵
OW11	۷/۵۴	۲۴۰۰	۱۸/۳	۵/۷	۱۳	۰/۱۳	۱۵/۳	۴/۹	۰	۱۱/۵
OW13	۸/۰۳	۵۳۴۰	۱۱/۴	۶/۱	۲۳/۷	۰/۲	۲۰/۷	۴/۷	۰	۲۶/۷
OW14	۹/۸۶	۱۴۲۶۰	۳۳/۵	۱۳/۹	۲۲/۱	۰/۵۶	۲۵	۱/۶	۱	۶۲/۸
OW15	۷/۹۷	۲۵۰۰	۷/۵	۴/۸	۱۲/۳	۰/۲	۱۳	۶/۱	۰	۹/۳
OW16	۱۲/۲۷	۳۵۳۰	۲۰	۶/۶	۳/۹	۰/۶	۸/۱	۱/۳	۱۲/۸	۱۳/۲
OW 17	۸/۳۵	۱۰۴۲	۲	۲/۹	۶/۳	۰/۲۸	۷/۶	۴/۱	۰	۵/۳
SP 1-14	۸/۱۶	۴۱۹۰	۴/۶	۴/۲۰	۹/۱	۰/۲۸	۱۵	۴	۰	۲۸/۱
SP 2-14	۸/۰۶	۲۹۶۰	۷/۸	۲/۳۵	۱۰/۰۶	۰/۱۵	۵/۱	۲	۰	۱۴/۲
SP 3-14	۸	۱۱۳۳۰	۳/۳	۷/۵۰	۲۵/۷	۰/۴۶	۹/۱	۷/۳	۰	۷۸
SP 4-14	۷/۷۹	۱۳۱۸۰	۱۸/۶	۹/۷۳	۲۷/۵	۰/۴۹	۱/۲	۴/۳	۰	۶۴/۴
SP 6-14	۸/۰۷	۱۳۹۰۰	۴/۷	۳/۳۸	۲۵/۰۸	۰/۵۹	۲/۲	۶/۴	۰	۳۵/۱
SP 8-14	۸/۳۵	۲۷۲۰	۷/۱	۴/۱۱	۹/۰۵	۰/۳۲	۵/۱	۵	۰/۱	۱۳/۹
SP 3-19	۹۵/۷	۱۳۲۸۰	۴۳	۳۷	۲۸	۰/۴۶	۵/۴	۹/۸	۰	۶۹/۱
SP 4-19	۰۶/۸	۲۴۳۰۰	۳۲/۵	۵/۷۱	۳۳/۹	۰/۵۸	۱۵۰	۵/۳	۰	۳۴/۸
SP 4-6	۰۸/۷	۱۸۱۰۰	۲۷	۵/۷۵	۳۳/۶	۰/۶۲	۱۵۰	۷/۳	۰	۸۱/۷
SP 14-14	۲۶/۸	۱۳۴۰	۵/۱	۱/۲	۶/۵	۰/۲۹	۷/۷	۲/۴	۰	۸۵/۵
SP 12-14	۲/۸	۲۴۰۰	۱۱/۱	۲/۹	۹/۷	۰/۲۷	۱۳	۴/۱	۰	۳۷/۱

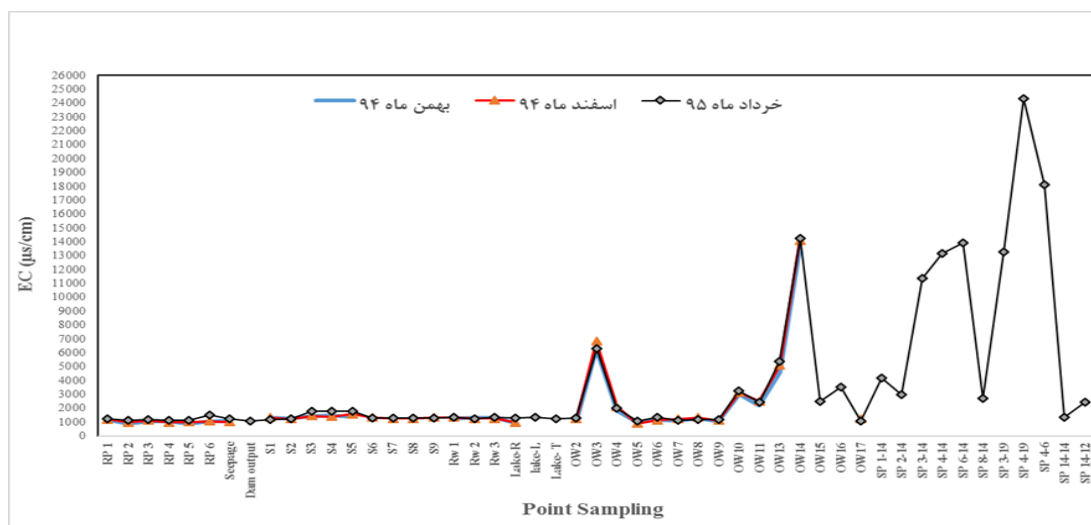
۴ - ۲ - ۲ بررسی هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب منطقه ساختگاه سد دامغان

در این قسمت برخی از پارامترهای هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های آب منابع انتخابی محدوده ساختگاه سد دامغان مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴-۲-۲-۱ بررسی تغییرات هدایت الکتریکی (EC)

هدایت الکتریکی آب عبارت است از قابلیت هدایت جریان الکتریکی توسط حجم واحدی از آب به ابعاد واحد که معمولاً واحد سانتی متر در نظر گرفته می شود و به همین دلیل واحد هدایت الکتریکی را معمولاً میکروزیمنس بر سانتی متر ذکر می کنند. هدایت الکتریکی یکی از مهم ترین فاکتورهای تعیین خصوصیات هیدروشیمیایی آب است. این فاکتور باید در محل اندازه گیری شود. شکل (۴-۷) تغییرات زمانی هدایت الکتریکی در محل منطقه ساختگاه سد دامغان را طی سه دوره آماری (بهمن و اسفندماه ۹۴ و خرداد ۹۵) نشان می دهد. کمترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به آب مخزن سد با ۱۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر و بیشترین هدایت الکتریکی با ۲۴۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر متعلق به پیزومتر کاساگراند در ۴ متری پایین دست سد در مقطع ۱۹ (SP 4-19) بدنه می باشد. روند تغییرات هدایت الکتریکی منابع آب در کل ساختگاه سد متفاوت بوده اما در سه دوره آماری روندی ثابت را با گذشت زمان نشان می دهد، به عبارت دیگر میزان هدایت الکتریکی تغییر چندانی نکرده است. مقدار هدایت الکتریکی در سد و تکیه گاه راست تقریباً مشابه بوده و در محدوده بین ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر متغیر بوده و این مقدار در طی سه دوره اندازه گیری تغییری نداشته است اما به سمت جناح چپ روندی افزایشی را نشان می دهد به طوری که محدوده تغییرات هدایت الکتریکی بین ۲۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر قرار می - گرفت که علت را می توان تأثیر لیتولوژی حاکم بر منطقه دانست. در جناح راست ساختگاه، به طور کلی سازندهای آهکی دولومیتی و آهک مارنی رخنمون دارند که بسیار چین خورده و خردشده است. کم بودن میزان هدایت الکتریکی در این جناح امری بدیهی است و روند تغییر هدایت الکتریکی با گذشت زمان ثابت است و تغییر چندانی مشاهده نشده است. اما در جناح چپ ساختگاه سد به علت وجود میان لایه های گچی (ژیپسی) و همچنین بین لایه نمک و مسافت جریان آب و افزایش زمان ماندگاری، مقدار هدایت الکتریکی روندی افزایشی را نشان می دهد. بالاترین مقدار هدایت الکتریکی را چاه مشاهده ای شماره ۱۴ (OW14) در

جناح چپ ساختگاه سد دامغان نشان می‌دهد و از آنجایی که این چاه مشاهده‌ای تیپ و رخساره سولفات‌ه کلسیک را نشان داده بنابراین علت بالابودن هدایت الکتریکی انحلال لایه‌های گچی (ژیپسی) در این جناح سد می‌باشد. همچنین چاه مشاهده‌ای شماره ۳ (OW3) بعد از چاه شماره ۱۴ بالاترین هدایت الکتریکی را در جناح چپ سد دارد که علتی مشابه با چاه شماره ۱۴ را می‌توان برای بالا بودن هدایت الکتریکی برشمرد. همچنین تغییرات هدایت الکتریکی در پیزومترهای کاساگراند که در سه مقطع ۶، ۱۴ و ۱۹ در بدنه و پی سد نصب شده است، بررسی شد که میزان بالایی از هدایت الکتریکی را نشان می‌دهد که احتمال این امر را می‌توان به وجود هسته رسی و عبور آب از این ناحیه و همچنین منابع قرضه استفاده شده مربوطه دانست. بنابراین کمترین مقدار هدایت الکتریکی در جناح راست و بیشترین هدایت الکتریکی در جناح چپ و بدنه سد اندازه‌گیری شده است. مانومترهای واقع در پی سد، چشمه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای تکیه‌گاه راست تقریباً هدایت الکتریکی برابر داشته‌اند. مقدار هدایت الکتریکی دریاچه سد کمی کمتر از منابع آب در جناح راست است اما در مقایسه با تکیه‌گاه چپ و بدنه، سازگاری و مشابهت بیشتری با تکیه‌گاه راست را نشان می‌دهد به‌طوریکه مقدار هدایت الکتریکی از مخزن به سمت پایین دست و چشمه‌ها افزایش می‌یابد که این با جهت جریان آب زیرزمینی در ساختگاه سد یکسان است.



شکل ۴-۷ منحنی تغییرات هدایت الکتریکی (EC) در کلیه منابع آب ساختگاه سد دامغان

۴-۲-۳ بررسی هیدروشیمیایی منابع آب محدوده ساختگاه سد

جهت نمایش داده‌های کیفی نمونه‌های آب از نمودارهای شیمیایی متفاوتی استفاده می‌شود. در این مطالعه جهت بررسی و تفسیر داده‌های هیدروشیمیایی منابع آب منطقه ساختگاه سد دامغان و تعیین رخساره و نوع آب در تکیه‌گاه‌های چپ و راست و پیزومترهای بدنه سد جهت بررسی ارتباط هیدرولیکی و منشأ منابع آب مختلف به‌طور جداگانه از نمودارهای پایپر و شولر استفاده گردیده است.

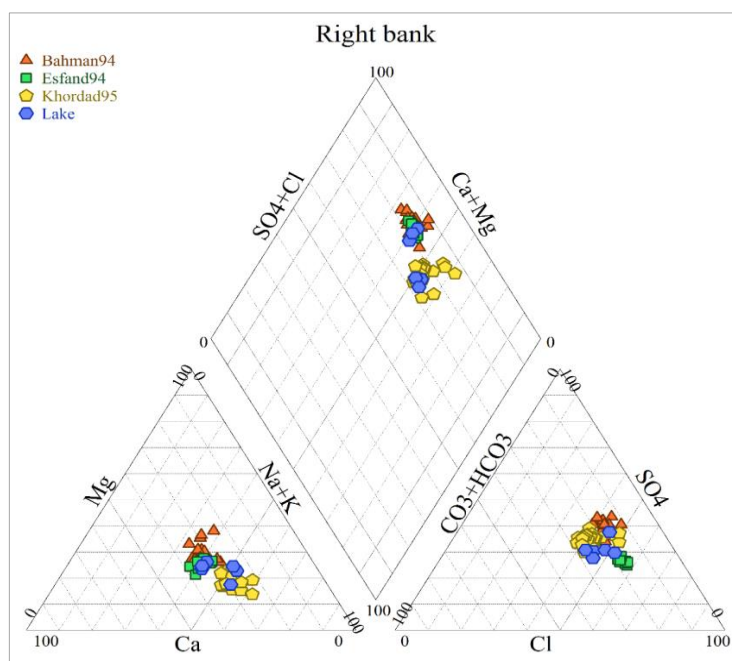
۴-۲-۳-۱ نمودار پایپر

نمودارهای پایپر عمدتاً جهت تعیین نوع آب‌ها، گروه‌بندی رخساره‌های هیدروشیمیایی و مسیرهای تکامل ژئوشیمیایی تهیه می‌گردند. با استفاده از این نمودار، شباهت‌ها و تفاوت‌های نمونه‌ها به خوبی مشخص می‌شود و نمونه‌های با خصوصیات مشابه در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.

الف- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آبی تکیه‌گاه راست سد

تکیه‌گاه راست ساختگاه سد به لحاظ تکتونیکی فعال و بسیار چین خورده بوده و تحت فشارهای تکتونیکی، گسل‌ها و درزه‌های زیادی به وجود آمده است. آب‌های نفوذی در شبکه شکستگی‌هایی که عمدتاً به هم مرتبط هستند، در جریان می‌باشند. به‌طور کلی سازندهای آهکی، دولومیتی، آهک مارنی و بین لایه شیلی و ژپسی در این جناح رخنمون دارند. تکیه‌گاه راست ساختگاه سد دامغان شامل چاه‌های مشاهده‌ای (OW2, OW5, OW6, OW7, OW8, OW9, OW17)، و چشمه‌های پایین دست سد (S1, S2, S6, S7, S8, S9)، چاه‌های فشار شکن (RW1, RW2, RW3)، مانومترهای واقع در گالری تزریق (RP) و همچنین نشت‌های از گالری تزریق سد (Seepage) و آب خروجی از دریچه سد (Dam output) می‌باشد. هدایت الکتریکی در جناح راست بین ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر متغییر بوده است. نتایج آنالیز شیمیایی نشان داده است که آنیون‌های کلر و سولفات و کاتیون سدیم غالب می‌باشند. در این ارتباط نمودارهای پایپر

نمونه‌های آب تکیه‌گاه راست در شکل (۴-۸) ارائه شده است. همچنین تیپ و رخساره تمامی نمونه‌های آب برداشت شده از این جناح مربوط به دوره‌های آماری بهمن ماه، اسفند ۹۴ ماه و خرداد ماه ۹۵ مشخص گردیده است (جدول (۴-۶، ۴-۷، ۴-۸ و ۴-۹). مقایسه نمودارهای پایپر منابع آب موجود در جناح راست ساختگاه سد دامغان در سه دوره آماری، الگوی تقریباً مشابهی را برای هر کدام از منابع آبی نشان می‌دهد. در اکثر نمونه‌های آب در جناح راست سد، کلر آنیون غالب و سدیم کاتیون غالب بوده و در نتیجه تیپ آب، کلروره سدیک می‌باشد. نمونه‌های آب خردادماه نسبت به نمونه‌های آب بهمن و اسفندماه کمی تفاوت را نشان می‌دهند. به‌طوریکه تمامی نمونه‌ها از نظر آنیون‌ها مشابه می‌باشند اما از نظر غلظت کاتیون‌ها تفاوت‌هایی را نشان می‌دهند. نمونه‌های خردادماه ۹۵ مقدار سدیم بیشتر و کلسیم و منیزیم کمتری نسبت به دو گروه بعدی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر مقدار کلسیم و منیزیم در آب‌های فصل و بهمن بیشتر است. پس می‌توان نتیجه گرفت در فصل بهمن و اسفند مقدار حجم آب زیرزمینی برای چشمه‌ها در کمترین حالت قرار دارد و سرعت آب نیز در این محیط (جناح راست) کم بوده که باعث افزایش زمان ماندگاری نیز می‌شود و این دلایل می‌تواند باعث افزایش Ca و Mg گردد. نمونه‌های مربوط به آب دریاچه سد، در زمان‌های مختلف نیز منطبق بر نمونه‌های جناح راست پلات شده است که این امر می‌تواند گواه بر یکی بودن منشأ آب‌ها باشد یا به عبارت دیگر منشأ منابع آب جناح راست می‌تواند از دریاچه باشد و ارتباط هیدرولیکی بین دریاچه و چشمه‌های پایین دست وجود دارد.



