

## مقدمه

سرزمین پهناور جمهوری اسلامی ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته و توزیع نامتوازن جریان‌های سطحی محدودیت‌های عمده‌ای را در امر استفاده بهینه از آب این عنصر حیاتی به وجود آورده است. به علاوه قسمت اعظم این جریان‌ها قبل از این‌که مورد استفاده قرار گیرند، از دسترس خارج شده و به سوی دریا سرازیر می‌شوند. از آن‌جا که تأمین آب همواره نیاز اساسی بشر برای استفاده‌های کشاورزی، صنعتی و شرب بوده است،

لذا مهار سیلاب‌ها و آب‌های جاری از طریق احداث سد، از کارهای اساسی و زیربنایی محسوب و برای نیل به خودکفایی اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۲]. انجام اقدامات حفاظت آب و خاک و آبخیزداری در راستای حذف و یا تقلیل خسارات ناشی از استفاده بی‌رویه از محیط‌زیست از جمله مواردی است که بعضاً از سال‌های پیش آغاز گردیده و اکنون نیز ادامه دارد. لکن ارزیابی تأثیر عملیات آبخیزداری در راستای دستیابی به اهداف طرح‌های مربوطه تاکنون به‌طور علمی و منطقی در ایران کم‌تر مد نظر بوده است [۱۹].

امروزه رشد روزافزون جمعیت، توسعه صنایع مختلف و رونق کشاورزی سبب شده تا منابع آب با شدت بیش‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیامد چنین برخوردی باعث شده است تا آب به کالای گران‌بهای تبدیل شود و نیاز مبرم به منابع آب مطمئن به ضرورتی انکارناپذیر تبدیل شود، از این رو لازم است تا با اتخاذ تدابیر مناسب که عمده‌تاً مبتنی بر مطالعات جامع مدیریت منابع آب در آبخیزها می‌باشند، امکان مدیریت صحیح آبخیزها جهت تأمین منابع آب و توسعه را فراهم ساخت تا از این طریق در کنار حفاظت خاک توان تولید آب و مدیریت منابع آب در سطح حوزه نیز افزایش یابد. با توجه به توسعه صنعتی و افزایش جمعیت نیاز روزافزون به منابع طبیعی، توسعه گردشگری، توسعه منابع آب جهت برطرف نمودن نیاز جدید و مهار آب‌ها به منظور مدیریت صحیح بر هرز آب‌ها ضروری است. هم‌چنین ضرورت توجه به افزایش جمعیت و تهیه منابع آبی و سایر امکانات برای آینده از طریق مدیریت صحیح بر آبخیزها و توسعه پایدار ضروری است. از طرف دیگر هدف اصلی آبخیزداری توجه بیش‌تر به بالادست حوضه‌ها و مدیریت بر روی آبراهه‌های موجود است [۱۸].

آبخیزداری راهکاری مناسب جهت توسعه منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است. کشور ایران بر روی کمر بند

## مروری بر روش‌های احداث سد زیرزمینی به‌عنوان طرح توسعه آبخیزداری

ابوالفضل اسدی<sup>۱\*</sup> و حنیف کازرونی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۱۳

## چکیده

احداث سدهای زیرزمینی یکی از راهکارهای مفید و مؤثر در تأمین آب در مقیاس کوچک و بهبود ذخیره آب زیرزمینی است. این سازه‌ها در اقلیم خشک و نیمه‌خشک برای تأمین آب و مقابله با کم‌آبی و خشک‌سالی در بسیاری از دره‌ها و رودهای فصلی با هزینه کم قابل اجرا هستند. احداث این سدها می‌تواند به بهبود وضعیت آبخوان‌ها و حفظ محیط‌زیست منجر گردد. در این پژوهش روش‌های احداث سد زیرزمینی به‌عنوان طرح بهینه آبخیزداری مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور از مطالعات دفتری و اطلاعات موجود استفاده شده است. بررسی محققان در مناطق مختلف حاکی از این واقعیت است که ذخایر آب زیرزمینی با بحرانی جدی در ارتباط با منابع آب روبرو شده است. از این رو اتخاذ روش‌های اصولی و سیاست‌های صحیح در زمینه حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب و مدیریت این منابع امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. احداث سدهای زیرزمینی در ایران موضوعی نسبتاً جدید است که می‌تواند در اقدامات آبخیزداری مورد استفاده قرار گیرد. اجرای این سازه‌ها می‌تواند باعث جلوگیری از خروج جریان زیرسطحی از حوضه‌های آبخیز گردد.

واژه‌های کلیدی: سد زیرزمینی، آبخیزداری، آبخوان، کم‌آبی، جریان زیرسطحی

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی، مجری طرح پژوهشی دانشگاه دفاع ملی  
Email: asadi086@gmail.com

۲- عضو هیئت‌علمی دانشگاه عالی دفاع ملی

خشک جهان قرار گرفته است و دارای بارندگی کم و در حدود ۴۲۰ میلی متر است که این میزان کم تر از متوسط بارش دنیاست. نوع رژیم بارندگی به صورت رگباری با شدت بالا در مدت کوتاه است، به نحوی که سهم بارش یک سال مناطق مختلف استان هرمزگان عمدتاً ظرف مدت چند روز محدود در طول سال و بعضاً حتی در یک روز و یک بارش رخ می دهد و در بقیه روزهای سال بارندگی وجود ندارد. در استان هرمزگان بیش تر رودخانه ها به صورت فصلی بوده و به علت وجود تشکیلات زمین شناسی آلوده کننده نظیر گنبد های نمکی، بسیاری از رودخانه های دایمی از کیفیت مناسب برخوردار نیست و به همین دلیل با اتکا به آبخوان ها، عمده آب مورد مصرف در بخش های شرب، کشاورزی و صنعت از منابع آب های زیرزمینی استخراج می گردد، لذا بر لزوم تغذیه منابع آب زیرزمینی و تقویت آن می افزاید [۱۴].

افزایش حجم آب قابل استحصال برای تأمین آب اراضی و احداث بندها با کاهش سرعت جریان آب، اثرات مخرب سیلاب های فصلی رودخانه را کاهش داده و با افزایش زمان نفوذ آب سبب تغذیه بهتر آبخوان منطقه شده اند. حجم کم مخازن آب پشت بندهای احداثی اختلالی در تأمین آب مناطق زیردست ایجاد ننموده است، ولی عدم مدیریت صحیح پس از اجرای این عملیات و توسعه بی رویه باغات و اراضی کشاورزی به دلیل سهولت دسترسی به آب، زنگ خطری است که تمامی نتایج مثبت عملیات آبخیزداری را که با صرف هزینه بسیار زیاد اجرا شده را خنثی نموده است [۹].

اجرای سدهای زیرزمینی به لحاظ فنی و اقتصادی بایستی دارای شرایط مشخصی باشد تا پروژه اقتصادی و مقرون به صرفه شود. مثلاً ضخامت آبرفت، عمق و جنس سنگ کف، ابعاد دره، وجود جریان زیرگذر دائمی یا فصلی مناسب، پتانسیل ذخیره آب درون منافذ مخزن آبرفتی و ... از مواردی است که ساخت یک سد زیرزمینی را تجویز می کند. با توجه به این که اجرای سدهای زیرزمینی در ایران موضوعی نسبتاً جدید است، لذا نیازمند یک منطق علمی هماهنگ جهت برنامه ریزی و اولویت بندی تحقیقات مورد نیاز است [۱].

