امکان‌سنجی و احداث سد زیرزمینی در حوزه آبخیز دریان
(مطالعه موردی سد زیرزمینی مشنق‌چای)

احد حبیب زاده*[۱]، عبداله حسین‌پور[۲] و سلیمان سلیمان‌زاده[۳]

۱- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

۲- محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

۳- محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷

چکیده

بحران کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک عاملی محدودکننده برای فعالیت‌های انسان و توسعه پایدار کشاورزی است. از راهکارهای نوین در این زمینه احداث سدهای زیرزمینی است. سدهای زیرزمینی در مقایسه با سدهای معمولی که آب رودخانه‌ها را در مخزن روباز ذخیره می‌کنند؛ جریان زیرسطحی آب را در مقطع عرضی رودخانه مسدود کرده آن را در زیر بستر رودخانه ذخیره می‌کنند. در این سدها، تلفات آب از طریق تبخیر کنترل شده و احتمال آلودگی‌های زیست محیطی حداقل است. در پژوهش حاضر، امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی در رودخانه فصلی مشنق‌چای به منظور استحصال آب کشاورزی ارزیابی شده است. پس از انجام مطالعات پایه، با بررسی‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی محل بازه اصلی نهایی شد. در محور اصلی سد، عرض بستر ۱۳۰ متر بوده و ضخامت آبرفت در محل محور و دریاچه سد به ترتیب ۱۴ و ۲۲ متر است. طراحی مقطع سد ذوزنقه‌ای بوده و از مصالح ریزدانه در هسته سد و لایه فیلتر به ضخامت ۱ متر در پوسته سد تشکیل یافته است. طول تاج سد ۱۶۰/۳۰ متر و ارتفاع آن در مرکز محور سد ۱۵ متر است. با حرکت به سمت جناحین رودخانه عمق سنگ بستر کاهش یافته و متناسب با آن عمق سد نیز کاهش می‌یابد نهایتا در هر دو جناح راست و چپ محور سد به صفر می‌رسد. وسعت آبخوان با احتساب شیب ۵ درصد رودخانه ۳۹۰۰۰ مترمربع است. با محاسبه عمق آبرفت حجم مخزن ۵۴۶۰۰۰ مترمکعب است و با توجه به تخلخل کل نهشته‌های آبرفتی(۳۵درصد) ، می‌توان ۱۶۳۸۰۰ مترمکعب آب قابل استحصال را برای آبخوان برآورد نمود. هدف از این پژوهش امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی در آبرفت‌های درشت دانه رودخانه‌ای به‌منظور مدیریت سیلاب در حوزه‌های آبخیز است با نیل به این هدف مشکل بحران تامین آب زراعی و حتی بهداشتی و شرب در روستای مشنق قابل حل خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ژئوالکتریک، ژئوتکنیک، سد زیرزمینی، ضخامت آبرفت.

مقدمه

بخش عمده‌ای از ایران جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و آب عاملی محدودکننده برای فعالیت‌های انسان در این مناطق به شمار می‌آید. از راه‌های برطرف کردن کمبودهای فصلی آب، استفاده از آب‌های زیرزمینی است. در برخی نواحی در اواخر فصل خشک منابع آب زیرزمینی کاهش یافته، در دسترس نیست و برای بهره‌برداری از آن، نیاز به حفر چاه‌های عمیق و صرف هزینه زیاد است. از روش‌های ذخیرهٔ آب که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، استفاده از سدهای آب زیرزمینی است. سد کردن جریان آب زیرزمینی به منظور جلوگیری از به هدر رفتن آن، فکر تازه‌ای نیست. سدهای زیرزمینی در جزیرهٔ ساردینیا (Sardinia) در زمان رومیان ساخته شده و

[1] Email: a.habibzadeh@areeo.ac.ir (Corresponding author)