شکل ۴-۸ نمودار پایپر نمونه‌های آب جناح راست ساختگاه سد دامغان

جدول ۴-۶ تیپ و رخساره‌های نمونه‌های آب دریاچه سد دامغان - خرداد ۹۵

محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
کنار تراز یاب	Lake-T	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک
جناح راست دریاچه	R-Lake	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک
جناح چپ دریاچه	L-Lake	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک

جدول ۴-۷ تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح راست سد دامغان - بهمن ماه ۹۴

محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
چشمه‌های پایین دست	S 1	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S 2	$SO_4 > Cl > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	سولفات سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₁	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₂	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₃	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₄	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₅	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Na > Ca > Mg$	کلروره سدیک

ادامه جدول ۴-۷

مانومتر (فشارسنج)	RP ₆	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Ca > Na > Mg	کلروره کلسیک
چاه فشارشکن	RW ₁	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چاه فشارشکن	RW ₂	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Mg > Na > Ca	کلروره منیزیک
چاه فشارشکن	RW ₃	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₂	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₅	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₆	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₇	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₈	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Ca > Na > Mg	سولفات کلسیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₉	SO ₄ > Cl > HCO ₃	Ca > Mg > Na	سولفات کلسیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₁₇	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Ca > Mg > Na	کلروره کلسیک
نشستی- گالری تزریق	Seepage	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک

جدول ۴-۸ تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح راست سد دامغان- اسفند ماه ۹۴

محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
چشمه‌های پایین دست	S ₁	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₂	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₆	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₇	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₈	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₉	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چاه فشارشکن	RW ₁	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چاه فشارشکن	RW ₂	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک
چاه فشارشکن	RW ₃	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Mg > Ca	کلروره سدیک

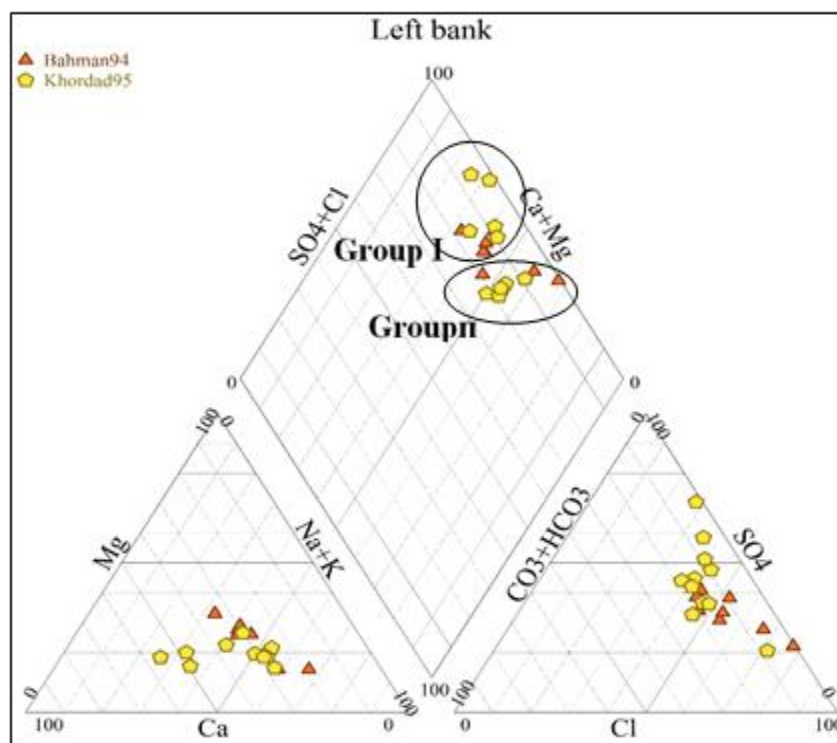
جدول ۹-۴ تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح راست سد دامغان - خردادماه ۹۵

محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
چشمه‌های پایین دست	S ₁	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₂	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₆	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	سولفات سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₇	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	سولفات سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₈	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چشمه‌های پایین دست	S ₉	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₁	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₂	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₃	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₄	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₅	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
مانومتر (فشارسنج)	RP ₆	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه فشارشکن	RW ₁	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه فشارشکن	RW ₂	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه فشارشکن	RW ₃	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
نشستی - گالری تزریق	Seepage	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
خروجی دریچه سد	Dam output	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₂	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₅	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	سولفات سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₆	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₇	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₈	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₉	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW ₁₇	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	کلروره سدیک
چشمه علی	Ali spring	Cl > SO ₄ > HCO ₃	Na > Ca > Mg	بی کربناته کلسیک

ب- بررسی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آبی تکیه‌گاه چپ سد

جناح چپ که منطقه کم ارتفاع و تپه ماهوری است، دارای شیب ملایم می‌باشد. حداکثر رقوم ارتفاعی آن ۱۴۱۰ متر می‌باشد که چیرگی رقوم‌های ارتفاعی بیشتر به ترازهای ۱۳۲۰ تا ۱۳۳۵ متر مربوط می‌گردد. این جناح از کنگلومرا نسبتاً مستحکم ما بین لایه‌های مارنی و مارن گچ‌دار و رسوبات عهد حاضر است. به‌طور کلی از ۱۷ چاه مشاهده‌ای در ساختگاه سد دامغان که جهت پایش تغییرات سطح آب حفر شده است، ۶ حلقه چاه در جناح چپ که شامل چاه‌های مشاهده‌ای (OW3, OW4, OW10, OW11, OW13, OW14) و نشستی‌های از محل اتصال بدنه به تکیه‌گاه چپ (S3, S4, S5) می‌باشد، قرار دارد. جهت جریان آب براساس سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای از تکیه‌گاه چپ به سمت پایین دست (رودخانه) می‌باشد. ویژگی‌های هیدروشیمی منابع آب جناح چپ براساس میزان هدایت الکتریکی و نمودار پایپر و شولر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب به طور اجمالی تابع لیتولوژی مسیر جریان آب می‌باشد. محدوده هدایت الکتریکی در چاه‌های مشاهده‌ای واقع در جناح چپ ۲۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. بررسی ترکیب شیمیایی نقاط نمونه‌برداری در جناح چپ سد نشان می‌دهد که مقدار غلظت یون‌های کلر و سدیم بیشتر از بقیه یون‌ها می‌باشد. براساس نمودار پایپر رسم شده (شکل ۴-۹) مربوط به نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان در سه دوره آماری بهمن و اسفند ۹۴ و خرداد ۹۵ قابل مشاهده می‌باشد که در جناح چپ، تیپ و رخساره منابع آب انتخاب شده کلروره سدیک می‌باشد. همچنین تیپ و رخساره نمونه‌های آب برداشت شده به‌طور جداگانه در جداول (۴-۱۰، ۴-۱۱ و ۴-۱۲) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود مقدار غلظت آنیون‌های کلر و سولفات و کاتیون‌های سدیم و کلسیم بالا است. چاه‌های مشاهده‌ای شماره ۳ و ۱۳ و ۱۴ (OW3, OW13, OW14) بالاترین هدایت الکتریکی را دارند، محدوده EC در آنها ۵۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده که چاه شماره ۳ و ۱۴ تیپ سولفات و چاه شماره ۱۳ تیپ کلروره را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تیپ کلروره

می‌تواند به دلایل وجود رسوبات تبخیری و رس‌ها باشد بنابراین می‌توان از تأثیر لایه‌های نمک (انحلال نمک) و همچنین وجود میان لایه‌های ژیبسی به‌عنوان دلیل اصلی این مطلب یاد کرد. وجود رسوبات نمکی در اطراف سرریز سد در جناح چپ، وجود لایه‌های تبخیری و نمکی را تأیید می‌کند. همان‌طور که در خردادماه ۹۵ تیپ آب بعضی از چاه‌های مشاهده‌ای (OW3, OW10, OW14) از کلروره به سمت تیپ سولفات و رخساره کلسیک تغییر کرده است که می‌توان علت آن را به واسطه انحلال رگه‌های ژیبس موجود در لایه‌های مارنی سازنده‌های جناح چپ و در نتیجه افزایش مقدار سولفات در آب این چاه‌ها تفسیر نمود. مقایسه نتایج آنالیز شیمیایی براساس نمودار پایپر ارائه شده در دو دوره زمانی بهمن ۹۴ و خرداد ۹۵ الگوی مشابهی را برای هر کدام از منابع آبی نشان می‌دهد. اما در کل دو گروه در این منطقه دیده می‌شود که اختلاف آنها بیشتر در مقدار آنیون‌های کلر و سولفات می‌باشد و این دو گروه نسبت به آب دریاچه غلظت بالاتری را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۹ نمودار پایپر نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان بهمن ماه ۹۴ و خرداد ماه ۹۵

جدول ۴-۱۰ تیپ و رخساره نمونه‌های آب دریاچه سد دامغان - اسفند و بهمن ماه ۹۴

محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
نمونه ۱ دریاچه	Lake 1	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
نمونه ۲ دریاچه	Lake 2	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
نمونه ۳ دریاچه	Lake	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک

جدول ۴-۱۱ تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان - بهمن ماه ۹۴

محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
نشت از کالورت	S 3	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
نشت از محل اتصال بدنه به تکیه‌گاه چپ	S 4	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
نشت از محل اتصال بدنه به تکیه‌گاه چپ	S 5	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW3	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW4	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW10	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW11	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW13	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW14	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک

جدول ۴-۱۲ تیپ و رخساره نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان - خرداد ماه ۹۵

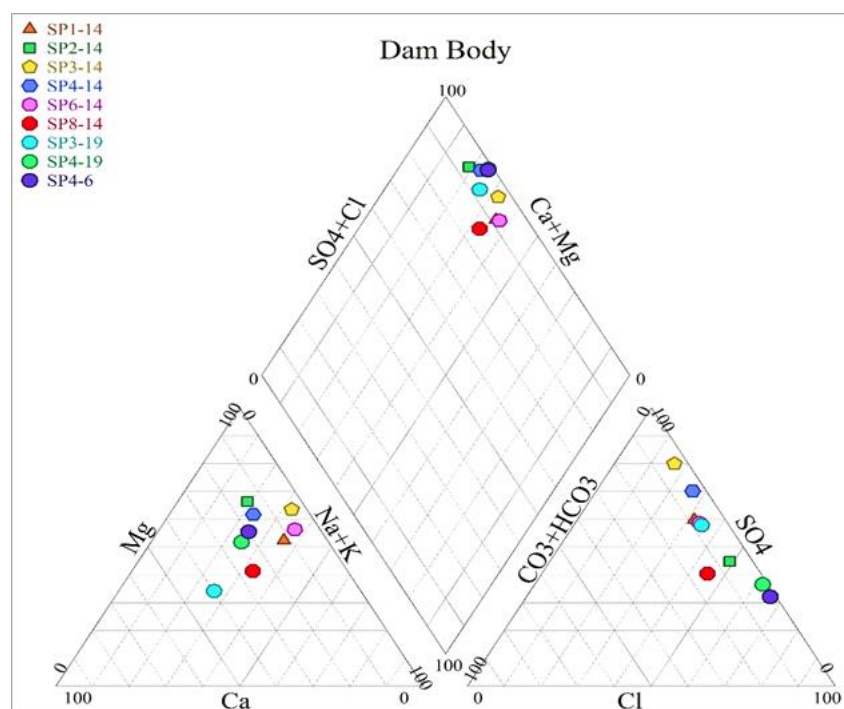
محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
چاه مشاهده‌ای	OW3	$\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$	سولفات کلسیک
چاه مشاهده‌ای	OW4	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW10	$\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	سولفات سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW11	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Mg} > \text{Na} > \text{Ca}$	کلروره منیزیک
چاه مشاهده‌ای	OW13	$\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$	سولفات سدیک
چاه مشاهده‌ای	OW14	$\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$	$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$	سولفات کلسیک
چاه مشاهده‌ای	OW15	$\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$	کلروره سدیک

ادامه جدول ۴-۱۲

سولفات کلسیک	Ca > Na > Mg	SO ₄ > Cl > HCO ₃	OW16	چاه مشاهده‌ای
سولفات سدیک	Na > Ca > Mg	Cl > SO ₄ > HCO ₃	S ₃	نشت از کالورت
سولفات سدیک	Na > Ca > Mg	Cl > SO ₄ > HCO ₃	S ₄	نشت از محل اتصال به تکیه‌گاه چپ
سولفات سدیک	Na > Ca > Mg	Cl > SO ₄ > HCO ₃	S ₅	نشت از محل اتصال به تکیه‌گاه چپ

ج- بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی پیزومترهای واقع در بدنه سد

در سد دامغان سه مقطع ۶، ۱۴ و ۱۹ به منظور سنجش فشار آب منفذی پیزومترهای در عمق‌های مختلف نصب شده است. به منظور شناسایی خصوصیات هیدروژئوشیمیایی، در خردادماه ۹۵ اقدام به نمونه‌برداری از این پیزومترها با استفاده از پمپ مکش شد. در ترکیب شیمیایی آب پیزومترها، آنیون‌های کلر و سولفات و کاتیون منیزیم دارای بیشترین غلظت نسبت به سایر یون‌ها می‌باشد. بنابراین تیپ آب متغیر بین کلروره و سولفات می‌باشد. در این ارتباط نمودار پایپر نمونه‌های آب پیزومترهای بدنه سد در شکل (۴-۱۰) ارائه شده است. بیشتر این پیزومترها مقدار هدایت الکتریکی (EC) بالایی را نشان می‌دهند. علت بالا بودن هدایت الکتریکی انحلال کانی‌های تبخیری و گذر از رس موجود در مواد قرضه در هسته سد می‌باشد. رفتار این پیزومترها در نمودار پایپر نسبت به مخزن و تکیه‌گاه‌های ساختگاه سد متفاوت می‌باشد و در بالای لوزی به سمت سولفات و کلر و کلسیم و منیزیم بیشتر قرار گرفته‌اند و نسبت به آب دریاچه دارای کلسیم و منیزیم بیشتر و سدیم کمتر می‌باشد بنابراین آب دریاچه نمی‌تواند از رس عبور کرده و وارد چشمه‌های پایین دست شود.

