دانشگاه تهران
معاونت پژوهشی
مؤسسه آب

مطالعه و بررسی راهکارهای رفع شوری آب مخزن سد گتوند و انتخاب راهکار برتر

گزارش ارزیابی

جلد اول – ارزیابی راهکارها

شماره قرارداد: ۱۶۷۷۵۷	تاریخ عقد قرارداد: ۹۳/۱۲/۲۰	شماره گزارش :۲
تاریخ تهیه : خرداد ۹۴	تاریخ اولین انتشار : ۹۴/۰۴/۰۱	تاریخ تغییر : ۹۴/۰۹/۰۵ شماره تغییر:
برای اعلام نظر ☐	برای تصویب ☐	گزارش مصوب ☒

تاریخ تهیه : آذرماه ۱۳۹۴

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

خلاصه مدیریتی ۱
۱. مقدمه ۹
۲. روش شناسی ارزیابی ۱۱
۲. ۱. کلیات ۱۱
۲. ۲. فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP) ۱۱
۲. ۲. ۱. معرفی روش ۱۱
۲. ۲. ۲. مراحل انجام روش ۱۳
۲. ۲. ۲. ۱. ساختن سلسله مراتب ۱۳
۲. ۲. ۲. ۲. تبیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها ۱۴
۲. ۲. ۲. ۳. تعیین ضریب اهمیت گزینه ها ۱۴
۲. ۲. ۲. ۴. تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها ۱۴
۲. ۲. ۲. ۵. بررسی سازگاری در قضاوتها ۱۵
۳. معیارهای ارزیابی ۱۶
۳. ۱. کلیات ۱۶
۳. ۲. تشریح فرآیند تعیین معیارها ۱۶
۳. ۲. ۱. شناسایی معیارها ۱۶
۳. ۲. ۱. ۱. کسب نظرات و دیدگاه‌های وزارت‌خانه‌ها و سازمان‌های دولتی ذیمدخل ۱۶
۳. ۲. ۱. ۲. برگزاری جلسه طوفان فکری ۲۲
۳. ۲. ۲. تدقیق و غربال گری معیارها با هم اندیشی ۲۵
۳. ۲. ۳. وزن‌دهی معیارها ۲۹
۴. راهکارهای پیشنهادی ۳۵
۴. ۱. کلیات فرآیند تعیین راهکارها ۳۵
۴. ۲. شناسایی راهکارها ۳۵
۴. ۲. ۱. مکاتبه و برگزاری جلسه با ذینفعان ۳۵
۴. ۲. ۲. برگزاری جلسه طوفان فکری ۳۷
۴. ۳. غربال گری راهکارها ۴۱
۴. ۳. ۱. راهکارهای حذف شوری از مبدا ۴۱
۴. ۳. ۲. راهکارهای نمک زدایی ۴۲
۴. ۳. ۲. ۱. اطلاعات عمومی مرتبط با نمک زدایی ۴۲
۴. ۳. ۲. ۲. مشکلات و موانع کلی راهکارهای نمک زدایی ۴۲
۴. ۳. ۲. ۳. راهکارهای نمک زدایی بررسی شده در مطالعات قبلی ۴۳

۴. ۳. ۲. ۴. راهکارهای نمک زدایی بررسی شده در مطالعات حاضر ۴۴
۴. ۳. ۳. راهکارهای محبوس کردن نمک ۴۶
۵. کلیات راهکارهای ارزیابی شده ۴۷
۶. تبیین راهکار مدیریت مخزن ۵۱
۶. ۱. مشخصات راهکار مدیریت مخزن ۵۱
۶. ۲. نتایج کیفیت آب مخزن در سناریوی گزینش‌شده مدیریت مخزن ۵۵
۶. ۲. ۱. تغییرات دبی GRP در زمان برای سناریوی گزینش‌شده مدیریت مخزن ۵۶
۶. ۲. ۲. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی برای سناریوی گزینش‌شده مدیریت مخزن ۵۷
۶. ۲. ۳. تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده مدیریت مخزن ۵۷
۶. ۲. ۴. شاخص کیفیت برای سناریوهای مطلوب ۵۹
۷. تبیین راهکار شستشوی سریع ۶۰
۷. ۱. مشخصات راهکار شستشوی سریع ۶۰
۷. ۲. نتایج کیفیت آب مخزن در سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع ۶۳
۷. ۲. ۱. تغییرات دبی مجرای GRP در زمان برای سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع ۶۴
۷. ۲. ۲. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی برای سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع ۶۵
۷. ۲. ۳. تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع ۶۵
۷. ۲. ۴. شاخص کیفیت برای سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع ۶۷
۸. تبیین راهکار خط انتقال ۶۸
۸. ۱. مقدمه ۶۸
۸. ۲. فهرست سناریوهای راهکار خط انتقال ۶۸
۸. ۳. سناریوهای رد شده خط انتقال ۶۹
۸. ۴. سناریوهای قابل طرح خط انتقال ۷۰
۸. ۴. ۱. سناریوی انتقال به خلیج فارس ۷۰
۸. ۴. ۱. ۱. خط انتقال ۷۰
۸. ۴. ۱. ۲. حوضچه اختلاط ۷۱
۸. ۴. ۱. ۳. سامانه آبگیری و تخلیه به دریا ۷۲
۸. ۴. ۱. ۴. برآورد هزینه راهکار انتقال به خلیج فارس ۷۳
۸. ۴. ۱. ۵. خلاصه مشخصات راهکار ۷۳
۸. ۴. ۲. سناریوی انتقال به حوضچههای تبخیری در نزدیکی دریا و صادرات نمک محلول با غلظت بالا ۷۴
۸. ۴. ۲. ۱. خط انتقال ۷۴
۸. ۴. ۲. ۲. حوضچه های تبخیری ۷۵
۸. ۴. ۲. ۳. برآورد هزینه راهکار انتقال آب شور به حوضچه های تبخیری نزدیک دریا ۷۶
۸. ۴. ۲. ۴. خلاصه مشخصات راهکار ۷۷

۸. ۴. ۳. سناریوی انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک سد و ذخیره نمک ۷۸
۸. ۴. ۳. ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه بتوند- کوه زر ۷۹
۸. ۴. ۳. ۲. مشخصات رود شور جوار منطقه ۷۹
۸. ۴. ۳. ۳. زمین‌شناسی منطقه بتوند- کوه زر ۸۳
۸. ۴. ۳. ۴. خط انتقال ۸۴
۸. ۴. ۳. ۵. حوضچه تبخیری ۸۵
۸. ۴. ۳. ۶. برآورد راهکار انتقال آب شور به حوضچه های تبخیری نزدیک سد ۸۷
۸. ۴. ۳. ۷. خلاصه مشخصات راهکار ۸۸
۸. ۵. نتایج مدل سازی کیفیت مخزن در سناریوی گزینش‌شده خط انتقال ۸۸
۸. ۵. ۱. تغییرات دبی مجرای GRP نسبت به زمان در سناریوی گزینش‌شده خط انتقال ۸۹
۸. ۵. ۲. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی برای سناریوی گزینش‌شده خط انتقال ۹۰
۸. ۵. ۳. تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده خط انتقال ۹۰
۸. ۵. ۴. شاخص کیفیت برای سناریوی گزینش‌شده خط انتقال ۹۲
۹. تبیین راهکار انحراف رودخانه ۹۳
۹. ۱. مقدمه ۹۳
۹. ۲. سناریوهای بررسی شده ۹۵
۹. ۳. سناریوی انحراف سد گتوند با کمک سد گتوند ۹۶
۹. ۴. سناریوی دور زدن توده عنبل ۹۷
۹. ۵. سناریوی انحراف آب به پایین دست گتوند از تراز ۱۸۰ رودخانه ۹۸
۹. ۶. سناریوی انحراف آب به پایین دست گتوند از تراز ۲۲۰ رودخانه ۱۰۱
۹. ۷. سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف آب کارون به پایین دست گتوند ۱۰۴
۹. ۷. ۱. جمع بندی و نتیجه گیری ۱۰۵
۹. ۸. نتایج مدل سازی کیفیت مخزن در سناریوی گزینش‌شده انحراف رودخانه ۱۰۶
۹. ۸. ۱. تغییرات دبی مجرای GRP در زمان در سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه ۱۰۸
۹. ۸. ۲. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی در سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه ۱۰۸
۹. ۸. ۳. تغییرات پروفیل شوری در عمق در سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه ۱۰۹
۹. ۸. ۴. شاخص کیفیت آب مخزن در سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه ۱۱۰
۱۰. ارزیابی راهکارهای گزینش‌شده براساس معیارهای تعیین شده ۱۱۱
۱۰. ۱. مشروح نتایج ارزیابی ۱۱۱
۱۰. ۲. تحلیل حساسیت نتایج ارزیابی ۱۱۸
۱۰. ۳. مقایسه دو راهکار برتر ۱۲۱
۱۱. جمع بندی و ارائه راهکار(های) برتر ۱۲۲
۱۲. الزامات اجرایی و توصیه‌ها ۱۲۶

۱۲. ۱. الزامات اجرایی راهکار برتر ۱۲۶
۱۲. ۲. توصیه ها و پیشنهادات ۱۲۷
۱۳. مراجع ۱۲۸

خلاصه مدیریتی

گزارش ارزیابی با هدف مقایسه راهکارهای رفع شوری آب مخزن سد گتوند که در ادامه این خلاصه مدیریتی مختصراً راهکار نامیده می شوند و در نهایت انتخاب راهکار برتر تنظیم شده است. این گزارش در دو جلد تهیه و ارائه شده است که مجموعه حاضر، جلد اول آن است. جلد دوم به مطالعات پشتیبان اختصاص یافته است. خلاصه فعالیت های انجام شده در این زمینه و نتایج حاصل شده به شرح زیر است:

براساس شرح خدمات مؤسسه آب دانشگاه تهران موظف بوده است که راهکارها را از جنبه های محیط زیستی، فنی، اقتصادی و ریسک ارزیابی نماید. برای این منظور دو جلسه هم اندیشی با نمایندگان ذینفعان و ذیمدخلان و هم‌چنین کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرمای طرح برگزار گردید. مجموعه ذینفعان و ذیمدخلان شامل نمایندگان دستگاه های زیر بوده است:

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
- سازمان حفاظت محیط زیست کشور
- وزارت نیرو
- وزارت جهاد کشاورزی
- شرکت مدیریت منابع آب ایران
- شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران
- سازمان حفاظت محیط زیست استان خوزستان
- شرکت سهامی آب و برق خوزستان
- استانداری خوزستان
- دانشگاه شهید چمران
- خانه کشاورز
- مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی
- جامعه مهندسین مشاور
- کمیته ملی سدهای بزرگ ایران
- کمیته ملی آبیاری و زهکشی
- موسسه تحقیقات آب
- شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس

تعاریف اولیه برای معیارهای ارزیابی راهکارها در جلسه طوفان فکری مورخ ۹۳/۱۲/۲۱ با حضور ۱۹ نفر از ذینفعان و ۱۵ نفر از همکاران مؤسسه آب شناسایی شدند. این فهرست معیارها در جلسه هم اندیشی مورخ ۹۴/۱/۱۹ با حضور ۲۱ نفر از نمایندگان ذینفعان و ۱۸ نفر از همکاران مؤسسه آب تدقیق شده و در نهایت صرفاً با استفاده از نظرات ذینفعان، فهرستی شامل ۳۸ معیار ارزیابی تهیه شد. لازم به ذکر است که با تأکید ذینفعان بر لحاظ نمودن جنبه های اجتماعی در مطالعات، تعدادی معیار اجتماعی نیز در فرآیند ارزیابی تعریف شد، هر چند که در شرح خدمات طرح دیده نشده بود. در این مطالعه که نوعی تصمیم-گیری چند معیاره است، برای تعیین وزن نسبی معیارها و مقایسه راهکارها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. براین اساس از نمایندگان رسمی ذینفعان در جلسه مورخ ۹۴/۱/۱۹ خواسته شد تا از طریق انجام مقایسات زوجی، وزن نسبی معیارها را مشخص نمایند. خلاصه نتایج این جلسات در جدول (۱) نشان داده شده است.

مرحله بعد شناسایی راهکارهای رفع شوری آب مخزن سد گتوند بوده است. در این مرحله علاوه بر مکاتبه با ذینفعان و پیشنهادات کارگروه های تخصصی، در جلسه طوفان فکری مورخ ۹۴/۱/۲۰ با حضور ۲۵ نفر از نمایندگان ذینفعان و ۱۵ نفر از

همکاران کارگروه های تخصصی تیم مؤسسه آب راهکارهای نشان داده شده در جدول (۲) برای ارزیابی کارشناسی توسط کارگروه های تخصصی شناسایی شدند.

جدول (۱): دسته بندی معیارهای ارزیابی و وزن نسبی آنها

ردیف	عنوان	تعداد	وزن
۱	معیارهای محیط زیستی	۱۱	۲۷.۱۲٪
۲	معیارهای فنی	۸	۲۲.۴۱٪
۳	معیارهای اقتصادی	۱۰	۲۷.۰۳٪
۴	معیارهای اجتماعی	۴	۱۲.۱۷٪
۵	معیارهای مبتنی بر ریسک	۵	۱۱.۲۷٪

جدول (۲): راهکارهای شناسایی شده در جلسه طوفان فکری مورخ ۹۴/۱/۲۰

طبقه بندی راهکار	عنوان راهکار	
کنترل شوری از مبدأ	کنترل سرشاخه های شور	
	کنترل شوری ورودی از توده عنبل	استفاده از سپر یونی
		پوشش با مصالح (غرقابی)
		الکترواسمز
نمک زدایی و محبوس کردن نمک	تصفیه نمک	استفاده از نانو
		ECR
		میکرو ارگانیزم های نمک خوار
	محبوس کردن نمک	استفاده از هیدروژل ها
		استفاده از ژئوبگ
مدیریت مخزن و شستشوی سریع	رها سازی آب خیلی شور به صورت دوره ای (شستشوی سریع)	
	رها سازی تدریجی آب شور از مخزن با حفظ شوری در حد آستانه مورد قبول در پایین دست	
انتقال	تزریق به چاه‌های نفت	
	تحویل به صنایع متقاضی	پتروشیمی
		سیمان کارون / صنایع کربنات سدیم رامهرمز
	انتقال به حوضچه‌های تبخیری در نزدیک سد	
	تخلیه به خلیج فارس	
انحراف آب و برچیدن	انحراف آب از قبل از توده عنبل	
	تخلیه از طریق سد های انحرافی و تونل های انحراف در ترازهای مختلف	

لازم به ذکر است که ارائه راهکارهای احتمالی پیشنهادی مؤسسه آب، و همچنین ارزیابی اولیه، دسته بندی و غربال‌گری راهکارهای پیشنهاد شده توسط دیگران، نیازمند رسیدن به فهم درست از صورت مسئله و شناخت و تحلیل وضعیت موجود سامانه سد، مخزن و رودخانه بوده است. فعالیت های مرتبط با شناخت و تحلیل وضع موجود به طور جداگانه برنامه ریزی و انجام شد و گزارش آن قبلا (در گزارش شناخت) ارائه شده است.

یافته های مرحله شناخت در پردازش و بسط ایده مرتبط با راهکارهای چهارگانه نقش کلیدی ایفا میکنند. از جمله این موارد می‌توان به یافته های زیر اشاره نمود:

- محافظه کارانه بودن برآورد قبلی از میزان و درصد نمک موجود در توده عنبل، کند شدن نرخ ورود نمک از سازند و روند رو به تثبیت آن
- عدم نگرانی از آثار شوری بر هسته رسی و قابل علاج بودن مشکلات احتمالی ناشی از تاثیر شوری بر سازه بتنی گالری بازدید
- وابستگی کمیت و کیفیت رودخانه و لزوم استفاده از روابط دبی- هدایت الکتریکی، نقش منفی پدیده هایی مانند خشکسالی بر کیفیت رودخانه
- افزایش طبیعی شوری رودخانه کارون از مقطع سد مسجد سلیمان تا پل لالی و از مقطع پل لالی تا پایین دست توده عنبل
- تجمع حدود ۸ میلیون تن نمک داخل مخزن تا اوایل اسفند ۱۳۹۳
- برآورد شوری طبیعی رودخانه در فرض «بدون سد»، معادل حدود ۱۱۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر (در مقطع محور سد گتوند علیا) با لحاظ کردن شکست هیدرولوژیک سال ۱۳۸۵
- افزایش حدود ۲۵ درصدی شوری رودخانه کارون ناشی از عملکرد سد پس از آبگیری
- آورد قابل ملاحظه میان حوضه (بین سد مسجد سلیمان و سد گتوند) معادل حدود یک میلیارد متر مکعب بر سال

با تامل بیشتر مشخص می‌شود:

۱. راهکارهای مختلف باید بتوانند نمک های سه گانه زیر را مدیریت نمایند:

الف) آورد نمک طبیعی رودخانه که وابسته به میزان دبی ورودی به مخزن سد است

ب) آورد نمک از توده عنبل که عمدتا وابسته به تراز آب مخزن است. انتظار می‌رود مادام که سطح آب از حداکثر مقدار قبلی خود (حدود ۲۲۳ متر بالاتر از سطح دریا) بالاتر نرود، شاهد افزایش قابل ملاحظه در آورد نمک از توده نباشیم. میزان نمک موجود در تراز های بالای توده عنبل زیاد نیست.

ج) نمک موجود در مخزن

۲. با توجه به تراز گالری بتنی بازدید سد، راهکارهای مختلف نسبت به کاهش شوری در تراز گالری، عملکرد یکسان دارند.

۳. به دلیل شوری طبیعی رودخانه و وجود نمک در ترازهای پایین تر از رقوم آبگیر لوله GRP (۹۰) امکان صفر شدن میزان نمک موجود در مخزن وجود ندارد. به ازای هر یک میلیارد متر مکعب آب موجود در مخزن سد، حدود ۵۵۰ هزار تن نمک طبیعی وجود خواهد داشت. بدین ترتیب با توجه منحنی حجم- سطح مخزن میزان نمک طبیعی موجود در مخزن در تراز ۲۰۰ متر از سطح آزاد دریا، حدود ۱.۲۶ میلیون تن و در تراز ۲۱۰ حدود

۱.۶۵ میلیون تن برآورد می‌شود.

۴. آورد نمک از توده عنبل در حالت طبیعی صفر نیست.

بررسی های بیشتر در مورد راهکارهای نشان داده شده در جدول (۲) بر اساس یافته های مرحله شناخت، منجر به غربال شدن تعدادی از راهکارها (مواردی که با رنگ خاکستری مشخص شده) به دلایلی چون ناکارآمدی و غیر قابل پیاده سازی بودن در مقیاس سد گتوند، کمبود دانش و تجربه کافی و تردید در اجرایی بودن راهکار شد. تعریف و تبیین دقیق‌تر سایر راهکارهای مندرج در جدول (۲) و تهیه اطلاعات مورد نیاز جهت مقایسه و ارزیابی آنها، نیازمند انجام مطالعات خاص بود که از جمله مهم ترین فعالیت های انجام شده در مطالعات حاضر است. بدین منظور علاوه بر کارگروه های تخصصی تشکیل شده در مرحله شناخت، کارگروه‌های جداگانه‌ای برای هر راهکار تشکیل شد. با توجه به فشردگی مطالعات حاضر مشخصات کلی راهکارها در حد مرحله پیش شناخت تعیین شده است. در خصوص راهکار خط انتقال مورد نظر کارفرمای سد گتوند علیا اطلاعات بیشتری موجود بود و البته مشخص شد مطالعات تفصیلی خط انتقال به تازگی در حال ابلاغ به مهندس مشاور است.

یکی از مهم ترین فعالیت های مرحله ارزیابی، پیش بینی روند آینده مخزن سد گتوند علیا و رود کارون به لحاظ هدایت الکتریکی آب در هر یک از راهکار است. این امر نیازمند انجام فعالیت های زیر بوده است:

- پیش بینی روند تغییرات آورد نمک از توده عنبل
- پیش بینی سری زمانی آورد رودخانه
- پیش بینی تغییرات کیفی مخزن و رودخانه در سناریوهای مختلف

و بر اساس داده های خروجی مرتبط با بند سوم، کارگروه های تخصصی اقدام به انجام موارد زیر نمودند:

- پیش بینی تاثیر راهکارهای مختلف بر سد و تاسیسات وابسته
- پیش بینی تاثیر راهکارهای مختلف بر کشاورزی
- پیش بینی تاثیر راهکارهای مختلف بر محیط زیست

برخی از اطلاعات مرتبط با موارد فوق از جمله روند تغییرات آورد نمک از توده عنبل و حساسیت سد و تاسیسات وابسته به شوری، در حد شناخت وضع موجود در مرحله شناخت تهیه شده بود. سایر اطلاعات مورد نیاز شامل مطالعات تغییر اقلیم، مدل‌سازی کیفی مخزن و رودخانه، مطالعات کشاورزی و مطالعات محیط زیست توسط تیم های تخصصی مؤسسه آب تهیه و به طور جداگانه در گزارش «مطالعات پشتیبان» ارائه شده است.

جدول (۳) مشخصات کلی راهکارهای گزینش شده را براساس بررسی های کارشناسی کارگروه‌های تخصصی مختلف نشان می دهد. لازم به ذکر است راهکار خط انتقال به خلیج فارس از راهکارهای گزینش شده مؤسسه آب نبوده و صرفاً بدلیل اهمیت آن در برنامه های علاج بخشی وزارت نیرو برای سد گتوند در مقایسه نهایی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول (۴) نیز معرفی خلاصه ای از پنج راهکار گزینش شده ارائه شده است.

جدول (۳): مشخصات کلی راهکارهای گزینش شده برای رفع شوری سد گتوند

مورد		مدیریت مخزن	خط انتقال به نزدیک سد	خط انتقال به خلیج فارس	شستشوی سریع	انحراف رودخانه
جرم نمک داخل مخزن (میلیون تن) در سال از شروع طرح	۱	۸.۷	۹.۱	۹.۱	۸.۱	۹.۱
	۳	۸.۴	۱۰.۸	۱۰.۸	۵.۸	۱۰.۸
	۵	۷.۷	۱۱.۸	۱۱.۸	۳.۴	۱۱.۸
	۷	۶.۶	۶.۴	۶.۴	۳.۰	۶.۳
	۹	۴.۸	۴.۲	۴.۲	۳.۰	۴.۴
	۱۱	۳.۶	۳.۵	۳.۵	۳.۲	۴.۰
	۱۳	۲.۹	۳.۳	۳.۳	۳.۰	۴.۰
	۱۵	۲.۹	۳.۲	۳.۲	۳.۰	۴.۰
	متوسط ۱۵ ساله	۵.۷	۶.۶	۶.۶	۴.۰	۶.۸
هدایت الکتریکی در محل سد تنظیمی گتوند (µS/cm)	۱	۱۳۰۱	۱۱۰۴	۱۱۰۴	۱۳۷۹	۱۱۰۴
	۳	۱۳۰۳	۱۱۱۰	۱۱۱۰	۱۳۸۴	۱۱۱۰
	۵	۱۳۰۱	۱۱۱۳	۱۱۱۳	۱۳۱۲	۱۱۱۴
	۷	۱۲۹۹	۹۶۸	۹۶۸	۱۱۳۸	۹۵۰
	۹	۱۲۹۸	۹۵۱	۹۵۱	۱۱۱۶	۷۸۲
	۱۱	۱۲۲۸	۹۴۹	۹۴۹	۱۱۲۹	۸۵۱
	۱۳	۱۱۳۴	۹۴۴	۹۴۴	۱۱۱۴	۸۶۵
	۱۵	۱۱۱۱	۹۳۶	۹۳۶	۱۱۱۵	۸۶۷
	متوسط ۱۵ ساله	۱۲۴۹	۱۰۰۵	۱۰۰۵	۱۲۰۸	۹۵۸
هدایت الکتریکی در پایین دست (µS/cm)	شوشتر	۱۴۶۴	۱۲۵۸	۱۲۵۸	۱۴۴۴	۳۰۰۰
	ملاثانی	۲۰۲۲	۱۸۷۸	۱۸۷۸	۲۰۰۸	۱۸۲۲
	اهواز	۲۳۹۸	۲۲۵۸	۲۲۵۸	۲۳۸۴	۲۲۰۴
	دارخوین	۳۰۱۴	۲۸۸۰	۲۸۸۰	۳۰۰۰	۲۸۲۸
هزینه اجرا و بهره برداری (میلیارد تومان)		۰	۵۵۰	۱۳۶۳	۴۴۰	۴۰۰۰
مدت زمان اجرای ابنیه (سال)		۰	۳	۵	۳	۱۰
اتلاف آب (MCM/yr)		۰	۳۰	۳۰	۱۴۰۰	۳۰
خسارت راهکار به کشاورزی (میلیون ریال)		۳۴۳۴۹۰	۰	۰	۴۰۴۱۰۵	۰
دبی متوسط نیروگاه گتوند (cms)		۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۲۸۴	۰

جدول (۴): خلاصه مشخصات راهکارهای گزینش شده مورد ارزیابی

راهکار	هدف	مشخصات کلی
مدیریت مخزن	تخلیه تدریجی نمک از مخزن به پایین دست از طریق تنظیم میزان خروجی از تخلیه کننده تحتانی، GRP و نیروگاه	بهره برداری از روند کند شدن نرخ ورود نمک از سازند
		اجتناب از هر گونه اقدام سازه ای و هزینه بر
		شروع علاج بخشی از حال حاضر
		امکان بهره برداری از شرایط تر سالی
		تثبیت شوری در یک حد مطلوب و ممکن و تخلیه تدریجی آب شور مخزن
		نیازمند استفاده از یک مدل بهره برداری سیستمی و جامع
شستشوی سریع	تخلیه نمک تجمع یافته به شکل متمرکز و با دبی بالا در ایام محدود سال و تامین آب با کیفیت مناسب در بقیه ایام	نیاز به تخلیه سریع آب با دبی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه و شوری ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر به مدت ۱۶ روز در سال
		نیاز به رها سازی آب به اندازه حدود ۱.۴ میلیارد متر مکعب در سال
		لزوم استفاده از حوضچه های ذخیره جهت تامین مصارف شرب و صنعت در طول دوره شستشوی سریع.
		عدم آبگیری از رودخانه در طول دوره شستشوی سریع جهت مصارف کشاورزی.
		هزینه مورد نیاز جهت ساخت حوضچه های ذخیره و خطوط انتقال مورد نیاز برابر با ۴۰۰ میلیارد تومان.
		لزوم اتخاذ تدابیر پیشگیرانه جهت عبور سیلی با دبی ۱۰۰۰ متر مکعب در ثانیه از بستر طبیعی رودخانه
خط انتقال به خلیج فارس	انتقال آب بسیار شور لایه های تحتانی مخزن سد گتوند و تخلیه آن به خلیج فارس	طول تقریبی خط انتقال: ۲۸۰ کیلومتر مدت زمان اجرا: ۵ سال هزینه اجرا و بهره برداری: ۱۳۶۳ میلیارد تومان
		کمک به بهبود کیفیت آب مخزن و رودخانه از طریق توزیع بار نمک بین مخزن و رودخانه و محیط پذیرنده جدید
		تخلیه به سواحل هندیجان
		ظرفیت خط انتقال: یک متر مکعب در ثانیه
		درنظر گرفتن حوضچه اختلاط برای کاهش شوری به حدود ۶۰۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر قبل از تخلیه به خلیج فارس
خط انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک سد	انتقال آب بسیار شور لایه های تحتانی مخزن سد گتوند و تخلیه و ذخیره سازی آن در حوضچه های تبخیری در نزدیکی سد	طول تقریبی خط انتقال: ۳۵ کیلومتر مدت زمان اجرا: ۳ سال هزینه اجرا و بهره برداری: ۵۵۰ میلیارد تومان
		کمک به بهبود کیفیت آب مخزن و رودخانه از طریق توزیع بار نمک بین مخزن و رودخانه و محیط پذیرنده جدید
		تخلیه به حوضچه های تبخیری به مساحت کل ۱۱۰۰ هکتار در جنوب رودخانه شور دشت بزرگ
		ظرفیت خط انتقال: یک متر مکعب در ثانیه
		ملاحظات خاص طراحی برای کاهش ریسک نشت آب شور یا پخش نمک توسط باد از محل ذخیره درنظر گرفته شده
		امکان بهره برداری اقتصادی از نمک وجود دارد
انحراف رودخانه	انحراف بخشی از آورد رودخانه کارون قبل از تماس با توده عنبل و انتقال آن به رودخانه کارون در پایین دست سد گتوند	ظرفیت سیستم انتقال: ۱۰۰۰ متر مکعب در ثانیه – ۲۵٪ آورد کارون همچنان وارد سد گتوند می شود.
		انحراف از تراز ۲۲۰ متر از سطح دریا انجام می شود و بنابراین آب انتقالی کیفیتی بهتر از آب خروجی از نیروگاه گتوند خواهد داشت
		تونل با طول حدود ۲۰ کیلومتر، کانال اصلی با طول حدود ۲۲ و کانالهای فرعی با طول حدود ۲۵ کیلومتر نیاز
		آورد میان حوضه و سیلابهای خروجی سد مسجد سلیمان که قابل انتقال با تونل نباشند بایستی به تدریج از سد
		برای تخلیه نمک تجمع پیدا کرده در مخزن باید راهکار خط انتقال به نزدیک سد نیز در ترکیب با این راهکار اجرا شود.
		مدت زمان اجرای این طرح حدود ۱۰ سال برآورد شده که در مدت اجرا، راهکار مدیریت بهره برداری بایستی اجرا شود.

مرحله نهایی در این پروژه، ارزیابی راهکارهای گزینش شده براساس معیارهای نهایی و بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. برای انجام این مرحله، اطلاعات مورد نیاز برای سنجش هر یک از راهکارها براساس معیارهای مختلف از گزارشات کارگروه های تخصصی استخراج گردیده است. بخشی از این اطلاعات در جدول (۳) ارائه شده است. سپس در جلسه ای با حضور کارشناسان کارگروه های مختلف، مقایسه زوجی راهکارها براساس هر یک از معیارهای معرفی شده انجام شد. نتایج ارزیابی ها نشان می‌دهد که اولویت راهکارهای گزینش شده به شرح ذیل است:

۱. خط انتقال به نزدیک سد
۲. مدیریت مخزن
۳. خط انتقال به خلیج فارس
۴. انحراف رودخانه
۵. شستشوی سریع

تحلیل حساسیت روی نتایج ارزیابی با توجه به تنوع معیارهای مورد استفاده انجام شده است. مجموعه نتایج تحلیل حساسیت نشان می دهد، راهکارهای خط انتقال به حوضچه های تبخیری در نزدیک سد و مدیریت مخزن در رقابت بسیار نزدیکی برای کسب رتبه اول هستند در حالی که سه راهکار خط انتقال به خلیج فارس، انحراف رودخانه و شستشوی سریع، با فاصله نسبت به دو راهکار برتر در رتبه های بعدی قرار می گیرند. توجه به توصیه های زیر برای اطمینان از موفقیت برنامه علاج بخشی سد گتوند ضروری است:

۱. اجرای صحیح راهکار برتر نیازمند بازنگری مدل‌های بهره برداری از سدهای موجود با لحاظ کردن مسائل خاص سد گتوند و تدوین برنامه عملیاتی بهره برداری از زنجیره سدها است.
۲. با توجه به نیاز به ادامه عملکرد دریچه تخلیه تحتانی و نقش تعیین کننده آن در مدیریت مخزن، لازم است هر چه سریعتر مطالعه و بررسی لازم در خصوص تعمیر، بازسازی و ارتقای این سیستم و نحوه کنترل آن اندیشیده شود.
۳. به استناد مطالعات هیدرولوژی این طرح، یکی از علل افزایش شوری کارون در سالهای اخیر کاهش آوردها نسبت به متوسط درازمدت بوده است. لذا هر گونه اقدامی که باعث کاهش آورد کارون در مقطع سد گتوند شود، اجرای موفق راهکار برتر را به مخاطره می اندازد.
۴. مطالعات تکمیلی خط انتقال انجام شود و در شرح خدمات آن، مباحث مرتبط با مدل‌سازی های کیفیت آب در مخزن و رودخانه لحاظ گردد. همچنین گزارش ارزیابی محیط زیستی خط انتقال به نزدیک سد هر چه زودتر تهیه و جهت اخذ مجوز محیط زیستی ارائه گردد.
۵. از لحظه شروع اجرای خط انتقال، باید اجرای آن یک اضطرار تلقی شده و از به ثمر رسیدن آن ظرف مدت ۳ الی ۵ سال مطمئن شد. در صورتی که دولت امکان تضمین تأمین اعتبار مورد نیاز جهت اجرای خط انتقال را نداشته باشد، چنین راهکاری پیشنهاد نمی‌شود و به ناچار باید به راهکار مدیریت مخزن و کیفیت آب در حدود ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر در خروجی سد گتوند اکتفا نمود.
۶. راهکار خط انتقال تنها در صورتی به لحاظ محیط زیستی قابل توصیه است که شرایط ذخیره سازی نمک تا زمان بهره برداری از آن به صورت دقیق مطالعه و پیاده سازی شود به نحوی که هیچ نوع انتشار شورابه یا پخش نمک در مناطق اطراف صورت نگیرد. به نظر می رسد دانش و تجربه فنی لازم در این خصوص در کشور وجود دارد. همچنین با توجه به حجم قابل توجه نمک استحصالی از خط انتقال، توصیه می شود، همزمان با اجرای خط انتقال، سرمایه گذاری برای

احداث واحدهای صنعتی جدید و یا تقویت ظرفیت واحدهای صنعتی موجود در استان برای بهره برداری از نمک استحصال شده صورت گیرد.

۱. مقدمه

هدف از این مطالعه، ارزیابی راهکارهای مختلف پیشنهادی برای رفع شوری آب مخزن سد گتوند بر اساس معیارهای مختلف محیط زیستی، اقتصادی، فنی، ریسک و اجتماعی است. لازم به ذکر است که در مراحلی از فرآیند ارزیابی راهکارها سعی شده تا حد امکان از مجموعه ذینفعان و ذیمدخلان ستادی و استانی و کارشناسان معرفی شده توسط کارفرما به دو دلیل بهره گرفته شود:

۱) تعداد قابل توجهی از ذینفعان و ذیمدخلان مشارکت کننده در این بخش از مطالعات، در جریان مطالعات، اجرا و بهره برداری از سد گتوند بوده و شناخت بسیار خوبی نسبت به طرح و راهکارهای مختلف رفع شوری آن داشته اند.

۲) با توجه به حساسیت پروژه گتوند و تنش های سیاسی و اجتماعی مرتبط با آن، موفقیت هر راهکاری برای رفع شوری آن، علاوه بر جنبه های فنی در گرو ایجاد یک وفاق و درک مشترک بین ذینفعان و ذیمدخلان در مورد اثربخش بودن راهکار است. بدیهی است که موفق ترین شیوه دستیابی به چنین وفاقی، مشارکت فعال ذینفعان و ذیمدخلان در فرآیند انجام مطالعات است.

برای شناسایی راهکارها، علاوه بر راهکارهای مطرح شده توسط کارفرما، سازمان‌های ذینفع و مشاورین مطالعات طرح گتوند، از جلسه طوفان فکری نیز بهره گیری شده و از ذینفعان و ذیمدخلان مختلف ستادی و استانی و اعضای مختلف کارگروه های تخصصی درخواست شده که راهکارهای پیشنهادی خود را جهت بررسی کارشناسی بیشتر طرح نمایند. ارزیابی راهکارهای پیشنهادی در دو مرحله صورت گرفته است. در مرحله اول، ضمن جمع آوری مستندات فنی و تجارب ملی و بین المللی در مورد راهکارها، امکان پذیری آنها با توجه به فن آوری ها و تجارب تخصصی موجود یا قابل دستیابی در کشور ارزیابی شده و تعدادی از راهکارها غیرقابل اجرا تشخیص داده شده و از فرآیند مقایسه و رتبه بندی حذف شده اند. راهکارهایی که به لحاظ فنی قابلیت اجرایی آنها تایید شد، وارد مرحله بعدی ارزیابی شده اند. لازم به ذکر است که براساس شرح خدمات طرح، ارزیابی راهکارها می بایست براساس چهار معیار اقتصادی، فنی، محیط زیستی و ریسک انجام می گرفته که با توجه به تشخیص گروه متشکل از نمایندگان رسمی ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما، مسائل اجتماعی نیز در قالب چند معیار به عنوان دسته پنجم از معیارها در این ارزیابی درنظر گرفته شده اند. ارزیابی انجام شده در این مطالعه، به استناد بررسی های کارشناسی و در برخی موارد اطلاعات جمع آوری شده از مطالعات پیشین صورت گرفته و سعی شده تا حد امکان از نتایج مدلسازی های انجام شده برای ارائه درک دقیقی از وضعیت سامانه سد گتوند و رودخانه پایین دست در صورت اجرای هر یک از راهکارهای پیشنهادی استفاده شود.

برای انتخاب معیارها در پنج دسته ذکر شده و وزن دهی به آنها از جلسات طوفان فکری بهره گیری شده و مجموعه ای از ذینفعان و ذیمدخلان ستادی و استانی و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما که در ادامه گزارش معرفی خواهند شد به همراه تیم مؤسسه آب در این جلسات حضور پیدا کرده و ضمن هم‌فکری، ۳۸ معیار مختلف را برای ارزیابی، تعیین نمودند. در وزن دهی به معیارها از روش مقایسه زوجی استفاده شده و صرفاً از نظرات ذینفعان و کارشناسانی که به صورت رسمی از سوی کارفرما معرفی شدند بهره گرفته شده است. ارزیابی راهکارها بر اساس این معیارها نیازمند تهیه اطلاعات و انجام مطالعاتی بوده است که از ابتدای پروژه توسط تیم مؤسسه آب به کارگروه های تخصصی سپرده شد. نتایج این مطالعات در گزارش شناخت ارائه شده و پس از مشخص شدن فهرست نهایی معیارها، فعالیت های مربوط به تکمیل این اطلاعات و مطالعات ادامه یافت. تهیه این اطلاعات در برخی موارد نیازمند حجم قابل توجهی از مدلسازی های مختلف به خصوص در کارگروه هیدرولیک و کیفیت مخزن و خطوط انتقال بوده است. در نهایت پس از کمّی نمودن معیارهای مختلف و تهیه اطلاعات قابل دستیابی مرتبط

به آنها در راهکارهای مختلف، جلسه ارزیابی با شرکت کارشناسان کلیدی پروژه و تیم راهبری مؤسسه آب برگزار شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1])، رتبه بندی راهکارها صورت گرفته است. یکی از دلایل انجام بخش آخر فرآیند ارزیابی توسط تیم مؤسسه آب، لزوم پاسخگویی حقوقی دانشگاه تهران در مقابل نتایج نهایی بوده است. روش شناسی و نتایج مراحل ذکر شده در بخش‌های بعدی این گزارش ارائه شده است.

[1] Analytic Hierarchy Process

۲. روش شناسی ارزیابی

۲. ۱. کلیات

در تصمیم‌گیری‌های کلان و استراتژیک توجه جدی به همه جنبه‌های دخیل در حوزه تصمیم ضروری است و تصمیم گیرندگان با چالش‌های فراوانی رو به رو هستند که در این بین، پیچیدگی و تعدد عوامل تأثیرگذار بر فضای تصمیم‌گیری چشم-گیر است. این پیچیدگی‌ها به خصوص وقتی عوامل دخیل در تعارض با یکدیگر باشند نیاز به توجه مضاعف داشته و تصمیم-گیری را با دشواری رو به رو خواهد کرد. به عنوان نمونه در پروژه حاضر برای اتخاذ تصمیم درباره وضعیت شوری سد گتوند علیا، جنبه‌های محیط زیستی و ریسک در برخی موارد در تعارض با جنبه‌های فنی و اقتصادی طرح هستند. هم‌چنین، علاوه بر جنبه‌های محیط زیستی، فنی، اقتصادی و ریسک، وجود ذینفعانی با منافع غیر همسو بازخورد اجتماعی مترتب به هر راهکار و پیچیدگی تصمیم‌گیری را دو چندان می‌کند. این مهم تیم مؤسسه آب را بر آن داشت که با تلفیق دانش فنی و خرد جمعی در پی جستار روشی باشد که علاوه بر تواتر در ادبیات فنی با دیدگاهی وفاق برانگیز هر چه بیشتر مسئله را به سوی توافق بر سر راهکار نهایی پیش برد.

از آن‌جایی که در این پروژه تصمیم‌گیری بر مبنای جنبه‌های مختلفی صورت می‌گیرد، این مسئله در گروه مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره[۲] جای می‌گیرد. در مسائل تصمیم گیری چند معیاره، چنانچه تصمیم گیری بر اساس چند شاخصه (ویژگی، کیفیت یا پارامترهای عملکردی) صورت پذیرد آنرا تصمیم‌گیری چند شاخصه[۳] می نامند. در مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه، تعدادی گزینه موجود است که هر یک از گزینه‌ها، سطحی از مشخصه های مورد نظر تصمیم گیرنده را ارضا می‌کنند. تصمیم گیرنده باید بر اساس میزان و نوع اطلاعات در دسترس از گزینه‌ها و معیارها، بهترین گزینه را انتخاب نماید. روش‌های مختلفی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه وجود دارد. در این مطالعات روش فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP[۴]) انتخاب شده است زیرا در این روش می‌توان تعامل خوبی با کارشناسان خبره و ذینفعان داشت و تصمیم‌گیری را بصورت گروهی انجام داد؛ تجربیات فراوانی در استفاده از این روش وجود دارد؛ و این روش قابلیت در نظر گرفتن معیارهای کمّی و کیفی بصورت همزمان را دارد. در ادامه‌ی این بخش به معرفی روش فرآیند تحلیل سلسه مراتبی پرداخته شده‌است.

۲. ۲. فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP)

روش AHP بر اساس تحلیل مغز انسان برای مسائل پیچیده و فازی پیشنهاد شده است. این روش که در سال ۱۹۷۰ توسط توماس ال ساعتی[۵] ارائه شده با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن می-پردازد (Saaty 1980).

۲. ۲. ۱. معرفی روش

AHP و کاربرد آن بر سه اصل زیرین استوار است (اصغرپور ۱۳۸۷):

[2] Multi Criteria Decision Making
[3] Multiple Attribute Decision Making (MADM)
[4] Analytic Hierarchy Proces
[5] Tomas L Saaty

الف- برپایی یک ساختار و قالب رده‌ای (سلسله مراتبی) برای مسئله،
ب- برقراری ترجیحات از طریق مقایسات زوجی (به صورت نرخ نهائی جانشینی[6])،
ج- برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها.

