تحلیل اجزای محدود سدهای زیر زمینی با لایه آب بند GCL
(مطالعه موردی: سد زیرزمینی توچاهی شهرستان دامغان)

رحمان شریفی[*1] ، سیدحسین میرسید[2] ، حبیب الله مهدوی وفا[3] ، عزیزدرویشی[4]
عضوهیات علمی بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکزتحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران،
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران *R.sharifi1346@gmail.com*
دانش آموخته مهندسی عمران ، دانشکده فنی و مهندسی (عمران)، دانشگاه آزاداسلامی واحدسمنان، سمنان، ایران
عضوهیات علمی بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکزتحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران،
سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
کارشناس بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکزتحقیقات وآموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده:

به طور کلی پرده‌های عایق GCL مصالح مرکب از یک لایه رس از جنس بنتونیت محصور شده بین حصیرهای پلیمری ممی باشند. در حال حاضر این پرده ها در سیستم های عایق بندی وزهکشی سازه های مرتبط با آب یا سایر سیالات ککاربرد وسیعی دارنند ککه مهمترین عامل جهت عایق شدن مصالح فوق توسط بنتونیت می باشدکه در این صورت بنتونیت به صورت خمییر محصور ششده ببین حصیر های پلیمری بوجود می اید .در بیش از دو دهه اخیرکاربرد پرده های GCL به دلیل امتیازات فراوان شامل ضخامت کم ، نصب سریع وآسان،نفوذ پذیری کم وترمیم پذیری در کلیه پروژه های عمرانی به خصوص سیستم های آب بندی زهکشی سازه های مرتبط با سایر سیالات به صورت وسیعی افزایش یافته است. میزان بارندگی در ایران بسیار کمتر از میانگین بارندگی جهان است، خشکی و کم آبی باعث شد ایرانیان از زمان‌های قدیم شروع به بهره‌برداری صحیح از منابع آب زیرزمینی نمایند. سدهای زیرزمینی یک روش ساده و کاربردی برای جمع آوری و ذخیره سازی آب در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد هدف از این تحقیق مدلسازی عددی سدزیرزمینی، واقع درجنوب شهرستان دامغان(روستای توچاهی) و بررسی تراوش سد زیر زمینی پیشنهادی با استفاده ازلایه آب بند GCL است. که در مقطع عرضی رودخانه به کف بستر غیر قابل نفوذ متصل گشته و به صورت قائم تا سطح زمین به ارتفاع ۱۵متر ادامه می یابد، این مدلسازی عددی با استفاده از نرم افزار PLAXIS انجام شده است. با توجه به این که فاصله ی سطح زمین تا سنگ بستر در محل احداث آب بند متغیر است؛ محور آب بند به بخش های مختلفی تقسیم شده است به طوری که ابعاد مقطع عرضی هر قسمت به جهت جلوگیری از مصرف بیش از اندازه ی مصالح، به طور جداگانه طراحی و ارائه می شود و در انتهای هر بخش پیوستگی آب بند با بخش دیگر حفظ می شود.

کلمات کلیدی:

میزان بارندگی، سدزیرزمینی، لایه آب بندGCL، تراوش ، نرم افزارPLAXIS.

مقدمه :

سدهای زیرزمینی یک روش ساده و کاربردی برای جمع آوری و ذخیره سازی آب در مناطق خشک و نیمه خشک می باشند. در بعضی از مناطق ممکن است آب های سطحی محدود و یا به راحتی در دسترس انسان قرار نگیرند در این قبیل مناطق می توان نیاز انسان ها به آب را از طریق آب های زیرزمینی که در همه جا به طور وسیع و گسترده پخش شده اند، برطرف نمود. با احداث سد زیرزمینی و ذخیره آب در آبرفت پشت سد، می توان از هدر رفتن جریان های آب زیرزمینی در طول فصل سرد سال وتداخل باآب شور جلوگیری نمود.آب یکی از منابع اساسی مورد نیاز بشر است. که نه تنها برای گسترش شهرها و صنایع لازم است بلکه یکی از عوامل توسعه کشاورزی نیز به شمار می آید با توجه به کمبود آب های سطحی محدود در برخی مناطق کشور، از انجا که جمعیت ایران مانند سایر نقاط دنیا رو به افزایش است باید از منابع موجود آب ازجمله آب های زیرزمینی بهره برداری بیشتری شود.