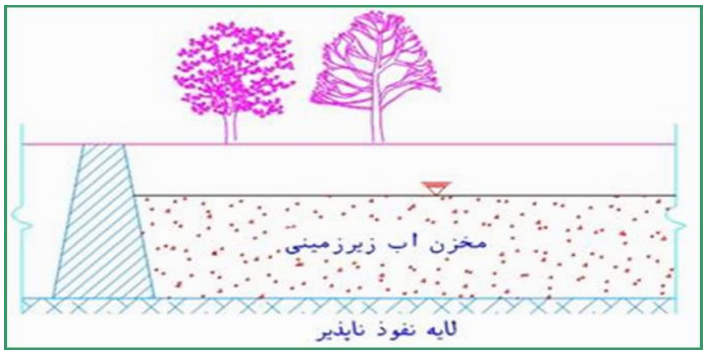
بناهایی در تونس نشان می‌دهد که سد کردن جریان آب زیرزمینی توسط تمدن‌های قدیمی در شمال آفریقا انجام می‌شده است. در دهه‌های اخیر ایدهٔ استفاده از سدهای آب زیرزمینی در پروژه‌های توسعه روستایی افزایش یافته است؛ در این رابطه چندین پروژهٔ تحقیقاتی پیش‌بینی شده و تعدادی از آنها در حال حاضر در آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی آغاز گردیده است (Ahnfors, 1980; Destouni & Johansson, 2005; Nilsson, 1988). یونسکو احداث چندین سد در آفریقا را مورد حمایت قرار داده است و یک پروژهٔ تحقیقاتی توسط دانشگاه علوم و تکنولوژی لاند کشور سوئد با مساعدت کشور زیمباوه آغاز به کار نموده است (Anonymous, 2004). سدهای زیرزمینی نیاز به ذخیره سطحی نداشته سبب تغییر کاربری اراضی و اکوسیستم نخواهد شد، به همین خاطر ابنیه‌ای سازگار با شرایط زیست محیطی است (Telmer, 2004). ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۸) بررسی مراحل مطالعاتی و اجرایی سد زیرزمینی حرمک کرمان نشان داد با اجرای این سد به روش هسته رسی و خط انتقال آب به طول ۸۳۰ متر اهداف پروژه تامین شده و آبدهی رودخانه از ۱۵ لیتر برثانیه به ۵۵ لیتر برثانیه افزایش یافته است. رضازاده و همکاران (۱۳۸۹) سدهای زیرزمینی و تاثیر آن بر ذخیره آب آبخوان‌ها را مورد پژوهش قرار داده احداث این سدها را رویکردی مفید در افزایش ذخیره آب موجود در آبخوان‌ها به خصوص در مناطق ساحلی دانسته‌اند. امروزه آب به عنوان یک نعمت لایتناهی و فراوان تلقی نمی‌شود، بلکه دولت‌ها و دانشمندان به این نکته پی برده‌اند که از ذخایر آب موجود باید استفاده بهینه به‌عمل آورند. حفاظت کمی و کیفی منابع آب و توسعه آن نیازمند یک مدیریت جامع منطقه‌ای و بین‌المللی است (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۹۰). یکی از راه‌های سازگاری با کم‌آبی استفاده بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری آب است. باید سعی کرد تا حد ممکن از نزولات جوی، جریان آب‌های سطحی و منابع زیرزمینی و رطوبت خاک به نحو مطلوب و بهینه استفاده شود (علیزاده، ۱۳۹۱). استفاده از فرآیند مدل‌سازی ریاضی، مدل مفهومی سدهای زیرزمینی در نرم افزار GMS7.1 و صحت سنجی داده‌ها، راهکاری مناسب جهت دسترسی به مدیریت بهینه بهره‌برداری از تغییرات سطح آب زیرزمینی در مخزن سد است (Kheirkhah et al., 2012). مدل عددی در بررسی سد زیرزمینی گنجه در استان اصفهان نشان داد بیلان آبی آبخوان چهل‌خانه و آبخوان بوئین (آبخوان زیردست سد) متاثر از سد شده است. ارتفاع بهینه سد در رقوم تاج ۲۲۹۰ متر از سطح دریا بوده و در این شرایط ذخیره افزوده آبخوان به ۴۷۰ هزار متر مکعب رسیده و تاثیر موثری بر افزایش آبدهی قنوات، رودخانه و چاه‌های بالادست خواهد داشت (ابراهیمی و همکاران،۱۳۹۱). این نوع سدها درکشورهایی مثل ایران که سطح آب زیررزمینی نوسان زیادی در فصل خشک و مرطوب دارد، مفید خواهد بود (حسنی و همکاران، ۱۳۹۲). نوجوان و همکاران (۱۳۹۴) از روش برهان خلف و استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی مکان گزینی سدهای زیرزمینی را انجام داده و با بررسی لایه‌های اقلیم، شیب، روان‌آب، گسل، قنات و رسوبات نفوذپذیر مکان‌یابی سد را انجام دادند. فرآیند تحلیل شبکه‌ای و منطق بولین در حوزه آبخیز جامیشان کرمانشاه با وزن‌دهی معیارهای موثر در ارزیابی مکانی، استفاده شده است (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۸). تحلیل کاربرد روش‌های سنتی و نوین استحصال آب باران نشان می‌دهد که سد زیرزمینی به عنوان روش نوین در جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب نه تنها موجب تامین آب شده، با جلوگیری از هدر رفتن جریان‌های کم، آب زیرزمینی از داخل آبرفت‌های کم عمق را می‌توان به داخل قنات‌ها هدایت نمود (همتی و همکاران، ۱۳۹۵). از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی در مکانیابی سدزیرزمینی مناسب‌ترین گزینه ضخامت آبرفت ۱۰-۱۵ متر است. همچنین جهت استحصال آب، آبرفت باید دارای ضریب ذخیره و آبدهی بالا باشد (حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). ارزیابی مکانی سد زیرزمینی در کردستان عراق نشان داد با احداث سد زیرزمینی به خصوص در فصل پاییز آب با کیفیت مناسب برای مصارف بهداشتی و شرب دام جمع‌آوری خواهد شد (Salahadin et al., 2014). در حوزه آبخیز کریان استان هرمزگان از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (تاپسیس و ویکور) در مکان‌یابی سد زیرزمینی استفاده شده است (چزگی، ۱۳۹۸). طرح‌های ذخیره و استحصال بهینه آب در مناطق خشک در اقصی نقاط جهان و ایران به منظور حفاظت خاک و تبدیل اراضی بایر و بیابانی به اراضی دایر، همچنین احیاء منابع طبیعی تجدیدشونده، کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها و تغذیه سفره‌های زیرزمینی در دست اجرا می‌باشد. این طرح‌ها با توجه به نیاز دانش فنی بررسی پتانسیل منطقه معمولاً

از توان کاری ساکنین منطقه خارج بوده و مشارکت دولتی را طلب می‌نماید. در این راستا در اقصی نقاط کشور به منظور ایجاد ایستگاه‌های پایلوت و اتخاذ دستورالعمل نهایی در توسعه آن، توسط کاربران و بهره‌برداران در یک مقیاس کوچک و با هزینه متناسب با توان مالی آبخیزنشینان منطقه سدهای کوچک زیرزمینی را مطرح شده‌اند که در چند منطقه مستعد و در خروجی حوزه‌های آبخیز کارآمد بود. بدین منظور پروژه تحقیقاتی سد زیرزمینی در استان آذربایجان شرقی و در محدوده روستای مشنق شهرستان شبستر پیشنهاد گردید. هدف از این پژوهش امکان‌سنجی احداث سدزیرزمینی در آبرفت‌های درشت دانه رودخانه‌ای به‌منظور مدیریت سیلاب در حوزه‌های آبخیز است با نیل به این هدف مشکل بحران تامین آب زراعی و حتی بهداشتی و شرب در روستای مشنق قابل حل خواهد بود.

مواد و روش‌ها

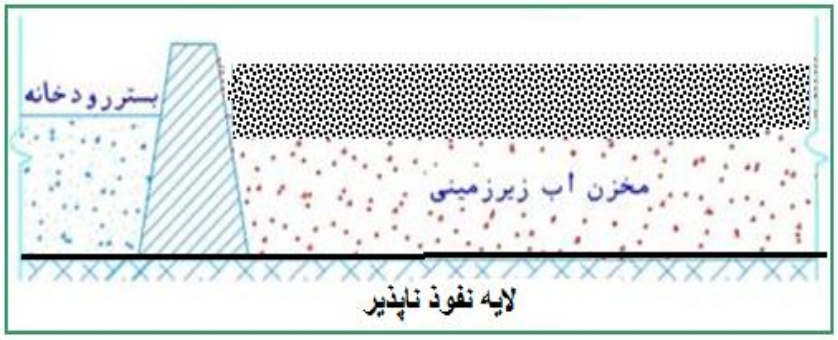
در مقایسه با سدهای معمولی که در عرض رودخانه یا نهر به منظور ذخیرهٔ آب ساخته می‌شوند و آب سطحی را در مخازن بالادست سد جمع‌آوری می‌کنند، سد آب زیرزمینی، جریان زیرسطحی را مسدود می‌کند و آب را در زیر سطح زمین ذخیره می‌نماید. همچنین به عنوان سازهٔ جمع کننده‌ای که جریان آب زیرزمینی را منحرف می‌نماید به کار می‌رود. به عنوان مثال می‌تواند سفره‌های مجاور را تغذیه کند و یا سطح ایستابی را در یک سفره با جریان کم طوری بالا ببرد که به سهولت به وسیلهٔ عملیات پمپاژ قابل بهره‌برداری باشد. سدهای آب زیرزمینی به دو صورت سدهای زیرزمینی و سدهای شنی اجرا می‌شوند.

سدهای زیرزمینی در زیر سطح زمین ساخته می‌شوند و جریان داخل سفره را مسدود می‌نمایند، در صورتی که سدهای شنی آب را در رسوبات تجمع یافتهٔ پشت سد، ذخیره می‌کنند. در شکل (۱) اصول کلی اجرای سدهای زیرزمینی نشان داده شده است. در این شکل دیده می‌شود که آب دهکده‌ای توسط یک چاه کم عمق از یک سفرهٔ متشکل از رسوبات آبرفتی نفوذپذیر در دره‌ای کوچک، تأمین می‌گردد. برای احداث، ترانشه‌ای در سرتاسر عرض دره تا عمق برخورد با سنگ بستر حفر گردید و یک دیوارهٔ نفوذناپذیر در داخل ترانشه ساخته شد و اطراف آن با استفاده از مصالح حفر شده پر گردید. مخزن ایجاد شده در پشت دیواره طی دورهٔ بارندگی تغذیه شد و از آب ذخیره شده در کم آبی بهره‌برداری گردید. همچنین مازاد آب زیرزمینی می‌تواند از بالای تاج سد، سرریز شده و آبخوان‌های پایین دست نهر را تغذیه نماید.



