

سد زیرزمینی راهکاری نوین در مدیریت سیلاب با استحصال آب باران

احد حبیب زاده^۱، مسعود خیرخواه زرکش^۲، مالک رفیعی^۳

- ۱- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
email:ahad_habibzadeh@yahoo.com
- ۲- دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران
- ۳- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران



چکیده

فناوری سدهای زیرزمینی نقش موثر در ذخیره و استحصال بهینه آب به منظور تامین آب سالم، احیاء منابع طبیعی تجدید شونده، تغذیه سفره‌های زیرزمینی در مناطق خشک ایفا می‌کند. بسیاری از کشورهای در حال توسعه در مناطقی که بارندگی به صورت فصلی و غیر قابل پیش‌بینی است، واقع شده‌اند در این کشورها تهیه آب تا حد زیادی از طریق ذخیره کردن آن در فصل پر باران برای فصل‌های کم باران و در سال‌های مرطوب برای سال‌های خشک انجام می‌شود. یکی از راه‌های برطرف کردن کمبودهای فصلی آب، استفاده از فناوری سدهای زیرزمینی به عنوان سامانه‌های استحصال آب باران و مدیریت سیلاب است. سد زیرزمینی از روش‌های ذخیره آب است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، به دو صورت سدهای زیرزمینی و سدهای شنی اجرا می‌شوند. سدهای زیرزمینی در زیر سطح زمین ساخته می‌شوند، در صورتی که سدهای شنی آب را در رسوبات تجمع یافته پشت سد، ذخیره می‌کنند. در این پژوهش به امکان‌سنجی و ارزیابی سد زیرزمینی مشنق در رابطه با حجم آب استحصالی پرداخته می‌شود. مهندسی سد زیرزمینی مشنق با عرض بستر ۱۳۰ متر با متوسط عمق ۱۵ متر در محل محور و ۲۰ متر در محل دریاچه است. سطح آبیگری با احتساب شیب ۵ درصدی رودخانه ۳۹۰۰۰ مترمربع بوده با احتساب عمق آبرفت حجم مخزن ۵۸۵۰۰۰ متر مکعب می‌باشد. و با احتساب تخلخل آبرفت (۳۵٪) و آبدهی مخصوص می‌توان ۱۵۲۱۰۰ متر مکعب آب قابل استحصال را برای این سد در نظر گرفت.

کلید واژه‌ها: استحصال آب باران، سدهای زیرزمینی، سیلاب



مقدمه

هدف دهه بین‌المللی تأمین و بهداشت آب شرب، آن است که آب سالم و بهداشتی در دسترس همگان قرار گیرد. دستیابی به این هدف به سادگی میسر نیست و کارها باید چندین دهه ادامه یابد تا این هدف محقق شود. در ضمن، تجربه نشان داده است که جهت‌گیری‌ها باید از روش‌های گران و پیچیده به روش‌های مناسب، ارزان و جامعه پسند و مطابق با شرایط محلی تغییر یابد. بسیاری از کشورهای در حال توسعه در مناطقی که بارندگی به صورت فصلی و غیر قابل پیش‌بینی است، واقع شده‌اند. در این کشورها تهیه آب تا حد زیادی از

طریق ذخیره کردن آن در فصل پر باران برای فصل‌های کم باران و در سال‌های مرطوب برای سال‌های خشک انجام می‌شود. یکی از راه‌های برطرف کردن کمبودهای فصلی آب، استفاده از آب‌های زیرزمینی است. ولی در برخی نواحی در اواخر فصل خشک حتی منابع آب زیرزمینی نیز به انتها می‌رسند و یا آب زیرزمینی در دسترس نیست و برای بهره‌برداری از آن، نیاز به حفر چاه‌های عمیق و نصب پمپ می‌باشد که البته این روش مقرون به صرفه نیست. یکی از روش‌های ذخیره آب که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته، استفاده از سدهای آب زیرزمینی^۱ است.

