



استفاده از سد زیرزمینی به همراه قنات و تغذیه مصنوعی برای توسعه پایدار آبی

عیسی ایلیاتی، نصرت الله امانیان، محمدرضا مزدیان فرد

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه یزد.

استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد.

استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان.

isaq24@yahoo.com

namanian@yazduni.ac.ir

mozdian@kashanuni.ac.ir

چکیده:

سد زیرزمینی می تواند به عنوان یک ابزار مدیریت آبی در توسعه پایدار منابع آبی ما را یاری کند. ایرانیان گرچه از گذشته های دور به مبتکران قنات شهرت داشته اند هم اکنون این سازه آبی مورد بی توجهی قرار گرفته است. از طرفی در مناطق گرم و خشک که با مشکل کم آبی روبرو هستیم و منبع اصلی تامین آب از آب های زیرزمینی است، کنترل و مدیریت منابع آب زیرزمینی مورد توجه قرار می گیرد. یکی از ابزارهایی که برای مدیریت سیلاب ها و افزایش توان سفره های آبی مورد استفاده قرار گرفته است تغذیه مصنوعی سفره های آب زیرزمینی است که گاهی با استفاده از سیل بندها انجام می شود. در این پژوهش به ویژگی های سد زیرزمینی، قنات پرداخته می شود و با نگاهی جامع به تلفیق سه مورد سد زیرزمینی، قنات و تغذیه مصنوعی برای تامین آب در مناطق گرم و خشک پرداخته می شود. با این روش علاوه بر این که از صدمات سیلاب های فصلی جلوگیری به عمل می آید به آبدی بیشتر قنات ها و احیاء این سازه کمک می کند و از سد زیرزمینی برای هدایت و کنترل آب های زیرسطحی استفاده می شود. به عنوان نمونه این پروژه برای منطقه ای در دشت کاشان پیشنهاد می شود که با تلفیق سه سازه سیل بند، سد زیرزمینی و قنات میتوان منبع آبی مطمئنی برای این منطقه ایجاد کرد.

واژه های کلیدی: تغذیه مصنوعی، سد زیرزمینی، قنات.

مقدمه:

مطابق تعریف کوپن، مناطقی که پتانسیل تبخیر در آن ها بیشتر از بارندگی است، مناطق خشک هستند. بسیاری از کشورهای در حال توسعه در مناطقی که بارندگی به صورت فصلی و موسمی است، واقع شده اند. در این مناطق استفاده بهینه از منابع آب موجود و توسعه روش های علمی و نو، جهت استفاده از منابع آبی بالقوه که گاهی از دسترس خارج می شوند، موضوعی مهم و قابل بررسی است (امینی زاده بزنجانی، ۱۳۸۹). در این کشورها تهیه آب تا حد زیادی از طریق ذخیره کردن آن در فصل پر باران برای فصل های کم باران و در سال های مرطوب برای سال های خشک انجام می شود. کشور ایران بر روی کمربند خشک زمین قرار دارد و بعضی از مناطق آن بارندگی نیز به صورت پراکنده و فصلی رخ می دهد، بالطبع منابع آب سطحی و زیرزمینی کافی در دسترس نیست و به همین منظور استفاده بهینه و مدیریت منابع آب موجود از ضرورت ها و اهداف کلان توسعه می باشد.

کل بارش های دریافتی در همه حوزه های آبریز کشور به طور میانگین ۴۴۰ میلیارد مترمکعب است که این میزان در ترسالی ها به ۵۲۸ میلیارد مترمکعب و در خشکسالی ها به ۲۸۶ میلیارد مترمکعب میرسد. از ۴۰۰ میلیارد مترمکعب آبی که از بارشها به دست می آید ۲۷۰ میلیارد مترمکعب تبخیر میشود و از دست می رود و حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب آب باقی می ماند که البته در خشکسالی ها و در مناطق کم آب و خشک با وضعیت بدتری روبرو هستیم. از طرفی در بسیاری از مناطق با شرایط موسمی روبرو هستیم. در مناطق با اقلیم موسمی، مجموع مقادیر بارندگی سالانه جهت رفع نیاز مردم و کشاورزی کافی است، اما موسمی بودن آن بدین معنی است که در زمانی از سال آب در دسترس نیست. بنابراین مسدود نمودن آب زیرزمینی به معنای پل ارتباطی بین ماه های دارای بارندگی برای مقابله با خشکسالی های فصلی است. به علاوه بارندگی های موسمی نیز اغلب در مواقع مورد نیاز اتفاق نمی افتد و این مشکل تأمین آب را حادتر می کند.