شکل (۱) : تصویر شماتیک نمای کلی سد زیرزمینی

اصول کلی سد شنی در شکل (۲) نشان داده شده است. سابقاً روستائیان آب مورد نیاز خود را از طریق جویبارهای غیر دائمی در مواقع وجود جریان یا برای مدت زمان کوتاهی بعد از بارندگی از گودال‌های حفر شده در بستر رودخانه جمع‌آوری می‌نمودند. مقدار آب ذخیره شده جهت تأمین آب روستا در طی دورهٔ خشکی کافی نبوده است. با احداث دیواره‌ای با ارتفاع مناسب در عرض بستر آبراهه، رسوبات حمل شده از طریق جریان‌های فصلی در پشت دیواره ته نشین شده و مخزن توسط این رسوبات پر می‌گردد. این سفرهٔ مصنوعی هر ساله در طول بارندگی‌ها پر شده و جهت بهره‌برداری در فصل خشک ذخیره می‌گردد.



شکل (۲): تصویر شماتیک نمای کلی سد شنی

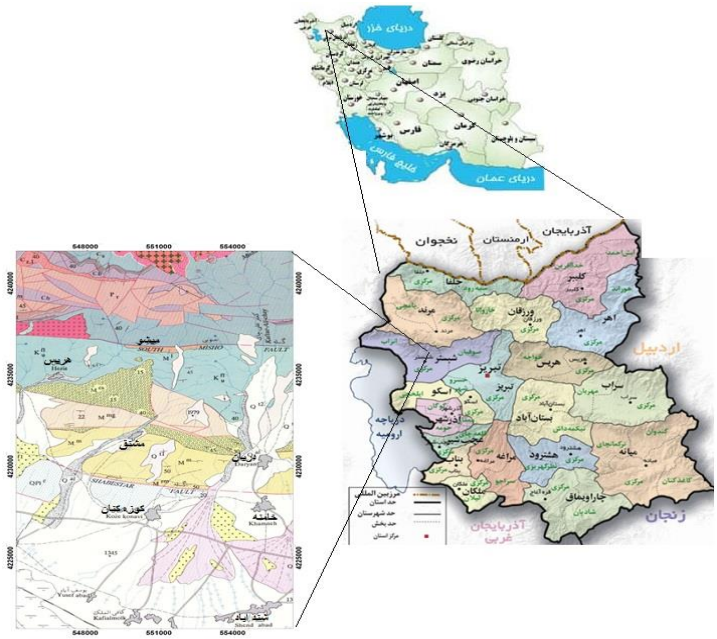
اغلب در این روش به علت امکان استخراج ثقلی آب مخزن با استفاده از لوله‌ای در دیوارهٔ سد، نیازی به حفر چاه و نگهداری آنها نیست. همچنین سد آب زیرزمینی ممکن است ترکیبی از دو نوع فوق‌الذکر باشد. به این صورت که هنگام ساخت سدزیرزمینی در بستر رودخانه می‌توان با مرتفع ساختن دیوارهٔ سد تا بالای سطح زمین که منجر به تجمع رسوبات بیشتری می‌گردد، حجم ذخیرهٔ آب را افزایش داد. برای احداث سد شنی نیز به منظور رسیدن به سنگ بستر (لایهٔ غیر قابل نفوذ) نیاز به حفر ترانشه در بستر می‌باشد. استفاده از سدهای آب زیرزمینی نسبت به روش‌های متداول ذخیرهٔ سطحی آب دارای مزایای زیادی است. در این روش تلفات تبخیر کاهش یافته و یا حتی بطور کامل از بین می‌رود. یک بار و برای همیشه طراحی و ساخته می‌شود و سپس ذخیرهٔ آب برای مدت طولانی در دسترس می‌باشد، در حالی که حجم ذخیرهٔ مفید مخازن سطحی به دلیل رشد گیاهان و ته‌نشینی رسوبات کاهش می‌یابد و همچنین بطور مرتب در معرض تبخیر یا خرابی ناشی از طغیان‌های شدید می‌باشد. در روش مورد نظر آب ذخیره شده کمتر آلوده می‌شود و مخاطرات سلامتی از قبیل تخم‌گذاری پشهٔ مالاریا و شیوع تب حلزون که در مخازن سطحی وجود دارد، منتفی می‌باشد. وقتی از مخازن ذخیرهٔ سطحی استفاده می‌گردد، قسمتی از زمین توسط مخازن اشغال می‌شود، در صورتی که زمین بالادست مخازن سد آب زیرزمینی را می‌توان جهت اهداف دیگری نیز به کار برد.

موقعیت جغرافیایی و اقلیمی منطقه

منطقه مطالعاتی در استان آذربایجان‌شرقی، مختصات جغرافیایی″۳۱′۱۳°۳۸ تا ″۴۱′۱۷°۳۸ عرض شمالی و ″۲۵ ′۳۳ °۴۵ تا ″۲۹ ′۳۶ °۴۵ طول شرقی قرار دارد. حوزه آبخیز مشنق‌چای، در شمال‌شرق دریاچه ارومیه، زیرحوزه دریان‌چای قرار دارد (شکل۳). بارش متوسط منطقه ۲۸۸ میلی‌متر متوسط دمای حوزه $4/62C^{\circ}$ است. مجموع تبخیر و تعرق سالانه ۱۳۱/۶میلی‌متر در سال است که بین حداکثر ۲۳۰/۴ میلی‌متر در ماه‌های تابستان و حداقل ۴ میلی‌متر در ماه‌های زمستان در نوسان است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی روش آمبرژه اقلیم حوزه نیمه‌خشک سرد تا خشک سرد تعیین شده است. حداکثر ارتفاع حوزه ۲۷۵۰ متر و حداقل آن ۱۷۶۰ متر است. طول آبراهه اصلی در محل بازه ۵/۸۸ کیلومتر و شیب آن ۵ درصد است. کاربری اراضی منطقه اغلب اراضی دیم و باغات بوده، محصولات عمده زراعی شامل گندم، جو، نخود و محصولات باغی شامل بادام، گردو، زردآلو و سیب است. در جدول (۱) انواع کاربری اراضی و وسعت هرکدام در روستای مشنق آمده است.