هم اکنون سدهای زیر زمینی با توجه به مزایایی که نسبت به سدهای سطحی دارد استفاده از آن در بعضی از مناطق دنیا از جمله در ایران در حال گسترش است،فرایند اکتشاف سفره های آب زیرزمینی یک برنامه چند مرحله ای است که شامل مطالعه دفتری، تهیه نقشه های زمین شناسی، بررسی جزئیات کامل سفره مورد مطالعه، برداشت های ژئوفیزیکی(همانند مقاومت الکتریکی)، حفاری، مطالعات هیدرولوژیکی، مطالعات چاه پیمایی، مطالعات دورسنجی و آزمایش های نفوذپذیری است.

با توجه به وضعییت خشکسالی در ایران ونقش تعیین کننده سدها در تامین آب لذا سدهای زیر زمینی باتوجه به سه مزایای بسیارمهم آن یعنی ۱- عدم تبخیر۲ – عدم آلودگی ۳- عدم نیاز به نگهداری می تواند چه به لحاظ اقتصادی وچه به لحاظ فنی نقش موثری در تامین آب داشته باشد. درپیشینه تحقیقات و موضوعات مرتبط و نتایج آن می توان به مواردی چون :

- حاجی عزیزی و همکاران (۱۳۹۳) تحقیقاتی راجع به تحلیل اجزای محدود سدهای زیرزمینی و نکات مهم در طراحی و اجرای آن ها انجام دادند که دراین تحقیق به تحلیل عددی سدزیر زمینی آبخوری استان سمنان با در نظر گرفتن دو المان خاک با مشخصاتی چون ضریب پواسون ، وزن مخصوص اشباع وخشک خاک ، مدول الاستیسیته ، زاویه داخلی والمان سد باجنس دیواره آب بندپرداختند که این تحلیل به صورت کرنش مسطح ودوبعدی با جنس دیواره آب بند بتن پلاستیک انجام شده است. مدل این سد، الاستیک وبرای خاک اطراف آن موهر- کلمب در نظر گرفته شده که با بررسی تغییر مکان افقی وقائم سد وتنش در اطراف سد ووضعییت تراوش وفشار افقی به سد در ترازهای مختلف به نتایج قابل قبولی دست یافتندکه مختصرا به موارد زیر اشاره می شود:
  - تحلیل تنش- کرنش انجام ونکات مهم طراحی واجرایی مد نظر قرارگرفت.
  - سد مورد نظر از سمت بالادست(سراب)تحت فشارجانبی خاک اشباع واز سمت پایین دست (پایاب)تحت فشار جانبی خاک خشک قرار می گیرد.
  - تغییر مکان جانبی سد ناچیز وفشار جانبی وارد برآن قابل توجه نیست.
  - یکی ازراه کارهای مهم برای تامین کمبود آب دراستان احداث این گونه سدها به دلیل عدم آلودگی آب مخزن- هزینه کم اجرا- عدم مشکلات زیست محیطی، عدم تبخیر آب پشت سد و..... می باشد.
- ندا انجم شعاع و فضل الله سلطانی (۱۳۹۳) آنالیز عددی تراوش آب در سد خاکی را با درنظرگرفتن شرایط مختلف آب بندی (مطالعه موردی سد سبلان) باتئوری تحقیق مطالعه نمودند. یکی از تئوری های معتبری که در رابطه با پدیده نشت می باشد، تئوری دارسی است. قانون دارسی هم برای خاک های اشباع وهم برای خاک های غیر اشباع کاربرد دارد. با این تفاوت که درخاک های اشباع ضریب نفوذپذیری به کاررفته دررابطه دارای مقدار ثابت می باشد اما در خاک غیر اشباع ضریب نفوذپذیری تابعی از مکش می باشد.

مواد و روش ها:

نرم افزار پلکسیس (PLAXIS) دو بعدی بوده که با مدلسازی عددی تراوش سد زیر زمینی در حالت معمولی و با لایه آب بند GCL و هسته رسی مورد بررسی قرار گرفته است.