بنابراین مشکلات عمده آبی در مناطق گرم و خشک را می‌توان تبخیر بالا، نبود آب های جاری دائمی، موسمی بودن بارش ها عنوان کرد. در دوره های مختلف راهکارهایی برای هرکدام پیش بینی شده است. برای جلوگیری از تبخیر استفاده از سد زیرزمینی برای ذخیره آب در زیر سطح زمین به عنوان راهکاری نوین ارائه شده است. در مناطق کویری که با نبود آب های سطحی روبرو هستیم ایرانیان قدیم قنات ها را ابداع کردند تا بتوانند از آب های زیرزمینی استفاده کنند. مشکل سیل و بارش های موسمی گاهها باعث تخریب و ویرانی می شود که سیل بندهای خاکی ابزاری ساده برای جلوگیری از تخریب و حتی استفاده از این آبها فراهم آورده است. البته هر سه مورد باید با شرایط محلی موجود تطبیق داشته باشد تا بتواند کارایی لازم را داشته باشد. حال اگر بتوان هر سه مورد سد زیرزمینی، قنات و سیل بندها را در شرایط مناسب و در کنار یکدیگر به کار گرفت می توان ابزار مدیریتی بر منابع آبی ایجاد کرد که توسعه آبی را در پی خواهد داشت.

مواد و روش ها:

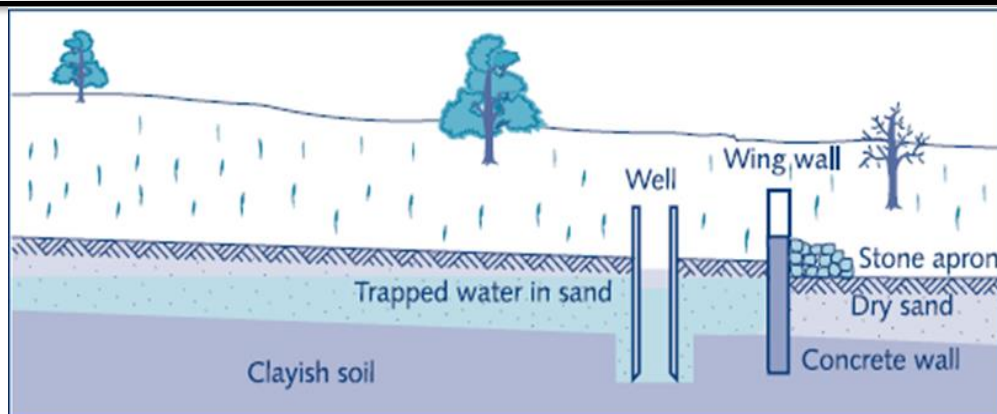
الف) سد زیرزمینی:

از روشهای نوین و ساده برای ذخیره آب زیرزمینی می‌توان مسدود کردن جریان آب زیرزمینی از طریق ایجاد یک سد در مسیر آب زیرزمینی نام برد. سد زیرزمینی در یک تعریف کلی به هر سازه ای گفته می‌شود که در مسیر جریان آب زیرزمینی و به منظور مسدود کردن جریان زیرسطحی در یک لایه آبدار طبیعی یا مصنوعی قرار داده شده است. دره های کم عرض V شکل و آبفتهای کوهستانی مشرف به مخروطه افکنه ها بهترین نواحی احداث این قبیل سدها می باشند. از موارد کاربرد سد های زیرزمینی می‌توان به ذخیره آب زیر زمینی (تأمین آب مصرفی)، جلوگیری از نفوذ آب شور به مخازن آب شیرین در کنار سواحل و دشت نمک و مدیریت منابع آب اشاره کرد.

فوستر و همکاران (۲۰۰۲) در ارزیابی سدهای زیرزمینی احداث شده در برزیل نشان دادند که عوامل حجم مخزن، عمق سنگ بستر نسبت به سطح زمین، نفوذپذیری خاک مخزن و کیفیت شیمیایی خاک مخزن نقش موثری در موفقیت سد های زیرزمینی دارند. فورژیری (۲۰۰۸) در منطقه کایدال کشور مالی، به بررسی و تعیین مکان‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای و GIS پرداخته‌اند. در این مطالعه پس از بررسی‌های اولیه خصوصیات مورفولوژی مثل وجود تنگه در مسیر آبراهه، طول آبراهه، سطح حوضه آبخیز، شاخص پوشش گیاهی و خصوصیات زمین‌شناسی مثل گسل‌ها، عمق سنگ بستر، تخلخل و نیز وجود سکنه و افراد ذینفع و میزان بارش، در مرحله اول ۱۷ منطقه از ۶۶ منطقه معرفی شده انتخاب شد که براساس تخمین اهمیت آب بند و جنبه های کاربردی ۳ منطقه انتخاب و در نهایت ساخت سد در بهترین محل پیشنهاد شد.

