

سد زیرزمینی روشی مناسب در تامین آب برای نواحی کوهستانی فاقد منابع آبی پایدار

علیرضا مجیدی*

*۱- هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور

(majidi.geo@gmail.com, majidi_geo@yahoo.com,)

چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک آب از یک طرف مهمترین عامل محدود کننده توسعه پایدار بوده، و از سوی دیگر سیلاب‌های فصلی عامل مهم تخریب و ایجاد خسارت می‌باشد. در این مناطق که ریزش‌های جوی ضمن ناچیز بودن، دارای پراکنش نامناسب نیز می‌باشند، حجم قابل توجهی از روان آب تولیدی به صورت تندآب‌ها و جریان‌های سیلابی ویا در اثر نفوذ و به صورت زیر قشری از دسترس خارج می‌گردد. در چنین شرایطی استفاده از سیستم‌های استحصال ذخیره سیلاب و بهره‌برداری از سیلاب‌ها و توسعه منابع آبی کوچک با استفاده از تکنیک سد زیرزمینی نقش اساسی در حل مسائل کم آبی و مدیریت منابع آب به ویژه در سطح حوضه ایفاد می‌کند. این سدها در مسیر جریان زیرزمینی با کاهش سرعت و یا ممانعت از حرکت طبیعی آب، در بستر متخلخل، ذخیره خوبی را فراهم مینماید. این نوع سدها در کشورهایی مانند ایران که سطح آب زیرزمینی نوسان زیادی را در فصول خشک و مرطوب نشان میدهد، و یا پتانسیل آب زیرقشری در فصول خشک ضعیف می‌باشد، روشی مناسب و مفید جهت تصفیه و ذخیره آب و توسعه منابع آبی کوچک و مدیریت ریسک خشکسالی در حوزه محسوب می‌شود. یکی از راه‌حل‌هایی که برای تأمین آب (معمولاً در مقیاس کوچک) مناطق خشک که دسترسی به منابع معمول نظیر چاه و رودخانه دائمی ندارند پیشنهاد شده است استفاده از جریان‌های زیرسطحی در بستر خشکه‌رودها می‌باشد که بوسیله یک دیوار آب‌بند (سد زیرزمینی) مهار شده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. برای این‌کار باید دیوار آب‌بند را در امتداد دهانه خروجی آبراهه و تا عمق سنگ بستر غیر قابل نفوذ ادامه داده که در این‌صورت جریان هرچند ضعیف زیر قشری پس از برخورد به آن متوقف شده و شروع به تجمع در پشت سد می‌نماید. چنانچه شیب سنگ بستر و زمین طبیعی بالادست محل خروجی (محور سد) مناسب باشد، آب قابل توجهی در داخل خلل و فرج آبرفت موجود در بستر خشکه‌رود ذخیره می‌شود که به راحتی بوسیله چاه (به کمک پمپاژ) و یا لوله (به روش ثقلی) قابل برداشت خواهد بود. با این‌کار علاوه بر مهار بخشی از آب باران که به زمین نفوذ می‌کند، آب‌هایی که به طور دائم توسط قنوات بالادست از سفره تخلیه می‌شوند و در فصولی از سال بدون استفاده مفید مجدداً به زمین فرو رفته و از دسترس خارج می‌شود را می‌توان در مخزن سد زیرزمینی مهار کرد در این مقاله پس از مطالعات میدانی و ژئوالکتریک منطقه و مکان یابی بهترین گزینه برای احداث سد و تعیین نحوه اجرا، با استفاده از نرم افزار، مدل بهینه مصرف از سد مورد نظر نیز ارائه شده است. در این پژوهش با مد نظر قرار دادن پارامترها، خصوصیات و عوارض مناسب برای احداث سد زیرزمینی مکانیابی این سازه انجام پذیرفت. برای مکانیابی فوق از مطالعات کتابخانه‌ای، پیمایش و برداشتهای میدانی، حفر گمانه و داده‌برداری ژئوالکتریک (مطالعات تحت‌الارضی)، نمونه‌برداری و انجام آزمایشهای مورد نیاز و نقشه‌برداری از یک سو و بدست آوردن برخی پارامترها و خصوصیات توسط شاخصهای سنجش از دور (RS) و در نهایت تلفیق در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید.

واژه‌های کلیدی: مدیریت منابع آب؛ سد زیرزمینی؛ حوزه‌های آبخیز؛ توسعه منابع آبی کوچک؛ ژئوالکتریک.

مقدمه

بسیاری از کشورهای در حال توسعه در مناطقی با بارندگی فصلی و غیر قابل پیش بینی و با پراکنش زمانی نامناسب بارشی واقع شده اند. در این کشورها تهیه آب تا حد زیادی از طریق ذخیره کردن آن در فصول پر باران برای فصلهای کم باران و در سالهای مرطوب برای سالهای خشک انجام میشود. در اینگونه نواحی ریسک خشکسالی و صدمات آن بسیار محتمل می‌باشد. یکی از راههای برطرف کردن کمبودها، 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 بسیار ضعیف و غیر قابل برداشت می‌باشد. در اینگونه مناطق و موارد استفاده از سدهای زیرزمینی به منظور نگهداری از منابع آب زیرزمینی و در دسترس قرار گرفتن آب در تمام فصول و با ایجاد مخزنی دینامیکی به همراه مدیریت آن مطابق با متوسط دبی ورودی، راه حلی می‌تواند بعنوان راهکاری مناسب مورد استفاده قرار گیرد. سد زیرزمینی مورد بحث در این مقاله جهت حفظ منابع آبی در یک منطقه نیمه کویری و نیمه خشک و همچنین جلوگیری از هرز رفتن آب به صورت شورابه و ایجاد سفره محلی در راستای تامین آب در نواحی کوهستانی فاقد منابع آبی پایدار و مدیریت ریسک خشکسالی در حوزه مورد نظر طراحی و ساخته شده است. با استفاده از مطالعات ژئوالکتریک و زمین‌شناسی و مطالعات محلی، محل مخزن و عمق مخزن برآورد شده، سپس با اندازه گیریهای میدانی و مطالعات تکمیلی پس از انتخاب محل دقیق احداث سد و برآورد حجم ذخیره و مصالح موجود، نوع سد زیرزمینی و نحوه اجرا تعیین شد. همچنین با استفاده از نرم افزار MODFLOW رفتار هیدرولیکی مخزن مورد بررسی قرار گرفت و مدل مناسبی جهت استفاده از این مخزن ارائه گردید.

