

ارزیابی روش های آب بندی دریاچه چیتگر

محمد بشیر گنبدی¹، حامد اسدیان^{2*}

1- استادیار دانشکده علوم زمین دانشگاه دامغان - کارشناس ارشد شرکت سد تونل پارس

2- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی دانشگاه دامغان

Asadian.hmd@gmail.com

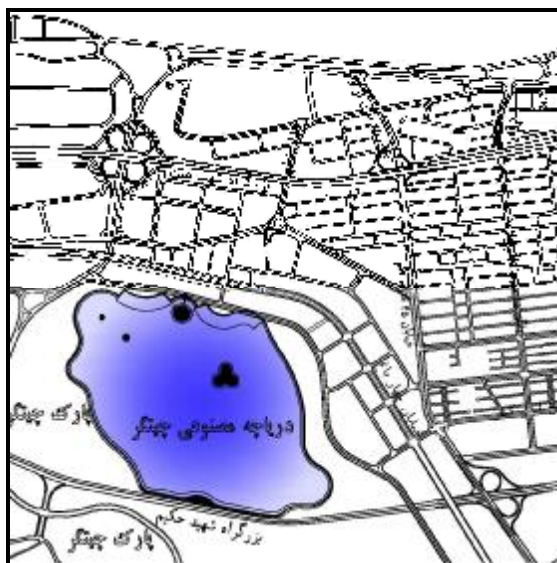
چکیده

دریاچه مصنوعی چیتگر واقع در شمال غرب تهران، با حجمی معادل 7 میلیون متر مکعب در نوع خود منحصر به فرد می باشد. هدف از ساخت این دریاچه ایجاد یک منطقه گردشگری، تفریحی و تفرجگاهی است. قرارگیری این دریاچه در محدوده ساختمان های مرتفع مسکونی و محدودیت قابل توجه در تأمین آب مورد نیاز آن، ضرورت آب بندی کامل این دریاچه را نسبت به موارد مشابه دو چندان کرده است. از این رو مطالعات و بررسی های آب بندی کف دریاچه یکی از مهمترین بخش های مطالعاتی این طرح محسوب می گردد. از میان گزینه های متعدد مطرح برای آب بندی دریاچه (از جمله استفاده از بلانکت رسی، تزریق دوغاب سیمان و مواد شیمیایی، استفاده از پوشش آب بند بتنی، استفاده از بتن آسفالتی و استفاده از ژئوسنتتیک ها)، بر اساس ملاحظات فنی و اقتصادی، آب بندی کف دریاچه با استفاده از ژئوممبرین به همراه دو لایه ژئوتکستایل به عنوان لایه محافظ و تأمین کننده مقاومت برشی لازم، انتخاب و به اجرا درآورد. مقاله حاضر به بررسی مجموعه مطالعات انجام شده برای آب بندی دریاچه مورد مطالعه می پردازد.

کلمات کلیدی: دریاچه چیتگر، آب بندی، ژئوتکستایل، ژئوممبرین

1- مقدمه

ساختگاه سد و دریاچه مصنوعی چیتگر در شمال غرب تهران، واقع در منطقه 22 شهرداری تهران و شمال پارک جنگلی چیتگر قرار گرفته است. این دریاچه در مختصات *utm* بین محدوده 518500 تا 520250 طول شرقی و 3955000 تا 3956400 عرض شمالی واقع شده است. هدف اصلی از ساخت دریاچه چیتگر ایجاد یک منطقه گردشگری، تفریحی و تفرجگاهی می باشد که علاوه بر این، بهره برداری از منابع آب موجود در محدوده طرح و تلطیف هوای شهر تهران را نیز تأمین نماید. شکل 1 موقعیت دریاچه چیتگر در طرح تفصیلی منطقه 22 را نشان می دهد.