سد کردن جریان آب زیرزمینی به منظور جلوگیری از به هدر رفتن آن، فکر تازه‌ای نیست. سدهای زیرزمینی در جزیره ساردینیا (Sardinia) در زمان رومیان ساخته شده و بناهایی در تونس نشان می‌دهد که سد کردن جریان آب زیرزمینی توسط تمدن‌های قدیمی در شمال آفریقا انجام می‌شده است. گزارشی هم از یک سد آب زیرزمینی که در قرن هجدهم در آریزونا (Arizona) ساخته شده موجود می‌باشد. به تازگی روش‌های مختلف احداث سدهای آب زیرزمینی در مقیاس کوچک، گسترش یافته و در بعضی قسمت‌های دنیا به ویژه در هند، جنوب و شرق آفریقا و برزیل به کار رفته است. در چند سال اخیر ایده استفاده از سدهای آب زیرزمینی در پروژه‌های توسعه روستایی افزایش یافته است. در این رابطه چندین پروژه تحقیقاتی پیش‌بینی شده و تعدادی از آنها در حال حاضر در آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی آغاز گردیده است. دفتر مرکزی آب زیرزمینی هند^۱ مکان‌یابی و احداث تعدادی از سدهای آب زیرزمینی در کerala (Kerala) را انجام داده و انسیتو سلطنتی تکنولوژی استکهلم در قالب یک پروژه تحقیقاتی، تناسب این طرح را با برنامه‌ریزی منطقه‌ای جنوب هند بررسی کرده است (آهنفورس ۳، ۱۹۸۰؛ دستونی و یوهانسون ۴، ۱۹۸۷؛ نیلسون ۱۹۸۷، ۵). همچنین بعدها این پروژه تحقیقاتی بطوری آزمایشی اجرا گردید که در طی آن روش‌های ساده هیدروژئولوژیکی برای بررسی اثرات سدهای آب زیرزمینی ارائه گردید. در حال حاضر استفاده از سدهای آب زیرزمینی جهت ذخیره آب تکنیک قابل قبولی در جنوب هند است، چندین سد توسط گروه‌های ایالتی جنگل و آبیاری ساخته شده است. به دلیل وجود سفره‌های آب شیرین مشرف به آب شور در اراضی مجاور دریاها، باتلاق‌ها و دریاچه‌های آب شور و نیز احتمال پیشروی و تداخل آب شور با آب شیرین که به کاهش کیفیت آن می‌انجامد مهار و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی خصوصا در نواحی ساحلی ضروری است در این راستا ساخت سدهای زیرزمینی به صورت دیوار آب بند به دلیل سادگی اجرا، ذخیره آب با کیفیت مناسب، هزینه پایین، میزان تبخیر کمتر از سطح مخزن و حساسیت پایین تر نسبت به نوسانات منطقه ای باش راهکاری برای مدیریت و توسعه منابع آب نواحی ساحلی است (خدادادی، ۱۳۸۹). با حمایت مالی و فنی کشور سوئد در طی چند سال گذشته، چندین سد در اتیوپی توسط بخش دولتی ساخته شده است (هانسون و نیلسون ۱، ۱۹۸۶). یونسکو احداث چندین سد در آفریقا را مورد حمایت قرار داده است و یک پروژه تحقیقاتی توسط دانشگاه علوم و تکنولوژی لاندن ۲ کشور سوئد با مساعدت مسئولین کشور زیمباوه آغاز به کار نموده است (یونسکو، ۱۹۸۴؛ بچلم و همکاران ۳، ۱۹۸۶). همچنین تعدادی از سدهای شنی در نامیبیا توسط پروفیسور ویپلینگر ۴ و دیگران مطالعه و ارائه گردیده‌اند (ویپلینگر، ۱۹۵۸، ۱۹۶۱، ۱۹۶۵ و ۱۹۸۲؛ آبروک ۵، ۱۹۷۱؛ بیومونت و کلاگر ۶، ۱۹۷۳؛

¹ Groundwater dam

استنگل ۷، ۱۹۶۸). در این رابطه انستیتوی تکنولوژی سائوپولو ۸ مطالعات جامع و کاربردی در برزبل انجام داده است (آی پی تی ۹، ۱۹۸۱ و ۱۹۸۲؛ الیویرا و لیف ۱۰، ۱۹۸۴).

این نوع سدها در کشورهای مثل ایران که سطح آب زیرزمینی نوسان زیادی در فصل خشک و مرطوب دارد مفید خواهد بود (حسینی، ۱۳۹۲). سابقه ساخت سدهای زیر زمینی در ایران در عصر حاضر به سال ۱۳۷۰ میرسد که در کهنوج کرمان به منظور تامین آب شرب شهرکی توسط وزارت جهادسازندگی وقت انجام شد این سد که با عرض ۴۰ متر و ارتفاع ۱۲ متر در شیب ۴٪ با هسته رسی ساخته شد که حجم ذخیره آن حدود ۱۰۰۰ مترمکعب بود. دیرکل دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری با اشاره به انجام مطالعات لازم از سوی این سازمان به منظور احداث سدهای زیرزمینی تصریح کرد: در مطالعات اولیه انجام شده از سوی کارشناسان دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری، بیش از ۳۰۰ نقطه از کشور، ظرفیت احداث سدهای زیرزمینی را دارند.