نرم افزارPlaxis دو بعدی که نسخه آن با ورژن ۸,۵ در بازار موجود می باشد به ویژگی ها وقابلییت های آن ذیلا اشاره می گردد.

- شرایط مرزی به صورت استاندارد اعمال شده و کاربر قادر به تغییر آن نیست.
- امکان تحلیل تراوش وجود دارد.
- امکان شبیه سازی ژئوتکستایل، ژئوگرید و تونل در آن مقدور است.
- امکان تحلیل پایداری - و محاسبه ضرایب اطمینان به روش(c-phi reduction) وجود دارد
- از نظر امکانات بسیارقوی ترPlaxis 3D می باشد

به طور کلی این نرم افزار به چهار بخش مدلسازی، تحلیل ، خروجی و نمودار تقسیم بندی شده است.

باتوجه به مدل وهدف انجام تحقیق تعداد مورد نیازفازهای محاسبات تعریف شده که با Select آخرین فاز و با کلیک بر گزینه Calculation محاسبات انجام شده است

ضمنا مدل الاستوپلاستیک کامل موهر-کولمب که جزئی از محاسبات روش تحقیق بوده با پنج پارامتر ورودی سرو کار داشته که عبارتند از : نسبت پواسون ومدول الاستیسیته برای الاستیسیته خاک، چسبندگی و زاویه اصطکاک برای پلاستیسیته خاک و اتساع برای زاویه اتساع. این مدل موهر- کولمب تخمین مرتبه اول رفتارخاک یا سنگ را ارائه می دهد. برای ارزیابی و تحلیل اولیه مسئله مفروض استفاده از این مدل رفتاری توصیه شده است. برای هر لایه یک سختی متوسط تخمین زده میشود. به علت چنین تخمین ساده و ثابت، محاسبات نسبتاً سریع انجام شده و شمایی هر چند کلی از تغییر شکل ها به دست می آید. در کنار پنج پارامتر ذکر شده در فوق، شرایط اولیه تنش در خاک نیز در مسئله تغییر شکل خاک نقش عمدهای بازی می کند. با اتخاذ و گزینش مقادیر مناسب و صحیح، تنش های اولیه افقی در خاک به درستی محاسبه و تولید می شوند.

پلاستیسیته معمولاً با توسعه کرنش های برگشت ناپذیر همراه می باشند. به منظور ارزیابی که تابعی بین تنش و کرنش f اینکه آیا در محاسبات پلاستیسیته رخ داده یا نه، تابع تسلیم می باشد، تعریف می گردد. یک تابع تسلیم معمولاً به صورت یک سطح در فضای تنشهای اصلی تعریف میگردد. یک مدل الاستوپلاستیک کامل در واقع یک مدل رفتاری با سطح تسلیم ثابت می باشد، یعنی سطح تسلیم با پارامترهای مدل تعریف می شود و از کرنش های پلاستیک تاثیرنمی پذیرند. برای حالات تنشی که به وسیله نقاط واقع در داخل سطح تسلیم بیان می شوند، رفتار کاملاً الاستیک است و همه کرنش ها برگشت پذیر می باشد.

مدل موهر – کلمب نیاز به پنج پارامتر دارد که معمولاً برای مهندسین ژئوتکنیک کاملاً آشنامی باشد و به راحتی از آزمایشات معمول روی نمونه های خاک به دست می آیند.

از آنجایی که نحوه گود برداری در سدهای زیر زمینی شبیه گودبرداری پی سدهای خاکی انجام می شود لذا شکل هندس مدل به صورت ذوذنقه ای با مشخصات عرض پایین ۲ متر وعرض بالا ۱۴متر وعمق آن در گود ترین نقطه(باتوجه به پرفیل سنگ بستر) متر۱۵ وشیب ان حدودایک به یک می باشد وباتوجه به مطالعات انجام شده در عمق ۱۲,۵ متری از کف سنگ بستر فرار اب از محل تکیه گاها جدی است لذا Phreatic level (سطح تراز اب) در کد ۱۲,۵ متر لحاظ می گردد چون عملا در بهترین حالت ذخیره اب در مخزن زیر زمینی در این کد انجام می گردد.