الف- درک پدیده و مسائل بزرگ پیچیده برای ذهن انسان می‌تواند مشکل آفرین باشد. لذا تجزیه یک مسئله بزرگ به عناصر جزئی آن (با استفاده از یک ساختار رده‌ای) می‌تواند به درک انسان کمک کند. ارتباط بین هر یک از عناصر در ساختار رده‌ای باید در هر یک از سطوح مشخص شده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین رده در سلسه مراتب موجود روشن شده باشد.

ب- در برخی از مسائل باید از قضاوت تصمیم‌گیرنده در مورد مقایسه اهمیت نسبی شاخص‌ها یا گزینه‌ها در رابطه با یکدیگر استفاده نمود. این قضاوت‌ها زوجی بوده و تعداد آن‌ها برای n شاخص عبارت است از $n(n-1)/2$. فرض کنیم n شاخص (X_j) در رابطه با هدف تصمیم‌گیری به صورت زوجی (دو به دو) مقایسه شده و نسبت‌های زیرین از مقایسات حاصل شده است.

جدول ۲-۱- ماتریس مقایسات زوجی

در رابطه با هدف تصمیم		X_1	X_2	...	X_n
D=	X_1	a_{11}	a_{12}		a_{1n}
	X_2	a_{21}	a_{22}		a_{2n}
	.				
	.	a_{i1}	a_{i2}	a_{ij}	a_{in}
	.				
	X_n	a_{n1}	a_{n2}		a_{nn}

$$= \begin{vmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & & \frac{w_2}{w_n} \\ & & & \\ \frac{w_i}{w_1} & \frac{w_i}{w_2} & \frac{w_i}{w_j} & \frac{w_i}{w_n} \\ & & & \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & & \frac{w_n}{w_n} \end{vmatrix}$$

این ماتریس با عناصر مثبت بوده و عکس‌پذیر[7] است، یعنی:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \rightarrow i, j = 1, 2, \dots, n$$

چنانچه قضاوت‌های تصمیم‌گیرنده کاملاً با یکدیگر سازگاری[8] داشته باشند خواهیم داشت $a_{ij} = a_{ik} . a_{kj}$ ، بنابراین

[6] Marginal rate of substitution
[7] Reciprocal
[8] Consistent

ورودی‌های ماتریس D در شرایط سازگاری کامل دارای اشتباه نبوده و a_{ij} را می‌توان به صورت $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ نوشت.

در چنین شرایطی یعنی سازگاری کامل برای محاسبه وزن‌ها (w_iها) می‌توان به سادگی از «نرمالیزه کردن» هر یک از ستون‌های ماتریس D استفاده نمود، یعنی:

$$w_i = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^{n} a_{kj}} \rightarrow i = 1, 2, \dots, n$$

در این شرایط یعنی سازگاری کامل پاسخ حاصل از نرمالیزه کردن هر یک از ستون‌های jام موجود با یکدیگر برابر خواهند بود. اما در صورت عدم سازگاری در یک ماتریس مقایسه باید از روش‌های دیگری برای محاسبه w_i ها استفاده نمود. از آن جمله می‌توان به روش‌های کمترین مجذورات و بردار ویژه اشاره کرد. در ادامه تکنیک بردار ویژه شرح داده می‌شود.

ج- در هرصورت تصمیم‌گیرنده در مقایسات زوجی با مقادیری از ناسازگاری روبه‌رو خواهد شد، به همین منظور یک نسبت معروف به «نسبت سازگاری[9]» توسط آقای ساعتی تعریف شده است که چنانچه $C.R \leq 0.1$ باشد سازگاری ماتریس مفروض پذیرفته می‌شود. چنانچه این نسبت بزرگتر از (۰/۱) باشد باید از تصمیم‌گیرنده خواسته شود که در قضاوت‌های مقایسه‌ای خود برای دستیابی به سازگاری بیشتر تجدید نظر نماید.

AHP در ابتدا برای تصمیم‌گیری فردی ابداع شده و سپس در دهه ۸۰ به چگونگی استفاده از آن در تصمیم‌گیری گروهی پرداخته شد. بنابراین در صورتی که تصمیم‌گیری گروهی انجام گیرد، تعداد ماتریس مقایسات زوجی در ارتباط با هر عامل (که مبنای مقایسات زوجی قرار می‌گیرد) برابر است با تعداد اعضای گروه که مقایسه زوجی را انجام می‌دهند. از طرفی دیگر طبق رویه‌های محاسباتی AHP باید ماتریس‌های مقایسات زوجی درخصوص هر فاکتور با یکدیگر ترکیب شده و به یک ماتریس تبدیل شوند. ماتریس حاصل، ماتریس گروهی نامیده می‌شود. یکی از بهترین روش‌های دستیابی به ماتریس گروهی، همچنان که ساعتی و اکزال نشان داده‌اند، استفاده از میانگین هندسی است. بنابراین مؤلفه‌های متناظر در ماتریس گروهی از رابطه زیر بدست می‌آید (Saaty 2008).

$$a'_{ij} = \left(\prod_{l=1}^{k} a_{ij}\right)^{\frac{1}{k}} \quad \begin{matrix} l=1,2,\dots,k \text{ تعداد تصمیم‌گیرندگان} \\ i, j = 1,2,\dots,n \; i \neq j \end{matrix}$$

۲. ۲. ۲. مراحل انجام روش

مراحل انجام AHP را می‌توان در ۵ مرحله ذیل خلاصه کرد (زبردست ۱۳۸۹):

۲. ۲. ۲. ۱. ساختن سلسله مراتب

در این مرحله ساختار سلسله مراتبی مربوط به مسئله تشکیل می‌شود. تبدیل موضوع یا مسئله به یک ساختار سلسله مراتبی مهمترین قسمت تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی آن‌ها را به شکل ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد تبدیل می‌کند.

[9] Consistency Ratio(C.R)

۲. ۲. ۲. ۲. تبیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها

برای تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها دو به دو آن‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم. لذا ماتریس D که «ماتریس مقایسه دودوئی معیارها» نامیده می‌شود تشکیل خواهد شد. در این مقایسات بحث اهمیت معیارها یا زیرمعیارها نسبت به یکدیگر مطرح است. این مقایسات با توجه به مقیاس ۹ کمیتی آقای ساعتی صورت می‌گیرد.

جدول ۲-۲- مقیاس ۹ کمیتی آقای ساعتی

مقایسه کیفی	کمّیت
کاملا مرجح	۹
ترجیح خیلی قوی	۷
ترجیح قوی	۵
کمی مرجح	۳
ترجیح یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۸ ،۶ ،۴ ،۲

۲. ۲. ۲. ۳. تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها

بعد از تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، بایستی ضریب ارجحیت گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها مورد قضاوت و داوری قرار گیرد. مبنای این قضاوت نیز همان مقیاس ۹ کمیتی ساعتی است با این تفاوت که در مقایسه گزینه‌ها در ارتباط با هریک از زیرمعیارها بحث "کدام گزینه مهم‌تر است؟" مطرح نیست، بلکه "کدام گزینه ارجح است؟ و چقدر؟" مورد سوال است. فرآیند به دست آوردن وزن (ضریب ارجحیت) گزینه‌ها نسبت به هر یک از زیرمعیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. با این تفاوت که به جای این که سوال شود"معیار i در دستیابی به هدف چقدر از معیار j مهمتر است؟" در مقایسه گزینه‌ها سوال به این ترتیب مطرح می‌شود که "گزینه i در ارتباط با زیرمعیار x چقدر بر گزینه j ارجحیت دارد؟".

۲. ۲. ۲. ۴. تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها

تا این مرحله ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها در ارتباط با هدف مطالعه و نیز ضرایب ارجحیت (امتیاز) گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها تعیین شده است. در این مرحله با تلفیق ضرایب مذکور "امتیاز نهایی" هریک از گزینه‌ها تعیین خواهد شد. برای این کار از "اصل ترکیب سلسله مراتبی[10]" ساعتی که منجر به یک بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود استفاده خواهد شد:

$$\text{امتیاز نهایی (اولویت) گزینه } j = \sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} W_k \,.\, W_i \;\; (g_{ij})$$

که در آن:

W_k ضریب اهمیت معیار k، W_i ضریب اهمیت زیرمعیار i، و g_{ij} امتیاز گزینه j در ارتباط با زیرمعیار i است.

[10] Principle of Hierarchic Composition

۲. ۲. ۲. ۵. بررسی سازگاری در قضاوت‌ها

وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر قضاوت می‌شود امکان ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. یعنی اگر بیان شود که A مهم‌تر از B و B مهمتر از C است قاعدتاً باید A مهم‌تر از C باشد، اما علی‌رغم همه تلاش‌ها اغلب ناهماهنگی در تکمیل ماتریس‌های مقایسات زوجی به وجود می آید. یکی از مزایای روش AHP آن است که امکان بررسی سازگاری قضاوت‌های انجام شده را فراهم می‌نماید. مکانیزمی که ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام «ضریب سازگاری[11]» (C.R) است که از تقسیم «شاخص سازگاری[12]» (C.I) به «شاخص تصادفی بودن[13]» (R.I) حاصل می‌شود. چنانچه قبلاً ذکر شد اگر ضریب سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است. در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود.

بردار ویژه یک اندازه‌گیری طبیعی از درجه ناسازگاری اطلاعات موجود در یک ماتریس مقایسه زوجی را به صورت زیر مشخص می‌نماید:

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

آقای ساعتی نشان می‌دهد که λ_{max} برای یک ماتریس عکس‌پذیر و مثبت همیشه بزرگتر یا مساوی n (بعد ماتریس) بوده و این ارزش فقط و فقط در صورت وجود یک ماتریس کاملاً سازگار برابر n خواهد بود، از این رو $\lambda_{max} - n$ یک اندازه-گیری مناسب از درجه ناسازگاری یک ماتریس می‌باشد.

شاخص تصادفی بودن (R.I) با توجه به تعداد معیارها (n) توسط تولید ماتریس‌های تصادفی مقایسات زوجی و محاسبه میانگین C.I از آن ماتریس‌ها به وجود آمده است، به‌صورت جدول ۲-۳ :

جدول ۲-۳- شاخص تصادفی بودن (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

در روش میانگین هندسی که یک روش تقریبی است بجای محاسبه مقدار ویژه ماکزیمم (λ_{max}) از L به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$L = \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{DW_i}{W_i}\right)\right]$$

که در آن DW_i برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه دودوئی معیارها در بردار W_i (بردار وزن یا ضریب اهمیت معیارها) به دست می‌آید.

در این بخش دیدگاه صاحبنظران دربارهٔ مسائل تصمیم‌گیری و روش AHP به عنوان روش مورد استفاده در مطالعات حاضر به صورت خلاصه توضیح داده شد. در بخش‌های آتی معیارهای ارزیابی، راهکارهای گزینش شده، و نتایج ارزیابی ارائه خواهد شد.

[11] Consistency Ratio
[12] Consistency Index
[13] Random Index

۳. معیارهای ارزیابی

۳. ۱. کلیات

در فرآیند ارزیابی راهکارها، انتخاب مناسب معیارهای ارزیابی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به استناد شرح خدمات این مطالعات، معیارهای مورد بررسی باید زمینه ارزیابی راهکارها از جنبه های فنی، اقتصادی، محیط زیستی و ریسک را فراهم می نمود. همان طور که در مقدمه گزارش بیان شد سعی گردید تا حد امکان از نظرات مجموعه کارشناسان معرفی شده توسط کارفرما و ذینفعان و ذیمدخلان ستادی و استانی بهره گرفته شود. برای این منظور، دو جلسه طوفان فکری در اسفند ۱۳۹۳ و فروردین ۱۳۹۴ با حضور ذینفعان ستادی و استانی و کارشناسان معرفی شده توسط کارفرما برگزار شد تا علاوه بر انتخاب معیارها در دسته های ذکر شده، وزن نسبی معیارها نیز مشخص شود. در جلسه اول، کلیات معیارها شناسایی شد و در جلسه دوم ضمن تدقیق معیارها، وزن دهی به آنها نیز صورت گرفت. در این فرآیند، سعی شده تا حد امکان در انتخاب معیارها جامعیت در ارزیابی جنبه های مختلف ذکر شده حفظ شود و همپوشانی بین معیارها نیز وجود نداشته باشد. وزن دهی به معیارها در جلسه دوم طوفان فکری با حضور ذینفعان با استفاده از مقایسات زوجی پیشنهاد شده در روش AHP صورت گرفته است. فرآیند تعیین معیارها و وزن دهی به آنها در ادامه این بخش از گزارش تشریح شده است.

۳. ۲. تشریح فرآیند تعیین معیارها

فرآیند تعیین معیارها سه مرحله دارد: (۱) شناسایی معیارها، (۲) غربال گری و تدقیق معیارها، و (۳) وزن‌دهی معیارهای گزینش شده. این سه مرحله در ادامه تشریح می‌گردد.

۳. ۲. ۱. شناسایی معیارها

برای شناسایی معیارها فرآیندی طی شد که در ذیل تشریح می‌شود.

۳. ۲. ۱. ۱. کسب نظرات و دیدگاه‌های وزارت‌خانه‌ها و سازمان‌های دولتی ذیمدخل

به منظور تعامل با سازمان‌های ذیمدخل، ذینفع و متأثر از نتایج پروژه حاضر و کسب نظرات و دیدگاه‌های آنان، با هماهنگی با کارفرمای محترم و با توجه به عدم ابلاغ رسمی قرارداد این پروژه، در تاریخ ۹۳/۱۱/۷ نامه‌هایی از سوی معاون محترم بودجه سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور خطاب به گیرندگان زیر ارسال گردید:

۱. رئیس سازمان حفاظت محیط زیست
۲. وزیر نیرو
۳. وزیر جهاد کشاورزی
۴. استاندار خوزستان
۵. رئیس مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی
۶. رئیس سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان
۷. مدیر عامل سازمان آب و برق خوزستان

۸. دبیر کل خانه کشاورز
۹. رئیس کمیسیون کشاورزی
۱۰. مدیر عامل شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت تپه
۱۱. رئیس کمیسیون کشاورزی، اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران
۱۲. رئیس دانشگاه شهید چمران اهواز

در نامه مذکور در خصوص مسائل مرتبط با شوری مخزن و آب رها شده از سد گتوند در ارتباط با سه محور زیر از مخاطبین نامه فوق نظر خواهی شده بود:

- اعلام نگرانی ها، دغدغه ها و ملاحظات و معیارها
- بیان راهکار یا راهکارهای مطلوب جهت حل مشکل از منظر دستگاه مربوطه
- معرفی صاحب نظران مورد تایید آن دستگاه

نامه دیگری نیز با مضامین فوق جهت پیگیری مجدد موضوع از سوی مدیر پروژه به دستگاه های فوق ارسال گردید. در ادامه و برای پیگیری دقیق‌تر موضوع و حصول اطمینان از این‌که در ارتباط با سه محور فوق تا حد امکان هیچ مطلب ناشنیده ای وجود نداشته باشد، تیم مؤسسه آب اقدام به برگزاری جلسات حضوری با دستگاه‌های مذکور نموده و در تهران و خوزستان جلسات متعددی برگزار شد.

در ادامه، جمع بندی نظرات ذینفعان و ذیمدخلان در ارتباط با محور دغدغه ها، نگرانی ها، ملاحظات و معیارها ارائه می-گردد. جمع بندی راهکارهای مورد نظر ایشان در بخش مربوطه ارائه خواهد شد. از صاحب نظران معرفی شده توسط دستگاه ها در حد امکان برای شرکت در جلسات همفکری دعوت به عمل آمد.

دغدغه ها، نگرانی ها و ملاحظات

بخش کشاورزی

۱- در پاسخ به نامه ذکر شده در شروع این بخش، وزارت کشاورزی به نگرانی های زیر اشاره نموده است:

- شوری آب رودخانه کارون و اثر آن بر نابودی کشاورزی منطقه،
- حل حجم زیادی از گنبد های نمکی و فعال سازی سایر گنبد های نمکی منطقه بطوریکه حتی با تخریب سد نیز امکان کنترل آنها وجود نداشته باشد.

در جلسه حضوری که در محل معاونت آب و خاک وزارت کشاورزی تشکیل شد موارد زیر مطرح گردید:

- با افزایش شوری آب حجم آب مورد نیاز برای آبشویی نیز افزایش می‌یابد.

۲- در پاسخ به نامه فوق سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان به نکات زیر اشاره نموده است:

- به خطر افتادن تأمین مناسب و پایدار آب،
- کاهش کیفیت خاک در اثر افزایش شوری،
- کاهش تولید محصولات کشاورزی،
- کاهش تنوع کشت،
- افزایش نیاز به مصرف آب به دلیل افزایش شوری،
- از بین رفتن گونه های آبزی حساس به شوری،

- کاهش تولیدات شیلاتی در استخرهای پرورش ماهی و میگو،
- آلودگی به عناصر سنگین و افت کیفیت آب شرب،
- افزایش مهاجرت کشاورزان،
- افزایش هزینه های تعمیر و نگهداری تاسیسات بهره برداران از آب کارون،
- افزایش جرم و بزه ناشی از کاهش شرایط کسب و بیکاری.

در جلسه حضوری با سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان مورد جدیدی به موارد فوق اضافه نگردید.

۳- در نامه مورخ ۹۳/۱۱/۲ شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی به معاونت حفاظت و بهره برداری منابع آب سازمان آب و برق خوزستان به مسائل زیر اشاره شده است:

- افزایش هدایت الکتریکی آب در ایستگاه بند تنظیمی گتوند بعد از احداث سد گتوند علیا نسبت به دوره ۱۳۴۷ الی ۱۳۸۶،
- استفاده از آب سد دز جهت کاهش شوری رها شده از سد گتوند علیا،
- به خطر افتادن تولید پایدار به دلیل شوری آب رها شده از سد گتوند،
- افت ۲۰٪ محصولات کشاورزی در ۳۰۰ هکتار اراضی آبخور رودخانه کارون،

۴- در نامه مورخ ۹۳/۱۲/۱۱ شرکت کشت و صنعت نیشکر هفت تپه به مؤسسه آب دانشگاه تهران که در پاسخ به نامه صدر الذکر ارسال شده به موارد زیر اشاره شده است:

- کیفیت مناسب آب برای کشت نیشکر محدود به میزان ppm ۱۰۰۰-۶۰۰ کلرور سدیم می باشد.
- حد شوری عصاره اشباع خاک برای کشت نیشکر ۳ میلی زیمنس اعلام شده است.

۵- در نامه مورخ ۹۳/۱۱/۲۰ دبیر کل محترم خانه کشاورز ضمن اشاره به نشست ۴ ساعته مورخ ۹۳/۱۱/۱۲ آقای مهندس حسین آمیلی عضو خانه کشاورز با همکاران مؤسسه آب، به مسائل زیر اشاره شده است:

- تاثیرات منفی و مخرب آب خروجی سد گتوند علیا برکیفیت اراضی تحت آبخور سد
- کاهش عملکرد محصولات تولیدی
- گزارشات، آمار و جداول مرتبط شامل میزان هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز، گتوند و ۳۰ کیلومتری جنوب اهواز قبل و بعد از آبگیری سد
- علل دغدغه ها و نگرانی ها
- تعدیل مقادیر هدایت الکتریکی اندازه گیری شده توسط شرکت آب نیرو در دمای ۲۰ درجه
- معنا دار نبودن تغییرات کمیت و کیفیت زه‌آب های کشاورزی و پساب های صنعتی و شهری ورودی به رودخانه کارون قبل و بعد از آبگیری سد

بخش محیط زیست

۱- در جلسه مورخ ۹۳/۱۲/۲۳ در دفتر آقای دکتر متصدی به موارد زیر اشاره شد:

- ورود آب فوق شور به دریا علاوه بر مشکلات محیط زیستی، محل مناقشه جدی بین المللی خواهد بود.
- نگرانی سازمان این است که هدف بخشی از دولت صحه گذاری بر راهکار خط انتقال از طریق انجام این مطالعات باشد.

۲- در گزارش مورخ ۹۳/۱۲/۲۵ اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان به سازمان محیط زیست مسائل زیر

مطرح شده است.:

- مطالعات خط انتقال آب شور از مخزن دارای مجوز محیط زیست نیست و سازمان محیط زیست از جزئیات آن مطلع نیست.
- امکان کریستالیزه شدن آب نمک در هنگام انتقال (ظرف کمتر از چند ساعت)،
- طولانی بودن زمان انتقال شوری (با برآورد حدود ده سال)،
- هزینه بالای انتقال (بین ۵۵۰ تا ۱۰۰۰ میلیارد تومان)،
- عدم نیاز تاسیسات پتروشیمی به نمک تولید شده به دلیل ناخالص بودن آن،
- آب ورودی به مخزن سد با ۶۰۰-۸۰۰ واحد EC وارد مخزن می‌گردد و با ۱۳۰۰ واحد EC خارج میشود. مقادیر ۱۷۰۰ واحد EC نیز در خروجی مشاهده شده است.
- شوری اراضی و افت تولید محصولات کشاورزی،
- کاهش کیفیت آب برداشتی توسط صنایع و افزایش هزینه های تصفیه آب،
- کاهش کیفیت آب شرب،
- شوری آب های زیر زمینی دشت عقیلی،
- وجود میدان نفتی موسوم به کارون در زیر مخزن سد و عدم هماهنگی فیمابین وزارت نیرو و وزارت نفت در این خصوص،
- نشت نفت به میزان ۵/۲ بشکه در روز از چاههای میدان نفتی شماره ۳، ۱۰، ۲۱ و ۲۳ مسجد سلیمان،
- رانش زمین در محدوده شهر عنبر و بروز شکاف های عمیق و گسل و ترک خوردگی های بزرگ در دامنه و ساحل دریاچه سد،
- با فرض اینکه در حال حاضر ۳۶۰ میلیون متر مکعب آب آلوده (شور) در مخزن وجود دارد که با فرض استفاده از ظرفیت ۱ متر مکعب بر ثانیه، ۱۲ سال تخلیه آن طول خواهد کشید. در همین زمان میزان شوری ورودی به مخزن بیش از ۱/۵ میلیارد متر معکب خواهد بود.
- در مدیریت کیفی مخزن آستانه بحران با هدایت الکتریکی ۲۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر در رقوم ۱۴۰ متر در نظر گرفته شده است. در حالیکه در اوایل سال ۱۳۹۳ این مقدار شوری در رقوم ۱۵۱/۱ متر مشاهده شده است. در همین مدت بیش از ۶ میلیارد متر مکعب با هدایت الکتریکی ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر از سد رها شده است.
- چنانچه فقط ۷۵ روز آب از سد خارج نگردد، لایه آب خیلی شور به تراز ۱۵۸ متر (تراز آبگیری نیروگاه) خواهد رسید و دیگر کنترل شور ممکن نخواهد بود. لذا این سد به شکل یک بمب نمکی و یک خطر بالقوه برای کشاورزی و آب شرب استان خوزستان قلمداد می‌گردد.
- کل دریاچه مخزن سد به طول ۹۰ کیلومتر نیز تحت اثر شوری قرار دارد.

۳- در گزارش نظارتی مورخ ۹۰/۳/۱۷ مدیر دفتر آب و خاک سازمان حفاظت محیط زیست به معاون محیط زیست انسانی این سازمان نکات زیر به چشم می‌خورد:

- عدم وجود عمق کافی در مطالعات سازند گچساران عنبل، به شکل که عمق گمانه های حفر شده ۱۹۶ متر است در حالیکه عمق سازند حدود ۱۲۰۰ متر است.

- نرخ انحلال نمک بین ۵ الی ۲۵ سانتیمتر در ساعت و بر اساس مدل فیزیکی ۱/۲۰۰ حدود ۱ الی ۱۰ سانتیمتر بر ساعت تخمین زده شده است در حالیکه محاسبات انجام شده با نرخ انحلال کمتر صورت گرفته است.
- وجود احتمال حرکت لغزشی و رانش توده های بزرگ نمک پس از آبگیری، علاوه بر افزایش شوری می‌تواند سبب تحمیل خسارات محیط زیستی فراوان شود.
- وجود معادن نمک S1 و S2 و فروچاله هایی که پس از آبگیری مخزن، زیر آب خواهند رفت سبب تولید شوری بیشتر شده و از محل کانالهای انحلالی یا معدن S3 مجددا به سمت رودخانه وارد خواهند شد.
- احتمال بروز تنش های اجتماعی و اقتصادی به دلیل هم افزایی شوری رها شده از سد با شوری های موجود در رودخانه کارون،
- جامع و کامل نبودن مطالعات انجام شده و عدم قطعیت زیاد در نتایج اعلامی از سوی مشاور و ضرورت انجام آنالیز ریسک برای کل سیستم (نه فقط مخزن سد)،
- بر اساس موارد فوق طی نامه ای از سوی رئیس وقت سازمان حفاظت محیط زیست به وزیر نیرو در تاریخ ۹۰/۴/۲۷ درخواست جلوگیری از آبگیری سد مطرح گردیده است.

بخش آب و برق (وزارت نیرو)

در زمینه دغدغه ها، نگرانی ها و ملاحظات از بخش آب و برق هیچگونه پاسخ کتبی دریافت نشد.

۱- در جلسه حضوری با معاون محترم وزیر در امور آب و آبفا در تاریخ ۹۳/۱۰/۳۰ به دو نکته اشاره شد:

- نگرانی از احتمال اختلاط و به هم خوردن لایه بندی در اثر بروز زلزله و سایر عوامل غیر مترقبه،
- تأثیر منفی شوری بر بدنه سد و تاسیسات آن،

۲- در جلسه مورخ ۹۳/۱۲/۶ در سازمان آب و برق خوزستان به موارد زیر اشاره شد:

- ملحوظ نمودن اثرات خشکسالی و تغییر اقلیم بر شوری مخزن سد گتوند،
- تأثیر برداشت آب از سرشاخه های کارون،
- مخاطره آمیز بودن شوری مخزن از منظر پدافند غیر عامل،
- به هم خوردن لایه بندی در اثر وقوع یک سیل شدید،
- خروج آب شیرین از طریق خط انتقال آب شور،
- کاهش توان هیدرولوژیک حوضه کارون،
- لزوم مدیریت بهره برداری از سد توسط سازمان آب و برق خوزستان،
- لزوم بررسی اثر رسوب گذاری در مخزن بر شوری،

۳- در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۱۱/۴ در شرکت آب نیرو جزوه ای ۶ صفحه ای تحت عنوان «طرح عظیم سد و نیروگاه گتوند علیا» ارائه شد که در بخشی از آن از بروز مخاطرات زیر در صورت عدم اجرای خط انتقال اظهار نگرانی شده است:

- خروج کنترل نشده آب شور در اثر آسیب دیدن سیستم آب بندی سد ناشی از زلزله احتمالی
- تخلیه اجتناب ناپذیر آب لایه های شورتر زیرین مخزن به پایین دست در اثر بروز خشکسالی های شدید که میتواند به دلیل ضرورت تامین آب برای پایین دست منجر به کاهش تراز مخزن و در نتیجه اتمام آب مناسب لایه های بالایی اتفاق بیفتد.
- خرابی واحدهای نیروگاهی که امکان برداشت آب از لایه های فوقانی را سلب نموده و تنها امکان برداشت آب

از خروجی تخلیه کننده خواهد بود که در آن صورت EC آب خروجی از سد، به حدود ۳۰۰۰ واحد خواهد رسید.

- تجمع شوری در حجم گسترده‌ای از مخزن سد ناشی از اختلال در عملکرد دریچه تخلیه کننده تحتانی که اصولا جهت استفاده در مواردی خاص و دوره های کوتاه مدت طراحی و اجرا شده است.
- نامناسب شدن کیفیت آب خروجی از سد در اثر اختلاط آب های شور لایه های عمیق‌تر با آب‌های فوقانی در اثر بروز زمستان‌های شدید.
- اثرات ناشناخته و بعضا مخرب نفوذ نمک در بخش‌هایی مانند پی سد، پرده آب بند، گالری زیر پی، مصالح بدنه و . . . که عواقب غیر قابل جبرانی می‌تواند به همراه داشته باشد.

۴- در نامه شماره ۱۹/۸۸۳ مورخ ۹۳/۷/۱ مدیر عامل محترم شرکت آب نیرو به وزیر محترم نیرو، از شش مورد مذکور در جزوه ۶ صفحه ای شرکت آب نیرو، همه موارد غیر از بند آخر در خصوص اثر مخرب شوری بر سد و تاسیسات وابسته به عنوان مخاطرات و ریسک هایی برای پروژه و مردم پایین دست ذکر شده است.

۵- در نامه شماره ۹۳/۱۱۴۱۹/۳۱/۱۰۰ مورخ ۹۳/۱/۲۴ وزیر محترم نیرو به ریاست محترم جمهوری وجود بیش از ۳۰۰ میلیون متر مکعب آب شور، خطر بالقوه ای برای مخزن تلقی شده است.

سایر نهادها

۱- در پاسخ به نامه فوق استانداری خوزستان طی نام مورخ ۹۳/۱۱/۱۹ به نکات زیر اشاره نموده است:

- افزایش شوری آب خروجی از سد از ۶۰۰ به ۱۴۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر،
- تجمع نمک در خاک کشاورزی و زهکش ها،
- ایجاد سمیت یونی در خاک و گیاه،
- شور شدن آب زیر زمینی دشتهای اطراف سد گتوند،
- ناهماهنگی بین وزارت نیرو و نفت در خصوص میدان نفتی کارون واقع در مخزن سد،
- آلودگی مخزن سد ناشی از نشت مواد نفتی،
- رانش زمین در محدوده شهر عنبر،

۲- در جلسه حضوری با سازمان بازرسی کل کشور نکات زیر مطرح گردید:

- نظر سازمان این بوده است که قبل از علاج بخشی توده عنبل آبگیری صورت نگیرد. مستندات مربوطه و از جمله نامه شماره ۱۸۷۱۸ مورخ ۹۰/۲/۷ سازمان به وزارت نیرو در اختیار مؤسسه آب قرار گرفت.
- آیا انتقال آب خیلی شور از لایه پایین منجر به برداشت آب از لایه های بالاتر با کیفیت مناسب نخواهد شد؟
- احتمال تشکیل بلور نمک در خط انتقال،
- کاهش اکسیژن محلول در لایه های پایینی و کاهش کیفیت آب،
- احتمال بهم خوردن لایه بندی در اثر ورود سیلاب،
- آیا خروج شوری سبب افزایش نرخ انحلال از سازند نخواهد شد؟

بر اساس مستندات در اختیار قرار داده شده توسط سازمان سایر دغدغه ها به شرح زیر است:

- ذخیره شدن نمک در لایه های بسیار شور تحتانی،
- در دستور کار نبودن هیچ اقدامی در راستای کاهش میزان نمک تجمع یافته (حدود ۶.۵ میلیون تن در زمان مکاتبه سال ۹۱ سازمان با وزارت نیرو)

- عدم استفاده از تمام ظرفیت کارون برای تخلیه نمک (نامه شماره ۱۹۶۲۱ مورخ ۹۱/۱۰/۹ سازمان به وزارت نیرو)
- لزوم بهره گیری از کار کارشناسی دقیق، و در نظر گرفتن تمامی جوانب مساله و تبعات تصمیمات متخذه در خصوص سد گتوند علیا بر مشترکین و مصرف کنندگان بخش های کشاورزی، شرب، صنعت، شیلات، محیط زیست و غیره
- لزوم هماهنگی با استانداری خوزستان، سازمان حفاظت محیط زیست، شرکت آب و فاضلاب استان خوزستان، جهاد کشاورزی استان، اداره کل شیلات استان، اداره کل صنایع استان، شرکت ملی پتروشیمی ایران، سازمان آب و برق خوزستان، مجری طرح و سایر ارگانهای ذی‌مدخل در مسائل اجتماعی
- هزینه های سنگین خط انتقال
- عدم کفایت مطالعات در خصوص میزان تاثیر احداث خط انتقال بر بهبود وضعیت مخزن و محیط زیست
- لزوم در نظر گرفتن تمامی جنبه های مطالعات محیط زیستی، محاسبات فنی و اقتصادی، مدلسازی عددی و شروع به اقدام اجرایی پس از روشن شدن تمامی ابعاد طرح
- لزوم تدوین برنامه عملیاتی بهره برداری از سد با استفاده از خدمات یک تیم تحقیقاتی مجرب و یا یک شرکت مهندسی مشاور توانمند و با تجربه و بیطرف

۳- در جلسه کمیته راهبری با کارگروه ۹ نفره کارفرمایی مورخ ۹۳/۱۱/۲۷:

- لزوم در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی در مطالعات،
- لزوم در نظر گرفتن اثرات راهکارها بر شوری آب کارون،
- عدم کفایت اطلاعات سه سال گذشته برای داشتن تحلیل مناسب از اثرات شوری مخزن،
- تاکید روی ملحوظ نمودن ریسک مرتبط با راهکارها،
- در نظر گرفتن اثر سایر منابع شور کننده مخزن،
- نگرانی از زمان محدود مطالعات و اینکه در این زمان محدود نشود کار را به درستی جمع بندی نمود،
- باید به کارفرما تفهیم شود که در این فرصت کوتاه انتظار یک جواب دقیق نداشته باشد.

۳. ۲. ۱. ۲. برگزاری جلسه طوفان فکری

به دلیل پیچیدگی‌های تخصصی و تعدد ذینفعان موجود، باید در مراحل مختلف کار از ترکیب متناسبی از ذینفعان و کارشناسان برای تصمیم‌گیری بهره گرفته می‌شد. در این راستا، در شناسایی معیارها آگاهی از ملاحظات و نقطه نظرات ذینفعان و ذیمدخلان ضرورت داشته و این نظرات باید مورد توجه ویژه قرار می‌گرفت. برای انجام این مهم، مؤسسه آب اقدام به تشکیل گروهی متشکل از نمایندگان رسمی ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما نموده است.

برای شناسایی معیارهای تصمیم‌گیری در این پروژه، جلسه طوفان فکری در تاریخ ۹۳/۱۲/۲۱ از ساعت ۸:۳۰ تا ۱۲:۳۰ در محل سالن شورای پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران برگزار شد. در این جلسه نمایندگان رسمی ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما به ارائه معیارهای مطلوبیت خود پرداختند. فهرست مدعوین و شرکت کنندگان این جلسه به شرح جدول ۳-۱ می‌باشد:

جدول ۳-۱ فهرست مدعوین و شرکت کنندگان در نشست شناسایی معیارها مورخ ۹۳/۱۲/۲۱				
ردیف	نام	سازمان	دعوت شده	شرکت کننده
۱	مهندس غفاری شیروان	نماینده مشاور ارشد رئیس جمهور	√	√
۲	دکتر مکنون	نماینده سازمان حفاظت محیط زیست	√	√
۳	مهندس زارع	وزارت جهاد کشاورزی	√	√
۴	مهندس شکراللهی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	√	√
۵	مهندس نصیری	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	√	√
۶	مهندس رهسپار	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	√	√
۷	دکتر قمشی	دانشگاه شهید چمران اهواز	√	–
۸	مهندس عبدی	وزارت جهاد کشاورزی	√	√
۹	دکتر سامانی	مرکز پژوهش های مجلس	√	√
۱۰	مهندس آمیلی	خانه کشاورز / سازمان جهاد کشاورزی خوزستان / شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی	√	√
۱۱	مهندس ذبیح اله زاده	کمیته ملی سدهای بزرگ ایران	√	√
۱۲	مهندس اکرم	کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران	√	√
۱۳	مهندس قزل ایاغ	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۴	مهندس فریدنی	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۵	مهندس بلوری	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۶	دکتر انصاری	سازمان حفاظت محیط زیست	√	√
۱۷	دکتر عبد علی ناصری	دانشگاه شهید چمران اهواز	√	√
۱۸	دکتر بالدی	استانداری خوزستان	√	√
۱۹	دکتر حمادی	سازمان آب و برق خوزستان	√	√
۲۰	مهندس حسین زاده	سازمان آب و برق خوزستان	√	√
۲۱	دکتر افتخاری	موسسه تحقیقات آب	√	–
۲۲	دکتر بنی هاشمی	دانشگاه تهران	√	√
۲۳	دکتر بدیعی	دانشگاه تهران	√	√
۲۴	دکتر کوچک زاده	دانشگاه تهران	√	√
۲۵	دکتر منتظری	دانشگاه تهران	√	√

جدول ۳-۱ فهرست مدعوین و شرکت کنندگان در نشست شناسایی معیارها مورخ ۹۳/۱۲/۲۱				
ردیف	نام	سازمان	دعوت شده	شرکت کننده
۲۶	دکتر میرقاسمی	دانشگاه تهران	√	√
۲۷	دکتر لیاقت	دانشگاه تهران	√	√
۲۸	دکتر ناصری	دانشگاه تهران	√	√
۲۹	دکتر قلی پور	دانشگاه تهران	√	√
۳۰	دکتر ترابیان	دانشگاه تهران	√	√
۳۱	دکتر غضبان	دانشگاه تهران	√	√
۳۲	دکتر پلاسی	دانشگاه تهران	√	√
۳۳	دکتر نورزاد	دانشگاه تهران	√	√
۳۴	مهندس لطفی خواه	دانشگاه تهران	√	√

در طول این جلسه، تلاش بر این بود تا تمام نقطه نظرات و ملاحظات نمایندگان ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما بدون هیچ گونه دخل و تصرفی شنیده و ثبت شود. حاصل این جلسه فهرستی از معیارهای شناسایی شده به شرح جدول ۳-۲ می‌باشد.

جدول ۳-۲ فهرست معیارهای شناسایی شده در نشست ۹۳/۱۲/۲۱	
ردیف	عنوان معیار
۱	ارتقای کیفی سیستم آب رودخانه کارون
۲	حداقل بودن هزینه طول عمر
۳	سهولت اجرا
۴	حداکثر دستیابی به کیفیت سابق در ایستگاه گتوند
۵	کمترین خسارت به (بیشترین رضایت) بهره برداران و ذینفعان
۶	کمترین تخریب اراضی در دراز مدت
۷	کمترین اثرات منفی محیط زیستی
۸	قابلیت برنامه ریزی و زمان بندی
۹	قابلیت انعطاف و جایگزینی در صورت ایجاد موانع
۱۰	حفظ منافع و اجزای پروژه در صورت امکان
۱۱	حداقل نمودن هزینه های اجتماعی
۱۲	حداقل نمودن هزینه های محیط زیستی (آب، خاک، هوا، ...)

جدول ۳-۲ فهرست معیارهای شناسایی شده در نشست ۹۳/۱۲/۲۱	
ردیف	عنوان معیار
۱۳	حداکثر طول عمر (ماندگاری راهکار)
۱۴	حداکثر درآمد
۱۵	حداقل سازی حوزه تأثیر منفی راهکار
۱۶	حداکثر کمک به حل تبعات منفی ایجاد شده
۱۷	حداکثر نمودن تولید پایدار (محیط زیست، کشاورزی، شرب، صنعت و تأمین برق)
۱۸	حداقل ریسک در سوانح
۱۹	حداکثر سرعت اجرای راهکار
۲۰	عدم کاهش عملکرد محصول در منطقه مصرف
۲۱	حداقل نمودن تغییرات کلاس آب آبیاری
۲۲	حداقل سازی اتلاف آب
۲۳	حداقل نمودن تبعات منفی سیاسی و روانی
۲۴	کاهش تبعات اقلیمی
۲۵	حداکثر استفاده از مطالعات گذشته
۲۶	حداقل نمودن ریسک های ثانویه
۲۷	حداکثر انطباق با زیرساخت های موجود
۲۸	حداقل سازی تبعات منفی در بهره برداری از معادن موجود
۲۹	کاهش ورود نمک
۳۰	حداقل سازی خسارت به حجم سرمایه گذاری انجام شده
۳۱	حداکثر نمودن عمر مفید سد

فهرست فوق منعکس کننده تمام نقطه نظرات و ملاحظات نمایندگان رسمی ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما است. همچنین، علی‌رغم نظر کارفرمای محترم مبنی بر عدم انجام مطالعات اجتماعی، در این جلسه اکثریت نمایندگان رسمی ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما بر لزوم انجام بررسی ها و مطالعات اجتماعی تأکید نمودند.

۳. ۲. ۲. تدقیق و غربال گری معیارها با هم اندیشی

در مرحله قبل (شناسایی معیارها در جلسه طوفان فکری) جمع آوری معیارها بدون هیچ گونه دخل و تصرفی انجام شد تا این اطمینان حاصل شود که نظرات همه ذینفعان، ذیمدخلان و کارشناسان دریافت شده‌است. لیکن همان‌طور که در جدول ۳-۲ مشخص است:

۱. برخی از معیارها خیلی کلی هستند و علی رغم اهمیت زیاد امکان اندازه‌گیری و مقایسه ندارند (مانند معیار شماره ۱۷ در

جدول ۳-۲).

۲. برخی از معیارها هم‌پوشانی زیادی با سایر معیارها دارند (مانند معیارهای ۱، ۷، و ۱۶ در جدول ۳-۲).
۳. برخی از موارد مطرح شده توصیه های مهمی هستند اما معیار تصمیم‌گیری نیستند (مانند شماره ۲۵ در جدول ۳-۲).

لذا، ضروری بود در نشستی مجدد معیارهای شناسایی غربال و تدقیق شوند. در این راستا، یک نشست هم اندیشی در تاریخ ۹۴/۱/۱۹ از ساعت ۹:۳۰ الی ۱۵:۳۰ در محل سالن شورای پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران برگزار شد. فهرست مدعوین و شرکت کنندگان این جلسه به شرح جدول ۳-۳ می‌باشد.