هاشمی (۱۳۸۱) مکان یابی جهت احداث بند زیرزمینی در حوضه آبریز حاج علیقلی واقع در استان سمنان را مورد بررسی قرار داده است. پارامترهای مساحت حوضه، فرسایش پذیری حوضه، میران رواناب، شیب حوضه، عرض مقطع، ضخامت آبرفت و بافت رسوبات از طریق بررسی نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، بررسی‌های بصری تصاویر ماهواره ای و بررسی‌های صحرایی تعیین و نهایتاً با توجه به پارامترهای فوق مکانهای پیشنهادی را اولویت بندی نموده است. در این تحقیق ضخامت و دانه بندی آبرفت از جمله پارامترهای اساسی در آب زیرزمینی برای مکانیابی بند زیرزمینی بوده است (۶).

فوستر و همکاران (۲۰۰۲) در گزارش ارزیابی سدهای زیرزمینی احداث شده در برزیل نشان داد که عوامل حجم مخزن، عمق سنگ بستر نسبت به سطح زمین، نفوذپذیری خاک مخزن و کیفیت شیمیایی آب مخزن و کیفیت شیمیایی خاک نقش موثری در موفقیت سدهای زیرزمینی دارند (۷). وانرومپی (۲۰۰۳) در گزارش ارزیابی پنج بند زیرزمینی در بلژیک نتیجه‌گیری کرد که سدهای زیرزمینی دارای مزایای از جمله افزایش ظرفیت چاههای موجود، سادگی و هزینه کم اجرایی، قابلیت تکرار و سهولت بهره‌برداری توسط اهالی محل و خطر آلودگی پایین می‌باشد (۸). جلالی (۱۳۸۳) طی تحقیقات خود در استان تهران نشان داد که داده‌های سنجش از دور در تعیین بافت خاک قابل استفاده بوده و می‌توان به کمک این تکنیک تغییرات بافت خاک و نوع آن را در نواحی که با نهشته‌های کواترن پوشیده‌اند را تشخیص داد (۲). امینی و همکاران (۱۳۸۹)، با حفر و لوله گذاری ۲ گمانه پیژومتری در بالادست و ۲ گمانه پیژومتری در پایین دست سد زیرزمینی راور کرمان، اقدام به اندازه گیری سطح ایستابی در پایین و بالادست سد نمودند و نتیجه تحلیل آنها، اجرای خوب و تاثیر مثبت احداث سد بر روی جریانات زیرسطحی را نشان داد (۱).