با بررسی نتایج در این مرحله به این جمع بندی رسیدیم که نتایج حاصل از نرم افزارPlaxis در مقایسه با نتایج ثبت شده در سه پیزومتر ومشاهدات عینی نتیجه مطلوب وقابل قبولی را داشته است.

نتایج و بحث :

با وجود بستر غیر قابل نفوذ و مقاوم موجود در عمق تا حدود ۱۵ متری از سطح زمین در رسوبات رودخانه و از طرفی شیبدار بودن سنگ بستر امکان استفاده از سپری عملی نمی باشد. سپری ها قابلیت نفوذ در بستر مقاوم و سنگ را ندارند بنابراین با توجه به شیب دار بودن سنگ بستر همواره امکان عدم کامل پوشش خاک توسط سپری وجود دارد. در نتیجه فرار آب اجتناب ناپذیر است هر چند که حجم عملیات خاکی در استفاده از سپری نسبت به سایر دیوارها به حداقل می رسد اما به دلیل عدم نفوذ پذیری در سنگ بستر شیبدار،و وجود سنگ امکان استفاده از آن عملی نیست. در صورتی که با خاک بستر مناسب مانند مصالح ریز دانه قابلیت نفوذ سپری در خاک وجود دارد. هر چند که اجرای سپری با توجه به هزینه های آب بندی و استفاده از سپری مقاوم در برابر رطوبت به خودی

خود گزینه پر هزینه ای در مکان مورد بررسی برای احداث سد زیر زمینی می باشد که با کاهش حجم عملیات خاکی قابل مقایسه نیست و استفاده از سپری را در این پروژه منتفی می کند. دراین قسمت با توجه به محور تحقیق به برخی از نتایج حاصل از عملکرد دیوار آب بند با شیوه های مختلف که نتایج تحقیقات انجام شده در این خصوص بوده ودر منابع نیز به آن اشاره گردیده نتایج آن به تفکیک مورد بحث قرار گرفته اند.

الف : استفاده از سپری به عنوان دیوار آب بند

با وجود بستر غیر قابل نفوذ و مقاوم موجود در عمق تا حدود ۱۵ متری از سطح زمین در رسوبات رودخانه و از طرفی شیبدار بودن سنگ بستر امکان استفاده از سپری عملی نمی باشد. سپری ها قابلیت نفوذ در بستر مقاوم و سنگ را ندارند بنابراین با توجه ببه ششیب دار بودن سنگ بستر همواره امکان عدم کامل پوشش خاک توسط سپری وجود دارد. در نتیجه فرار آب اجتناب ناپذیر است هر چنند که حجم عملیات خاکی در استفاده از سپری نسبت به سایر دیوارها به حداقل می رسد اما به دلیل عدم نفوذ پپذیری در سنگ بستر شیبدار،و وجود سنگ امکان استفاده از آن عملی نیست. در صورتی که با خاک بستر مناسب مانند مصالح ریز دانه قابلیت نفوذ سپری در خاک وجود دارد. هر چند که اجرای سپری با توجه به هزینه های آب بندی و استفاده از سپری مقاوم در برابر رطوبت ببه خودی خود گزینه پر هزینه ای در مکان مورد بررسی برای احداث سد زیر زمینی می باشد که با کاهش حجم عملییات خاکی قابل مقایسه نیست و استفاده از سپری را در اجرای پروژه منتفی می کند.