جدول (۱): مساحت انواع کاربری اراضی آبادی مشنق

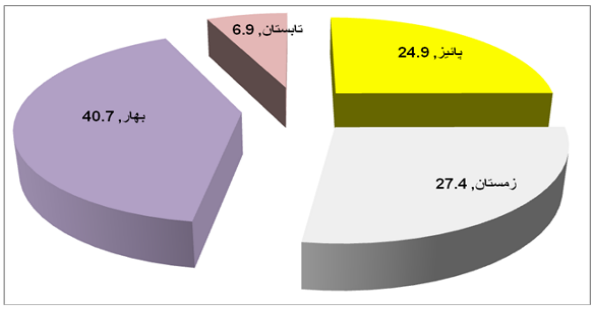
	باغات	زراعت آبی و باغی	زراعت دیم	مرتع	مسکونی	کل
وسعت(ha)	۳۲۶/۱۷	۵۱/۴۶	۸۹۹	۲۲۶۱	۹	۳۵۴۶/۶۳
کاربری%	۹/۲۰	۱/۴۵	۲۵/۳۵	۶۳/۷۵	۰/۲۵	۱۰۰



شکل(۳): موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مشنق

رژیم بارندگی محل بازه

براساس مطالعات اقلیمی، بارش متوسط منطقه ۲۸۸ میلی‌متر متوسط دمای کل حوزه ۴/۶۲درجه سانتی‌گراد است. حداکثر بارش ماهانه در اردیبهشت و فروردین بترتیب با ۵۸/۷ و ۵۸ میلی‌متر بوده که در حدود ۱۷درصد بارش سالانه را شامل می‌شود. اسفندماه با ۱۱/۵ درصد (۳۹ میلی‌متر) درردیف بعدی قرارگرفته است. در مقابل، حداقل بارش از آن ماههای مرداد با (۱/۸درصد) و شهریور با (۲/۱ درصد) است. رژیم بارندگی منطقه مورد مطالعه تیپ مدیترانه‌ای با حداکثر بهاره است. فصل بهار در مقایسه با دیگر فصول بیشترین مقدار بارش را داشته، فصل زمستان با ۲۷/۴ درصد و فصل پائیز با ۲۵ درصد، بارش سالانه را به خود اختصاص داده است در مقابل، فصل تابستان خشک‌ترین فصل سال در منطقه بوده که کمترین مقدار بارندگی سالانه را با ۷ درصد دریافت می‌کند این امر از نظر کشاورزی حائز اهمیت است(شکل۴).



شکل (۴): توزیع فصلی بارش در ایستگاه دریان

رواناب و آبدهی سالانه حوزه آبخیز مشنق‌چای

جهت محاسبه شدت بارندگی از آمار ایستگاه ثبات دریان در مجاورت محل پژوهش استفاده شد. برای این منظور نیاز به محاسبه زمان تمرکز بود که از رابطه کرپیچ (kirpich) استفاده شد (رابطه ۱). براساس مشخصات فیزیوگرافی بالادست بازه سد زیرزمینی مشنق به طول آبراهه ۵۸۸۰ متر و مساحت حوزه آبخیز ۸۶۵ هکتار زمان تمرکز ۳۵/۶ دقیقه با لحاظ شیب آبراهه ۱۱/۷ درصد محاسبه شد. باتوجه به اینکه ذخیره آب سدزیرزمینی از طریق نفوذ رواناب‌های

سیلابی در ته‌نشست‌های دانه‌درشت بستر رودخانه حاصل می‌شود لازم است مقادیر مربوط به دبی‌های سیلابی با دوره برگشت‌های مختلف محاسبه شود که برای سد زیرزمینی مشنق دبی‌های سیلابی در محل بازه به دو روش SBR و SCS محاسبه و در جدول (۲) آمده است. در طراحی سد زیرزمینی مشنق سه پارامتر اصلی طراحی بدنه، طراحی سیستم آبگیری و طراحی مسیر انحرافی رودخانه در زمان اجرا مورد هدف بود با عنایت به شرایط کوهستانی محل اجرای سد و کنترل آمار و اطلاعات با داده‌های ایستگاه هیدرومتری حوزه آبخیز دریان‌چای روش SCS همخوانی داشته به منظور بالا بردن ضریب اطمینان در استحکام سازه سد زیرزمینی این روش مبنای محاسبات آماری و طراحی سازه‌ها و ابنیه فنی قرار گرفت. در طراحی سازه مسیر انحرافی نیز به جهت کاهش ریسک سیلاب دبی‌های سیلابی محاسبه شده روش SCS مد نظر قرار گرفت.

$$t_c=0.0195\ L^{0.77}\ S^{-0.385} \qquad (۱)$$

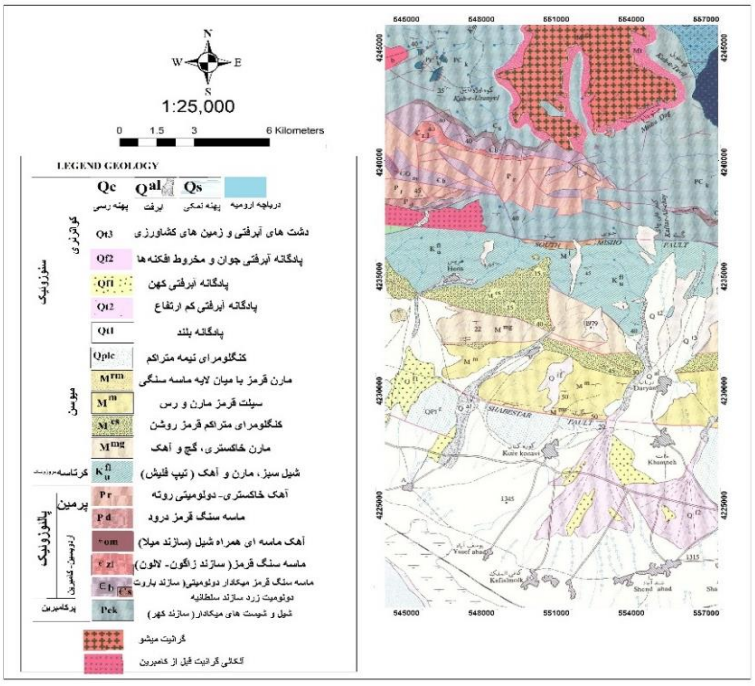
در رابطه (۱)، t_c زمان تمرکز بر حسب دقیقه (min)، L طول آبراهه بر حسب متر (m)، S شیب آبراهه است.

جدول (۲): دبی‌های سیلابی آبراهه در محل بازه به روش‌های SBR و SCS

دوره برگشت (سال)	شدت بارش در زمان تمرکز (mm/hr)	شدت بارش در زمان تمرکز (cm/hr)	SCS دبی (m^3/s)	USBR دبی (m^3/s)
۲	۹/۶۰۴	۰/۹۶۰۴	۱۵/۳۳۳	۷/۶۵۴
۵	۱۳/۸۳۵	۱/۳۸۴	۲۲/۰۸۹	۱۱/۰۲۶
۱۰	۱۶/۶۱۷	۱/۶۶۲	۲۶/۵۳۲	۱۳/۲۴۳
۲۰	۱۹/۲۱۸	۱/۹۲۲	۳۰/۶۸۷	۱۵/۳۱۶
۵۰	۲۲/۷۲۵	۲/۲۷۳	۳۶/۲۸۴	۱۸/۱۱۱
۱۰۰	۲۵/۳۲۶	۲/۵۳۳	۴۰/۴۳۷	۲۰/۱۸۴
۲۰۰	۲۷/۸۴۵	۲/۷۸۳	۴۴/۴۵۹	۲۲/۱۹۲
۵۰۰	۳۱/۲۵۳	۳/۱۲۵	۴۹/۹۰۱	۲۴/۹۰۸