برای این که یک سد زیرزمینی از بازدهی مناسب برخوردار باشد تلفیقی صحیح و بهینه از محل قرارگیری سد و مهندسی سازه سد زیرزمینی لازم است چرا که وجود نقص و اشتباه در تخمین هر یک از دو عامل فوق کارایی سد زیرزمینی به نحو چشمگیری کاهش می یابد. گام اول در احداث یک سد زیرزمینی شناسایی مکان مناسب برای احداث سد است. این مرحله به دلیل این که سود یا زیان پروژه را در بطن خود دارد باید به طور دقیق انجام شود چرا که در صورت انتخاب مکان نامناسب جهت احداث سد زیرزمینی از یک سو هزینه اجرایی طرح افزایش می یابد و از سوی دیگر میزان بازدهی سد زیرزمینی کاهش می یابد [۱].

دایک رسی برای طرح های کوچک در سفره های بسیار نفوذپذیر با عمق محدود مانند رودخانه های شنی مناسب است. به طور کلی، خاک رسی در دسترس بوده و با هزینه کم می تواند به محل پروژه

منتقل شود. اجرا و تراکم لایه های به راحتی انجام می شود. دیواره بتنی یک جایگزین است که نیاز به مهندسین مجرب، کارگران و ماهر دارد. لازم است که از قالب استفاده شود و شن و ماسه در دسترس باشد. سد سنگی دارای ویژگی مشابه با سد بتنی در جنبه نیروی کار است. مزیت استفاده از بتن مسلح این است که مواد بسیار کمی، عمدتاً میلگرد برای رسیدن به یک دیوار بسیار قوی مورد نیاز است. اما این مصالح باید با هزینه و قالب منطقی استفاده شوند [۲].

آجر به طور کلی یا در دسترس است یا ممکن است از خاک رس محلی تولید شود. بسیار ساده است که یک دیوار آجری ساخته و آبیگری شود. معایب دیوار آجری هزینه های نسبتاً بالای آجر و مشکلات پایداری است. پوسته سد زیرزمینی معمولاً برای جلوگیری از ورود آب از منطقه بالادست و تا حدی برای جلوگیری از فرسایش سد در عمقی پایین تر از سطح زمین قرار می گیرد. چاه که آب از آن استخراج می شود ممکن است در مخزن یا به دلایل حفاظت از فرسایش، در داخل رودخانه قرار گیرد. هنگامی که لایه آبخوان با نفوذپذیری کم مد نظر باشد، می توان با ساخت یک مجموعه از چاه های بزرگ با قطر زیاد یا اتاق های جمع آوری، حجم ذخیره سازی کافی برای پمپاژ ایجاد کرد. اگر شرایط توپوگرافی مطلوب باشد، آب مخزن به صورت ثقلی استخراج می شود [۲].

سد زیرزمینی نمی تواند به عنوان یک روش کلی برای تأمین آب مورد توجه قرار گیرد؛ با این حال می تواند به عنوان راه حل جایگزین به کار گرفته شود، زمانی که روش های متداول مناسب و قابل اجرا نباشند. با استفاده از سدهای زیرزمینی برای ذخیره آب، به جای روش های معمول، می توان از مضرات ذخیره سازی معمول، مانند نرخ تبخیر بالا، آلودگی و خطرات بهداشتی اجتناب کرد [۲].

موقعیت مناسب سدهای زیرزمینی نیاز به دانش کامل در مورد شرایط آبی منطقه فعلی دارد. لازم است به منظور تعمیر دادن و استفاده از روش های ژئوفیزیکی ساده استفاده شود. بنابراین در یک مطالعه در مورد سدهای زیرزمینی، رسیدن به راه حل های ساده و مفید بسیار مهم است [۲۱].

انعطاف پذیری بالا در پیدا کردن محل مناسب جهت ساخت سد زیرزمینی؛ به طوری که برخلاف سدهای سطحی و سدهای بزرگ که معمولاً دور از دسترس محل مصرف آب است، می توان سدهای زیرزمینی را در مجاورت مناطق کشاورزی، روستایی و صنعتی بنا کرد [۲۳].

بر خلاف سدهای سطحی که آب را در سطح زمین ذخیره می کنند و باعث به زیر آب رفتن مناطق موجود در مخزن سد می شوند در این نوع از سدها به دلیل ذخیره آب در زیر سطح زمین خسارت مخزن بسیار ناچیز است. در نتیجه مسائل اجتماعی و هزینه های بالای خرید اراضی مخزن از مالکان و معارضان که گاهی بیش از ارزش هزینه ساخت سد است وجود ندارد. به دلیل ذخیره آب در زیر سطح زمین، اکوسیستم منطقه نسبت به حالتی که مخزن در سطح زمین تشکیل می شود کم تر تحت تأثیر قرار می گیرد. و در

نتیجه این گونه سدها فاقد اثرات مخرب زیست محیطی می باشند. ذخیره سازی آب در مخزن زیر زمین به عنوان یکی از مزیت های اصلی است، زیرا تلفات تبخیر برای آب ذخیره شده در زیر زمین بسیار کم تر است. از آنجایی که سد زیر زمین است تقریباً بدون از دست دادن آب به وسیله تبخیر است تبخیر به لایه بالایی مخزن ماسه محدود می شود. هنگام تخلیه آب، تبخیر کاهش می یابد و حتی زمانی که سطح آب به حدود ۶۰ سانتی متر در زیر سطح شن می رسد کاملاً متوقف می شود [۲۳].

عدم کاهش حجم مخزن سد به دلیل رسوب گذاری رودخانه و عمر طولانی تر (رسوب گذاری حتی در سدهای زیرزمینی از نوع ماسه ای یک مزیت محسوب می شود) قابل ترویج در جوامع مختلف و قابلیت اجرا در اکثر آبراهه های فصلی سهولت در اجرا و هزینه کم و امکان مشارکت گسترده مردم در اجرا و بهره برداری از طرح ایجاد منابع و مخازن آبی کوچک تجدیدشونده در سطح حوضه های آبخیز مدیریت منابع آب در زمان های بحرانی از جمله مقابله با تبعات ناشی از خشک سالی احیا، تقویت و مدیریت بر منابع آب زیرزمینی از جمله قنوات و چشمه، جلوگیری از گسترش کویر و کفه های نمکی جلوگیری از خروج آب زیرزمینی با کیفیت مناسب به دریا و کفه های نمکی و تثبیت بستر و حاشیه رودهای فصلی است. علاوه بر این، خطر آلودگی آب ذخیره شده از سطح کاهش می یابد، زیرا انگل ها نمی توانند در آب زیرزمینی رشد کنند. آلودگی آب توسط حشرات و حیوانات نمی تواند رخ دهد زیرا آب در سطح شن و ماسه دیده نمی شود. از خطرات بهداشتی مانند پرورش پشه ها اجتناب می شود [۲۳].