مواد و روشها

- تعاریف

در مقایسه با سدهای معمولی که در عرض رودخانه یا نهر به منظور ذخیره آب ساخته می شوند و آب سطحی را در مخازن بالادست سد جمع آوری می کنند، سد آب زیرزمینی، جریان زیرزمینی را مسدود می کند و آب را در زیر سطح زمین ذخیره می نماید. همچنین به عنوان سازه جمع کننده ای که جریان آب زیرزمینی را منحرف می نماید به کار می رود. به عنوان مثال می تواند سفره های مجاور را تغذیه کند و یا سطح ایستابی را در یک سفره با جریان کم طوری بالا ببرد که به سهولت به وسیله عملیات پمپاژ قابل بهره برداری باشد. سدهای آب زیرزمینی به دو صورت سدهای زیرزمینی ۲ و سدهای شنی ۳ اجرا می شوند.

سدهای زیرزمینی در زیر سطح زمین ساخته می شوند و جریان داخل سفره را مسدود می نمایند، در صورتی که سدهای شنی آب را در رسوبات تجمع یافته پشت سد، ذخیره می کنند. در شکل (۱) اصول کلی اجرای سدهای زیرزمینی نشان داده شده است. در این شکل دیده می شود که آب دهکده ای توسط یک چاه کم عمق از یک سفره متشکل از رسوبات آبرفتی نفوذپذیر در دره ای کوچک، تأمین می گردد. اقلیم منطقه موسمی می باشد و قبل از اجرای سد زیرزمینی، به دلیل مصرف و تخلیه طبیعی جریان آب زیرزمینی، این چاه خشک می گردید. برای رفع این مشکل، ترانشه ای در سرتاسر عرض دره تا عمق برخورد با سنگ بستر حفر گردید و یک دیواره نفوذناپذیر در داخل ترانشه ساخته شد و اطراف آن با استفاده از مصالح حفر شده پر گردید. مخزن ایجاد شده در پشت دیواره طی دوره بارندگی تغذیه شد و از آب ذخیره شده در کم آبی بهره برداری گردید. همچنین مازاد آب زیرزمینی می تواند از بالای تاج سد، سرریز شده و آبخوان های پایین دست نهر را تغذیه نماید.

² sub-surface dam
³ sand-storage dam



شکل (۱) 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 دوره خشکی کافی نبوده است. با احداث دیواره‌ای با ارتفاع مناسب در عرض بستر آبراهه، رسوبات حمل شده از طریق جریان‌های فصلی در پشت دیواره ته‌نشین شده و مخزن توسط این رسوبات پر می‌گردد. این سفره مصنوعی هر ساله در طول بارندگی‌ها پر شده و جهت بهره‌برداری در فصل خشک ذخیره می‌گردد.



شکل (۲) نمای کلی سد شنی

اغلب در این روش به علت امکان استخراج ثقیل آب مخزن با استفاده از لوله‌ای در دیواره 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 سد زیرزمینی در بستر رودخانه می‌توان با مرتفع ساختن دیواره سد تا بالای سطح زمین که منجر به تجمع رسوبات بیشتری می‌گردد، حجم ذخیره آب را افزایش داد. برای احداث سد شنی نیز به منظور رسیدن به سنگ بستر (لایه غیر قابل نفوذ) نیاز به حفر ترانشه در بستر می‌باشد. استفاده از سدهای آب زیرزمینی نسبت به روش‌های متداول ذخیره 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 ذخیره آب برای مدت طولانی در دسترس می‌باشد، در حالی که حجم ذخیره مفید مخازن

سطحی به دلیل رشد گیاهان و ته نشینی رسوبات کاهش می یابد و همچنین بطور مرتب در معرض تبخیر یا خرابی ناشی از طغیان های شدید می باشد. در روش مورد نظر آب ذخیره شده کمتر آلوده می شود و مخاطرات سلامتی از قبیل تخم گذاری پشه مالاریا و شیوع تب حلزون که در مخازن سطحی وجود دارد، منتفی می باشد. وقتی از مخازن ذخیره سطحی استفاده می گردد، قسمتی از زمین توسط مخازن اشغال می شود، در صورتی که زمین بالادست مخازن سد آب زیرزمینی را می توان جهت اهداف دیگری نیز به کار برد.