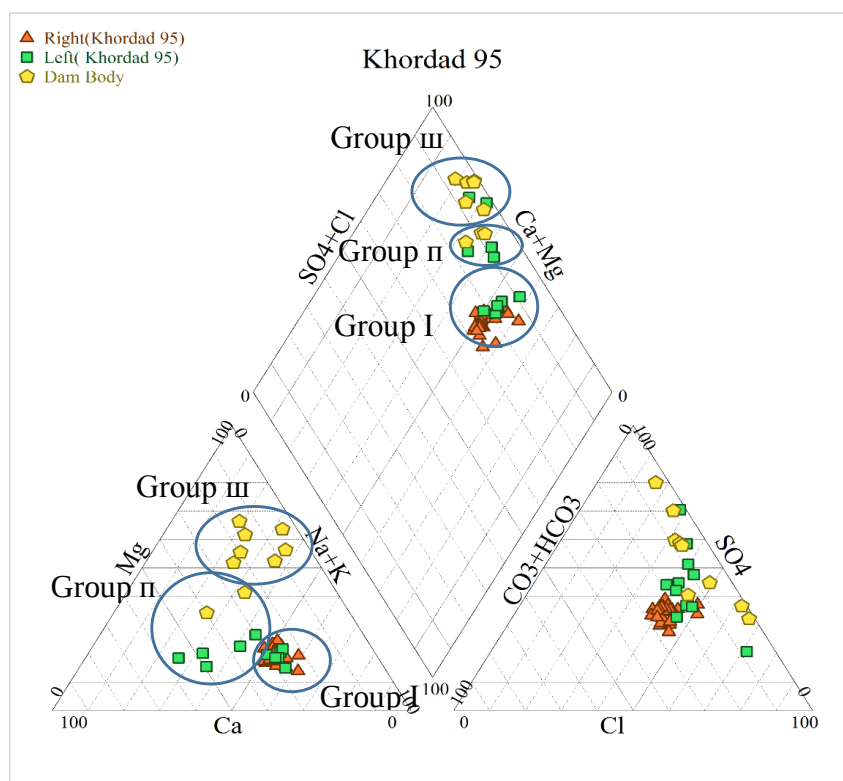


شکل ۴-۱۰ نمودار پایپر نمونه‌های آب پیزومترهای کاساگراند نصب شده در بدنه و پی سد

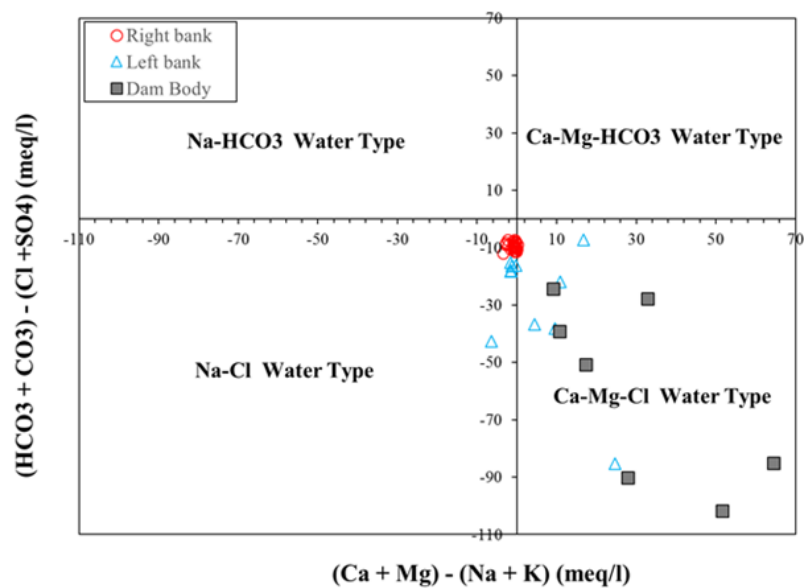
جدول ۴-۱۳ تیپ و رخساره نمونه‌های آب پیزومترهای بدنه و پی سد دامغان- خردادماه ۹۵

محل نمونه‌برداری	علامت اختصاری	غلظت آنیون‌ها	غلظت کاتیون‌ها	تیپ و رخساره
پیزومترهای کاساگراند بدنه و سد	SP 1-14	$SO_4 > Cl > HCO_3$	$Mg > Na > Ca$	سولفات منیزیک
پیزومترهای کاساگراند	SP 2-14	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Mg > Na > Ca$	کلروره منیزیک
پیزومترهای کاساگراند	SP 3-14	$SO_4 > Cl > HCO_3$	$Mg > Na > Ca$	سولفات منیزیک
پیزومترهای کاساگراند	SP 4-14	$SO_4 > Cl > HCO_3$	$Mg > Na > Ca$	سولفات منیزیک
پیزومترهای کاساگراند	SP 6-14	$SO_4 > Cl > HCO_3$	$Mg > Na > Ca$	سولفات منیزیک
پیزومترهای کاساگراند	SP 8-14	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Mg > Na > Ca$	کلروره منیزیک
پیزومترهای کاساگراند	SP 3-19	$SO_4 > Cl > HCO_3$	$Ca > Mg > Na$	سولفات کلسیک
پیزومترهای کاساگراند	SP 4-19	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Mg > Na > Ca$	کلروره منیزیک
پیزومترهای کاساگراند	SP 4-6	$Cl > SO_4 > HCO_3$	$Mg > Na > Ca$	کلروره منیزیک

رخساره‌های آب زیرزمینی معین کننده توده‌های آبی با ماهیت ژئوشیمی متفاوت می‌باشند. مقایسه نمونه-های منابع آبی انتخابی در جدیدترین زمان نمونه‌برداری یعنی خرداد ماه ۹۵ در تکیه‌گاه‌های راست و چپ و همچنین پیزومترهای بدنه سد دامغان بر روی نمودار پایپر پلات شده است. براساس نمودار پایپر سه گروه قابل شناسایی می‌باشد. گروه اول (I) که عمدتاً مربوط به نمونه‌های آب جناح راست می‌باشد دارای سدیم بیشتری نسبت به دو گروه دیگر است. بر روی نمودار مثلث کاتیونی، گروه دوم (II) دارای کلسیم بیشتر و گروه (III) دارای منیزیم بیشتر می‌باشد. اما از لحاظ آنیونی گروه I و II تقریباً مشابه بوده اما گروه III دارای غلظت کلر و سولفات متفاوتی می‌باشد. با توجه به نمودار لوزی گروه II در بین گروه I و III قرار گرفته است. گروه دوم مربوط به جناح چپ می‌باشد. این نشانگر این است که آب‌های جناح چپ حاصل اختلاط آب‌هایی با خصوصیات جناح راست و بدنه سد می‌باشند. بدنه سد که مربوط به آب‌های عبوری از رس و کمی گچ منابع قرضه می‌باشد. در جناح چپ نیز رس و بین لایه‌های گچ و نمک وجود دارد پس شرایط لیتولوژی یکسان دارند. همچنین در جناح راست آب دریاچه نفوذ کرده است. در جناح چپ نیز می‌تواند آب دریاچه نفوذ کرده باشد. بنابراین در جناح چپ آب دریاچه در اثر و عبور و تماس با رس و گچ رفتاری بین گروه I و III پیدا کرده است. همچنین در شکل (۱۲-۴) نمودار تیپ آب مربوط به داده‌های دوره زمانی خردادماه ۹۵ ارائه گردیده است. نتایج آنالیز شیمیایی مربوط به نمونه‌های آب در جناح راست و چپ و پیزومترهای بدنه ساختگاه سد بر روی نمودار پلات شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در این نمودار چهار نوع تیپ آب (Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃, Na-Cl, Ca-Mg-Cl) قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به نمودار اکثر نمونه‌های آب در جناح راست و چپ ساختگاه سد بر روی محور عمودی و متمایل به تیپ Na-Cl قرار گرفته‌اند که دلایل آن قبلاً ذکر شده است. نمونه‌های آب مربوط به پیزومترهای بدنه سد همگی تیپ آب Ca-Mg-Cl را نشان می‌دهند.



شکل ۴-۱۱ نمودار پایپر مربوط به نمونه‌های آب تکیه‌گاه‌ها و پیزومترهای بدنه و پی ساختگاه سد دامغان



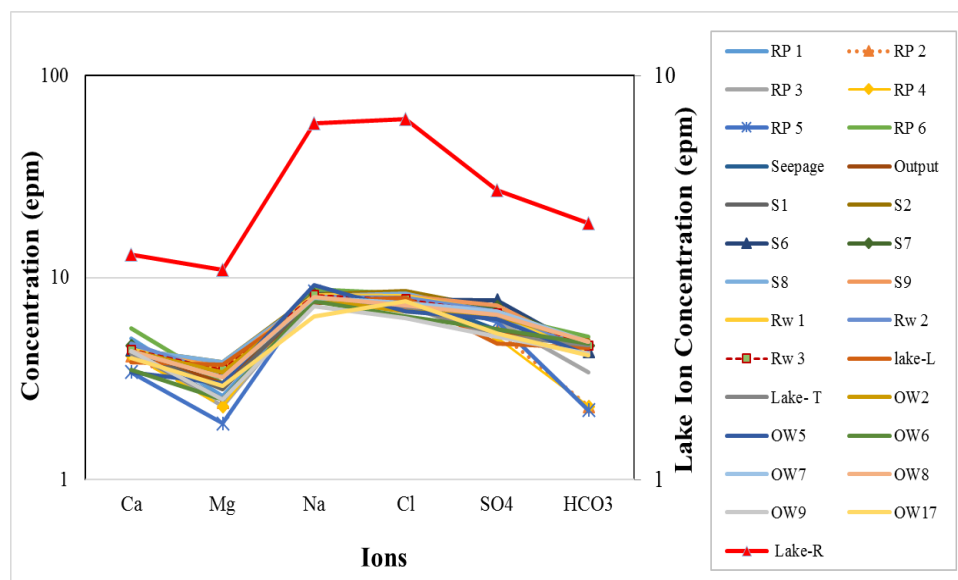
شکل ۴-۱۲ نمودار تیپ آب مربوط به نمونه‌های آب جناحین و پیزومترهای بدنه ساختگاه سد دامغان

۴ - ۲ - ۳ - ۲ نمودار شولر

نمودار شولر به منظور بررسی یکسان بودن یا نبودن منشأ نمونه‌ها، بررسی روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی آب و مقایسه تعداد زیادی نمونه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. یون‌های اصلی کلسیم، منیزیم، سدیم، سولفات، کلر، بی‌کربنات برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر در محور افقی نمودار قرار دارند. با توجه به نیمه لگاریتمی بودن محور عمودی نمودار شولر، خطوط موازی نشانگر روند یکسان و بالتبع یکی بودن منشأ و مساوی بودن نسبت یون‌ها در نمونه‌ها است (Todd and Mays, 2005).