مشکل رانش زمین، که معمولاً با سدهای سطحی مرتبط است، در سدهای زیرزمینی وجود ندارد. سطح زمین را می توان قبل و بعد از ساخت سدهای زیرزمینی استفاده کرد. به طور معمول، رانش در ناحیه مخزن، توسعه سد زیرزمینی با زمین فعلی تداخل ندارد. سد زیرزمینی اثرات اجتماعی کمی دارد (به عنوان مثال، این سازه مستلزم جابجایی ساکنین نیست) و تأثیر آن بر اکوسیستم نیز کم است [۲۳]. این فناوری به دلایل مختلفی از سوی جامعه مورد ارزیابی قرار می گیرد: ظرفیت چاه های سنتی را افزایش می دهد، ساخت و بهره برداری از آن به راحتی و با صرفه است. علاوه بر این، باعث آلودگی کم تر آب می شود و دسترسی موقت به آب باعث جلوگیری از جذب دائم سکونت انسان است. تعمیر و نگهداری ساده است و هزینه های ساخت و ساز نسبتاً کم است [۲۳].

در مکان یابی سدهای زیرزمینی، وجود جریان زیرسطحی کافی به عنوان اولین شرط، مطرح می باشد. مشاهده گیاهان آب دوست نظیر تاغ و گز در آبراهه ها نشانگر وجود آب در عمق های نسبتاً کم است، و می تواند به عنوان یک راهنما مورد استفاده قرار گیرد. حجم این جریانات معمولاً تابع نزولات جوی حوضه آبخیز بالادست می باشد. از دیگر شرایط لازم، وجود لایه غیرقابل نفوذ به عنوان کف و دیواره های مخزن و همچنین پی و جناحین دیواره سد است.

سد زیرزمینی باید در محلی ساخته شود که در بالادست آن لایه آبرفت درشت دانه با نفوذپذیری و ضریب ذخیره ویژه بالا وجود داشته باشد، تا بتواند به عنوان یک منبع آب زیرزمینی عمل کند. خاک سخت دارای درز و ترک کافی، در صورتی که امکان فرار آب از آن وجود نداشته باشد، نیز مناسب است. با توجه به این که هزینه اجرایی سد با افزایش ارتفاع آن به طور تصاعدی افزایش می یابد، وجود سنگ کف محل سد در عمق حدود ۲۰ متر یا کم تر، توجیه اقتصادی سد را ساده می نماید. در ژاپن سدهای زیرزمینی تا عمق ۲۵ متری نیز گزارش شده است. در عین حال، حداکثر ارتفاع سد که از نظر اقتصادی توجیه پذیر است، تابع حجم مخزنی است که در پشت آن ایجاد می شود. طول سد نیز، همانند سدهای رایج سطحی، عاملی است که در توجیه اقتصادی پروژه نقش به سزایی ایفا می نماید. از جمله نقاطی که می توان شرایط مکانی مناسب را پیدا نمود، دشت های میان کوهی هستند. این شرایط باعث کاهش ابعاد سد شده و نسبت "حجم مخزن به سطح سد" را به میزان قابل توجهی افزایش می دهند، به نحوی که با یک سد زیرزمینی کم هزینه در محل گلوگاه، می توان کلیه جریانات زیرسطحی را در آبرفت (مخزن) ذخیره نمود [۱۵]. به جز ضوابط فنی فوق، معیارهای نظیر؛ هزینه آب بندی تکیه گاه ها و کف در صورت نیاز، دسترسی به مصالح مورد نیاز، بهداشت آب ورودی و ذخیره شده، فاصله محل سد تا محل بهره برداری، توپوگرافی مسیر انتقال آب و هزینه انتقال در مکان یابی سدهای زیرزمینی مطرح هستند [۱۵].

#### مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در ارتباط با اثر اجرای سدها بر منابع آبی، تاکنون مطالعات بسیاری صورت گرفته است. غضنفر پور و دهدشتی زاده [۷] به مطالعه تأثیر طرح های آبخیزداری بر روند تغییرات سطح آب های زیرزمینی دشت اردستان (اصفهان) پرداختند. نتایج نشان دهنده روند نزولی سطح تراز آب چاه ها در طول دوره آماری مورد بررسی بوده است، به استثنای پیژومتهایی که در محدوده پروژه های آبخیزداری واقع می باشند که اثر آبخیزداری طرح ها در افزایش تراز آب این چاه ها قابل مشاهده است. رضایی عارفی [۱۹] اثر آبخیزداری بر کنترل سیلاب و تغذیه آب های زیرزمینی را مطالعه کرد. نتایج مطالعات نشان داد اقدامات آبخیزداری در حوضه آبریز بند قراء باعث کنترل سیلاب، تغذیه آب های زیرزمینی، کاهش گل آلودگی آب ها و در نهایت باعث افزایش میزان محصولات کشاورزی در منطقه شده است. شفقتی و همکاران [۲۰] به معرفی اجمالی تعدادی از سازه ها و روش های سنتی آبخیزداری به عنوان یکی از الگوهای دانش بومی آبخیزداری در استان هرمزگان پرداختند. ایشیدا و همکاران [۱۰] استفاده پایدار از آب های زیرزمینی را با استفاده از سد زیرزمینی مورد مطالعه قرار دادند. آن ها مبانی مربوط به سدهای زیرزمینی، ساخت سدهای زیرزمینی در سراسر جهان و مشکلات مربوط به استفاده پایدار از آب های زیرزمینی را بررسی کردند.

متین ایلماز [۲۱] اثرات جداگانه عواملی مانند چاه‌ها و دیواره سد و اثرات ترکیبی آن‌ها را مورد بحث قرار داد. امین زاده و قاسمی [۳] شناسایی مکان مناسب جهت ساختمان سدهای زیرزمینی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها سد زیرزمینی را به عنوان یک راه برای مسائل مهم و قابل توجه در حفاظت و نگهداری منابع آب در سراسر جهان پیشنهاد کردند. از مواد تزریقی برای متوقف کردن جریان در آبخوان‌های بزرگ یا عمیق در شمال آفریقا و ژاپن و برای محافظت از آب شیرین از آلودگی در اروپا و ایالات متحده آمریکا استفاده شده است. همچنین مطالعات دیگری در مورد سدها در زیر زمین توسط در هند مربوط به طراحی مناسب و ساخت سد وجود دارد [۲۱].

کردی و فرامرزی [۱۲] مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب ایران در مهران استان ایلام را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها پس از بررسی پیشینه‌ی تحقیق و اصلاح برخی اطلاعات پایه، لایه‌های مختلف را با استفاده از تکنیک GIS تلفیق کردند تا بتوان مناطق دارای پتانسیل برای این سازه در منطقه مورد مطالعه را مشخص کرد. این لایه‌ها شامل گسل، شیب، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بارش، دما و کاربری اراضی بودند. از تصاویر ماهواره‌ای IRS مربوط به سال ۲۰۰۷ برای تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی و کاربری اراضی با مقیاس مشخص و تعیین محل‌های مناسب سدها بهره گرفتند. سپس با بازدیدها و پیمایش‌های متعدد صحرایی و بر اساس نظرات کارشناسی به روش AHP، ۱۴ مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی در این منطقه انتخاب کردند. اجل لوثیان و کثیری [۲] به ارزیابی سازندهای رسوبی ساختگاه سد دره سمیرم با تأکید بر نشت آب از پی سد پرداختند. آن‌ها مطالعات وسیعی جهت تعیین مقدار نفوذپذیری توده سنگ‌های ساختگاه سد و روش‌های آب‌بندی آن انجام دادند.

