

تعیین مسیر فرار آب از سد تنگاب با توجه به جایگاه زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی

مرتضی مظفری

۱- استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران

mmozafari@ut.ac.ir

چکیده

سد تنگاب با حجم مخزن ۱۴۰ میلیون متر مکعب، در فاصله ۱۳ کیلومتری شمال غربی شهر فیروزآباد و ۸۵ کیلومتری جنوب شرق شیراز، به منظور کنترل سیلاب رودخانه فیروزآباد و همچنین تأمین بخشی از آب مورد نیاز کشاورزی نواحی پایین دست احداث گردیده است. با شروع آبیگری در بهمن‌ماه ۱۳۸۸، مخزن سد با مشکل فرار آب مواجه شد و در نتیجه آبیگری کامل آن ممکن نگردید. به منظور حل این مشکل، ابتدا پرده های تزریق جدیدی در هر دو تکیه گاه سد طراحی و احداث شد؛ اما به دلیل ادامه فرار آب، عملیات تزریق تکمیلی-ترمیمی پرده آب بند نیز طراحی و اجرا گردید. در این پژوهش، بر اساس جایگاه زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی ساختگاه سد، دو مسیر فرار آب و نقش تزریق‌های اجراشده در انسداد آنها ارائه شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند در آب بندی هرچه بهتر مخزن سد موثر واقع گردد.

کلمات کلیدی: سد تنگاب، کارست، فرار آب، پرده تزریق، تزریق تکمیلی

۱- مقدمه

در مدیریت منابع آب حجم مخزن هر سد به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که پاسخگوی نیازهای آبی طرح، متناسب با تخصیص آن باشد. طراحی و اجرای سد نیازمند صرف هزینه و وقت فراوان است. آب جمع شده در مخزن ممکن است به درون پی و یا تکیه‌گاه‌های سد نفوذ کرده و از هرجایی در پایین‌دست خارج شود. عدم آبیگری کامل مخزن در نتیجه مشکل فرار آب، سبب عدم دستیابی به اهداف طرح و در نتیجه هدر رفت بخشی از سرمایه می‌گردد. احتمال نشت آب از سدهای ساخته شده در مناطق کارستی، به دلیل هیدروژئولوژی پیچیده این مناطق، بیشتر است. آب‌بندی مخازن ساخته شده بر روی سازندها کارستی، سخت‌تر، طولانی‌تر و گرانتر از دیگر سازندهای زمین‌شناسی است. مشکلات مرتبط با نشت آب از سدهای کارستی برای اولین بار در سد هیلز بار در امریکا گزارش شد. پس از احداث این سد در سال ۱۹۱۳ میلادی، فرار آب بصورت گسترده از پی کارستی آن رخ داد. به دلیل حجم زیاد فرار آب و عدم موفقیت عملیات آب‌بندی، سد جدیدی در ۱۰ کیلومتر پایین دست آن احداث گردید. ایجاد دیواره آب بند، پرده تزریق و دیگر روش‌های آب‌بندی مخازن کارستی از تجارب پروژه‌های سدسازی در امریکا در نیمه اول قرن بیستم حاصل شد. به این ترتیب و با افزایش تجربه و پیشرفت تکنولوژی، دانش آب بندی مخازن کارستی توسعه یافت و سدهای زیادی در نواحی کارستی کشورهای نظیر آمریکا، چین، کرواسی، یونان، ایران، اسلونی، اسپانیا، ترکیه، یوگوسلاوی و ... ساخته شد؛ که در برخی مناطق هنوز نیز ادامه دارد. تعداد زیادی از این پروژه‌ها موفق بوده اما عدم موفقیت در برخی موارد، کارست را به عنوان یک محیط خطرناک برای ساخت سد معرفی کرده است.