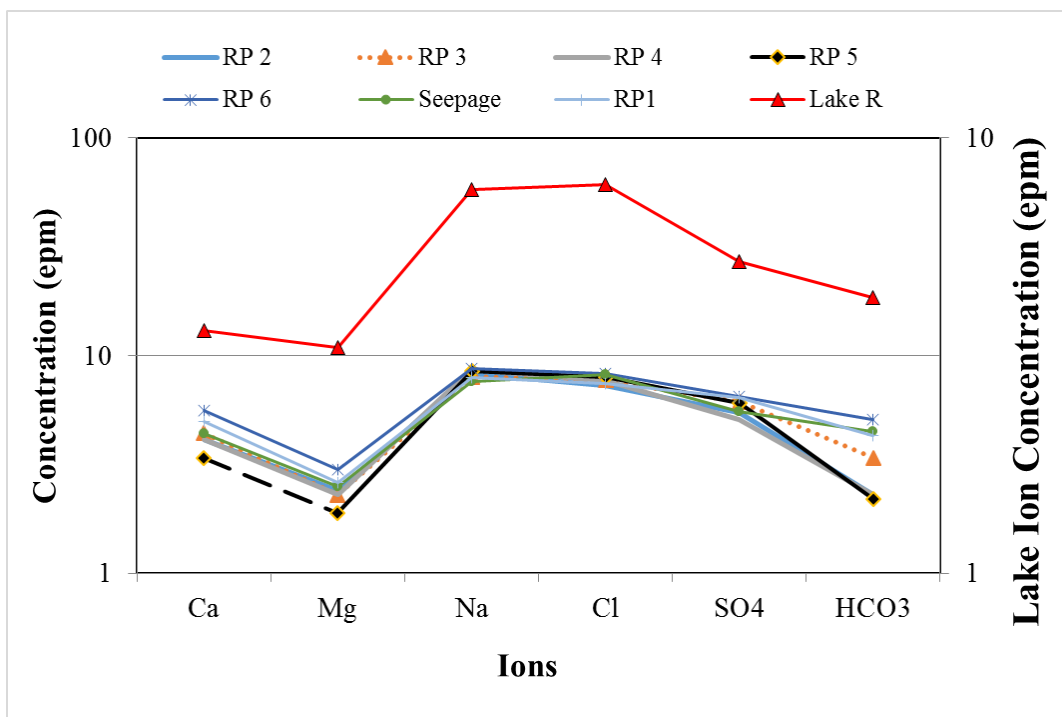
الف- بررسی روند تغییرات یون‌های اصلی جناح راست ساختگاه سد با توجه به نمودار شولر

روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی (Ca , Mg , Na , Cl , SO_4 , HCO_3) منابع آب انتخابی در جناح راست ساختگاه سد دامغان در سه دوره آماری بهمن، اسفند ماه ۹۴ و خردادماه ۹۵ در شکل (۴-۱۳) ارائه گردیده است. به منظور بررسی ارتباط هیدرولیکی بین مخزن یا دریاچه سد (Lake) با منابع آب پایین دست به خصوص چشمه‌های S1, S2, S6, S7, S8, S9 روند تغییرات یون‌های اصلی در هر کدام از منابع آب انتخابی در جناح راست با مخزن یا دریاچه سد به منظور مقایسه بهتر و پی بردن به یکسان بودن و یا نبودن منشأ نمونه‌های آب با توجه به جدیدترین نتایج آنالیز شیمیایی که مربوط به دوره آماری خرداد ماه ۹۵ می‌باشد، روی یک نمودار شولر ترسیم شده است. یون‌های کلر و سدیم و سپس سولفات در آب دریاچه غالب بوده که در مقایسه با منابع آب جناح راست رفتار مشابهی دارند. با توجه به نمودار شولر مربوط به کلیه نمونه‌های آب جناح راست ساختگاه سد دامغان، روند تغییرات غلظت یون‌ها در جناح راست در مقایسه با مخزن یا دریاچه سد یکسان بوده که بیانگر منشأ مشترک آن‌ها می‌باشد.

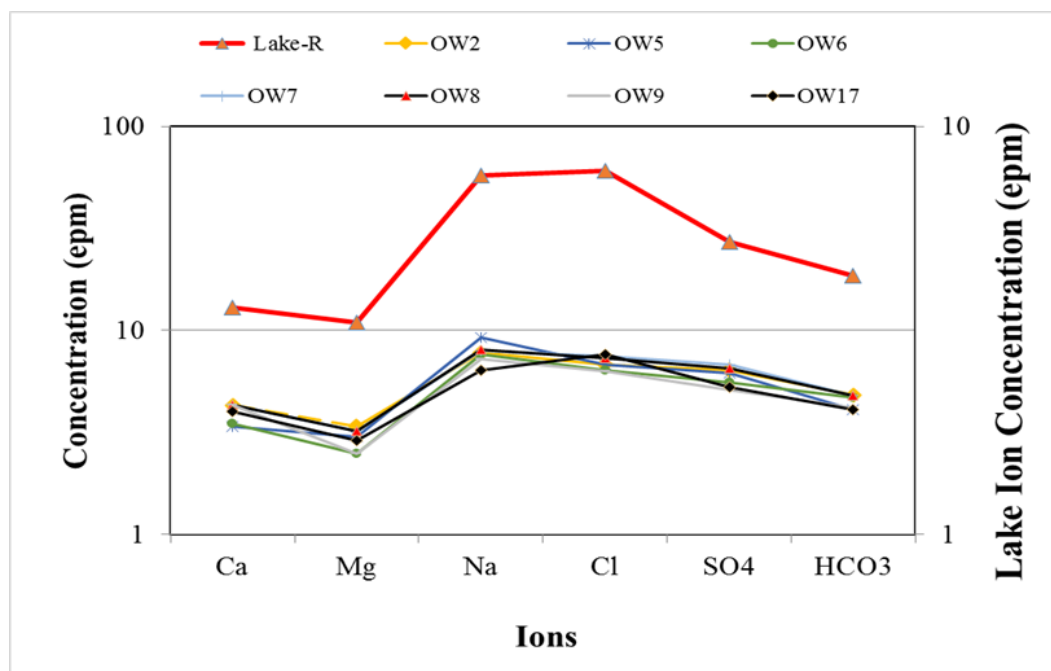


شکل ۴-۱۳ روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی منابع آب در جناح راست سد در مقایسه با دریاچه سد

همچنین در ادامه به منظور بررسی بیشتر منشأ آب‌ها و وجود ارتباط هیدرلیکی بین مخزن سد با منابع آب پایین دست به خصوص چشمه‌های موجود در جناح راست سد، روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی منابع آب انتخابی در مقایسه با مخزن یا دریاچه به‌طور جداگانه بر روی نمودار شولر ترسیم شده و مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. نتایج آنالیز شیمیایی مربوط به نمونه‌های آب مانومترها (RP) و آب نشتی گالری تزریق (Seepage) رفتار مشابهی را با مخزن سد (Lake) نشان می‌دهد که دلیل بر داشتن منشأ یکسان و وجود ارتباط هیدرولیکی می‌باشد شکل (۴-۱۴). این روند مشابه تغییرات غلظت عناصر اصلی در چاه‌های مشاهده‌ای (OW) واقع در جناح راست سد با دریاچه سد نیز مشاهده شده است شکل (۴-۱۵).

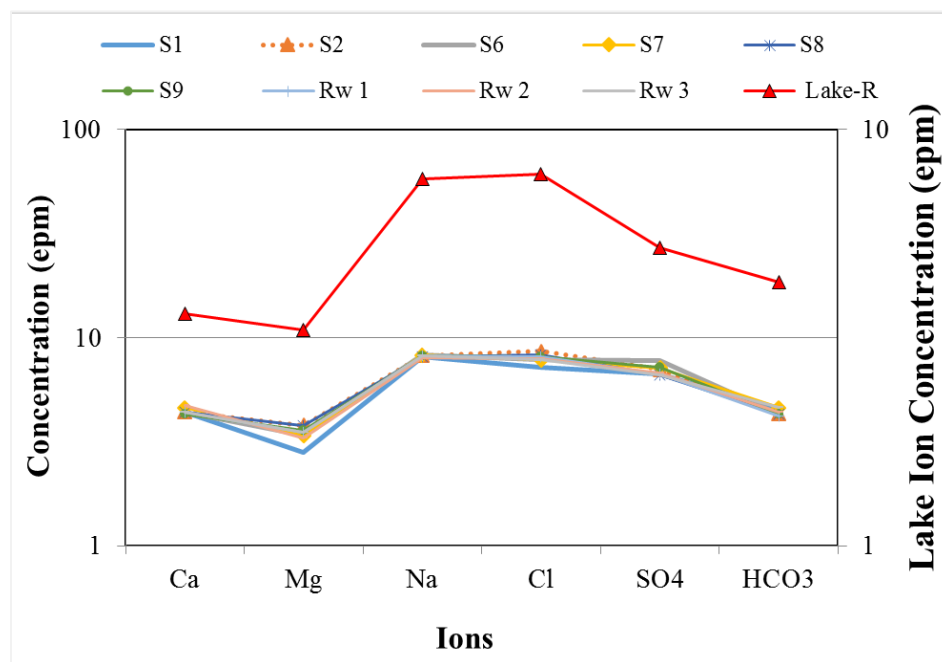


شکل ۴-۱۴ نمودار شولر مربوط به نمونه‌های آب مانومترو نشتی گالری تزریق در جناح راست سد و دریاچه



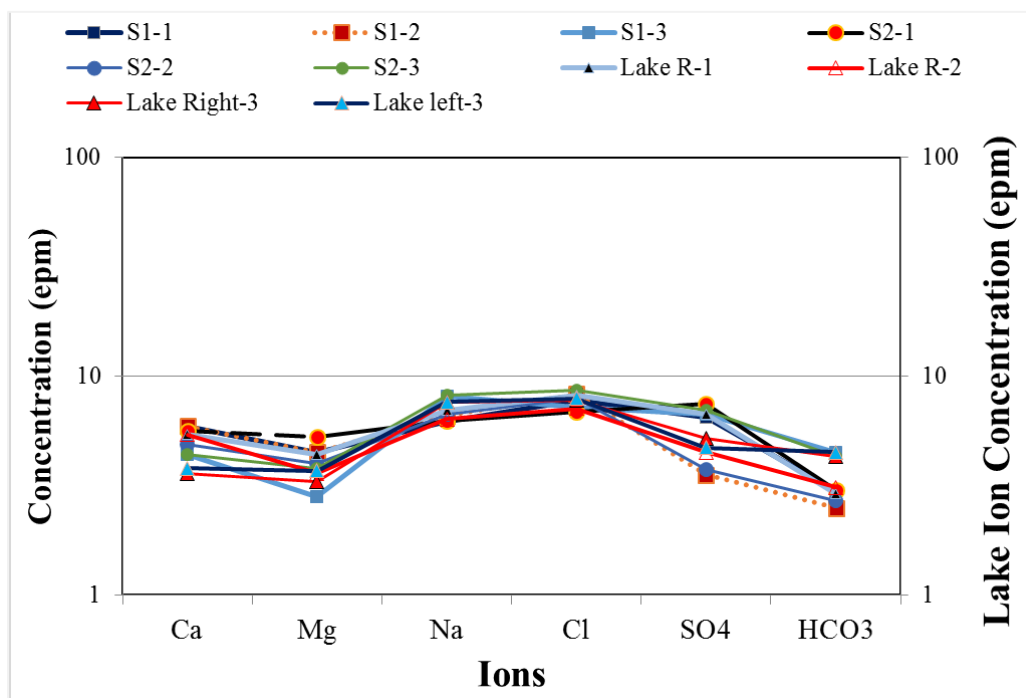
شکل ۴-۱۵ نمودار شولر مربوط به نمونه‌های آب چاه‌های مشاهده‌ای جناح راست و دریاچه

با توجه به اینکه وجود و ظهور چشمه‌هایی (S1, S2, S6, S7, S8, S9) در پایین دست تکیه‌گاه راست و محل پاشنه ساختگاه سد یکی از مهم‌ترین مسائل مربوط به سد دامغان بوده و بررسی وجود ارتباط هیدرولیکی بین مخزن یا دریاچه سد با چشمه‌های ذکر شده و تعیین منشأ آنها اهمیت دارد، لذا روند تغییرات غلظت عناصر اصلی نمونه‌های آب این چشمه‌ها و همچنین چاه‌های فشارشکن (RW) در کنار مخزن سد روی یک نمودار شولر ترسیم شده است شکل (۴-۱۶). بررسی نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های آب چشمه‌ها و دریاچه سد حاکی از غالب بودن آنیون کلر و کاتیون سدیم و در نتیجه تیپ و رخساره کلروره - سدیک می‌باشد. با توجه به نمودار شولر روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های آب مربوط به چشمه‌ها و چاه‌های فشارشکن در مقایسه با مخزن سد، مشابه می‌باشد که نشانگر منشأ یکسان آنها است. با توجه به اینکه مخزن سد در ارتفاع بالاتری نسبت به چشمه‌ها قرار گرفته است بنابراین احتمال جریان آب از مخزن به سمت چشمه‌ها وجود دارد.



شکل ۴-۱۶ نمودار شولر مربوط به نمونه‌های آب چشمه‌ها و چاه‌های فشارشکن جناح راست در مقایسه با دریاچه سد

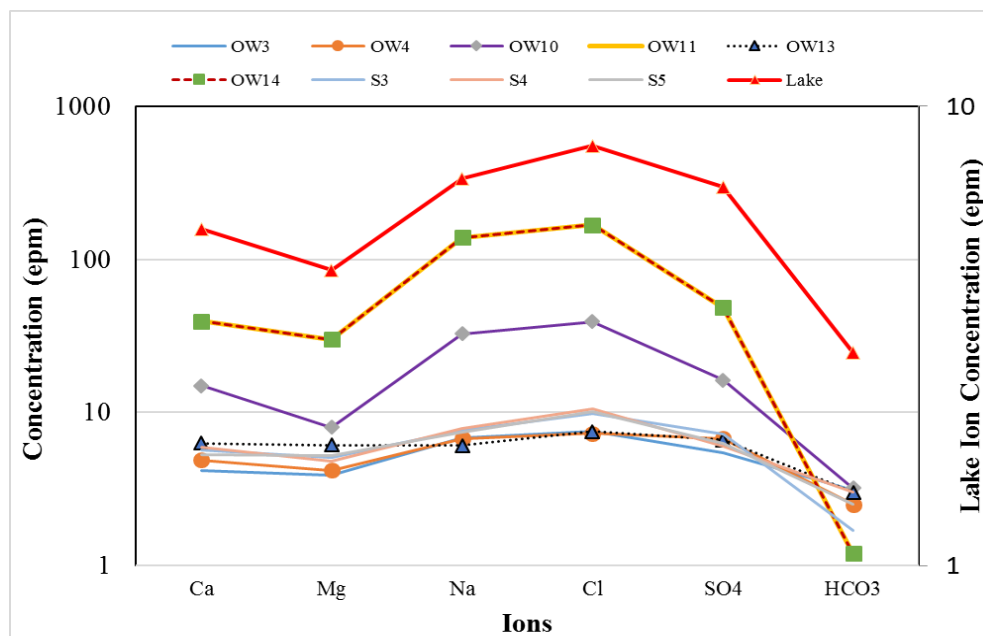
جهت بررسی تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در چشمه‌های پایین دست و دریاچه سد، آنالیز شیمیایی سه دوره زمانی مختلف برای دریاچه و چشمه‌های S1 و S2 بر روی دیاگرام شولر در شکل (۴-۱۷) ارائه شده است. تقریباً تمامی نمونه‌ها رفتار و روند یکسانی دارند که گواه بر منشأ یکسان آنها در طول زمان می‌باشد. در کل می‌توان بیان نمود که رفتار هیدروشیمیایی چشمه‌های پایین دست و مخزن سد یکسان بوده و وجود ارتباط هیدرولیکی بین مخزن و چشمه‌های پایین دست را تأیید می‌کند. مسیر احتمالی حرکت آب نیز می‌تواند هم از طریق جناح راست و هم از طریق زیر پی سد باشد. زیرا رفتار هیدروشیمیایی گمانه‌های جناح راست و همچنین مانومترهای واقع در زیر و پی سد با دریاچه یکسان است. جهت تعیین ارتباط هیدرولیکی و مسیر احتمالی نیاز به مطالعات هیدروژئولوژی و ژئوتکنیک نیز می‌باشد که در ادامه به آن پرداخته شده است.