جدول ۳-۳ فهرست مدعوین و شرکت کنندگان در نشست تدقیق و غربال گری معیارها مورخ ۹۴/۱/۱۹

ردیف	نام	سازمان	دعوت شده	شرکت کننده
۱	مهندس غفاری شیروان	نماینده مشاور ارشد رئیس جمهور	√	√
۲	دکتر مکنون	نماینده سازمان حفاظت محیط زیست	√	–
۳	مهندس زارع	وزارت جهاد کشاورزی	√	–
۴	مهندس شکراللهی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	√	√
۵	مهندس نصیری	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	√	√
۶	مهندس رهسپار	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	√	√
۷	دکتر قمشی	دانشگاه شهید چمران اهواز	√	√
۸	مهندس عبدی	وزارت جهاد کشاورزی	√	√
۹	دکتر سامانی	مرکز پژوهش های مجلس	√	–
۱۰	مهندس آمیلی	خانه کشاورز / سازمان جهاد کشاورزی خوزستان / شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی	√	√
۱۱	مهندس ذبیح اله زاده	کمیته ملی سدهای بزرگ ایران	√	–
۱۲	مهندس اکرم	کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران	√	√
۱۳	مهندس قزل اياغ	جامعه مهندسین مشاور	√	–
۱۴	مهندس فریدنی	جامعه مهندسین مشاور	√	–
۱۵	مهندس بلوری	جامعه مهندسین مشاور	√	–
۱۶	دکتر انصاری	سازمان حفاظت محیط زیست	√	–
۱۷	مهندس جلالوندی	سازمان حفاظت محیط زیست	√	–
۱۸	مهندس هادی نیا	سازمان حفاظت محیط زیست	√	√
۱۹	دکتر عبد علی ناصری	دانشگاه شهید چمران اهواز	√	√

جدول ۳-۳ فهرست مدعوین و شرکت کنندگان در نشست تدقیق و غربال گری معیارها مورخ ۹۴/۱/۱۹				
ردیف	نام	سازمان	دعوت شده	شرکت کننده
۲۰	مهندس لاهیجان زاده	سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان	√	√
۲۱	مهندس رستمی	سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان	√	√
۲۲	دکتر بالدی	استانداری خوزستان	√	√
۲۳	دکتر حمادی	سازمان آب و برق خوزستان	√	√
۲۴	مهندس حسین زاده	سازمان آب و برق خوزستان	–	√
۲۵	مهندس بصیر زاده	سازمان آب و برق خوزستان	–	√
۲۶	مهندس سهیلی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	–	√
۲۷	مهندس ابتکار	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	–	√
۲۸	مهندس رضایی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	–	√
۲۹	مهندس غلامرضا	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	–	√
۳۰	مهندس حسنی	شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس	–	√
۳۱	دکتر افتخاری	موسسه تحقیقات آب	√	–
۳۲	دکتر بنی هاشمی	دانشگاه تهران	√	√
۳۳	دکتر بدیعی	دانشگاه تهران	√	√
۳۴	دکتر کوچک زاده	دانشگاه تهران	√	√
۳۵	دکتر منتظری	دانشگاه تهران	√	–
۳۶	دکتر میرقاسمی	دانشگاه تهران	√	–
۳۷	دکتر لیاقت	دانشگاه تهران	√	√
۳۸	دکتر ناصری	دانشگاه تهران	√	√
۳۹	دکتر فتوره چی	دانشگاه تهران	√	√
۴۰	مهندس صفابخش	دانشگاه تهران	√	√
۴۱	دکتر زهرایی	دانشگاه تهران	√	√
۴۲	دکتر ترابیان	دانشگاه تهران	√	–
۴۳	دکتر غضبان	دانشگاه تهران	√	√
۴۴	دکتر پلاسی	دانشگاه تهران	√	√
۴۵	دکتر نورزاد	دانشگاه تهران	√	√

جدول ۳-۳ فهرست مدعوین و شرکت کنندگان در نشست تدقیق و غربال گری معیارها مورخ ۹۴/۱/۱۹				
ردیف	نام	سازمان	دعوت شده	شرکت کننده
۴۶	مهندس لطفی خواه	دانشگاه تهران	√	√

در این نشست، پس از بحث و تبادل نظر درباره هر یک از معیارها، با اجماع نمایندگان ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما فهرست معیارهای شناسایی شده تدقیق و غربال شد. حاصل این نشست فهرست معیارهای نهایی به شرح جدول ۳-۴ می‌باشد. همانطور که در این جدول دیده می شود، ۱۱ معیار در دسته محیط زیست، ۸ معیار در دسته فنی، ۱۰ معیار در دسته اقتصادی، ۵ معیار در دسته ریسک و ۴ معیار در دسته اجتماعی انتخاب شده اند. لازم به ذکر است که با توجه به روش شناسی تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، تعداد معیارها در هر یک از دسته های محیط زیست، فنی، اقتصادی و غیره تعیین کننده اهمیت این دسته ها نیست، بلکه وزن کلی هر یک از این دسته ها نیز به صورت جداگانه با انجام مقایسات زوجی بین این جنبه ها محاسبه می‌شود.

جدول ۳-۴ فهرست معیارهای نهایی حاصل نشست ۹۴/۱/۱۹		
ردیف	عنوان معیار	دسته (جنبه)
۱	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در طول دریاچه مخزن	محیط زیست
۲	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در رودخانه کارون از محل سد گتوند تا مصب رودخانه در خلیج فارس	محیط زیست
۳	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در محلهای پذیرنده در خلیج فارس	محیط زیست
۴	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی تالابها	محیط زیست
۵	اثرات شوری بر منابع آب زیر زمینی	محیط زیست
۶	اثرات شوری بر کیفیت آب شرب	محیط زیست
۷	اثرات شوری بر مصارف آب بهداشتی	محیط زیست
۸	افت کیفیت نسبت به وضعیت بدون سد در ایستگاه گتوند	محیط زیست
۹	تخریب اراضی در دراز مدت و ایجاد کانونهای ریزگرد	محیط زیست
۱۰	کاهش توان خودپالایی رودخانه	محیط زیست
۱۱	اثرات شوری بر سازندهای محدوده مخزن گتوند و افزایش فرسایش	محیط زیست
۱۲	سهولت اجرای راهکار به لحاظ فنی	فنی
۱۳	انعطاف پذیری و امکان جایگزینی در صورت ایجاد موانع	فنی
۱۴	حداکثر طول عمر (ماندگاری راهکار)	فنی
۱۵	سرعت اجرای راهکار	فنی
۱۶	استفاده بهینه از زیرساخت های موجود	فنی

جدول ۳-۴ فهرست معیارهای نهایی حاصل نشست ۹۴/۱/۱۹		
ردیف	عنوان معیار	دسته (جنبه)
۱۷	اثرات شوری بر سد و تاسیسات وابسته	فنی
۱۸	وجود دانش و تجربه فنی برای اجرای راهکار	فنی
۱۹	ایجاد مشکلات برای سایر طرح های توسعه در دست اجرا در زمان اجرای راهکار	فنی
۲۰	خسارت ناشی از شوری بر بخش کشاورزی	اقتصادی
۲۱	تبعات منفی در بهره برداری از منابع طبیعی از منظر اقتصادی و اشتغال (معادن نمک و مخازن نفت و گاز)	اقتصادی
۲۲	هزینه اجرا، بهره برداری و نگهداری راهکار	اقتصادی
۲۳	درآمد حاصل از بهره برداری از سد گتوند	اقتصادی
۲۴	خسارات سیل	اقتصادی
۲۵	خسارت وارده به سرمایه گذاری های انجام شده در سد و زیرساخت ها در پایین دست سد گتوند و افزایش هزینه های تعمیرات و نگهداری و بهره برداری	اقتصادی
۲۶	کاهش درآمد آبزی پروری نسبت به شرایط بدون سد	اقتصادی
۲۷	اتلاف آب	اقتصادی
۲۸	افزایش هزینه های تصفیه آب در بخش صنعت	اقتصادی
۲۹	افزایش هزینه های تصفیه آب شرب و هزینه های درمانی	اقتصادی
۳۰	ریسک ناشی از اثر وجود آب شور بر تخلیه اضطراری در هنگام بلایای طبیعی (مانند زلزله، بروز فروچاله یا رانش زمین)	ریسک
۳۱	ریسک نشت آب شور از تاسیسات راهکار پیشنهادی	ریسک
۳۲	ریسک تشدید شوری ناشی از شرایط حدی اقلیمی	ریسک
۳۳	ریسک از دست دادن امکان تخلیه آب از ترازهای مختلف از مخزن	ریسک
۳۴	ریسک ناشی از نشت نفت به مخزن	ریسک
۳۵	تبعات منفی اجتماعی، سیاسی و روانی بر ذینفعان	اجتماعی
۳۶	احساس بی هنجاری و آنومی اجتماعی	اجتماعی
۳۷	کاهش سرمایه اجتماعی (اعتماد و امنیت) نسبت به شرایط بدون سد	اجتماعی
۳۸	رضایت بهره برداران و ذینفعان	اجتماعی

۳. ۲. ۳. وزن‌دهی معیارها

گام بعدی ارزیابی تعیین اهمیت هر یک از معیارها در تصمیم نهایی می‌باشد. برای انجام این مهم، معیارهای تصمیم-گیری باید وزن‌دهی شوند. این وزن‌دهی براساس روش AHP (شرح داده شده در بخش دوم) انجام شده است. برای انجام این

مهم، در ادامه نشست غربال گری و تدقیق معیارها مورخ ۹۴/۱/۱۹، فرم های مقایسات زوجی معیارها تهیه شده و پس از تشریح روش و توجیه حاضرین در جلسه از آنها درخواست شد تا فرم ها را تکمیل نموده و تا ۹۴/۱/۲۰ برای انجام محاسبات فرم ها را بازگردانند. فهرست افرادی که فرمها به آن‌ها تحویل شده و افرادی که فرم ها را بازگردانده اند به شرح جدول ۳-۵ است.

جدول ۳-۵ فهرست افرادی که فرم های مقایسات زوجی معیارها را تحویل گرفته، تکمیل نموده و بازگردانده‌اند

ردیف	نام	سازمان	فرم ها را تحویل گرفتند	فرم ها را تکمیل نموده و بازگرداندند
۱	مهندس غفاری شیروان	نماینده مشاور ارشد رئیس جمهور	√	√
۲	دکتر مکنون	نماینده سازمان حفاظت محیط زیست	√	–
۳	مهندس زارع	وزارت جهاد کشاورزی	عدم شرکت در جلسه	
۴	مهندس شکراللهی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	√	√
۵	مهندس نصیری	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	√	√
۶	مهندس رهسپار	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	√	√
۷	دکتر قمشی	دانشگاه شهید چمران اهواز	√	√
۸	مهندس عبدی	وزارت جهاد کشاورزی	√	√
۹	دکتر سامانی	مرکز پژوهش های مجلس	عدم شرکت در جلسه	
۱۰	مهندس آمیلی	خانه کشاورز / سازمان جهاد کشاورزی خوزستان / شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی	√	√
۱۱	مهندس ذبیح اله زاده	کمیته ملی سدهای بزرگ ایران	عدم شرکت در جلسه	
۱۲	مهندس اکرم	کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران	√	√
۱۳	مهندس قزل ایاغ	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۴	مهندس فریدنی	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۵	مهندس بلوری	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۶	دکتر انصاری	سازمان حفاظت محیط زیست	عدم شرکت در جلسه	
۱۷	مهندس جلالوندی	سازمان حفاظت محیط زیست	عدم شرکت در جلسه	
۱۸	مهندس هادی نیا	سازمان حفاظت محیط زیست	√	√
۱۹	دکتر عبد علی ناصری	دانشگاه شهید چمران اهواز	√	√
۲۰	مهندس لاهیجان زاده	سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان	عدم حضور تا پایان جلسه	
۲۱	مهندس رستمی	سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان	√	√

جدول ۳-۵ فهرست افرادی که فرم های مقایسات زوجی معیارها را تحویل گرفته، تکمیل نموده و بازگردانده‌اند				
ردیف	نام	سازمان	فرم ها را تحویل گرفتند	فرم ها را تکمیل نموده و بازگرداندند
۲۲	دکتر بالدی	استانداری خوزستان	√	√
۲۳	دکتر حمادی	سازمان آب و برق خوزستان	√	√
۲۴	مهندس حسین زاده	سازمان آب و برق خوزستان	√	√
۲۵	مهندس سهیلی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	√	√
۲۶	مهندس ابتکار	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	√	√
۲۷	مهندس حسنی	شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس	√	–
۲۸	مهندس رضایی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	√	√
۲۹	مهندس غلامرضا	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	√	√
۳۰	دکتر افتخاری	موسسه تحقیقات آب	عدم شرکت در جلسه	
۳۱	دکتر بنی هاشمی	دانشگاه تهران	√	√
۳۲	دکتر بدیعی	دانشگاه تهران	√	√
۳۳	دکتر کوچک زاده	دانشگاه تهران	√	√
۳۴	دکتر لیاقت	دانشگاه تهران	√	√
۳۵	دکتر ناصری	دانشگاه تهران	√	–
۳۶	دکتر فتوره چی	دانشگاه تهران	√	√
۳۷	مهندس صفابخش	دانشگاه تهران	√	√
۳۸	دکتر زهرایی	دانشگاه تهران	√	√
۳۹	دکتر غضبان	دانشگاه تهران	√	√
۴۰	دکتر پلاسی	دانشگاه تهران	√	√

محاسبات وزن‌دهی معیارها بر مبنای نظرات ذینفعان و کارشناسانی صورت گرفت که به صورت رسمی از سوی کارفرما معرفی شدند. نظرات سایر ذینفعان حاضر در جلسه و همچنین نظرات اعضای تیم مؤسسه آب دانشگاه تهران صرفاً برای کنترل و صحت سنجی نتایج مورد استفاده قرار گرفت تا این اطمینان حاصل شود که نتایج وزن دهی صرفاً مبتنی بر نظرات نمایندگان رسمی ذینفعان و کارشناسان معرفی شده است. همچنین در انجام محاسبات این نکته نیز مورد توجه قرار گرفت که تعداد نمایندگان ذینفعان مختلف با یکدیگر متناسب باشد تا نتایج تحت تأثیر تمایلات خاص یکی از طرف‌ها قرار نگیرد. نتایج حاصل از این وزن‌دهی در جدول ۳-۶ تا ۳-۱۱ ارائه شده است. جدول ۳-۶ شامل نتایج وزن‌دهی دسته‌های کلی (محیط زیست، فنی، اقتصادی، ریسک و اجتماعی) است و جداول ۳-۷ تا ۳-۱۱ نتایج وزن‌دهی هر یک از دسته معیارها را ارائه می‌نماید. همانطور

که در جدول ۳-۶ دیده می شود، معیارهای محیط زیست و اقتصادی هر یک با ۲۷ درصد وزن، بالاترین اهمیت و معیارهای اجتماعی و ریسک، هر یک با ۱۲ و ۱۱ درصد وزن، کمترین اهمیت را از نظر ذینفعان و کارشناسان شرکت کننده در جلسه داشته اند. هم‌چنین معیارهای فنی با ۲۲ درصد وزن اهمیت نسبی قابل توجهی در این مقایسات داشته اند.

جدول ۳-۶ نتایج وزن‌دهی معیارهای کلی در نشست ۹۴/۱/۱۹

ردیف	عنوان	وزن
۱	معیارهای محیط زیستی	۲۷.۱۲٪
۲	معیارهای فنی	۲۲.۴۱٪
۳	معیارهای اقتصادی	۲۷.۰۳٪
۴	معیارهای اجتماعی	۱۲.۱۷٪
۵	معیارهای مبتنی بر ریسک	۱۱.۲۷٪

جدول ۳-۷ نتایج وزن‌دهی معیارهای محیط زیستی در نشست ۹۴/۱/۱۹

ردیف	عنوان معیار	وزن معیار
۱	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در طول دریاچه مخزن	۴.۶۵٪
۲	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در رودخانه کارون از محل سد گتوند تا مصب رودخانه در خلیج فارس	۱۴.۱۶٪
۳	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در محلهای پذیرنده در خلیج فارس	۴.۰۳٪
۴	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی تالابها	۶.۲۸٪
۵	اثرات شوری بر منابع آب زیر زمینی	۵.۶۲٪
۶	اثرات شوری بر کیفیت آب شرب	۱۴.۷۶٪
۷	اثرات شوری بر مصارف آب بهداشتی	۱۰.۲۲٪
۸	افت کیفیت نسبت به وضعیت بدون سد در ایستگاه گتوند	۱۱.۶۳٪
۹	تخریب اراضی در دراز مدت و ایجاد کانونهای ریزگرد	۱۶.۹۶٪
۱۰	کاهش توان خودپالایی رودخانه	۷.۴۶٪
۱۱	اثرات شوری بر سازندهای محدوده مخزن گتوند و افزایش فرسایش	۴.۲۲٪

جدول ۳-۸ نتایج وزن‌دهی معیارهای فنی در نشست ۹۴/۱/۱۹

ردیف	عنوان معیار	وزن معیار
۱	سهولت اجرای راهکار به لحاظ فنی	۹.۴۷٪
۲	انعطاف پذیری و امکان جایگزینی در صورت ایجاد موانع	۹.۷۳٪
۳	حداکثر طول عمر (ماندگاری راهکار)	۱۸.۳۱٪
۴	سرعت اجرای راهکار	۹.۰۶٪
۵	استفاده بهینه از زیرساخت های موجود	۱۴.۹۸٪
۶	اثرات شوری بر سد و تاسیسات وابسته	۱۴.۱۸٪
۷	وجود دانش و تجربه فنی برای اجرای راهکار	۱۵.۷۲٪
۸	ایجاد مشکلات برای سایر طرح های توسعه در دست اجرا در زمان اجرای راهکار	۸.۵۵٪

جدول ۳-۹ نتایج وزن‌دهی معیارهای اقتصادی در نشست ۹۴/۱/۱۹

ردیف	عنوان معیار	وزن معیار
۱	خسارت ناشی از شوری بر بخش کشاورزی	۲۳.۳۸٪
۲	تبعات منفی در بهره برداری از منابع طبیعی از منظر اقتصادی و اشتغال (معادن نمک و مخازن نفت و گاز)	۳.۸۲٪
۳	هزینه اجرا، بهره برداری و نگهداری راهکار	۹.۹۵٪
۴	درآمد حاصل از بهره برداری از سد گتوند	۱۰.۴۹٪
۵	خسارات سیل	۸.۳۲٪
۶	(خسارت وارده به سرمایه گذاری های انجام شده در سد و زیرساخت ها در پایین دست سد گتوند و) افزایش هزینه های تعمیرات و نگهداری و بهره برداری	۱۷.۸۵٪
۷	کاهش درآمد آبزی پروری نسبت به شرایط بدون سد	۳.۳۹٪
۸	اتلاف آب	۸.۳۰٪
۹	افزایش هزینه های تصفیه آب در بخش صنعت	۴.۸۰٪
۱۰	افزایش هزینه های تصفیه آب شرب و هزینه های درمانی	۹.۶۹٪

جدول ۳-۱۰ نتایج وزن‌دهی معیارهای اجتماعی در نشست ۹۴/۱/۱۹

ردیف	عنوان معیار	وزن معیار
۱	تبعات منفی اجتماعی، سیاسی و روانی بر ذینفعان	۳۲.۴۳٪
۲	احساس بی هنجاری و آنومی اجتماعی	۱۳.۶۷٪
۳	کاهش سرمایه اجتماعی (اعتماد و امنیت) نسبت به شرایط بدون سد	۲۵.۲۵٪
۴	رضایت بهره برداران و ذینفعان	۲۸.۶۵٪

جدول ۳-۱۱ نتایج وزن‌دهی معیارهای مبتنی بر ریسک در نشست ۹۴/۱/۱۹

ردیف	عنوان معیار	وزن معیار
۱	ریسک ناشی از اثر وجود آب شور بر تخلیه اضطراری در هنگام بلایای طبیعی (مانند زلزله، بروز فروچاله یا رانش زمین)	۳۱.۵۲٪
۲	ریسک نشت آب شور از تاسیسات راهکار پیشنهادی	۹.۳۲٪
۳	ریسک تشدید شوری ناشی از شرایط حدی اقلیمی	۱۸.۳۸٪
۴	ریسک از دست دادن امکان تخلیه آب از ترازهای مختلف از مخزن	۳۰.۶۲٪
۵	ریسک ناشی از نشت نفت به مخزن	۱۰.۱۶٪

تا این مرحله، معیارهای تصمیم‌گیری و اهمیت هر یک از آن ها براساس نظرات نمایندگان رسمی ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما تعیین شده است و می‌تواند مبنای مقایسه راهکارهای پیشنهادی باشد. گام بعدی ارزیابی، شناسایی راهکارها است.

۴. راهکارهای پیشنهادی

۴. ۱. کلیات فرآیند تعیین راهکارها

با توجه به اینکه هدف این مطالعات شناسایی راهکارهای رفع شوری آب مخزن سد گتوند و انتخاب راهکار برتر است، راهکارهای مورد بررسی محدود به فعالیت های قابل انجام در محدوده مخزن سد و رودخانه های منتهی به آن بوده و سایر منابع آلاینده رودخانه در پایین دست سد در چارچوب مطالعات قرار نمی‌گیرد. هر چند در مدت انجام این مطالعه، مکرراً شواهدی توسط کارشناسان آشنا با طرح و ذینفعان مبنی بر ضرورت پرداختن به مدیریت جامع حوضه آبریز کارون و کم کردن اثر آلاینده هایی که در پایین دست سد گتوند به رودخانه کارون بزرگ اضافه می شوند، مطرح گردید، در این گزارش صرفاً به راهکارهای حل مشکل شوری در مخزن سد گتوند پرداخته می شود. فرآیند تعیین راهکارها از دو مرحله شناسایی راهکارها و غربال‌گری آنها تشکیل شده است. برای شناسایی راهکارها، علاوه بر راهکارهای طرح شده توسط کارفرما، دستگاه بهره بردار سد و مشاورین طرح سد گتوند، از جلسات طوفان فکری نیز بهره گیری شده و راهکارهای متنوع پیشنهادی ذینفعان ستادی و استانی طرح نیز مورد بررسی قرار گرفته است. برای غربال گری راهکارها، امکان پذیری اجرای آنها به لحاظ فنی با توجه به فن آوری‌ها، دانش و تجربه فنی موجود در کشور و یا قابل دستیابی از سایر کشورها مورد بررسی قرار گرفته است. جزئیات این راهکارها و نحوی غربال گری آنها در ادامه این بخش از گزارش تشریح شده است.

۴. ۲. شناسایی راهکارها

۴. ۲. ۱. مکاتبه و برگزاری جلسه با ذینفعان

در مکاتبات و برگزاری جلسات با ذینفعان و ذیمدخلان راهکارهای که توسط بخش‌های مختلف مطرح شدند عبارتند از:

بخش کشاورزی

۱- مجری طرح سامانه های نوین آبیاری در اظهار نظر کتبی:

- تخلیه تدریجی سد و انحراف آب از بالادست سد (خارج کردن سد از مدار بهره برداری)،

۲- شرکت کشت و صنعت هفت تپه:

- جلوگیری از شوری ورودی به مخزن در بالادست آن،
- انتقال آب شور به خارج مخزن و راه اندازی کارخانه تولید نمک های صنعتی،

۳- دبیر کل خانه کشاورز طی نامه شماره ۹۳/۲۰۲۴/د مورخ ۹۳/۱۱/۲۰ ضمن بیان این مطلب که راهکار منتخب وزارت نیرو (خط انتقال) ضوابط فنی، اقتصادی و مدیریتی را ارضا ننموده و فاقد وجاهت لازم برای اجرا می‌باشد، خواستار حذف سد از مسیر جریان طبیعی کارون شده است.

بخش محیط زیست

۱- در جلسه مورخ ۹۳/۱۲/۲۳ در دفتر آقای دکتر متصدی معاونت محیط زیست انسانی سازمان محیط زیست به موارد زیر اشاره شد:

- راهکار مورد نظر سازمان محیط زیست انحراف رودخانه و برچیدن سد است.
- سازمان محیط زیست روی هیچ راهکاری مطالعه نکرده است و اصولا این را وظیفه خود نمی داند.
- لزوم استفاده از تجارب بین المللی.

بخش آب و برق (وزارت نیرو)

۱- در زمینه راهکارها نیز نظری به شکل مکتوب از سوی وزارت نیرو و سازمان های تابعه آن ابراز نشده است. لیکن در جلسات حضوری به موارد زیر اشاره شده است:

- شرکت آب و نیرو راهکار مطلوب را اجرای خط انتقال آب شور می‌داند. این مطلب در جزوه ۶ صفحه ای شرکت تحت عنوان «طرح عظیم سد و نیروگاه گتوند علیا» و همچنین نامه مورخ ۹۳/۷/۱ مدیر عامل محترم شرکت آب نیرو به وزیر محترم نیرو ذکر شده است.

۲- در جلسه مورخ ۹۳/۱۲/۶ در سازمان آب و برق خوزستان موارد زیر مطرح شد:

- لزوم استفاده از کارشناسان خارجی در استخراج راهکارها،
- دقت عمل و تدوین برنامه مدیریت بهره برداری از سد گتوند،
- تکمیل مطالعات، طراحی و اجرای خط انتقال،
- کاهش حجم آب انتقالی بین حوضه ای،
- تکمیل و اجرای طرح زهکشی پایین دست،
- بهبود مدیریت مزرعه،
- تکمیل و تجهیز سیستم برداشت اطلاعات،
- تسریع در اجرای طرح جمع آوری زهاب ها،
- ضرورت مدیریت الگوی کشت در منطقه،
- تسریع در انجام طرحهای آب رسانی،
- کنترل کانونهای تولید شوری در منطقه،
- تسریع در اجرای شبکه فاضلاب،
- لزوم مدیریت رودخانه توسط سازمان آب و برق،
- ایجاد حوضچه های تبخیری و بهره برداری از نمک آن،
- لزوم اجرای خط آبرسانی غدیر،
- لزوم افزایش ارتفاع سد دز،

۳- در نامه مورخ ۹۳/۱/۲۴ وزیر محترم نیرو به ریاست محترم جمهوری اجرای سریع طرح های زیر خواسته شده است. هدف از این اقدامات احیای رودخانه کارون به عنوان یک منبع عظیم آبی کشور ذکر شده است:

- مدیریت کیفیت آب مخزن و خروجی سد با برنامه ریزی صحیح و دقت عمل در بهره برداری
- تکمیل سریعتر مطالعات احداث خط لوله انتقال آب لایه شور به محدوده خارج از رودخانه و اتخاذ تمهیدات برای شروع و اتمام عملیات اجرایی آن
- تسریع در انجام طرح های آبرسانی مهمی چون «طرح غدیر»
- تسریع در اجرای طرح های جمع آوری زه‌آب های جنوب کرخه، شرق و غرب کارون، و ساماندهی تالاب

ناصری، زهکش‌های توسعه نیشکر و مسائل تخلیه آنها

- تسریع در طرح علاج بخشی سد دز (افزایش ارتفاع سد) برای افزایش قدرت تنظیمی آن
- تکمیل شبکه های زهکشی زیر زمینی اراضی کشاورزی و طرح های جمع آوری و انتقال زه‌آب ها، تکمیل اجرای طرح‌های آبیاری زهکشی پایین دست رودخانه کارون ، تسریع در تکمیل سد بهمنشیر و کانال مارد
- الزام صنایع موجود به تصفیه فاضلاب‌های صنعتی
- ضرورت مدیریت الگوی کشت و جلوگیری از توسعه واحدهای پرورش ماهی و تغییر کاربری زمین های کشاورزی به واحد پرورش ماهی
- کنترل کانون های تولید و افزایش شوری کارون با اولویت رودخانه شور دشت بزرگ، رودخانه گرگر، رودخانه کارون از ملاثانی تا اهواز و رودخانه های شور اندیکا و مرغاب

سایر نهادها

۱- استانداری خوزستان در نامه مورخ ۹۳/۱۱/۱۹ پیشنهادات زیر را مطرح نموده است:

- دقت در بهره برداری از سد و خرید تجهیزات پایش و مانیتورینگ،
- تکمیل مطالعات خط انتقال ولزوم در نظر گرفتن سایر گزینه های محتمل،
- تسریع در انجام طرح آب رسانی غدیر،
- کاهش حجم انتقال آب بین حوضه ای از سر شاخه های کارون،
- تسریع در انجام طرح علاج بخشی و افزایش ارتفاع سد دز،

۲- سازمان بازرسی کشور در نامه مورخ ۹۳/۹/۹ خود به معاون اول ریاست جمهوری با بیان این که شواهد نشان میدهد علی رغم افزایش غلظت نمک در لایه های تحتانی، لایه های شور گسترش چندانی به سمت سطح نداشته و وضعیت تا حدودی مدیریت شده است، لذا در خصوص ضرورت اجرای خط انتقال که با هزینه سنگین همراه است می‌بایست مطالعات جامع تری انجام شود. به نظر می‌رسد که راهکار مناسب از نظر این سازمان مدیریت مخزن و یا خط انتقال در صورت اثبات ضرورت اجرا می‌باشد.

۴. ۲. ۲. برگزاری جلسه طوفان فکری

برای اطمینان از دریافت همه نظرات و ایده‌های ذینفعان و ذیمدخلان در زمینه شناسایی راهکارها، مؤسسه آب اقدام به برگزاری جلسه طوفان فکری در تاریخ ۹۴/۱/۲۰ از ساعت ۹:۱۵ الی ۱۵:۱۵ در محل سالن شورای پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران نمود. در این جلسه نمایندگان ذینفعان و ذیمدخلان مختلف و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما به ارائه ایده‌ها و راهکارهای پیشنهادی خود پرداختند. فهرست مدعوین و شرکت کنندگان این جلسه به شرح جدول ۴-۱ می‌باشد:

جدول ۴-۱- فهرست مدعوین و شرکت کنندگان در نشست شناسایی راهکارها مورخ ۹۴/۱/۲۰				
ردیف	نام	سازمان	دعوت شده	شرکت کننده
۱	مهندس غفاری شیروان	نماینده مشاور ارشد رئیس جمهور	√	√
۲	دکتر مکنون	نماینده سازمان حفاظت محیط زیست	√	√
۳	مهندس زارع	وزارت جهاد کشاورزی	√	–
۴	مهندس شکراللهی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	√	√
۵	مهندس نصیری	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	√	√
۶	مهندس رهسپار	سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	√	√
۷	دکتر قمشی	دانشگاه شهید چمران اهواز	√	√
۸	مهندس عبدی	وزارت جهاد کشاورزی	√	√
۹	دکتر سامانی	مرکز پژوهش های مجلس	√	–
۱۰	مهندس آمیلی	خانه کشاورز / سازمان جهاد کشاورزی خوزستان / شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی	√	√
۱۱	مهندس ذبیح اله زاده	کمیته ملی سدهای بزرگ ایران	√	–
۱۲	مهندس اکرم	کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران	√	√
۱۳	مهندس قزل ایاغ	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۴	مهندس فریدنی	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۵	مهندس بلوری	جامعه مهندسین مشاور	√	√
۱۶	دکتر انصاری	سازمان حفاظت محیط زیست	√	–
۱۷	مهندس جلالوندی	سازمان حفاظت محیط زیست	√	–
۱۸	مهندس هادی نیا	سازمان حفاظت محیط زیست	√	√
۱۹	دکتر عبد علی ناصری	دانشگاه شهید چمران اهواز	√	√
۲۰	مهندس لاهیجان زاده	سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان	√	–
۲۱	مهندس رستمی	سازمان حفاظت محیط زیست خوزستان	√	√
۲۲	دکتر بالدی	استانداری خوزستان	√	√
۲۳	دکتر حمادی	سازمان آب و برق خوزستان	√	√
۲۴	مهندس حسین زاده	سازمان آب و برق خوزستان	–	√
۲۷	مهندس ابتکار	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	–	√

جدول ۴-۱- فهرست مدعوین و شرکت کنندگان در نشست شناسایی راهکارها مورخ ۹۴/۱/۲۰				
ردیف	نام	سازمان	دعوت شده	شرکت کننده
۲۸	مهندس رضایی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	–	√
۲۹	مهندس غلامرضا	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	–	√
۳۰	مهندس شیبانی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	–	√
۳۱	دکتر افتخاری	موسسه تحقیقات آب	√	–
۳۲	دکتر بنی هاشمی	دانشگاه تهران	√	√
۳۳	دکتر بدیعی	دانشگاه تهران	√	√
۳۴	دکتر کوچک زاده	دانشگاه تهران	√	√
۳۵	دکتر منتظری	دانشگاه تهران	√	–
۳۶	دکتر میرقاسمی	دانشگاه تهران	√	–
۳۷	دکتر لیاقت	دانشگاه تهران	√	√
۳۸	دکتر ناصری	دانشگاه تهران	√	√
۳۹	دکتر فتوره چی	دانشگاه تهران	√	√
۴۰	مهندس صفابخش	دانشگاه تهران	√	√
۴۱	دکتر زهرایی	دانشگاه تهران	√	√
۴۲	دکتر ترابیان	دانشگاه تهران	√	–
۴۳	دکتر غضبان	دانشگاه تهران	√	√
۴۴	دکتر پلاسی	دانشگاه تهران	√	√
۴۵	دکتر نورزاد	دانشگاه تهران	√	√
۴۶	مهندس لطفی خواه	دانشگاه تهران	√	√

در طول این نشست، تلاش بر این بود تا نظرات و ایده‌های نمایندگان سازمان‌های ذینفع و ذیمدخل و کارشناسان معرفی شده از سوی کارفرما شنیده شده و در صورت تأیید حاضرین برای بررسی‌های کارشناسانه بیشتر ثبت شود. حاصل این جلسه فهرستی از راهکارهای پیشنهادی بود که پس از دسته‌بندی به شرح جدول ۴-۲ درآمد.

جدول ۴-۲- فهرست راهکارهای پیشنهادی در جلسه طوفان فکری مورخ ۹۴/۱/۲۰

دسته بندی راهکار	عنوان راهکار	
۱- کنترل شوری از مبدأ	کنترل سرشاخه های شور	
	کنترل شوری ورودی از توده عنبل	استفاده از سپر یونی
		پوشش با مصالح (غرقابی)
		الکترواسمز
۲- نمک زدایی و محبوس کردن نمک	تصفیه نمک	استفاده از نانو
		ECR
		میکرو ارگانیزم های نمک خوار
	محبوس کردن نمک	استفاده از هیدروژل ها
		استفاده از ژئوبگ
۳- مدیریت مخزن و شستشوی سریع	مدیریت مخزن (رها سازی تدریجی آب شور از مخزن با حفظ شوری در حد آستانه مورد قبول در پایین دست)	
	شستشوی سریع (رها سازی آب خیلی شور به صورت دوره ای)	
۴- انتقال	تزریق به چاه‌های نفت	
	تحویل به صنایع متقاضی	پتروشیمی
		سیمان کارون / صنایع کربنات سدیم رامهرمز
	استفاده از حوضچه‌های تبخیری	
	تخلیه به خلیج فارس	
۵- انحراف رودخانه	انحراف آب از قبل از توده عنبل	
	تخلیه از طریق سد های انحرافی و تونل های انحراف در ترازهای مختلف	

۴. ۳. غربال گری راهکارها

پس از نهایی کردن و دسته‌بندی راهکارهای پیشنهادی جلسه طوفان فکری، مجموعه راهکارها بر اساس پارامترهایی نظیر مقیاس کاربرد، امکان اجرا، اثر گذاری و نقش آن در علاج‌بخشی شوری مخزن، وجود تجربه و دانش ملی و بین المللی و غیره، بررسی شد. نتیجه بررسی نشان داد که دو دسته از راهکارهای پیشنهادی، یعنی دسته کنترل شوری از مبدأ و نمک زدایی و محبوس کردن نمک قابل غربال‌گری هستند. برای این غربال‌گری دلایلی از قبیل ناکارآمدی در علاج بخشی، عدم امکان اجرا، کاربری در مقیاس‌های کوچک و آزمایشگاهی، نبودن دانش و تجربه لازم در مقیاس ملی و بین المللی، می‌توان ذکر کرد. اما سایر راهکارها یعنی مدیریت مخزن، شستشوی سریع، انتقال، و انحراف آب قابلیت اجرا دارند و برای تهیه اطلاعات لازم برای مقایسه و انتخاب راهکار برتر نیازمند بررسی و تدقیق هستند. در ادامه به اختصار راهکارهای غربال شده (کنار گذاشته شده) تبیین می‌شود.

۴. ۳. ۱. راهکارهای حذف شوری از مبدا

- کاربرد الکترو اسمز در علاج‌بخشی شوری مخزن

عمده کاربرد فرآیند الکترواسمز در بهسازی خاک‌های ریزدانه متمرکز شده است (ناصح و همکاران، ۱۳۹۳). در این روش با قرار دادن الکترودهای کاتد و آند در دو طرف محیط اشباع و برقرار کردن جریان الکتریسیته، آب موجود در لوله‌های مویین خاک در جهت حرکت بارهای الکتریکی جریان می‌یابد و در قطب منفی (آند) تخلیه می‌شود. کاربرد این روش در بهبود خاک‌های ریزدانه توسط کاساگرانده (۱۹۴۵، ۱۹۸۳) پیشنهاد شد و محققین متعددی پس از او آن را به‌کار برده‌اند. کاربرد این روش در فرآیند شوری زدایی آن هم در مقیاس مخزن سد گتوند مورد تردید است.

- پوشش توده شور با مصالح غرقابی

هدف پیشنهاد دهنده محترم این راهکار جدایی تماس توده عنبل (عنبر) از مخزن سد است. جدایی توده به این صورت است که از ترازهای فوقانی خاک‌های مارنی با ترکیبات عمده یون کلسیم به تدریج روی سطح تماس ریخته شود، طوری که پوششی به ضخامت ۲۵ تا ۴۰ متر روی سطح توده، با زاویه استقرار طبیعی مصالح ایجاد شود. فرض بر این است که این پوشش از انحلال نمک‌ها جلوگیری کند. از آنجا که این راهکار تمهیدی برای حل معضل نمک موجود در مخزن ارائه نمی‌کند، نمی‌تواند به عنوان یک راهکار مستقل مطرح شود.

- استفاده از سپر یونی

دیدگاه پیشنهاد دهنده محترم این بوده است که با وارد کردن نمک‌های خاص جایگزینی یونی صورت گیرد. اما در چند سال گذشته این عبارت برای سامانه‌ای که در خوزستان برای مقابله با پدیده ریزگردها، نصب شده است، به‌کار برده شده است. هدف سامانه ایجاد فضای دو قطبی، باردار کردن ذرات ریز گرد، اتصال آنها به یکدیگر و ته نشینی در یک مسیر کوتاه‌تر، بوده است. از آنجایی که هم اکنون لایه بندی نسبتاً مستحکم با غلظت‌های مختلف نمک در مخزن ایجاد شده است، نه دیدگاه اول نه دیدگاه دوم به فرآیند کاهش شوری مخزن کمکی نمی‌کند و بنابر این در این پروژه کاربردی ندارد.

- کنترل شوری سرشاخه

مقداری از شوری انباشته شده در مخزن مربوط به ورود شاخه‌های شور بالادست است. این راهکار مستلزم مشخص کردن بازه‌های شور کننده شاخه‌های ورودی و پوشش بستر آن‌ها با مصالحی از قبیل ژئوتکستایل‌ها یا پوشش های سخت است تا تماس آب با بستر شور کننده قطع شود. از آنجایی که چنین شاخه‌هایی هم اکنون در مخزن قرار گرفته‌اند و دسترسی به مسیر آنها میسّر نیست، این راهکار قابلیت اجرا ندارد. از طرفی برای شوری کنونی تجمع یافته در مخزن راه‌حلی ارائه نمی‌کند.

۴. ۳. ۲. راهکارهای نمک زدایی

مجموعه ای از راهکارهای نمک زدایی به عنوان علاج بخشی وضعیت فعلی مخزن سد گتوند علیا پیشنهاد شده است. فرض اصلی در این مجموعه راهکارها این است که بتوان با استفاده از یکی از روش‌های نمک زدایی، نسبت به بهبود کیفیت آب رها شده از مقطع سد گتوند اقدام نمود.

۴. ۳. ۲. ۱. اطلاعات عمومی مرتبط با نمک زدایی

- دبی متوسط رها شده از رودخانه در طول دوره بهره برداری (تا اوایل اسفند ۹۳): حدود ۲۵۰ متر مکعب بر ثانیه
- دبی تقریبی خط لوله انتقال آب شور: حدود یک متر مکعب بر ثانیه
- میزان شوری خط انتقال: آب با هدایت الکتریکی ۱۰۰۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر
- EC متوسط رها شده از سد در طول دوران بهره برداری (تا اوایل اسفند ۹۳): ۱۴۵۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر
- دامنه تغییرات EC در مخزن سد: از حدود ۹۰۰ در ترازهای بالا تا حدود ۱۸۰ هزار در کف (میکرو زیمنس بر سانتیمتر)
- حجم تقریبی آب دارای EC بالای ۵۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر (زیر تراز ۱۲۳): حدود ۱۵۸ میلیون متر مکعب

به طور کلی نمک زدایی در پروژه سد گتوند میتواند شامل بخش‌های زیر باشد:
الف) نمک زدایی از آب شور داخل مخزن
ب) نمک زدایی از آب رها شده از سد به داخل رودخانه
ج) نمک زدایی از آب شور کف مخزن که از طریق خط انتقال قابل تخلیه است

۴. ۳. ۲. ۲. مشکلات و موانع کلی راهکارهای نمک زدایی

با توجه به اطلاعات فوق بحث نمک زدایی داخل مخزن و یا نمک زدایی از کل آب رها شده از سد، با مشکلات عمومی زیر روبرو است:

الف) حجم زیاد آب شور. حجم آب شور داخل مخزن که در مقیاس چند صد میلیون متر مکعب است. دبی آب رها شده به رودخانه نیز حدود ۲۵۰ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. دبی آب خط انتقال یک متر مکعب بر ثانیه است که معادل حدود ۸۶ هزار متر مکعب در روز است که برای ظرفیت یک تصفیه خانه قابل ملاحظه می‌باشد.

ب) سطح شوری آب. در پروژه حاضر با شوری‌های چند برابر شوری دریا در کف مخزن سد مواجه هستیم.

ج) پساب یا محصولات جانبی حاصل از فرآیند تصفیه. عمده روش‌های نمک زدایی آب محصولات جانبی و یا شورابه تولید می‌نمایند که باید به نوعی دفع یا بازیافت شوند. اگر محل تصفیه خانه در کنار دریا باشد، تحت شرایط و ضوابطی می‌توان محصولات جانبی را به دریا تخلیه نمود. در موقعیتی که سد گتوند قرار دارد امکان دفع شورابه و یا سایر مواد زاید و محصولات جانبی وجود ندارد.

د) کمبود تجربه و دانش فنی و تحقیقاتی بودن برخی ایده ها. در خصوص برخی روش‌های تصفیه آب شور، با مشکل کمبود تجربه و دانش فنی موجود در کشور و یا در سطح بین المللی روبرو هستیم و یا ایده های مطرح شده در مرحله تحقیقاتی بوده و هنوز به مقیاس صنعتی نرسیده اند. سطح اطمینان قابل قبول از موثر بودن راهکار با توجه به حساسیت رودخانه حیاتی کارون و نقش تعیین کننده آن در تأمین آب شرب، بهداشت، کشاورزی و صنعت، اهمیت توجه به معیار وجود دانش و تجربه فنی کافی و وجود سوابق قابل قبول اجرای ایده در مقیاس صنعتی را افزایش میدهد. به عبارت دیگر راهکارهایی که تجربه ودانش کافی در داخل و خارج وجود ندارد، به دلیل ریسک بالا از نظر کیفیت و سلامت آب رودخانه کارون، حذف شده اند.

جمع بندی نهایی مشکلات چنین است که فقط بحث نمک زدایی از آب لوله خط انتقال قابل بررسی بیشتر است.