شکل 1- پلان دریاچه در طرح جدید

نوع و لایه بندی خاک بخش سطحی آبرفت، نقش موثری در تعیین نوع آب بندی مخزن سد دارد. آبرفت محدوده دریاچه دارای لایه بندی می باشد و اکثر لایه ها در حد SM و GM هستند. در بین لایه ها میان لایه های نسبتاً کم ضخامت در حد ML مشاهده می شود. عدسی هایی در رده $CL-ML$ نیز بخصوص در بخش سطحی این ضخامت وجود دارد. همچنین ضخامت خاک نباتی حدوداً از 20 تا 45 سانتیمتر در تغییر می باشد.

بر اساس مقادیر نفوذپذیری محاسبه شده از آزمایش لوفران برای عمق 2 تا 3 متری، مشخص شد که مقدار ضریب نفوذپذیری اکثراً کوچک تر از 10^{-3} سانتیمتر بر ثانیه و عموماً بین 10^{-4} تا 10^{-5} سانتیمتر بر ثانیه است. تنها در محور سد مقدار K بین 10^{-3} تا 10^{-2} سانتیمتر بر ثانیه گزارش شده است. بر این اساس آبرفت محدوده ی طرح در سطح تا عمق 3 متری (به استثناء محدوده محور سد) جزء آبرفت های با نفوذپذیری کم تا بسیار کم دسته بندی گردید. نتایج آزمایش های نفوذپذیری انجام شده در جدول 2 ارائه شده است.

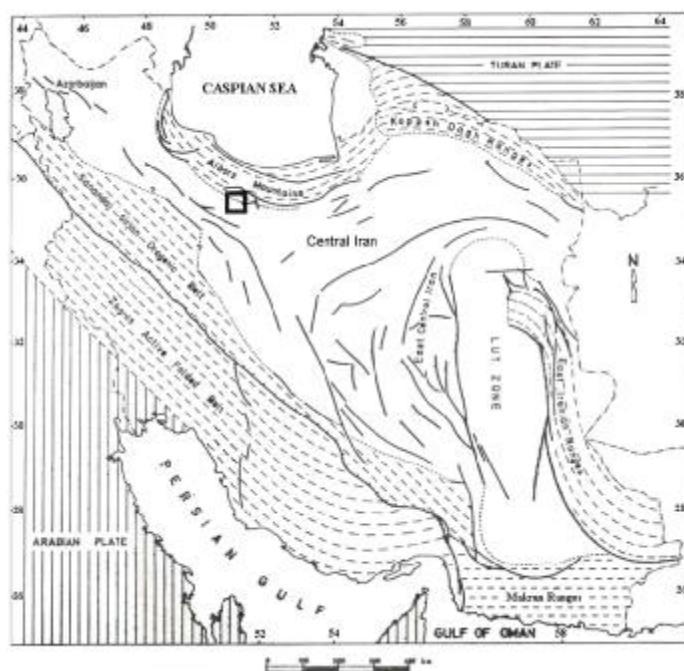
جدول 2 نتیجه آزمایش های نفوذپذیری در چاهک های حفاری شده در محور سد و دریاچه

ردیف	نام چاهک	نفوذپذیری عمق 2 متر (cm/s)	نفوذپذیری عمق 4 متر (cm/s)
1	A1	1.56E-04	-
2	A2	4.29E-06	4.22E-04
3	A2	5.02E-06	-
4	A3	6.61E-04	7.23E-05
5	A4	1.25E-04	-
6	A5	5.95E-03	4.66E-04
7	A6	5.49E-06	4.62E-04
8	A7	2.37E-06	7.41E-06
9	A8	4.34E-04	7.26E-06
10	A9	4.99E-06	7.26E-06
11	A10	6.95E-06	1.24E-04
12	A11	3.33E-06	4.46E-04
13	A12	4.94E-03	1.09E-04
14	B1	3.49E-04	-
15	B2	2.94E-04	-
16	B3	2.42E-03	-
17	B4	2.09E-03	-
18	B11	2.25E-03	5.26E-05
19	B12	2.85E-06	2.65E-04
20	B13	4.29E-04	1.54E-04
21	B20	2.49E-03	2.16E-03
22	B25	1.62E-03	6.95E-04
23	B26	4.80E-04	3.25E-03
24	BX1	7.79E-03	1.11E-04
25	BX2	2.44E-04	1.51E-04
26	BX4	1.13E-04	6.29E-05