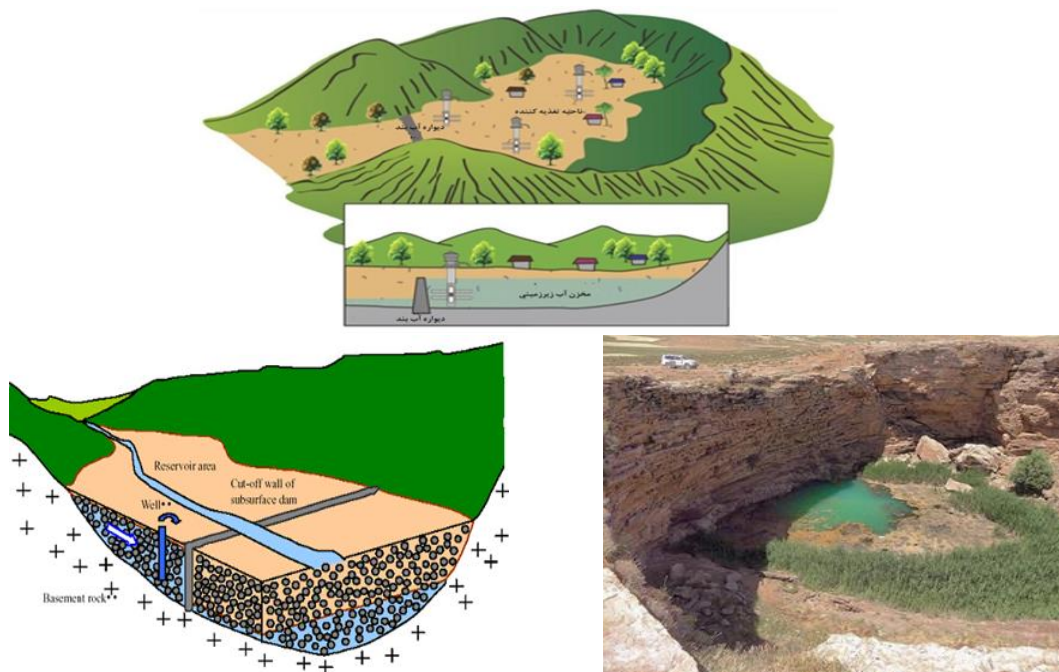
مواد و روش‌ها

این پژوهش در راستای استفاده از فن‌آوری سد زیرزمینی به منظور ایجاد مخزن در مسیر آبهای زیرقشری ضعیف و تامین آب و یا توسعه منابع آبی کوچک در سطح حوزه‌های کوهستانی با پتانسیل منابع آبی کم انجام پذیرفته است. در این پژوهش با مد نظر قرار دادن پارامترها، خصوصیات و عوارض مناسب برای احداث سد زیرزمینی مکانیابی این سازه انجام پذیرفت. برای مکانیابی فوق از مطالعات کتابخانه‌ای، پیمایش و برداشتهای میدانی، حفر گمانه و داده‌برداری ژئوالکتریک (مطالعات تحت‌الارضی)، نمونه‌برداری و انجام آزمایشهای مورد نیاز و نقشه‌برداری از یک سو و بدست آوردن برخی پارامترها و خصوصیات توسط شاخصهای سنجش از دور (RS) و در نهایت تلفیق در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید.

- سد زیرزمینی

سد زیرزمینی یک روش ساده و کاربردی برای جمع آوری و ذخیره سازی آب در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. این بندها در بستر رودخانه‌ها و ترجیحا خشکه رودها ساخته می‌شوند و معمولا تا سنگ بستر نفوذ ناپذیر ادامه می‌یابند (۵). بند زیرزمینی در حقیقت مانعی سازه‌ای یا هیدرولیکی در برابر جریان آب زیرسطحی در زیرزمین و در یک محیط متخلخل است. بند زیرزمینی در مقایسه با سدهای معمولی که در عرض رودخانه یا نهرها به منظور ذخیره آب سطحی ساخته می‌شوند و آب سطحی را در مخازن بالادست سد جمع‌آوری می‌کنند، جریان زیرزمینی را مسدود، منحرف و یا محدود می‌کند و آب را در زیر سطح زمین در محیط متخلخل ذخیره و یا منحرف و یا جریان را کند می‌نماید. در نتیجه در مقایسه با سدهای آب سطحی نه تنها زمینی غرقاب نمی‌شود و هدر رفت آب در اثر تبخیر بوجود نمی‌آید، بلکه اثرات زیست محیطی آن بسیار کم و مبحث بهره‌برداری و نگهداری آن بسیار سهل و کم هزینه و مشکلات رسوب در آن تقریبا وجود نداشته و قابل ترویج و اجرا و بهره‌برداری توسط تشکله‌ها و تعاونی‌های مردمی می‌باشد.

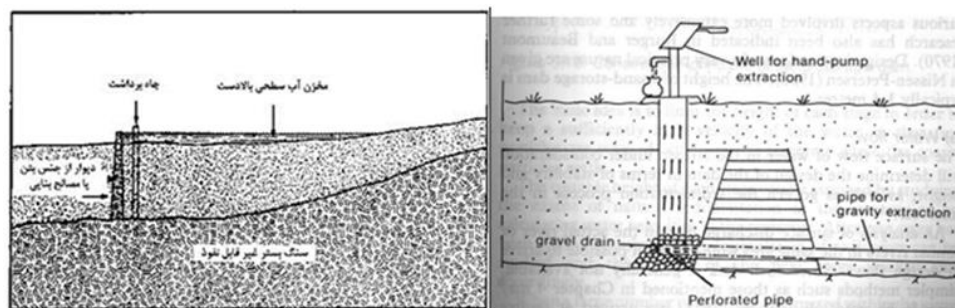
بند زیرزمینی برای مقاصد چند منظوره از جمله توسعه و تقویت منابع آبی، مدیریت و محافظت از منابع آب استفاده می‌گردد. بند زیرزمینی با مانعی که ایجاد می‌نماید می‌تواند سطح ایستابی در یک سفره با جریان محدود را طوری ذخیره نموده و بالا ببرد که به یک مخزن یا سفره با حجم قابل ملاحظه آب تبدیل و به راحتی با پمپ یا بصورت ثقلی و کنترل شده قابل بهره‌برداری نماید (۵). بندهای زیرزمینی می‌توانند با مسدود نمودن زهکشهای زیر سطحی از هجوم شیرابه و یا جبهه آب شور و یا هر سیال یا آب بدون کیفیت به مخازن و سفره‌های آب شیرین یا منابع آب جلوگیری نموده و نقش مهمی در زمینه حفاظت از منابع آب ایفا نمایند. شکل ۱ تصویری شماتیک از عملکرد بند زیرزمینی در استحصال و تقویت آب زیرقشری ضعیف و توسعه منابع آبی کوچک را در طبیعت نشان می‌دهد.



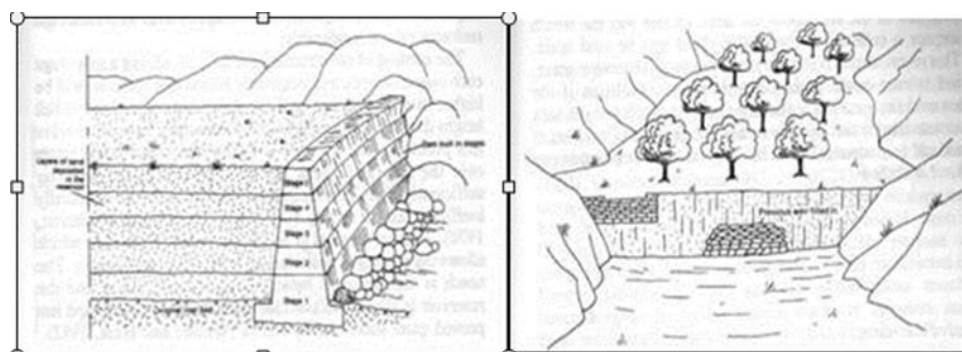
شکل ۱: تصاویری شماتیک از عملکرد بند زیرزمینی در استحصال و تقویت آب زیرقشری ضعیف که می‌توان توسط بند زیرزمینی ذخیره‌سازی، تقویت، مدیریت و قابل استحصال نمود.