ب : دیوار آب بند با مصالح بنایی

استفاده از دیوار آب بند با مصالح بنایی مانند سنگ و آجر با توجه به عدم کنترل ترک خوردگی در حین و بعد از اجرای دیوار پس از بارگذاری بر دیوار، آب بندی را دچار اشکال می نماید. همچنین حجیم بودن مصالح مورد نیاز و تهیه و حمل و دشواری نحوه آب بندی برای کاهش نشت آب با ذخیره محدودی که با آن روبرو هستیم را بی اثر می نماید. ناهمگن بودن رفتار مصالح بنایی با خاک در اثر عملکرد و تغییر شکل های وارده به سازه در طولهای زیاد قابل کنترل نمی باشد. بخصوص که در این پروژه طول اجرای دیوار زیاد و در دو جهت عمود بر هم نیز می باشد و این عامل موثری بر حذف پیشنهاد احداث دیوار با مصالح بنایی است. از نظر حجم عملیات خاکی در مقایسه با سایر دیوارهای غیر مصالح بنایی مانند بتنی مسلح و غیر مسلح تفاوت آنچنانی در عملیات خاکی برای این نوع دیوار قابل تصور نیست. لذا دیوار با مصالح بنایی با توجه به عدم اعتماد به آن برای طول زیاد دیوار و علی الخصوص امکان ترکهای طولی و عرضی ناشی از عدم پیوستگی لازم، در اولویت انتخاب قرار نمی گیرد و قابلیت جلوگیری از نشت آب را به تنهایی ندارد و دارای مشکلات آتی و عدم کنترل در حین اجرا و بعد از اجرای آب بندی است.

ج : دیوار آب بند بتنی

با توجه به انعطاف پذیر بودن شکل دیوارهای بتنی و از طرفی امکان اتصال آن به سنگ بستر به منظور جلوگیری از فرار آب، دیوار آب بند بتنی توصیه می گردد.

استفاده از بتن پلاستیک با استفاده از مقنی از نظر عملیات خاکی از سایر روشها کم هزینه تر است اما از نظر هزینه مصالح مصرفی در صورت وجود خاک رس مناسب و به اندازه کافی با فاصله حمل مناسب در موقعیت اجرایی، از هسته رسی پر هزینه تر است که با ید بین روش استفاده از هسته رسی و بتن پلاستیک با استفاده از مقنی بررسی بیشتر صورت گیرد.

د : استفاده از دیوار بتن غیر مسلح

گرچه استفاده از دیوار بتنی غیر مسلح تا حدی نسبت به مصالح بنایی امکان نشت را کاهش می دهد اما کماکان حجم مصالح مصرفی زیاد و امکان ترک خوردگی با تغییر شکل و لرزش های زمین را بهمراه خواهد داشت گرچه عملیات خاکی آن همانند دیوار با مصالح بنایی است اما دیوار آب بند بتنی با توجه به انعطاف پذیر بودن و از طرفی امکان اتصال آن به سنگ بستر به منظور جلوگیری از فرار آب، به نوعی دیواری آب بند به شمار میرود و نسبت به مصالح بنایی دارای مزیت می باشد اما بدلیل حجم مصالح مصرفی گزینه نهایی محسوب نمی گردد.

ه : استفاده از دیوار بتنی مسلح

استفاده از دیوار بتنی مسلح حتی با حداقل های لازم فولاد علاوه بر ایجاد پیوستگی لازم، امکان ترک خوردگی را به حداقل می رساند، همچنین همانند دیوار بتنی غیر مسلح نشت آن در مقایسه با دیوار با مصالح بتنی کاهش می یابد و نیاز به عایق بندی را مرتفع

می‌سازد. جهت کنترل و ترمیم ترکهای بعدی در دیوار بتن مسلح می توان از لایه سیلتی رسی (silty clay) در محل اتصال دیوار با مخزن استفاده کرد که امکان درز و ترک های احتمالی را کاهش داده و آب بندی را تقویت نمود.

دیوار بتنی مسلح می تواند با طره و یا قسمتی از دیوار بعنوان فنداسیون و یا بصورت پشت بنددار به اجرا در آید. با توجه به اینکه استفاده از طره حجم عملیات خاکی را افزایش می دهد و علاوه بر آن اجرای فنداسیون با توجه به طول دیوار مصالح مصرفی را افزایش می دهد و گزینه با دیوار پشت بند دار از نظر اجرایی و قالب بندی دارای دشواریهایی است. با توجه به شرح انواع دیوار و مقایسه احجام عملیات خاکی و کنترل پایداری ها گزینه دیوار بتنی مسلح با طره قابلیت اجرایی بهتر و مطمئن تری را داشته و مورد استفاده قرار میگیرد ازآنجا که هزینه های دیوار بتن مسلح زیاد میباشدواعتبارات مورد استفاده محدود ودر مقایسه با میزان آب استحصالی بهای آب را افزایش میدهد استفاده از دیوار بتن مسلح صرفه اقتصادی ندارد. مگر اینکه شرایط خاص فنی اجرای دیوار بتن مسلح را الزامی کند.