شرایط آب و هوایی و فیزیوگرافی حوزه

منطقه مطالعاتی در استان آذربایجان شرقی، شهرستان شبستر در شمال شرق دریاچه ارومیه در مختصات جغرافیایی عرض شمالی $38^{\circ}13'31''$ تا $38^{\circ}17'41''$ و طول شرقی $45^{\circ}33'25''$ تا $45^{\circ}36'29''$ واقع گردیده است. این منطقه به نام حوزه آبخیز مشنق در کنار روستای مشنق، در زیر حوزه دریا چای قرار دارد (شکل ۳). بارش متوسط منطقه ۲۸۸ میلی متر، متوسط دمای کل حوزه $4/62$ درجه سانتی گراد است. مجموع تبخیر و تعرق سالانه حدود $131/6$ میلی متر در سال می باشد که بین حداکثر $230/4$ میلی متر در ماههای تابستان و حداقل ۴ میلی متر در سال در ماههای زمستان در نوسان است. بر اساس طبقه بندی اقلیمی روش آمبرژه اقلیم حوزه نیمه خشک سرد تا خشک سرد تعیین شده است. حداکثر ارتفاع حوزه ۲۷۵۰ متر و حداقل آن ۱۷۶۰ متر می باشد. طول آبراهه اصلی در محل بازه $5/88$ کیلومتر و شیب آن ۵ درصد است. در جدول ۱ مشخصات فیزیوگرافی حوزه آمده است.

جدول ۱ مشخصات فیزیوگرافی حوزه

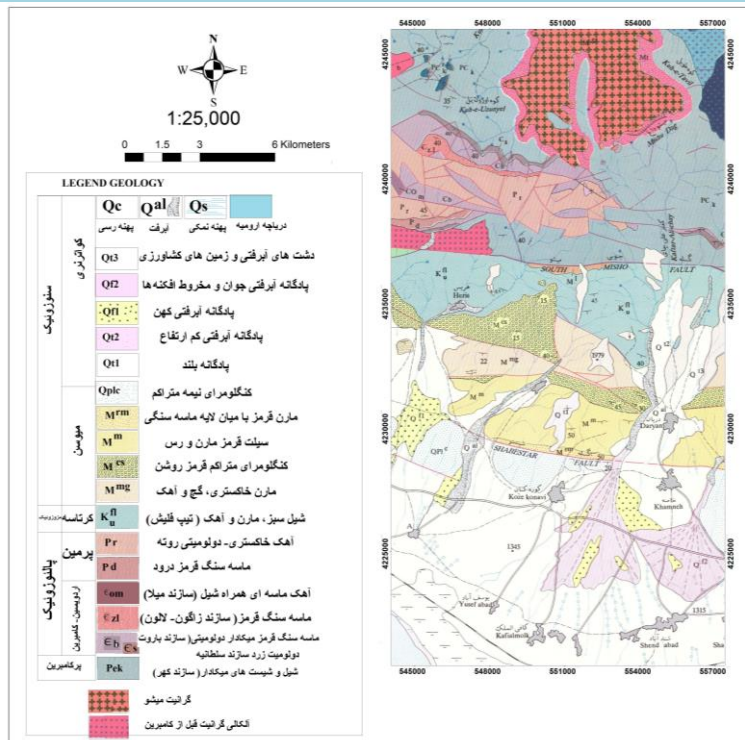
شیب در محل بازه	تراکم آبراهه (کیلو متر در کیلومتر مربع)	طول شبکه آبراهه ها (کیلو متر)	طول ابراهه اصلی (کیلو متر)	حداقل ارتفاع (متر)	حداکثر ارتفاع (متر)	نسبت کسیدگی	نسبت دایره ای	طول حوزه (کیلومتر)	ضریب شکل هور تون	ضریب گراولیتوس	محیط (کیلومتر)	مساحت (کیلومتر مربع)	زمان تمرکز کرینچ (دقیقه)
۵	۸/۳۹	۵۵	۷۳	۱۷۶۰	۲۷۵۰	۰/۶۱	۰/۵۳	۵/۴۳	۰/۲۹	۱/۳۷	۱۴/۳	۸/۶۵	۴۰