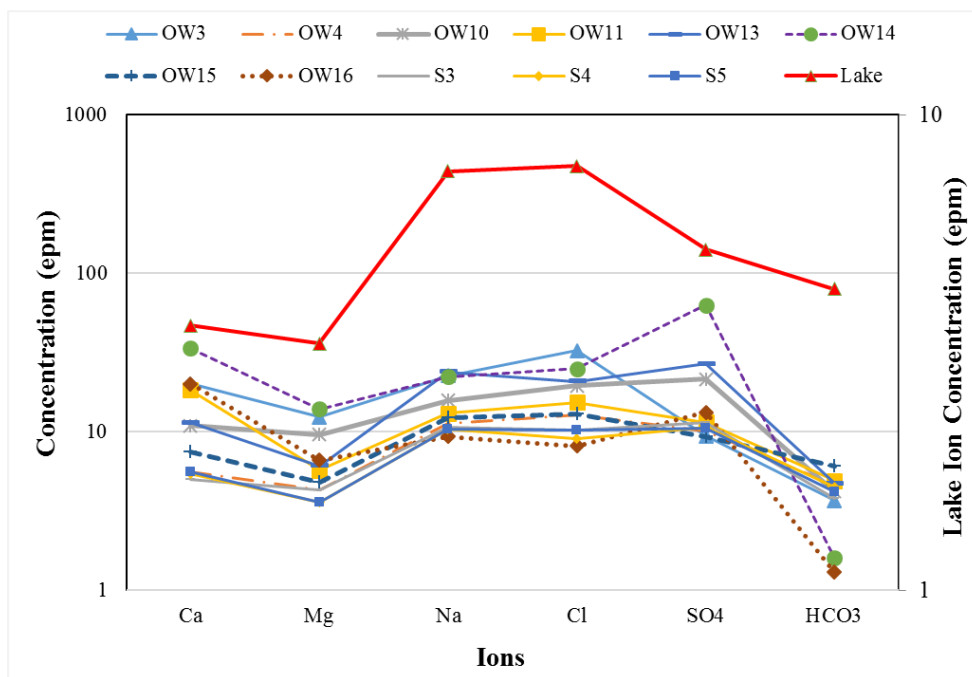
شکل ۴-۱۷ نمودار شولر مربوط به نمونه‌های آب چشمه S1 و S2 و دریاچه در طی سه دوره زمانی

ب) روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی (نمودار شولر) در جناح چپ ساختگاه سد:

با توجه به نمودار شولر نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد در دوره آماری بهمن ماه ۹۴، کلر و سدیم دارای بیشترین غلظت نسبت به سایر یون‌ها می‌باشد. و در دوره زمانی خردادماه ۹۵، سولفات و کلسیم و برخی دیگر کلر و سدیم بیشترین غلظت را نسبت به سایر یون‌ها دارند شکل (۱۸-۴ و ۴-۱۹). در کل روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی در چاه‌های مشاهده‌ای جناح چپ با مخزن یکسان بوده که این می‌تواند دلیل بر یکسان بودن منشأ و ارتباط هیدرولیکی و جریان آب از مخزن به سمت جناح چپ باشد. اما غلظت یون‌ها در جناح چپ بیشتر از دریاچه بوده که دلیل آن انحلال ژئوپس و نمک در سازندهای جناح چپ می‌باشد. در دو فصل بهمن ماه و خردادماه روند برخی از چاه‌های مشاهده‌ای تغییر کرده که علت آن می‌تواند مربوط به فصول بارش و خشک و تغییرات سطح آب دریاچه و چاه‌های مشاهده‌ای باشد که در اثر آن سرعت جریان، سطح تماس با سازند و میزان انحلال تغییر می‌کند.



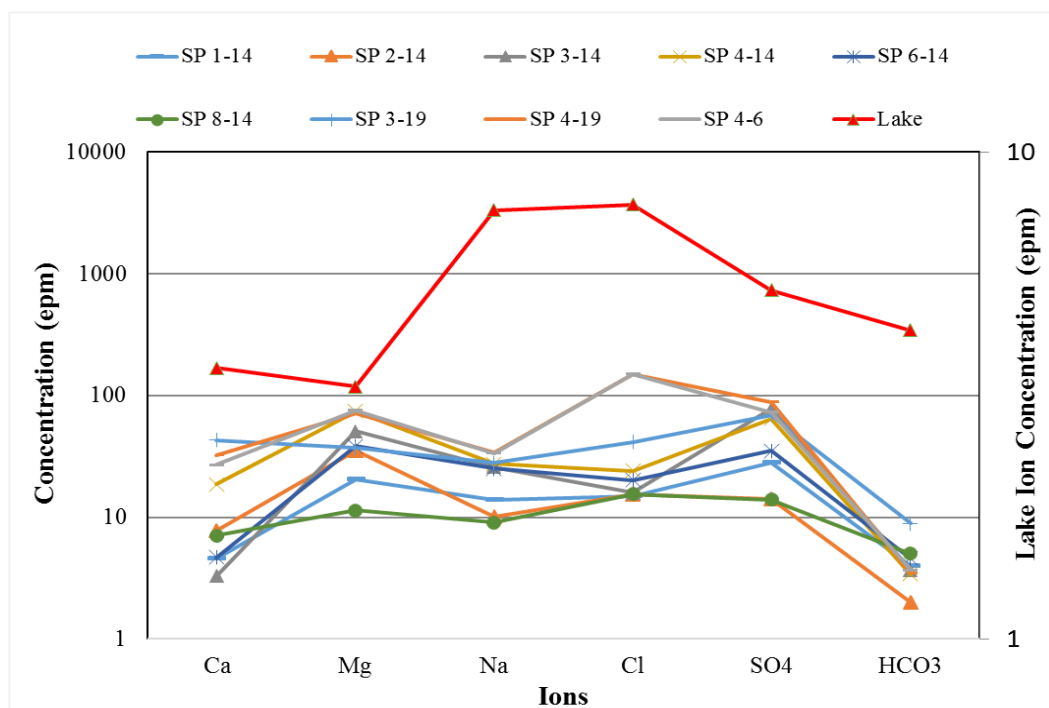
شکل ۴-۱۸ نمودار شولر نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سددامغان (بهمن ماه ۹۴)



شکل ۴-۱۹ نمودار شولر نمونه‌های آب جناح چپ ساختگاه سد دامغان

ج) بررسی روند تغییرات غلظت یون‌های اصلی در پیزومترهای واقع در بدنه سد:

نمونه‌های آب پیزومترهای واقع در بدنه سد همراه با آب دریاچه در شکل (۴-۲۰) ترسیم شده است. روند آنها شباهت کمی با دریاچه دارد و آب وارد شده در بدنه سد در طول مسیر از رس و هسته سد ترکیب متفاوتی پیدا کرده است بطوریکه مقدار منیزیم و سولفات آن نسبت به دریاچه بیشتر شده است که این می‌تواند به دلیل وجود رس و همچنین انحلال کانی‌های تبخیری موجود در منابع قرضه باشد. روند ترکیب شیمیایی بدنه سد با منابع آب جناح راست و چشمه‌های پایین دست متفاوت می‌باشد و منشأ یکسانی ندارند.



شکل ۴-۲۰ نمودار شولر نمونه‌های آب پیزومترهای بدنه و پی ساختگاه سد دامغان

بخش سوم: زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک

۴ - ۳ مقدمه

سدها به عنوان موانع ساخته شده بر روی رودخانه‌ها از حرکت آب جلوگیری کرده و باعث ارتفاع گرفتن آب در مخزن می‌شوند و تعادل هیدرولیکی را بر هم می‌زنند. گرادیان بالای بین آب دریاچه و آب زیرزمینی پایین دست باعث می‌شود تا آب ذخیره شده در پشت سد تمایل به حرکت به سمت پایین دست داشته باشد. مسیرهای احتمالی حرکت آب از زیر پی سد و تکیه گاه‌ها می‌باشد. لذا می‌بایستی شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه سد به خصوص از منظر تراوایی و مقاومتی به دقت بررسی شده و چنانچه نیاز به بهسازی می‌باشد، روش‌هایی مانند تزریق سیمان به کار گرفته شود. هنگامی که آب از زیر پی سد حرکت نماید، در قسمت پایین دست حرکت رو به بالا خواهد داشت. نشت به سمت بالا باعث افزایش نیروی بالا برنده شده و پایداری سد را به خطر اندازد. به همین دلیل کنترل تراوش آب از پی سدها و ارزیابی وضعیت فشار آب منفذی دارای اهمیت بالایی می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت شناخت خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه سد و نیز طراحی پرده آب‌بند از مهم‌ترین مراحل عملیات اجرایی سدها می‌باشد.

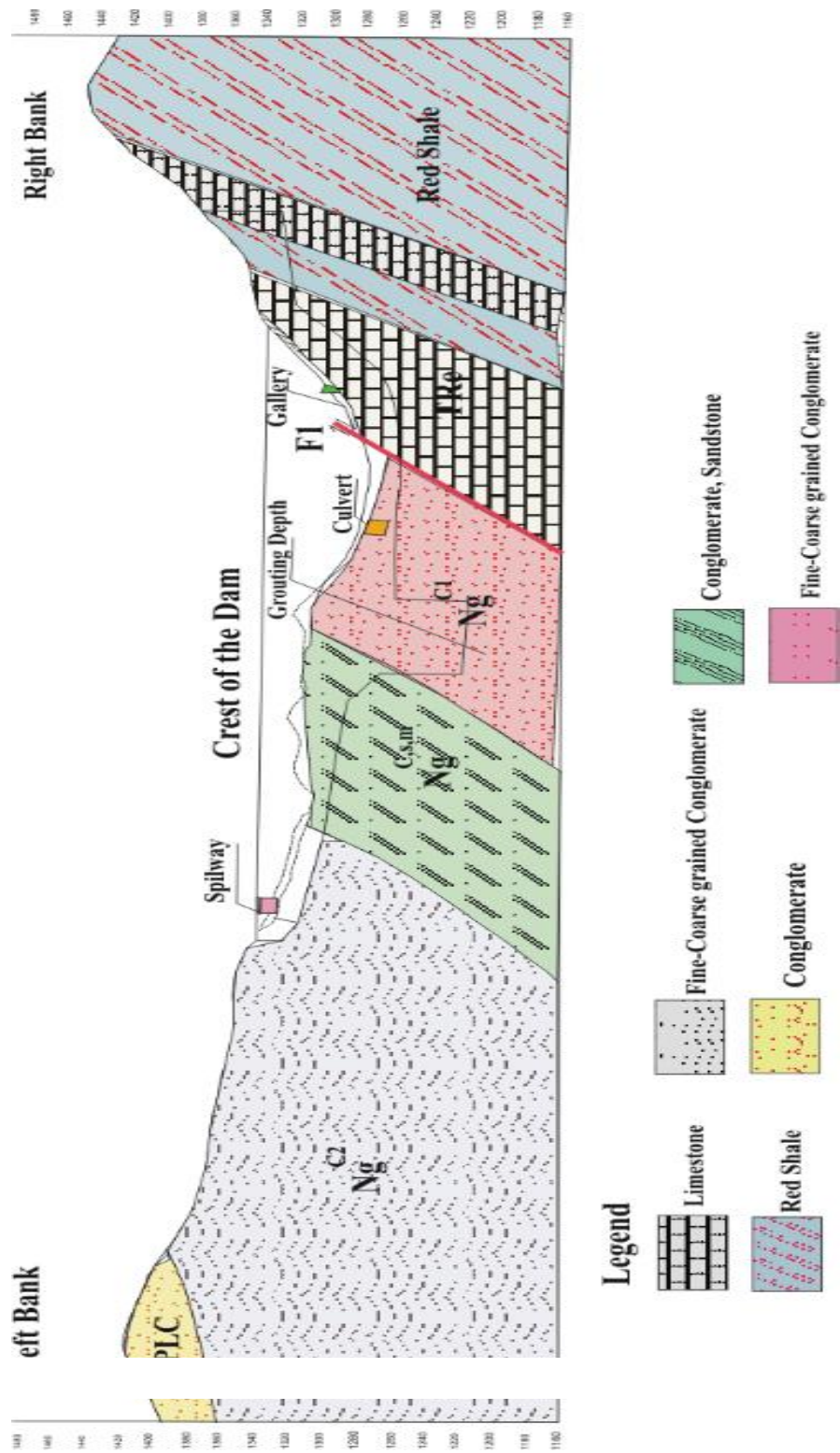
در مطالعات ژئوتکنیکی به منظور بررسی وجود پتانسیل فرار آب، پارامترهایی نظیر شرایط لیتولوژیکی ساختگاه، وضعیت گسترش ناپیوستگی‌هایی نظیر درزه و گسل و نفوذپذیری یا تراوایی لایه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. این مطالعات با استفاده از برداشت‌های سطحی و زیرسطحی بدست آمده توسط حفاری‌های اکتشافی، انجام می‌شود. در این بخش به بررسی و مطالعه وضعیت زمین‌شناسی زیرسطحی و ژئوتکنیکی ساختگاه سد پرداخته می‌شود. از آنجایی که تکیه‌گاه راست ساختگاه سد منطقه تکتونیزه با درجه خردشدگی بالا می‌باشد و منابع آب نشتی در این تکیه‌گاه قرار دارند، لذا عمده مطالعات ژئوتکنیکی مؤثر در پدیده نشت برای این تکیه‌گاه صورت گرفته است.

۴- ۳- ۱ شرایط لیتولوژیکی ساختگاه سد دامغان

محل ساختگاه سد در تکیه‌گاه راست بر روی سازند الیکا با سن تریاس واقع شده است. در محدوده جناح راست ساختگاه سد سنگ‌های نفوذناپذیر شیلی و واحدهای سنگی آهکی، دولومیتی، آهک مارنی به‌عنوان واحدهای دارای پتانسیل نشت، رخنمون دارند شکل (۴-۶۲) که به‌شدت چین‌خورده و تکتونیزه بوده و فشارهای تکتونیکی باعث ایجاد گسل‌های متعدد، درزه‌ها و شکاف‌هایی به موازات و عمود بر لایه‌بندی در آنها شده است.