زمین‌شناسی حوزه آبخیز مشنق‌چای

سرزمین مورد بررسی در دامنه جنوبی رشته کوه‌های میشو که بصورت یک رشته کوه شرقی– غربی هورست مانندی است و توسط دو گسل در دو سوی آن کنترل می‌شود، واقع شده است. کهن‌ترین نهشته‌های این محدوده وابسته به پرکامبرین و سازند کهر با لیتولوژی ماسه و شیل‌های میکادار و به مقداری کم دولومیت است. سنگ‌های وابسته به پالئوزوئیک با برونزدگی سنگ‌های رسوبی– آهکی و دولومیتی وابسته به پرمین و سازند روته با لیتولوژی آهک‌های تیره ،آهک و دولومیت‌های خاکستری است که بصورت دگر شیب و با مرز گسلی با رسوبات زیرین خود (سازند کهر) قرار گرفته است. از نهشته‌های دوران مزوزئیک رسوبات مربوط به کرتاسه بالا و سازند تیپ فلیش را می‌توان نام برد که گسترش زیادی داشته و نواحی بالادست حوزه را تشکیل داده‌اند. لیتولوژی آن شامل ردیف‌هایی از شیل‌های خاکستری و ماسه‌سنگ با سیمان آهکی با میان لایه‌هایی از آهک و آهک ماسه‌ای است. نهشته‌های دوران سوم بیشتر رسوبات مارنی،آهکی،کنگلومرا و ماسه‌سنگی بوده که گسترش زیادی در حوزه داشته و در نهایت رسوبات آبرفتی را در زمان کواترنر تشکیل داده‌اند. شکل۵ نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز را نشان می‌دهد.

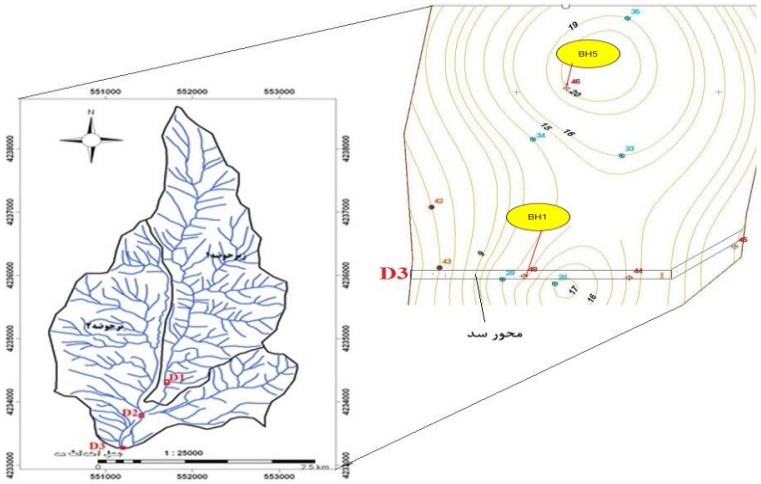


شکل(۵): نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرند)

نتایج و بحث

بررسی‌های ژئوفیزیکی محل سد زیرزمینی

مطالعات ژئوالکتریک در سه نقطه D1، D2 و D3 اولویت‌دار از نظر هیدرولوژی و زمین‌شناسی انجام شد. بررسی نقشه مقاومت ویژه الکتریکی برای AB=20 (طول سونداژ الکتریکی است) نشان داد که مقاومت ظاهری برای بیشتر نواحی مورد مطالعه بیشتر از ۱۰۰ اهم‌متر و حتی بیشتر از۲۰۰ اهم‌متر نیز می‌رسد. مقادیر بالای مقاومت می‌تواند دلیلی بر دانه درشت بودن و نفوذپذیری نسبتاً خوب رسوبات آبرفتی در سطح باشد. بررسی نقشه AB=200 نشان داد که مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری و به ندرت به ۲۰ اهم‌متر می‌رسد. این امر ناشی از وجود نهشته‌های مارنی با مقاومت ویژه الکتریکی کم در اعماق می باشد. تحلیل نتایج حاصل از نقشه‌های هم‌مقاومت و مقاطع ژئوالکتریکی نشان داد که در نقاط D1 و D2 ضخامت آبرفت به ترتیب ۵ تا ۷ متر بوده و در موقعیت D3، ۱۴ متر است. براین اساس، در محل دریاچه سد عمق بالای۲۰ متر وجود دارد و احتمالاً یک بالاآمدگی در سنگ کف مارنی در محل بازه بوجود آمده است (شکل۶).



شکل(۶): موقعیت‌های ارزیابی مکانی محور سد زیرزمینی

مطالعات ژئوتکنیکی سد زیرزمینی مشنق

در ارزیابی مکانی محور سدزیرزمینی ضخامت آبرفت ۱۰- ۱۵ متر مناسب‌ترین گزینه بوده، آبرفت باید دارای ضریب ذخیره مناسب و آبدهی خوب باشد که بر اساس این معیارها و با در نظر گرفتن ایجاد مخزن مناسب از دیدگاه توجیه اقتصادی و اجتماعی، موقعیت‌های D1,D2,D3 به عنوان محورهای اولیه احداث سد زیرزمینی در نظر گرفته شد. برای بررسی وضعیت هریک از این محورها از نظر ضخامت آبرفت، ابتدا حفر دو حلقه چاهک اکتشافی در موقعیت D1,D2 و مطالعات ژئوفیزیک به اجرا درآمد. حفر چاهک‌ها در نقاط D1 و D2 نشان داد که ضخامت آبرفت در این دو نقطه به ترتیب ۵ تا ۷ متر است. با توجه به ضخامت کم آبرفت، حجم مخزن در بالادست این نقاط کم می‌باشد. همانگونه که قبلاً ذکر شد در موقعیت D3، بر اساس نتایج ژئوالکتریک، عمق متوسط آبرفت ۱۴متر بود. این عمق برای احداث سد زیرزمینی مناسب بوده، برای شناخت بیشتر ویژگی‌هایی مانند ضخامت رسوبات مخزن سد، میزان تخلخل، نفوذپذیری و ضریب آبدهی نهشته‌های مخزن سد، حفر ۷ حلقه چاه پیزومتریک به مورد اجرا گذاشته شد.