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی منطقه

زمین شناسی منطقه مطالعاتی

سرزمین مورد بررسی در دامنه جنوبی رشته کوه‌های میشو که بصورت یک رشته کوه شرقی- غربی هورست ماندنی است و توسط دو گسل در دو سوی آن کنترل می‌گردد واقع شده است. کهن‌ترین نهشته‌های قابل دیدن در این محدوده وابسته به پرکامبرین و سازند کهر با لیتولوژی ماسه و شیل‌های میکادار و به مقداری کم دولومیت به رنگ سبز تیره تا سبز خاکستری است. سنگ‌های وابسته به پالئوزوئیک با برونزدگی سنگ‌های رسوبی- آهکی و دولومیتی وابسته به پرمین و سازند روتنه با لیتولوژی آهک‌های تیره، آهک و دولومیت‌های خاکستری روشن تا تیره است. بیشترین ستبرای آن به ۲۵۰ متر می‌رسد، و بصورت دگر شیب و با مرز گسلی با رسوبات زیرین خود (سازند کهر) قرار گرفته است. از نهشته‌های دوران مزوزوئیک در منطقه مطالعاتی 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 به رنگ زرد تیره و روشن با میان لایه‌هایی از آهک و آهک ماسه‌ای است. نهشته‌های دوران سوم بیشتر رسوبات مارنی، آهکی، کنگلومرا و ماسه سنگی بوده که گسترش زیادی در حوزه داشته و در نهایت رسوبات آبرفتی را در زمان کواترنر تشکیل داده‌اند که می‌توان به عمده واحدهای زیر اشاره نمود شکل ۴ نقشه زمین شناسی حوزه آبخیز را نشان می‌دهد.



شکل ۴ - نقشه زمین شناسی حوزه آبخیز

۵ - بررسی های زمین شناسی تحت الارضی بستر رودخانه

بررسی های زمین شناسی مهندسی اولیه در حوزه آبخیز مشنق چای نشان می دهد، که اغلب ته نشست حوزه از رسوبات رسی و مارنی بوده که بصورت تناوبی با لایه های آهکی قرار دارند این خصوصیت باعث شده که فرسایش پذیری حوزه بالا رفته و در اثر تخریب لایه های سنگی بستر رودخانه از آبرفت درشت دانه تشکیل یابد. بر اساس تقسیم بندی ونتورث رسوبات بستر رودخانه ای در اندازه های شن، قله سنگ و قطعه سنگ هستند و نمونه برداری تا عمق ۴ متری در بستر نشان دهنده میزان ۱۰ درصدی ذرات در حد سیلت و رس است. از نظر تقسیم بندی یونیفاید، رسوبات بستر در محدوده خاک های درشت دانه و با نام Gp است که محدوده شن تمیز با دانه بندی بد را تشکیل می دهند. از نظر ویژگی های مهندسی رسوبات آبرفتی رودخانه دارای نفوذ پذیری زیاد و درصد تخلخل بالای ۳۰٪ می باشند.

جهت مکانیابی و تعیین محل مناسب محور سد مطالعات زمین شناسی مهندسی در موقعیت های D1, D2, D3 صورت پذیرفت. ابتدا حفر دو حلقه چاهک اکتشافی در موقعیت D1, D2 و مطالعات ژئوفیزیک به اجرا درآمد که در هر دو منطقه علاوه پارامترهای مناسب جهت احداث سد از قبیل تکیه گاه مناسب، عرض بستر کم و وجود لایه های غیر قابل نفوذ در طرفین آبراهه (سازند مارنی میوسن) به علت ضخامت کم آبرفت که در موقعیت D1، ۵ متر و در موقعیت D2، ۷ متر و برآورد حجم مخزن کم به بررسی موقعیت D3 پرداخته شد در این راستا تعداد ۴۰ سونداژ ژئوفیزیکی، حفاری ۷ حلقه چاه پیژومتری به مورد اجرا گذاشته شد. جدول ۲ مشخصات این موقعیت ها را نشان می دهد. بررسی لوگ چاه های حفاری و مطالعات ژئوفیزیکی نشان داد که واحدمارنی و شیلی به رنگ سبز خاکستری (Mmg)، با میان لایه های ماسه سنگی و ماسه آهکی گچ و نمک دار