۴. ۳. ۲. ۳. راهکارهای نمک زدایی بررسی شده در مطالعات قبلی

در مطالعات قبلی توسط مهندسین مشاور مهاب قدس و به کارفرمایی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، راهکارهای نمک زدایی زیر مورد بحث و بررسی قرار گرفته که در هر مورد نتیجه بررسی های انجام شده مشاور نیز توضیح داده خواهد شد.

۱- استفاده از تکنولوژی نانو برای تصفیه آب شور خط انتقال

فناوری استفاده از نانو سیلیس توسط شرکت نانو سپهر به وزارت نیرو معرفی شده است. دلایل مطرح شده در گزارش تهیه شده توسط شرکت آب نیرو در رد این گزینه به شرح زیر است: حجم بالای ترسیب و عدم امکان جابجایی و یا ذخیره سازی آن، عوارض ناشناخته محیط زیستی این مواد و ابهامات زیاد در خصوص تبدیل مقیاس آزمایشگاهی به مقیاس صنعتی.

۲- استفاده از تکنولوژی ECR برای تصفیه آب شور خط انتقال

فناوری ECR از جمله روش‌های نمک زدایی است که بدون تغییر فاز انجام می‌شود. روش Electromagnetism-Electrolyze (ECR) یا الکترولیز الکترومغناطیسی، از جمله روشهای نمک زدایی است که بدون تغییر فاز انجام میشود. در این روش با اعمال انرژی الکترومغناطیسی به آب، جنبش ملکولی آب افزایش می‌یابد و بدین ترتیب تجزیه یون ها راحت تر انجام میشود و در نهایت تصفیه به روش الکترولیز انجام می‌شود. انرژی مصرفی کمتر و سرعت کمتر خوردگی قطب های الکترولیز از جمله مزایای این روش ذکر شده است. این روش توسط شرکت افرا صنعت کیمیا ارائه شده است. دلایل عدم پذیرش این راهکار توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران مشابه دلایل عدم پذیرش استفاده از راهکار تصفیه به روش نانو ذکر شده است.

۳- تخلیه آب کف مخزن به رودخانه و سپس شیرین سازی کارون به روش اسمز معکوس یا سایر تکنولوژی های مشابه همان طور که در بخش قبل گفته شد اگر قرار باشد آب رودخانه کارون تصفیه شود، در مقطع سد گتوند دبی آب حدود ۲۵۰ متر مکعب بر ثانیه خواهد بود و تصفیه چنین حجمی از آب به دلایل مختلف فنی و اقتصادی قابل انجام نیست. از جمله

دلایل عدم پذیرش این راهکار توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، نیاز به سرمایه گذاری زیاد که عمدتا ارزی بوده و هزینه های بهره برداری و نگهداری قابل توجه ذکر شده است.

۴. ۳. ۲. ۴. راهکارهای نمک زدایی بررسی شده در مطالعات حاضر

پس از مطالعه سوابق و مدارک مطالعات قبلی و بررسی های به عمل آمده، استدلال‌های مهندسین مشاور مهاب قدس و شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران در خصوص مردود بودن راهکارهای بررسی شده برای نمک زدایی در مطالعات قبلی مورد تایید و تاکید قرار گرفت. اقدامات تکمیلی انجام شده که مجددا جمع بندی قبلی را مورد تایید قرار داد به شرح زیر است:

۱- مکاتبه با آقای مهندس محمد مهدی امینی مدیر عمران و آب معاونت فناوری های مرکز همکاریهای فناوری و نوآوری ریاست جمهوری و درخواست مشورت از این دفتر در خصوص راهکارهای احتمالی نوین نمک زدایی. محصول این مکاتبه معرفی شرکت افرا صنعت کیمیا به عنوان صاحب فناوری ECR بود. و این همان شرکتی است که قبلا پیشنهاد خود را به وزارت نیرو ارائه کرده بود.

۲- تماس مستقیم با شرکت افرا صنعت کیمیا. با آقای مهندس ابراهیم محمدپور از شرکت افرا صنعت کیمیا تماس حاصل شد. در مذاکرات با شرکت افرا صنعت کیمیا مشخص شد که این فناوری هنوز در مرحله تحقیقات است و در مقیاس صنعتی آن هم در اشل مورد نیاز در پروژه گتوند اجرایی نشده است. در طول مذاکرات شرکت افرا صنعت کیمیا با شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، پیشنهاد شده است که با انجام یک کار تحقیقاتی جدید، امکان پذیر بودن اجرای این روش در سد گتوند بررسی شود. ظاهرا مبلغ درخواستی در حدود چند ده میلیارد ریال و زمان لازم برای انجام پژوهشی حدود ۹ ماه بوده است. مشخصات پیشنهاد اولیه شرکت افرا صنعت کیمیا ارائه شده به شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران به شرح زیر است:

ردیف	پارامتر	کمیت تقریبی
۱	حداکثر شوری ورودی	90,000 mgr./lit
۲	حدود میزان شوری خروجی	9,000 mgr./lit
۳	PH ورودی	6 ~ 8
۴	میزان تغییر بر روی T.H.	Less than 10%

در مذاکره با شرکت افرا صنعت کیمیا بر ویژگی‌ها و مشخصات آب مورد بحث در پروژه گتوند تاکید گردیده و نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های برداشته شده از نقاط مختلف سد در اختیار ایشان قرار گرفت. همچنین گزارشی از وضعیت کیفی مخزن سد و لایه بندی شوری آن تقدیم گردید. از شرکت افرا صنعت کیمیا درخواست شد که اگر پیشنهاد جدیدی دارند ارائه فرمایند. مشخصات پیشنهاد جدید شرکت افرا صنعت کیمیا به شرح زیر است:

ردیف	پارامتر	کمیت تقریبی
۱	حداکثر EC ورودی	170,000 µs
۲	حداکثر شوری حاصل از نمک سدیم و منیزیم در آب خروجی	9,500 ppm
۳	رنج PH ورودی	6 ~ 8

در آخرین مذاکرات با شرکت افرا صنعت کیمیا موانع موجود در استفاده از این روش برای نمک زدایی آب شور پروژه سد گتوند علیا و خصوصا مشکل دفع پساب حاصل از این فرآیند مورد تاکید قرار گرفت و پیشنهاد شد اگر برای این مشکلات راه حلی سراغ دارند، ارائه فرمایند. علی رغم پیگیری چند باره، اطلاع جدیدی حاصل نگردید.

از جمله ابهامات جدی در روش ECR نحوه استفاده از محصول جانبی فرآیند تصفیه است. گفته شد که از محصولات جانبی این روش میتوان برای تولید رنگ استفاده کرد و در موارد محدود استفاده از این ماده به کاربر توصیه شده است که میتواند از این نکته استفاده کند. تجربه استفاده از این روش در مقیاس بزرگ وجود ندارد.

از جمله مطالب ارائه شده توسط شرکت افرا صنعت کیمیا پیشنهاد این شرکت در زمینه استفاده ترکیبی از دستگاه ECR و دستگاه RO برای شیرین سازی آب های خلیج فارس و جزیره کیش است.

۳- امکان استفاده از مواد نانو از نزدیک مورد بررسی و مداقه قرار گرفت. بدین منظور جلسه ای با آقای مهندس خاکسار که از افراد مطلع در این زمینه و مسئول آزمایشگاه کیفیت آب مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو هستند برگزار گردید. بر اساس توضیحات ایشان مشخص شد که مواد نانو سیلیس مورد بحث در این پروژه توسط یک شرکت ایتالیایی به منظور تصفیه فاضلاب صنعتی یکی از کارگاه های شرکت نانو سپهر، در اختیار این شرکت قرار گرفته است. شرکت نانو سپهر در حال حاضر تولید کننده پودر کاهش دهنده شوری آب SP-ER110 بوده و دارای گواهی ثبت اختراع مورخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۹ در همین زمینه می‌باشد.

پس از آشنایی مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو با این ایده، آزمایشات نسبتا مفصلی بر روی این مواد انجام شده است. جمع بندی بررسی ها چنین بوده است که بررسی بر روی این مواد کامل نیست و تبعات محیط زیستی و بهداشتی استفاده از آن مبهم است. در ایران از این ماده در مقیاس محدود و برای مصارف غیر شرب استفاده شده است. از جمله موارد استفاده از این ماده در ایران میتوان به کاربرد آن در مجتمع گل گهر سیرجان در مقیاس آزمایشگاهی اشاره کرد. عدم اطمینان از کارآمدی این روش در حدی است که خود پیشنهاد دهندگان ریسک آشامیدن آب تصفیه شده به این روش را نمی پذیرند. پیشنهاد دهندگان اولیه استفاده از این مواد به ستاد توسعه فناوری‌های نانو معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری هم مراجعه نموده اند ولی هنوز نتیجه ای عملی حاصل نشده است. استفاده از چنین مواد ناشناخته ای در مقیاس وسیع و در رودخانه ای مثل کارون، مورد تایید شرکت نانو سپهر هم نیست و اذعان دارند که باید بررسی های جامعی توسط مراجع ذیصلاح بهداشتی و محیط زیستی بر روی این مواد قبل از استفاده در مقیاس وسیع و خصوصا به منظور استفاده به عنوان آب شرب انجام شود. گفته شد که در آزمایشات اولیه انجام شده بر روی کاربرد این ماده در تصفیه آب، حتی ارضای معادله بقای جرم نیز مورد سوال و شبهه واقع شده است!

در خصوص استفاده از میکروارگانیزم های نمک دوست برای نمک زدایی و سایر روش های نمک زدایی زیستی – bio-desalination با توجه به پیشنهادات مطرح شده در جلسات طوفان فکری، بررسی هایی انجام شد. ایده استفاده از باکتری ها و میکروب ها جهت نمک زدایی آب عمدتا در مراحل تحقیقاتی است و هنوز قابل استفاده در مقیاس صنعتی آن هم در حد مخزن سد گتوند علیا نیست. باکتری های نمک دوست لزوما برای سلامت بشر خطرناک نیستند به شرط آن که مقدار آنها در آب از حد مجاز فراتر نرود. همکاران دانشکده زیست شناسی پردیس علوم دانشگاه تهران و به طور خاص آقای دکتر محمدعلی آموزگار از این روش برای نمک زدایی در مقیاس آزمایشگاهی استفاده نموده اند و معمولا استفاده از میکروارگانیزم‌ها در کنار گیاهان مناسب این کار، جواب بهتری می‌دهد.

در همین راستا می‌توان به سلول‌های با سوخت میکروبی (Microbial Desalination Cells-MDC) اشاره کرده که ضمن نمک زدایی آب، به جای مصرف انرژی، انرژی تولید می‌کنند. در این روش میکروب ها ضمن خوردن نمک و سایر مواد موجود در آب آلوده، ضمن تمیز نمودن آب، به عنوان بخشی از فرآیند متابولیزم خود، الکترون های اضافی تولید می‌کنند! بزرگترین مشکل این روش ها این است که هنوز در آزمایشگاه ها تجربه می شوند.

۴. ۳. ۳. راهکارهای محبوس کردن نمک

در جلسات طوفان فکری دو راهکار به نام های استفاده از هیدروژل ها و استفاده از ژئوبگ ها مطرح شد که در دسته کلی راهکارهای محبوس کردن نمک طبقه بندی شدند.

هیدروژل ها موادی هستند که قابلیت جذب آب به مقدار زیاد را دارند. ژئوبگ ها نیز کیسه هایی هستند که قابلیت محبوس کردن آب شور را دارا می‌باشند. فرض پیشنهاد دهنده این دو روش این بوده است که بتوان نمک را داخل این مواد محبوس و در داخل مخزن دفن نمود. این ایده با مشکلات فراوان اجرایی و منطقی روبرو بوده و توسط خود پیشنهاد دهنده غیر قابل اجرا در مخزن سد گتوند ارزیابی شده و رد شد.

همانطور که گفته شد راهکارهای فوق به دلایل ارائه شده قابلیت کاربرد ندارند و از فرآیند ادامه بررسی حذف شده‌اند. اما راهکارهای مدیریت مخزن، شستشوی سریع، خط انتقال و انحراف رودخانه برای بررسی بیشتر به مرحله بعد رفته‌اند. در بخش-های بعد مشخصات کلی و اطلاعات تکمیلی هرکدام از راهکارهای گزینش‌شده که وارد فرآیند ارزیابی شده‌اند، ارائه می‌شود. این اطلاعات برای مقایسه راهکارها و انتخاب راهکار برتر به‌کار برده خواهد شد.

۵. کلیات راهکارهای ارزیابی شده

از ۵ دسته راهکار دسته بندی شده در جدول ۴-۲، پس از غربال گری سه دسته راهکار «مدیریت مخزن و شستشوی سریع»، « خط انتقال» و «انحراف رودخانه» جهت بررسی و ارزیابی باقی ماندند. علی رغم تشابه دو راهکار مدیریت مخزن و شستشوی سریع، با توجه به برخی تفاوت ها و به منظور سهولت بررسی، راهکارهای بررسی شده ذیل چهار عنوان کلی شامل مدیریت مخزن، شستشوی سریع، خط انتقال و انحراف رودخانه ارائه و توصیف خواهند شد. قبل از توصیف هر راهکار به تفصیل و به طور جداگانه، نکات کلی از یافته های مرحله شناخت که در انتخاب راهکارها و دیدگاه منتخب آنها موثر بوده است به شرح زیر بیان می‌شود. ارزیابی راهکارها بر اساس معیارهای ۳۸ گانه پیش گفته که در پنج دسته محیط زیستی، اقتصادی، فنی، اجتماعی و ریسک طبقه بنده شده اند با روش خاص خود انجام می‌شود و ذکر فلسفه کلی هر راهکار و نکات مهم مثبت و منفی آن در این قسمت، به معنای ارزیابی راهکار نیست.

یافته های مرحله شناخت در پردازش و بسط ایده مرتبط با راهکارهای چهارگانه نقش کلیدی ایفا میکنند. از جمله این موارد می‌توان به یافته های زیر اشاره نمود:

- محافظه کارانه بودن برآورد قبلی از میزان و درصد نمک موجود در توده عنبل، کند شدن نرخ ورود نمک از سازند و روند رو به تثبیت آن
- عدم نگرانی از آثار شوری بر هسته رسی و قابل علاج بودن مشکلات احتمالی ناشی از تاثیر شوری بر سازه بتنی گالری بازدید
- وابستگی کمیت و کیفیت رودخانه و لزوم استفاده از روابط دبی- هدایت الکتریکی، نقش منفی پدیده هایی مانند خشکسالی بر کیفیت رودخانه
- افزایش طبیعی شوری رودخانه کارون از مقطع سد مسجد سلیمان تا پل لالی و از مقطع پل لالی تا پایین دست توده عنبل
- تجمع حدود ۸ میلیون تن نمک داخل مخزن تا اوایل اسفند ۱۳۹۳
- برآورد شوری طبیعی رودخانه در فرض «بدون سد»، معادل حدود ۱۱۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر (در مقطع محور سد گتوند علیا) با لحاظ کردن شکست هیدرولوژیک سال ۱۳۸۵
- افزایش حدود ۲۵ درصدی شوری رودخانه کارون ناشی از عملکرد سد پس از آبگیری
- آورد قابل ملاحظه میان حوضه (بین سد مسجد سلیمان و سد گتوند) معادل حدود یک میلیارد متر مکعب بر سال

با تامل بیشتر مشخص می‌شود:

۵. راهکارهای مختلف باید بتوانند نمک های سه گانه زیر را مدیریت نمایند:

الف) آورد نمک طبیعی رودخانه که وابسته به میزان دبی ورودی به مخزن سد است

ب) آورد نمک از توده عنبل که عمدتا وابسته به تراز آب مخزن است. انتظار می‌رود مادام که سطح آب از حداکثر مقدار قبلی خود (حدود ۲۲۳ متر بالاتر از سطح دریا) بالاتر نرود، شاهد افزایش قابل ملاحظه در آورد نمک از توده نباشیم. میزان نمک موجود در تراز های بالای توده عنبل زیاد نیست.

ج) نمک موجود در مخزن

۶. با توجه به تراز گالری بتنی بازدید سد، راهکارهای مختلف نسبت به کاهش شوری در تراز گالری، عملکرد یکسان دارند.
۷. به دلیل شوری طبیعی رودخانه و وجود نمک در ترازهای پایین تر از رقوم آبگیر لوله GRP (۹۰) امکان صفر شدن میزان نمک موجود در مخزن وجود ندارد. به ازای هر یک میلیارد متر مکعب آب موجود در مخزن سد، حدود ۵۵۰ هزار تن نمک طبیعی وجود خواهد داشت. بدین ترتیب با توجه منحنی حجم- سطح مخزن میزان نمک طبیعی موجود در مخزن در تراز ۲۰۰ متر از سطح آزاد دریا، حدود ۱.۲۶ میلیون تن و در تراز ۲۱۰ حدود ۱.۶۵ میلیون تن برآورد می‌شود.
۸. آورد نمک از توده عنبل در حالت طبیعی صفر نیست.

یکی از مهمترین دغدغه ها و سوالات پیش بینی وضع آینده هر راهکار است. این امر نیازمند انجام فعالیت های زیر است:

- پیش بینی روند تغییرات آورد نمک از توده عنبل
- پیش بینی سری زمانی آورد رودخانه
- پیش بینی تغییرات کیفی مخزن و رودخانه در سناریوهای مختلف
- پیش بینی تاثیر راهکارهای مختلف بر کشاورزی
- پیش بینی تاثیر راهکارهای مختلف بر محیط زیست

مطالعات و مدلسازی های مربوط به بند اول قبلا در گزارش شناخت آمده است. به منظور پاسخ به سوالات مرتبط با سایر بندها، مطالعات تکمیلی زیر در دستور کار قرار گرفته است:

- مطالعات هیدرولوژی
- مدلسازی کیفی مخزن و رودخانه
- مطالعات کشاورزی
- مطالعات محیط زیست

مطالعات چهارگانه فوق به طور مستقل گزارش شده اند و از نتایج آنها در تبیین راهکارها و ارزیابی بعدی استفاده شده است.

رفع شوری آب مخزن سد گتوند را می‌توان یک نوع «مدیریت نمک»، و توزیع آن بین دو محیط پذیرنده اصلی یعنی مخزن سد و رودخانه کارون توصیف کرد. در صورت استفاده از ایده خط انتقال، محیط پذیرنده سومی هم اضافه خواهد شد که همان نقطه تحویل گیرنده آب شور خط انتقال بوده و بخشی از نمک را پذیرا خواهد بود. بدین ترتیب مشکل شوری سد گتوند عمدتا خود را به دو شکل نمایان میکند:

۱- تجمع نمک در مخزن سد
۲- افزایش شوری رودخانه کارون در مقطع سد گتوند

(در صورت استفاده از خط انتقال تاثیرات منفی احتمالی انتقال و تجمع شوری در محیط پذیرنده سوم هم به ملاحظات «مدیریت نمک» اضافه خواهد شد، و متقابلا مشکلات شوری مخزن و رودخانه کاهش خواهد یافت.)

لذا می‌توان هدف اصلی راهکارها را به دو بخش زیر تقسیم کرد:

۱- کاهش میزان نمک تجمع یافته در مخزن

۲- تحویل آب با کیفیت مناسب به رودخانه

موفقیت هر راهکار در ارضای اهداف دوگانه فوق می‌باشد. و البته همان گونه که خواهیم دید و انتظار می‌رود، درصد موفقیت راهکارهای مختلف در ارضای اهداف دوگانه فوق متفاوت خواهد بود.

به طور کلی دو هدف فوق می‌توانند در تعارض با یکدیگر تلقی شوند، مگر این که بتوان غیر از مخزن سد و رودخانه، محیط پذیرنده دیگری برای نمک تصور کرد. یعنی تأمین شرایط مناسب برای هرکدام، میتواند دیگری را از مطلوبیت دور کند. بدیهی است که در صورتی میزان نمک موجود در مخزن سد کاهش می‌یابد که نرخ نمک خروجی از مخزن بیشتر از نرخ نمک ورودی به آن باشد. اگر افزایش نرخ نمک خروجی از مخزن سد مستلزم تخلیه بیشتر نمک به رودخانه کارون باشد، بلافاصله منجر به افزایش شوری در رودخانه کارون خواهد شد. این امکان هم وجود دارد که با تخلیه بیشتر نمک در زمان های مشخص، برای رسیدن به کیفیت بهتر آب در رودخانه کارون در سایر زمان‌ها هدف گذاری نمود. از چنین ایده ای از ابتدای زمان بهره برداری سد استفاده شده است. بدین ترتیب که سعی گردیده عمدتا در فصل کشت، میزان نمک کمتری از مخزن سد تخلیه کرده و آب با کیفیت بهتر به کشاورزان تحویل داد و متقابلا در برخی ماه‌های سال که میزان نیاز کشاورزی کمتر است، میزان هدایت الکتریکی آب را افزایش داد. حالت حدی این نگاه، ایده‌ی مطرح شده در راهکار شستشوی سریع است که با هدف تخلیه سریعتر نمک از مخزن و همچنین دستیابی سریعتر به کیفیت آب مناسب در رودخانه، در ایام مشخصی از سال و به مدت محدود، نسبت به افزایش شوری در رودخانه اقدام می‌شود. با این تفاوت که میزان شوری در ایام شستشوی سریع خیلی بیشتر از هدایت الکتریکی تنظیم شده در ایام زمستان از ابتدای زمان آبگیری سد تا کنون در نظر گرفته شده است و لذا نه تنها نمی-توان در ایام شستشوی سریع از آب کارون برای مصارف مختلف شرب، صنعت و کشاورزی استفاده نمود، بلکه ممکن است لطماتی به محیط زیست جانوری و گیاهی رودخانه هم وارد شود.

کند شدن نرخ ورود نمک از توده عنبل به مخزن سد، این ایده را تقویت کرده است که شاید بتوان بدون تحمل هزینه عملیات اجرایی مرتبط با اقدامات سازه ای، با برنامه ریزی بهتر و نگاه سیستمی به سامانه رودخانه و مخازن چندگانه موجود بر کارون، نسبت به دستیابی به اهداف دوگانه فوق الذکر اقدام نمود. چنین دیدگاهی منجر به معرفی راهکار «مدیریت مخزن» شده است. این راهکار به نوعی ارتقای سیاست فعلی بهره برداری سد است که در آن با استفاده از مجاری مختلف تخلیه تعبیه شده در بدنه سد و با لحاظ نمودن تفاوت کیفیت آب در ترازهای مختلف، نسبت به تنظیم کیفیت آب خروجی از یک طرف و کنترل شوری در مخزن از سوی دیگر اقدام می‌شود. نکته بسیار مهم این است که کاهش وزن نمک موجود در مخزن سد در چنین راهکاری (و هر راهکار دیگری که خط انتقال جزئی از آن نباشد) نیازمند تخلیه آب با شوری بیشتر به داخل رودخانه نسبت به آورد طبیعی آن (هدایت الکتریکی حدود ۱۱۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر) است. یعنی از ویژگیهای مهم و منفی راهکار مدیریت مخزن این است که امکان برگشت به وضعیت طبیعی رودخانه تا زمانی که نیازمند تخلیه نمک از مخزن سد به منظور کاهش وزن نمک موجود در مخزن هستیم، فراهم نخواهد شد. میزان افزایش شوری نسبت به حالت طبیعی در این راهکار و زمان بازگشت به وضعیت طبیعی رودخانه، توسط مدلسازی مشخص می‌شود.

همان طور که قبلا توضیح داده شد، راهکار «شستشوی سریع» را میتوان حالت حدی تحویل آب با کیفیت بهتر در فصل کشت و افزایش شوری در فصل غیر کشت تلقی کرد. با توجه به شدت و مدت تخلیه آب و نمک در این ایام و همچنین به منظور انعکاس هدف کلی از اتخاذ این راهکار، این روش شستشوی سریع نام گرفته است. چنین روشی هزینه های خاص خود

را دارد که در بخش مربوطه توضیح داده شده است. مهمترین این هزینه ها نیاز به جایگزینی آب غیر قابل مصرف رودخانه در ایام شستشوی سریع است. این کار خود مستلزم انجام یک سری اقدامات سازه‌ای است.

اهمیت فوق العاده کیفیت آب رودخانه کارون این ایده را مطرح کرده است که علاوه بر مخزن سد و رودخانه، نسبت به یافتن محیط پذیرنده سومی جهت تحمل بخشی از بار نمک اقدام شود. لازمه این کار انتقال آب شور کف مخزن به محیط پذیرنده جدید است و بدین ترتیب ایده راهکار «خط انتقال» شکل گرفته است. بهبود کیفیت آب رودخانه و مخزن به واسطه تحمل سهمی از بار شوری توسط محیط پذیرنده سوم، از مزایای ذاتی هر راهکاری است که خط انتقال جزئی از آن است. در مقابل چنین مزیتی، معایب عمده این ایده صرف هزینه قابل توجه جهت اجرای راهکار و اثرات منفی محیط زیستی خط انتقال و تحویل نمک به محیط پذیرنده است.

از دیدگاه برخی پیشنهاد دهندگان و ذینفعان، اهمیت کیفیت آب کارون در حدی است که جا دارد با استفاده از یک سامانه انحراف و با دور زدن کل مخزن یا بخشی از آن، آب با کیفیت بهتر را از بالادست به پایین دست سد منتقل کرد، حتی اگر این کار منجر به تعطیلی کامل نیروگاه سد شود. بدین ترتیب راهکار «انحراف رودخانه» شکل گرفته است. چنین ایده ای به صورت خام و بدون تبیین جزئیات، و یا حتی بدون بیان کلیاتی فراتر از چند جمله توصیفی ابتدای پاراگراف حاضر، مطرح بود و یکی از فعالیت های مهم مطالعات حاضر، پردازش این ایده و سعی در تعریف عملیاتی آن بود. به نظر می‌رسد که ایده انحراف رودخانه فقط به یکی از دو هدف پروژه یعنی تحویل آب با کیفیت بهتر در رودخانه کارون اهمیت میدهد و در خصوص هدف دوم که تخلیه نمک تجمع یافته از مخزن سد است، ساکت است. اگر قرار باشد نمک موجود در مخزن سد تخلیه شود، به ناچار باید یکی از دو راهکار مدیریت مخزن یا خط انتقال با راهکار انحراف رودخانه تلفیق شود. اگر ایده مدیریت مخزن با راهکار انحراف رودخانه تلفیق شود، مجددا بخشی از نمک موجود در مخزن به رودخانه تخلیه شده و کیفیت آن را تنزل خواهد داد. لذا هدف اصلی از راهکار انحراف رودخانه که تحویل آب با کیفیت بهتر به مشتریان است مطابق انتظار اولیه تامین نخواهد شد. از آن جا که در راهکار خط انتقال محیط پذیرنده سومی وجود دارد که بخشی از بار نمک را تحمل می‌کند و لذا میتوان انتظار داشت کیفیت آب رودخانه بهتر شود، تلفیق راهکار انحراف رودخانه با راهکار خط انتقال منطقی تر است. مزیت راهکار انحراف رودخانه به این خواهد بود که بتواند در مقابل هزینه سامانه انحراف، کیفیت آب بهتری نسبت به راهکار خط انتقال به تنهایی در رودخانه کارون تامین کند. کمی شدن این ایده ها و گمانه زنی ها نیازمند مدلسازی کیفی است که به طور جداگانه و برای سناریوهای مختلف و از جمله سناریوی تلفیق راهکار انحراف رودخانه با مدیریت مخزن یا خط انتقال انجام شده است.

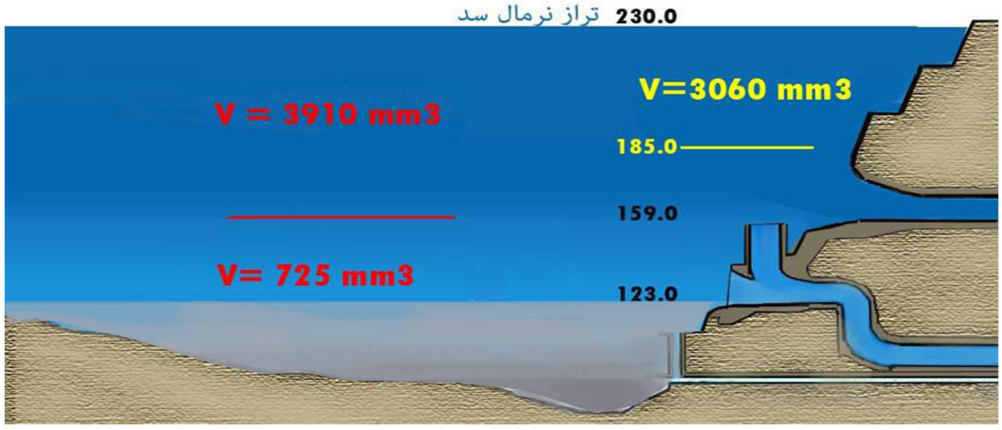
بی مناسبت نخواهد بود اگر در بخش پایانی این معرفی کلی به دو ریسک مرتبط با همه راهکارها و خصوصا راهکار مدیریت مخزن اشاره نمود. همان طور که ذکر شد، کند شدن نرخ نمک ورودی از توده عنبل از جمله یافته های مرحله شناخت و فرضیات استفاده شده در پیش بینی وضعیت آینده در همه راهکارها است. طبیعتا ریسک های مرتبط با افزایش نرخ ورود نمک از سازند به داخل مخزن سد، بر ریسک استفاده از همه راهکارها و خصوصا راهکار مدیریت مخزن که عمدتا مبتنی بر این یافته مرحله شناخت است تاثیر گذار خواهد بود.

علاوه بر ریسک افزایش نرخ نمک ورودی از سازند، هر گونه کاهش جدی در آورد رودخانه کارون در مقطع سد گتوند، همه راهکارها، و خصوصا راهکار مدیریت مخزن را با ریسک روبرو خواهد کرد. متقابلا افزایش آورد رودخانه از بالادست، کار را ساده تر خواهد کرد زیرا می‌توان نمک بیشتری را به درون رودخانه تخلیه کرد بدون این که لزوما شوری آب در پایین دست افزایش قابل ملاحظه یابد.

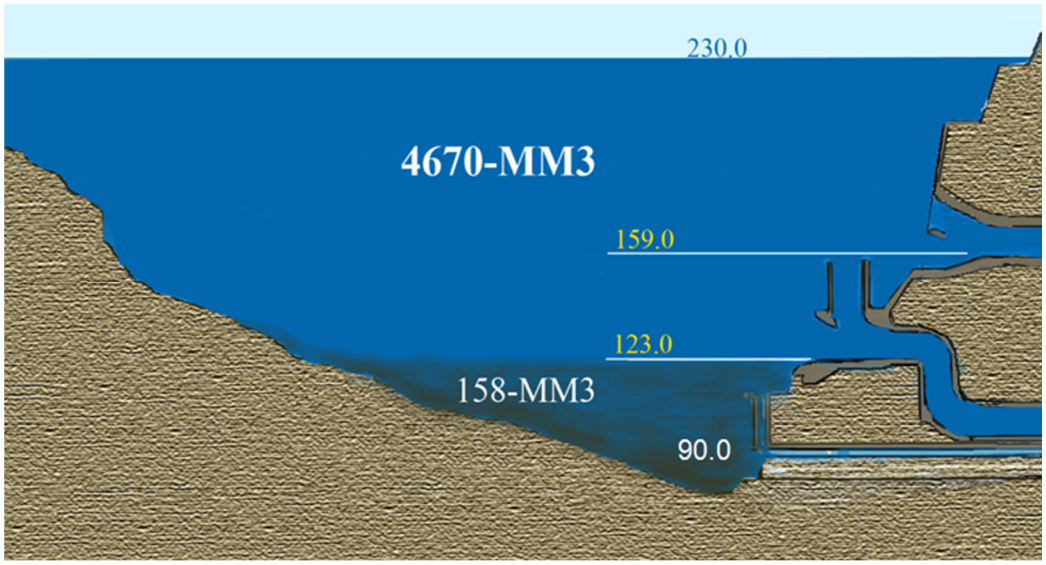
۶. تبیین راهکار مدیریت مخزن

۶. ۱. مشخصات راهکار مدیریت مخزن

همان طور که در گزارش شناخت توضیح داده شد، سد گتوند علیا سه خروجی عمده دارد که عبارتند از آبگیر نیروگاه با تراز کف ۱۵۹ متر، تخلیه کننده تحتانی با تراز کف ۱۲۳ متر و لوله کف معروف به لوله GRP در تراز ۹۰ متر. همان طور که در شکل‌های شماتیک ۶-۱ و ۶-۲ ملاحظه می‌شود با تمهیدات خاص اندیشیده شده برای این سد، این امکان بوجود آمده است که از تراز ۱۵۸.۵ متر هم بتوان آب را از مسیر تخلیه کننده تحتانی به خارج از مخرن و داخل رودخانه هدایت نمود و از تراز ۱۱۰ متر نیز آب را از مسیر لوله GRP به پایین دست تخلیه نمود.



شکل ۶-۱- شکل شماتیک مخزن سد گتوند در تراز نرمال و خروجی‌های مختلف آن و حجم مخزن بالا و پایین تراز کف خروجی نیروگاه [مهاب قدس]



شکل ۶-۲- شکل شماتیک مخزن سد گتوند در تراز نرمال و خروجی‌های مختلف آن و حجم کل و مرده مخزن [مهاب قدس]

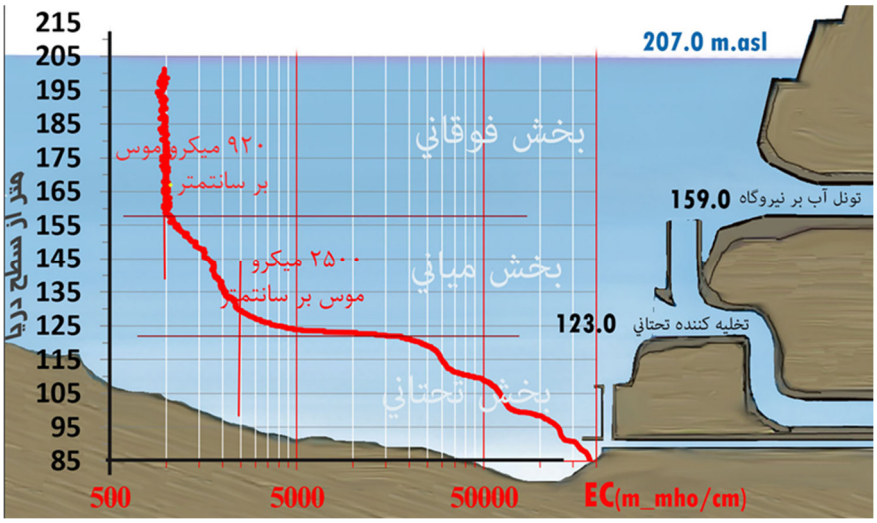
شکل ۶-۳- نمای بالادست خروجی‌های مختلف سد (داخل مخزن سد) [مهاب قدس]

شکل ۶-۴- نمای پایین دست خروجی‌های مختلف سد [مهاب قدس]

شکل‌های ۶-۳ و ۶-۴ به ترتیب نمای بالادست و پایین دست خروجی‌های مختلف سد را نشان می‌دهد. با توجه به تغییرات کیفیت آب داخل مخزن در ترازهای مختلف، کیفیت آب رها شده از سد گتوند علیا به کمیت و کیفیت آب رها شده از هر یک از خروجی‌های سه گانه (آبگیر نیروگاه، تخلیه کننده تحتانی و لوله کف مخزن) بستگی دارد.

پس از آبگیری سد و انحلال نمک موجود در توده گچساران عنبل و ورود آن به مخزن سد، آب‌های با شوری بیشتر در ترازهای پایین مخزن و آب‌های با کیفیت بهتر در لایه‌های بالا قرار گرفته و بدین ترتیب شاهد شکل گیری لایه بندی کیفی قوی در مخزن سد هستیم، به نحوی که در ترازهای پایین میزان شوری آب ۳ تا ۴ برابر شوری آب دریا و در ترازهای بالا

کیفیت آب مناسب و میزان شوری کمتر از حد مجاز برای انواع مصارف و از جمله آب شرب می‌باشد. شکل ۶-۵ نمونه‌ای از توزیع شوری در عمق مخزن سد گتوند علیا را نشان می‌دهد. این شکل مربوط به تاریخ نهم اسفند ۱۳۹۳ بوده و توسط شرکت مهاب قدس ارائه شده است.



شکل ۶-۵ – توزیع شوری در ترازهای مختلف مخزن سد گتوند در تاریخ نهم اسفند ۱۳۹۳ [مهاب قدس]

از ابتدای بهره برداری سد گتوند علیا کیفیت آب دریافتی در پایین دست و همچنین میزان نمک تجمع یافته در مخزن سد، متأثر از نحوه بهره برداری و مدیریت مخزن و میزان دبی و کیفیت آب عبوری از تخلیه کننده های مختلف سد بوده است. در واقع میتوان گفت که راهکار مورد استفاده از ابتدای بهره برداری سد، مدیریت بهره برداری از مخزن بوده است که به اختصار مدیریت مخزن نامیده می‌شود. متوسط EC رودخانه در پایین دست متأثر از این روش بهره برداری در سال‌های مختلف متفاوت است به نحوی که در سال آبی ۹۰-۹۱ حدود ۱۲۰۰، در سال آبی ۹۱-۹۲ حدود ۱۶۰۰ و در سال آبی ۹۲-۹۳ حدود ۱۴۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر بوده است.

به بیان دیگر راهکار مدیریت مخزن یک راهکار غیر سازه ای بوده و در آن با استفاده از ظرفیت تخلیه از خروجی های مختلف سد در ترازهای گوناگون، سعی می‌شود مشابه آن چه از آغاز بهره برداری از سد انجام شده است، و البته با برنامه مدیریتی بهتر، به طور همزمان «نمک موجود در مخزن» و «کیفیت آب تخلیه شده به رودخانه کارون» کنترل گردد. به عبارت دیگر در راهکار مدیریت مخزن سعی بر آن است که بدون تحمیل هزینه خاص و صرفا با یک برنامه مدیریتی، نسبت به بهبود شرایط کیفی رودخانه و مخزن به طور همزمان اقدام نمود. در این راهکار کلیه نمک‌هایی که تا کنون در مخزن سد تجمع یافته و یا در آینده وارد مخزن سد می‌شوند ، نهایتا از مسیر رودخانه کارون تخلیه خواهد شد و به تعبیری این رودخانه کارون است که منبع پذیرنده نمک تخلیه شده از مخزن سد است. از آن جا که تخلیه نمک به داخل رودخانه کارون باید به صورت تدریجی و کنترل شده صورت گیرد، میزان نمک داخل مخزن نیز به تدریج و به آرامی کاهش می‌یابد. در هر صورت به ناچار در اثر تخلیه نمک به پایین دست، کیفیت رودخانه کارون نسبت به حالت طبیعی خود کاهش خواهد داشت، همان گونه که متاسفانه در سال-های بعد از آبگیری شاهد بوده‌ایم. البته با مدیریت صحیح و برنامه ریزی جامع و با یک نگاه سیستمی به رودخانه کارون و مخازن چندگانه سدهای در حال بهره برداری، انتظار می‌رود با استفاده از راهکار مدیریت مخزن میزان شوری رها شده در پایین دست نسبت به حالت فعلی کاهش یابد.

در راهکار مدیریت مخزن، همانند سایر راهکارها، تحویل آب با کیفیت مناسب به رودخانه از یک سو و کاهش میزان

نمک تجمع یافته در مخزن، دو هدف اصلی هستند. در خصوص نحوه تعامل این دو هدف قبلا توضیحاتی ارائه شد.

همان طور که در گزارش شناخت توضیح داده شد، در شرایط طبیعی و با لحاظ نمودن آورد رودخانه در سال‌های پس از آبگیری، میزان شوری رودخانه ۱۱۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر برآورد شده است. در راهکار مدیریت مخزن اگر رسیدن به کیفیت آبی مشابه شرایط طبیعی رودخانه، یعنی همان ۱۱۰۰ EC، هدف گذاری شود، با توجه به این نکته که هنوز مقداری نمک از سازند وارد مخزن سد می‌شود، شاهد افزایش میزان نمک در مخزن خواهیم بود. حتی اگر روزی برسد که آورد نمک از سازند متوقف شده باشد، تخلیه نمک با شوری متوسط ۱۱۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر، کمکی به کاهش میزان نمک تجمع یافته داخل مخزن نخواهد کرد. لازمه تخلیه نمک داخل مخزن این است که میزان نمک خروجی از سد بیشتر از میزان نمک ورودی باشد.

یکی از عواملی که زمینه ساز ایده استفاده از راهکار مدیریت مخزن است، این برداشت از داده های اندازه گیری شده میدانی است که نرخ ورود نمک از توده عنبل کند شده و در حال تثبیت است. بدین ترتیب فرض بر این است که با لحاظ نمودن میزان نمکی که در حال حاضر در مخزن سد تجمع یافته، میزان نمکی که باید از طریق راهکار مدیریت مخزن بین مخزن سد و رودخانه توزیع شود در حدی نیست که رها سازی تدریجی آن باعث افت شدید کیفیت آب رودخانه و یا تجمع بیش از حد نمک داخل مخزن شود. طبیعتا ریسک های مرتبط با افزایش نرخ ورود نمک از سازند به داخل مخزن سد، بر ریسک استفاده از راهکار مدیریت مخزن تأثیر گذار خواهد بود.

علاوه بر ریسک افزایش نرخ نمک ورودی از سازند، هر گونه کاهش جدی در آورد رودخانه کارون در مقطع سد گتوند، همه راهکارها، و خصوصا راهکار مدیریت مخزن را با ریسک روبرو خواهد کرد. متقابلا افزایش آورد رودخانه از بالادست، مدیریت مخزن را ساده تر خواهد کرد و میتوان نمک بیشتری را تخلیه کرد بدون این که لزوما شوری آب در پایین دست افزایش قابل ملاحظه یابد.

راهکار غیر سازه ای مدیریت مخزن علاوه بر آن که خود به تنهایی یک راهکار است، جزئی از هر راهکار دیگری است که شامل اقدامات سازه ای بوده و طبیعتا تا زمان رسیدن به مرحله بهره برداری از سازه، چندین سال باید انتظار کشید. اجرای صحیح این راهکار نیازمند بازنگری مدلهای بهره برداری از سدهای موجود با لحاظ کردن مسائل خاص سد گتوند و تدوین برنامه عملیاتی بهره برداری از سدها است. در انجام این کار باید کلیه عوامل موثر مانند کیفیت آب رودخانه و مخزن سد گتوند، تولید برق، نیاز آبی پایین دست، کنترل سیل، و همچنین تبعات محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی لحاظ گردد.

با توجه به نیاز به ادامه عملکرد دریچه تخلیه تحتانی و نقش تعیین کننده آن در مدیریت مخزن، ادامه استفاده از راهکار مدیریت مخزن نیازمند مطالعه و بررسی لازم در خصوص تعمیر، بازسازی و ارتقای این سیستم و نحوه کنترل آن است.