حسنلوراد و صرافی یگانه [۸] به بررسی قابلیت تزریق پذیری خاک ماسه‌ای با دوغاب شیمیایی سیلیکات سدیم پرداختند. کراری و اجل لوثیان [۱۱] به بررسی راهکار اجرایی تزریق در سد با استفاده از لوزان و شاخص نفوذپذیری ثانویه پرداختند. آن‌ها برنامه‌ای بر اساس اطلاعات موجود در مورد طراحی تزریق ارائه کردند. زراآبادی و اردکانی [۲۴] به بررسی آزمایشگاهی ارتباط بین ویسکوزیته و تزریق پذیری دوغاب در خاک‌های ماسه‌ای سیلتی پرداختند. نوری و ضیایی مؤید [۱۶] تغییرات نفوذپذیری ماسه با دوغاب بتونیت را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها عنوان کردند که برای استفاده از خواص مهندسی خاک مناسب در خاک دانه ای، استفاده از دوغاب بتونیتی متمرکز مناسب است.

ذولانوار و احمدی [۲۵] روشی برای طراحی و اجرای بدنه سد زیرزمینی با استفاده از بتن پلاستیک پیشنهاد کردند. آن‌ها عنوان کردند که مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین قسمت سد زیرزمینی، بدنه آن است. مهم‌ترین عوامل در طراحی بدنه سد زیرزمینی با عمق زیاد نفوذناپذیری، شکل‌پذیری، استحکام، پایداری و هزینه نسبت به

اثر بخشی سد است. بتن پلاستیک دارای نفوذپذیری کم و پلاستیسیته زیاد است. مواد حاصل از حفاری را می‌توان به عنوان پرکننده استفاده نمود و به همین دلیل این بتن ارزان تمام می‌شود.

پاسبانی و علی قربانی [۱۷] اثرات میکروسلیکا بر نفوذپذیری بتن پلاستیک را مطالعه کردند. آن‌ها عنوان کردند که کنترل نشت و نفوذ آب از ملاحظات مهم در طراحی و ساخت سدها است. یان و همکارانش [۲۲] ساخت دیواره آب‌بند با بتن پلاستیک برای سد جدید کوکتلم را بررسی کردند. آن‌ها جنبه‌های طراحی و ساخت دیوار آب‌بند با بتن پلاستیک را مورد بحث قرار دادند. آن‌ها عنوان کردند که باید معیارهای طراحی بتن پلاستیک به درستی قبل از ساخت و ساز مد نظر قرار گیرد. و اطمینان حاصل شود که دیوار آب‌بند بتن پلاستیک بر اساس الزامات طراحی ساخته شده است. همچنین در طراحی باید نفوذپذیری بتن پلاستیک در اولویت قرار گیرد.

به‌طور کلی نتایج کار این محققین نشان می‌دهد که یکی از راه‌های مفید در تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف در این مناطق و مقابله با بحران خشک‌سالی، کمک به افزایش ذخایر آب زیرزمینی است. در مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد سدهای زیرزمینی نسبت به سدهای سطحی ارجحیت دارد. احداث سد زیرزمینی و استفاده از رواناب سطحی به‌منظور تأمین آب مورد نیاز در مناطق خشک از جمله راهکارهای مناسب تأمین و توسعه منابع آب است. این سدها در مقایسه با سایر روش‌های ذخیره آب کم‌ترین مسائل زیست محیطی را ایجاد می‌کنند.

#### روش تحقیق

در این بررسی به روش کتابخانه‌ای پس از مطالعات جامع در خصوص مفاهیم سدهای زیرزمینی و طرح‌های آبخیزداری در حوزه انواع روش‌های اجرای سدهای زیرزمینی بررسی شده است، جامعه آماری این تحقیق روش‌های ساخت سد زیرزمینی است. اطلاعات از طریق منابع رسمی، مقالات و کتب معتبر علمی از جمله مراکز علمی و تحقیقاتی اخذ و مورد مطالعه قرار گرفته است. اطلاعات مورد نیاز راهکارهای فناورانه از طریق مطالعه منابع اطلاعاتی و مراجع علمی صورت پذیرفت.

#### روش‌های معمول ساخت سدهای زیرزمینی

آب‌بندی مهم‌ترین نکته‌ای که در مرحله اجرا باید رعایت گردد، لذا باید در اتصال سد به لایه غیرقابل نفوذ دو طرف و کف دقت شود. به‌طور کلی آب‌بندی محل اتصال تابع روش اجرایی آن است. در صورت استفاده از روش‌های تزریق و پرده آب‌بند، ضوابط مطابق استاندارد است که در مورد پی سدهای سطحی اجرا می‌شود. در سایر روش‌های اجرایی، که مبتنی بر استفاده از مصالح ساختمانی از قبیل بتن، هسته خاکی، سنگ-سیمان و یا آجر-سیمان به همراه پلاستر عایق آب، ژئوممبرین و ..... هستند. آب‌بندی محل اتصال،

مطابق دستورالعمل هسته سدهای خاکی است، و لازم است که سد مقداری در داخل لایه غیرقابل نفوذ پیش روی داشته باشد. آب بندی بدنه سد نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. با توجه به سه پارامتر منابع قرضه موجود در منطقه، هزینه های مصرفی و سهولت انجام کار تعیین می شود هر چند از مواد ساختمانی مختلفی برای احداث می شود استفاده کرد و تنها احتیاج به آب بند کردن دیواره های سد است [۲۱].

اولین اقدام در احداث سد حفر گودالی عمود بر راه زهکشی یا بستر رودخانه است که به علت عمق کم عملیات اجرایی آن توسط نیروی انسانی انجام می شود. در آبرفت های ماسه ای خشک با خاصیت چسبندگی کم و مناطق شنی به علت ناپایداری شیب ها امکان فروریزی دیواره ترانشه ها وجود دارد و حفاری را با مشکل مواجه می کند با این وجود آبرفت های ماسه ای برای مکان سد مطلوب هستند چون سطح آب زیرزمینی به راحتی در آن ها دیده می شود، با این حال با پمپ کردن سطح آب را پایین نگه می دارند. معمولاً زمان احداث سدهای زیرزمینی در پایان فصل خشک است که سطح آب زیرزمینی پایین است و عملیات اجرایی با سهولت بیش تری همراه خواهد بود [۲۱].

### ساخت سدهای زیرزمینی با خاک رس

استفاده از رس، روش مرسوم است که احتیاجی به نیروی انسانی ماهر ندارد. رس در لایه هایی با ضخامت کم ریخته و سپس متراکم می شود. به علت جریان آبی زیرزمینی احتمال فرسایش سطح رس وجود دارد به همین خاطر برای محافظت دیواره از ورقه های پلاستیکی استفاده می شود. عملیات پر کردن ترانشه توسط وسایل متراکم کننده و با رطوبت مناسب انجام می شود. اگر ذخیره آب زیرزمینی در فصول خشک کاهش یابد امکان توسعه درز و ترک در سد وجود دارد، به همین خاطر با احداث دیواره با ضخامت مناسب جهت نگهداری رطوبت در منطقه هسته حتی در دوره های خشک طولانی می توان از این مسئله جلوگیری کرد [۱۳].