بندهای زیرزمینی به دو صورت زیرسطحی یا مدفون و شنی - ذخیره‌ای قابل اجرا می‌باشند (شکل ۲ و ۳). بندهای زیرسطحی دارای دیواره‌ای است که کاملاً داخل زمین قرار دارد (مدفون) و مخزن آن نیز در داخل آبرفت بالادست تشکیل می‌شود، در صورتی که در بندهای زیرزمینی شنی - ذخیره‌ای دیواره غیر قابل نفوذ از سنگ بستر تا سطح زمین و بالاتر از آن نیز ادامه می‌یابد، به طوری که در سال‌های اول در مواقع بارندگی یک مخزن آب سطحی در پشت آنها ایجاد می‌شود. به تدریج که بالادست در اثر وقوع سیلاب با شن و

ماسه حمل شده توسط آب پر می‌شود، این قسمت به مخزن آب زیر سطحی افزوده شده و باعث ازدیاد ظرفیت آن می‌گردد. گاهی به خاطر وجود شیب زیاد در آبراهه و کوچک بودن مخزن پشت بند، آبی که توسط دیواره بند کنترل می‌شود از طریق یک سیستم زهکش در بالادست و یا یک خروجی که در بدنه دیواره تعبیه شده به مخزن ساخته شده‌ای در کنار آبراهه منتقل و از آن طریق مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵).



شکل ۲: مقطع یک بند زیرزمینی مدفون و یک بند زیرزمینی شنی - ذخیره ای



شکل ۳: تصویری شماتیک از یک بند زیرزمینی شنی - ذخیره ای در یک آبراهه فصلی

- اهمیت و ضرورت تحقیق و توجیه اقتصادی و اجتماعی

با توجه به اینکه زمان وقوع بارش و جریان‌ات سطحی در اکثر مناطق کشور، به ویژه در مناطق خشک با زمان نیاز آبی بخش کشاورزی تطابق ندارد و اغلب این مناطق از نظر بهره‌برداری و توسعه منابع آب زیرزمینی در گروه مناطق ممنوعه بحرانی و یا در حوضه‌های واقع در مرزهای سیاسی کشور قرار دارند و همچنین پائین آمدن کیفیت آب خارج شده از حوضه‌های مرتفع کوهستانی پس از ورود به دشت و در اثر تماس با سازندهای نمکی سری هرمز و تشکیلات مارنی-گچی مربوط به الیگومیوسن-میوپلیوسن، اهمیت احداث بندهای زیرزمینی در آبراهه‌های فاقد دبی پایه در این مناطق را جهت مهار نمودن جریانهای زیرسطحی و توسعه منابع آب زیرزمینی نمایان می‌سازد. لذا، مهار نمودن سیلابهای سطحی و جریان‌ات زیرسطحی در مناطق مذکور دارای اهمیت زیادی بوده و می‌توان ضمن ذخیره آب مناسب، در شرایط خشکسالی و بحران‌های کم آبی از آن بهره برد. همچنین این فن‌آوری در تقویت منابع آبی به ویژه قنوات و حفاظت از منابع آب زیرزمینی می‌تواند مورد استفاده واقع شود. این تکنیک در تامین آب در سطح حوزه‌های آبخیز و کوهستانهایی که دبی پایه سطحی ندارند نیز کمک کننده می‌باشد.

عموماً آبهای زیرسطحی اطراف کویر، کفه‌ها و گنبدهای نمکی و یا دریاها و دریاچه‌های شور با کیفیت مناسب تا نسبتاً مناسب بدون استفاده از دسترس خارج شده و وارد کویرها یا آبهای شور شده یا تحت تاثیر گنبدهای نمکی قرار می‌گیرند. با استفاده از تکنیک بند زیرزمینی می‌توان این آبها را که احجام قابل ملاحظه‌ای داشته و از دسترس خارج می‌شوند را مدیریت و در نواحی مناسب ذخیره و مورد استفاده قرار داده و یا از پیش روی جبهه آب شور و تخریب کیفی آب و خاک و گسترش بیابان‌ها جلوگیری نمود. بنابراین، استفاده از دو تکنیک پخش سیلاب و بند زیرزمینی در امر تامین و مدیریت منابع آبی و کاهش و مدیریت خطرات خشکسالی همانگونه که مجامع علمی بین‌المللی برای نواحی خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد داده‌اند، بسیار ضروری می‌باشد. در حال حاضر نه تنها کشورهایی با اقلیم خشک و نیمه خشک در حال استفاده از این تکنیک‌ها هستند بلکه متد فوق در کشورهای مرطوب نظیر ژاپن، برزیل، هند،

تایلند و... بصورت گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف تامین، مدیریت و محافظت منابع در حال استفاده است.

در کشور ایران به دلیل تنوع زمین‌شناسی و وجود سازندهای نفوذپذیر و نفوذناپذیر و توپوگرافی موجود بخصوص در کمربند البرز و زاگرس سبب گشته تا بارش در نواحی توده‌سنگی و صخره‌ای باعث ایجاد رواناب شود. لذا پدیده نفوذ سبب می‌شود تا جریان زیرسطحی در آبراهه‌ها در طول سال یا اکثر ماههای سال به وجود آمده که به خودی خود قابلیت برداشت نداشته و یا بدون استفاده وارد کویر یا کفه‌های نمکی و یا دریا و دریاچه‌ها می‌شود. اما با استفاده از تکنیک بند زیرزمینی و ایجاد مخزن‌های تجدید شونده، این قابلیت ایجاد و در بسیاری از نواحی بویژه در سطح حوضه‌های آبخیز که بیشتر دارای رخنمون توده‌سنگی است می‌توان آب مورد نیاز را تأمین نمود.