پنج سناریوی اصلی در راهکار مدیریت مخزن بررسی شده است که پارامترهای متغیر آنها دبی ورودی به مخزن، هدایت الکتریکی آب خروجی از سد، و مقدار دبی تخلیه کننده تحتانی است. سه حالت برای دبی ورودی به مخزن به‌کار رفته است. یعنی دبی‌های متغیر از مدل CGCM3 سناریوی B1 با ضریب ۰.۸۵ که محافظه کارانه محسوب می‌شود و همچنین دو دبی ثابت ۲۵۰ و ۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه، در مدل‌سازی‌ها استفاده‌شده است. هدایت الکتریکی آب خروجی از سد برابر ۱۳۰۰ و ۱۲۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر منظور شده است. برای تأمین آب خروجی از سد با هدایت الکتریکی ذکر شده، پارامتر سوم، یعنی مقدار دبی تخلیه کننده تحتانی، باید وارد مدل سازی می‌شد. لازم به ذکر است که میزان دبی خروجی از لوله معروف به GRP همواره متغیر در نظر گرفته شده که با توجه به محدودیت اعمال شده بر EC آب خروجی از سد محاسبه می‌شود.

در سناریوی گزینش‌شده راهکار مدیریت مخزن از دبی‌های مدل CGCM3 با ضریب ۰.۸۵ استفاده‌شده است که اگر چه

بدبینانه به نظر می‌رسد، واقع‌بینانه است. همچنین میزان EC آب خروجی از سد در این سناریو به میزان ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر محدود شد، زیرا که اعمال مقدار ۱۲۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر منجر به تجمع نمک زیادی در مخزن می‌شود. برای جلوگیری از افزایش ناگهانی EC در زمان‌های خاصی که میزان دبی کم است، دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر فرض شده تا در صورت نیاز با تغییر مقدار آن کیفیت مورد نظر برای آب خروجی تأمین شود. در چنین شرایطی بعد از ۱۵ سال از آغاز بهره‌برداری، جرم نمک موجود در مخزن به 4.5 میلیون تن می‌رسد، اما مقدار ماکزیمم آن در سال پنجم رخ می‌دهد که حدود ۹ میلیون تن خواهد بود.

برای بررسی راهکار مدیریت و انتخاب سناریوی برتر این راهکار، پنج سناریو که در جدول ۶-۱ ارائه شده است، به‌کار رفت.

جدول ۶-۱- سناریوهای مختلف برای بررسی راهکار مدیریت

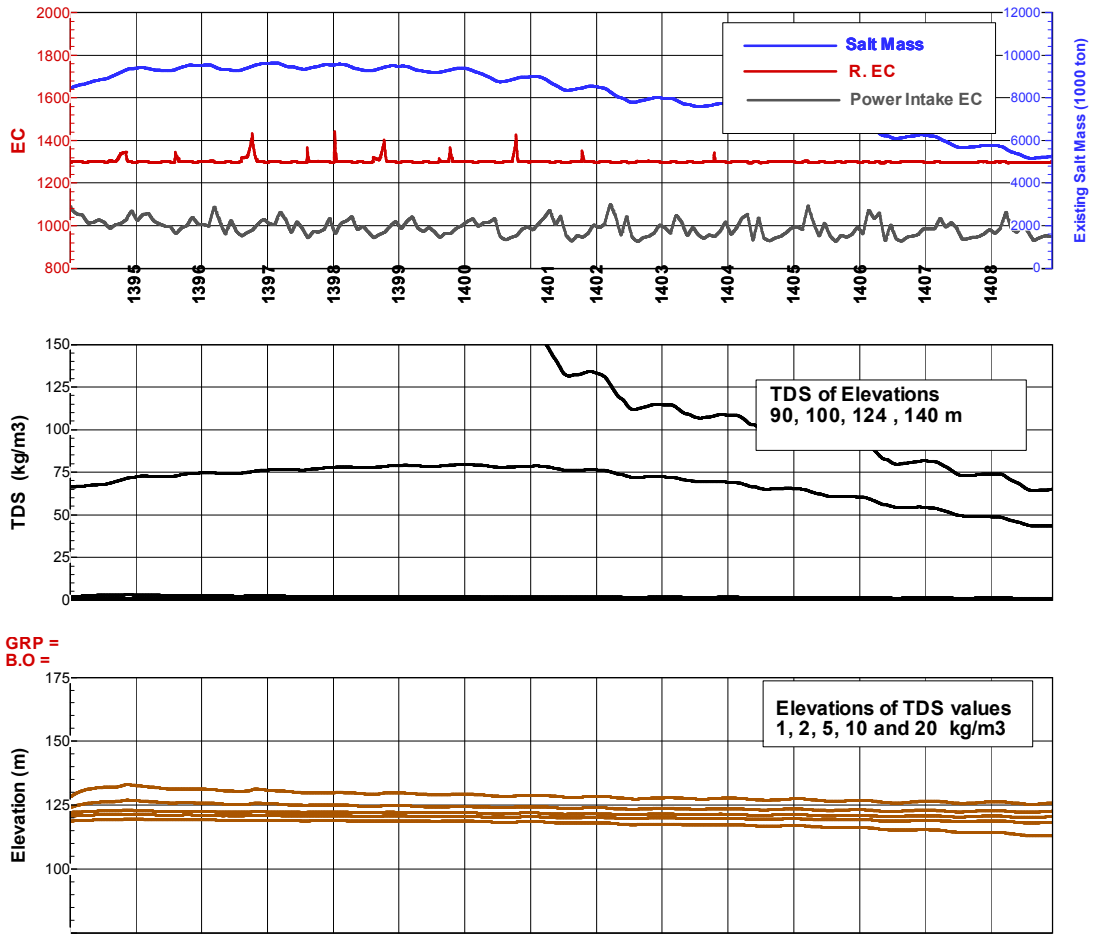
سناریو	مقدار EC خروجی (µS/cm)	دبی ورودی به مخزن (m^3/s)	دبی تخلیه کننده تحتانی (m^3/s)	دبی GRP (m^3/s)
سناریوی اول	۱۲۰۰	مدل CGCM3 ، B1 ، با ضریب ۰.۸۵	ثابت برابر ۱۵	متغیر
سناریوی دوم	۱۳۰۰	مدل CGCM3 ، B1 ، با ضریب ۰.۸۵	ثابت برابر ۱۵	متغیر
سناریوی سوم	۱۳۰۰	مدل CGCM3 ، B1 ، با ضریب ۰.۸۵	متغیر	متغیر
سناریوی چهارم	۱۳۰۰	ثابت برابر ۲۵۰	ثابت برابر ۱۵	متغیر
سناریوی پنجم	۱۳۰۰	ثابت برابر ۲۰۰	ثابت برابر ۱۵	متغیر

مدل CGCM3 از مدل‌های معتبر است که بر مبنای مدل‌سازی‌های تغییرات اقلیمی برای مناطق مختلف، ماتریس آبدهی را ارائه می‌کند. توضیحات کامل در این رابطه در بخش مطالعات هیدرولوژی ارائه شده است.

شبیه سازی های کیفی انجام شده برای سناریوهای فوق در قسمت مدلسازی کیفی گزارش شده و نحوه انتخاب سناریوی گزینش‌شده نیز در همان قسمت آمده است.

۶. ۲. نتایج کیفیت آب مخزن در سناریوی گزینش‌شده مدیریت مخزن

در این بخش نتایج کیفیت آب مخزن مربوط به سناریوی گزینش‌شده راهکار مدیریت ارائه می‌شود که در آن از دبی ورودی مدل CGCM3 با ضریب ۰/۸۵ استفاده‌شده است. در این سناریو هدایت الکتریکی پایین‌دست به ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر محدود شده و برای تأمین این میزان هدایت الکتریکی در تمام زمان‌ها، دبی‌های خروجی از تخلیه کننده و مجرای GRP متغیر با زمان، توسط مدل محاسبه می‌شود. نتایج مدل سازی در شکل ۶-۶ ارائه شده است.



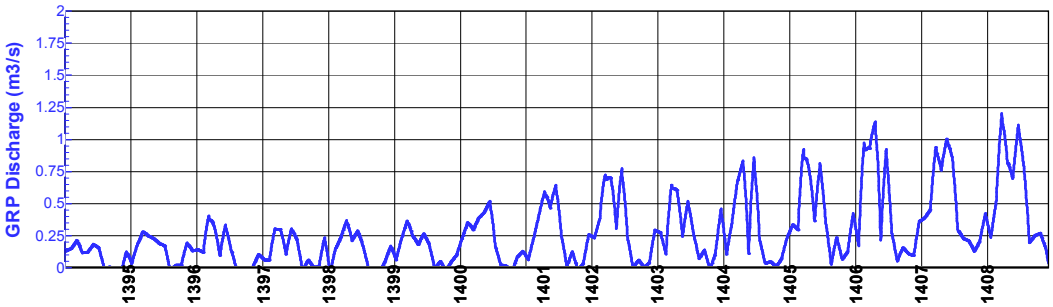
شکل ۶-۶- الف) جرم نمک موجود در مخزن، متوسط هدایت الکتریکی خروجی از مخزن و نیروگاه ب) غلظت نمک در ترازهای مختلف ج) ترازهای مربوط به غلظت‌های مختلف نمک برای سناریوی گزینش‌شده راهکار مدیریت مخزن (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر)

در شکل ۶-۶ (الف) منحنی آبی‌رنگ تغییرات جرم نمک موجود در مخزن را نشان می‌دهد، منحنی قرمزرنگ تغییرات متوسط هدایت الکتریکی آب خروجی از مخزن را نمایش می‌دهد و منحنی مشکی‌رنگ تغییرات هدایت الکتریکی مربوط به خروجی نیروگاه را نشان می‌دهد. شکل ۶-۶ (ب) غلظت در ترازهای مختلف را نمایش می‌دهد و همانطور که قبلاً گفته شد به دلیل مقیاس های متفاوت، منحنی‌های مربوط به غلظت ۱۲۴ و ۱۴۰ متر بسیار نزدیک محور افقی قرار گرفته است. شکل ۶-۶ (ج) ترازهای مربوط به غلظت‌های ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب را به ترتیب از بالا به پائین نمایش می‌دهد. غلظت‌های کمتر در تراز بالا قرار دارند و به سمت پایین غلظت ها افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه مقدار قابل‌توجهی دبی از تخلیه کننده تحتانی خارج می‌شود ترازهای شوری داخل مخزن وضعیت مطلوبی دارند.

۶. ۲. ۱. تغییرات دبی GRP در زمان برای سناریوی گزینش‌شده مدیریت مخزن

دبی GRP با توجه به محدودیت EC آب پایین‌دست در هر گام زمانی محاسبه می‌شود که در شکل ۶-۷ نمایش داده

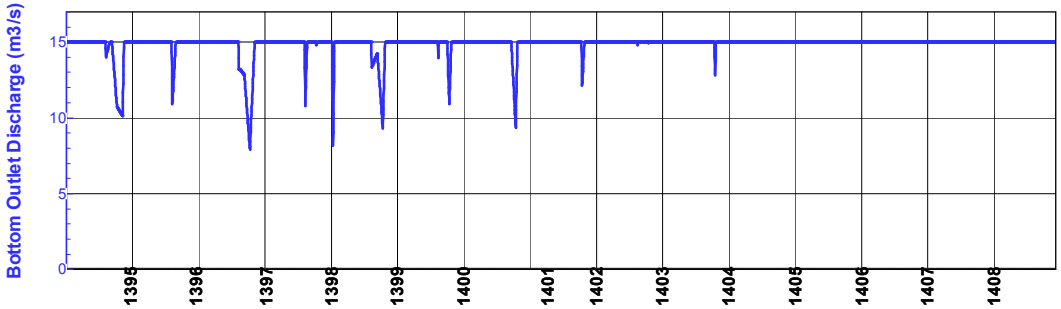
شده است. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود مقادیر مربوط به دبی GRP با زمان افزایش می‌یابد که دلیل آن کاهش مقدار TDS مربوط به ترازهای نزدیک به تخلیه کننده GRP می‌باشد و درنتیجه برای خارج کردن مقدار ثابت جرم نمک بایستی مقدار دبی بیشتری تخلیه شود.



شکل ۶-۷- تغییرات دبی GRP در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار مدیریت مخزن (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر)

۶. ۲. ۲. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی برای سناریوی گزینش‌شده مدیریت مخزن

دبی تخلیه کننده تحتانی هم با توجه به محدودیت هدایت الکتریکی پایین‌دست در هر گام زمانی محاسبه می‌شود. هدف اصلی از متغیر کردن مقدار دبی تخلیه کننده جلوگیری از پرش‌های موضعی در مقدار EC آب خروجی است که تا حد زیادی نیز تأمین شده است. چنانچه در شکل ۶-۸ مشاهده می‌شود، مقادیر دبی تخلیه کننده در زمان‌هایی که پرش‌هایی در هدایت الکتریکی مشاهده می‌شود کاهش یافته است.

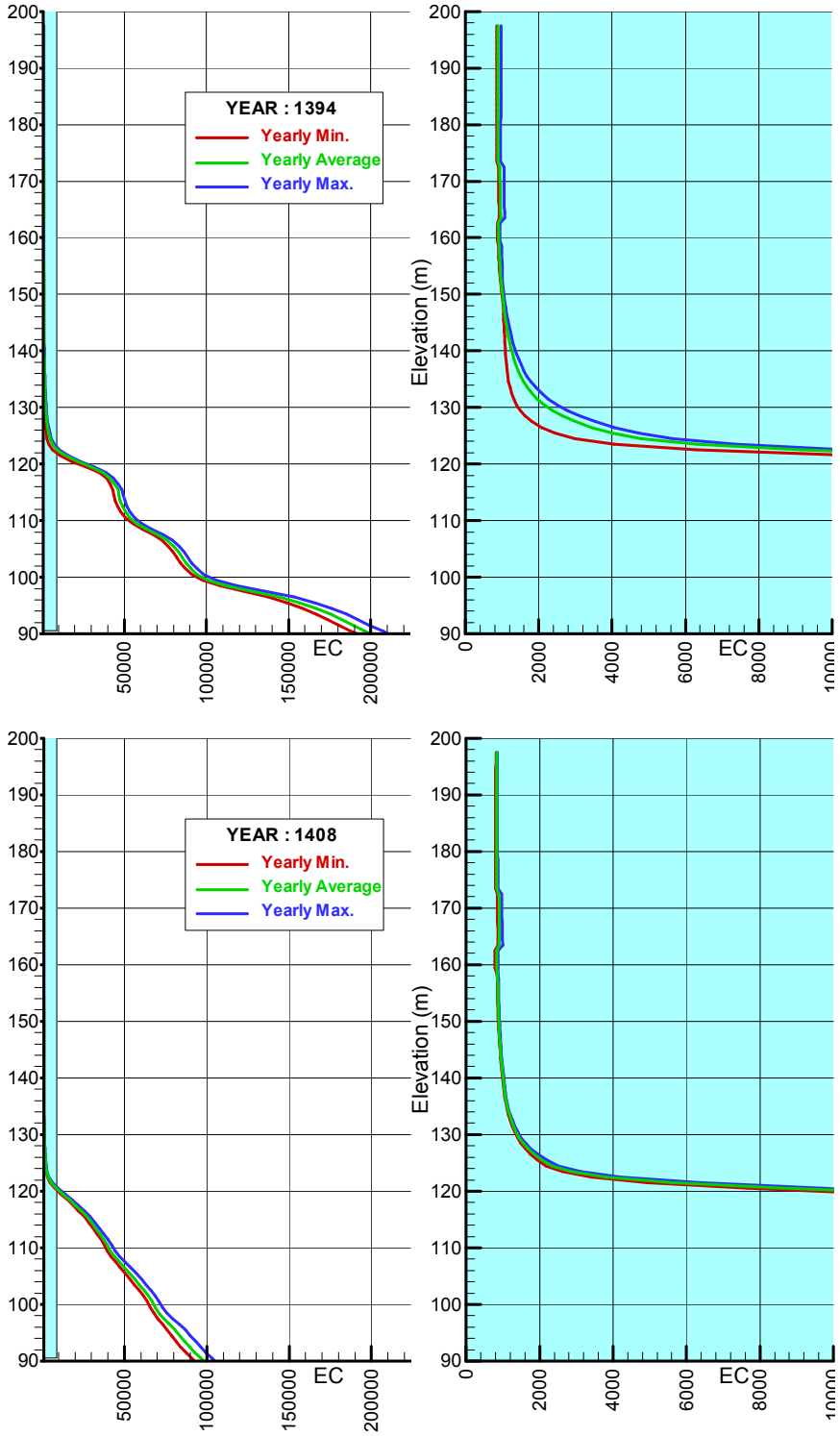


شکل ۶-۸- تغییرات دبی تخلیه کننده تختانی در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار مدیریت مخزن (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر)

۶. ۲. ۳. تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده مدیریت مخزن

تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در عمق مخزن در مدت ۱۵ سال مدل سازی شده اما برای رعایت اختصار نتایج سال‌های اول و آخر مدل سازی در شکل ۶-۹ نمایش داده شده است. منحنی قرمزرنگ مقدار کمینه‌ای را که در طول سال موردنظر اتفاق می‌افتد نشان می‌دهد. منحنی آبی‌رنگ مقدار بیشینه‌ای را در سال موردنظر مشخص می‌کند و منحنی سبزرنگ متوسط سالانه را نمایش می‌دهد. در پروفیل‌های زیر تراز ۱۲۰، مقادیر EC در پنج سال اول افزایش‌یافته است که نشان‌دهنده افزایش یافتن جرم نمک موجود در مخزن است، چرا که قسمت عمده نمک مخزن در زیر تراز ۱۲۰ قرار گرفته است. بعد از ۵ سال تغییرات غلظت در زیر تراز ۱۲۰ روند کاهشی پیدا می‌کند که نشان‌دهنده کاهش جرم نمک داخل مخزن است. در تراز بالای

۱۲۰ به دلیل اینکه همواره تخلیه کننده تحتانی کار می‌کند، شرایط پیوسته رو بـه بهتـر شـدن بـوده و مقـادیر EC در ترازهـای مختلف بالای ۱۲۰روند کاهشی دارد که در نمودارهای زیر قابل‌مشاهده است.



ادامه شکل ۶-۹- تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده راهکار مدیریت مخزن (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر)

۶. ۲. ۴. شاخص کیفیت برای سناریوهای مطلوب

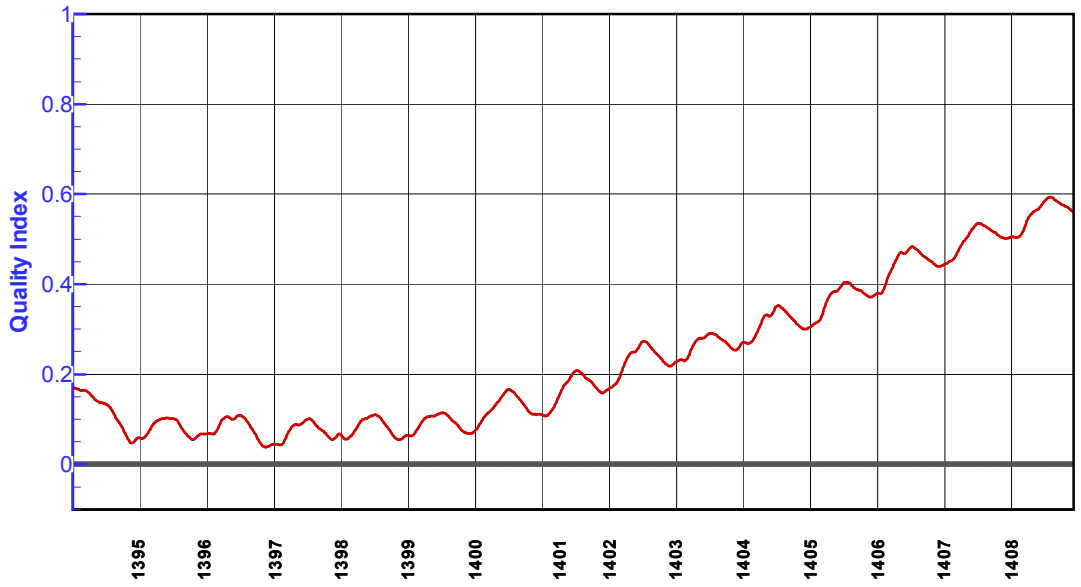
شاخص کیفیت به صورت پارامتری تعریف شده است که هم دربرگیرنده میزان جرم نمک داخل مخزن و هم ترازهای مختلف شوری داخل مخزن باشد. بدین منظور از ممان اول غلظت در ارتفاع مخزن استفاده‌شده است.

$$QI = 1 - \frac{F_m}{F_m^{\max}}$$

$$F_m = \int_{90}^{196.2} (c - \bar{c}).A.ydy$$

$F_m^{\max}$ در رابطه بالا بدترین حالتی است که مخزن در طی سال‌ها تجربه کرده است.

با استفاده از رابطه بالا نمودار زیر برای سناریوی گزینش‌شده راهکار مدیریت به دست می‌آید. همان‌طور که در شکل ۸-۱۰ مشاهده می‌شود در سال‌های اول شاخص کیفیت مخزن شرایط خوبی ندارد ولی در ادامه روند افزایش داشته به مقدار قابل‌قبول ۰/۶ در پایان ۱۵ سال می‌رسد.



شکل ۶-۱۰- تغییرات شاخص کیفیت در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار مدیریت مخزن (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر)

۷. تبیین راهکار شستشوی سریع

۷. ۱. مشخصات راهکار شستشوی سریع

در راهکار شستشوی سریع مانند راهکار مدیریت مخزن به طور همزمان دو هدف کاهش نمک تجمع یافته در مخزن و تأمین آب با کیفیت بهتر در رودخانه کارون در نظر گرفته شده است با این تفاوت که تخلیه نمک مخزن خیلی سریع‌تر و در طول ۵ سال اول انجام می‌شود. در این راهکار تلاش می‌شود که زمان رسیدن به شرایط نسبتاً مطلوب رودخانه نیز کاهش یابد.

در راستای تأمین اهداف این راهکار، هدایت الکتریکی خروجی از سد در تمام روزهای سال به‌جز تعداد روزهای محدود و مشخصی (۱۶ روز) به مقدار مطلوب موردنظر محدود می‌گردد ولیکن در روزهای مشخص‌شده و در ایامی که افزایش شوری داخل رودخانه کمترین ضرر را داشته باشد، آب با دبی بالا و هدایت الکتریکی بالا (دبی ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه و هدایت الکتریکی ۴۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر) از سد عبور داده می‌شود که به این طریق در هر سال ۲/۷ میلیون تن نمک در طی ۱۶ روز مشخص‌شده از مخزن خارج می‌گردد. به غیر از روزهای شستشوی سریع در بقیه روزهای سال هدایت الکتریکی خروجی از مخزن در شرایط تعیین‌شده حفظ می‌گردد. برای انجام عملیات شستشوی سریع حدود ۱.۴ میلیارد مترمکعب آب در سال مورد نیاز می‌باشد که باید در طول سال در مخزن و یا در سدهای بالادست ذخیره‌سازی شود و در زمان شستشوی سریع رهاسازی صورت گیرد. در راهکار شستشوی سریع نیاز به تخلیه دبی نسبتاً بالایی از تخلیه کننده GRP وجود دارد که تأمین آن برای مدت ۴ روز نیاز به نصب تأسیساتی مانند دیفیوزر دارد که جریان را نه صرفاً از یک نقطه خاص بلکه از یک لایه به بیرون مخزن هدایت کند.

راهکار شستشوی سریع نیازمند پیش بینی نحوه تأمین آب شرب و صنعت در روزهای تخلیه سریع است. فرض بر این است که در این ایام بخش کشاورزی مشکلی از نظر تأمین آب ندارد. تأمین آب شرب و صنعت از طریق احداث حوضچه های ذخیره آب وسامانه انتقال از این حوضچه ها به نقاط مصرف انجام می‌شود. تعیین محل این حوضچه ها و طراحی آنها نیازمند بررسی بیشتر است. حجم سالانه مصرف آب شرب و صنعتی که باید از رودخانه کارون در پایین دست سد گتوند تأمین شود حدود یک میلیارد متر مکعب برآورد شده است. با توجه به تعداد روزهای عملیات شستشوی سریع، حجم مورد نیاز برای حوضچه های ذخیره آب به شکل زیر برآورد:

$$\text{حجم آب مصرفی مجموع شرب و صنعت} = 1{,}000{,}000{,}000\ m^3/year$$

ذخیره مورد نیاز مصرف شرب و صنعت در ۸ روز از سال با فرض اینکه شستشو در بازه های زمانی ۴ روزه انجام می‌شود و این زمان در نقاط پایین دست تا ۸ روز افزایش می یابد:

$$1{,}000{,}000{,}000 \times \frac{8}{365} = 21{,}917{,}808\ m^3$$

با فرض ذخیره حجم فوق در حوضچه هایی به عمق ۲/۵ متر، سطحی برابر با ۸،۷۶۷،۱۲۳ متر مربع با ابعاد تقریبی 3×3 km نیاز خواهد بود. بدیهی است که لزوم نزدیکی حوضچه های ذخیره به مبادی مصرف سبب خواهد شد سطح مذکور در سطح استان توزیع شده و مطابق با نیاز مصرف هر بخش و در نزدیکی آن حوضچه‌های ذخیره احداث گردد.

علاوه بر حوضچه های مذکور لازم است خطوط انتقال مناسب نیز جهت آبرسانی از حوضچه‌های ذخیره به محل مصرف احداث گردد.

لازم به توضیح است که بر اساس مدلسازی های انجام شده، تعداد روزهایی که در راهکار شستشوی سریع، برداشت آب از رودخانه کارون برای مصارف مختلف شرب و صنعت به دلیل کیفیت نازل رودخانه امکان پذیر نمی باشد، بیشتر از تعداد

روزهای شستشو است. هزینه احداث این حوضچه ها و سامانه انتقال مربوطه حدود ۴۰۰ میلیارد تومان برآورد می‌گردد.

به منظور برآورد میزان مصرف آب شرب و صنعت ضمن تلاش جهت دریافت اطلاعات از مراجع ذیربط در استان خوزستان، عمدتا از مستندات گزارش سوم سازمان بازرسی کل کشور تحت عنوان «بررسی وضعیت کمی و کیفی مخزن و خروجی سد گتوند علیا و تأثیر آن بر پایین دست» مورخ ۹۲/۱۲/۲۷ استفاده شد. سازمان بازرسی کشور به منظور تهیه آمار مربوط به مشخصات کمی و کیفی آبهای مختلف برداشت شده از رودخانه کارون، مکاتبات متعددی با مراجع ذیربط در چندین نوبت انجام داده است. از جمله این مراجع می‌توان به شرکت آب و فاضلاب خوزستان، شرکت آب و فاضلاب اهواز، سازمان آب و برق خوزستان، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خوزستان، اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان و اداره کل شیلات خوزستان اشاره نمود.

بر اساس اطلاعات دریافتی از شرکت آب و فاضلاب خوزستان مشخصات کمی و کیفی آب برداشت شده از کارون در تصفیه خانه های این شرکت در خرداد ماه ۱۳۹۲ به شرح جدول زیر است:

ردیف	نام تصفیه خانه	ظرفیت تصفیه خانه	متوسط برداشت آب (m3/day)	متوسط EC
۱	گتوند	۹۰۰۰	۶۸۶۰	۱۸۵۰
۲	صالح شهر	۲۵۰۰	۱۷۷۴	۱۹۰۰
۳	شوشتر	۵۱۰۰۰	۴۸۵۰۰	۱۶۵۰
۴	خرمشهر (طرح جامع – برداشتی از کارون)	۱۰۵۰۰۰	۹۰۰۰	۳۸۱۴
۵	آبادان (شهید باوی – بهمنشیر)	۶۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۴۰۳۵
۶	آبادان (طرح جامع – غدیر)	۹۰۰۰۰	۹۰۰۰۰	۱۷۵۰

همین اطلاعات مربوط به سال ۹۱ به شرح جدول زیر توسط شرکت آب و فاضلاب خوزستان گزارش شده است:

ردیف	نام تصفیه خانه	ظرفیت تصفیه خانه	فروردین		خرداد تا بهمن		اسفند	
			متوسط برداشت آب (m³/day)	متوسط EC	متوسط برداشت آب (m³/day)	متوسط EC	متوسط برداشت آب (m³/day)	متوسط EC
۱	گتوند	۹۰۰۰	۶۸۶۰	۱۷۱۸	۶۸۶۰	۱۶۲۳	۶۸۶۰	۱۸۷۲
۲	صالح شهر	۲۵۰۰	۱۷۷۴	۱۷۵۰	۱۷۷۴	۱۶۷۰	۱۷۷۴	۱۹۵۰
۳	شوشتر	۵۱۰۰۰	۴۷۵۰۰	۱۹۴۲	۴۷۵۰۰	۱۲۵۲	۴۷۵۰۰	۲۰۵۶
۴	خرمشهر	۱۱۵۰۰۰	۷۹۰۰۰	۳۷۵۰	۷۹۰۰۰	۴۱۱۷	۷۹۰۰۰	۳۸۴۰
۵	آبادان (بهمنشیر)	۱۶۰۰۰۰	۱۱۸۰۰۰	۳۹۶۳	۱۱۸۰۰۰	۳۵۶۰	۱۱۸۰۰۰	۳۸۲۰

قاعدتا در محاسبات مربوطه باید به سهم طرح غدیر در تأمین آب شهرهای خرمشهر و آبادان نیز توجه کرد. جمع برداشت آب گزارش شده در جدول مربوط به سال ۹۱ حدود ۳ متر مکعب بر ثانیه برآورد می‌شود.

بر اساس اطلاعات دریافتی از شرکت آب و فاضلاب اهواز، تصفیه خانه های شیبان و ملاثانی و تصفیه خانه های شهر

اهواز نیز از آب کارون برداشت می‌کنند. اطلاعات مربوط به این برداشت ها از سال ۱۳۸۸ تا اردیبهشت سال ۹۲ در مستندات سازمان بازرسی کشور موجود است. خلاصه اطلاعات سال ۱۳۹۱ به شرح جدول زیر گزارش شده است:

ردیف	نام تصفیه خانه	فروردین		فروردین		فروردین	
		متوسط برداشت آب (m³/day)	متوسط EC	متوسط برداشت آب (m³/day)	متوسط EC	متوسط برداشت آب (m³/day)	متوسط EC
۱	شماره ۱	۱۱۳۶۵۳	۲۶۸۴	۱۱۶۴۰۴	۲۵۰۷	۱۲۴۴۵۱	۲۹۳۰
۲	شماره ۲	۴۰۵۹۰۴	۲۶۷۲	۴۱۵۷۳۰	۲۵۱۱	۴۴۴۴۷۰	۲۹۹۰
۳	شماره ۳	۳۲۴۷۲	۲۶۷۵	۳۳۲۵۸	۲۵۰۰	۳۵۵۵۸	۲۹۶۱
۴	شماره ۴	۴۸۷۰۸	۲۷۱۹	۴۹۸۸۸	۲۵۲۸	۵۳۳۳۶	۲۹۴۷
۵	شماره ۵	۴۰۵۹۰	۲۶۸۶	۴۱۵۷۳	۲۵۴۹	۴۴۴۴۷	۲۹۸۴
۶	ملاثانی	۹۰۳۲	۲۵۰۰	۹۱۸۳	۱۹۴۴	۹۳۳۳	۲۶۰۰
۷	شیبان	۳۹۰۳۲	۲۶۳۰	۳۸۴۰۵	۲۴۶۱	۳۵۵۵۶	۲۵۸۰

همان گونه که ملاحظه میشود، بیشترین ظرفیت گزارش شده مربوط به تصفیه خانه شماره ۲ شهر اهواز است و برداشت روزانه این تصفیه خانه در سال ۹۱ حدود ۷۰۰ هزار متر مکعب در روز معادل حدود ۸ متر مکعب بر ثانیه است.

اطلاعات مربوط به مصرف صنایع نظیر پتروشیمی فجر، شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، شرکت فولاد کاویان، شرکت نورد و لوله سپنتا اهواز توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خوزستان به سازمان بازرسی کل کشور گزارش شده است.

علاوه بر سازمان های پیش گفته، اطلاعات مربوط به مصارف مختلف آب شرب و صنعت و کشاورزی توسط سازمان آب و برق خوزستان اعلام شده است که جمع بندی فشرده آن مربوط به سالهای ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به شرح زیر است:

		حجم آب تامین شده (میلیون مترمکعب)		
		از محل سد تنظیمی گتوند تا محل تلاقی با رودخانه دز	از محل اتصال رودخانه‌های دز، کارون و گرگر تا منتهی الیه کارون بزرگ	مجموع
90	کشاورزی	1608	3183.1	4791.1
	شرب	48	411.6	459.6
	صنعت	50	513	563
	مجموع	1706	4107.7	5813.7
91	کشاورزی	1834	3865	5699
	شرب	48	413	461
	صنعت	59	510	569
	مجموع	1941	4788	6729

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که جمع مصرف سالانه آب شرب و صنعت برداشت شده از رودخانه کارون در پایین دست سد گتوند علیا حدود یک میلیارد متر مکعب آب است که در صورت اتخاذ راهکار شستشوی سریع باید به نسبت روزهایی که در اثر عملیات شستشو از رودخانه کارون قابل برداشت نیست، به روش مناسب جایگزین گردد. این کار می‌تواند از طریق ذخیره آب در حوضچه های ذخیره و انتقال آن به نقاط مصرف انجام شود.

در بررسی راهکار شستشوی سریع پنج سناریو بررسی شده است. پارامترهای متغیر مدل، دبی استفاده‌شده و مقدار هدایت الکتریکی محدود شده می‌باشد. مقدار دبی تخلیه کننده تحتانی در روزهایی که شستسوی سریع انجام نمی‌شود ثابت و برابر ۵ مترمکعب بر ثانیه و در روزهایی که شستشوی سریع صورت می‌گیرد مقدار این دبی ۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه است. مقدار دبی تخلیه شده از لوله GRP نیز همواره با توجه به محدودیت هدایت الکتریکی پایین‌دست متغیر بوده و توسط مدل محاسبه می-گردد. مشابه راهکارهای قبلی، سه حالت دبی ورودی شامل دبی ورودی از مدل CGCM3 و دبی‌های ثابت ۲۵۰ و ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه بررسی شده است. مقادیر هدایت الکتریکی پایین‌دست در بررسی این سناریوها به ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰ محدود شده است.

در سناریوی منتخب راهکار شستشوی سریع از دبی‌های مدل CGCM3 به‌عنوان ورودی مدل استفاده‌شده است. ازآنجایی‌که محدود کردن هدایت الکتریکی پایین‌دست به مقدار ۱۲۰۰ باعث تجمع نمک در مخزن می‌شود، هدایت الکتریکی پایین‌دست در سناریوی انتخاب شده به مقدار ۱۳۰۰ محدود می‌گردد. دبی تخلیه کننده در این سناریو در روزهای غیر شستشوی سریع برابر ۵ مترمکعب بر ثانیه بوده و دبی GRP متغیر با زمان محاسبه می‌شود.

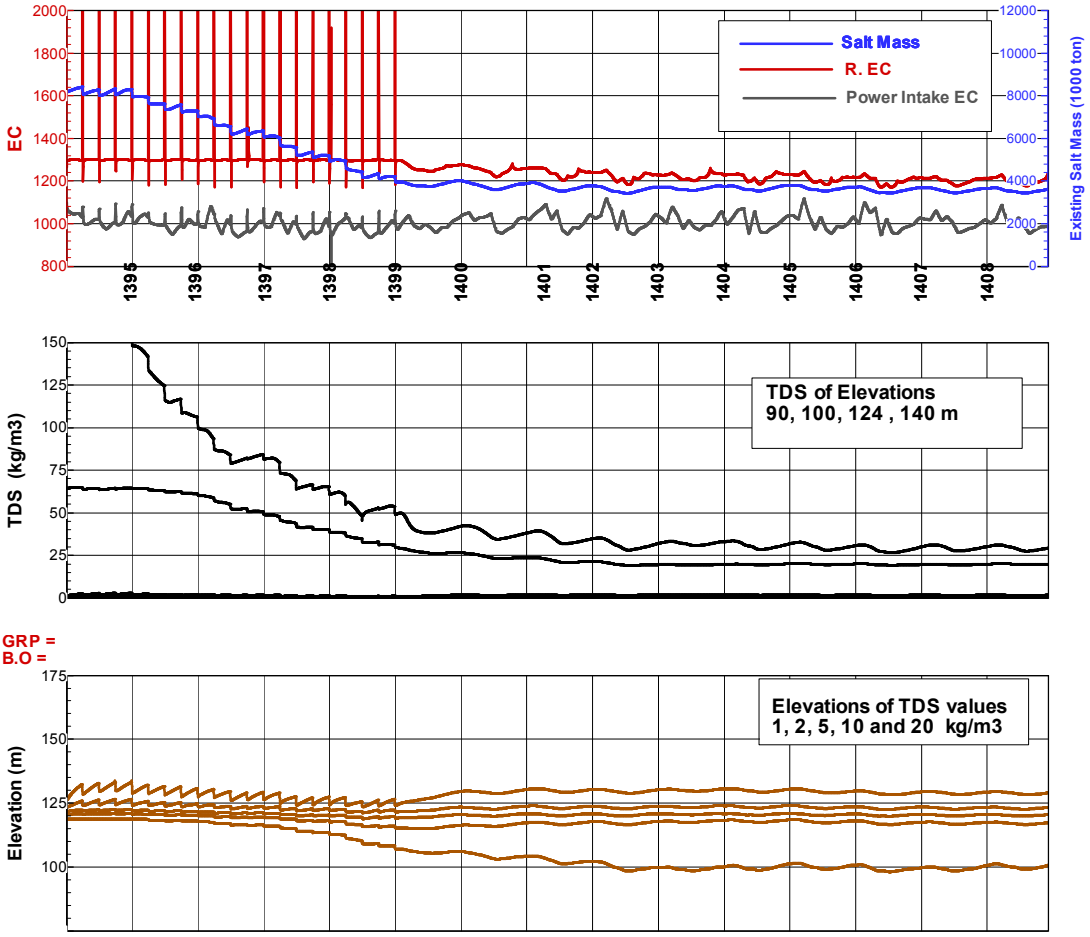
نام دقیق‌تر راهکار شستشوی سریع «راهکار مدیریت مخزن همراه با شستشوی سریع» است و هزینه ای که بابت این شستشوی سریع می‌شود به طور خلاصه عبارت است از نیاز به تأمین آب شرب و صنعت در ایام شستشوی سریع، خسارات محیط زیستی وارد به رودخانه ناشی از شوری ۴۰۰۰ و مصرف حدود یک میلیارد متر مکعب آب جهت عملیات شستشوی سریع.

ظرفیت ایمن رودخانه کارون در بسیاری از بازه ها چند برابر دبی در نظر گرفته شده برای عملیات شستشوی سریع (۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه) است. با این وجود یکی از دغدغه های این راهکار هماهنگی و مدیریت مورد نیاز برای پیشگیری از خطرات احتمالی ناشی از عبور ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه در مقاطعی از رودخانه است که احتمالا حریم رودخانه رعایت نشده و مستحدثاتی در ساحل رودخانه تاسیس شده باشد.

۷. ۲. نتایج کیفیت آب مخزن در سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع

در این راهکار هدایت الکتریکی خروجی از سد به مقدار ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر محدود شده است. همچنین، برای مقادیر دبی‌های ورودی از مدل CGCM3 استفاده شده و دبی تخلیه کننده تحتانی در روزهای غیر شستشوی سریع برابر با ۵ مترمکعب بر ثانیه و در روزهای شستشوی سریع ۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته‌شده است. دبی مجرای GRP نیز به‌صورت متغیر توسط مدل محاسبه می‌شود.

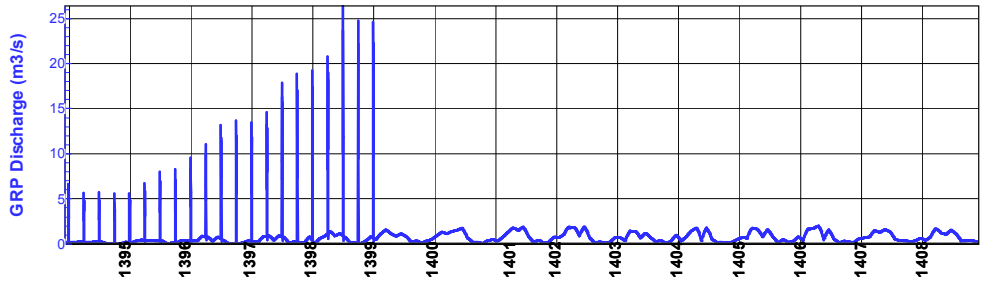
نتایج سناریوی گزینش‌شده راهکار شستشوی سریع در این قسمت ارائه شده است. در این سناریو به مدت ۴ روز در پایان هر فصل دبی ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه با هدایت الکتریکی ۴۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر رها می‌شود که باعث تخلیه حجم نمک زیادی در مدت‌زمان کوتاهی می‌شود. قسمت عمده این نمک از طریق مجرای GRP تخلیه می‌شود. شکل ۷-۱ نتایج مدل سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱- الف) جرم نمک موجود در مخزن، متوسط هدایت الکتریکی خروجی از مخزن و نیروگاه ب) غلظت نمک در ترازهای مختلف ج) ترازهای مربوط به غلظت‌های مختلف نمک برای سناریوی گزینش‌شده راهکار شستشوی سریع (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی ثابت برابر با ۵ مترمکعب بر ثانیه)

۷. ۲. ۱. تغییرات دبی مجرای GRP در زمان برای سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع

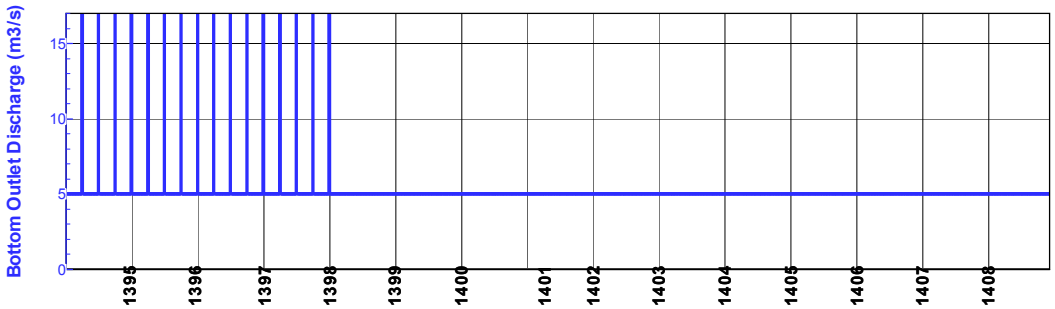
چنانچه در شکل ۷-۲ مشاهده می‌شود دبی مجرای GRP به مقدار ۲۵ مترمکعب بر ثانیه نیز رسیده است و در سال‌های شستشوی سریع روند افزایشی داشته است. دلیل افزایشی بودن روند تغییرات دبی مجرای GRP، کاهش یافتن غلظت ترازهای تخلیه مربوطه است که برای خارج کردن همان مقدار نمک می‌بایست حجم آب بیشتری را تخلیه نماید.