سد زیرزمینی با مصالح خاکی توسط راه آهن تانگانیکا در دهه ۱۹۱۰ ساخته شده است. شرکت مشاور ASAL با انجام بیش از دوازده دوره آموزشی، ساخت این طرح را از سال ۱۹۹۰ انجام داده است. این سد زیرزمینی با ۲۴ متر طول از مصالح خاکی به ارتفاع ۲٫۳ متر تا ارتفاع ۰٫۴ متر زیر سطح زمین ساخته شده است. ظرفیت مخزن آن ۲۷٫۶۰۰ متر مکعب شن و ماسه با ظرفیت ذخیره سازی آب ۸٫۳۰۰ متر مکعب در تپه های کتیو ساخته شده است. سد در سال ۲۰۰۵ ساخته شد، به مدت پنج روز ۱۶۰۰۰ لیتر آب در ساعت (۸۰ متر مکعب آب در روز) بازدهی داشت [۱۳].

### ساخت سدهای زیرزمینی با بتن

بیش از ۴۰ سد زیرزمینی بتن در کاراموجا تا سال ۲۰۰۹ ساخته شده است. این گونه سدها با دیوارهای به عرض یک متر بر روی

سنگ و یا بستر خاک نفوذناپذیر ساخته شده است. اگر دیوارهای سد از خاک یا دایک های زیرزمینی ساخته شود هزینه ساخت و ساز ممکن است تا ۴/۵ کاهش یابد. جوامع محلی می دانند که آب در شن های نزدیک گونه های درختان در حال رشد در بستر رودخانه وجود دارد، زیرا این درختان فقط می توانند در حالتی رشد کنند که آب زیرزمینی در تمام طول سال ها وجود دارد. هزینه ساخت و ساز سدهای زیرزمینی و همچنین سدهای شن و ماسه با استفاده از دایک های طبیعی برای پی آن ها کاهش می یابد [۱۳].

### ساخت سدهای زیرزمینی با ورقه های سیلندری

ورقه های سیلندری را می توان در یک دره رودخانه ای و آبگیر قرار داده و بر روی یک دایک طبیعی قرار داد. جنس ورقه ممکن است یک ماده ارزان تر از خاک باشد که در محل احداث در دسترس نیست [۲۱]. با توجه به سه طرح فوق می توان اشاره کرد، دیوارهای سد باید بر روی بخش بالای دایک نفوذناپذیر در زیر کف ماسه ساخته شوند تا ظرفیت ذخیره سازی آب برای حداقل هزینه های ساخت و ساز ایجاد شود [۲۱].

توضیح آبی زمین شناسی برای آب موجود در "رودهای خشک" به علت اصل اساسی زیر است: "فضای بین ذرات شن و ماسه با نفوذ ثقلی آب سیلاب های فصلی خشک می شود. با این حال، در صورتی که یک رسوب طبیعی در کف زیر شن و ماسه جریان آب زیرزمینی را متوقف کند، به صورت طبیعی یک سد زیرزمینی ایجاد می شود [۲۱]. بستر این دره ها هزاران سال قبل بر اثر فرسایش آب در پایین ترین بخش یک ناحیه ایجاد شده است. آب و باد باعث فرسایش بخش نرم تر خاک می شود در حالی که خاک سخت تر به عنوان بندی در مقابل فرسایش عمل می کند و بعدها در اثر سیلاب از شن و ماسه انباشته می شود. این دره ها امروزه به نام رودهای خشک، رودهای شنی و رودهای طولانی مدت شناخته می شود [۲۱]. برای صدها هزار سال، حیوانات مختلف برای تأمین آب از رودهای استفاده می کردند. افرادی که در مناطق خشک و نیمه خشک زندگی می کنند از حیوانات یاد می گیرند. حتی آب های رودها امروز منبع تأمین آب برای میلیون ها نفر هستند [۲۱]. در این روش از یک هسته پلاستیکی برای آب بند کردن استفاده می شود که نوع پلاستیک آن معمولاً پلی اتیلن است و تا جایی که به هزینه ای مواد مربوط می شود. کم هزینه ترین روش است. هنگامی که از این روش استفاده می شود. باید توجه داشت که باید از مصالحی مانند گل ولای برای اندود کردن دو طرف ورقه استفاده شود تا از ایجاد سوراخ توسط سنگ های تیز جلوگیری به عمل آید. همچنین برای محافظت در برابر اثرات انبساط و انقباض باید تغییرات دمایی را مورد توجه قرار داد [۲۱].

### استفاده از تزریق دوغاب برای احداث سد زیرزمینی

تزریق به عنوان یک تکنیک مناسب جهت افزایش مقاومت و



کاهش نفوذپذیری خاک امروزه به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. برای جلوگیری از نفوذ و هدررفت جریان آب در سدهای زیرزمینی می‌توان از فرایند تزریق در خاک‌های نفوذپذیر و سنگ استفاده کرد. تزریق نفوذی شامل تزریق دوغاب به منافذ و ترک‌های خاک و سنگ جهت افزایش مقاومت باربری، کاهش نفوذپذیری و کاهش تغییر شکل‌های نامطلوب است. پدیده‌هایی چون شکست هیدرولیکی، آب شستگی، میزان نفوذپذیری و... در فرایند تزریق اثر زیادی دارند. مصالح تزریقی متنوع‌اند و می‌توانند ترکیبی از سیمان، سیمان و خاک یا مواد شیمیایی باشند. انتخاب نوع دوغاب به تخلخل و ساختار زمین‌شناسی، سرعت جریان آب و مقاومت فشاری نهایی بخش‌های تزریق‌شده بستگی دارد و عملیات تزریق دارای پیچیدگی خاصی است. میزان نفوذپذیری و از طرفی نیاز خاک مورد نظر به مقدار مورد نیاز جهت تحکیم نیازمند آزمایش‌های زمین‌شناسی زیر نظر مهندس طراح ژئوتکنیک دارد. فرایند تزریق تابع طراحی صورت گرفته با توجه به نوع خاک آن منطقه و پارامترهای خاص تزریق برای نوع کاربری و خاک مورد نظر است. استفاده از تزریق، می‌تواند یک روش مناسب برای کاهش نفوذپذیری خاک در سدهای زیرزمینی باشد. از روش تزریق می‌توان به ویژه برای کاهش نفوذپذیر کف مخزن سدهای زیرزمینی یا سنگ متخلخل بستر مخزن ذخیره سد زیرزمینی استفاده کرد [۴].

تزریق یکی از تکنیک‌های مؤثر جهت تحکیم و بهبود خواص خاک است که در سال‌های اخیر توسعه زیادی یافته است. تزریق تراکمی، تزریق نفوذی و تزریق با فشار بالا روش‌های متداول تزریق هستند. تزریق نفوذی شامل تزریق دوغاب به منافذ و ترک‌های خاک و سنگ جهت افزایش مقاومت باربری، کاهش نفوذپذیری و کاهش تغییر شکل‌های نامطلوب است. مصالح مختلفی جهت تزریق با توجه به هدف عملیات تزریق و خواص خاک و سنگ تزریق شده استفاده می‌گردند که می‌توان به انواع دوغاب‌های سیمانی، محلول‌های شیمیایی، رزین‌ها، محلول‌های فیری و فوم مصنوعی اشاره کرد. در خاک‌های ماسه‌ای استفاده از سیمان ریزدانه به علت قطر کوچک مصالح آن و با توجه به خطرات زیست‌محیطی دوغاب‌های شیمیایی بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است. پارامترهای متعددی در تزریق پذیری دوغاب‌های سیمان ریزدانه در خاک و همچنین پارامترهای مقاومتی ماسه تزریق‌شده موثرند. مهم‌ترین آن‌ها شامل دانه‌بندی ذرات خاک و دوغاب‌های سیمانی، تراکم نسبی خاک، درصد ریزدانه، نسبت آب به سیمان، فشار تزریق و همچنین فشار سربار خاک است. در تحقیق اخیر اثر فشار تزریق بر روی تزریق پذیری دوغاب‌های سیمان ریزدانه در ماسه و همچنین اثر آن در افزایش مقاومت ماسه تزریق شده در یک مدل آزمایشگاهی سه بعدی و بزرگ مقیاس بررسی شده است [۴].