در حال حاضر با توجه به شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی کشور لازم است تا با انجام تحقیقات گسترده‌تر و هدفمند، در جهت روزآمد نمودن دستورالعمل، آیین‌نامه و استانداردهای مربوط به این تکنیک اقدام گردیده و فعالیت در زمینه واسنجی، بازبینی و تکمیل تحقیقات موردی در رابطه با شاخص‌های مکانیابی آن و وزن‌دهی این شاخص‌ها و همچنین در رابطه با مصالح و روشهای سنتی و جدید و طراحی، اجرا و کاربردهای بند زیرزمینی، انجام گردد. با توجه به وضعیت منابع آبی کشور و پتانسیل‌های موجود در کشور، تحقیق، ترویج و توسعه تکنیک بند زیرزمینی فوق در سطح حوضه‌های کشور و بومی‌سازی آن باید در صدر برنامه‌های توسعه‌ای کشور قرار بگیرد.

- مطالعات کتابخانه‌ای

در این مرحله کلیه اطلاعات پایه مورد لزوم انجام طرح جمع‌آوری شدند. در این راه بیشترین تکیه بر لایه‌های اطلاعاتی موجود بصورت نقشه و تصاویر ماهواره‌ای، مقالات منتشر شده در مجلات علمی داخلی و خارجی و اطلاعات بدست آمده از طریق اینترنت را شامل شده است. در این مرحله بیشتر نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ و لایه DEM و طبقات شیب منطقه، تصاویر ماهواره‌ای لندست، و نقشه‌های زمین‌شناسی و شبکه آبراهه‌ای، مورد بررسی قرار گرفتند.

- موقعیت جغرافیایی

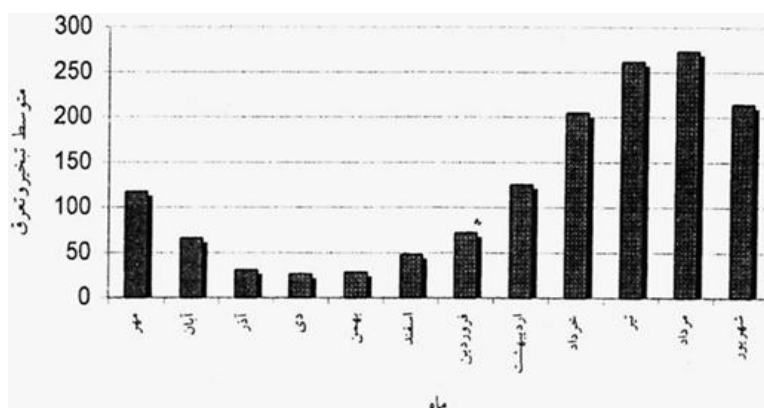
مطالعات اولیه جهت مکانیابی محل مناسب برای احداث سد زیرزمینی، در سالهای ۷۹ و ۸۰ انجام شد. این مطالعات شامل بررسی‌های صحرایی چندین مسیل و خشکه رود در استانهای تهران و سمنان، برای انتخاب مکانی مناسب از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی جهت اجرای طرح بود. در طی مطالعات سطح‌الارضی و تحت‌الارضی انجام شده، خشکه‌رود بهورد (واقع در بالادست روستای بهورد، در شمال حوزه این رود) در حوزه چن‌داب برای این منظور انتخاب گردید. این خشکه‌رود، از ارتفاعات شمال غرب و شمال حوزه چن‌داب در حد فاصل استانهای سمنان و تهران سرچشمه گرفته و از شرق روستای بهورد و غرب بخش چن‌داب عبور می‌نماید (شکل ۴).



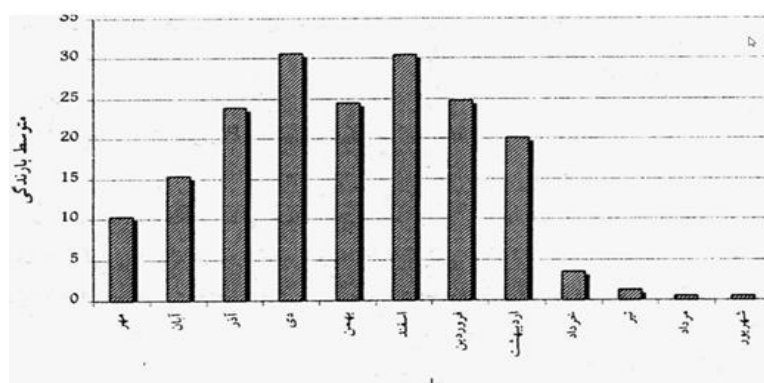
شکل ۴: موقعیت محل طرح

- هواشناسی

متوسط بارندگی در منطقه ۴۳۴ میلی متر برآورد شده که دارای پراکنش زمانی نامناسبی است. بیشترین بارندگی در بهمن و اسفند و کمترین در مرداد و شهریور به وقوع می‌پیوندد. متوسط تبخیر ۸,۱۵۹۸ میلی‌متر تخمین زده شده است. جریانات به صورت فصلی و در مدت کوتاهی به داخل دشت تخلیه می‌شوند (۴). روند تغییرات تبخیر ماهانه منطقه و پراکنش ماهانه بارندگی در ایستگاه ورامین در نمودارهای شکل‌های (۵ و ۶) قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۵: روند تغییرات تبخیر ماهانه منطقه



شکل ۶: پراکنش ماهانه بارندگی در ایستگاه ورامین

- وضعیت شیب

شیب حوزه جهت ارزیابی مربوط به رفتار هیدرولوژیکی آبخیز مخصوصاً تبدیل ریزش به جریان، مورد بررسی قرار می‌گیرد. شیب رابطه پیچیده‌ای با مقدار نفوذ و جریان سطحی و رطوبت خاک و دخالت آب زیر زمینی در دبی رودخانه دارد. شیب تند باعث جریان زیاد آب و فرسایش می‌گردد. بیشترین شیب منطقه مورد مطالعه بین ۱۰ تا ۲۵٪ متغیر است (۴).