شکل ۷-۲- تغییرات دبی GRP در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار شستشوی سریع (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی ثابت برابر با ۵ مترمکعب بر ثانیه)

۷. ۲. ۲. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی برای سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع

دبی تخلیه کننده تحتانی در تمام روزهای سال برابر ۵ مترمکعب بر ثانیه بوده و در روزهای شستشوی سریع دبی ۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه از آن رها می‌شود. تخلیه این حجم قابل‌توجه دبی در مدت چهار روز تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش ترازهای شوری در مخزن دارد و چنانچه در شکل ۷-۳ مشاهده می‌شود، بعد از اتمام سال‌های شستشوی سریع که دبی تخلیه کننده ثابت و برابر ۵ مترمکعب بر ثانیه است، ترازهای شوری ۱، ۲، ۵ و ۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش‌یافته است.

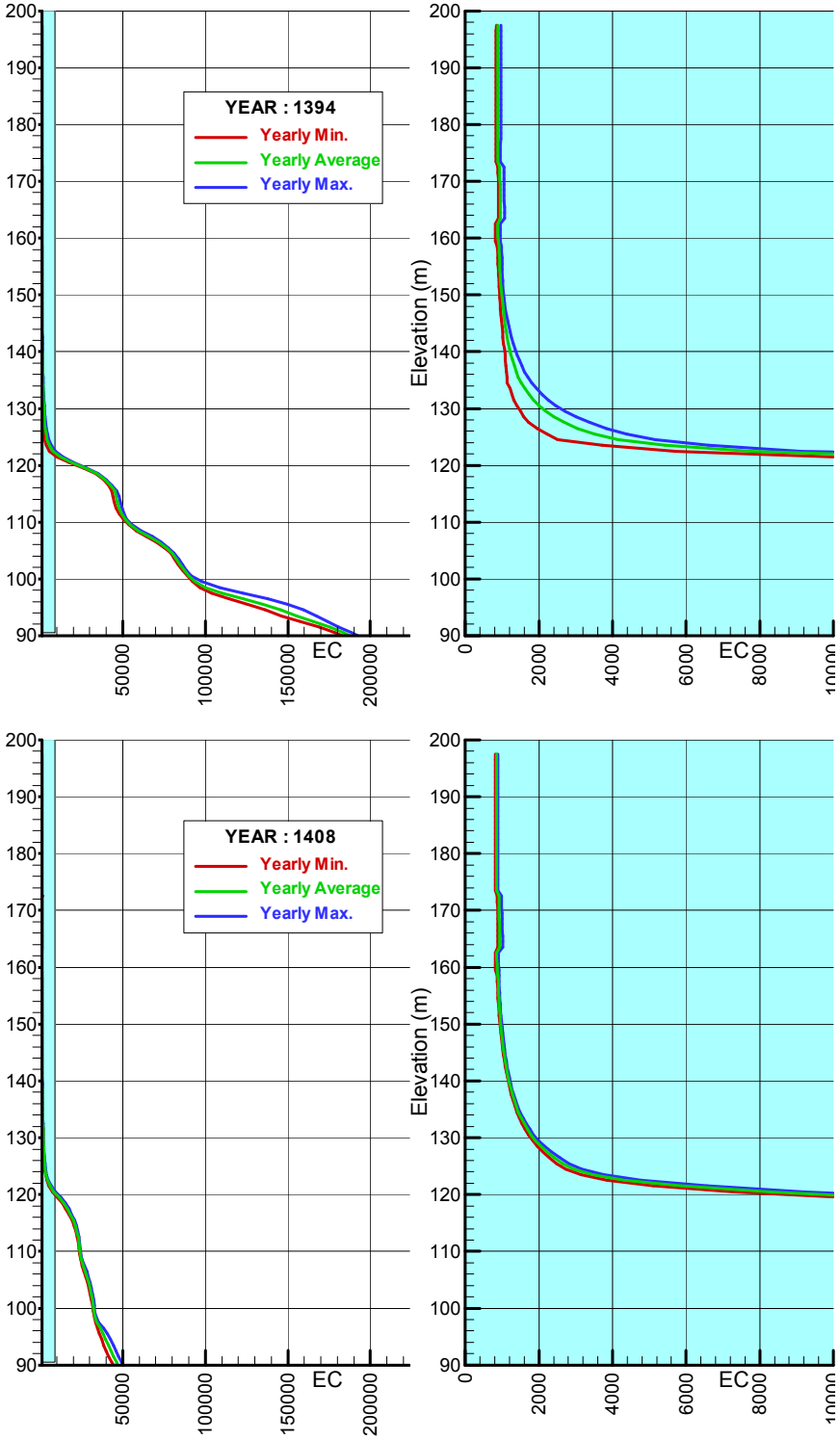


شکل ۷-۳- تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار شستشوی سریع (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی ثابت برابر با ۵ مترمکعب بر ثانیه)

۷. ۲. ۳. تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع

تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در عمق مخزن در مدت ۱۵ سال مدل سازی شده اما برای اختصار نتایج سال‌های اول و آخر مدل سازی در شکل ۷-۴ نمایش داده شده است. منحنی قرمزرنگ مقدار کمینه‌ای را که در طول سال موردنظر اتفاق می‌افتد، نشان می‌دهد. منحنی آبی‌رنگ مقدار بیشینه را در سال موردنظر مشخص می‌کند و منحنی سبزرنگ متوسط سالانه را نمایش می‌دهد. چنانچه در نمودارهای غلظت زیر تراز ۱۲۰ مشاهده می‌شود، غلظت‌ها در سال‌هایی که شستشوی سریع انجام می‌گیرد روند کاهشی شدید دارد و پس از اتمام ۵ سال روند کاهشی کندی پیدا می‌کند و نهایتاً در سال‌های پایانی تقریباً به مقادیر ثابتی می‌رسد. در ترازهای بالای ۱۲۰ متر، در سال‌هایی که شستشوی سریع صورت می‌گیرد غلظت‌ها کاهش می‌یابد و بعد به مدت چند سال افزایش‌یافته و سپس به یک حالت پایدار می‌رسد. علت افزایش چندساله که بعد از پایان شستشوی سریع رخ می‌دهد، تغییراتی است که در مقادیر دبی تخلیه کننده تحتانی به دلیل اتمام سال‌های شستشوی سریع رخ می‌دهد. در طول شستشوی سریع دبی ۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه به مدت ۱۶ روز در سال از تخلیه کننده تحتانی تخلیه می‌شود که در کاهش

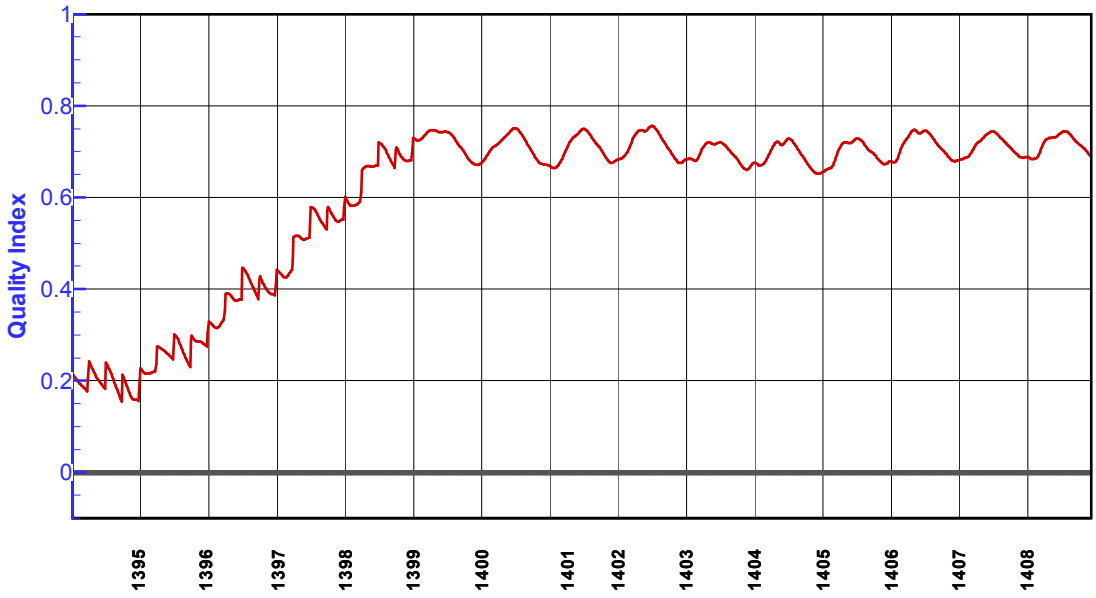
غلظت ترازهای بالا نقش بسزایی دارد.



ادامه شکل ۷-۴- تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده راهکار شستشوی سریع (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی ثابت برابر با ۵ مترمکعب بر ثانیه)

۷. ۲. ۴. شاخص کیفیت برای سناریوی گزینش‌شده شستشوی سریع

همانطور که در شکل ۷-۵ نشان داده شده است، در راهکار شستشوی سریع، شاخص کیفیت از ابتدا روند صعودی دارد و کیفیت مخزن بر اساس پارامتر تعریف شده رو به بهتر شدن می‌رود تا در پایان سال پنجم به مقدار مطلوب ۰/۷ رسیده و پس‌ازآن تغییر چندانی نمی‌کند. علت این روند، تخلیه مقدار قابل‌توجهی نمک در طول پنج سال از داخل مخزن و سپس ثابت ماندن تقریبی جرم نمک داخل مخزن است.



شکل ۷-۵- تغییرات شاخص کیفیت در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار شستشوی سریع (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی 1300 و دبی تخلیه کننده تحتانی ثابت برابر با ۵ مترمکعب بر ثانیه)

۸. تبیین راهکار خط انتقال

۸. ۱. مقدمه

با عنایت به بررسی‌های صورت گرفته یکی از راهکارهای مطرح برای رفع شوری آب مخزن سد گتوند، انتقال آب شور لایه‌های تحتانی مخزن از محل سد به نقاط پذیرنده است به طوری‌که رودخانه کارون تحت تأثیر این شوری قرار نگیرد. این‌که این آب شور به چه محلی و برای چه استفاده‌ای منتقل شود منجر به سناریوهای متفاوتی خواهد شد که در گزارش حاضر مورد ارزیابی و مقایسه قرار خواهند گرفت.

ابتدا مطالعات انجام شده توسط مهندسین مشاور مهاب قدس برای انتقال آب شور، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در گزارش شناخت ارائه گردید. در ادامه با توجه به اهمیت موضوع کارگروهی تخصصی جهت بررسی و ارزیابی سناریوهای مطرح دیگر، تشکیل شد. در گام اول کلیه سناریوهای ممکن و قابل طرح لیست شده و سپس با یک بررسی اولیه بخشی از این سناریوها که نیاز به مطالعه بیشتر دارند تفکیک شده‌اند. در گام بعد در خصوص هر سناریو، اجزاء اصلی و مشخصات فنی آن تعیین شده است و هزینه های اجرای آن تخمین زده شده است. در انتها با توجه به معیارهای فنی، اقتصادی، محیط زیستی و ریسک سناریو های مطرح مورد مقایسه قرار گرفته و سناریوی گزینش‌شده تعیین شده است.

لازم به ذکر است که در این بخش جهت مقایسه سناریوهای مطرح، فرض شده است که خط انتقال با قطر ۱/۲ متر و دبی ۱ متر مکعب بر ثانیه آب با شوری ۱۰۰،۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر را به نقاط پذیرنده انتقال می دهد. این مفروضات در مطالعات کیفیت مخزن مورد بازنگری و تدقیق قرار گرفته است. بدیهی است که سناریوی گزینش‌شده در بین سناریوهای مختلف گروه خط انتقال در نهایت بر اساس نتایج حاصل از مطالعات و مدل سازی کیفیت مخزن تدقیق شده و با سناریوی گزینش‌شده از سایر دسته راهکارها مقایسه شده است.

۸. ۲. فهرست سناریوهای راهکار خط انتقال

در مطالعات اجمالی صورت گرفته توسط مهندسین مشاور مهاب قدس سناریوهایی مطرح و مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعات سناریوهای مذکور لحاظ گردید و سناریوهای جدیدی نیز مطرح شد که در نهایت فهرستی به شرح زیر جهت ادامه بررسی ها مد نظر قرار گرفت:

۱) تخلیه آب شور در حوضچه‌های تبخیری موجود پتروشیمی ماهشهر
۲) تحویل به صنایع کربنات سدیم رامهرمز
۳) تزریق به چاه‌های نفت واقع در محدوده سد گتوند
۴) تخلیه به خلیج فارس
۵) احداث حوضچه‌های تبخیری در نزدیکی دریا و صادرات نمک محلول با غلظت بالا
۶) احداث حوضچه‌های تبخیری در نزدیکی سد و ذخیره نمک استحصال شده

در میان این سناریوها، سه سناریوی اول به دلایلی که در ادامه خواهد آمد از مرحله ارزیابی خارج شده و سه سناریوی آخر برای قیاس با سایر راهکارها انتخاب شده‌اند.

۸. ۳. سناریوهای رد شده خط انتقال

۱- تخلیه در حوضچه‌های تبخیری پتروشیمی ماهشهر

تخلیه آب شور در حوضچه‌های پتروشیمی ماهشهر طرحی است که از ابتدا توسط مهندسین مشاور مهاب قدس مد نظر بوده و این مشاور طرح‌های اولیه‌ای برای این سناریو را پیش برده و خط انتقالی را برگزیده و هزینه های اجرایی خط انتقال نیز بر این اساس برآورد شده است. حوضچه های تبخیری مورد بحث متعلق به یک شرکت خصوصی است که تأمین نمک مورد نیاز پتروشیمی اروند را عهده دار است. این شرکت با برداشت حدود ۷ متر مکعب از آب دریا و تبخیر آن در حوضچه های مذکور حدود یک متر مکعب آب با هدایت الکتریکی حدود ۳۰۰،۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر را از طریق یک خط لوله GRP به پتروشیمی تحویل می‌دهد. طی مذاکراتی که مؤسسه آب با مدیر عامل این شرکت انجام داد مقرر شد آنالیز شیمیایی آب شور خروجی از سد گتوند در اختیار آنها قرار گیرد تا موضوع پذیرش آن در حوضچه های خود را بررسی نمایند. نتیجه بررسی به این شکل اعلام شد که با توجه به طراحی صورت گرفته برای حوضچه‌های این مجموعه امکان تخلیه آب شور سد در این حوضچه‌ها وجود نداشته و لازم است برای این آب شور، حوضچه‌های جدیدی طراحی و احداث گردد. بر این اساس امکان تخلیه آب شور مخزن سد در حوضچه‌های تبخیری موجود پتروشیمی ماهشهر وجود نداشته و این سناریو از فرآیند ارزیابی خارج می‌شود.

۲- تحویل به صنایع کربنات سدیم رامهرمز

صنایع کربنات سدیم رامهرمز یکی از صنایعی است که برای دریافت آب شور اعلام آمادگی کرده و حتی مجوزهای اولیه برای آن را نیز پیگیری نموده است. مسئله‌ای که در مورد این راهکار وجود دارد آن است که حجم آب درخواستی این کارخانه چیزی حدود ۱۰۰ لیتر بر ثانیه بوده که بخش کمی از آب دبی مورد نظر این مطالعات یعنی یک متر مکعب بر ثانیه را تشکیل می‌دهد. لذا حتی در صورتی که این کارخانه خواهان دریافت آب باشد بایستی دریافتی آنان را به عنوان بخشی از یک راهکار دیگر دید و امکان بررسی آن به صورت مستقل نیست. بررسی امکان و برآوردهای اقتصادی تحویل آب به این کارخانه به مراحل تکمیلی سناریوی خط انتقال به خصوص انتقال به خلیج فارس موکول می‌شود.

۳- تزریق به چاه‌های نفت در حوالی سد

مذاکرات و مکاتبات صورت گرفته با مناطق نفت خیز جنوب حاکی از آن است که تنها میدان نفتی که امکان پذیرش آب شور مخزن سد گتوند را دارا می‌باشد میدان نفتی مسجد سلیمان است. برآوردها حاکی از نیاز حداکثر ۲۰۰ لیتر بر ثانیه از آب شور خروجی از سد گتوند است. این ظرفیت با توجه به برنامه خروج یک متر مکعب بر ثانیه آب شور از مخزن سد هم‌خوانی نداشته و این سناریو نیز به عنوان یک سناریو مکمل می‌تواند مطرح باشد. البته بایستی توجه داشت که میدان نفتی مسجد سلیمان در ضلع شرقی و در ترازی بالاتر از تراز نرمال مخزن سد قرار دارد، لذا برای انتقال آب به این میدان نیاز به پمپاژ بوده و هزینه‌های اضافی در بر خواهد داشت.

۸. ۴. سناریوهای قابل طرح خط انتقال

۸. ۴. ۱. سناریوی انتقال به خلیج فارس

سامانه انتقال آب شور به خلیج فارس متشکل از اجزاء زیر است که در ادامه شرح داده خواهد شد:

- خط انتقال
- حوضچه اختلاط
- سامانه آب گیر
- سامانه تخلیه به دریا

۸. ۴. ۱. ۱. خط انتقال

در مطالعات خط انتقال که توسط مهندسین مشاور مهاب قدس انجام شده است نقطه پذیرنده آب شور در منتهی الیه شمالی خور موسی در محل حوضچه های تبخیری موجود در نظر گرفته شده است. با توجه به حجم محدود آب در آبراهه های خور و ملاحظات محیط زیستی در این محدوده، تخلیه آب شور در این نقطه پذیرنده توصیه نمی شود و در صورت نیاز به تخلیه آب به خلیج فارس، نقطه پذیرنده دیگری در بدنه اصلی آبی این خلیج که محدودیت حجم و حساسیت‌های محیط زیستی خور را به همراه نداشته باشد به عنوان جایگزین پیشنهاد میگردد. با یک بررسی اولیه محدوده سواحل هندیجان به عنوان نقطه پذیرنده آب شور مد نظر قرار گرفت. شکل ۸-۱ مسیر خط انتقال پیشنهادی برای انتقال آب شور به خلیج فارس را نمایش می-دهد. طول خط انتقال در این حالت ۲۸۰ کیلومتر برآورد می‌گردد.

شکل ۸-۱ – مسیر خط انتقال به خلیج فارس در سواحل هندیجان

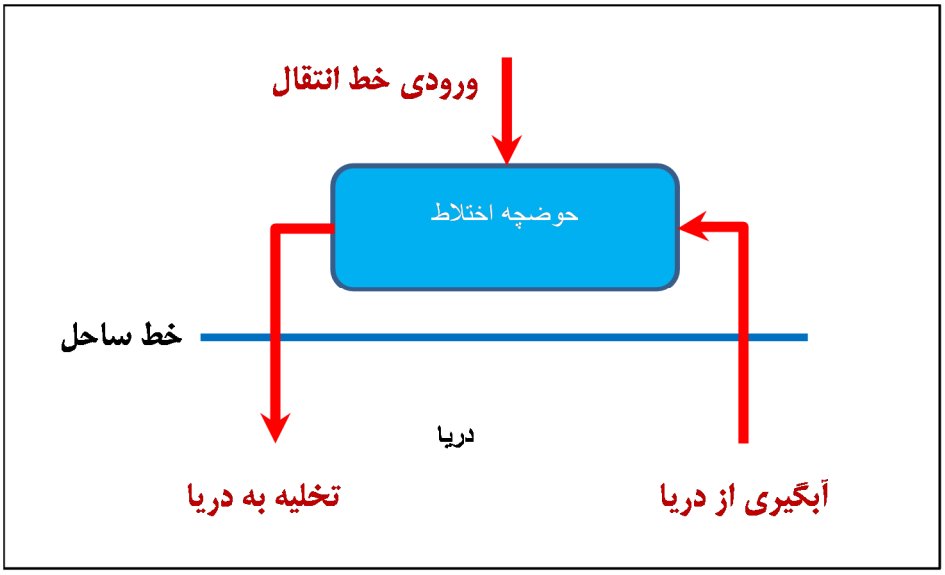
۸. ۴. ۱. ۲. حوضچه اختلاط

پس از انتقال آب شور به نزدیک نقطه پذیرنده، به دلیل اختلاف زیاد شوری آب خروجی از خط انتقال با شوری آب دریا، لازم است ابتدا آب شور خط انتقال رقیق شده و سپس به دریا تخلیه گردد. بدین منظور با آب گیری از دریا و اختلاط آب دریا با آب خروجی از خط انتقال رقیق سازی انجام خواهد شد. چنانچه شوری آب تخلیه شده به دریا را ۶۰،۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر و شوری آب خلیج فارس را ۴۰،۰۰۰ فرض نماییم دبی آب گیری از دریا از رابطه ساده زیر قابل تخمین خواهد بود:

$$x \cdot 40000 + 1 \cdot 100000 = (x+1) * 60000$$

$$x = 2\, m^3/s$$

شمای کلی عملکرد سیستم حوضچه اختلاط به شکل زیر است.

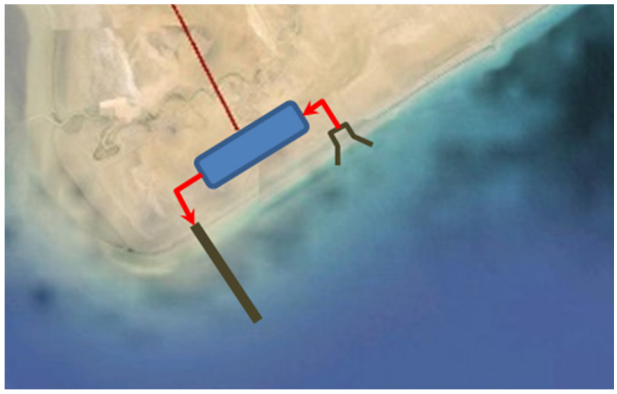


شکل ۸-۲ – شمای عملکرد سیستم حوضچه اختلاط

لذا با تخلیه آب خط انتقال به داخل یک حوضچه و اختلاط آن با آب دریا در خروجی از حوضچه دبی ۳ متر مکعب بر ثانیه با شوری ۶۰،۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر به دریا تخلیه می‌گردد.

۸. ۴. ۱. ۳. سامانه آبگیری و تخلیه به دریا

این سامانه متشکل از یک سازه آبگیر است که از طریق پمپاژ ۲ متر معکب بر ثانیه آب شور دریا را وارد حوضچه اختلاط می نماید. در سوی دیگر این سامانه یک سیستم تخلیه آب شور با سرعت بالا قرار دارد که از طریق ایجاد آشفتگی ناشی از سرعت بالا آب شور تخلیه شده به دریا را در یک شعاع محدود با محیط مخلوط نموده و به بعد از این محدوده میزان شوری آب رها شده به شوری محیط می‌رسد. شکل زیر شمایی از این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۳ – سامانه آبگیری و تخلیه آب شور به دریا

سرعت آب خروجی در حد ۲ متر بر ثانیه تخمین زده می‌شود و لازم است آب در عمقی برابر با ۳ الی ۵ متر تخلیه گردد. آب خروجی از طریق یک کانال که بر یک سازه توده سنگی یا شمع و عرشه متکی است وارد دریا می‌شود. تخلیه آب در عمق ۴ متری صورت می‌گیرد، لذا لازم است محل تخلیه در فاصله‌ای به اندازه حداقل ۵۰۰ متر از خط ساحل قرار داشته باشد.

۸. ۴. ۱. ۴. برآورد هزینه راهکار انتقال به خلیج فارس

جهت برآورد هزینه خط انتقال به خلیج فارس فرضیات زیر صورت گرفته است:

- نوع لوله، تجهیزات و تمهیداتی که در طول خط انتقال بکار گرفته می‌شود بر اساس یافته های گزارش شرکت مهاب قدس می‌باشد. البته این بدان معنی نیست که یافته های مذکور از نظر این گروه مطالعاتی پذیرفته است، لیکن این یافته ها از درجه‌ای از دقت برخوردار است که در یک مقایسه کلان بین راهکارها مختلف ایجاد اشکال نمی‌نماید.
- برآورد سیستم حوضچه اختلاط، آبگیری و تخلیه به دریا بر اساس تجربیات مشابه بوده و یک تخمین اولیه محسوب می‌گردد.
- هزینه های بهره برداری و نگهداری به میزان سالیانه برابر با ۵٪ هزینه اجرای خط انتقال و تجهیزات وابسته به آن برآورد می‌گردد که در نیمی از طول عمر و عملکرد مورد نیاز سیستم، اعمال شده است.

هزینه های کل اجرا و بهره برداری از این راهکار در جدول زیر خلاصه شده است.

۸. ۴. ۱. ۵. خلاصه مشخصات راهکار

مشخصات کلی راهکار انتقال به خلیج فارس به شرح زیر است.

جدول ۸-۱ – خلاصه هزینه های راهکار خط انتقال به خلیج فارس

راهکار تخلیه به خلیج فارس	قیمت واحد به میلیارد تومان	مقدار	هزینه
خط انتقال (هزینه هر کیلومتر) – لوله فلزی به قطر ۱.۲ متر با ظرفیت انتقال ۱ مترمکعب بر ثانیه	۳	۲۸۰	۸۴۰
سامانه آبگیری اختلاط و تخلیه به دریا (۲ مترمکعب برداشت، ۳ متر مکعب تخلیه با سرعت حدود ۲ متر بر ثانیه و به شکل سطح آزاد در عمق ۴ متر) – (هزینه تقریبی)	۲۵۰	۱	۲۵۰
بهره برداری و نگهداری (درصدی از هزینه مواردی که نیاز به نگهداری دارند) – (در ستون قیمت واحد درصد وارد شده است)*	۰/۰۵		۲۷۳
جمع هزینه راهکار (میلیارد تومان)			**۱۳۶۳**

- ۵ درصد هزینه خط انتقال و سامانه آبگیری در نیمی از طول عمر و عملکرد مورد نیاز سیستم یعنی ۵ سال، (۵*۰.۰۵*۱۰۹۰) برابر ۲۷۳ میلیارد تومان خواهد بود.

جدول۸-۲ – خلاصه مشخصات راهکار خط انتقال به خلیج فارس

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	مراحل اجرای راهکار و لیست عناصر و اجزای راهکار	۱- خط انتقال ۲ – حوضچه اختلاط ۳- سامانه آب گیر ۴- سامانه تخلیه به دریا
۲	طول عمر راهکار (ماندگاری راهکار)	زمان مورد نیاز برای حل مشکل ۱۵ است (۱۰ سال تخلیه نمک + ۵ سال اجرای خط لوله).
۳	سرعت اجرای راهکار	۵ سال
۴	انعطاف پذیری و امکان جایگزینی در صورت ایجاد موانع در طول اجرای راهکار	موانع: مجوزهای مربوطه (محیط زیست و ...)، تملک اراضی، کمبود نقدینگی (تأمین مواد و مصالح مورد نیاز)
۵	هزینه اجرا، بهره برداری و نگهداری راهکار	۱۳۶۳ میلیارد تومان (اجرا+تجهیزات جانبی+راه های لازم+حوضچه های اختلاط+هزینه‌های بهره برداری و نگهداری)
۶	استفاده بهینه از زیرساخت های موجود	در مراحل اجرایی از زیرساختی استفاده نمی شود.
۷	وجود دانش و تجربه فنی در ایران	برای خط انتقال آب با این شوری تجربه ای وجود ندارد. مگر انتقال آب در مسافت های کمتر در حوضچه های پتروشیمی که آن هم با لوله های GRP است نه فولادی. در مورد حوضچه های اختلاط تجربه هایی وجود دارد.

۸. ۴. ۲. سناریوی انتقال به حوضچه‌های تبخیری در نزدیکی دریا و صادرات نمک محلول با غلظت بالا

با توجه به ارزش اقتصادی نمک، یکی از سناریوهای مورد بررسی در این مطالعه، استحصال نمک از طریق تبخیر آب شور انتقال یافته در برکه ها یا حوضچه هایی است که بدین منظور ساخته می‌شود. آب نمک غلیظ بدست آمده از این طریق می‌تواند در صنایع مختلف از جمله پتروشیمی به مصرف برسد یا صادر شود. ساخت حوضچه های تبخیر در نزدیک دریا هر دو این امکانات را فراهم می‌نماید.

اجزاء این سیستم عبارتند از:

- خط انتقال
- حوضچه های تبخیر
- خط انتقال به نقاط مصرف یا صادرات

۸. ۴. ۲. ۱. خط انتقال

مسیر خط انتقال در این سناریو در شکل زیر نمایش داده شده است. طول خط انتقال در این سناریو ۲۲۰ کیلومتر برآورد شده است.

شکل ۸-۴ – مسیر خط انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک به دریا

۸. ۴. ۲. ۲. حوضچه های تبخیری

در این بخش مشخصات حوضچه های تبخیری شرح داده می‌شود. در نظر است این حوضچه ها قادر به تأمین سطح لازم جهت تبخیر آب شور انتقال یافته از سد باشد. بدین منظور با تخمین تخلیه آبی با دبی متوسط یک متر مکعب در ثانیه و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی سایت، به محاسبه سطح برکه‌های تبخیری مورد نیاز می پردازیم.

به منظور محاسبه سطح حوضچه تبخیری مورد نیاز برای پسابی با دبی یک متر مکعب در ثانیه از فرمول محاسبه تبخیر سالیانه (رابطه زیر) استفاده می‌کنیم:

$$E - P = \frac{Q}{A}$$

که در این رابطه E میزان تبخیر سالیانه (متر در سال)، P میزان فشار بخار در دمای سایت (متر بر سال)، Q دبی (متر مکعب در سال) و A مساحت حوضچه (متر مربع) می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود، میزان تبخیر سالیانه منطقه در حدود ۲۹۱۱ میلی‌متر در سال[۱۴] ، دبی آب شور یک متر مکعب در ثانیه (۳۱۵۳۶۰۰۰ متر مکعب در سال)، و فشار بخار در حدود ۱۱۵/۷ میلی‌متر در سال می‌باشد[۱۵]. لذا بر اساس این اطلاعات مساحت حوضچه تبخیری به روش زیر بدست می‌آید:

۱۴. طرح جامع آب-گزارش هواشناسی حوضه آبریز کارون بزرگ، مشاور بهان سد، ۱۳۹۱.
۱۵. آمار و اطلاعات ده ساله ایستگاه سینوپتیک شوشتر (۱۹۹۴-۲۰۰۵).

$$2.911-0.1157=\frac{31536000}{A}$$

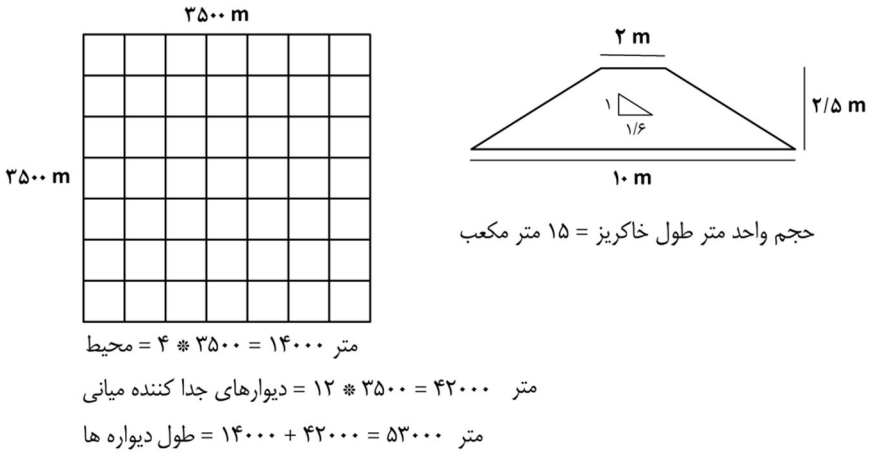
$$A=11281794m^2\cong1130hec$$

بدین‌ترتیب مساحت مورد نیاز حوضچه تبخیری در حدود ۱۱۳۰ هکتار محاسبه می‌شود.

برکه هایی با ابعاد تقریبی 500 × 500 متر در کنار یکدیگر سطح مورد نظر حوضچه را فراهم می‌نمایند. برکه ها از طریق برداشت حدود یک متر از خاک بستر طبیعی زمین و حمل خاک جهت دیواره سازی اطراف و پوشش بستر و دیواره ها با یک لایه رسی به ضخامت ۰/۲۵ متر ایجاد می‌شوند. بر این اساس هزینه ساخت حوضچه‌های تبخیری بر اساس جدول زیر برآورد می‌گردد.

جدول ۸-۳ – هزینه ساخت حوضچه تبخیری نزدیک دریا

هزینه ساخت حوضچه	واحد	قیمت به تومان	مقدار	جمع میلیارد تومان
خاکبرداری به عمق یک متر از کف حوضچه	متر مکعب	۱۰۰۰۰	۱۱۳۰۰۰۰۰	**۱۱۳**
پوشش رسی	متر مربع	۶۰۰۰	۱۱۳۰۰۰۰۰	**۶۸**
دیواره برای کرت بندی (به ازای مترمکعبی خاک رس ۲۴۰۰۰ تومان)	متر طول	۳۶۰۰۰۰	۵۳۰۰۰	**۱۹**
ساخت حوضچه به مساحت ۱۱۳۰ هکتار				**۲۰۰**



شکل ۸-۵ – ابعاد حوضچه و کرت بندی‌ها

۸. ۴. ۲. ۳. برآورد هزینه راهکار انتقال آب شور به حوضچه های تبخیری نزدیک دریا

هزینه های اجرا، نگهداری و بهره برداری از سناریوی انتقال آب شور به حوضچه های تبخیری نزدیک دریا به شرح جدول زیر برآورد شده است:

جدول۸-۴ – هزینه های اجرای حوضچه های تبخیری نزدیک دریا

حوضچه های تبخیری در کنار دریا و صادرات آب شور	قیمت واحد به میلیارد تومان	مقدار	هزینه
خط انتقال (هزینه هر کیلومتر) – لوله فلزی به قطر ۱.۲ متر با ظرفیت انتقال ۱ مترمکعب بر ثانیه	۳	۲۲۰	۶۶۰
حوضچه های تبخیری (پوشش رسی مورد نیاز+هزینه ساخت و آماده سازی برای هر هکتار حوضچه) – (هزینه هر مترمکعب خاک رس برای پوشش ۲۴ هزار تومان و ضخامت لایه رسی ۲۵ سانتیمتر فرض شده است)	۰/۱۷۷	۱۱۳۰	۲۰۰
پمپاژ از حوضچه به بندر یا کشتی (هزینه تقریبی)	۳۵	۱	۳۵
بهره برداری و نگهداری (درصدی از هزینه مواردی که نیاز به نگهداری دارند) – (در ستون قیمت واحد درصد وارد شده است)	۰/۰۵		۱۷۴
جمع هزینه راهکار (میلیارد تومان)			**۱۰۶۹**
درآمد احتمالی حاصل از راهکار (با فرض استحصال حدود ۱۰ میلیون تن نمک و قیمت هر تن ۳ دلار و دلار ۳۰۰۰ تومانی)			**۹۰**

۸. ۴. ۲. ۴. خلاصه مشخصات راهکار

مشخصات کلی راهکار انتقال به حوضچه های تبخیری در کنار دریا و صادرات آب شور به شرح زیر است.

جدول۸-۵ – مشخصات کلی راهکار انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک به دریا

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	مراحل اجرای راهکار و لیست عناصر و اجزای راهکار	۱- خط انتقال ۲-احداث حوضچه ۳-سامانه تخلیه به کشتی
۲	طول عمر راهکار (ماندگاری راهکار)	زمان مورد نیاز برای حل مشکل ۱۵ است. (۱۰+۵)
۳	سرعت اجرای راهکار	۵ سال
۴	انعطاف پذیری و امکان جایگزینی در صورت ایجاد موانع در طول اجرای راهکار	موانع: مجوزهای مربوطه (محیط زیست و ...)، بحث تملک، کمبود نقدینگی(تأمین مواد و مصالح مورد نیاز) – مجوزها راحتر گرفته می شود ولی بازاریابی به عنوان یک مانع مطرح است(شرکت بازاریابی می خواهد)
۵	هزینه اجرا، بهره برداری و نگهداری راهکار	۱۰۶۹ میلیارد تومان (حداقل ۹۰ میلیارد تومان درآمد تقریبی فروش نمک)
۶	استفاده بهینه از زیرساخت های موجود	در مراحل اجرایی از زیرساختی استفاده نمی شود.

۸. ۴. ۳. سناریوی انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک سد و ذخیره نمک

بررسی‌های اولیه حاکی از وجود زمین‌های مسطح و غیر مزروعی در فاصله‌ای در حدود ۳۵ کیلومتر از سد است که امکان احداث حوضچه‌های تبخیری در این مناطق وجود دارد. موقعیت این زمین‌ها در سمت جنوب شرقی محور سد حدفاصل روستای شوردشت بزرگ و بتوند است. این منطقه در مجاورت رودخانه شور دشت بزرگ بوده که خود دارای EC بیش از ۱۵۰۰۰است. چشمه های شور متعدد در منطقه جریان دارد و زمین در بسیاری از جاها با نمک پوشیده شده است بنابراین احداث حوضچه های تبخیری در این منطقه در تعارض با شرایط اقلیمی محدوده اطراف آن نیست و این‌گونه استباط می‌شود که این منطقه محلی مناسب برای نگهداری نمک حاصل از آب شور است.

در مطالعات اولیه وضعیت توپوگرافی و امکان احداث حوضچه‌ها با استفاده از نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ بررسی شده بود. حسب درخواست کارفرمای محترم بررسی‌ها دقیق‌تر با استفاده از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ و همچنین بازدید میدانی انجام گردید. نتایج حاصل نکات مهمی بویژه در مورد خصوصیات زمین‌شناسی منطقه را در برمی‌گیرد که در تعیین دقیق‌تر محدوده و نحوه ساخت حوضچه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین با توجه به شرایط منطقه مورد نظر هزینه‌های ساخت حوضچه‌های مذکور در منطقه مورد اشاره تدقیق گردید.

محدوده تدقیق شده برای ساخت حوضچه‌ها، منطقه بتوند-کوه زرد نامیده می‌شود (شکل ۸-۶). این محدوده با فاصله حداکثر ۳۵ کیلومتری از محل سد است که مشخصات و ویژگی‌های آن شرح داده خواهد شد.

شکل۸-۶- نمایش محدوده طرح ایجاد حوضچه‌ها (منطقه بتوند- کوه زر)

۸. ۴. ۳. ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه بتوند- کوه زر

منطقه جغرافیایی بتوند- کوه زر به فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب شرقی سد گتوند واقع است. این منطقه از سمت شمال‌شرقی و شرق به رود شور و از سمت شمال به جاده آسفالته شوشتر- عقیلی- گتوند (جوار روستای کوه زر و کارگاه شن و ماسه سمیعی) و از سمت جنوب به جاده آسفالته اهواز- مسجدسلیمان (جوار دکل بیسیم مخابرات و روستای پرچستان) و از غرب به رخنمون‌های سطحی قسمت پایینی بخش لهبری (سازند آغاجاری) محدود می‌شود و در واقع در قسمت غرب و جنوب‌غرب محدودیت خاصی وجود ندارد لیکن به تدریج طبقات، برآمدگی‌های منطقه، حالت کوهستانی به خود می‌گیرند. در این محدوده راه‌های ارتباطی فرعی انشعاب یافته از جاده اصلی آسفالته (فوق‌الذکر) وجود دارد، از جمله راه ارتباطی فرعی خاکی آبگاه- دکل بیسیم مخابرات- پرچستان- ماهور و همچنین راه خاکی کوه زر- چم کوه زر (کارگاه شن و ماسه سمیعی).

آب و هوای این منطقه بسیار گرم است بطوریکه در عمده روزهای تابستان به بیش از ۴۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و در مواردی نیز بیشتر از آن است و شرایط تبخیر برای حداقل ۲ متر ستون آب شور کاملاً مهیا است. در محدوده مورد نظر فقط روستای ماهور با سکونت ۵ خانوار قرار دارد و روستاهای مجاور از جمله آبگاه- پرچستان و کوه زر همگی خارج از محدوده هستند. مساحت (۲۳۰۰هکتار) و محیط محدوده مناسب ایجاد حوضچه‌ها (محدوده ABEFG) با اعداد UTM در شکل ۸-۷ و نقشه مسیر خط لوله انتقال آب شور از سد گتوند به محل مذکور در شکل شماره ۸-۸ مشخص شده است.

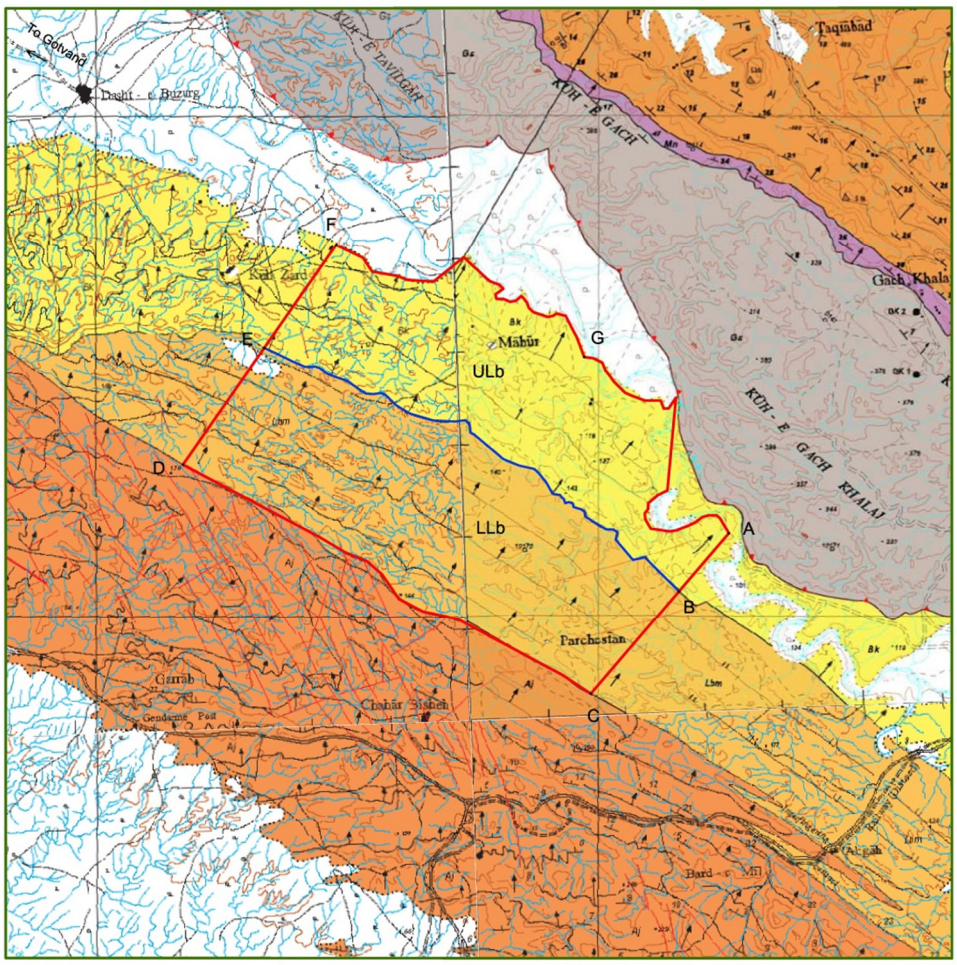
۸. ۴. ۳. ۲. مشخصات رود شور جوار منطقه

رود شور شمال‌شرقی و شرق منطقه مورد نظر را محدود می‌نماید. این رود بعد از روستای بتوند (فاصله ۳ کیلومتری) در محل سه سورون از پیوستن سه رود ذیل بوجود آمده است: ۱- رود شور گلستان (سرچشمه از سه راهی لالی- مسجدسلیمان) ۲- رود تمبی (سرچشمه از شمال کوه آسماری و گذر از جوار شهر مسجدسلیمان) ۳- رود شور لهبری (بهلول) (رود شور منطقه لهبری که در اینجا تحت نام بهلول است) (شکل ۸-۹ و ۸-۱۰).