در تزریق نفوذی، ملات تزریق به داخل فضاها و خالی و حفرات خاک تزریق می‌گردد. از این تکنیک، برای کنترل جریان آب به داخل تونل و یا بهبود ساختار خاک، استفاده می‌شود. این نوع

تزریق، قدیمی‌ترین نوع روش‌های تزریق بوده و جزء متداول‌ترین نوع تزریق‌های به‌کاررفته، نیز به شمار می‌آید. یک مخلوط سیمانی تزریق، نوعاً از سیمان، بتونیت، و آب تشکیل می‌یابد. هنگامی که عملیات تزریق در شن یا شن ماسه‌ای درشت‌دانه، انجام می‌گیرد، عموماً برای کاهش هزینه تأمین مصالح، از فیلرهایی نظیر خاکستر آتشفشانی و ماسه دانه ریز، استفاده می‌شود. سیمان پورتلند تیپ ۱ و ۲ بیشترین استفاده را در ملات‌های تزریق دارا می‌باشند. سیمان پورتلند زودگیر تیپ ۳ و سیمان فوق‌العاده دانه ریز، برای تزریق خاک‌های دانه ریز مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طور که اشاره خواهد شد گستره زیادی از دوغاب‌های تزریق در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸ و ۱۱].

این تزریق مانند تزریق نفوذی در سنگ و سازه که ترک‌ها، درزه‌ها و به طور کلی عیوب سنگ و سازه و مصالح بنایی را پر می‌کند حفرات خاک‌ها و سنگ دانه‌ها و جاهای خالی لایه‌های خاک را پر می‌کند. هدف این نوع تزریق پر کردن فضای حفرات بدون هیچ‌گونه جابه‌جایی در ساختار و تغییری در پیکربندی حفره‌ها یا حجم است. هدف از این نوع تزریق بالا بردن مقاومت اولیه، جلوگیری از جریان آب یا ترکیبی از این دو است که سازوکار عمل آن جاذبه بین ذرات و سیماناسیون خاک است. تزریق نفوذی تنها نوع تزریق است که استفاده آن در همه انواع لایه‌ها وجود دارد. تزریق در توده‌های سنگی جهت کاهش نفوذپذیری و تحکیم ساختگاه سد از امور مهم در صنعت سدسازی است. جهت انجام عملیات تزریق به برنامه‌ای جامع و مبتنی بر مشخصات زمین‌شناسی مهندسی توده سنگ مورد نیاز است. در عملیات تزریق با داشتن پارامترهای مورد نیاز می‌توان در هزینه و زمان اجرای پروژه صرفه‌جویی نمود. بر این اساس با ارائه یک طرح مشخص برای عملیات تزریق می‌توان این اهداف را تأمین نمود [۸ و ۱۱].

#### استفاده از بتن پلاستیک برای ساخت دیواره سدهای زیرزمینی

سد زیرزمینی به‌منظور جمع‌آوری و ذخیره سازی آب در زمین‌های آبرفتی که ترکیبی از شن و ماسه بوده و دارای سفره آبداری با ضخامت زیاد باشد، احداث می‌شود. مهم‌ترین و پر هزینه‌ترین قسمت سد زیرزمینی، بدنه آن است. مهم‌ترین عوامل در طراحی بدنه سد زیرزمینی با عمق زیاد نفوذناپذیری، شکل‌پذیری، استحکام، پایداری و هزینه نسبت به اثربخشی سد است. بتن پلاستیک دارای نفوذپذیری کم و پلاستیسیته زیاد است. بتن پلاستیک که از انواع بتن‌های خاص است شامل شن و ماسه، سیمان، آب و بتونیت با نسبت آب به سیمان بالا جهت تولید یک ماده نرم و شکل‌پذیر است. این نوع بتن برای ساخت دیوار جهت کنترل تراوش در پی نفوذپذیر سدها و نیز ایزوله کردن مکان‌های آلوده یا محل‌های نگهداری زباله‌های سمی استفاده می‌شود. یک دیوار آب‌بند از جنس بتن پلاستیک همانند یک سد برای متوقف کردن یا کاهش جریان آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیوارهای آب‌بند بتن پلاستیک یکی از ابزارهای موثر

برای کنترل نفوذ آب در سدهایی است که بر روی بستر نفوذپذیر ساخته می‌شوند. یک عامل مهم کاربرد بتن پلاستیک در این زمینه، مقاومت کافی در برابر بارهای طراحی و نفوذپذیری کافی برای بر آورده شدن نیازهای نشست آب است [۵]. بتن پلاستیک دارای مقاومتی بسیار کم‌تر از بتن معمولی، شکل‌پذیری زیاد و نفوذپذیری پایین است. در زمین‌های آبرفتی با خاک ضعیف که لازم است دیوار آب‌بند انعطاف‌پذیر باشد و نیز مقاومت کافی جهت تحمل تنش‌های ناشی از بارگذاری سد را داشته و هم‌چنین تراوش از زیر پی سد را کنترل کند بتن پلاستیک مصالح مناسبی است [۵]. یکی از روش‌های موثر در آب‌بندی دیواره سدهای زیرزمینی احداث شده بر روی بستر آبرفتی نفوذپذیر استفاده از دیوار آب‌بند بتن پلاستیک است [۵].

دیوارهای بتن‌های پلاستیک، مدول ارتجاعی پایین و شکل‌پذیری زیاد جهت سازگاری در عملکرد با پی و درعین حال تغییر شکل تحت بارهای وارده بدون ترک‌خوردگی از الزامات است. هم‌چنین لازم است بتن پلاستیک دارای مقاومت کافی جهت تحمل بارهای وارده و نفوذپذیری کم جهت حفظ آب‌بندی سد باشد. استفاده از آن به علت سادگی تکنیک اجرا و وفور نسبی مصالح بتن پلاستیک و عملکرد مناسب آن، به سرعت در حال گسترش است [۲۵].

تجربه نشان داده است که نشست آب و فرسایش درون دیواره و پی سدهای خاکی از دلایل اصلی بسیاری از مشکلات و ناکامی‌ها در سدها است. برای کاهش این مشکلات، دیوار آب‌بند پلاستیکی استفاده می‌شود. یک دیوار آب‌بند باید به بارگذاری زلزله مقاوم باشد. این به این معنی است که دیوار به اندازه کافی شکل‌پذیر است. بتن پلاستیکی می‌تواند یک ماده مناسب برای ایجاد چنین شکل‌پذیری باشد [۶].