پژوهشی توسط امید طیاری و ابوالفضل شمسایی (۱۳۸۵) با هدف تعیین ارتفاع آب روی سد زیرزمینی انجام شد. روش اجرا شبیه سیستم آب بندی پی های سطحی است. مهمترین پارامترها در تعیین ارتفاع آب روی سد زیرزمینی به ترتیب اهمیت: دبی، ارتفاع سد، سطح ایستایی اولیه، ضریب هدایت هیدرولیکی لایه ی آبدار، ضخامت سد و شیب کف لایه آبدار تعیین شدند.

سلیمانی و همکاران (۱۳۸۶) ویژگی‌های زمین‌شناسی حوضه کشف رود دشت نیمه خشک مشهد را برای پهنه بندی پتانسیل احداث سد زیرزمینی با RS و GIS مطالعه کرده است. ایشان وجود شیب توپوگرافی مناسب ایجاد مخزن، ضخامت کافی آبرفت (۵ تا ۳۰ متر)، مقطع تنگ شدگی، رواناب سطحی و نیز وجود آب زیرزمینی کم عمق را از شرایط لازم محل سد زیرزمینی معرفی می‌کنند. در این مطالعه با تلفیق نقشه‌های نفوذپذیری، شیب، ضخامت آبرفت، عمق تا سطح ایستایی، رده آبراهه‌ها که به ترتیب ۲۵، ۲۵، ۲۵ و ۱۵ و وزن‌دهی شده‌اند و همپوشانی آن با نقشه فرسایش‌پذیری حوضه، مکان‌های مناسب تعیین شده است. در کل مخروط افکنه ها پتانسیل مناسبی برای احداث سد زیرزمینی داشته‌اند. وی بازدید صحرایی را جهت تعیین تنگه‌های مناسب و بررسی تاثیرات اقتصادی- اجتماعی و زیست محیطی را در مطالعات بعدی پیشنهاد می‌کند.

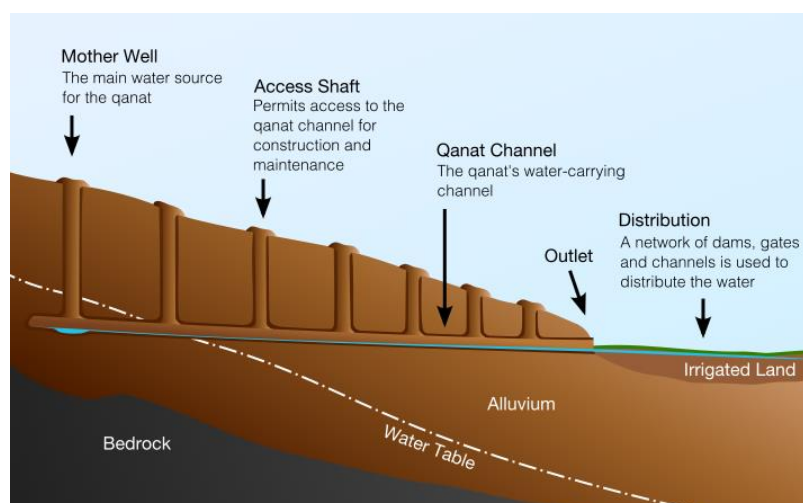


شکل (۱): مدل سد زیرزمینی مصنوعی (نیسون، ۲۰۰۰)

کاربرد دیگری که سد زیرزمینی از زمان های دور در ایران داشته است استفاده در قناتها بوده است. در این موارد بیشتر به عنوان بند زیرزمینی یاد می شوند. از آنجا که قنات ها با مشکل آبدهی دائمی روبرو هستند این فناوری در آنها به کار گرفته شده است. به این معنی که در فصولی که به آب قنات نیاز کمتری بوده که معمولاً فصول پر باران بوده اند با مسدود کردن دیواره هایی که در مادر چاه قنات از قبل ایجاد شده اند آب را ذخیره می کردند. به این ترتیب هم نوعی تغذیه مصنوعی برای سفره های تامین کننده قنات اجرا می شده است و هم در فصول کشت و زرع که نیاز به آب وجود داشت آبدهی قنات مناسب بوده است. از این نمونه می تواند قنات وزوان را نام برد. در دیواره سنگی قنات ۵ دریاچه به فاصله های حدود ۱ تا ۱/۵ متر از هم ساخته شده که دریاچه ششم آن مجرای کوره را تشکیل می دهد و به هنگام بی نیازی از آب، کل دریاچه ها با فاصله های زمانی معین یکی پس از دیگری گشوده می شوند تا به مجرای کوره می رسند و با گشودن آن جریان آب عادی می شود (صفی نژاد، ۱۳۸۲).