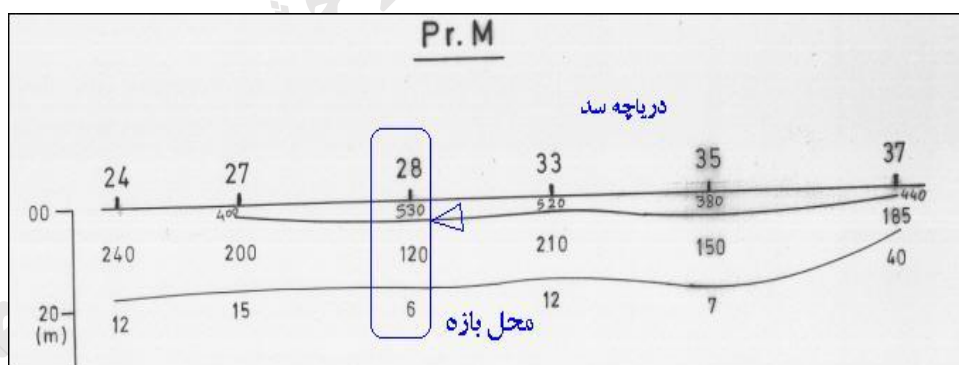
که در منطقه برونزد قابل ملاحظه‌ای دارد سنگ کف محل احداث سد زیرزمینی را تشکیل می‌دهد. اطلاعات مربوط به لوگ چاه حفاری شده در محل محور سد واقع در ناحیه میانی رودخانه و چاه حفاری شده در محل دریاچه سد نشان می‌دهد، که سنگ بستر در عمق ۱۳/۲ متری واقع بوده و سنگ شناسی آن از جنس مارن است. نتایج دانه بندی خاک در عمق های مختلف نشان داد که بستر رودخانه تا عمق ۱۱ متری دارای ماسه و گراول به همراه سیلت بوده و رس کمتری را دارا میباشد. همچنین نتایج آزمایشات لوفران نشان می‌دهد که در عمق ۷ متری در محل دریاچه سد مقدار نفوذ افقی در حدود ۳۰۰ لیتر می‌رسد.

* * *

نتایج و بحث

بررسی های ژئوفیزیکی

در راستای مطالعات زیرسطحی اقدام به مطالعات ژئوالکتریک با ۳۶ سونداژ الکتریکی در دو سایت D1 و D2 اولویت دار از نظر هیدرولوژی و زمین شناسی گردید. بررسی نقشه مقاومت ویژه الکتریکی AB=20 نشان داد که مقاومت ظاهری برای بیشتر نواحی مورد مطالعه بیشتر از ۱۰۰ اهم متر و حتی بیشتر از ۲۰۰ اهم متر 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 می‌دهد که مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری در اعماق از مقادیر نسبتاً کمی برخوردار است. و به ندرت به ۲۰ اهم متر می‌رسد. این امر ناشی از وجود نهشته‌های مارنی با مقاومت ویژه الکتریکی کم در اعماق می‌باشد. نقشه‌های هم مقاومت و مقاطع ژئوالکتریک بدست آمده از موقعیت D1 عمق کم آبرفت در حدود ۴ تا ۵ متر را نشان داد. بررسی موقعیت D2 با ۱۴ تا ۱۵ متر تعیین گردید (شکل ۲). بررسی های مقاطع ژئوالکتریک نشان داد که در محل دریاچه سد عمق بالای ۲۰ متر وجود دارد و احتمالاً یک بالا آمدگی در سنگ کف مارنی در محل بازه بوجود آمده است (شکل ۵).



شکل ۵- مقطع ژئوالکتریک محل بازه و دریاچه سد زیرزمینی مشنق

مطالعات ژئوتکنیکی سد زیرزمینی مشنق

با توجه به اهمیت خصوصیات هیدرودینامیکی ته نشست‌های رودخانه در محل احداث بازه سد و دستیابی به داده‌های زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک اقدام به حفر ۸ حلقه چاهک پیرومتریکی به عمق

حدود ۹۵ متر که در جدول ۳۰ به تفکیک عمق هر یک آمده است آزمایشات مختلف از قبیل آزمایش لوفران و دانسیته به همراه نمونه برداری های آبرفت جهت مکانیک خاک و دانه بندی انجام گردید (شکل ۶).