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

سد تنگاب (شکل ۱) در فاصله ۱۳ کیلومتری شمال غربی شهر فیروزآباد، در مختصات جغرافیایی ۲۷ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد که با ارتفاع ۴۷ متر، طول تاج ۲۷۰ متر و حجم مخزن ۱۴۰ میلیون متر مکعب بر روی رودخانه فیروز آباد (با دبی بین ۲/۵ تا ۵ متر مکعب بر ثانیه) و به منظور کنترل سیلاب و تأمین بخشی از آب مورد نیاز کشاورزی دشت فیروزآباد احداث گردیده است. تراز بستر رودخانه در محل سد ۱۴۰۱+ متر و تراز تاج سد ۱۴۴۸+ متر است (آب‌نیرو، ۱۳۹۱). عملیات ساخت سد تنگاب از اواخر سال ۱۳۸۱ آغاز و این سد در بهمن ۱۳۸۸ رسماً افتتاح شد. با شروع آبیگری سد، مخزن با مشکل فرار آب مواجه شد و در نتیجه آبیگری کامل مخزن ممکن نگردید. در این پژوهش به تعیین مهمترین مسیرهای فرار آب از سد تنگاب پرداخته شده است.



شکل ۱- نمایی از سد تنگاب، جهت نگاه از مخزن به پایین دست.

۲- روش پژوهش

نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سروستان (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۵)، شوراب (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵)، کوشک (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳)، کوار (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵)، فیروزآباد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۵)، و فراشبند (شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۵۶) تهیه گردیده است. طی بازدید زمین‌شناسی، ضمن برداشت‌های زمین‌شناسی، شرایط مخزن سد و میزان توسعه کارست سازند آسماری ارزیابی شده است. مهمترین گسل‌های منطقه مورد مطالعه نیز با استفاده از تصاویر هوایی مشخص شده است. در ادامه تاریخچه آبیگری مخزن، مشکل فرار آب، تزریق تکمیلی انجام شده و تاثیر آن بر روی میزان فرار آب بررسی و ارائه شده است. همچنین نتایج سیمان‌خوری و آزمایش لوژان گمانه‌های اکتشافی و تزریق مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. در پایان با بررسی شواهد زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی مسیرهای محتمل فرار آب از مخزن تعیین شده است.