ب) قنات:

قنات ها که ابتکار آن را ایرانیان در دست داشته اند امروزه سازه ای هوشمند بدون آسیب به آب های زیرزمینی شناخته می شوند چون زمانیکه آب های زیرزمینی پتانسیل تامین آب را داشته باشند قنات کار می کند و زمانی که با کم آبی مواجه باشد تاثیر منفی بر سفره زیرزمینی نمیگذارد بر خلاف چاه های پمپاژ که اغلب تا خشک کردن سفره آب زیرزمینی پیش می روند.



شکل (۲): سازه قنات

قنات ها از یک سری چاه های دسترسی که به مادر چاه قنات که بیشترین عمق را دارد منتهی می شود. طول قنات ها معمولا به چندین کیلومتر می رسد. آب حاصل شده از چاهها و به وسیله چاههای دسترسی در مظهر قنات بروز میکند و مورد بهره برداری قرار می گیرد. همانگونه که قبلا اشاره شد مشکل عمده قنات ها آبدهی در فصولی است که به آب نیاز کمتری است و معمولا در فصول زراعی با کاهش آبدهی روبرو می شوند.

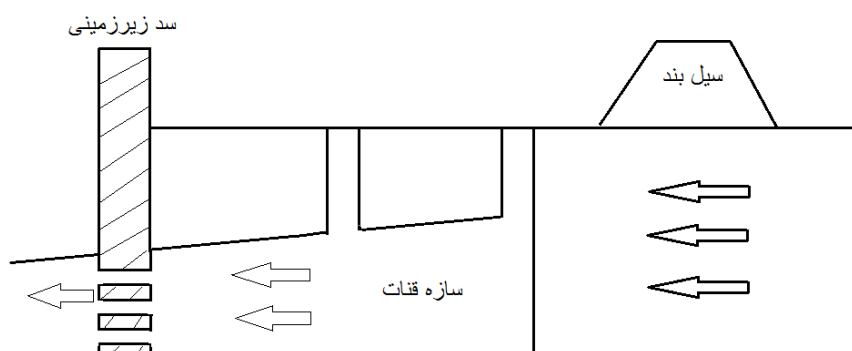
ج) سیل بندها:

تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی زمانی اهمیت می یابد که خروجی سفره آب زیرزمینی بیشتر از ورودی های آن باشد که به مرور زمان باعث خشک شدن آن خواهد شد. از طرفی در اقلیم های خشک و موسمی معمولا بارش های سیل آسای رخ می دهند که گاها باعث تخریب شده و آب های جاری آن به هدر می روند. سیل بند ها که برای جلوگیری از این پدیده مخرب استفاده می شوند می توانند وسیله ای برای تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی باشند.

سامانه نفوذ سطحی برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، به نوع خاک های نفوذپذیر (لوم ماسه ای، ماسه و شن)، نواحی غیر اشباع بدون لایه های محدود کننده و آبخوان های آزاد با قابلیت انتقال کافی برای جریان جانبی در درون آبخوان نیاز دارند. همچنین، خاکها در نواحی غیر اشباع و اشباع آبخوان نباید آلوده باشند. اگر بستر حوضچه ها توسط رسوب یا دیگر مواد مسدود کننده بسته نشود و سطح آب زیرزمینی به اندازه کافی پایین باشد تا بر نفوذ اثری نگذارد، میزان نفوذ در حدود هدایت هیدرولیکی خاک خواهد بود که حدود 0.3 متر بر روز برای لوم های ماسه ای، 1 متر بر روز برای ماسه های لومی، 5 متر بر روز برای ماسه های ریز، 10 متر بر روز برای ماسه های درشت تر، و 20 تا 50 متر بر روز برای شن های ریز است. مخلوط های شن و ماسه، هدایت هیدرولیکی کمتری نسبت به شن یا ماسه تنها دارند (بور و رایس، ۱۹۷۶).