شکل ۶- حفاری چاه های ژئوتکنیکی در محور سد

الف) بررسی های زمین شناسی تحت الارضی بستر رودخانه

جهت مکانیابی و تعیین محل مناسب محور سد مطالعات زمین شناسی مهندسی و بررسی ضخامت آبرفت صورت پذیرفت، از دیدگاه زمین شناسی مهندسی در مکانیابی سد زیرزمینی مناسب ترین گزینه ضخامت آبرفت ۱۰-۱۵ متر است. همچنین آبرفت باید دارای ضریب ذخیره مناسب و آبدهی خوب باشد که با این اهداف و با در نظر گرفتن ایجاد مخزن مناسب از دیدگاه توجیه اقتصادی و اجتماعی، موقعیت های D1, D2, D3 به عنوان محور در نظر گرفته شد ابتدا حفر دو حلقه چاهک اکتشافی در موقعیت D1, D2 و مطالعات ژئوفیزیک به اجرا درآمد که در هر دو منطقه علاوه بر همه پارامترهای مناسب جهت احداث سد از دیدگاه زمین شناسی مهندسی به علت ضخامت کم آبرفت که در موقعیت D1، ۵ متر و در موقعیت D2، ۷ متر با برآورد حجم کم مخزن به بررسی موقعیت D3 پرداخته شد در این راستا تعداد ۳۶ سونداژ ژئوفیزیکی، حفاری ۷ حلقه چاه پیژومتری که به مورد اجرا گذاشته شد. جدول ۲ مشخصات این موقعیت ها را نشان می دهد. بررسی لوگ چاه های حفاری و مطالعات ژئوفیزیکی نشان داد که واحد مارنی و شیلی به رنگ سبز خاکستری (Mmg)، با میان لایه های ماسه سنگی و ماسه آهکی گچ و نمک دار که در منطقه بروزند قابل ملاحظه ای دارد سنگ کف محل احداث سد زیرزمینی را تشکیل می دهد،

جدول ۲ - مشخصات مقاطع مورد نظر جهت احداث بازه

موقعیت	عرض بستر	مصلح بستر	ضخامت آبرفت	سازند تکیه گاه	شیب بستر	حجم مخزن m ³	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

(ب) نتایج آزمایشات لوفران

جهت بدست آوردن نفوذپذیری در عمق آبرفت بستر رودخانه اقدام به انجام آزمایش لوفران در چاه های واقع در محور (BH1)، دریاچه سد (BH5) و پایین محور (BH2) در عمق های مختلف انجام گردید نتایج نشان می دهد آبرفت منطقه از نفوذپذیری بالا برخوردار بوده و به خصوص در اعماق ۱ تا ۸ متری میزان رس و سیلت به مراتب پایین است. نتایج آزمایشات لوفران نشان می دهد که در عمق ۷ متری در محل دریاچه سد مقدار نفوذ افقی به حدود ۳۰۰ لیتر می رسد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج آزمایشات لوفران و ضریب نفوذپذیری چاه های ژئوتکنیکی

ردیف	نام چاه	عمق	K cm/s
۱	BH ۱	۳-۴	۰/۰۰۹۳
۲	BH ۱	۴-۵	۰/۰۰۰۲۴
۳	BH ۱	۱۰-۱۱	۰/۰۰۱۴
۴	BH ۲	۴-۵	۰/۰۰۱۲
۵	BH ۵	۳-۴	۰/۰۰۳۴
۶	BH ۵	۷-۸	۰/۰۰۱۲

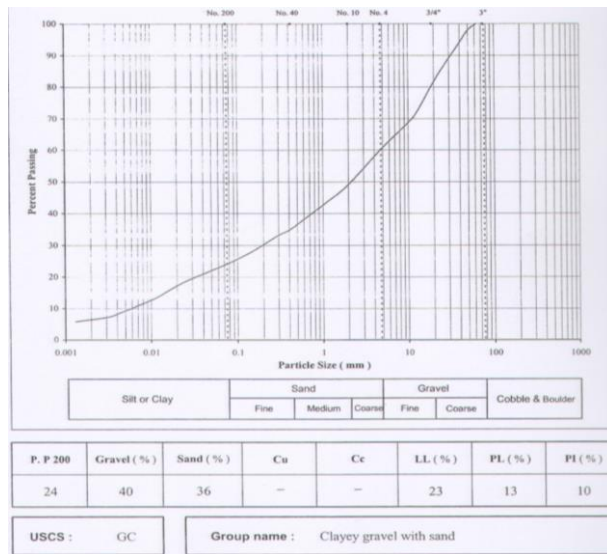
Lefranc Permeability Test													
Boring No. : BH 1						Test No. : 2							
Depth (m) : 4.0						about 5.0							
Test Method		Cons.		Falling		Rising		Diameter of Casing (mm) : 112.0				Diameter of Borehole (mm) : 93.0	
Horizontal		*						Test Section (L, m) : 1.0				Casing above ground (m) : 0.35	
Vertical								G.W.L. (m) : -				Description :	
Constant Head				Falling Head				Rising Head					
W.L. prior to Saturation		Discharge on Fixed W.L.		Falling W.L.		Discharge on Pumping		Falling W.L.		Rising W.L.			
Min.	Reading	Reading	Differ	Min.	Reading	Min.	Reading	Differ	Reading	Min.	Reading		
0	0												
5	765												
0		765											
5		788	23										
10		805	17										
15		822	17										
20		837	15										
30		852	15										
40		865	13										
K (falling or rising) = cm / Sec.													
K (Constant) = 2.4E-04 cm / Sec.													