- جهت شیب منطقه

جهت کلی شیب که نقش بسزایی در مقدار حرارت خورشید و کنترل آن می‌نماید و در نتیجه میزان تبخیر و تعریق را تغییر می‌دهد عامل موثری در بررسی‌های هیدرولوژیکی حوزه می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه شیب عمومی بیشتر به سمت شرق است.

- هیدرولوژی منطقه

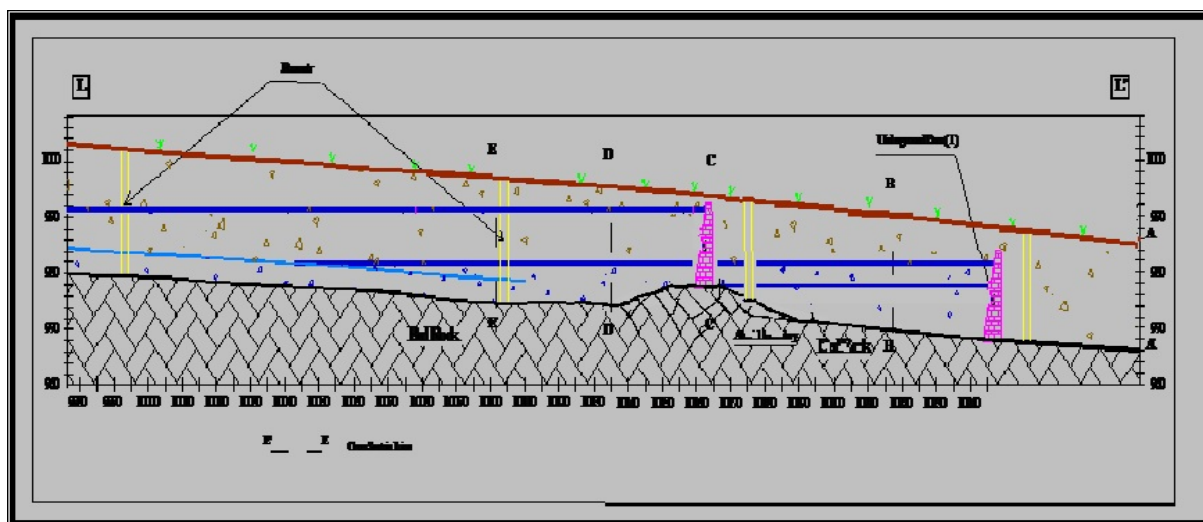
مقدار رواناب منطقه طبق رابطه (۱) و به روش جاستین محاسبه شده است:

$$\dot{U} \quad I=P-R-E \quad S = \frac{H_{max}-H_{min}}{\sqrt{A}} \quad R = 0.284S^{0.155 \frac{P^2}{1.87+32}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

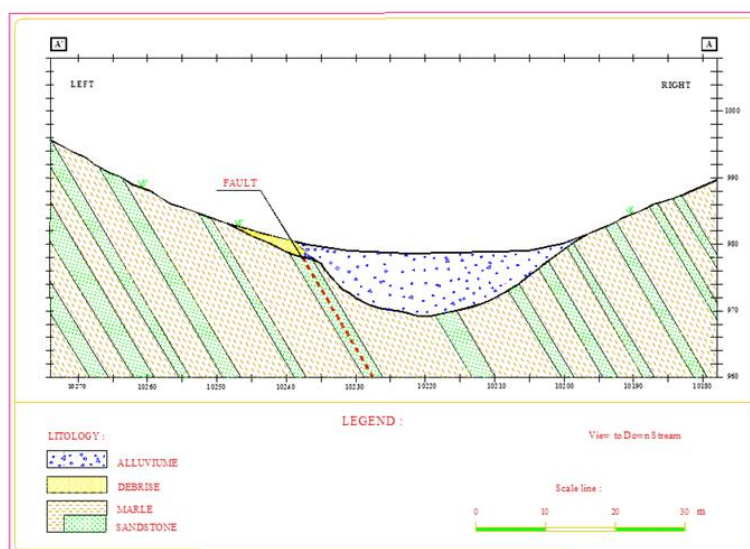
در رابطه فوق، A مساحت حوزه به کیلومتر، S شیب متوسط حوزه به درصد، H حداکثر و حداقل ارتفاع حوزه به متر، P متوسط بارش سالانه به سانتی متر، T متوسط دمای سالانه به سانتی گراد. براساس این رابطه در کل ۱۳۱۰۱۳۵ متر مکعب آب قابل نفوذ در منطقه برآورد شده است.