طرح تلفیق:

برای استخراج آب از سد زیرزمینی دو روش پمپاژ و ثقلی وجود دارد. در روش ثقلی حفره ای در دیواره سد تعبیه می شود که آب بر اثر نیروی ثقل در آن جریان یافته و در پایین دست سد مورد بهره برداری قرار می گیرد. اما این شیوه برداشت می تواند توسط قنات انجام شود. مقطعی از طرح پیشنهادی تلفیق سد زیرزمینی، قنات و سیل بند در شکل ۳ ارائه شده است. هر سه سازه برای افزایش آب برداشت شده در پایین دست سد به وظایف خود عمل می کنند. سیل بند آب های جاری را به سمت آبخوان هدایت می کند، سد زیرزمینی آبهای زیرسطحی را کنترل می کند و قنات آب های پشت سد را به پایین دست سد هدایت می کند. نکته قابل ذکر آنکه می توان در مسیر قنات دیواره هایی (بند هایی) تعبیه کرد تا در فصول پر باران که معمولا به آب نیاز کمتری وجود دارد با مسدود کردن حفره ها آب برای فصل های کم باران ذخیره گردد.



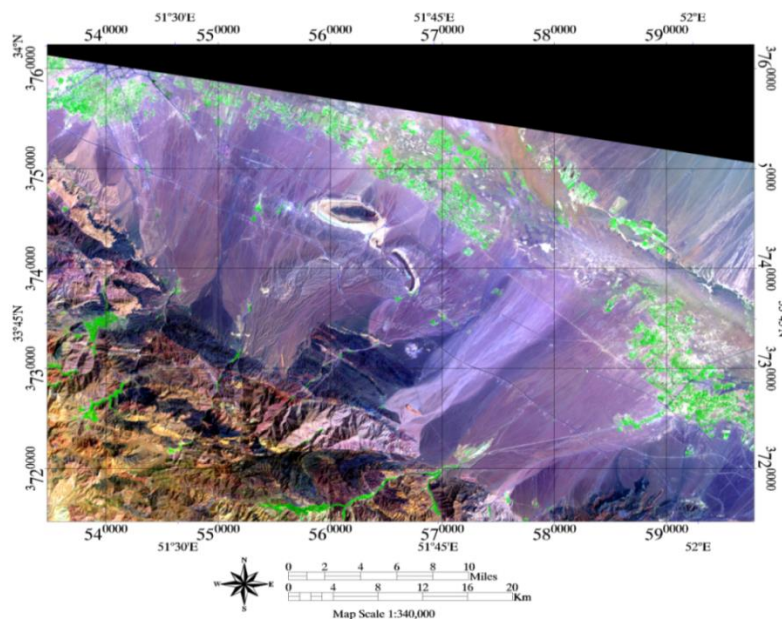
شکل (۳): طرح تلفیق سد زیرزمینی، قنات و سیل بند

برای تلفیق و استفاده همزمان از سد زیرزمینی، قنات و تغذیه مصنوعی باید ویژگی های محلی برای هر کدام فراهم باشد. بدین منظور منطقه جنوب دشت کاشان که دارای قنات و سیل بندهایی است در نظر گرفته می شود و با توجه به ویژگی های هیدرولوژیکی سعی خواهد شد مکان های مناسب برای احداث سد زیرزمینی و سیل بند مشخص شوند.

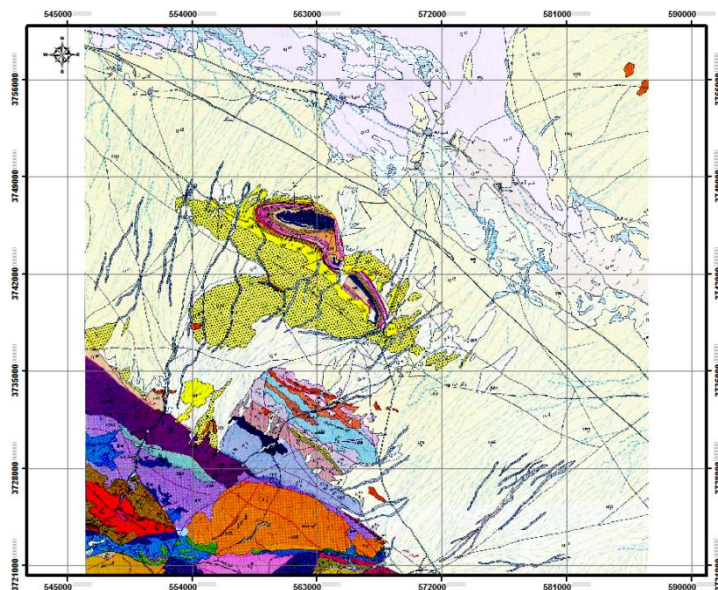
منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد بررسی ناحیه جنوبی دشت کاشان می باشد که بین طول های جغرافیایی $51^{\circ}58'$ و $51^{\circ}25'$ و عرض های $33^{\circ}56'$ تا $33^{\circ}37'$ قرار گرفته است. این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک است. بارش سالانه حدود ۱۴۰ میلیمتر و تبخیر پتانسیل بیش از ۱۱۰۰ میلیمتر است. ارتفاع آب تبخیر شده به صورت بالقوه بیش از ۸ برابر بارش می باشد. به جز سه ماه از سال بقیه ماههای سال خشک بوده و نسبت بارش به تبخیر و تعرق منفی است (آرانی و همکاران، ۱۳۹۱).