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

۳- یافته‌ها

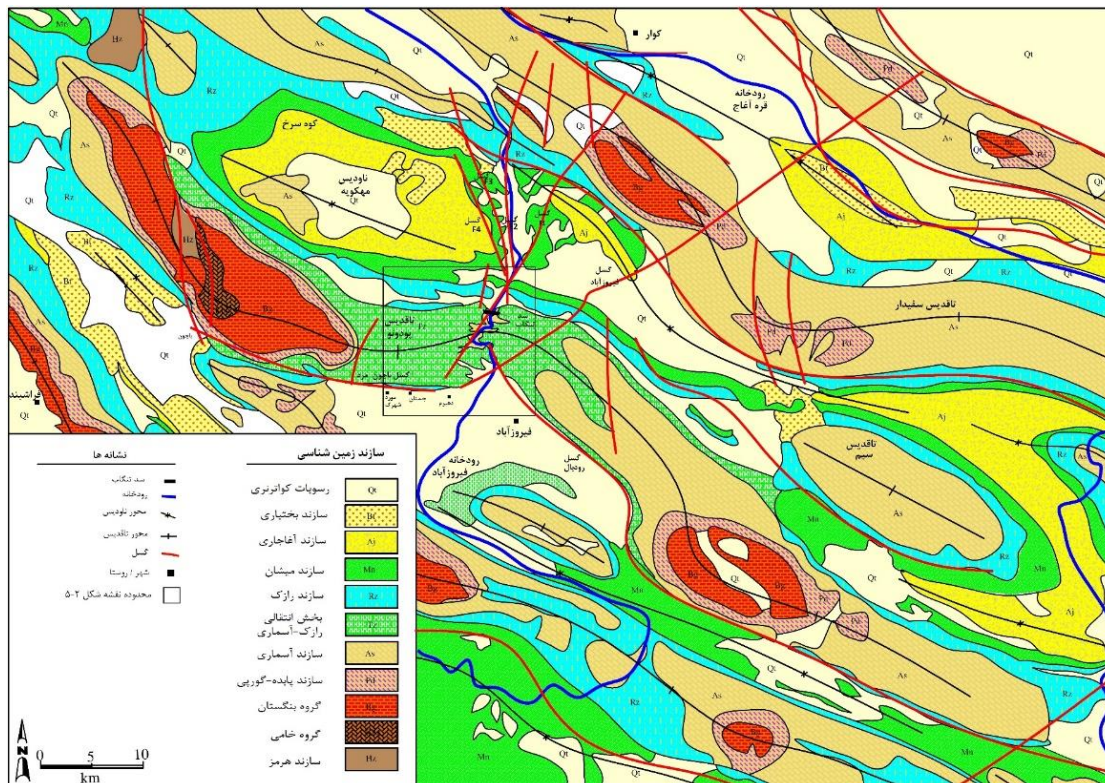
۳-۱- زمین‌شناسی گستره پژوهش

سد تنگاب در زیر پهنه ساختاری زاگرس چین‌خورده قرار دارد. نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. تاقدیس پودونو مهمترین ساختار زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. دره تنگاب با راستایی تقریباً شمالی-جنوبی در نواحی مرکزی این تاقدیس قرار گرفته و رودخانه فیروزآباد درون آن جریان دارد. سد تنگاب در ورودی دره فیروزآباد، بر روی یال شمالی تاقدیس پودونو ساخته شده است. تاقدیس پودونو با طول تقریبی ۱۲۵ کیلومتر یک تاقدیس کم و بیش متقارن با ساختاری پیچیده می‌باشد (شکل ۲). تراز بخش مرکزی تاقدیس پودونو پایین‌تر از تراز بخش‌های باختری و خاوری آن است و به عبارتی در این بخش از چین یک زین‌واره تشکیل شده است. تراز بخش‌های باختری و خاوری به ترتیب به ۲۷۴۰+ و ۲۶۵۰+ متر می‌رسد در حالی که تراز بخش مرکزی در حدود ۱۵۰۰+ متر می‌باشد. در نقشه زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه گسل‌های فیروزآباد و باچون مشخص شده‌اند (شکل ۲). گسل چپگرد فیروزآباد، با طولی در حدود ۱۲۰ کیلومتر، از حوالی کوه خورموج شروع شده و تا دشت فیروزآباد ادامه دارد. گسل بچون-مورد شهرک با دارازای ۳۵ کیلومتر از روستای باچون تا روستای دهریم قابل تعقیب است. علاوه بر گسل‌های یاد شده، با بررسی تصاویر ماهواره‌ای، گسل‌های دیگری نیز در گستره مورد مطالعه قابل مشاهده است که تراکم آنها در تکیه‌گاه راست سد و مخزن بیشتر از تکیه‌گاه چپ می‌باشد، بنابراین امکان توسعه مجاری در این تکیه‌گاه بیشتر است. سازندهای رخنمون یافته در گستره مورد مطالعه از قدیم به جدید عبارتند از: سری هرمز، گروه بنگستان، پابده-گورپی، آسماری، رازک، میشان، آغاجاری، بختیاری، و نهشته‌های جوان. سازند آسماری با حدود ۴۰۰ متر ستبراً به طور کلی از لایه‌های آهکی کرم رنگ با ریخت‌شناسی کوه‌ساز تشکیل شده و سازنده اصلی تاقدیس پودونو می‌باشد. سد تنگاب بر روی سازند آسماری ساخته شده و مخزن آن بر روی سازند رازک و میشان گسترش یافته است. در گستره مورد مطالعه، انتقال سازند آسماری به سازند رازک به صورت تدریجی است و از لایه‌های مارنی، آهک مارنی و آهک نازک لایه تشکیل شده است. ضخامت این زون انتقالی در حدود ۳۰۰ متر برآورد می‌شود (کریمی، ۱۳۷۶). با توجه به کارستی بودن این سازند، پدیده‌های کارستی از قبیل دره خشک، غار، کارن، گریک، و چشمه در آن به فراوانی مشاهده می‌شود. از مهمترین چشمه‌های گستره مورد مطالعه می‌توان به چشمه‌های آتشکده، تنگاب و دهریم و همچنین مظهر قنات‌های جستان و مورد شهرک اشاره نمود. تمامی این چشمه و قنات‌ها در یال جنوبی تاقدیس پودونو قرار دارند. آزمایش‌های زدیایی انجام شده توسط اسدی (۱۳۷۷) و طلائی (۱۳۷۸) وجود ارتباط هیدرولیکی بین ناحیه مخزن سد و چشمه‌های آتشکده، تنگاب و دهریم را تایید می‌کند.