ردیف	نام چاهک	(cm/s نفوذپذیری عمق 2 متر)	(cm/s نفوذپذیری عمق 4 متر)
27	BX5	5.84E-03	5.56E-03
28	BX7	1.06E-03	1.08E-04

2- زمین شناسی عمومی دریاچه

از نظر موقعیت زمین شناسی گسترده محل احداث دریاچه چیتگر و بند انحرافی دره کن بنا بر تقسیم بندی زمین ساختی ایران توسط بربریان (1976) در ناحیه شمالی ایران در مجاورت مرز کمربند کوه های البرز و دشت ایران مرکزی واقع شده است (شکل 2).



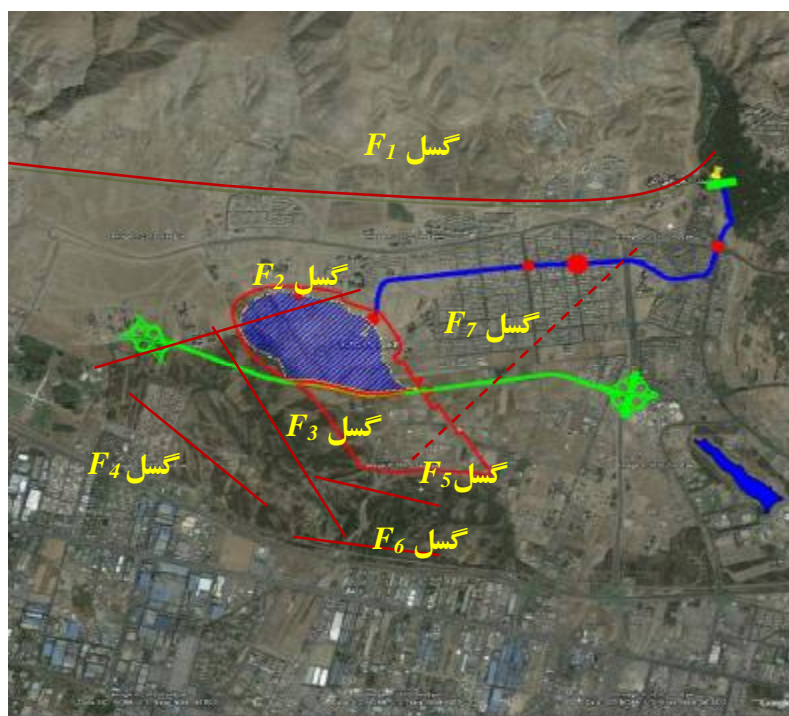
شکل 2- تقسیم بندی زمینساختی - لرزه زمینساختی ایران (Berberian, 1976) محدوده مورد مطالعه با مربع مشخص شده است.

محدوده مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژی قسمتی از مخروط افکنه های بزرگ کوه های مرتفع شمال تهران و رودخانه های کن و ورد آورد می باشند که در دشت تهران - ری بعنوان شمالی ترین فرونشست ایران مرکزی و با برجستگی های بسیار کم، پوشیده از رسوبات نسبتاً جوان آبرفتی می باشد.

از نظر چینه شناسی واحدهای تشکیل دهنده ساختگاه را می توان به دو دسته اصلی واحدهای سنگی شامل سنگ های آتشفشانی و آذرآواری سازند کرج و واحدهای آبرفتی سری A, B, C و D تقسیم بندی نمود. نهشته های آبرفتی تهران به چهار بخش اصلی شامل سازند هزار دره (سری آبرفتی A)، سازند آبرفتی ناهمگن (آبرفت های B)، سازند آبرفتی تهران (آبرفت های C) و آبرفت های کنونی (آبرفت های D) قابل تفکیک هستند. از نظر زمین شناسی ساختمانی در محدوده دریاچه و تپه های چیتگر هفت گسل با روندهای مختلف شمال شرقی - جنوب غربی، غربی - شرقی و شمال شرقی - جنوب غربی با طول 2-10 کیلومتر نهشته های آبرفتی مشاهده شده اند و بر روی سطح زمین اثراتی گذاشته است. منشا اصلی این گسل ها ناشی از حرکت گسل بزرگ تراسی شمال تهران است و دارای سازوکار فشارشی - برشی هستند. این گسل ها عبارتند از:

- گسل رورانده شمال تهران (f_1)
- گسل پوشیده شمال دریاچه (f_2)
- گسل دامنه های شمالی فاز غربی پارک چیتگر (f_3)
- گسل دامنه جنوبی فاز غربی چیتگر (f_4)
- گسل شمال فاز شرقی پارک چیتگر (f_5)
- گسل جنوب فاز شرقی پارک چیتگر (f_6)
- گسل پوشیده کن-دریاچه (f_7)

در شکل 3 گسل های محدوده طرح که بیش از 2 کیلومتر طول دارند نشان داده شده است.



شکل 3- نمایش موقعیت گسل های محدوده پارک جنگلی چیتگر بر روی تصویر هوایی

3- گزینه های روش آب بندی کف مخزن سد

در این مقاله روش های مختلف آب بندی مخزن سد از نقطه نظر فنی و اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده است. انواع روش های آب بندی مطرح شده برای این مخزن شامل آب بندی کف مخزن با استفاده از بلانکت رسی، احداث پوشش آب بند بتنی، آب بندی از طریق تزریق در آبرفت، آب بندی با استفاده از بتن آسفالتی و آب بندی با استفاده از ژئوممبرین می باشد.

3-1- آب بندی کف مخزن با استفاده از بلانکت رسی

یکی از راه حل های قابل بحث برای آب بندی مخزن سد، استفاده از بلانکت رسی می باشد. معمولاً، برای احداث یک بلانکت رسی با عملکرد مناسب و آب بندی کافی (نفوذ پذیری 1×10^{-7} سانتیمتر بر ثانیه و یا کمتر)، مصالح مورد استفاده می بایست دارای مشخصات زیر باشد :

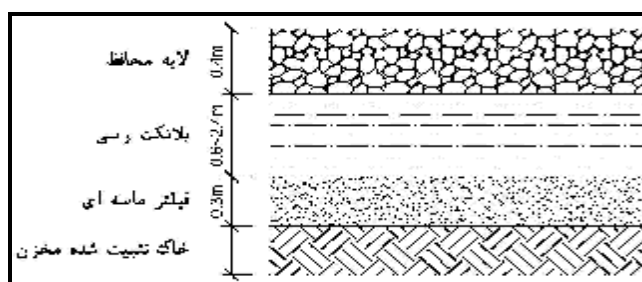
• مقدار عبوری از الک 200: بیش از 50 درصد

• مقدار رس: بیش از 20 درصد

• نشانه خمیری (PI): بیش از 20 درصد

• حد روانی (LL): بیش از 30 درصد

در محدوده طرح، تنها منبع قرضه ریزدانه در دسترس برای استفاده در ساخت بلانکت رسی، مصالح ریزدانه بخش سطحی آبرفت کف مخزن می باشد که عمدتاً در نیمه غربی مخزن تجمع پیدا کرده است. در شکل 4 مقطع تیپ فرضی برای آب بندی با بلانکت رسی نشان داده شده است.



شکل 4- مقطع تیپ فرضی برای آب بندی با بلانکت رسی

نهایتاً به دلیل خصوصیات نامناسب مصالح ریزدانه سطح مخزن، عدم وجود مصالح مناسب در محدوده پروژه، و مقدار نشت آب بیش از حد قابل پذیرش، گزینه بلانکت رسی راه حل مناسبی برای آب بندی مخزن سد چیتگر نیست.