حداکثر رقوم تکیه‌گاه راست ۱۴۶۸ متر از سطح دریا با شیب دامنه‌ای نامنظم ۲۰ تا ۴۰ درجه و دارای آبراهه‌های عمیق و پرشیب است. جناح چپ که منطقه کم ارتفاع و تپه ماهوری است دارای شیب ملایم بوده و حداکثر رقوم ارتفاعی ۱۴۱۰ متر می‌باشد. این جناح از گنگلومرای نسبتاً مستحکم با میان‌لایه‌های مارنی و مارن گچ‌دار تشکیل شده است و شیب دامنه‌ای این جناح از یکنواختی زیادی برخوردار بوده و بطور میانگین در حدود ۲۰ درجه می‌باشد. از این‌رو تنگه ساختگاه به شکل V نامتقارن می‌باشد.

بررسی شرایط سنگ‌شناسی بستر نشان می‌دهد که ضخامت آبرفت بسیار پایین بوده در زیر بخش آبرفت سطحی سنگ‌های کنگلومرایی رخنمون دارد. قدیمی‌ترین واحد سنگی در محدوده مخزن، سازندی است که از مجموعه شیل سبز، آهک، ماسه سنگ و ماسه سنگ کواترنری تشکیل شده و سپس رسوبات دونین-کربونیفر که از آهک، آهک دولومیتی به رنگ قهوه‌ای تیره تا خاکستری در کنار رودخانه و در بالادست سد مشاهده می‌گردد. نهشته‌های نئوژن که بیشترین گسترش را در مخزن دارد. از گنگلومرا ماسه سنگ و مارن غیرقابل نفوذ تشکیل شده است.



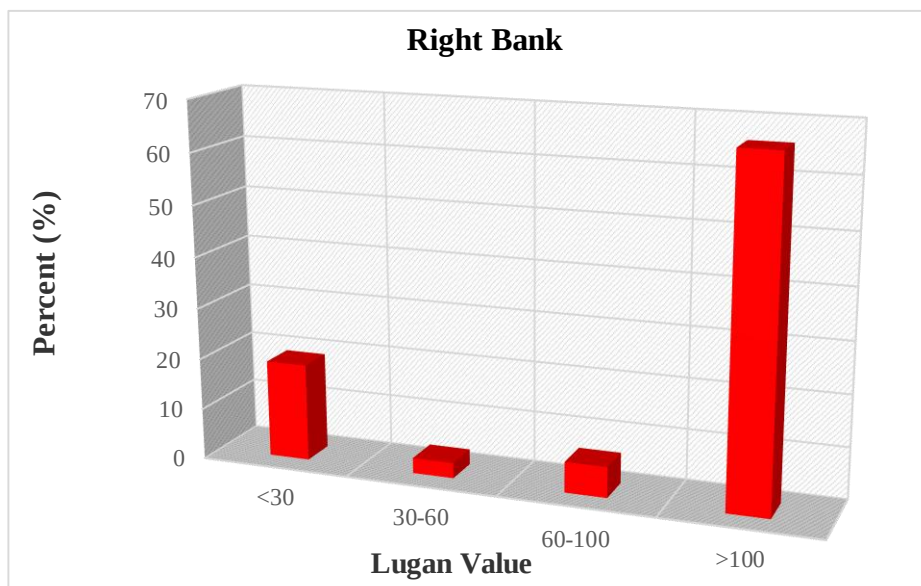
شکل ۲۱-۴ مقطع زمین شناسی ساختگاه سد دامغان

۴ - ۳ - ۲ ارزیابی وضعیت نفوذپذیری توده سنگ در ساختگاه سد

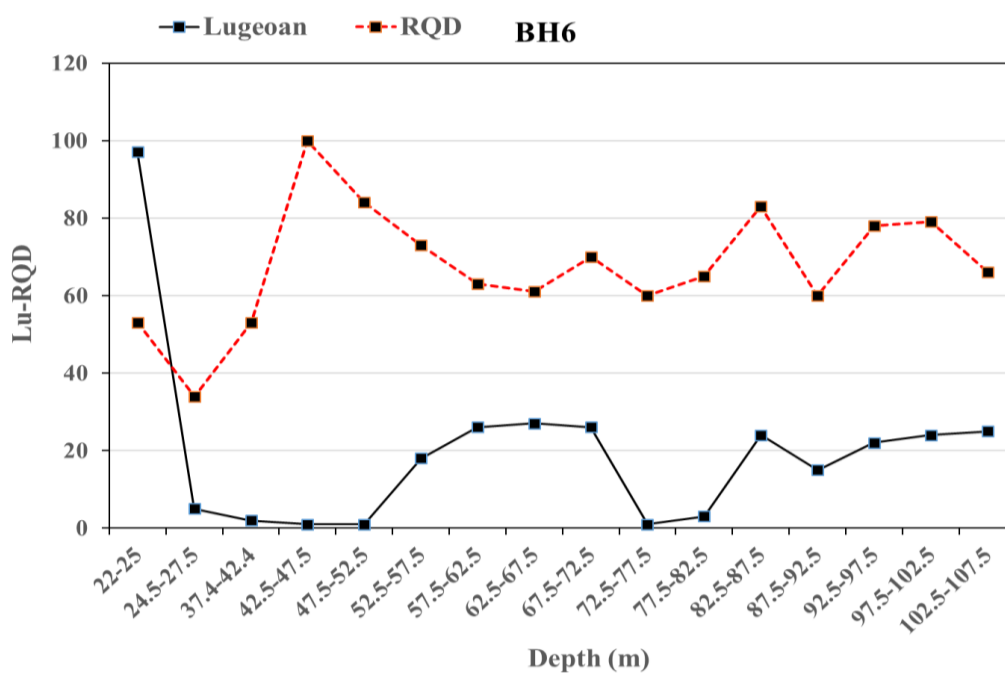
متداول‌ترین روش ارزیابی هیدرولیکی جهت تعیین نفوذپذیری سنگ انجام آزمون صحرایی فشار آب (لوژان) می‌باشد. جهت دستیابی به خصوصیات و ویژگی‌های زیرسطحی توده‌های سنگی و مصالح پوششی تکیه‌گاه‌ها در مرحله اول مطالعات با حفر ۱۹ گمانه اکتشافی اقدام به شناسایی کلی گردیده است.

بررسی نتایج آزمون‌های لوژان انجام شده در جناح راست نشان می‌دهد که ۶۶ درصد مقادیر لوژان بیش از ۱۰۰ و ۶ درصد موارد دارای لوژانی بین ۶۰-۱۰۰، ۳ درصد بین ۳۰-۶۰ و ۱۹ درصد بین ۱۰-۳۰ لوژان قرار دارد که آبگذری بالایی را نشان می‌دهد و نشان از نفوذپذیری بالای این تکیه‌گاه و اهمیت اجرای پرده آب‌بند را دارد شکل (۴-۲۲). به عبارت دیگر در حدود ۷۵ درصد مقادیر، لوژان بیش از ۳۰ و یا در حدود ۹۵ درصد، لوژن بالاتر از ۱۰ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص کیفی سنگ بکر (RQD) نشان می‌دهد که متوسط این شاخص برای سنگ‌های کربناته جناح راست ۶۱ درصد بوده که بیانگر کیفیت متوسط و توسعه شبکه شکستگی‌ها می‌باشد.

بررسی تغییرات لوژان در برابر RQD برای گمانه BH6 نشان می‌دهد شکل (۲۳-۴) که روند معناداری بین تغییرات این دو پارامتر در تکیه‌گاه راست دیده می‌شود به این صورت که با افزایش شاخص RQD مقادیر لوژان کم شده و با کاهش این شاخص، مقادیر لوژان افزایش نشان می‌دهند. در واقع این امر نشان از همسویی وضعیت شکستگی و نفوذپذیری دارد و بیانگر این مطلب است که پدیده کارستی شدن در این سنگ‌ها توسعه یافته نیست. با این وجود در برخی مقاطع مانند مقطع ۸۷-۸۲ متری این روند هم‌خوانی نداشته و علارغم افزایش RQD لوژان نیز افزایش یافته ولی مقادیر افزایش آن خیلی بالا نبوده و می‌تواند ناشی از بالاتر بودن بازشدگی درزه در این مقطع و یا انحلال موضعی سنگ‌های آن باشد.



شکل ۲۲-۴ نتایج آزمایش فشار آب (لوژان) در تکیه‌گاه راست ساختگاه سد



شکل ۲۳-۴ تغییرات مقادیر لوژان (Lu) و شاخص کیفی سنگ (RQD) در گمانه BH6

بررسی نتایج آزمایش‌های لوژان انجام شده در تکیه‌گاه چپ نشان می‌دهد که در ۹۰ درصد موارد نفوذپذیری-ها کم‌تر از ۳ واحد لوژان است و بیانگر توده سنگ‌هایی با نفوذپذیری کم می‌باشد. متوسط شاخص کیفی (RQD) توده سنگ‌های جناح چپ ۵۷٪ می‌باشد که در کلاس متوسط قرار می‌گیرد. در این جناح بخش‌های گسلی، کنگلومرا و ماسه سنگ‌های سست و مارن‌های گچ‌دار که ۱۵٪ تکیه‌گاه را در بر می‌گیرند مقادیر شاخص کیفی سنگ پایین بوده و در کلاس ضعیف واقع می‌شوند.

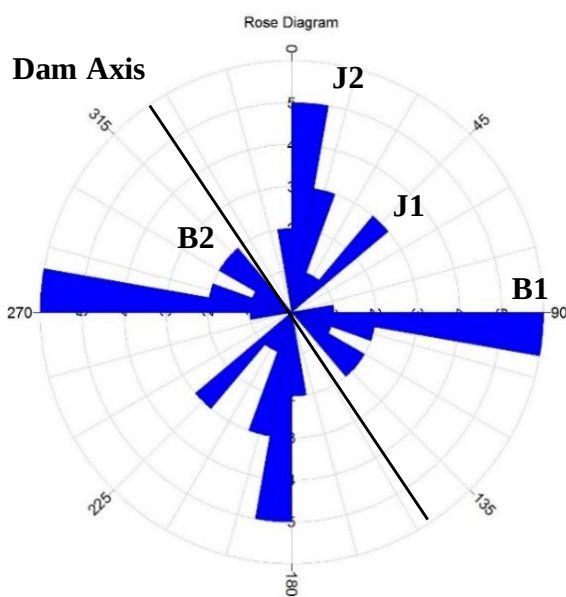
۴ - ۳ - ۳ ارزیابی وضعیت درزه‌ها و شکستگی‌ها در تکیه‌گاه راست سد

از نظر هیدروژئولوژیکی شکستگی‌ها بازتابی از توانایی یک سازند در انتقال آب از میان آن می‌باشد. بنابراین درجه شکستگی به عنوان یک عامل مهم در ارزیابی نفوذپذیری توده سنگ محسوب می‌شود. از عوامل موثر در بررسی و آنالیز تراوش و فرار آب در توده‌های سنگی خصوصیات از ناپیوستگی‌ها شامل بازشدگی، جهت یابی و مواد پرکننده می‌باشد. از بین انواع ناپیوستگی‌ها درزه‌ها و گسل‌ها اهمیت بیشتری در فرار آب دارند. جناح راست متشکل از آهک دولومیتی، آهک فسیل‌دار، آهک مارنی و شیل‌های قرمز رنگ به صورت لایه‌ای می‌باشد که بشدت چین خورده بوده و فشارهای تکتونیکی باعث ایجاد گسل‌های متعدد، درزه‌ها و شکاف‌هایی به موازات و عمود بر لایه‌بندی شده است. شیب کلی لایه‌ها، صرف نظر از چین‌های متعدد و تاقدیس و ناودیس‌هایی که در آن دیده می‌شود به سمت رودخانه بوده و پتانسیل گذر آب از بین لایه‌بندی و گسل‌ها وجود دارد. نتایج بدست آمده از بررسی بیش از ۲۰۰ درزه در تکیه‌گاه راست سد نشان می‌دهد که لایه بندی، دو دسته درزه اصلی و یک دسته درزه فرعی رخنمون‌های سنگی این جناح را تحت تأثیر قرار داده است. نمودار گلسرخی سیستم‌های ناپیوستگی اصلی در شکل (۴-۶۵) ارائه شده است. آنالیز درزه‌های سیستماتیک نشان می‌دهد که دسته درزه‌ها از نوع برشی بوده و ناپیوستگی‌های موجود شامل دو سری لایه‌بندی و همچنین دو دسته درزه غالب می‌باشد. فراوانی درزه‌ها حاکی از توده سنگ شکسته و خردشده در این ناحیه است. مشخصات ژئوتکنیکی سیستم‌های مختلف درزه تکیه‌گاه راست در جدول (۴-۱۴) ارائه

شده است. همانطور که در این شکل و جدول دیده می‌شود لایه‌بندی B1 و درزه J1 با توجه به امتداد آنها نسبت به امتداد محور سد، مقدار شیب و بازشدگی نقش عمده ای در فرار آب خواهند داشت. به‌علاوه تعدادی گسل در این تکیه‌گاه دیده شده که گاها تشکیل زون گسله داده و باعث پایین افتادگی قابل ملاحظه‌ای شده است شکل (۴-۲۵). بررسی جانمایی چشمه‌ها و زون گسلی نشان می‌دهد که آب زیرزمینی و آب‌های نشتی احتمال از طریق این زون گسله زهکش شده و باعث ظهور چشمه‌های جناح راست شده است.