### تحلیل یافته‌ها

بر اساس مطالعات انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که سدهای زیرزمینی به شکل‌های گوناگونی که به شرایط محیطی، اقتصادی، فنی و نوع بهره‌برداری بستگی دارد، طراحی و اجرا می‌شوند. سدهای زیرزمینی بایستی دارای طرحی باشد که سیستم جمع‌آوری آب کاملاً توسعه یافته باشد و شرایط زهکشی سریع به درون چاه را فراهم کند. در جوامع سنتی و پروژه‌های کوچک ترکیبی از سدهای زیرزمینی ساخته‌شده از ورقه‌های سیلندری و خاک رس بهینه است، زیرا کار ساخت و ساز فقط چندین هفته نیاز به کار دستی دارد (منوط به وجود خاک رس در نزدیکی محل احداث). در نواحی بزرگ، سد با ذخیره زیاد ساخته‌شده از خاک یا سیلندر توصیه می‌شود، در این شرایط استفاده از دیوارهای آب‌بند بتن پلاستیکی برای آب‌بندی دیواره سدهای زیرزمینی زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد که گرادیان هیدرولیکی و ارتفاع سد زیاد بوده و به مصالحی با مقاومت کافی در برابر فرسایش و دوام کافی نیازمندیم. هم‌چنین از چنین دیوارهایی انتظار می‌رود که قابلیت تغییر شکل‌پذیری بالایی داشته باشند تا کرنش‌های تحمیلی از طرف پی به این دیوارها تحت بارگذاری‌های

سد و شرایط مختلف هیدرولیکی را بدون وقوع ترک تحمل کنند. مقدار حجم ذخیره آب یکی از پارامترهای تعیین‌کننده در انتخاب روش اجرای دیواره سد زیرزمینی است و نیز مقایسه اقتصادی خود فاکتوری در انتخاب نوع دیواره است. برای حجم مخزن و اندازه دیواره بزرگ استفاده از تزریق دوغاب یا بتن پلاستیک مؤثر است و استفاده از چاه با دبی زیاد برای استحصال آب توصیه می‌شود. توجه به نکات زیر برای انتخاب سد زیرزمینی به‌عنوان طرح توسعه آب‌خیزداری ضروری است.

- چاه‌هایی که افراد حداقل یک ماه یا بیش‌تر پس از فصل بارانی بتوانند از آن آب را جمع کنند، نشان‌دهنده آب زیرزمینی طبیعی و آبخوان‌ها هستند.
- چاه‌ها موانع طبیعی موجود در مقابل حرکت آب زیرزمینی را نشان می‌دهند. چاه‌هایی که در طول فصل خشک، خشک می‌شوند مکان‌های خوبی برای سد محسوب می‌شوند. چاه‌هایی "مرطوب" در حال حاضر آب را برای یک سال فراهم می‌کنند. این اطلاعات از مردم محلی به دست می‌آید.
- گونه‌های گیاهی خاص که می‌توانند سطح آب را نشان دهند مورد بررسی قرار می‌گیرند.
- گرادیان و شارژ به‌عنوان نشان‌دهنده حجم مخزن استفاده می‌شود. گرادیان کوچک‌تر یک مخزن بزرگ‌تر ایجاد می‌کند؛ شارژ بیش‌تر باعث افزایش حجم مخزن نیز خواهد شد. عمق سنگ‌ها در بالا از جریان محل سد اندازه‌گیری می‌شود: سنگ عمیق‌تر، حجم مخزن بزرگ‌تر است.
- مخازنی که سطح آب آن‌ها در عمق حداقل ۱/۵ متر قرار دارد ساخت سد زیرزمینی بزرگ در آن توصیه می‌شود، اگر این مخازن در دسترس نبودند، و گونه‌های گیاهی یا چاه‌ها نشان‌دهنده حضور آب را نشان دهند، سدهای زیرزمینی می‌تواند ساخته شود.
- موقعیت دیواره سد با یک پی سنگی مشخص می‌شود. سنگ بستر پی نباید متخلخل باشد.
- مواد محلی برای ساخت‌وساز باید به راحتی در دسترس و در تعداد خوب باشد. سطوح خاک رس یا موریانه باید حضورداشته باشند. آب مورد نیاز برای ساخت‌وساز باید در حداکثر شعاع یک کیلومتر در دسترس باشد.
- یک مانع طبیعی می‌تواند به‌عنوان پی برای سد استفاده شود. نکته: هنگامی که سنگ نفوذناپذیر باشد نیز خطرات فرسایش وجود دارد. چاه‌های بالادستی که پس از فصل بارانی خشک می‌شوند، می‌تواند ناشی از آن باشد.
- باید جریان به اندازه کافی وجود داشته باشد.
- رودخانه باید در زمان‌های مختلف تغذیه شود.
- محل مورد نظر باید در اختیار متقاضیان قرار گیرد و باید حداقل فاصله معینی از جاده اصلی داشته باشد.
- حداقل جمعیت محل برای احداث سد به دو دلیل؛ نیروی کار کافی در دسترس و تعداد افرادی که از سد بهره‌مند شوند باید

underground dams). Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 36(3), pp.2670-2685.

4. Asadi, A., Hassanloo, H. and Kazeroni, H., 2019. Investigation of the Use of Grout Injection for Underground Dam Construction. 3rd International Conference on Structural Engineering and Construction Management Sharif University of Technology. <https://www.civilica.com/Paper-SECM03-SECM03-006.html> (In Persian).

5. Asadi, A., Hassanloo, H. and Kazeroni, H., 2019. Investigation of the Use of Plastic Concrete for the Construction of Underground Dams Wall. 3rd International Conference on Structural Engineering and Construction Management Sharif University of Technology. <https://www.civilica.com/Paper-SECM03-SECM03-003.html> (In Persian).

6. Ghazavi, M., Safarzadeh, Z. and Hashemolhoseini, H., 2004, August. Response of plastic concrete cut-off walls in earth dams to seismic loading using finite element methods. In 13th World conference on earthquake engineering, Vancouver, BC, Canada, Paper (No. 2961).

7. Ghazanfarpour, N. and Dehdashtizadeh, M., 2007. The Influence of Watershed Management Plans on the Process of Groundwater Level Changes in the Ardestan Plain, Fourth National Conference on Watershed Management Science and Engineering, Karaj, Department of Natural Resources, University of Tehran. (In Persian).

8. Hasanlurad, M. and Sarrafi yeganeh, A., 2013. Evaluation of Injectionability of Sand Soil with Chemical Silicate of Sodium Silicate. Amir Kabir Civil Engineering. Volume: 45, Issue: 2, Page: 41-48. (In Persian).

9. Heidari, F., Sabouhi, R., Shafiei, A. and Parsadoust, F., 2017. Investigation of the Effect of Watershed Management on the Quantitative and Qualitative Changes of Groundwater Resources in Watersheds (Study of the Budajan Dehaghan Watershed, Second National Conference on Hydrology, Shahrekord, Iran-Iranian Hydrology Association. (In Persian).

10. Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S. and Imaizumi, M., 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. Japan agricultural research quarterly: JARQ, 45(1), pp.51-61.

11. Karari, S. and Agalluian, R., 2016. Investigating the Executive Approach to Injection in Dam Using Logan and Secondary Permeability Index. Journal of Advanced Applied Geology. No. 21. (In Persian)

12. Kordi, R. and Faramarzi, M., 2016. Locating underground dams in arid and semi-arid regions of western Iran. Seventh Watershed Management Journal. No. 13. (In Persian).