ابتدا نگاهی به تصویر ماهواره ای حاصل از داده ماهواره ای Landsat ETM که در شکل ۴ مشخص شده است و نقشه زمین شناسی این منطقه می اندازیم. محدوده دشت کاشان با ترکیب رنگی کاذب (RGB) ۷۴۱ ارائه شده است. این به آن معنی است که داده های مربوط به باند ۷ را با رنگ سبز، داده های باند ۴ را با رنگ سبز و داده های باند ۱ را با رنگ آبی نمایش داده شده است. در این تصویر پوشش گیاهی به خوبی با رنگ سبز نمایش داده می شود.

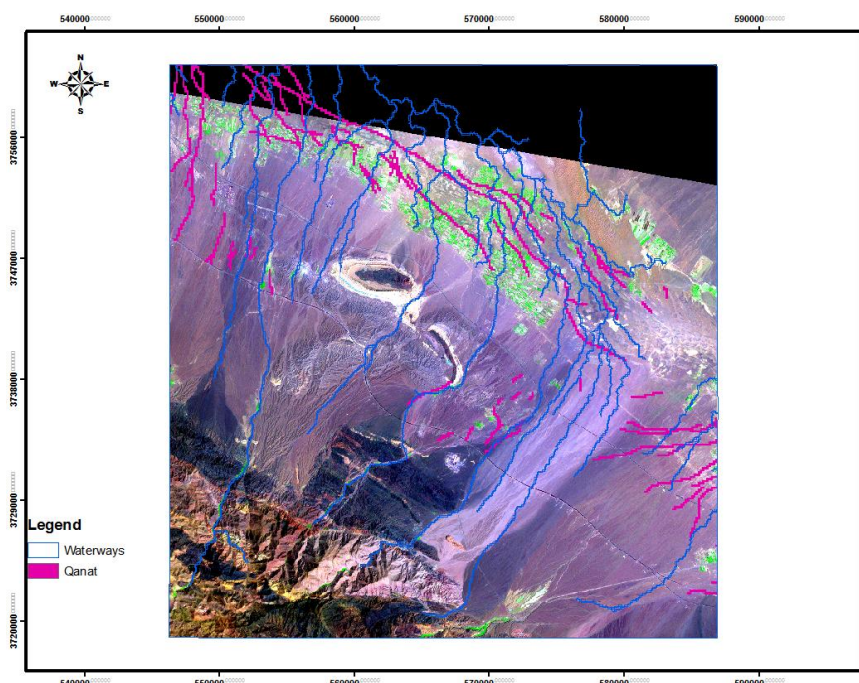


شکل (۴): عکس ماهواره ای از دشت کاشان با ترکیب باندی ۷۴۱



شکل (۵): نقشه زمین شناسی

در شکل ۵ ساختار آبرفتی ناحیه مخصوصا نواحی بین مناطق مرتفع و پست از اهمیت زیادی برخوردارند، تفکیک این ساختارها ما را در پی بردن به نحوه تامین آب از ارتفاعات یاری می کند. بیشتر منطقه از پادگانه های آبرفتی شن و ماسه ای همراه با دو سن جوان و پیر پوشیده شده است که می تواند بستر مناسبی برای ذخیره آب باشد. از طرفی در میان دشت تاقدیس نواب قرار گرفته است. تاقدیس شامل سنگ آهک، سنگ گچ و مارن می باشد و معدن قدیمی گچ باغک در آن قرار دارد. اما این ساختار گچی می تواند تاثیر منفی بر روی آبهای سطحی و زیرسطحی گذرنده از آن را داشته باشد. در پشت تاقدیس نهشته وسیعی از کنگلومرا و ماسه سنگ دیده می شود که حاصل سیلاب های فصلی رخ داده در منطقه می باشد.