3-2-1- احداث پوشش آب بند بتنی

استفاده از پوشش آب بند بتنی برای آب بندی مخازنی مانند دریاچه چیتگر با توجه به گستردگی، کاربری و اهمیت آن مرسوم نمی باشد. از دیدگاه ژئوتکنیکی، احداث پوشش آب بند بتنی روی آبرفت مشابه با احداث رویه بتنی در سد CFRD می باشد (با این تفاوت که آبرفت دریاچه چیتگر شکل پذیری بیشتری نسبت به بدنه CFRD دارد). بنابراین، پوشش بتنی در این شرایط مشابه با رویه بتنی CFRD باید دارای ضخامتی حدود 30 سانتی متر به همراه فولاد حرارتی و درزه های آب بند در هر دو جهت (با فواصل 12 تا 15 متر) باشد. این درزه ها می بایست آب بند از جنس روکش هایپالون و فیلر ماستیک در سطح و آب بند مسی در کف دالان بتنی آب بند شوند. در این شرایط، بدیهی است گزینه پوشش آب بند بتنی به منظور آب بندی مخزن دریاچه چیتگر، به لحاظ هزینه و زمان اجرا قابل رقابت با گزینه های مطرح دیگر مانند پوشش بتن آسفالتی و ژئوممبرین نمی باشد.

3-3- آب بندی از طریق تزریق در آبرفت

اصولاً، تزریق در آبرفت مقوله پیچیده و نسبتاً ناشناخته ای می باشد. به خصوص، تزریق در خاک ریزدانه معمولاً نتیجه ای جز پاره ها و کلوخه های خاک که به دلیل شکست هیدرولیکی ناشی از فشار تزریق از هم جدا شده اند، نخواهد داشت. در سطح دنیا تنها در موارد بسیار نادر و در زمانی که هیچ راه حل دیگری موجود نبوده است، با انجام کارهای تحقیقاتی سنگین و صرف زمان و هزینه بالا اقدام به تزریق آبرفت در زیر بدنه سد های انگشت شماری شده است.

در مورد دریاچه چیتگر، با توجه به نوع مصالح خاکی و نفوذپذیری آن و درصد ریزدانه آن، امکان تزریق با سیمان بلین بالا تا رسیدن به حد مجاز نفوذپذیری، حتی با اجرای گمانه های تزریق به فاصله ۷۵ سانتی متر، وجود ندارد. از طرفی تزریق با انواع ترکیبات شیمیایی از تزریق رزینی و پلی اورتان گرفته تا دیگر ترکیبات شیمیایی اعم از پایدار و ناپایدار نیز با توجه به میزان نفوذ

آنها، حتی با اجرای گمانه‌های تزریق به فواصل نیم متری برای رسیدن به حد مجاز نفوذپذیری، کفایت نمی‌کند. به علاوه به فرض انجام پذیری این گزینه، زمانبری و هزینه چنین رویکردی قبل از هر تعریفی، خارج از استانداردهای جهانی است.

3-4- آب بندی با استفاده از بتن آسفالتی

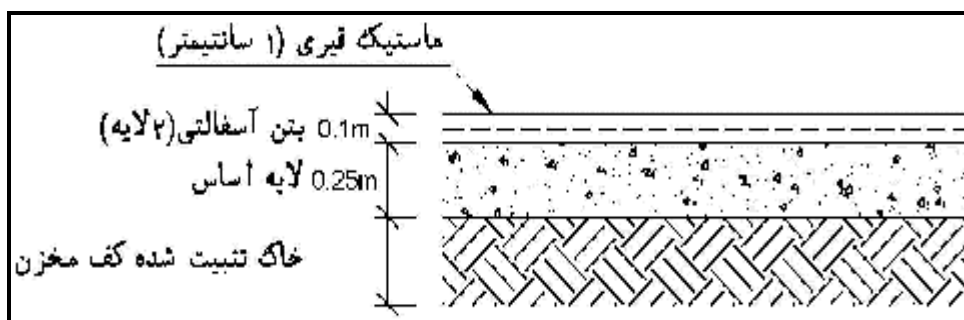
بتنی آسفالتی ترکیبی از آسفالت، آگرگات و کانی‌های مختلف می‌باشد. یک راه حل معمول برای آب بندی مخزن سد، استفاده از بتن آسفالتی می‌باشد.