۳-۲- پرده تزریق و تزریق تکمیلی

آب بندی اولیه سد تنگاب شامل ایجاد دیوار آب‌بند در بخش آبرفتی پی سد (بستر رودخانه) و اجرای پرده تزریق در دو تکیه‌گاه آن می‌باشد. عملیات آب بندی اولیه با استفاده از گالری‌هایی در تکیه‌گاه چپ و راست اجرا شده است. با شروع آبیگری مخزن در تیر ماه ۱۳۸۸، دبی چشمه‌های پایین دست تاقدیس پودونو افزایش یافت و مخزن سد با مشکل فرار آب مواجه شد. به منظور کاهش آبگذری، تصمیم به اجرای تزریق تکمیلی در داشت. با وجود انجام تزریق تکمیلی، با آبیگری مخزن سد از اسفندماه سال ۱۳۹۳، مشکل فرار آب از مخزن سد ادامه داشت. جناح راست و چپ سد شد. در جناح چپ پرده تزریق جدیدی به طول ۳۰۰ متر در امتداد پرده اولیه طراحی و اجرا گردید. در جناح راست، یک پرده تزریق جدید طراحی و اجرا گردید که از پرده پیرامون سرریز شروع می‌شد و ۵۵۰ متر در امتداد ساحل راست مخزن ادامه

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست



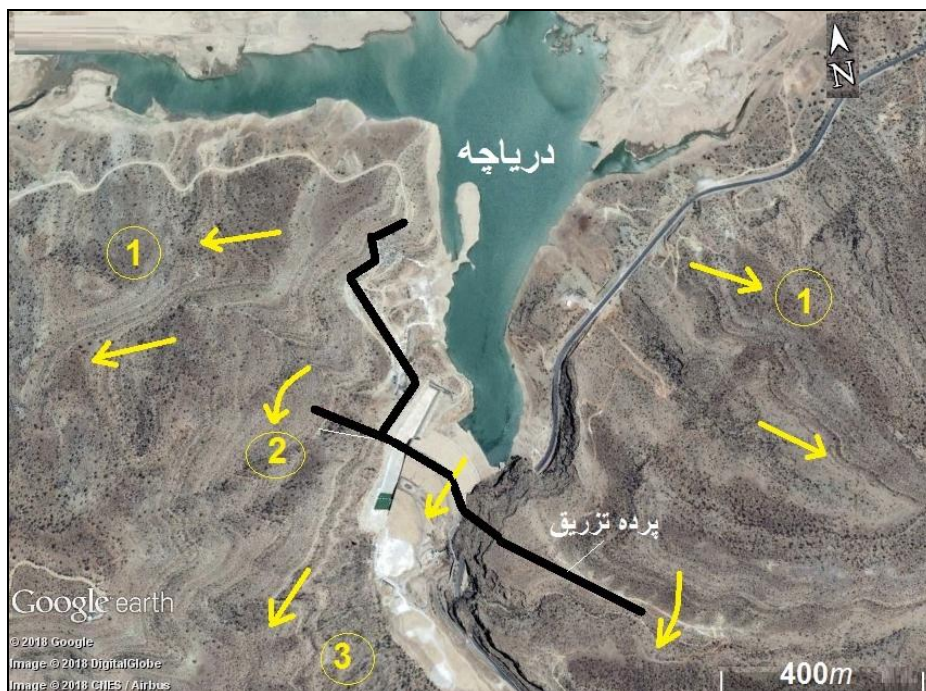
شکل ۲- نقشه زمین شناسی گستره مورد مطالعه (برگرفته از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۲) و شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۵۶)