سالیان متمادی است که در اواسط تابستان رود گلستان و رود شور لهبری (بهلول) خشک می‌شود و فقط در بخشهایی ماندآبی است اما جریان در رود شور تمبی دائمی است. رود شور اصلی بعد از تشکیل در محل سه سورون بطول ۲۰ کیلومتر به رودخانه کارون، در پایین دست سد گتوند می‌پیوندد.

نکته قابل ذکر اینکه هر چند محدوده مورد نظر در جوار رود شور است لیکن بدلیل گسترش مارن‌های سیلتی- رسی بخش لهبری با ضخامت زیاد، منطقه مزبور فاقد آب‌های زیرزمینی است.

Geological Map of Batvand-Kuh-e Zard Area



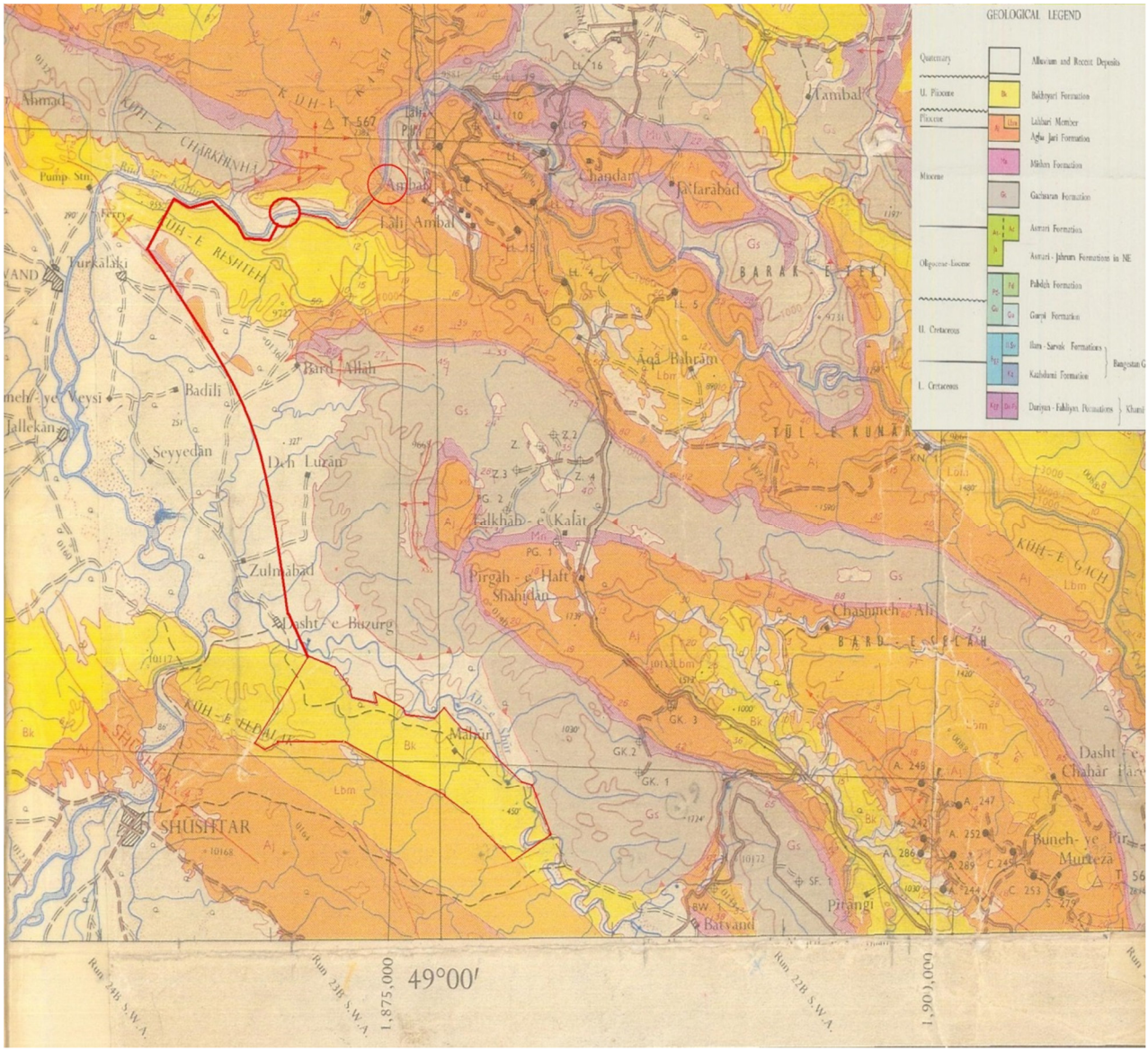
Scale: 1:25000

UTM ZONE 39N

A: 316549 , 3545807
B: 315489 , 3544704
C: 313616 , 3542752
D: 305750 , 3547788
E: 307499 , 3549266
F: 309049 , 3550023
G: 313866 , 3549481

Area. ULb: 23,105,045 m2
Area. LLb: 29,205,670 m2
Area. Total: 52,310,715 m2
Periphery ULb: 28,306 m
Periphery Total: 32,953 m

شکل ۸-۷- نمایش محدوده طرح ایجاد حوضچه‌ها بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه(منطقه بتوند- کوه زر)



شکل ۸-۸- نقشه زمین‌شناسی از سد گتوند تا محل ایجاد حوضچه‌های تبخیری(بتوند-کوه زر)

شکل ۸-۹- انتهای مسیر رود شور فصلی لهبری(رود بهلول نرسیده به محل سه سورون)

شکل ۸-۱۰- دورنمایی از منطقه سه سورون(ابتدای بالادست رود شور اصلی در سه کیلومتری جنوب غربی بتوند)

۸. ۴. ۳. ۳. زمین‌شناسی منطقه بتوند- کوه زر

منطقه بتوند- کوه زر بر روی یال شمالی تاقدیس سطحی شوشتر قرار دارد و چهارگوش محدوده به طول ۱۰ کیلومتر (جهت شمال‌غرب به سمت جنوب‌شرقی) و عرض آن بطور متغیر ۲/۵- ۱/۵ کیلومتر است که بر مبنای محدودیت‌های طبقات زمین‌شناسی و موجودیت رود شور اصلی و همچنین جاده آسفالته اهواز- مسجدسلیمان (در ضلع جنوبی محدوده) و جاده آسفالته شوشتر- عقیلی- گتوند تعیین گردیده است.

در یال شمالی تاقدیس سطحی شوشتر، شیب طبقات سازند آغاجاری بین ۴۰-۳۰ درجه است که بتدریج در دورترین قسمت‌های یال شمالی شیب طبقات بخش لهبری به کمتر از ۲۰ درجه و به حالت ملایم می‌رسد.

هر چند که قسمت اصلی محدوده مورد نظر برای ایجاد حوضچه‌ها بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی قدیمی، سازند بختیاری (Bakhtiary Formation) آورده شده است لیکن با بررسی‌های صحرایی، مشخص شد که طبقات کنگلومرایی بختیاری (نفوذپذیر) وجود ندارد و در واقع قسمت بالایی بخش لهبری (Upper Lahbari Member) گسترش دارد و از این جهت وضعیت مناسبی برای ایجاد حوضچه‌ها وجود خواهد داشت.

علت عدم گسترش سازند بختیاری در این منطقه به این مسئله برمی‌گردد که سازندهای آهکی مثل آسماری و گروه بنگستان در نزدیک‌های این منطقه رخنمون سطحی نداشته‌اند و در نتیجه رسوبات بعد از کوهزایی (Mollasic Sediments) یعنی طبقات بختیاری تشکیل نشده‌اند و آنچه باعث شده که بر روی نقشه زمین‌شناسی موجود، سازند بختیاری را نمایش دهند صرفاً ترسیم محدوده براساس مشاهدات عکس‌های هوایی بوده است بطوریکه این محدوده از بخش لهبری (لهبری بالایی) مورفولوژی آن با بخش زیرین لهبری (Lower Lahbari Member) کاملاً متفاوت است.

بخش لهبری در محل برش نمونه یعنی در تنگ تکاب در یال شمال‌شرقی تاقدیس هفتگل، در امتداد جاده هفتگل- باغملک اندازه‌گیری شده است. در این برش بخش لهبری به ضخامت ۱۵۷۶ متر و عمدتاً از سیلت استون و مارن‌های سیلتی به رنگ کرم تا خاکی و کمی لایه‌های ماسه سنگ کربناته ژیپس دار و ماسه سنگ قلوه‌ای به سن پلیوسن تشکیل شده است.

بطور کلی بخش لهبری این منطقه با ضخامت کمتری نسبت به محل برش نمونه عمدتاً از مارن‌های خاکی رنگ، سیلت استون‌های نازک لایه ناتراوا و در مواردی به همراه لایه‌های خیلی کم از ماسه سنگ و کنگلومرا گسترش دارد.

در این منطقه بخش لهبری با دو مورفولوژی مشخص می‌شود یکی به صورت کوهستانی با فراز و نشیب‌هایی با اختلاف ارتفاع بیش از ۵ متر که بدلیل شیب بیشتر طبقات آنها و همچنین به علت لایه‌های ماسه سنگی و سیلت استون در تناوب با مارن‌های خاکی رنگ است و در واقع بخش زیرین لهبری است. دیگر مورفولوژی مربوط به حالت تپه ماهور ضعیف که پستی و بلندی‌های آن کمتر از ۵ متر و لیتولوژی بخش لهبری بالایی بوده و محدوده‌ی مورد نظر برای احداث حوضچه‌های تبخیری آب شور می‌باشد (شکل ۸-۱۱ و ۸-۱۲).

شکل ۸-۱۱- نمایی از منطقه مورد نظر برای حوضچه‌ها در محدوده روستای ماهور

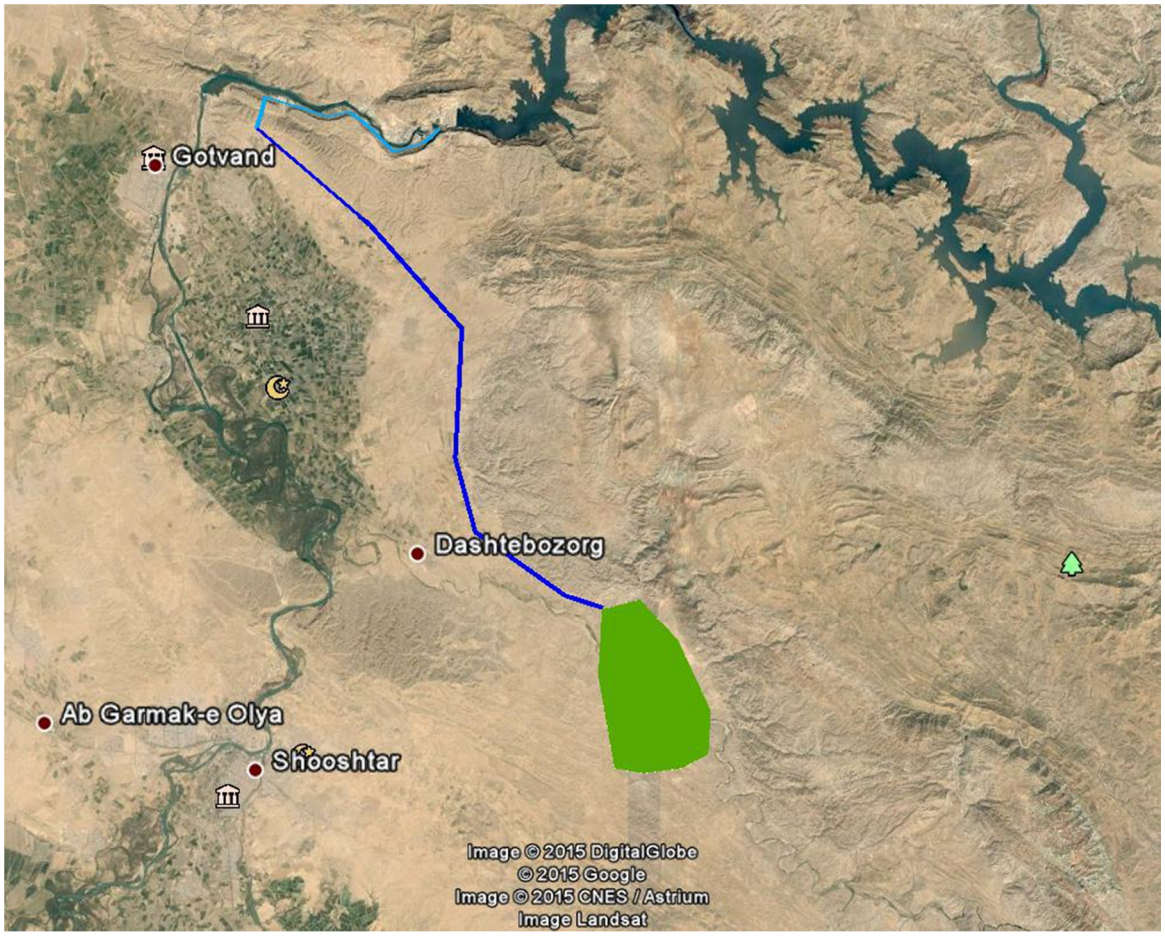
شکل ۸-۱۲- نمایی از منطقه مورد نظر برای حوضچه‌ها در محدوده شمال غرب منطقه بتوند-کوه زر

در خارج از محدوده مورد نظر، در جوار شمالی رود شور، گسل تراستی لهبری (Lahbari Thrust) شدید عملکرد داشته است بطوریکه طبقات گچساران (کوه گچ خلج) به یکباره در مقابل طبقات جوان‌تر یعنی بخش لهبری رخنمون پیدا کرده است و حتی با ارتفاع چند ده متر بالاتر از رخنمون‌های بخش لهبری قرار گرفته است. ضمناً مسیر خط لوله انتقال آب شور از سازند گچساران مزبور با لیتولوژی تناوب سنگ گچ و مارن‌های رنگین و بخشی نیز آبرفت‌های عصر حاضر می‌گذرد (رجوع شود به شکل ۸-۸).

۸. ۴. ۳. ۴. خط انتقال

مسیر خط انتقال در نقشه‌های زمین‌شناسی (شکل ۸-۸) نشان داده شد این مسیر در نقشه‌های گوگل در شکل زیر نشان داده شده است. طول خط انتقال در این شرایط حدود ۳۵ کیلومتر است.

از جمله مزایای این طرح آن است که در صورت تمایل وزارت نفت می‌توان بخشی از آب شور را برای تزریق در چاه‌های نفت میدان مسجد سلیمان تحویل داد.از دیگر مزایای این طرح آن است که امکان استفاده از این آب و خط انتقال مربوطه در طرح‌های شورورزی نیز وجود دارد.



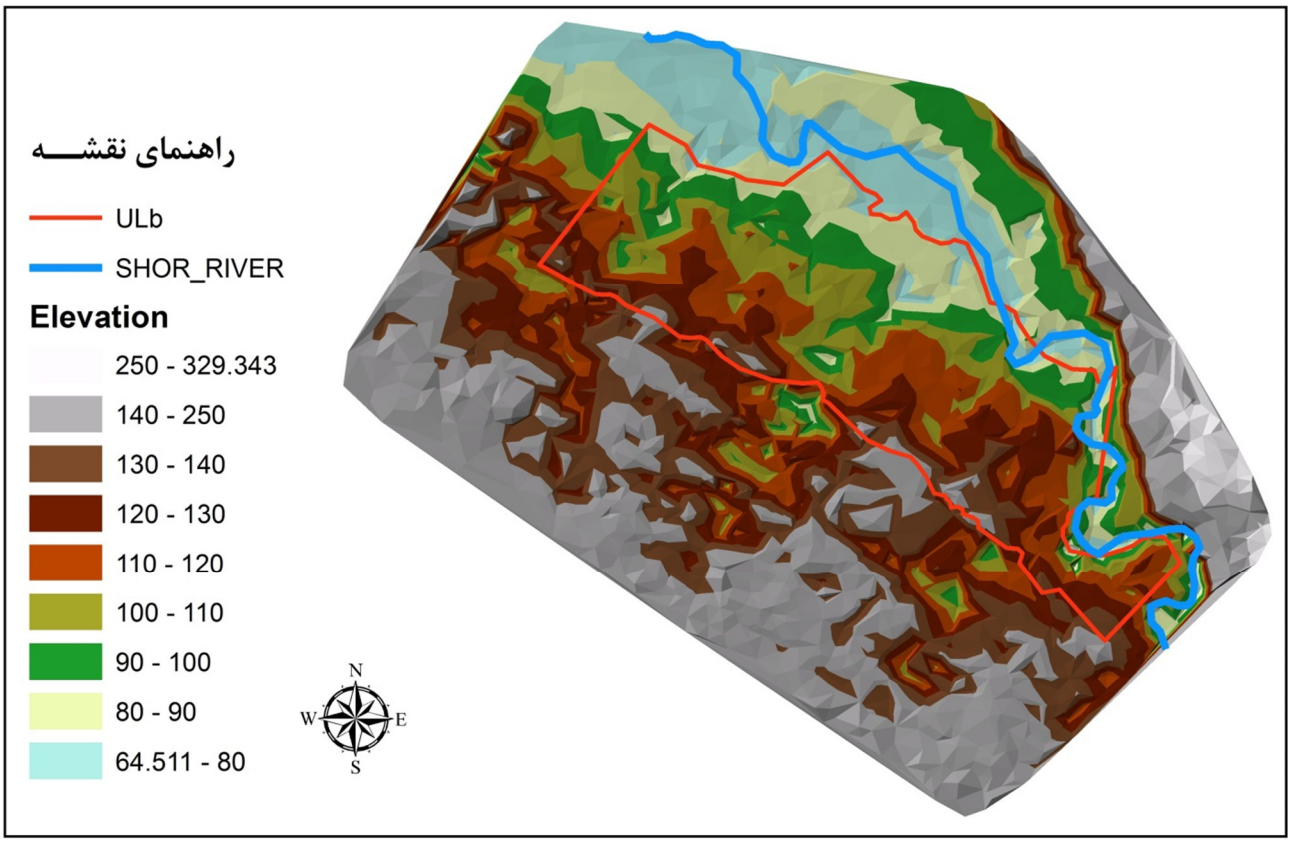
شکل ۸-۱۳- مسیر خط انتقال به حوضچه های نزدیک به سد

اگرچه جمع‌بندی نتایج کارشناسی حاکی از آن است که وضعیت جدید توپوگرافی امکان‌پذیری طرح را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد لیکن هزینه ساخت حوضچه‌ها و به خصوص عملیات خاکی آن مورد بازنگری قرار گرفته است. برآوردها حاکی از آن است که حجم عملیات خاکی ساخت حوضچه‌ها ناشی از تسطیح قسمت‌های تپه ماهوری هزینه ساخت حوضچه‌ها را نسبت به برآورد قبلی حدود ۱۰۰میلیارد تومان افزایش خواهد داد. با این تفسیر جدول هزینه‌های این راهکار به شرح جدول ۸-۶ برآورد شده است.

۸. ۴. ۳. ۵. حوضچه تبخیری

مشخصات این حوضچه ها نظیر راهکار قبل است با این تفاوت که بعد از اتمام دوره تخلیه آب شور و ته نشینی نمک جامد روی حوضچه با یک لایه خاک رس پوشانیده می‌شود و این لایه نقش حفاظت نمک را عهده دار خواهد بود. از این حوضچه می‌توان در آینده به عنوان یک مخزن و معدن نمک استفاده نمود.

بررسی‌های تکمیلی و تدقیق محل حوضچه‌ها به کمک نقشه‌های سه بعدی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ (شکل ۸-۱۴)، مطالعات تکمیلی زمین‌شناسی و بازدید میدانی از منطقه بتوند-کوه زر (شکل ۸-۱۵) صورت گرفته است. ماحصل تلاش‌های جدید حاکی از آن است که منطقه حالت تپه ماهور ضعیف داشته که پستی و بلندی‌های آن کمتر از ۵ متر است و لیتولوژی در بخش لهبری بالایی می‌باشد.



شکل ۸-۱۴- مدل ارتفاعی محدوده منطقه بتوند-کوه زر

شکل ۸-۱۵- نمایی از محدوده منطقه بتوند-کوه زر (حوالی روستای ماهور)

جدول ۸-۶ – هزینه ساخت حوضچه های تبخیری نزدیک سد

هزینه ساخت حوضچه	واحد	قیمت به تومان	مقدار	جمع میلیارد تومان
خاکبرداری به عمق ۰/۵ متر، خاک نباتی	متر مکعب	۴۷۶۰	۵۶۵۰۰۰۰	۲/۷
خاکبرداری به عمق ۱ متر، خاکبرداری در زمین خاکی	متر مکعب	۹۷۳۰	۱۱۳۰۰۰۰۰	۱۱
خاکبرداری به عمق ۲ متر، خاکبرداری در زمین سنگی بدون چکش و مواد سوزا	متر مکعب	۴۹۵۰۰	۲۲۶۰۰۰۰۰	۱۱۱/۹
بارگیری، حمل و جابجایی خاک تا ۵ کیلومتر	متر مکعب	۲۶۵۳۵	۲۲۶۰۰۰۰۰	۶۰
پخش، تسطیح و کوبیدن با تراکم ٪۱۰۰	متر مکعب	۱۸۹۰۰	۱۱۳۰۰۰۰۰	۲۱/۴
پوشش رسی	متر مربع	۶۰۰۰	۲۲۶۰۰۰۰۰	۱۳۶
دیواره برای کرت بندی (به ازای مترمکعبی خاک رس ۲۴۰۰۰ تومان)	متر طول	۳۶۰۰۰۰	۵۳۰۰۰	۱۹
ساخت حوضچه به مساحت ۱۱۳۰ هکتار در منطقه بتوند-کوه زر				۳۶۲

۸. ۴. ۳. ۶. برآورد راهکار انتقال آب شور به حوضچه های تبخیری نزدیک سد

هزینه های اجرا، نگهداری و بهره برداری از سناریوی انتقال آب شور به حوضچه های تبخیری نزدیک سد به شرح جدول زیر برآورد شده است:

جدول ۸-۷ – هزینه های اجرا، نگهداری و بهره برداری حوضچه های تبخیری نزدیک سد و ذخیره نمک

ذخیره نمک در فاصله ای نزدیک به سد	قیمت واحد به میلیارد تومان	مقدار	هزینه
خط انتقال (هزینه هر کیلومتر) – لوله فلزی به قطر ۱.۲ متر با ظرفیت انتقال ۱ مترمکعب بر ثانیه	۳	۵۰	۱۵۰
حوضچه های تبخیری (پوشش رسی مورد نیاز+هزینه ساخت و آماده سازی برای هر هکتار حوضچه) – (هزینه هر مترمکعب خاک رس برای پوشش ۲۴ هزار تومان و ضخامت لایه رسی ۲۵ سانتیمتر فرض شده است) – (در راهکار ذخیره نیاز به پوشش فوقانی نیز می باشد)	۰/۳۲۰	۱۱۳۰	۳۶۲
بهره برداری و نگهداری (درصدی از هزینه مواردی که نیاز به نگهداری دارند) – (در ستون قیمت واحد درصد وارد شده است)	۰/۰۵		۳۸
جمع هزینه راهکار (میلیارد تومان)			۵۵۰

۸. ۴. ۳. ۷. خلاصه مشخصات راهکار

مشخصات کلی راهکار انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک سد به شرح زیر است.

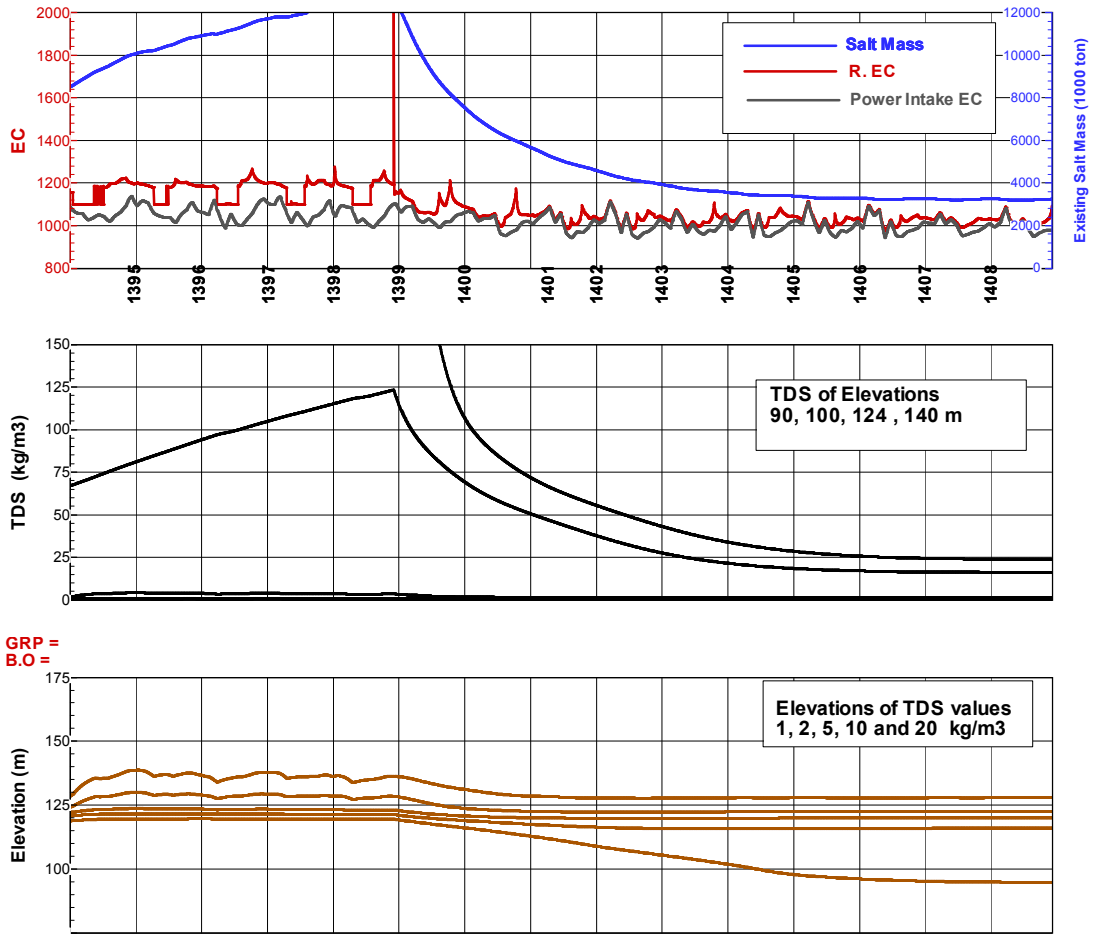
جدول ۸-۸ – مشخصات کلی راهکار انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک سد و ذخیره نمک

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	مراحل اجرای راهکار و لیست عناصر و اجزای راهکار	۱- خط انتقال ۲- حوضچه
۲	طول عمر راهکار (ماندگاری راهکار)	۱۳ سال (۱۰+۳)
۳	سرعت اجرای راهکار	۲.۵سال
۴	انعطاف پذیری و امکان جایگزینی در صورت ایجاد موانع در طول اجرای راهکار	موانع: مجوزهای مربوطه (محیط زیست و ...)، بحث تملک، کمبود نقدینگی(تأمین مواد و مصالح مورد نیاز) - مجوزها راحت تر گرفته می شود ولی بازاریابی به عنوان یک مانع مطرح است
۵	**هزینه اجرا، بهره برداری و نگهداری راهکار**	**۵۵۰ میلیارد تومان**
۶	استفاده بهینه از زیرساخت های موجود	در مراحل اجرایی از زیرساختی استفاده نمی شود.

با توجه به عوامل اشاره شده در مشخصات هر راهکار و مقایسه آنها با یکدیگر، سناریوی انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک سد و ذخیره نمک به عنوان سناریوی گزینش‌شده دسته راهکارهای انتقال برای ارزیابی با سایر راهکارهای گزینش‌شده انتخاب شد. هم‌چنین، براساس نظر کمیته راهبری، راهکار خط انتقال به خلیج فارس نیز که به عنوان راهکار منتخب بخشی از سازمان‌های وابسته به وزارت نیرو مطرح شده است، در فرآیند ارزیابی مورد نظر قرار گرفت.

۸. ۵. نتایج مدل سازی کیفیت مخزن در سناریوی گزینش‌شده خط انتقال

در این بخش نتایج مدل سازی کیفیت مخزن مربوط به سناریوی گزینش‌شده راهکار خط انتقال ارائه می‌شود که در آن از دبی ورودی به مخزن بر اساس مدل CGCM3 با ضریب ۰/۸۵ استفاده‌شده است. در این سناریو EC آب پایین‌دست به ۱۱۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر محدود شده و در مواقعی که قابل تأمین نبوده به ۱۲۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر محدود شده است. برای تأمین این میزان EC در تمام زمان‌ها، دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی و مجرای GRP به‌صورت متغیر با زمان محاسبه می‌شود. بیان این نکته ضروری است که دبی خط انتقال بعد از راه‌اندازی برابر ۱ مترمکعب بر ثانیه منظور شده است. شکل ۸-۷ شرایط کیفی مخزن را در طول دوره پانزده ساله مدل سازی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۷- الف) جرم نمک موجود در مخزن، متوسط هدایت الکتریکی خروجی از مخزن و نیروگاه ب) غلظت نمک در ترازهای مختلف ج) ترازهای مربوط به غلظت‌های مختلف نمک برای سناریوی نمایی راهکار خط انتقال (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر و دبی خط انتقال برابر با ۱ مترمکعب بر ثانیه)

در شکل ۸-۷ (الف) منحنی آبی‌رنگ جرم نمک موجود در مخزن را نشان می‌دهد، منحنی قرمزرنگ متوسط EC آب خروجی از مخزن را نمایش می‌دهد و منحنی مشکی‌رنگ تغییرات EC مربوط به آب خروجی از نیروگاه را نشان می‌دهد.

شکل ۸-۷ (ب) غلظت در ترازهای مختلف را نمایش می‌دهد. به دلیل اینکه غلظت ترازهای ۹۰ و ۱۰۰ اختلاف بسیار زیادی با غلظت ترازهای ۱۲۴ و ۱۴۰ دارد، منحنی‌های مربوط به دو غلظت اخیر بسیار نزدیک محور افقی قرار گرفته است.

شکل ۸-۷ (ج) ترازهای مربوط به غلظت‌های ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب را به ترتیب از بالا به پائین نمایش می‌دهد. غلظت‌های پایین در تراز بالا قرار دارند و به سمت پایین غلظت‌ها افزایش می‌یابد. به دلیل اینکه در راهکار خط انتقال مقدار دبی نسبتاً پایینی از تخلیه کننده تحتانی خارج می‌شود، ترازهای شوری نسبت به راهکار مدیریت مخزن در پنج سال اول افزایش داشته است.

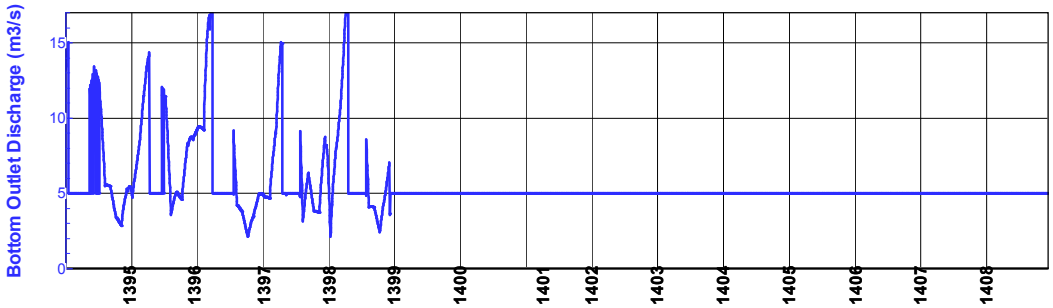
۸. ۵. ۱. تغییرات دبی مجرای GRP نسبت به زمان در سناریوی گزینش‌شده خط انتقال

تأمین هدایت الکتریکی مطلوب برای آب رها شده به پایین‌دست از مهم‌ترین اهداف راهکار خط انتقال است که برای

تأمین آن و اعمال محدودیت هدایت الکتریکی پایین‌دست، دبی خروجی از مجرای GRP در طول ۱۵ سال توسط مدل برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. عدم تخلیه دبی از مجرای GRP باعث تجمع نمک در مخزن در طول مدت پنج سال ساخت خط انتقال است که با راه‌اندازی خط انتقال و بهره‌برداری با سرعت زیادی تخلیه می‌شود.

۸. ۵. ۲. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی برای سناریوی گزینش‌شده خط انتقال

عملکرد تخلیه کننده تحتانی از دو منظر حائز اهمیت است. از یک‌سو دبی خروجی از تخلیه کننده دارای هدایت الکتریکی نسبتاً زیاد بوده و باعث افزایش متوسط EC آب خروجی می‌شود. از سوی دیگر عدم تخلیه از تخلیه کننده باعث بالا رفتن تراز شوری در داخل مخزن شده و ممکن است در شرایطی منجر به افزایش متوسط EC آب خروجی شود. در این سناریو سعی شده است که میزان دبی تخلیه کننده تحتانی طوری تنظیم شود که درعین‌حال که کمترین افزایش را در هدایت الکتریکی پایین‌دست ایجاد می‌کند، محدودیت‌های ترازهای شوری موردنظر را نیز تأمین نماید. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی با زمان برای سناریوی گزینش‌شده در شکل ۸-۸ نشان داده شده است.

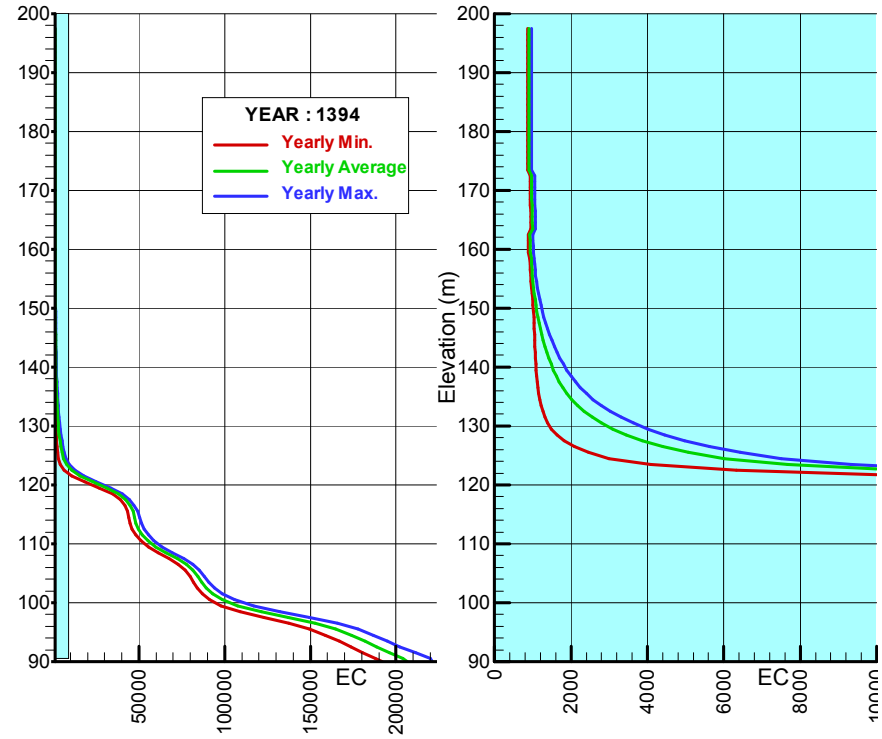


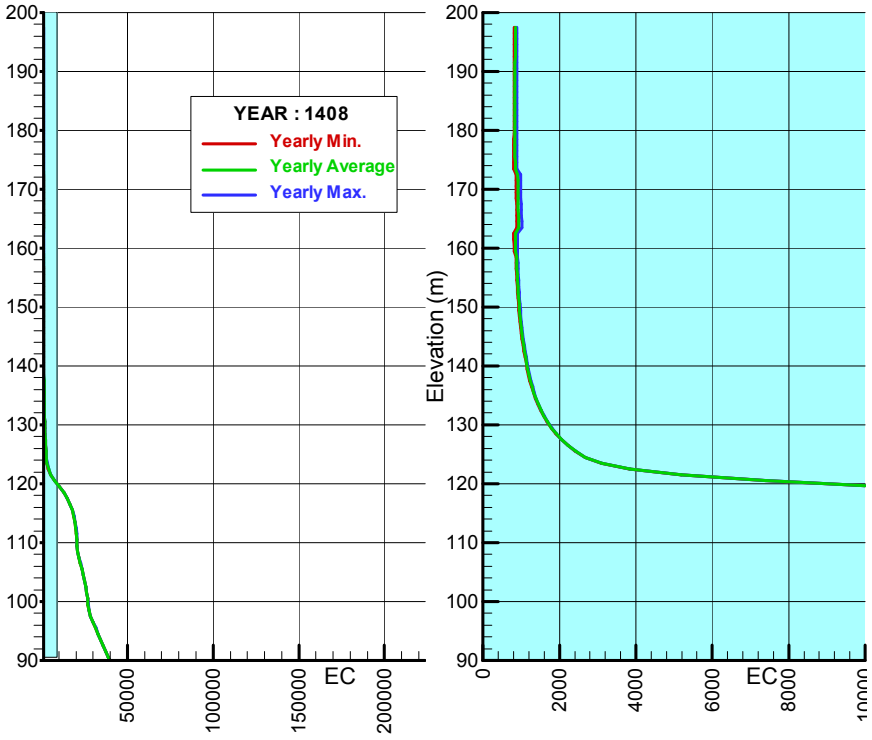
شکل ۸-۸-تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار خط انتقال (با دبی ورودی مخزن CGCM3 و هدایت الکتریکی ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر و دبی خط انتقال برابر با ۱ مترمکعب بر ثانیه)

۸. ۵. ۳. تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده خط انتقال

تغییرات مقدار EC در عمق مخزن در مدت ۱۵ سال برای سناریوی گزینش‌شده راهکار خط انتقال محاسبه شده است. اما برای رعایت اختصار نتایج برای سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۴۰۶ در شکل ۸-۹ نمایش داده شده است. منحنی قرمزرنگ مقدار کمینه-ای را که در طول سال موردنظر اتفاق می‌افتد، نشان می‌دهد. منحنی آبی‌رنگ مقدار بیشینه را در سال موردنظر مشخص می-کند و منحنی سبزرنگ متوسط سالانه را نمایش می‌دهد. به دلیل متفاوت بودن مقادیر EC بالای تراز ۱۲۰ با مقادیر زیر این تراز ، پروفیل تغییرات EC با عمق با دو مقیاس متفاوت در کنار هم نمایش داده شده است.

در پروفیل‌های زیر تراز ۱۲۰، مقادیر EC در پنج سال اول افزایش زیادی داشته است که دلیل آن بسته بودن کامل مجرای GRP است و نشان می‌دهد که جرم نمک داخل مخزن افزایش‌یافته است. بعد از ۵ سال با راه‌اندازی خط انتقال تغییرات غلظت در زیر تراز ۱۲۰ به‌سرعت روند کاهشی پیدا می‌کند که نشان‌دهنده عملکرد بسیار مؤثر خط انتقال است.

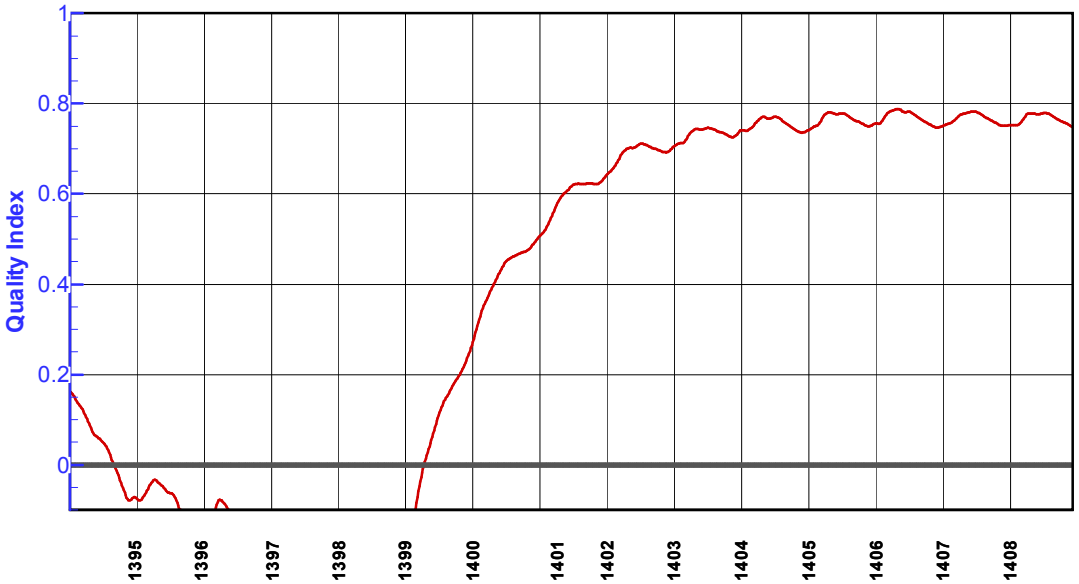




شکل ۸-۹-تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده راهکار خط انتقال (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر و دبی خط انتقال برابر با ۱ مترمکعب بر ثانیه)

۸. ۵. ۴. شاخص کیفیت برای سناریوی گزینش‌شده خط انتقال

روند تغییرات زمانی شاخص کیفیت آب مخزن (که نحوه محاسبه آن در گزارش مدل سازی کیفیت مخزن تشریح شده است) برای راهکار خط انتقال در شکل ۸-۱۰ نمایش داده شده است. چنانچه در شکل زیر مشاهده می‌شود در سال‌های قبل از راه‌اندازی خط انتقال، باوجوداینکه آب خروجی از مخزن با هدایت الکتریکی مطلوب به پایین‌دست منتقل می‌شود ولیکن به دلیل تجمع بالای نمک و تا حدی افزایش تراز شوری در مخزن، شاخص کیفیت شرایط مطلوبی ندارد و حتی در برخی زمان‌ها منفی نیز شده است. این در حالی است که بعد از راه‌اندازی خط انتقال، شاخص کیفیت به‌سرعت بهبود پیدا کرده و درنهایت به مقدار ۰/۸ می‌رسد.