مطالعات ژئوالکتریک

سونداژها در دو مقطع طولی B, A و مقاطع عرضی C تا G تعیین شد. مقاطع طولی محدوده محور و مخزن را پوشش می‌دهد و مقطع عرضی C بر محل محور پیشنهادی منطبق است و مقاطع عرضی دیگر به صورت موازی با مقطع C تغییرات زیر سطحی را در محدوده مخزن نشان می‌دهد. با توجه به وضعیت سنگ کف در مقطع C و ضخامت مناسب آبرفت در طول آن (۹/۴ تا ۶/۸ متر) به عنوان محور مناسب برای سد پیشنهاد شد. با استفاده از تفاسیر برداشت‌های ژئوالکتریک و بررسی و کالیبراسیون نتایج با اطلاعات گمانه حفاری شده در محل محور پیشنهادی، جنس لایه‌ها، ضخامت، عمق سنگ کف و شیب عمومی و توپوگرافی سطح سنگ کف و جهت جریان آب زیرزمینی تشخیص داده شد. مقاطع طولی (از محور تا انتهای مخزن یا دریاچه سد) و مقطع عرضی بستر آبراهه (در محل محور سد) بر اساس نتایج مطالعات ژئوالکتریک و گمانه حفر شده ترسیم گردید (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل ۷: مقطع در طول بستر رودخانه در بازه مورد مطالعه



شکل ۸: مقطع از عرض بستر رودخانه در بازه مورد مطالعه

- زمین‌شناسی منطقه

گستره مورد مطالعه در یک ناحیه بینابینی (Transition Zone) بین ایران مرکزی و البرز قرار گرفته و از سازندهای لار و کرج مربوط به البرز و سازندهای سرخ بالایی و قم و سرخ پایینی، متعلق به ایران مرکزی می‌توان نام برد. این محدوده، هسته مرکزی یک ناودیس (در جنوب آبراهه) و یک تاقدیس (در شمال آبراهه) با روند غرب و شمال غرب، شرق و جنوب شرق است (۴).

- مکان یابی

فاکتورهای مهم در مکانیابی این طرح عبارتند از، جلوگیری از شور شدن آب (به تدریج از بالا دست حوزه به طرف پایین دست با اضافه شدن آبراهه‌های فرعی از میان تشکیلات زمین‌شناسی شور عبور کرده و موجب شوری آب می‌شود) و همچنین جلوگیری از نفوذ آب به اعماق زمین (با توجه به تغییرات عمق رسوبات منطقه)، کنترل و مدیریت و تقویت آب زیرقشری با کیفیت مناسب در نزدیکترین محل ممکن به بهره‌بردار و هندسه مناسب مخزن در ایجاد حجم زیاد و هندسه مناسب محور در کاهش حجم و هزینه ساخت سازه در بستر آبراهه، محل فوق برای احداث سد زیرزمینی در این طرح پیشنهاد شد.

- اجزای طرح

دیواره آب بند: با توجه به مصالح منطقه و معیارهای مقاومتی، سازه وزنی سنگ و ملات به شکل یک دیواره تلسکوپی احداث شد. بلندترین قسمت دیواره ۱۲ متر ارتفاع و ضخامت آن در سنگ بستر ۳ متر می‌باشد. تخلیه کننده تحتانی: به منظور استفاده ثقیلی از آب مخزن سد، اقدام به نصب لوله ای با قطر مناسب در داخل دیواره سد و در تراز نزدیک به خط ا لقر آبراهه شده است. این لوله در پایین دست سد به طور افقی تا محل تلاقی امتداد لوله و بستر طبیعی آبراهه در سطح زمین، ادامه می‌یابد. به منظور کنترل و مدیریت برداشت، شیر تخلیه، در مسیر لوله تخلیه کننده و در بدنه سد تعبیه گردیده است. سرریز: برای جلوگیری از شستشوی تاج سد و تثبیت آن و بستر آبراهه در پایین دست تاج سد و جلوگیری از جاری شدن آب در سطح زمین که منجر به تلفات ناشی از تبخیر و نیز گاهی باتلاقی شدن محدوده سد خواهد شد، لازم است دیواره سد در عمق یک متری بستر آبراهه قطع و سپس با مصالح دانه درشت و سنگین پر شود. برای اطمینان از عدم فرسایش، اقدام به تثبیت محدوده‌ای به فاصله ۱۵ متر از اطراف محدوده سد شده است. چاه برداشت آب: جهت بهره‌برداری بهینه از مخزن سد، حفر چاه در خط‌القر آبراهه و در نزدیک بالادست سد ضروری است. ضمناً از این چاه جهت پایش هم استفاده می‌شود. استفاده از چاه برای آبیاری اراضی بالا دست، الگوی مناسبی برای مناطق کم آب است. زیرا آب برگشتی از آبیاری دوباره پشت سد ذخیره شده و قابل پمپاژ می‌باشد.

- مدلسازی رفتار هیدرولیکی مخزن

با مدلسازی ریاضی و عددی با مدل MODFLOW رفتار هیدرولیکی مخزن مورد بررسی قرار گرفت و سناریوهای متفاوت بهره‌برداری، شبیه سازی شد (جدول ۱). به این وسیله موقعیت چاه بهره‌برداری، نرخ پمپاژ و دوره بهره‌برداری، و اثر گالری افقی بر میزان آب قابل پمپاژ بررسی گردید. در این بررسی، مشخص شد طی یک دوره ۳ ماهه در ماههای تیر می‌توان حداکثر با نرخ ۳۵ متر مکعب در روز اقدام به پمپاژ نمود و با توجه به محدودیت ابعاد مخزن سد زیرزمینی به‌ورد، طول گالری بر نرخ پمپاژ تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. با توجه به نرخ آب قابل برداشت و با در نظر گرفتن نیاز آبی گیاهان باغی مثمر، حداکثر می‌توان ۰/۵۴ هکتار انگور، ۰/۷ هکتار انار و ۲/۸ هکتار درختان غیر مثمر را آبیاری کرد (جدول ۲). از آنجا که مدل سازی بر اساس تنها یک گمانه محفوره در منطقه انجام شد، کل منطقه به ناچار به صورت یک زون در نظر گرفته شد، که جای اشکال است. با توجه به یکنواختی مصالح و آبرفت موجود در آن که در مطالعات ژئو الکتریک و زمین‌شناسی تایید شده، عدم قطعیت برای فرض یکنواختی لایه‌ها چندان زیاد نیست.