شکل ۶- آزمایش لوفران در عمق ۴-۵ متری چاه BH1

(ج) نتایج آزمایشات دانه بندی و هیدرومتری

جهت بررسی دانه بندی رسوبات بستر نمونه برداری از بستر رودخانه و چاه های ژئوتکنیکی حفاری انجام شد آنالیز نتایج نشان داد، رسوبات بستر رودخانه ای بر اساس تقسیم بندی ونتورث در اندازه های شن ، قلوه سنگ و قطعه سنگ است نمونه برداری تا عمق ۴ متری در بستر نشان دهنده میزان ۱۰ درصدی ذرات در

حد سیلت و رس است. از نظر تقسیم بندی یونیفاید، رسوبات بستر در محدوده خاک های درشت دانه و با نام Gp است که محدوده شن تمیز با دانه بندی بد را تشکیل می دهند. از نظر مهندسی رسوبات آبرفتی رودخانه دارای نفوذ پذیری زیاد و درصد تخلخل بالای ۳۰٪ هستند. آزمایشات دانه بندی نمونه های برداشت شده از چاه های حفاری شده در محل بازه نشان داد که تا عمق ۱۱ متری زمین بیش از ۵۰ درصد رسوبات از شن و ماسه تشکیل یافته است و بر اساس روش ASTM این رسوبات اکثراً در محدوده GC و GM می باشد



شکل ۷ - منحنی دانه بندی و حدود آتربریگ در محور سد

د) نتایج آزمایشات حدود آتربریگ

جهت بدست آوردن شاخص پلاستیسیته و چسبندگی آبرفت اقدام به تعیین حد روانی در اعماق مختلف چاه های واقع در محور (BH1 و BH3 و BH7) ، چاه واقع در محل دریاچه (BH5) و همچنین چاه حاشیه شرقی رودخانه (BH4) و تعیین حدود آتربریگ گردید که نتایج در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴ - شاخص های پلاستیسیته و چسبندگی

PI %	PL %	LL %	عمق m	نام چاه
۱۷	۱۸	۳۵	۱-۲	BH1
۱۰	۱۳	۲۳	۶-۷	
۲۴	۲۲	۴۶	۹-۱۱	
۱۱	۱۲	۲۳	۳-۴	BH3
۲۰	۱۷	۳۷	۱-۲	BH4
۸	۱۴	۲۲	۳-۴	BH5
۱۳	۱۴	۲۷	۱۴-۱۶	
۱۴	۱۳	۲۷	۱۸-۱۹	
۱۳	۱۳	۲۶	۹-۱۰	BH7

۶ - نتیجه گیری:

بررسی و مطالعات نشان داد موقعیت مورد مطالعه به لحاظ شرایط ذیل مناسب احداث سد زیرزمینی است.

- عمق مناسب آبرفت (در محور ۱۴ متر و درمخزن ۲۰ متر)
- دانه بندی مناسب آبرفت و نفوذپذیری خوب (بیشتر از ۷۰ لیتر بر اساس آزمایش لوفران گزارش شده است)
- حجم قابل توجه مخزن
- برآورد اولیه قابل توجه آبدهی (۵۰ لیتر در ثانیه)
- اثرات اقتصادی و اجتماعی بالا بر توسعه باغات و تامین آب شرب و بهداشتی اهالی

منابع:

- ۱ . امینی زاده، م. ۱۳۸۴. سد خاکی زیرزمینی کهنوج الگویی مناسب جهت کاهش اثرات خشکسالی
- ۲ . حسینی، ع، حسنی، ح، شیرخانی، ح. ۱۳۹۲. روش های احداث سدهای زیرزمینی، اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار، ۸ اسفند، تهران
- ۳ . خدادادی، س، خیرخواه، م. ۱۳۸۹. ساخت سدهای زیرزمینی در نواحی ساحلی راهکاری در مدیریت منابع آب، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی
- ۴ . سعادت، م (۱۳۸۱) تعیین شاخص های مکانیابی جهت ایجاد سد زیرزمینی و شبیه سازی مدل ریاضی جریان پایان نامه کارشناسی ارشد
- ۵ . مطالعات ژئوالکتریک ساختگاه سد زیرزمینی مشنق. ۱۳۸۷. دانشگاه تبریز
- ۶ . مطالعات ژئوتکنیک احداث سد زیرزمینی مشنق. ۱۳۸۸ مهندسين مشاور موج آب سنگ

7. George M. kifua, (1992), Ground water dams' prospects for rural water supply, Giona conference IRCSA