جدول ۴-۱۴ مشخصات هندسی و ویژگی‌های برجای ژئوتکنیکی ناپیوستگی‌های تکیه‌گاه راست سد دامغان

عرض باز شدگی دو دیواره درزه e (mm)				جهت‌یابی هندسی		درصد تمرکز فراوانی n(%)	دسته درزه (Jn)
				شیب	جهت شیب		
بین ۲-۶ میلیمتر (بسته)	بیشتر از ۲ میلیمتر (بسیار بسته)	بیشتر از ۲ میلیمتر (بینهایت بسته)	Tight				
۴٪	۷۸٪	۶٪	۶٪	۱۶	۶۲	۱۰-۹/۵	B1 (Bedding)
-	۵٪	۹٪	۸۶٪	۳۰.۵	۲۸-۳۴	۷-۶/۵	J1 (Main joint)
-	۱۰٪	۳۱٪	۵۹٪	۹۳	۵۰	۷-۶/۵	J2 (Main joint)
-	-	۲۶٪	۷۴٪	۰/۰۰	۲۵	۷-۶/۵	J3 (Accessory joint)
۴٪	۷۸٪	۶٪	۶٪	۰.۴۵	۸۱	۴-۳/۵	B2



شکل ۴-۲۴ نمودار گلسرخی ناپیوستگی‌ها در تکیه‌گاه راست و امتداد محور سد سد دامغان



شکل ۴-۲۵ زون گسلی موجود در تکیه‌گاه راست و موقعیت چشمه‌های پایین دست ساختگاه سد

۴ - ۳ - ۴ چگونگی اجرای پرده تزریق و بررسی عملکرد آن

با توجه به نتایج آزمایش‌های لوژان انجام شده، به‌منظور جلوگیری از فرار آب و همچنین تأمین پایداری سد، پرده تزریق اجرا گردید. در جناح راست پرده آب‌بند شامل یک ردیف گمانه در طول محور سد و ۳ ردیف گمانه به صورت فن شکل، در منتهی الیه تکیه‌گاه راست می‌باشد. طول پرده آب‌بند در این جناح حدود ۱۶۰ متر به تعداد ۱۳۱ حلقه گمانه که در مجموع شامل ۱۰۷۴۵ متر حفاری است. مجموع سیمان مصرفی در این گمانه‌ها بالغ بر ۲۰۵۲ تن سیمان بوده است. در این جناح نیز گمانه‌ها در یک ردیف و در طول محور سد (۵۰ متر انحراف از محور سد به سمت بالادست) اجرا گردیده است.

در تکیه‌گاه راست ۳ ردیف گمانه به صورت پروانه‌ای که ردیف دوم (ردیف B) در امتداد محور سد و ردیف اول (ردیف A) با ۵۰ سانتیمتر انحراف از محور سد به سمت بالادست و ردیف سوم (ردیف C) با ۵۰ سانتیمتر انحراف از محور سد به سمت پایین دست اجرا گردید. هر ردیف شامل ۲۰ حلقه گمانه است که نسبت به همدیگر ۴/۵ درجه اختلاف زاویه دارند و زاویه گمانه‌ها در هر ردیف به گونه‌ای انتخاب شده که نسبت به ردیف مجاور به حالت همپوشانی قرار گیرند. عمق کلیه این گمانه عمق برخورد به لایه شیل است. در مجموع ۳۸۵۸ متر حفاری صورت گرفته است که بیش از ۱۹۲۱ تن سیمان مصرف شده است جدول (۴-۱۶). پس از اتمام حفاری و اجرای پرده تزریق در جناح راست ساختگاه سد، با بررسی و تحلیل نتایج و خوردن سیمان گمانه‌های سری جناح راست مشخص شد که در طول پرده تزریق نقاط وضعی وجود دارد که دارای مقدار خوردن سیمان بالایی می‌باشند، به‌طوری که حتی در برخی مقاطع مقدار خوردن سیمان به ۳۹۶۱۰ کیلوگرم هم رسیده است.

جدول ۴-۱۵ میزان حفاری و تزریق در گمانه‌های جناح راست پرده آب‌بند

شرح	واحد	سری گمانه‌ها					مجموع سری‌ها
		A	B	C	D	E	
تعداد گمانه‌ها	حلقه	۱۵	۱۵	۳۰	۶۰	۱۱	۱۳۱
مجموع عمق گمانه‌ها	متر	۱۰۸۸	۱۱۵۷	۲۴۲۰	۴۹۴۰	۱۱۴۰	۱۰۷۴۵
متوسط عمق گمانه‌ها	متر	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	۷۵	-
مجموع سیمان	Kg	۴۰۷۲۳۶	۷۵۶۳۵۹	۴۵۵۳۳۰	۳۹۷۰۰۷	۳۶۹۶۴	۲۰۵۲۸۹۵
مصرف متوسط سیمان	Kg/m	۳۷۴	۶۵۳	۱۸۸	۸۰	۳۲	۱۹۱
مصرف سیمان	درصد	۱۹	۳۶	۲۲	۱۹	۲	-

طول پرده آب‌بند در جناح چپ ۴۰۰ متر و تعداد گمانه‌های اجرا شده در این جناح ۱۳۸ حلقه گمانه به مترای کلی ۶۷۷۶ متر می‌باشد. کلیه گمانه‌ها به صورت قائم و نیز به صورت سیستم نصف کردن فاصله گمانه‌ها روی یک خط طراحی و اجرا گردید به طوری که گمانه‌های اولیه (سری A) به فاصله ۱۲ متر، گمانه‌های ثانویه (سری B) به فواصل ۶ متر و گمانه‌های دسته سوم به فاصله ۳ متر و در موارد خاص گمانه‌های دسته چهارم (سری D) و پنجم (سری E) به ترتیب به فواصل ۱/۵ و ۰/۷۵ متر حفاری و تزریق گردیده‌اند جدول (۴-۳). عمق پرده آب‌بند در این جناح براساس نتایج حاصل از آزمایش فشار آب و نیز بررسی تزریق گمانه‌های اکتشافی ۵۰ متر طراحی گردید. ولی با بررسی خوردن سیمان مقاطع مختلف گمانه‌های اولیه (سری A) مشاهده گردید که مقادیر زیاد خوردن سیمان این گمانه‌ها مربوط به مقاطع ۳۰-۰ متر در حدود ۱۰ تن سیمان و مصرف سیمان مقاطع ۳۰ تا ۵۰ متر فقط ۸۰ کیلوگرم بوده بنابراین عمق گمانه‌های سری دوم و سوم به ۳۰ متر تقلیل پیدا کرد. میزان مصرف سیمان در این جناح بالغ بر ۳۳۰ تن سیمان بوده است جدول (۴-۱۶).

جدول ۴-۱۶ میزان حفاری و تزریق در گمانه های جناح چپ پرده آببند

شرح	واحد	سری گمانه ها					مجموع سری ها
		A	B	C	D	E	
تعداد گمانه ها	حلقه	۳۳	۳۴	۶۰	۷	۴	۱۳۸
مجموع عمق گمانه ها	متر	۱۷۵۰	۱۶۵۰	۳۰۱۰	۲۹۳	۷۳	۶۷۷۶
متوسط عمق گمانه ها	متر	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۲۰	-
مجموع مصرف سیمان	kg	۹۵۹۳۵	۱۰۰۴۳۴	۸۳۰۷۸	۵۹۲۳۸	۳۴۰۹	۳۳۳۰۹۴
مصرف متوسط سیمان	Kg/m	۵۴	۶۰	۲۷	۱۷۱	۴۶	۴۹

با توجه به نبود داده های آزمایش های لوژان بعد از اجرای پرده تزریق، قضاوت در مورد عملکرد پرده تزریق مشکل است. وجود برخی شواهد در محل سد نشان می دهد که پرده تزریق در برخی مناطق عملکرد مؤثری داشته در صورتی که مناطق دیگر دارای نشتی می باشد. به عنوان مثال اختلاف ۳۰ متری آب در چاه های مشاهده ای OW5 و OW17 که بلافاصله قبل و بعد از پرده تزریق در منتهی الیه تکیه گاه راست اجرا شده اند نشان دهنده عملکرد مناسب پرده تزریق در قسمت پروانه ای شکل آن می باشد. به منظور کنترل فشار آب منفذی در زیر سد، در مرحله نصب ابزار دقیق، تعداد ۶ حلقه مانومتر در داخل گالری تزریق با زاویه ۴۵ درجه به سمت پایین دست نصب شده است شکل (۴-۲۶). براساس نتایج بدست آمده، میزان فشار آب در ناحیه پایین دست پرده تزریق، حدود ۰/۸ تا ۱/۱ بار (bar) اندازه گیری شده است که نشان دهنده آب تحت فشار در پایین دست است. همچنین چهار عدد چاه فشار شکن (Relief Wells)، جهت تعدیل فشار آب منفذی بستر اجرا شده است شکل (۴-۲۶). وجود چاه های فشار شکن واقع در پایین دست و مانومتری با فشار بیش ۰/۸ اتمسفر نشان از حرکت رو به بالای آب دارد. وجود آب تحت فشار در پایین دست سد نشان می دهد که یا چاه های مذکور و مانومترها (RP) به آبخوان تحت فشار برخورد کرده یا نشت به سمت بالا وجود دارد. با توجه به امتداد لایه شیلی نشان داده شده در شکل (۴-۲۱) و محل و عمق چاه های فشار

شکن و مانومترها، احتمال برخورد آنها به لایه آهکی محصور بین لایه‌های شیلی وجود ندارد. از طرفی با توجه به وجود هد آب مخزن در بالادست و ایجاد گرادیان بالای هیدرولیکی، آب تحت فشار بوده و تمایل به حرکت به سمت پایین دست دارد. به علاوه وجود مقاطع با سیمان خوری بالا و مقادیر لوژان بالا در بستر و جناح راست سد نشان از وجود مجاری مناسب برای فرار آب داشته که ممکن است در حین اجرای پرده تزریق به دلایل مختلف از جمله مناسب نبودن نسبت آب به سیمان یا فشار تزریق، به خوبی آب‌بند نشده باشد و باعث نشت از پرده تزریق شوند. در صورت نشت از پرده تزریق، آب در پایین دست پرده حرکت غالب رو به بالا خواهد داشت که باعث افزایش فشار آب منفذی شده و با شواهدی چون چاه‌های فشارشکن آرتزین و مانومترهای تحت فشار همخوانی دارد. علی‌رغم نتایج لوژان پایین در تکیه‌گاه چپ، وجود لایه بندی با امتداد عمود بر محور سد و همچنین سیمان، پرشدگی و میان لایه‌های ژئوپسی با پتانسیل انحلال بالا می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که این تکیه‌گاه نیز پتانسیل نشت بالایی دارد. در واقع به هنگام انجام آزمون لوژان چون زمان انجام آزمایش محدود است فرصت از بین بردن بخش ژئوپسی وجود نداشته در نتیجه لوژان پایین است. ولی بعد از ساخت سد به علت این زمان تمامی آب به بخش ژئوپسی زیاد بوده که باعث انحلال و از بین بردن این بخش شده و نفوذپذیری افزایش می‌یابد. با این وجود به دلیل این مطلب که تکیه‌گاه چپ در پایین دست به صورت تپه ماهوری بوده، آب نشتی به صورت چشمه ظهور پیدا نکرده و باعث تغذیه آب زیرزمینی می‌گردد.

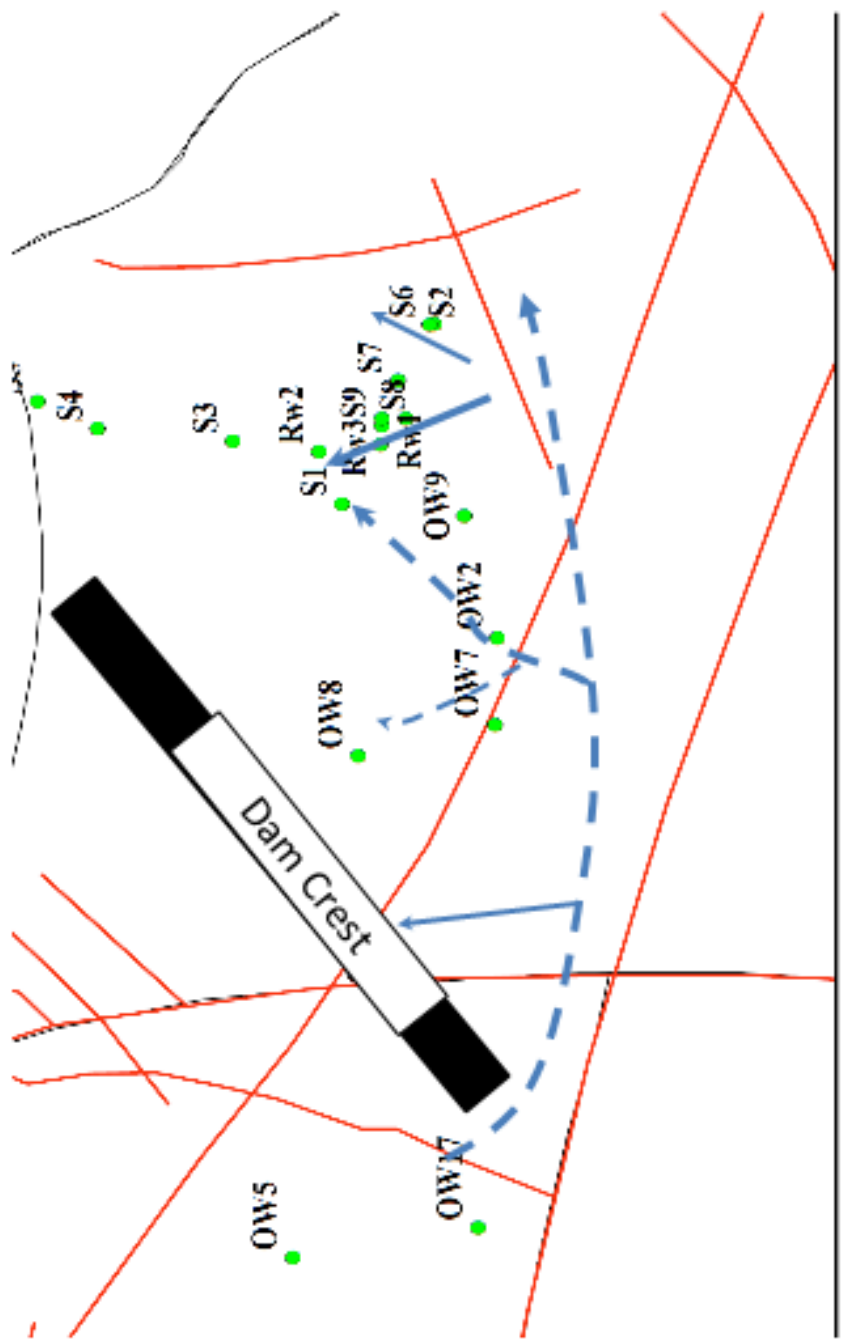


شکل ۴-۲۶ جانمایی مانومترها در گالری تزریق و چاههای فشارشکن در بستر

۴-۳-۵ محتمل ترین مسیر جریان آب در محدوده جناح راست ساختگاه سد

نتایج این تحقیق نشان داد که احتمالاً ارتباط هیدرولیکی بین مخزن سد و منابع آب جناح راست وجود دارد و آب از طریق مجاری مختلف به این منابع می‌رسد و منشأ اصلی آنها آب دریاچه سد است. آب برای حرکت نیاز به گرادیان و انرژی دارد. بنابراین برای جریان آب در جناح راست، مقدار تراز آب در مخزن سد بالاتر از بقیه نقاط باشد همچنین تراز آب در پیژومترهای بالادست بیشتر از پایین دست باشد. البته ذکر این نکته لازم است که اینجا با یک محیط هتروژن سروکار داریم که ممکن است چاه‌ها به مسیر جریان برخورد کرده باشند یا نه. برای تعیین مسیر جریان بایستی نقشه هم پتانسیل ترسیم گردد. اما رسم این نقشه در محیط‌های کارستی با درزه و شکاف کار درستی نیست. به طور کلی در محدود ساختگاه سد دامغان در جناح راست مقدار تراز آب در چاه‌های OW5 و دریاچه بالاتر از OW17 است. بنابراین گرادیان لازم

جهت حرکت آب مخزن به سمت جناح راست وجود دارد. با احتمال زیاد مسیر اصلی جریان و به عبارت دیگر مسیر فرار آب می‌تواند از سمت OW17 به سمت OW2 از طریق گسل و درزه‌های موجود بوده که در طول مسیر به وسیله یک سری درزه‌های فرعی تر به سایر نقاط رسیده است شکل (۴-۲۷).