در سالهای اخیر، این روش برای آب بندی مخازن پروژه‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است.

آب بندی آبرفت مخزن سد چیتگر با استفاده از بتن آسفالتی دارای مزایای زیر می‌باشد:

- نفوذپذیری بسیار پایین برای به حداقل رساندن نشتی مخزن
- انعطاف پذیری خوب و قابلیت نصب روی آبرفت با حداقل زیرسازی
- امکان یکپارچگی پوشش آب بند مخزن سد با پوشش آب بند سطحی در رویه بالادست بدنه سد
- اجرای سریع و آسان

شکل 5 مقطع تیپ برای آب بندی با پوشش بتنی آسفالتی را نشان می‌دهد.



شکل 5- مقطع تیپ مورد نظر برای آب بندی با پوشش بتن آسفالتی

3-5- آب بندی کف مخزن با استفاده از ژئوممبرین

بر اساس استاندارد *ASTM(1997)* ژئوسنتتیک یک محصول صفحه‌ای است که از مواد پلیمری به همراه سنگ و خاک یا سایر مواد دیگر ساخته شده است و به عنوان بخشی از پروژه مهندسی عمران به کار گرفته می‌شود.

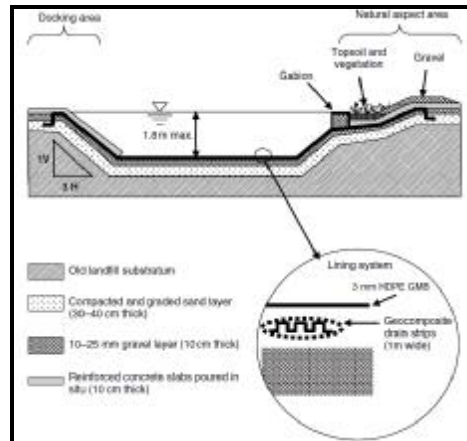
در سال 1960 میلادی اولین کاربرد غشای مصنوعی «ژئوممبرین» در ساخت سد، توسط کارل ترزاقی با بکارگیری 10000 متر مربع ورقه از جنس پی وی سی به عنوان غشای آب بند در برخی از بخش‌های سد در کانادا استفاده شد.

دیگر راه حل قابل بررسی برای آب بندی کف مخزن سد چیتگر، استفاده از محصولات ژئوممبرین می‌باشد. در این راستا، می‌توان از محصولات زیر استفاده نمود:

• ژئوتکستایل پهن شده در کف مخزن، که سپس با پاشیدن مواد آب بند ژل مانند (*Polyurea*) به داخل بافت‌های آن، یک پوشش آب بند را تشکیل می‌دهد.

• سه لایه از جنس مصالح ژئوسینتتیک، متشکل از یک لایه ژئوممبرین که لایه‌های ژئوتکستایل در بالا و پایین آن قرار گرفته‌اند. در این ترکیب، لایه ژئوممبرین وظیفه آب بندی، و لایه‌های ژئوتکستایل در دو طرف وظیفه حفاظت فیزیکی و تأمین مقاومت برشی (از جمله روی شیب‌ها) را به عهده دارند.

پلی اتیلن با چگالی بالا یا همان *HDPE* (High-Density Polyethylene) نوعی ژئوممبرین است که منحصر در خاک چالها، مخصوصاً در لایه های پایین، مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی ژئوممبرین های *HDPE* شامل 96-97.5% رزین پلی اتیلن، 2-3% کربن سیاه و 0.5-1% سایر مواد افزودنی شامل آنتی اکسیدان و مقاوم کننده ها می باشند. شکل 6 نحوه استفاده از ژئوممبرین *HDPE* برای آب بندی کف دریاچه *Gennevilliers* در فرانسه را که بزرگترین دریاچه مصنوعی با پوشش ژئوممبرین در اروپاست، نشان می دهد.