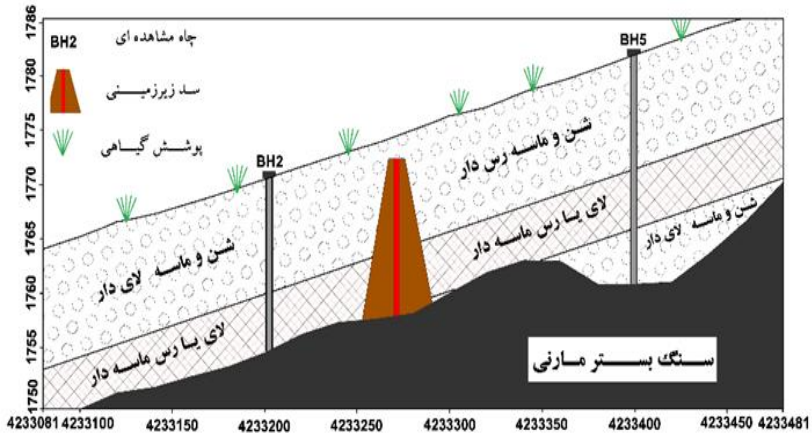
آزمایشات مختلف از قبیل آزمایش لوفران و دانسیته به همراه نمونه‌برداری‌های آبرفت جهت مکانیک خاک و دانه‌بندی انجام شد (شکل۷). در آزمایش لوفران آبخوری لایه‌های مورد نظر تحت‌فشار ثابت اندازه‌گیری شده و میزان تراوایی محاسبه می‌شود، نتایج آزمایش لوفران در چاه‌های واقع در محور (BH1)، دریاچه سد (BH5) و پایین محور(BH2) در عمق های مختلف نشان می‌دهد آبرفت منطقه از نفوذپذیری بالا برخوردار بوده و به خصوص در اعماق ۱ تا ۸m میزان رس و سیلت به مراتب پایین است. مقدار نفوذ افقی در عمق ۷ متر محل دریاچه سد به حدود ۳۰۰ لیتر در زمان ۴۰ دقیقه می‌رسد. ضریب نفوذپذیری در این عمق برابر ۰/۰۰۱۲سانتی‌متر بر ثانیه است. آزمایشات دانه‌بندی نمونه‌های برداشت شده از چاه‌های حفاری شده در محل بازه نشان داد که تا عمق۱۱متر زمین بیش از۵۰ درصد رسوبات از شن و ماسه تشکیل یافته، بر اساس روش ASTM این رسوبات اکثراً در محدوده GC و GM هستند (حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی لوگ چاه‌های حفاری و مطالعات ژئوفیزیکی نشان داد اطلاعات مربوط به لوگ چاه محور سد (BH1) و محل دریاچه سد (BH5) نشان می‌دهد، که سنگ بستر در عمق ۱۴متر محور و ۲۳ متر دریاچه واقع بوده، سنگ‌شناسی آن از جنس مارن است (شکل۸).

شکل (۷): حفاری چاه‌های ژئوتکنیکی درمحور سد

پس از حفاری پنج حلقه چاه ژئوتکنیکی و انجام آزمایشات لوفران و نمونه‌برداری برای مکانیک خاک، این چاه‌ها تکمیل و تجهیز شده به عنوان پیزومتر به‌منظور پایش سطح آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول(۳) مختصات چاه‌ها و عمق آب زیرزمینی آمده است. مشاهده می‌شود بیشترین عمق مربوط به دریاچه سد (BH5) با ۹ متر است با توجه به عمق ۲۳ متری سنگ کف ، ۱۴ متر ضخامت اشباع قبل از احداث در مخزن وجود دارد.

جدول (۳): مختصات و عمق آب زیرزمینی در چاه‌های پیزومتری سد زیرزمینی مشنق

موقعیت پیزومتر در محور سد	عمق آب زیرزمینی	مختصات		نام چاه
روی محور	۵,۵۰	X=551204	Y=4233274	BH1
پایین محور	۶,۰۰	X=551200	Y=4233205	BH2
کناره شرقی محور	۶,۲۰	X=551256	Y=4233274	BH3
کناره غربی محور	۸,۸۰	X=551308	Y=4233295	BH4
مخزن(دریاچه) سد	۹,۰۰	X=551226	Y=4233400	BH5



شکل(۸): نقشه رقومی- ارتفاعی سنگ کف محل بازه

انتخاب گزینه مناسب جهت احداث سد زیرزمینی مشنق و آبگیری از آن

حجم ذخیره سد زیرزمینی مشنق

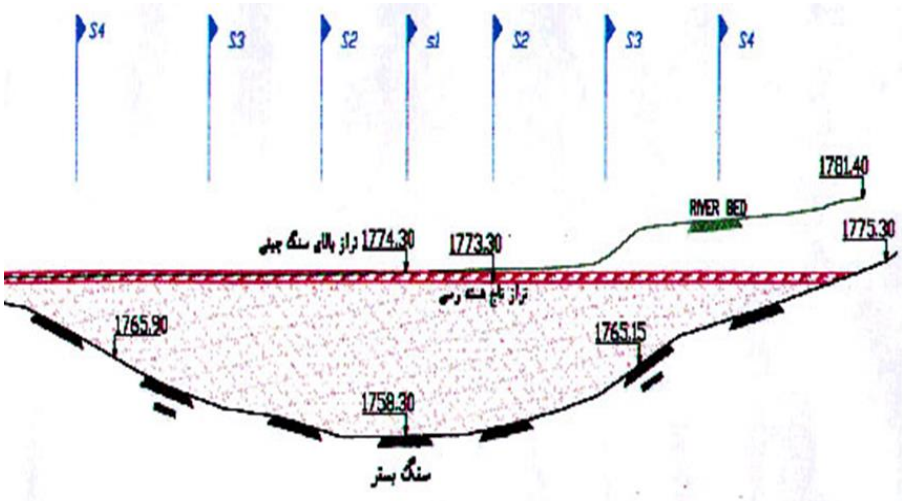
در جدول (۴) با توجه به ویژگی‌های بازه‌های مورد بررسی موقعیت‌های D1، D2، D3، میزان آب قابل استحصال در مخزن آبرفتی هر یک از این نقاط ارائه شده، همچنان که برآورد آبدهی نشان می‌دهد در موقعیت D3 استحصال آب مناسب بوده و این نقطه در مقایسه با دو نقطه دیگر، شرایط مناسبی برای احداث سدزیرزمینی دارد (شکل۶). بازه اصلی در مختصات UTM، x= ۵۵۱۲۰۴ y= ۴۲۳۳۲۷۴ در بالادست حوزه آبخیز واقع شده است. در این بازه، عرض بستر رودخانه ۱۳۰ متر بوده و ضخامت رسوب در محل محور سدزیرزمینی و در دریاچه سد به ترتیب ۱۴ و ۲۲ متر است. وسعت آبخوان با احتساب شیب ۵ درصد رودخانه ۳۹۰۰۰ مترمربع بوده و محاسبه عمق آبرفت منطقه حجم مخزن ۵۴۶۰۰۰ مترمکعب است با توجه به تخلخل کل نهشته‌های آبرفتی(۳۵درصد) و آبدهی مخصوص، می‌توان ۱۶۳۸۰۰ مترمکعب آب قابل استحصال را برای این آبخوان برآورد نمود.