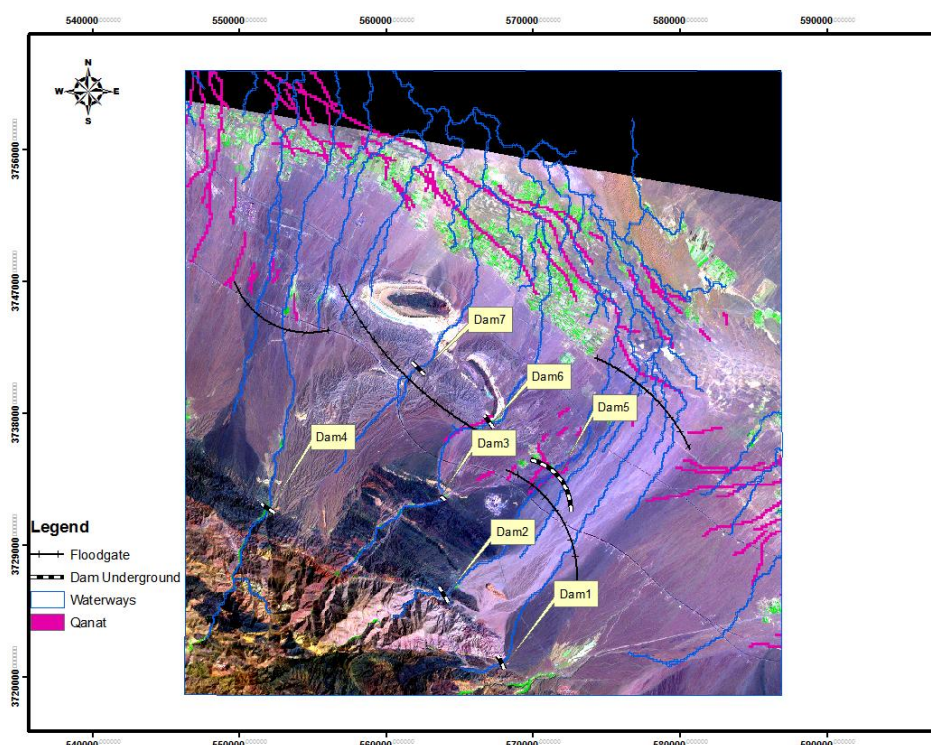


شکل (۶): نقشه قنات و آبراهه های اصلی منطقه

در شکل ۶ آبراهه های اصلی منطقه که توسط داده های DEM و در محیط GIS رسم گردید، از طرفی قنات های منطقه از نقشه زمین شناسی استخراج و به صورت لایه ای روی تصویر ماهواره ای (۷۴۱ RGB) قرار گرفتند. در این تصویر به خوبی روند تامین آب نوار پوشش گیاهی مشخص در شکل ۶ که شامل شهر ابوزیدآباد و روستاهای تابعه می باشد نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود آبراهه های اصلی از دره هایی در جنوب غربی منطقه نشأت میگیرند که مکان های مناسبی برای احداث سد زیرزمینی می باشند. اما تاقدیس نواب با سازند های گچی که در مسیر آبراهه های منتهی به دشت قرار دارد باعث کاهش کیفیت آبهای گذرنده خواهد شد.

بحث و نتیجه گیری:

در نهایت با استفاده از بازدید های صحرایی هفت نقطه برای سد زیرزمینی و چهار ناحیه مناسب برای احداث سیل بند ها پیش بینی شد (شکل ۷). سد های زیرزمینی ۱، ۲، ۳ و ۴ در عرض دره های V شکل و ابتدای مخروط افکنه ها پیش بینی شده اند. این سد ها از طرفی دارای بستر سنگی مناسب برای احداث می باشند و از طرف دیگر دارای ذخیره مناسب آبرفتی در بالادست خود هستند که می تواند آبهای زیرسطحی را به دور از تبخیر و آلودگی ذخیره سازی نماید، البته لزوم انجام مطالعات ژئوفیزیکی در این مناطق انکار ناپذیر است. سد زیرزمینی ۵ از آنجا که بر روی سازه قنات قرار گرفته و در بالادست خود از ذخیره سیلاب توسط سیل بند برخورداریست می تواند نمونه ای از طرح تلفیق سد زیرزمینی، قنات و سیل بند باشد. بنابراین هدف از اجرای این سد انحراف آبهای سرگردان به سمت مجرای قنات می باشد. سد های ۶ و ۷ به همراه سیل بند بالای آن عموماً برای جلوگیری از کاهش کیفیت آب در گذر از سازندهای گچی پیشنهاد می شوند.