شکل 6- استفاده از ژئوممبرین *HDPE* برای آب بندی کف دریاچه *Gennevilliers* در فرانسه

3-6- مقایسه فنی و اقتصادی گزینه های آب بندی مخزن سد

با توجه به توضیحات فنی ارائه شده راجع به گزینه آب بندی مخزن سد با بلانکت رسی و نیز آب بندی از طریق تزریق، این گزینه ها به دلیل مسائل فنی کنار گذاشته شده و مقایسه اقتصادی بین گزینه های آب بندی با پوشش بتن آسفالتی، آب بندی با استفاده از ژئوتکستایل (ژئوممبرین) انجام شده است. با مقایسه قیمت تمام شده اجرای یک متر مربع پوشش آب بند گزینه های مذکور مشاهده شد، هزینه اجرایی آب بندی با پوشش ژئوممبرین کمتر از گزینه های دیگر می باشد. لازم به ذکر است که آیتم - های اجرایی پاکسازی و تثبیت زمین طبیعی در همه گزینه ها یکسان است.

4- نتیجه گیری

- بر اساس مجموعه اطلاعات ارائه شده در این مقاله، نتیجه گیری حاصله به شرح زیر ارائه می گردد:
- براساس نتایج حاصل از مطالعات ژئوتکنیک مخزن سد، آبگذری وضع موجود مخزن به حدی است که برای ساخت دریاچه مصنوعی، آب بندی کف مخزن ضروری می باشد.
 - با توجه به نتایج آزمایش های ایندکس انجام شده بر روی نمونه های اخذ شده از چاهک های شناسائی داخل مخزن، مصالح ریز دانه محدوده غربی مخزن عمدتاً سیلت و یا رس با نشانه خمیری پایین (نزدیک مرز سیلت) می باشد. لذا، این مصالح برای ساخت بلانکت رسی مناسب نبوده، و در حالت کوبیده شده به نفوذناپذیری مورد نیاز نمی رسد. بدین ترتیب، نشت سالانه مخزن بیش از حد مجاز بوده و این گزینه کنار گذاشته می شود.
 - گزینه های پوشش بتن آسفالتی و پوشش ژئوممبرین هر دو به لحاظ فنی و میزان آبگذری سالانه مورد قبول می باشند.
 - مقایسه اقتصادی انجام شده نشان می دهد که هزینه اجرایی آب بندی با پوشش ژئوممبرین کمتر از رویه بتن آسفالتی می باشد. به علاوه، از دیدگاه سرعت اجرا (بخصوص در فصل سرد) این گزینه نسبت به رویه بتن آسفالتی ارجحیت دارد.

در نهایت، گزینه آب بندی مخزن سد چیتگر با استفاده از پوشش ژئوممبرین، در مجموع از دیدگاه فنی، اجرایی و اقتصادی، به عنوان گزینه منتخب معرفی می گردد.

منابع

- شرکت مهندسی اشتوکی پارس (1390). "گزارش طراحی آب بندی مخزن سد چیتگر".
- شرکت مهندسی اشتوکی پارس (1390). "گزارش زمین شناسی، زمین شناسی مهندسی، ژئوتکنیک و هیدروژئولوژی".
- Games G. Colin, National Highway Institute(U.S), Ryan R. Berg(2008). "Geosynthetic Design And Construction Guidelines" Santvoort, G.P.T.M(1994). "Geotextiles and geomembranes in civil engineering, Revised Ed". , Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- R. Kerry Row, Henri p. Sangam.(2002). "Durability of HDPE geomembranes" , Geosynthetic and Geomembranes, Vol .20, pp.77-95.
- Qinghua. Zhou, Qinwu Xu.(2009). "Experimental study of waterproof membranes on concrete deck: Interface adhesion under Influences of critical factors" , Material and Design, Vol.30, pp.1161-1168.