شکل ۲۷-۴ مسیر احتمالی حرکت آب از مخزن به سمت چشمه ها در جناح راست

فصل هـ

نتیجہ گیری و پیشنہادہ

۵- ۱ نتایج

- نمونه آب دریاچه دارای مقدار هدایت الکتریکی، تیپ و رخساره آب مشابه با نمونه‌های چشمه‌ها و چاه‌های مشاهده‌ای می‌باشد. بنابراین احتمالاً تمامی آب‌ها از یک منشأ هستند.
- با توجه به نمودار شولر اکثر نمونه‌ها کم و بیش دارای روند یکسان با آب مخزن سد می‌باشند. در واقع این روند مشابه حاکی از یکسان بودن منشأ آب نمونه‌ها با دریاچه است.
- با توجه به محاسبه بیلان، آب چشمه‌های پایین دست در تکیه‌گاه راست ساختگاه سد نمی‌تواند توسط سازند آهکی بالادست جناح راست ساختگاه تأمین شده باشد و باید از منبع دیگری باشد.
- وضعیت زمین‌شناسی، داده‌های هیدرولیکی و نتایج آنالیز هیدروشیمیایی نشانگر آن است که رابطه هیدرولیکی بین مخزن سد و چشمه‌های پایین دست در تکیه‌گاه راست ساختگاه سد وجود دارد و آب از طریق مجاری مختلف به این منابع می‌رسد و منشأ اصلی آنها آب دریاچه سد است و پس از آگیری سد جریان از سمت مخزن به جناحین و چشمه‌ها جریان پیدا کرده است.
- در جناح راست سد، چاه‌های مشاهده‌ای OW2 و OW17 روندی مشابه با دریاچه را نشان می‌دهند و متأثر از تراز دریاچه می‌باشند. این روند یکسان در این چاه می‌تواند دلیل بر ارتباط هیدرولیکی مخزن با این محل و دور زدن پرده تزریق باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آب از مخزن سد از طریق یک مسیر جریان اصلی بین چاه‌های مشاهده‌ای OW2 و OW17 به پایین دست انتقال یافته و سپس در طول مسیر جریان بوسیله درزه‌های فرعی تر به سمت چشمه‌ها انتقال می‌یابد.
- سازندهای زمین‌شناسی در جناح راست به شدت خرد شده و دارای درزه‌های فراوان می‌باشد. در چنین محیط هتروژن و درزه‌دار با سطوح لایه‌بندی مختلف، آب می‌تواند از طریق این درزه‌ها و گسل‌ها کانالیزه شده و فرار کند.

- وجود چاه‌های آرتزین و مانومترهایی که با شیب تقریباً ۴۵ درجه به سمت پایین دست جانمایی شده‌اند نشانگر وجود آب تحت فشار در پایین دست داشته که با توجه به شرایط ژئوتکنیکی محل، جریان رو به بالای آب تأمین کننده این فشار بوده و دلالت بر نشت از پرده تزریق دارد.
- وجود مقاطع با سیمان‌خوری بالا و مقادیر لوژان بالا در بستر و جناح راست ساختگاه نشان از وجود مجاری مناسب برای فرار آب داشته است.
- عملکرد پرده تزریق در بالادست محور سد و تکیه‌گاه راست نسبتاً مناسب ارزیابی شد اما اجرای این پرده در زیر پی و بستر مناسب نبوده و وجود چاه‌های فشارشکن و مانومترها نشان از عملکرد ضعیف پرده تزریق در این قسمت دارد.

۵-۲ پیشنهادها

- در بررسی تعیین منشأ آب چشمه‌ها و ارتباط هیدرولیکی بین نقاط، پارامترهای هیدروشیمیایی در برخی از موارد به تنهایی نمی‌تواند مسئله را حل کند و نیاز به انجام آنالیزهای تکمیلی همچون ایزوتوپی می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود آنالیز ایزوتوپی نیز در این راستا انجام شود.
- با توجه به وجود نگرانی در جهت پایداری سد در اثر رخداد انحلال در پی آن، تعدادی آزمایش انحلال‌پذیری بر روی سنگ‌های محدوده مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود تا میزان انحلال‌پذیری آنها در جهت آنالیز پایداری طولانی مدت سد مورد بررسی قرار گیرد.
- اندازه‌گیری دقیق دبی در زمان‌های مختلف و نصب اشل برای تمامی نشتی‌ها
- انجام آزمایش ردیابی به منظور مطالعات تکمیلی هیدروژئولوژی و شناسایی مسیرهای فرار آب

مراجع

منابع فارسی

- اسپندار ر، ایل بیگی م، سیاری نژاد م، (۱۳۸۷) " مطالعه هیدروژئولوژی ساختگاه سد سیمره با استفاده از داده‌های هیدروژئوشیمی، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی.
- اکبری ف، (۱۳۹۵)، " مطالعه هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی تالاب برم شور در مجاورت سازند کارستی گچساران در استان خوزستان " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- باقری ر، رئیسی ع، زارع م، محمدی ض، (۱۳۸۶)، " پتانسیل فرار آب در ساختگاه سد سیمره " بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- باقری ر، (۱۳۸۶)، " پتانسیل فرار آب در ساختگاه سد سیمره " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز.
- داموغ ن، زارعی ح، (۱۳۸۸)، " بررسی ارتباط هیدرولیکی رودخانه کارون (مخزن) در محل سد کارون ۳ و چشمه‌های پایین دست قبل و بعد از آگیری سد. هشتمین گنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
- سازمان آب منطقه‌ای استان سمنان (شرکت سهامی)، (۱۳۹۳) " رفتار نگاری سد دامغان " گزارش نهایی
- سازمان آب منطقه‌ای تهران، گزارش حفاری، تزریق و نشت سد دامغان
- کریمی وردجانی ح، (۱۳۸۹)، " هیدروژئولوژی کارست " انتشارات ارم شیراز
- صهبانیا ی، اشجاری ج، چشمی ا، سلگی خ، (۱۳۹۰) " بررسی ارتباط هیدرولیکی مخزن و پایین دست در جناح راست سد سیمره " شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شیراز.
- صداقت م، (۱۳)، " آب‌های زیرزمینی " انتشارات دانشگاه پیام نور
- رحیمی ح، (۱۳۸۵)، " سدهای خاکی " انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

- راهنمای کاربرد ردیاب‌ها در بررسی نشت و فرار آب از مخزن و تکیه‌گاه‌های سد، وزارت نیرو (۱۳۹۱)
- کردوانی م.، حافظی مقدس ن، رضانی اومالی ر، (۱۳۹۲)، "ارزیابی پهنه‌های فرار آب از سد استقلال میناب" نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد هشتم، شماره ۴.
- ماجدی ح، نکویان فر م، حسنی ف، (۱۳۸۶)، "ارزیابی متغیرها و ردیابی چشمه کارستی سبزآب به منظور بررسی ارتباط هیدرولیکی آن با مخزن سد شهید عباسپور" بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

References

- Battaglia, D., Birindelli, F., Rinaldi, M., Vettraino, E., Bezzi, A., (2016) "Fluorescent tracer tests for detection of dam leakages: The case of the Bumbuna dam – Sierra Leone" Engineering Geology pp 30-39
- Cheshomi, A., Sahbaniya, Y., Ashjari, J., (2014) "Assessment of water leakage through the right abutment of the Seymareh Dam" Geopersia, 4 (2).
- Ghobadi, M.H, Khanlari, G.R., Djalaly, H., (2005) "Seepage problems in the right abutment of the Shahid Abbaspour dam, Southern Iran" Engineering Geology pp, 119- 126.
- Gutiérrez, F., Mozafari, M., Carbonel, D., Gómez, R., Raeisi, E., (2015) "Leakage problems in dams built on evaporates. The case of Loteta Dam (NE Spain), a reservoir in a large karstic depression generated by interstatal salt dissolution" Engineering Geology pp, 139-154.
- Gultekin, F., Hatipoglu, E., Firat Ersory, A., (2010) "Hydrogeochemistry, environmental Isotopes and the origin of the Hamamayagi- Ladic thermal spring (Samsun, Turkey)" Environ Earth Sci, Springer- Verlag.
- Hounslow, A W., (1995) "Water Quality Data: Analysis and Interpretation" CRC-Press, 1 st edition, pp, 416.
- Karimi, H., Keshavarz, T., Mohammadi, Z., Raeisi, E., (2007) "Potential leakage at the Kerrsan 3 Dam Site, Iran: a hydrogeological approach" Bull Eng Geol Environ pp, 269-278.

- Mozafari, M., E., Raeisi., (2015), "Understanding Kart Leakage at the Kowsar Dam, Iran, by Hydrogeological Analysis" Environmental & Geo science, Vol. XXI, 4, pp. 325-339.
- Mohammadi, Z., Raeisi, E., Bakalowicz, M., (2006) "Method of leakage study at the karst dam site. A case study: Khrsan 3 Dam, Iran" Environmental Geology, Internatoinal Journal of Geosciences.
- Mozafari, M., Raeisi, E., Zare, M., (2012) "Water leakage path in the Doosti Dam, Turkmenistan and Iran" Enviornmental Earth Sciences (2012) 65: 103-117.
- Nasseh, S., Ghafoori, M., Hafezi Moghaddas, N., Lashkaripour, G.R., (2013) "Investigation of Seepage Path in Left Abutment of Bidvaz Dam Using Tracing Technique" International Jornal of Emerging Tecnology and Advanced Engineeering.
- Raeisi, E., Aghdam, J., Zare, M., Karimi., H., (2000), "Study of development and possible leakage from the Sazbon Dam, Iran" 14th International Congress 0-1 Speleology.
- Schwartz, F.W., Zhang, M., (2003) "Fundamental of Grandwater" John Wiley & Sons, Inc, pp, 538
- Turkmen, S., Özguler, E., Taga, H., Karaogullarindan, T., (2001) "Seepage problem in the karstic limestone foundation of Kalecik Dam (south Turkey)" Engineering Geology63 (2002) pp, 247-257.
- Todd, D.K., Mays, L, W., (2005) "Groundwater Hydrology" John Wilic and sons, Ilc, New York, pp, 636.
- Uromeihy, A., Barzegari, G., (2007), "Evaluation and treatment of seepage problems at Chapar-Abad Dam, Iran" Engineering Geology pp, 219-228.
- Yong Lee, J., Choi, Y.K., Kim, H.S., Yun, S.T., (2005) "Hydrologic characteristics of a large rockfill dam: Implications for water leakage" Sciense Direct Engineering Geology pp 43-59.
- Zhou, Z., Chen, J., Li, Y., He, P., Zhang, H., Wu, Z., (2014), "Study on leakage dissolution around the dam foundation of the Qingju Hydropower Station and its engineering influence on the dam" Springer Bull Eng Geol Environ.

Abstract

Damghan dam is an embankment dam (earth dam or rock-fill dam) with impermeable clay core that constructed on the Ali spring's river with a reservoir's volume of about 21 Mm³. Right and left abutments of the dam construction are situated on the Erika Triassic limestone and Pleistocene conglomerate and shale, respectively. The exposed of springs in downstream on the right abutment structure is one of the main important issues in Damghan dam site. In this study, the origin of downstream springs and seepages, possible hydraulic connection between the reservoir and downstream springs and also probability potential leakage direction were studied using geological, geotechnical, hydrogeological and hydrogeochemical investigation. Geological conditions, hydraulic data and hydrochemical results indicate that the hydraulic relationship is exist between the dam reservoir and right abutment downstream springs. Based on one year water budget calculation, the groundwater balance in the right abutment was negative. So, the limestone formation above the springs can't provide alone the total downstream spring's discharge volume. Therefore, some of discharge water from the downstream springs and seepages must be supply from another source, which this potential source could be the dam reservoir. Given the amount of leakage in the downstream, the volume deficit of the reservoir is higher than expected, indicating that the water of reservoir also leak from other paths through the joints and cracks or hidden fault. Geotechnical results indicate the existence of a crashed zone with large fractures and high permeability in the right abutment, which is the main potential leakage zone. Finally, with regard to above results and hydrogeological conditions of Damghan dam site, seepage and leakage of water most probably occurs through fractures on the right abutment and also below the dam foundation.

Keywords: Damghan dam, seepage and leakage, hydrogeology, hydraulic connection, Geotechnical.



Faculty Of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Hydrogeology

Hydrogeology of Damghan dam site

By: Fatemeh Mirshekari

Supervisor:

Dr. Rahim Bagheri

Advisor:

Dr. Aliakbar Moomeni

February 2017