۴- نتیجه گیری

در تاقدیس پودنو سازند کارستی آسماری در بین دو سازند ناتراوای پابده-گورپی در زیر و رازک در بالا قرار گرفته و آبخوان کارستی را در هر یال ایجاد نموده است. در اثر پدیده‌های تکتونیکی بخش میانی تاقدیس حالت زینچه‌ای به خود گرفته و نسبت به بخش شرقی و غربی آن ارتفاع کمتری دارد. به دلیل پایین افتادگی سازند آسماری و وجود درز و شکاف فراوان در اثر عملکرد گسل های عرضی، مجاری کارستی از یال شمالی به سوی یال جنوبی تاقدیس توسعه یافته اند و بین دو یال ارتباط هیدرولیکی برقرار است. آزمایش‌های ردیابی انجام شده طی فاز مطالعاتی وجود ارتباط هیدرولیکی از ناحیه مخزن سد به سوی چشمه‌های یال جنوبی تاقدیس را تایید می‌نمود. در ساختگاه سد، بیشترین نفوذپذیری در مقاطع گمانه‌های اکتشافی مجاور دیواره دره تا حدود ۱۰۰ متری درون هر دو تکیه‌گاه مشاهده شده است. نتایج سیمان‌خوری گمانه‌های تزریق نیز به سیمان‌خوری بالای مقاطع مجاور دیواره دره اشاره می‌نمود. نتایج گمانه‌های کنترلی نیز نشانگر تمرکز مقاطع باقیمانده با نفوذپذیری و سیمان‌خوری زیاد در مجاورت دیواره دره در هر دو تکیه‌گاه می‌باشد. نتایج نفوذپذیری و سیمان‌خوری پرده اجراشده در امتداد ساحل راست نیز به نفوذپذیری و سیمان‌خوری بالای این ناحیه اشاره داشت. نتایج به دست آمده در محدوده محور سد تا حد زیادی قابل تعمیم به سایر نقاط دیواره دره می‌باشد. وجود پدیده‌های کارستی فراوان (غار، گریک و درزه های انحلالی) در دیواره دره نیز تایید کننده نفوذپذیری بالا در دیواره دره است. سطح تماس مستقیم آب مخزن با سازند آسماری (پنجره ورود آب) در جناح چپ در حدود ۶۵۰ متر طول و ۴۰ متر عمق و در جناح راست در حدود ۸۰۰ متر طول و ۴۰ متر عمق دارد. بنابراین آب می‌تواند به راحتی وارد سازند کارستی آسماری شود. آب پس از ورود به سنگ آهک دو مسیر