13. Mansouri, M. and Komakpanah, A., 1995. Investigation and preparation of practical guide for use of plastic concrete in dam seal curtain. Master thesis. Trabiati Modares University. (In Persian).

14. Moslemi, H., chupani, S. and Darwishi, R., 2018. Watershed Management Appropriate Solution for Groundwater Resources Development in Arid and Semi-Arid Areas of Iran (Case Study: Lavr Earth Dam - Hormozgan Province). Irrigation Science and Engineering. 133-119, (2) 41. (In Persian).

15. Petersen, E.N., 2013. Technical Handbooks: Subsurface dams for water storage in dry riverbeds. ASAL Consultant Ltd, Nairobi, Kenya.

16. Noori, A., Ziaie Moayed, R. and Hassanlourad, M., 2017. Permeability of Sand with Bentonite Slurry. Journal of Engineering Geology, 11(2), pp.299-318.

17. Khiavi, M.P. and Ghorbani, M.A., 2014. Effects of micro silica

مورد توجه قرار گیرد.

- کیفیت آب در قسمت بالادستی محل باید به استفاده آینده پاسخ دهد و آب نباید شور باشد.

- سد زیرزمینی باید به عنوان بخشی از طرح فرا منطقه‌ای مورد بررسی قرار گیرد.

- در گزارش مطالعه و طراحی سدهای زیرزمینی، بررسی های دقیق انجام شده از بستر رودخانه‌ها، طراحی انواع مختلف سدهای زیرزمینی و چاهای استحصال آب با هزینه های مختلف، ارائه می‌شود. داده‌های حاصل از پروفیل‌های طولی، ایده آل ترین محل را برای حفاری در یک رودخانه در نزدیکی عمیق ترین فرو افتادگی در رودخانه را نشان می‌دهد و برای ساخت دیواره سد زیرزمینی ارائه می‌کند. حجم آب قابل استخراج از مخزن در رودخانه نیز در گزارش بررسی ارائه شده است. حفاری دستی باید زمانی اجرا شود که سطح آب در پایین ترین سطح طی فصل خشک و قبل از ساخت سد زیرزمینی باشد.

### نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

پس از بررسی طرح‌ها و هزینه‌های ساخت وساز ۵ نوع سازه سدهای زیرزمینی، می‌توان تعیین کرد که کدام ترکیب از سد زیرزمینی و مصرف، ایده آل طرح آبخیزداری است.

۱. با استفاده از بتن پلاستیک در ساخت سدهای زیرزمینی، حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی کاهش می‌یابد و نسبت به دیگر گزینه‌ها از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است.

۲. استفاده از تزریق، می‌تواند یک روش مناسب برای کاهش نفوذپذیری خاک در سدهای زیرزمینی باشد. ساخت دیواره سدهای زیرزمینی با روش‌های ذکر شده در قسمت‌های قبل بسیار پایین است. در بین پنج روش ذکر شده روش تزریق هزینه بالاتری نسبت به چهار روش دیگر دارد.

۳. برای جلوگیری از نفوذ و هدر رفت جریان آب در سدهای زیرزمینی می‌توان از فرایند تزریق در خاک‌های نفوذپذیر و سنگ و خاک استفاده کرد. تزریق نفوذی شامل تزریق دوغاب به منافذ و درزه و ترک‌های خاک و سنگ جهت افزایش مقاومت باربری، کاهش نفوذپذیری و کاهش تغییر شکل‌های نامطلوب است.

### منابع

1. gamollaie, I., Lashkaripoor, M. and Ghafouri, M., 2014. Investigation of Factors Affecting the Implementation of Underground Dams Case Study: Mesopotamian Ravar Underground Dam in Kerman Province. Journal of Irrigation and Water Engineering. Fifth year. No. 17(In Persian).

2. Ajallueian, R. and kasiri, E., 2011. Evaluation of sedimentary formations of the Semirom Tangab Dam occasionally with emphasis on leakage. Stratigraphy and Sedimentology Research. No. 47. (In Persian).

3. GHASEMI, M. and AMINIZADEH, M., 2015. Identification Places Suitable Direction Building Dams Underground (Feasibility of



21. Yilmaz, M., 2003. Control of groundwater by underground dams (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis. Dept. of Civil Eng. METU, Ankra).
22. Yan, L., Trapp, D.A. and Sy, A., 2008. Construction of a Plastic Concrete Seepage Cutoff Wall for the New Coquitlam Dam.
23. VSF-Belgium. SubSurface Dams:a simple, safe and affordable technology for pastoralists Avenue Paul Deschanellaan 36-38. 1030 Brussels.
24. Zarabadi Pour, S. and Ardakhani, A., 2016. An in vitro study of the relationship between viscosity and slurry injection in silty sandy soils. Master thesis. Qazvin International University. (In Persian).
25. Zulanvar, A. and Ahmadi, M, N., 2003. Providing a Method for Design and Implementation of Underground Dam Body Using Plastic Concrete. 6th International Conference on Civil Engineering. (In Persian).
- on permeability of plastic concrete. Journal of Materials Science and Engineering A, 4(12): 372-375.
18. Rahai, G., Toosi, T., Sartavi, K., 2006. Investigation of Watershed and Watershed Management Impacts on Water Resources Development in Baghan Basin, Bushehr Province, 4th Iranian Conference on Watershed Management Science and Engineering, Karaj, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, (In Persian).
19. Rezaei Arefi. M., 2012. Influence of Watershed Management on Flood Control and Groundwater Feeding (Case Study: Ghara Rood Dam Basin, Sixth Terrace, Kashmir). Sepehr Geographic Information Quarterly, 104-95, (84)21. (In Persian).
20. Shafqati, M., Hosseinpour, A. and Nasrollah, S., 2018. Introducing Indigenous Watershed and Aquifer Knowledge in the Country (Case Study of Hormozgan Province). Rainwater intake systems. 7 (1): 45-52. (In Persian).



## Abstract

**Study of Underground Dam Construction Methods as a Watershed Management Development Program**A. Asadi<sup>1\*</sup> and H. Kazerouni<sup>2</sup>

Received: 2019/10/11 Accepted: 2020/07/03

Building underground dams is one of the most effective and effective ways to provide small-scale water supply and improve groundwater storage. These structures can be used in arid and semi-arid climates to provide water and cope with dehydration and drought in many valleys and seasonal rivers at low cost. The construction of these dams can lead to improved aquifer status and environmental protection. In this research, the methods of underground dam construction as an optimal watershed design have been studied. Office studies and existing information have been used for this purpose. Investigations by researchers in various areas indicate that groundwater reserves have faced a serious crisis with water resources. Therefore, it is inevitable to adopt sound methods and policies for the conservation and management of water resources. Implementation of underground dams in Iran is a relatively new topic that can be used in watershed management activities. Implementation of these structures can prevent subsurface flow from catchments.

**Keywords:** Underground dam, Watershed management, Aquifer, Dehydration, Subsurface flow.

1- MSc of civil Engineering- Department of soil and foundation mechanic engineering- Tafresh University. E-mail: asadi086@gmail.com.

2- Assistant professor of the faculty of Higher National Defense University.