به طور کلی استفاده از رس به عنوان لایه آب بند با ضرائب نفوذپذیری متفاوت دارای تراوش بوده وبا کاهش ضرائب نفوذ پذیری خاک رس میزان تراوش به سمت صفر میل میکند ولی هرگز صفر نگردیده . لایه آب بندGCL موجب می گردد سرعت جریان آب به $V=8.81e^{-15}$ m/s برسد لذا سرعت جریان آب کاهش چشمگیری داشته و دبی تراوش به $Q=0.00m^3/s$ رسیده که در کل دوره بررسی خاک رس به عنوان لایه آب بند در هسته مرکزی باضرائب نفوذ پذیری مختلف هرگز به دبی خروجی $Q=0.00m^3/s$ نخواهدرسید.

همانطور که می دانیم فقط یک مصالح به عنوان مصالح مخروط که درحقیقت همان مصالح حاصل از گود برداری با ضریب نفوذ پذیری K=1 می باشد که در هسته مرکزی جایگزین رس می نماییم و با یک لایه GCLآن را آب بندی می نماییم وملاحظه می کنیم با وجود ژ ئوسنتتیک وقتی نتایج حاصل از محاسبه تراوش را بررسی می نماییم به دبی تراوش صفر میرسیم ولی زمانی که از رس به عنوان لایه آب بند حتی با ضریب نفوذ پذیری $1e^{-15}$ تراوش به صفر نمی رسد. درحالت کلی دربررسی های صورت گرفته به این نتیجه می رسیم که۱- ϕ(زاویه اططکاک داخلی) ۲-C (چسبنده گی خاک) ۳-E (مدول الاستیسیته خاک) تاثیری در تراوش نداشته و فقط باتغییر E مربوط به GCLحداکثر تا $7.5e^4$در سطح لغزش سد حداکثر ۱،۵متر در خارج از محدوده سد و حداقل $3.67e^{-6}$درمحدوده داخل از سد اتفاق می افتد که که قابل اغماض می باشد. ودر مدل های مورد بررسی (ا-لایه آب بند رسی باضرائب متفاوت نفوذ پذیری۲-لایه آب بندGCL)، افزایش وکاهش مرز جریان هیچ تاثیری بر سرعت جریان ودبی تراوش ندارد.

نتیجه گیری و پیشنهادها :

الف) : نتیجه گیری :

- استفاده ازمصالح سنتی جهت احداث سازه های آب بند بتنی وسنگی وملاتی به دلایل زیست محیطی وعدم توجیه اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد
- احداث سازهای بامصالح بنایی چه به جهت اجرایی وچه به لحاظ نیروی متخصص وماهر مشکلات اجرایی وهزینه بالاسری زیادی را به دنبال دارد
- باتوجه به دوربودن محل این گونه طرح ها (درحاشیه کویر انت های حوزه آبریز) در صورت استفاده از مصالح سنتی ،کنترل ونظارت طرح را برای عوامل دستگاه نظارت با مشکل مواجه خواهد نمود.
- استفاده از مصالح بنایی وسنتی به دلایل فوق توصیه نمی گردد وهزینه بالا سری زیادی را برای مجری طرح بدنبال دارد
- معمولا به دلیل وجود سدیم در رس وعدم دسترسی به رس باکیفیت مناسب به جهت نفوذ نا پذیری در شعاع مطلوب محل اجرای طرح ، اجرای سدزیر زمینی با لایه آب بند(هسته رسی) علرغم اینکه نسبت به استفاده از مصالح سنتی مناسب تر است توصیه نمیگردد
- استفاده از GCL باتوجه به موارد مطروحه ضمن اقتصادی تر بودن به دلیل استفاده از همان مصالح حاصل از گود برداری و با اندکی بهسازی به عنوان هسته مرکزی وبه دلیل سازه گاری با محیط و کاهش هزینه های بالا سری مناسب است