جدول(۴): مشخصات مقاطع مورد نظر جهت احداث بازه

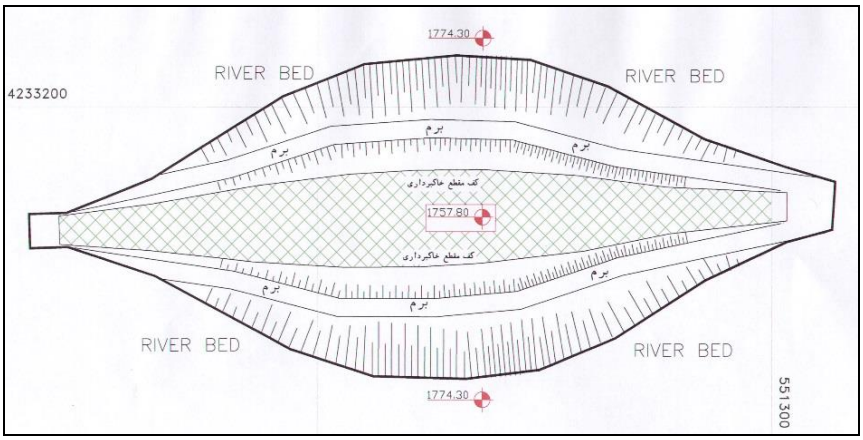
موقعیت	عرض بستر	مصالح بستر	ضخامت آبرفت	سازند تکیه گاه	شیب بستر	حجم مخزن m3	برآورد حجم آبدهی
D1	۱۰۰	شن و ماسه	۷	مارن	۶	۶۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
D2	۴۰	شن و ماسه	۵	مارن و فلیش	۵/۵	۲۰۰۰۰	۶۰۰۰
D3	۱۳۰	شن و ماسه	۱۴	مارن و فلیش	۵	۵۴۶۰۰۰	۱۶۳۸۰۰

مشخصات سازه‌ای سد زیرزمینی مشنق

سد زیرزمینی مشنق بر روی رودخانه مشنق و در تراز زیر سطح زمین اجـرا مـی‌گـردد. مقطـع سـد ذوزنقـه‌ای و از مصالح ریزدانه (رسی) در هسته سد و لایه فیلتر به ضخامت ۱ متر در پوسته سد تشکیل یافته است (شـکل۱۰). شـیب جناحین بدنه سد ۲ عمودی در مقابل ۱ افقی در نظر گرفته شده است که با توجه به پرشدگی اطراف بدنه سد همزمان با احداث سد مشکلی به لحاظ پایداری وجود نخواهد داشت. به‌منظور جلوگیری از آبشستگی بدنه سد در هنگـام وقـوع سیلاب لایه سنگ چین به ضخامت ۱ متر در تاج سد پیش بینی شده است. متوسط وزن سنگ‌های استفاده در سنگ-چین ۴۰ الی ۵۰ کیلوگرم و حداکثر ۸۰ کیلوگرم است. قطر متوسط این سنگ ها ۴۰ الی ۵۰ سـانتی متـر خواهـد بـود. طول تاج سد ۱۶۰/۳۰ متر و ارتفاع آن در مرکز محور سد ۱۵ متر و با احداث لایه سنگ چین ۱۶ متر می‌باشد. ارتفـاع سد با استفاده از نتایج حاصل از آزمایشات ژئوفیزیک و ژئوتکنیک بر مبنای عمـق سـنگ بسـتر در محـل احـداث سـد انتخاب گردیده است. چنان‌که در شکل (۹) مشاهده می‌شود توپوگرافی سنگ بستر در مقطع طولی سد، با حرکـت بـه سمت جناحین رودخانه کاهش عمق داشته و متناسب با آن عمق سد نیز کاهش می‌یابد نهایتا در هر دو جنـاح راسـت و چپ محور سد به صفر می‌رسد. برای احداث سد تا عمق سنگ یستر خاکبرداری کرده و بـرای ایجـاد بسـتر مناسـب برای احداث سد ، نیم متر از سنگ بستر در طول محور سد برداشته و پی سد برروی آن قرار می‌گیرد.



شکل(۹):توپوگرافی سنگ بستر در مقطع طولی سد



شکل (۱۰): مقطع طولی سد و پلان خاک‌برداری

تاسیسات آبگیری از سد زیرزمینی مشنق

آبگیری از سد زیرزمینی مشنق با توجه به زیرزمینی بودن مخزن ذخیره با احداث چاه زهکش قابل انجام می‌باشد. بر این اساس در طرح حاضر دو گزینه مورد بررسی قرار گرفته است که به شرح زیر ارائه می‌گردد .

الف) احداث چاه به عمق ۱۶ متر در مجاورت بدنه سد در داخل مخزن سد که توسط لوله های پلیکا به حالت مشبک در آمده و توانایی زهکشی آب مخزن سد را دارا می‌باشد . آب وارد شده به داخل چاه توسط عمل پمپاژ از چاه خارج شده و توسط لوله از جنس پلی اتیلن به طول ۱۰۰ متر به سمت ساحل رودخانه منتقل می‌گردد

ب) احداث چاه به عمق ۱۶ متر در مجاورت بدنه سد در داخل مخزن سد که توسط لوله‌های پلیکا به حالت مشبک در آمده و آب جمع شده در این چاه توسط لوله فولادی به طول ۳۰ متر و به قطر ۳۰۰ میلیمتر با عبور از زیر بدنه سد به سمت چاه طراحی شده در مجاورت ضلع پایین دست سد منتقل می‌گردد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور ارزیابی هیدرودینامیکی رسوبات بستر رودخانه در محل احداث سد زیرزمینی به منظور استحصال آب انجام شد. اهم نتایج تحقیق عبارتند از:

۱- بررسی لوگ چاه‌های حفاری و مطالعات ژئوفیزیکی نشان داد که واحد مارنی و شیلی به رنگ سبز خاکستری، با میان لایه های ماسه‌سنگی و ماسه آهکی گچ و نمک‌دار که در منطقه برونزد قابل ملاحظه ای دارد سنگ کف محل احداث سد زیرزمینی را تشکیل داده، دارای بالا آمدگی در محل بازه است.

۲- مناسب‌ترین موقعیت بازه اصلی در محل D3 است که میزان استحصال آب در هر سیستم آبگیری تا ۱۶۳۸۰۰ مترمکعب رسیده که در شرایط خشک منطقه پژوهش با فرض چهار دوره آبگیری سالانه می‌تواند بیش از ۵۰۰ هزارمترمکعب استحصال آب برای مصارف بهداشتی و کشاورزی روستای مشنق داشته باشد.

۳- سد زیرزمینی مشنق بر روی رودخانه مشنق و در تراز زیر سطح زمین اجرا می‌گردد. مقطع سد ذوزنقه‌ای و از مصالح ریزدانه (رسی) در هسته سد و لایه فیلتر به ضخامت ۱ متر در پوسته سد تشکیل یافته است

۴- طول تاج سد ۱۶۰/۳۰ متر و ارتفاع آن در مرکز محور سد ۱۵ متر و با احداث لایه سنگ چین ۱۶ متر می‌باشد. ارتفاع سد با استفاده از نتایج حاصل از آزمایشات ژئوفیزیک و ژئوتکنیک بر مبنای عمق سنگ بستر در محل احداث سد انتخاب گردیده است.

۵- توپوگرافی سنگ بستر در مقطع طولی سد، با حرکت به سمت جناحین رودخانه کاهش عمق داشته و متناسب با آن عمق سد نیز کاهش می‌یابد برای احداث سد تا عمق یستر خاکبرداری کرده و برای ایجاد بستر مناسب برای احداث سد ، نیم متر از سنگ بستر در طول محور سد برداشته و پی سد برروی آن قرار می‌گیرد.