- روش اجرا

در اجرا موارد ذیل طراحی و اجرا شد: تمهیدات در زمینه انحراف جریان سیلابهای احتمالی که در حین اجرای سد ممکن است اتفاق بیافتد. خاکبرداری آبرفت تا سنگ بستر در کف و جناحین بصورت پایدار. پمپاژ آب زیرقشری تا زمان تخلیه کامل و خشک شدن کف

ترانشه باز شده. برداشت لایه‌های هوازده و سست و یکنواخت کردن سطح سنگ کف، برای سنگ‌چینی و بتن‌ریزی پی بدنه سد. اجرای بدنه با توجه به استانداردها و اهداف طراحی شده. نصب لوله آبیگر در تراز یک متری از عمیق‌ترین قسمت دیواره و اجرای بخشهای فیلتر و زهکش و نصب شیر تخلیه و لوله‌های تخلیه.

اجرای چاه بهره‌برداری در بالادست سازه بدنه، همزمان با اجرای دیواره و پر کردن اطراف آن با لایه‌های زهکش و فیلتر. قطع دیوار چینی ۱ متر مانده به تراز بستر رودخانه و پر کردن قسمت باقی مانده از مقطع با سنگهای بزرگ بعنوان سرریز جهت عبور آب مازاد به طرف پایین‌دست. پر کردن بالا و پایین دست بدنه سد به ترتیب با شن و ماسه تمیز و مصالح حاصل از گودبرداری و سپس تثبیت سطح تمام شده با سنگ‌چینی برای جلوگیری از آب شستگی‌های بعدی. حفاری چاه در پایین دست جهت کنترل تراز آب پایین‌دست در صورتی که احتمال فرار آب بیشتر از حد باشد. زیرا در صورت آب‌بند بودن سد همزمان با دیوارچینی شروع به بالا آمدن کرده و به فاصله کمی از اتمام سد پر می‌گردد. این زمان بستگی به حجم مخزن و میزان تغذیه سفره نیز دارد.

جدول ۱: نتایج حاصل از شبیه سازی

سناریو	نوع مصرف	دوره بهره برداری (ماه)	حداکثر نرخ بهره برداری (m^3/day)
۱	شب	۱۲	۲
۲	شرب	۱۲	۱۵
۳	کشاورزی	۵	۲۲
۴	کشاورزی	۳	۳۰
۵	کشاورزی	۳	۳۵

جدول ۲: تعداد اصله درخت قابل آبیاری

سناریو	نوع مصرف	دوره بهره برداری (ماه)	حداکثر نرخ بهره برداری (m^3/day)
۱	شرب	۱۲	۲
۲	شرب	۱۲	۱۵
۳	کشاورزی	۵	۲۲
۴	کشاورزی	۳	۳۰
۵	کشاورزی	۳	۳۵

نتیجه گیری

با مطالعات ژئوالکتریک و زمین‌شناسی منطقه و با توجه به ضخامت آبرفت سد زیرزمینی برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شد. پس از مدلسازی، استفاده آب مخزن سد جهت مصارف کشاورزی در سه ماهه خشک سال، با نرخ ۱۵ متر مکعب در روز پیشنهاد گردید. با احداث این سد زیرزمینی ضمن در دسترس قرار گرفتن آب در فصول خشک سال، از هدر رفتن آب به علت نفوذ در اعماق زمین و همچنین آلودگی آب با توجه به مسیر حوزه آبریز (گذر از تشکیلات زمین‌شناسی که موجب شوری آب می‌گردد) جلوگیری می‌شود. به دلیل وجود این سد زیرزمینی امکان استفاده مجدد از آب کشاورزی مناطق بالادست فراهم می‌گردد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان این مقاله بدین وسیله نهایت سپاس و قدر دانی خود را از جناب آقای دکتر جواد طباطبایی یزدی به خاطر همکاری صمیمانه ایشان ابراز می‌دارند.

منابع

- امینی زاده، م.، غ. لشکری پور و م. غفوری. ۱۳۸۹. متدولوژی پایش سدهای زیرزمینی، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱ (۲) ۵۷-۴۳.
- جلالی، نادر، ۱۳۸۳، تفکیک واحدهای زمین شناسی کواترنر با استفاده از تصاویر چند طیفی ماهواره ای، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش تحقیقاتی.
- سیامردی، ک.، ۱۳۸۸، بررسی روشهای مختلف طراحی سدهای زیرزمینی، برای ذخیره سازی آبهای زیرزمینی، هشتمین کنگره بین المللی عمران.
- طباطبایی یزدی، ج.، مجیدی، ع.، گوهری، ا.، داودی م. ه.، دانش کار آراسته، پ.، ۱۳۸۲، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی سد زیرزمینی بهورد چنداب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- نیلسون، ا.، ۱۳۸۲، سدهای آب زیرزمینی جهت تامین آب در مقیاس کوچک، مترجم، طباطبایی یزدی، ج.، نبی پی، س.، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- هاشمی، ز.، ۱۳۸۱، بررسی نهشته‌های کواترنزی شمال حوضه آبریز کویر حاج علیقلی به منظور تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال .
- Foster. S. Azevedo.G. and Baltar.A. 2002. Subsurface Dams to Angment Groundwater Storage in Basemer Torrain for Human Subsistence- Brazilian Expericnce. World bank, GWMA TE Case Profilc collection No 5 , pp.5
- Vanrompay,L, 2003. Report on The Technical Evaluation & Impact Assessment of Subsurface Dams (SSDs) TIDP, technical report, PP.14