شکل (۷): محل های پیشنهادی سیل بند ها و سد زیر زمینی

بنابراین سدهای پیشنهاد شده سه هدف ساخت سد زیرزمینی را تامین می کنند، یعنی هم برای ذخیره سازی آبهای زیرسطحی (سد های ۱، ۲، ۳ و ۴)، هم برای انحراف آبهای سرگردان (سد ۵) و هم برای جلوگیری از آلوده شدن آب با عبور از سازندهای گچی (سدهای ۶ و ۷) کاربرد دارند.



نتیجه‌گیری:

از آنجا که اگر طرح‌های استحصال منابع آب فاقد نگاه جامع باشد کارایی لازم را نخواهند داشت، در این پژوهش سعی شد با نگاهی جامع و کاربردی تلفیقی از سه سازه آبی ارائه شود. از طرفی طرح‌های آبی معمولاً هزینه‌های بسیاری متحمل می‌شوند که در این تحقیق از کم‌هزینه‌ترین روش‌ها استفاده شد. جنوب دشت کاشان منطقه وسیعی است که آبهای سطحی و زیرسطحی و سیلاب‌های فصلی در آن به هدر می‌روند در حالی که با اجرای طرح‌های ذخیره‌سازی می‌توان از آنها استفاده کرد و توان سفره‌های زیرزمینی که در حال نابودی هستند را افزایش داد. با توجه به آبراهه‌ها و قنات‌ها و ویژگی‌های زمین‌شناسی مناطقی به منظور احداث سد زیرزمینی و سیل‌بند پیشنهاد شد. البته موفقیت اجرای طرح منوط به بررسی‌های ژئوفیزیکی برای مطالعه وضعیت سنگ کف و آب زیرسطحی می‌باشد.

نکته قابل توجه آنکه هر یک از سازه‌های آبی به تنهایی نمی‌تواند تاثیر قابل توجهی در ایجاد ذخیره آبی مطمئن داشته باشد، در صورتی که با نگاهی جامع و انجام مطالعات تفصیلی سازه‌های آبی می‌توانند به عنوان مکمل کمبودهای یکدیگر را جبران کنند و در نهایت توسعه پایدار آبی حاصل خواهد شد.

منابع:

۱. امینی‌زاده بزنجانی، م.، لشکری‌پور، غ. و غفوری، م. ۱۳۸۹. متدولوژی پایش سدهای زیرزمینی؛ مطالعه موردی پایش سد زیرزمینی راور کرمان. فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال اول، شماره ۲، زمستان ۱۳۸۹.
۲. حسینی‌زاده آرانی، س.ف.، نیک‌اندیش، ن. و شائمی‌برزکی، ا. ۱۳۹۱. کشاورزی موفق حوضه آبریز دشت کاشان در گرو مدیریت مصرف منابع آب زیرزمینی. همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای، شهرکرد، خرداد ۱۳۹۱.
۳. سلیمانی، س.، نیکودل، م.، ارومیه‌ای، ع. و بهرامی، ح. ۱۳۸۷. مکانیابی گزینه‌های مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی دشت مشهد). سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
۴. صفی‌نژاد، ج. ۱۳۸۲. ویژگی قنات‌های ایران، کتاب ماه هنر، خرداد و تیر ۱۳۸۲.
۵. طیار، ا. و شمسایی، ا. ۱۳۸۵. تحلیل عوامل موثر بر ارتفاع آب در سدهای زیرزمینی و ارائه روشی برای تخمین آن. مجله دانش نوین کشاورزی، سال دوم، شماره ۳، تابستان ۱۳۸۵.
6. Bouwer, H. & Rice, R.C. 1976. A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells: Water Resour. Res., 12(3):423-428.
7. Foster, S., Azevedo, G., & Bal tar, A. 2002. Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence-Brazilian Experience. World bank, GWMate Case Profile Collection, Vol. 5, P. 5.
8. Forzieri, G., Gardenti, M., Caparrini, F. & Castelli, F. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. Physics and Chemistry of the Earth 33(2008) 74-85.
9. Nissen-Petersen, E. 2000. Water from sand rivers: technical handbook. Nairobi, Kenya Relma.