۶- آبگیری از سد زیرزمینی مشنق با توجه به زیرزمینی بودن مخزن ذخیره با احداث چاه زهکش قابل انجام می‌باشد. که به دو حالت پمپاژ از چاه در داخل دریاچه و هدایت ثقلی آن از بدنه سد به پایین دست قابل برداشت می‌شود.

۷- با توجه به احداث باغات بادام در اراضی شیب‌دار این روستا همراه با زنبورداری، احداث سدزیرزمینی در محل موقعیت انتخابی از نظر اقتصادی و اجتماعی کاملاً قابل توجیه است.

منابع

۱. ابراهیمی، ن.، ا. رستمی و ع. حسنی (۱۳۸۸). مراحل مطالعاتی و اجرایی سد زیرزمینی حرمک، همایش ملی مدیریت بحران آب، مرودشت، اسفندماه، ص۱۱.

۲. ابراهیمی، ب.، ح. یوسفیان و م. پسندی (۱۳۹۱). کاربرد مدل عددی در بررسی سد زیرزمینی گنجه در استان اصفهان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۳) ۲، (۱۶۰-۱۴۹).

۳. پرویزی، س.، ع. طالبی و م. اختصاصی (۱۳۹۸). مکان یابی سد زیرزمینی با استفاده از شبیه سازی بیلان اب مدل SWAT و فرآیند تحلیل شبکه‌ای، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۴۵ : ۹۸-۱۰۶.
۴. چزگی، ج. (۱۳۹۸). مکان یابی و اولویت‌بندی سدهای زیرزمینی با استفاده مدل‌های SWAT و MADM ، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۴۷ : ۸۶-۹۵.
۵. حبیب‌زاده، ا.، م. خیرخواه زرکش و م. رفیعی (۱۳۹۹). سد زیرزمینی راهکاری نوین در مدیریت سیلاب با استحصال آب باران، نهمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، تبریز، ایران، ۱۵ شهریور.
۶. حبیب‌زاده، ا.، ج. یاراحمدی و ع. مجیدی (۱۳۹۹). تحلیل هیدرودینامیکی نهشته‌های بستر رودخانه‌ای محل احداث سد زیرزمینی به‌منظور استحصال آب، مجله محیط زیست و مهندسی آب، ص۱۲.
۷. حسنی، ع.، ح. حسنی و ح. شیرخانی (۱۳۹۲). روش‌های احداث سدهای زیرزمینی، اولین همایش زهکشی در کشاورزی پایدار،تهران، ۸ اسفند ، ص۹.
۸. علیزاده، ا. (۱۳۹۱). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ سی‌و ششم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۹۲۷ص.
۹. کارآموز، م. و ش. عراقی‌نژاد (۱۳۸۹). هیدرولوژی پیشرفته، چاپ اول، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، ۴۶۴ص.
۱۰. نوجوان، م.، ا. جمالی و ز. ناظری (۱۳۹۴). برهان خلف: مکان گزینی سدهای زیرزمینی، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۵۷: ۵۳- ۶۶.
۱۱. همتی، م.، م. ملکی و ا. همتی (۱۳۹۵). تحلیل کاربرد روش‌های سنتی و نوین استحصال آب باران در مناطق خشک و نیمه خشک، پنجمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، رشت، ایران،۴ اسفند.

12. Anonymous. *(2004). GROUNDWATER RESOURCES OF THE WORLD*. Published in 2004 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). ISBN *92-9220-007-0. pp342.*
13. Ahnfors M. (1980). *Groundwater arresting sub-surface stractures, Govet of India, Sida, assisted groundwater project in Noyil Ponnani*, Tamil Nado and Kerala. Groundwater journal, *16(22).*
14. Destouni G. and Johansson B. (2005). *Groundwater under Threat*, The Swedish Research council Formas, Agust 2005.
15. Kheirkhah Z. M., Mohebbi A. and Kolahchi A. (2012). *Exploitation Management of Underground Dams by Using Mathematical Models of Finite Difference in GMS7*.1, Journal of Basic and Applied Scientific Research, *2(7)6376-6384, 2012*.
16. Nilsson A. (1988). *Groundwater Dams for Small- scale Water Supply*, Intermediate Technology Publication, London. *78pp*.
17. Salahadin S., Foad A., Umary A., Sarkawt G. S., Nadhir A. and Ansari S. (2014). *Evaluation of Selected Site Location for Subsurface Dam Construction within Isayi Watershed Using GIS and RS Garmiyan Area*. Kurdistan Region. Journal of Water Resource and Protection, *6, 972-987.*
18. Telmer K. and Best M. (2004). *Underground Dams: A Practical Solution for the Water Needs of Small Communities in Semi-Arid Regions*. School of Earth and Oceans Sciences. University of Victoria. *6 pp.*

Feasibility study and construction of an underground dam in the Daryan watershed (Case Study Mashnaq Underground Dam)

Ahad Habibzadeh*[1], Abdollah Hosainpur[2] Solaiman solaimanzadeh[3]
[1]Assistant professor at Agriculture &Natural Resources Research Center of East Azerbaijan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tabriz, Iran.
[2]Researcher at Agriculture &Natural Resources Research Center of East Azerbaijan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tabriz, Iran.
[3]Researcher at Agriculture &Natural Resources Research Center of East Azerbaijan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tabriz, Iran.
Received: 2020/08
Accepted: 2020/10

Abstract

The water crisis in arid and semi-arid regions is a limiting factor for human activities and sustainable agricultural development. One of the new solutions in this field is the construction of underground dams. Underground dams compared to conventional dams that store river water in open reservoirs; block the subsurface flow of water in the cross-section of the river and store it under the riverbed. In these dams, water losses through evaporation are controlled and the possibility of environmental pollution is minimal. In the present study, the feasibility of constructing an underground dam in the seasonal Meshnaqchai River for agricultural water harvesting has been studied. After basic studies, the main location was finalized with geophysical and geotechnical studies. In the main axis of the dam, the width of the bed is 130m and the alluvial thickness in the location of the axis and the lake of the dam is 14m and 22m, respectively. The cross-sectional design of the dam is trapezoidal and consists of fine-grained materials in the dam core and a filter layer with a thickness of one meter in the dam shell. The length of the dam crown is 160.30m and its height in the center of the dam axis is 15m. By moving towards the sides of the river, the depth of the bedrock decreases, and the depth of the dam decreases accordingly. The area of the aquifer, including the 5% slope of the river, is 39,000 square meters. By calculating the depth of alluvium, the volume of the reservoir is 546,000 cubic meters and according to the total porosity of alluvial deposits (35%), it is possible to harvest 163,800 cubic meters of water of the aquifer. The purpose of this study is to assess the feasibility of constructing underground dams in coarse-grained alluvial rivers to manage floods in watersheds. By achieving this goal, the problem of the agricultural, sanitary, and drinking water supply in Meshnaq village will be solved.

Keywords: Alluvial thickness, Geoelectrical, Geotechnical, Underground dams.

* Email: a.habibzadeh@areeo.ac.ir