ب): پیشنهادها:

- سد زیرزمینی رسی با امکان بررسی لایه آب بند با استفاده از صفحات پلیمری

- بدلیل محدویت های احتمالی موجود(فنی- اقتصادی-زیست محیطی – فقر مصالح در منطقه) می توان از تلفیق مصالح سنتی وبومی استفاده وآن را به صورت نرم افزاری و آزمایشگاهی مورد بررسی قرارداد
- برای طراحی واجرای اینگونه سازه ها به دلایل مشروحه فوق استفاده از مصالح بومی منطقه بعنوان جایگزین مناسب مصالح سنتی می تواند موثر واقع گردد که نیاز به بررسی همه جانبه دارد
- استفاده ازبتن پلاستیک به عنوان لایه آب بند با لحاظ تمام شاخصه ها می تواند گزینه مناسبی باشد
- در صورت وجود رس با نفوذ ناپذیری مناسب وایده اجرایی مطلوب استفاده از رس به عنوان لایه آ ب بند گزینه مناسبی است
- استفاده از GCL به روش های دیگر (یک لایه عمودی و.....) به جهت کاهش هزینه قابل بررسی است

منابع :

- آقاملایی ، ایمان و همکاران(۱۳۹۳)، بررسی فاکتورهای مؤثر در اجرای سدهای زیرزمینی مطالعه موردی: سد زیرزمینی میان رود راور در استان کرمان.
- انجم شعاع، ندا وفضل الله سلطانی(۱۳۹۳)، آنالیز عددی تراوش در سد خاکی ناهمگن در شرایط مختلف آب بندی (مطالعه موردی سد سبلان).
- پی لشکریان ، نبی وهمکاران (۱۳۸۵). مقابله با بحران آب در مناطق خشک با استفاده از سدهای زیرزمینی. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حاجی عزیزی ، محمد و همکاران(۱۳۹۳)، تحلیل اجزای محدود سدهای زیرزمینی و نکات مهم در طراحی و اجرای آنها مطالعه موردی - سد زیرزمینی آبخوری در استان سمنان.
- دهقانیان ، کاوه (۱۳۸۹)، معادل سازی استفاده از GCLولاینر رسی در لندفیل مهندسی پایان نامه درجه کارشناسی ارشد دانشگاه ارومیه .
- عزیزمقدم ، کاوه وهمکاران (۱۳۹۲)،بررسی کف پوشهای رسی در بلا دست سدها.
- سعادتی، مجید وهمکاران. (۱۳۸۲). تعیین شاخص های مکان یابی جهت ایجاد سد زیرزمینی و شبیه سازی مدل ریاضی جریان در سد زیرزمینی . ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران . اصفهان دانشگاه صنعتی اصفهان.
- سلطانی، فضل الله و سعید فرخنده (۱۳۸۹)،مطالعه وبررسی چگونگی جذب آب وتوزیع رطوبت در پرده های عایقGCL پنجمین کنگره مهندسی عمران .
- شفیعی، عین الله و لشگری، مسعود (۱۳۸۵). سد زیرزمینی تکنولوژی جدید برای توسعه منابع آب زیرزمینی . دومین همایش زمین شناسی کاربردی و محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.
- ناصری، حمید رضا و همکاران.(۱۳۸۵) تعیین مناطق مناسب احداث سدزیرزمینی با استفاده از سیستم های پشتیبان تصمیم گیری دومین کنفرانس مدیریت منابع آب . دانشگاه صنعتی اصفهان.
- Forzieri, G., M. Gardenti., F. Caparrini., and F. Castelli., 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. Parts A/B/C. Volume 33. Pages 74-85.
- USBR, (1981), "Traning for Dam Operators ; A Manual for Instructors" , US Department of The InteriorA Water Resources Technical Publication, Denver, Colorado.
- USBR, (1973), "Ground Water Movement", US Department of the Interior, A Water Resources Technical Publication, Denver, Colorado.
- USBR, (1973), "Ground Water Movement", US Department of the Interior, A Water Resources Technical Publication, Denver, Colorado.