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

عمده را در هر دو تکیه‌گاه در پیش دارد (شکل ۳). در مسیر اول (پیکان ۱ در شکل ۳)، حرکت آب در امتداد یال تاقدیس به سمت ناحیه پلانچ است. سطوح لایه‌بندی مجاری مناسبی را برای حرکت آب در این مسیر هستند. شاید به دلیل ساختار زینچه‌ایی تاقدیس در محل سد تنگاب و ارتفاع گرفتن سازند ناتراوی پابده گورپی در بخش‌های شرقی و غربی تاقدیس، پتانسیل فرار آب در این مسیر ناچیز قلمداد شده است. اما باید گسترش آبخوان کارستی در یال شمالی تاقدیس (در هر دو تکیه‌گاه) و حجم آب مورد نیاز برای اشباع کردن آن تا تراز نرمال آب مخزن را در نظر گرفت که بی شک چند برابر حجم آب مخزن می‌باشد. هیچ یک از پرده‌های تزریق اولیه سد تنگاب در راستای انسداد این مسیر طراحی نشده است. پس از آنگیزی مخزن و طی تزریق تکمیلی جناح راست، با اجرای پرده ۵۰۰ متری در امتداد ساحل و پرده‌های اجراشده در راستای انسداد مسیر شماره ۱ کوشیده شد که تا حدی موفقیت آمیز نیز بود. نکته قابل توجه عدم در نظر گرفتن پرده تزریق برای آب‌بندی مسیر شماره ۱ در طراحی تزریق تکمیلی تکیه‌گاه چپ مخزن است. پرده تزریق تکمیلی ۳۰۰ متری اجراشده در تکیه‌گاه چپ به موازات جهت حرکت آب در مسیر شماره ۱ می‌باشد و کمکی به انسداد آن نمی‌کند. در مسیر دوم (پیکان‌های ۲ و ۳ در شکل ۳) حرکت آب از ناحیه مخزن به سوی یال جنوبی تاقدیس است که طی آن آب می‌تواند علاوه بر تغذیه سفره کارستی، در مناطق مناسب بصورت چشمه از دیواره دره و یا در پای یال جنوبی تاقدیس خارج شود. در طراحی اولیه کوشیده‌شده است تا با اجرای پرده تزریق به موازات محور سد در هر دو تکیه‌گاه این مسیر مسدود شود. پرده‌های اجرا شده در کاهش نفوذپذیری در مسیر یاد شده و همچنین افزایش طول مسیر حرکت آب (و در نتیجه کاهش سرعت و در نتیجه دبی نشت آب) تا حد زیادی موفق بوده‌اند. در جناح راست این پرده آویزان بوده و در بخش انتهایی نیز به لایه ناتراوا دوخته نشده است. بنابراین آب می‌تواند علاوه بر عبور از درون پرده، از زیر و انتهای آن نیز دور زده و به سمت پایین دست جریان یابد. در جناح چپ، پرده اولیه بصورت آویزان اجرا شده است و پتانسیل عبور آب از بخش تحتانی و انتهایی آن، علاوه از درون آن، وجود داشت. تزریق تکمیلی انجام شده در افزایش طول پرده و در نتیجه افزایش طول مسیر حرکت آب موثر بوده است.



شکل ۳- موقعیت سد و مخزن تنگاب، پرده تزریق و مسیرهای محتمل فرار آب

شانزدهمین کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط زیست

مراجع

۱. اسدی، ناصر. مطالعه مشکل آب بندی در سد تنگاب با استفاده از ردیابی ماده رنگی اورانین. پایان نامه کارشناسی ارشد بخش زمین شناسی دانشگاه شیراز. ۱۳۷۷.
۲. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سروستان. برگه شماره ۶۶۴۸. ۱۳۸۵.
۳. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ شوراب، برگه شماره ۶۴۴۸. ۱۳۷۵.
۴. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ کوشک، برگه شماره ۶۶۴۷. ۱۳۸۳.
۵. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ کوار، برگه شماره ۶۵۴۸. ۱۳۷۵.
۶. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ فیروزآباد، برگه شماره ۶۵۴۷. ۱۳۷۵.
۷. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. دستورالعمل آزمایش های تراوایی نشریه شماره ۱۸۸ دفتر امور فنی. ۱۳۷۸.
۸. شرکت ملی نفت ایران. نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ فراشبند، برگه شماره ۶۶۷۷. ۱۳۵۶.
۹. طلایی حمید. مطالعه جهت جریان در سازند کارستی تکیه گاه چپ سد تنگاب با استفاده از ردیابی ماده رنگی رودامین. پایان نامه کارشناسی ارشد بخش زمین شناسی دانشگاه شیراز. ۱۳۷۸.
۱۰. کریمی، ح. بررسی هیدروژئولوژی و هیدروشیمیایی چشمه ها و گمانه های تاقدیس پودونو فیروزآباد. پایان نامه کارشناسی ارشد بخش زمین شناسی دانشگاه شیراز. ۱۳۷۶.
۱۱. مهندسین مشاور آب نیرو. گزارش جلد اول: بررسی وضعیت پرده تریق آب بندی اجراء شده در بستر و تکیه گاه های سد با توجه به اجرای عملیات تریق تکمیلی. ۱۳۹۱.