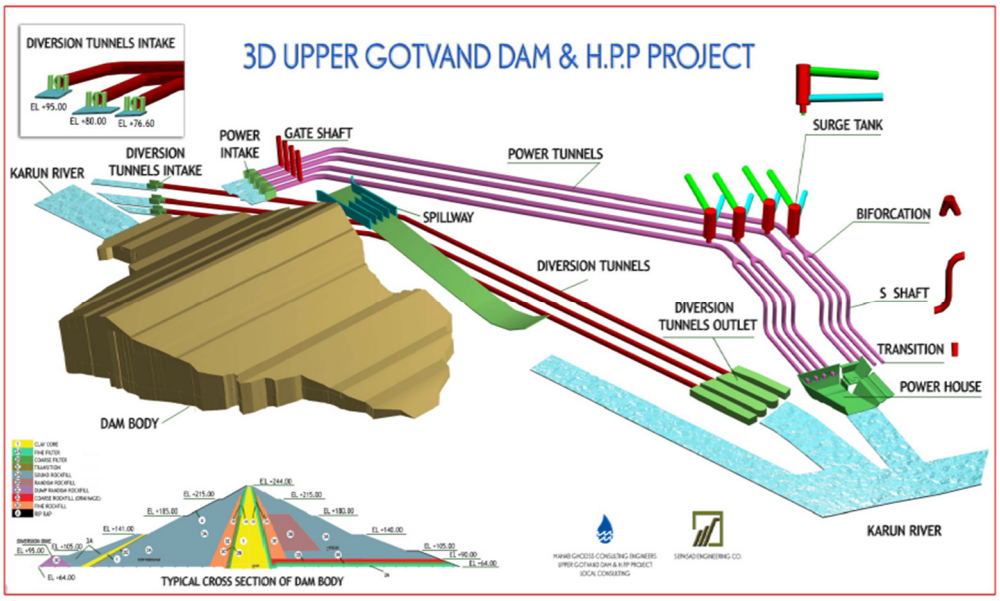
شکل ۸-۱۰- تغییرات شاخص کیفیت در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار خط انتقال (با دبی ورودی مدل CGCM3 و هدایت الکتریکی ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ و دبی تخلیه کننده تحتانی متغیر و دبی خط انتقال برابر با ۱ مترمکعب بر ثانیه)

۹. تبیین راهکار انحراف رودخانه

۹. ۱. مقدمه

نظر به لزوم بررسی راهکارهای محتمل برای انحراف جریان رودخانه کارون در حد فاصل ناحیه تماس با توده عنبل و در ابعاد بزرگتر انحراف جریان رودخانه از سد گتوند، در این گزارش به بیان محتمل‌ترین راهکارها که این امکان را میسر سازد پرداخته میشود. جهت مقایسه سناریوها برای سازه های اصلی هزینه ها بر اساس مقادیر مندرج در فهارس بها و استفاده از تجربه پیمانکاران و پروژه هایی مشابه که طی سالهای اخیر در کشور ساخته شده است استفاده شده و با فرض اختصاص بودجه کافی و مستمر، زمان اجرایی حداقل ۸ سال پیش‌بینی و قیمت ها بر این اساس تعدیل و مورد استفاده قرار گرفته است. بدیهی است در صورت لزوم بررسی بیشتر هر سناریو لازم است تا با فرصتی مناسب موضوع از دیدگاه مسایل مختلف مورد طراحی جزئی تر قرار گرفته و قضاوت نهایی به انجام برسد.

شکل ۹-۱ نمای شماتیک از سد گتوند و سازه های وابسته را نشان می دهد. جدول ۱ بر گرفته از مطالعات شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس خلاصه مشخصات هیدرولوژیک رودخانه کارون در ناحیه سد گتوند را ارائه می نمایند. لازم به ذکر است که مشخصات هیدرولوژیک جدول ۱ با توجه به بحث خشکسالی و تغییر اقلیم، از نظر بزرگی سیلاب‌هایی که برای دبی طراحی تونل های انحراف انتخاب شده اند، دست بالا و محافظه کارانه است.



شکل ۹-۱- نمای شماتیک از سد گتوند و تاسیسات جانبی

در شروع مطالعات حاضر راهکار انحراف رودخانه کارون که نیازمند احداث یک سری تونل های انحراف است، صرفا به عنوان یک ایده کلی بدون ذکر جزئیات مطرح شده بود. یکی از فعالیت های مهم و زمان بر انجام شده در مطالعات حاضر، پرورش این ایده در حدی است که بتوان اطلاعات کافی برای مقایسه این راهکار با سایر راهکارها فراهم گردد و بدین منظور انواع سناریوها در نظر گرفته شده است.

جدول ۹- ۱- خلاصه مشخصات هیدرولوژیک رودخانه کارون در ناحیه سد گتوند

مساحت کل حوزه آبریز بالادست محور سد	۳۲٬۴۲۵ کیلومتر مربع
متوسط بارندگی سالانه	۷۲۶ میلیمتر
میانگین دبی سالانه	۴۳۰ متر مکعب بر ثانیه
سیلاب ۱۰ ساله ورودی به مخزن با در نظر گرفتن اثرات سدهای بالادست	۴٬۴۰۰ مترمکعب در ثانیه
سیلاب ۵۰ ساله ورودی به مخزن با در نظر گرفتن اثرات سدهای بالادست	۶٬۴۰۰ مترمکعب در ثانیه
سیلاب ۱۰۰ ساله ورودی به مخزن با در نظر گرفتن اثرات سدهای بالادست	۷٬۲۵۰ مترمکعب در ثانیه
سیلاب ۵۰۰ ساله ورودی به مخزن با در نظر گرفتن اثرات سدهای بالادست	۹٬۷۰۰ مترمکعب در ثانیه
سیلاب ۱۰۰۰ ساله ورودی به مخزن با در نظر گرفتن اثرات سدهای بالادست	۱۱٬۷۰۰ مترمکعب در ثانیه
سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله ورودی به مخزن با در نظر گرفتن اثرات سدهای بالادست	۱۵٬۱۰۰ مترمکعب در ثانیه
حداکثر سیلاب محتمل PMF با در نظر گرفتن اثرات سدهای بالادست	۲۰٬۱۵۰ متر مکعب برثانیه
متوسط رسوب سالیانه	۵٬۷۵۵٬۰۰۰ تن در سال

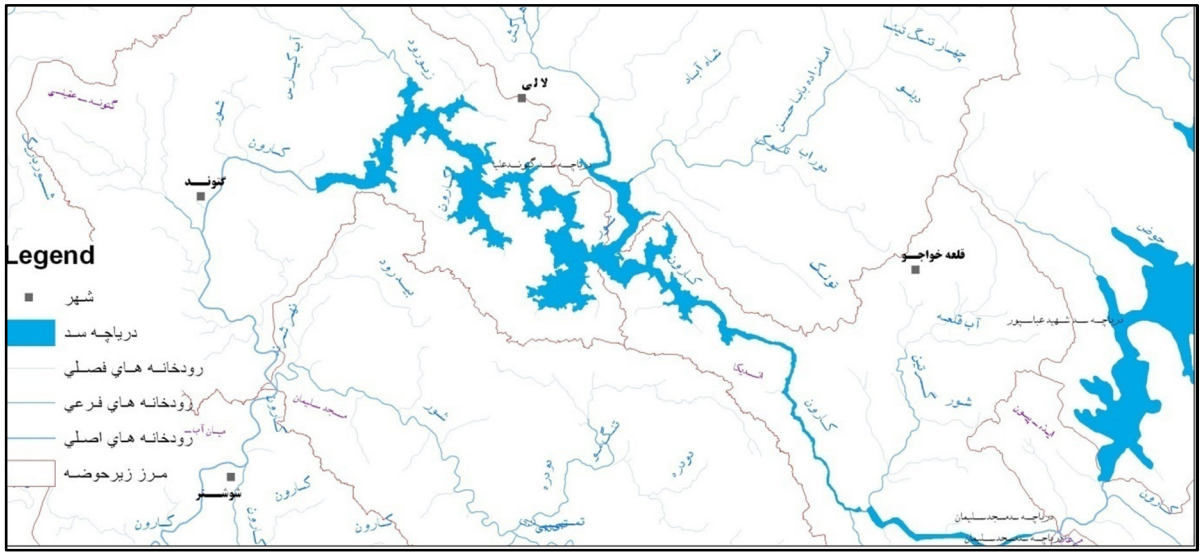
قبل از بررسی بیشتر و به عنوان مقدمه، لازم به توضیح است که رودخانه کارون در حد فاصل سد مسجد سلیمان تا سد گتوند حدود یک میلیارد متر مکعب در سال آورد میان حوضه دارد که بخشی از آن مربوط به رودخانه هایی است که در این فاصله به به مخزن سد می پیوندند. در این برآورد وضعیت خشکسالی سال‌های اخیر لحاظ شده است. شکل شماره ۲-۱۱ شمای کلی مخزن و رودخانه های منطقه را نشان میدهد.

همان طور که در شکل ۹-۲ ملاحظه می‌شود، به طور مشخص رودخانه های شور لالی، که از به هم پیوستن دو رودخانه شور و تالوک تشکیل می‌شود، و رودخانه زیو رود وارد مخزن سد گتوند می‌شوند. رودخانه دیگری که وارد مخزن می‌شود، رودخانه گالی شور لالی است که حوضه آبریز کوچکی داشته و در منطقه جنوب غربی شهر لالی به سمت مخزن سد جریان دارد و نام آن در شکل دیده نمی شود.

آورد حدود یک میلیارد متر مکعبی میان حوضه سد گتوند مانع از این می‌شود که حتی با فرض انحراف کامل آب کارون در بالادست، بتوان مخزن سد را خشک نمود.

در صورت انحراف رودخانه کارون از طریق احداث تونل‌های انحراف، علاوه بر آورد میان حوضه، به دلیل عدم کفایت ظرفیت های تونل های انحراف رودخانه کارون جهت عبور کلیه سیلاب‌های رودخانه، بخشی از سیلاب‌های کارون همچنان وارد مخزن سد خواهند شد.

در ادامه گزارش، پس از معرفی سناریوهای بررسی شده، سناریوی گزینش‌شده معرفی می شود. سپس به تفصیل به نقش آورد میان حوزه ای و ورود بخشی از سیلابها به مخزن سد گتوند، بر عملکرد سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف آب کارون خواهیم پرداخت.



شکل ۹-۲- مخزن سد گتوند و رودخانه های مجاور

۹. ۲. سناریوهای بررسی شده

ایده اصلی راهکار انحراف رودخانه کارون، احداث تونل‌های انحراف جهت هدایت آب خروجی از سد مسجد سلیمان قبل از تماس با نمک های تجمع یافته در مخزن سد و توده عنبل، و چشم پوشی از قابلیت تولید برق سد است. بدین ترتیب امید می‌رود که بتوان آب با کیفیت مناسب به پایین دست تحویل داد. البته همان طور که گفته شد به ناچار باید بخشی از آب از مسیر اصلی رودخانه و مخزن سد عبور کرده و لذا آب تخلیه شده از مخزن سد که لابد شوری قابل ملاحظه خواهد داشت، با آب با کیفیت مناسبی که از بالادست از مسیر تونل های انحراف به پایین دست سد هدایت شده، ترکیب شده و آبی که در نهایت در پایین دست سد گتوند جاری خواهد شد، از نظر کیفیت به خوبی آب منحرف شده از تونل های انحراف نخواهد بود.

این ایده بسط یافته همان مطلبی است که در نامه رسمی شماره ۶۰۵/۹۳/۶۸۴۲۸ مورخ ۹۳/۱۱/۱۵ وزارت جهاد کشاورزی به شکل زیر پیشنهاد شده است:

«یک راهکار احتمالی که بایستی دقیقا مطالعه و بررسی گردد تخلیه تدریجی سد و بررسی امکان انحراف آب در بالادست مانند انحراف آب در زمان ساخت سد [است]. البته بایستی هزینه ها و خسارت های ناشی از این عملیات که به کشاورزان و ذینفعان پایین دست وارد می‌شود برآورد و نسبت به جبران آن اقدام شود.». چنین به نظر می‌رسد که پیشنهاد دهنده فرض کرده که به ناچار آبی که در پایین دست تحویل خواهد شد، از کیفیت لازم برخوردار نبوده و باعث بروز خسارت خواهد شد. همان طور که در ادامه خواهیم دید، این ایده به شکلی بسط داده شده است که کیفیت آبی که به تدریج از سد تخلیه می‌شود در حد امکان مناسب بوده و به کشاورزان خسارت وارد نکند.

در کنار این ایده اصلی نگاه های دیگری هم مطرح شده است. یک نگاه می‌تواند این باشد که سامانه انحراف را یک سامانه موقت تلقی کرده و پس از انحراف موقت، بتوان عملیات علاج بخشی در محدود سد و مخزن آن را انجام داده و مجددا کارون را به مسیر طبیعی خود برگرداند. بررسی بیشتر نشان داد که این ایده عملی نیست، زیرا همان طور که گفته شد، پس از انحراف آب، نمیتوان آب موجود در مخزن سد را خشک نموده و در خشکی عملیات علاج بخشی انجام داد. در حالت تر هم عملیات علاج بخشی موثری نمیتوان انجام داد و به طور مشخص آب شور موجود در مخزن سد همچنان هم مانع و هم مشکل

بزرگی است.

در خلال این مطالعه با توجه به توضیحات فوق سناریوهای مختلفی به شرح ذیل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است:

الف) سناریوی انحراف آب به پایین دست گتوند از تراز ۱۸۰ رودخانه

ب) سناریوی انحراف آب به پایین دست گتوند از تراز ۲۲۰ رودخانه

ج) سناریوی انحراف سد گتوند با کمک سدگتوند

د) سناریوی دور زدن توده عنبل

از میان سناریوهای اشاره شده دو سناریوی "ج" و "د" به دلایل مختلف کنار گذاشته شدند. در ادامه شرح مختصری از دلایل رد سناریوهای ج و د ارائه خواهد شد. سپس سناریوهای الف و ب با تفصیل بیشتری مورد بررسی قرارخواهند گرفت.

۹. ۳. سناریوی انحراف سد گتوند با کمک سد گتوند

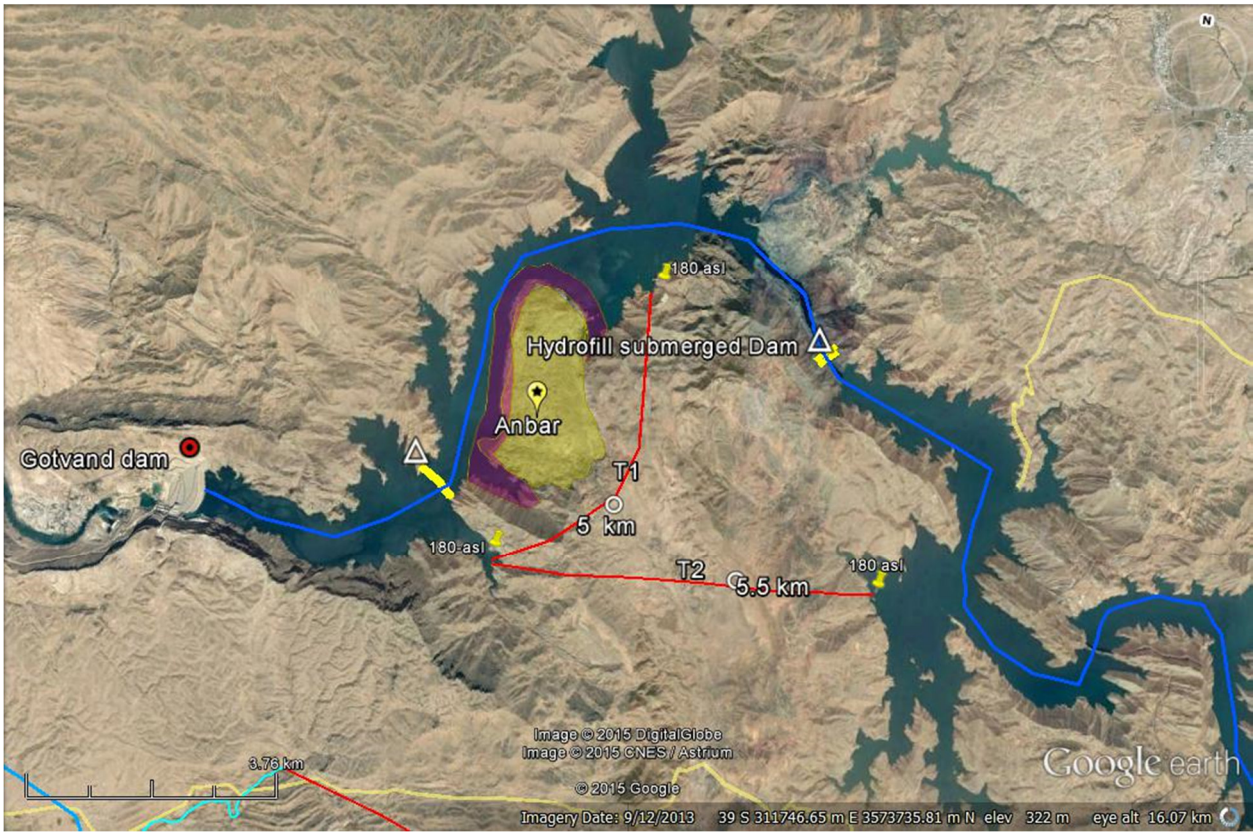
در این سناریو آب کشاورزی از رقوم ۱۸۰ از طریق تونلی به طول ۱۴ کیلومتر به اولین آبراهه جنوبی رسیده و پس از ساماندهی حدود ۲ کیلومتر از این آبراهه با استفاده از یک دهانه آبگیر، از طریق کانالی به طول ۱۵ کیلومتر آب به پشت سد تنظیمی منتقل می‌شود (شکل ۹-۳). در این سناریو لازم به ساخت سد انحرافی نمی‌باشد و صرفا فقط در طول زمانی که تونل مورد نظر در قسمت دهانه ورودی نیاز به عملیات دارد، تراز آب دریاچه می بایستی به ۱۸۰ کاهش یابد. بعد از اتمام کار امکان بالا آمدن تراز آب خواهد بود. به عبارت دیگر در این سناریو سد گتوند به قوت خود باقی است و وظیفه انحراف آب وکنترل سیلاب رودخانه کارون را خواهد داشت.

در این سناریو کماکان آب مخزن سد در تماس با توده عنبل بوده و نمک های جدید ناشی از انحلال و شوری ورودی از سایر منابع به داخل مخزن سد، بعلاوه نمک موجود در مخزن را می بایستی با روش مدیریت مخزن به پایین دست هدایت کرد. از طرفی کیفیت آب خروجی از تونل، مشابه کیفیت آب خروجی از نیروگاه در گزینه مدیریت مخزن می باشد. در حالی‌که در راهکار مدیریت مخزن هزینه ای برای ساخت سازه های جدید نمی شود. علاوه برآن در راهکار مدیریت مخزن عمده آورد رودخانه برای تولید برق به تونلهای آب بر نیروگاه جریان می یابند. در حالیکه در این سناریو عمده آورد رودخانه بدون امکان تولید برق از طریق تونل انحراف به پایین دست منتقل می شود. بدین دلایل این سناریو از دستور کار خارج شد. لازم به ذکر است که برای تخلیه نمک موجود در مخزن به پایین دست می‌توان از راهکار خط انتقال هم استفاده کرد و با استدلال مشابه، این سناریو هم قابل قبول نخواهد بود.

شکل ۹-۳- مسیر انحراف رودخانه با استفاده از بدنه سد گتوند

۹. ۴. سناریوی دور زدن توده عنبل

در این ایده سعی شد راهکاری اجرایی تعریف شود که بتواند توده عنبل را از مسیر حرکت رودخانه و تماس با آب دور کند. لازمه انجام این کار احداث دو سد بلند در بالادست و پایین دست توده عنبل و ایزوله کردن آن بود. این ایده به دلایلی نظیر مشکلات اجرایی احداث دو سد در داخل آب و نیاز به تلفیق با راهکار دیگری جهت تخلیه نمک داخل مخزن پذیرفته نشد. (شکل ۹-۴)



شکل ۹-۴- مسیر های دور زدن توده عنبل با استفاده از دو سد بلند در بالادست و پایین دست

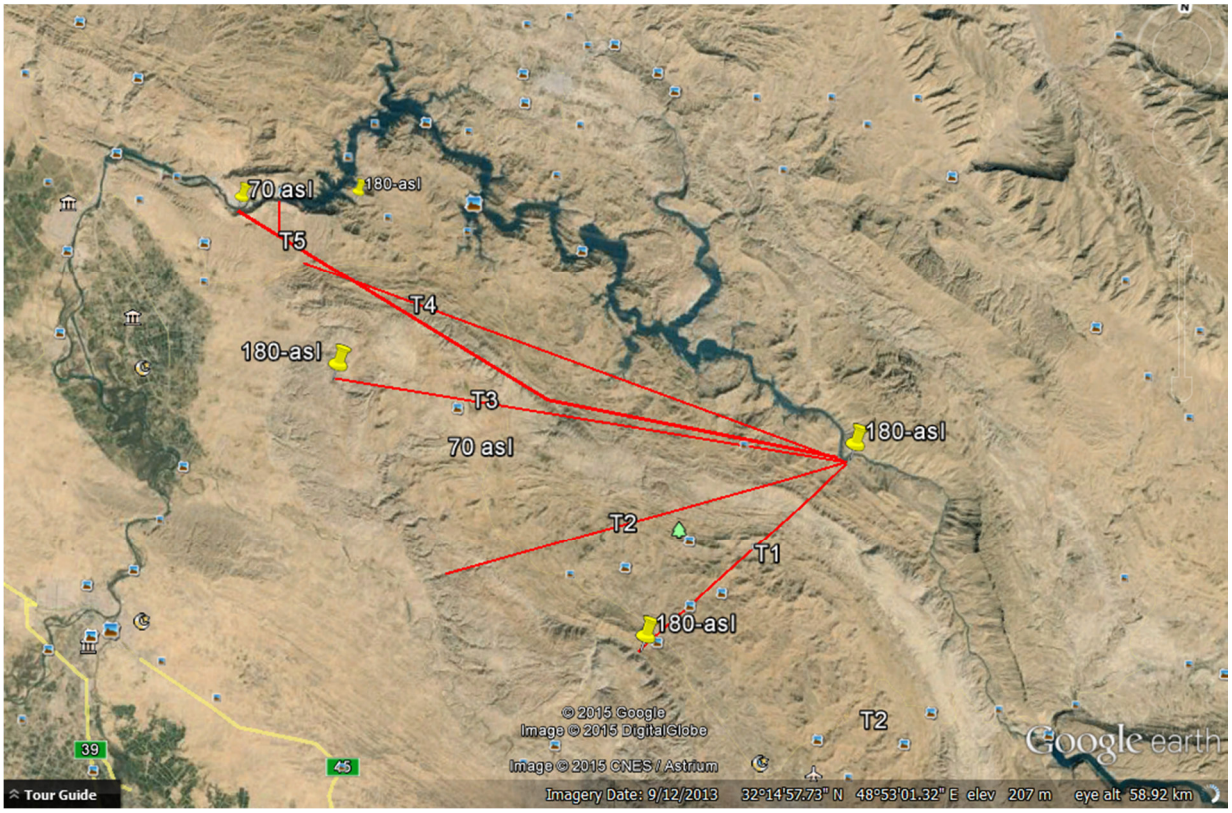
۹. ۵. سناریوی انحراف آب به پایین دست گتوند از تراز ۱۸۰ رودخانه

در ابتدا باید ذکر شود عملکرد دو سناریوی انحراف آب از تراز ۱۸۰ و تراز ۲۲۰ یکسان نمی باشد. سناریوی انحراف از تراز ۱۸۰ بدین منظور مورد بررسی قرار گرفته است که بتوان امکان انحراف کامل رودخانه کارون را بررسی کرد. البته لازمه ی انحراف کامل کارون، حفر یک کارون جدید در دل کوه است که قاعدتا غیر قابل بررسی است. ولی هر چه دبی انحراف بیشتر باشد، آب کمتری وارد مخزن سد شده و لذا می‌توان سهم بیشتری از آورد کارون را با کیفیت مشابه آب خروجی از سد گدار به پایین دست هدایت کرد. لازم به ذکر است که ظرفیت تونل های انحراف در زمان ساخت سد، ۴۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه بوده است و قاعدتا ظرفیت تونل های انحرافی که استفاده دراز مدت دارند، باید بیشتر باشد.

در اولین گام انحراف سیلابهای تا دوره بازگشت ۵۰ ساله برابر با ۶۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه (جدول ۱) در این سناریو دیده شده است. در حالی که در سناریوی انحراف از تراز ۲۲۰ هدف انحراف دبی پایه رها شده از سد گدار لندر قبل از تماس آن با توده عنبل و حداقل اختلاط آب با آب شور میان حوزه ای (حدفاصل سدهای گدار و گتوند) می باشد. در این صورت آب با کیفیت بهتری را می توان به رودخانه کارون بعد از سد گتوند منحرف نمود. همانطور که در ادامه گزارش مشاهده خواهید کرد، هزینه بسیار زیاد و زمان طولانی اجرای سناریوی انحراف از تراز ۱۸۰ ، همچنین رفع نکردن تمامی مشکلات موجود، نمایانگر این است که طراحی تونل های انحراف برای سیل های با دوره بازگشت زیاد عقلانی نمی باشد.

در سناریوی انحراف از تراز ۱۸۰، جریان آب از طریق تونل هایی که توسط دستگاه TBMحفاری می‌شود با شیب در حدود ۰.۵ در هزار آب را به آبراهه هایی که در یال جنوبی ارتفاعات جنوبی مخزن وجود دارند می‌رسانند(شکل ۹-۵).

همچنین لازم است در موقعیتی مناسب در امتداد بالادست رودخانه سدی احداث شود تا با ایجاد هد لازم، تونل‌های انحراف قادر به تخلیه سیلاب ۵۰ ساله باشند.



شکل ۹-۵- مسیر های تونل انحراف از تراز ۱۸۰ رودخانه

باید یادآور شد که با توجه به ورود رودخانه های شور لالی، زیو رود و گالی شور لالی به مخزن سد واز طرف دیگر عدم امکان انتقال سیلابهای فرا ظرفیت تونل ها و آوردهای بین حوضه ای امکان خشک کردن کامل پشت گتوند میسر نمی‌باشد. لذا انتظار اینکه با این روش کاملا بتوان سد را دور زده ودریاچه آنرا خشک کرد، میسر نخواهد شد.

با انجام محاسبات مقدماتی ۴ رشته تونل به قطر ۱۵ متر برای عبور سیلاب ۵۰ ساله برای انتقال آب در نظر گرفته شده است. اجرای خود این سازه ها نیازمند سامانه انحراف آب می باشد. با توجه به جانمایی سازه انحراف می‌توان از ابتدای این تونل ها با اجرای ادیت هایی نسبت به اجرای سیستم انحراف حین ساخت سازه های این سناریو نیز استفاده نمود.

تحلیل‌های اولیه نشانگر است که سدی به ارتفاع حدود ۵۰ متر برای ایجاد هد لازم بر روی تونلهای انحراف لازم می باشد. ساخت سد مخزنی در این سناریو علاوه بر افزایش ظرفیت تونلهای انحراف، امکان تسکین سیلاب در مخزن سد را فراهم میکند به‌گزینی ارتفاع سازه انحراف و قطر و تعداد تونل ها در صورت توجیه پذیر بودن این سناریو امکانپذیر است. لیکن با توجه به محدودیت اختلاف تراز پایین دست سد گدار لندر و تراز ۱۸۰ امکان ساخت سدی با ارتفاع بیش از ۵۰ متر میسر نمی باشد.

مشاهده می شود که ساخت چنین سازه هایی اعم از سد انحرافی و تونلهای انحراف، نیازمند خشک کردن رودخانه در محل کارگاه ساختمانی می باشد. محاسبات انجام شده با توجه به آورد رودخانه و نیز ظرفیت تخلیه آب مخزن سد گتوند، نشان می دهد که امکان خشک کردن کارگاه در تراز هایی پایین تر از ۱۸۰ وجود ندارد. به عبارتی دیگر اجرای این سناریو در

ترازهای کمتر از ۱۸۰ امکان عملی ندارد. از طرفی دیگر اجرای این سناریو در ترازهای بالاتر موجب کاهش هد بر روی تونلهای انحراف شده و در شرایط سیلابی ظرفیت آنها را کاهش می دهد. بنابراین تراز ۱۸۰ رودخانه برای اجرای این سناریو انتخاب شده است.

انتقال سیلاب از نقطه خروجی تونل ها تا رودخانه کارون از طریق کانال روباز مقدور نبوده و با توجه به حجم بالا و سرعت زیاد آب باید مسیر رودخانه شور برای خروج دبی سیلابی انتقالی ساماندهی شده تا بتواند علاوه بر دبی سیلابی مربوط به خود دبی سیلاب انتقالی را عبور دهد. این موضوع عامل بسیار محدود کننده ای در عملیاتی بودن این سناریو خواهد بود.

همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، در چهار مسیر T1 تا T4 ساماندهی مسیر رودخانه شور برای انتقال آب از ناحیه خروجی تونلهای انحراف تا رودخانه کارون لازم می باشد. مسیر T1 کوتاه ترین طول تونل و بیشترین طول ساماندهی رودخانه را شامل می شود. بررسی های انجام شده نشان می دهد با توجه به هزینه بالای ساخت تونل، طول تونل، کنترل کننده هزینه کل مسیر می باشد. بنابراین از بین مسیرهای T1 تا T4، مسیر T1 کمترین هزینه را دارا می باشد.

در صورتیکه مطالعات تکمیلی آتی نشان دهد به لحاظ مسائل هزینه اجرا، مورفولوژی مسیر و زمین شناسی مسیر امکان ساماندهی مسیر رودخانه فراهم نباشد، مسیر T5 که در آن تمام مسیر انتقال با تونل فراهم شده است، در نظر گرفته می شود. در این مسیر طول هر رشته تونل با قطر ۱۵ متر، ۳۷ کیلومتر می باشد. در حالیکه طول بخش تونلی مسیر T1 ۱۵ کیلومتر برآورد شده است.

در جدول ۹-۲ هزینه های اجرایی دو مسیر T1 و T5، مورد مقایسه قرارگرفته اند.

جدول ۹-۲: خلاصه مشخصات هزینه اجرایی دو مسیر T1 و T5 گزینه انحراف از تراز ۱۸۰.

گزینه انحراف با تونل و ساخت سد انحرافی در تراز ۱۸۰ رودخانه و عبور سیلاب تا دوره بازگشت ۵۰ ساله				
مسیر	طول هر تونل با قطر ۱۵ متر	ارتفاع سد	ساماندهی رودخانه شور	
	کیلومتر	متر	کیلومتر	
T1	۱۵	۵۰	۶۰	
T5	۳۷	۵۰	-	

هزینه های قابل پیش بینی (میلیارد ریال)							
مسیر	تونل ها	سد انحرافی	ساماندهی آبراهه شور برای دفع سیلاب	سازه های کنترلی	جمع	جمع با ضرایب	عدم النفع تولید برق	جمع کل
T1	۳۰۰۰۰	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰	۳۰۰	۴۷۸۰۰	۶۸۰۰۰	۶۷۰۰۰	۱۳۵۰۰۰
T5	۷۴۰۰۰	۷۵۰۰	-	۳۰۰	۸۱۸۰۰	۱۱۷۰۰۰	۶۷۰۰۰	۱۸۴۰۰۰

پیش‌بینی می شود ساخت سامانه انحراف آب و تونلهای انحراف حداقل ۸ سال به طول انجامد. هزینه اجرای هر کیلومتر تونل انتقال آب با دستگاه TBM به قطر تمام شده ۱۵ متر و لاینینگ بتنی در حد ۰.۵ متر و ساخت پرتالهای ورودی ادیت ها و تجهیزات لازم هر کیلومتر معادل ۵۰۰ میلیارد ریال پیشبینی میگردد.

به این هزینه ها مجموعه هزینه عدم النفع تولید برق نیروگاه در طول عمر مفید آن به کل هزینه های طرح افزوده می-شود. با فرض روزانه ۱۰ میلیارد ریال درآمد و سرمایه اولیه ۲۰ هزار میلیارد ریال برای نیروگاه در صورت فرض نرخ بهره ۷٪ ارزش سرمایه از دست رفته برای کارکرد ۴۵ سال آتی نیروگاه به ارزش امروز معادل با ۶۷ هزار میلیارد خواهد شد.

می توان مشاهده نمود که کل هزینه های این سناریو با در نظر گرفتن هزینه های عمرانی و هزینه عدم النفع تولید برق به ترتیب برای مسیرهای T1 و T5 به ترتیب برابر با ۱۳۵ و ۱۸۴ هزار میلیارد ریال می باشد. این در حالی است که این سناریو مشکل نمک موجود در مخزن را حل نمی کند و در آینده نیز به لحاظ ورود آب میان حوضه (در مجموع ۱.۶ میلیارد متر مکعب) بر تجمع نمک موجود مخزن سد خواهد افزود. بنا براین می توان نتیجه گرفت که این سناریو که حداکثر می‌تواند دبی با دوره برگشت ۵۰ ساله را از خود عبور دهد به دلیل مشکلات اجرایی، هزینه بسیار زیاد و نیز حل نکردن تمامی مشکلات، قابل اجرا نمی باشد. بدیهی است که ایده انتخاب دبی سیل با دوره های بازگشت بیش از ۵۰ سال به مراتب مشکلات اجرایی و هزینه های بیشتری را تحمیل خواهد نمود و طبیعتا قابل بررسی نخواهد بود.

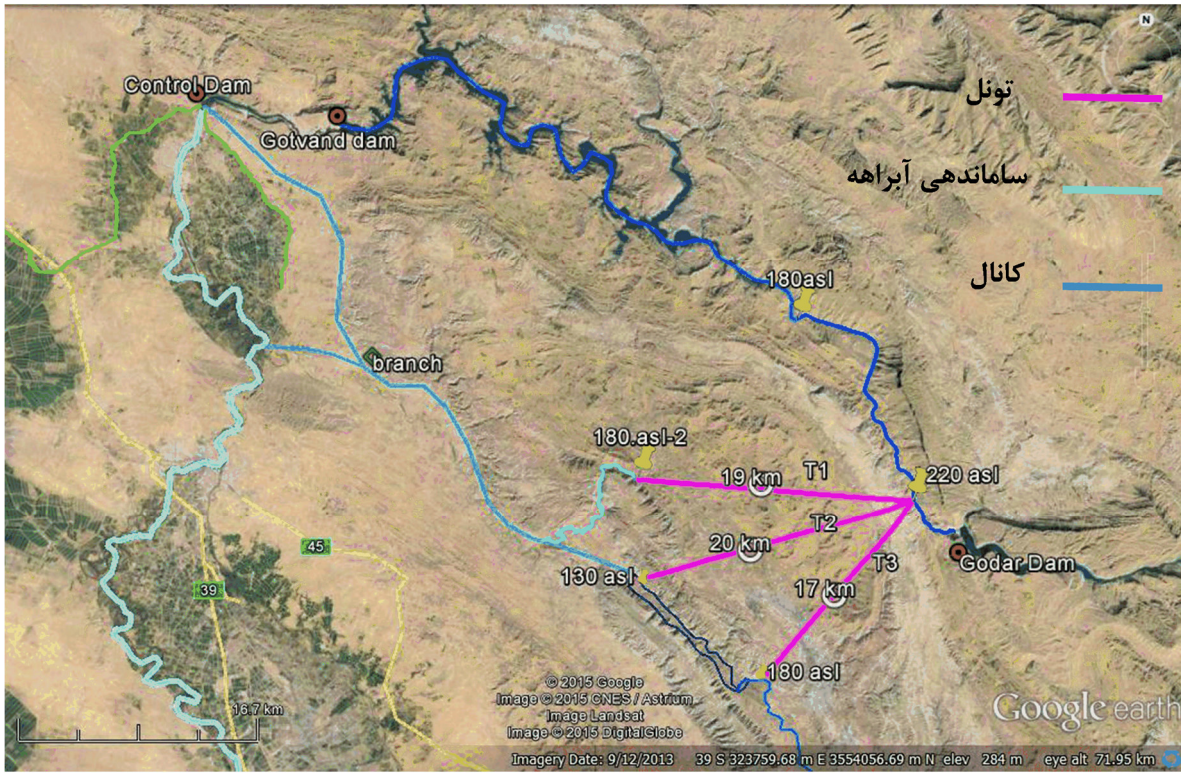
۹. ۶. سناریوی انحراف آب به پایین دست گتوند از تراز ۲۲۰ رودخانه

در سناریوهای انتقال از نقطه تراز ۱۸۰ رودخانه کارون الزاما باید آب دریاچه سد گتوند تا این تراز پایین آورده شود. در طول دوران ساخت سناریوی انحراف از تراز ۱۸۰که حداقل ۸ سال پیش‌بینی می‌گردد، نیروگاه این سد با راندمان پایین عملکرد خواهد داشت یا اساسا از مدار خارج خواهد بود. لذا با وجود سد گدار در فاصله کمتر از ۵۰ کیلومتری بالادست نقطه تراز ۱۸۰ این امکان نیز وجود دارد تا از ترازی حدود ۲۲۰ بدون نیاز به سازه سد انحرافی و پایین آوردن تراز آب سد گتوند عملیات ساخت تونل های انحراف را انجام داد. هدف از این سناریو انحراف حداکثر دبی پایه فصلی پایه رها شده از سد گدار لندر (۱۰۰۰متر مکعب بر ثانیه) می باشد. دلایل انتخاب دبی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه به شرح ذیل می باشد:

۱- عمده دبی پایه رودخانه و پیک های فصلی آن را منتقل میکند
۲- حجم آب مازاد بر آن با احتساب آورد میان حوضه حدود ۱.۶ میلیارد متر مکعب است. این همان حجمی است که در صورت انحراف کارون همچنان وارد مخزن سد خواهد شد. انتخاب دبی های کمتر باعث خواهد شد که حجم بیشتری وارد مخزن سد شده و بخش کمتری از دبی خروجی از سد مسجد سلیمان منحرف شود.
۳- هر چند حدود یک پنجم آورد کارون همچنان وارد مخزن میشود ولی مشکلات اجرایی انحراف دبی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه بسیار کمتر است از دبی های بزرگتری که حجم کمتری از کارون را وارد مخزن میکنند.

آب انحرافی قبل از تماس آن با توده عنبل و قبل از اختلاط آن با آب شور میان حوزه ای (حدفاصل سدهای گدار و گتوند) دارای کیفیت مناسبتری می باشد. در این صورت در این سناریو آب با کیفیت بهتر را می توان به رودخانه کارون بعد از سد گتوند منحرف نمود. لازم به توضیح است که هر یک از مسیرهای سه گانه شکل۹-۶، متشکل از سه رشته تونل به قطر تمام شده ۱۰ متر می باشد. حداکثر ظرفیت سه تونل یاد شده گذر ۱۰۰۰ متر مکعب می باشد.

در این سناریو سه حالت زیر مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۹-۶)



شکل ۹-۶- مسیرهای مختلف سناریوی انحراف از تراز ۲۲۰.

مسیر ۱- نقطه شروع این مسیر (T1) در پایین دست سد گدار و در تراز ۲۲۰ قرار دارد و خروجی آن در دره جنوبی است که با طول تونلی برابر با ۱۹ کیلومتر میتواند مسیر انتقال باشد. از نقطه خروجی تونل تا رساندن آب به رودخانه کارون می توان تواما از ساماندهی مسیر رودخانه شور همراه با ساخت کانال استفاده نمود.

مسیر ۲- در این سناریو با طول تونلی در حد ۲۰ کیلومتر این امکان وجوددارد که در صورت عدم امکان ساماندهی آبراهه انتقالی به دلیل وجود پل ها و راههای دسترسی مجاور آبراهه مورد نظر در مسیر ۱، تمامی ادامه مسیر با ساخت کانال انجام گیرد.

مسیر ۳ - نیز با طول تونلی کوتاهتر در حد ۱۷ کیلومتر امکان انتقال آب را به دره جنوبی میسر می‌نماید. می توان مشاهده نمود که این مسیر با طول کوتاهتر تونل، دارای طول بیشتر کانال و ساماندهی مسیر می باشد.

در تمامی این مسیر ها حد اقل ۳ رشته تونل به قطر ۱۰ متر که آب را بعد از سد گدار از طریق یک سازه مقسم و پرتال ورودی قابل کنترل دریافت و به صورت جریان آزاد یا با هد کم انتقال می‌دهد.

در این سناریو به دلیل عدم نیاز به ساخت سد انحرافی از یک طرف و از طرف دیگر کوتاهتر بودن طول تونل ها هزینه های عملیات بسیار کمتر از سناریوی انحراف از تراز ۱۸۰ خواهد بود. با استفاده از اختلاف هد ورودی و خروجی های تونل امکان ساخت نیروگاههای جدید نیز میسر خواهد بود.

جدول ۹-۳ هزینه های محاسبه شده برای هر مسیر را نشان می دهد.

جدول۹-۳: خلاصه مشخصات و هزینه اجرایی مسیر های گزینه انحراف از تراز ۲۲۰.

سناریوی بای پس با تونل از پایین دست سد گدار از تراز ۲۲۰								امکان ساخت		
مسیر	طول هر رشته تونل	سازه ورودی	ساماندهی رودخانه	طول کانال آصلی	طول کانال های فرعی	سازه مقسم	بند تنظیمی	نیروگاه جریانی		
	کیلومتر		کیلومتر	کیلومتر	کیلومتر					
T1	۱۹	دارد	۱۳	۱۸.۵	۲۵	۱	۰	دارد		
T2	۲۰	دارد	۲	۲۲	۲۵	۱	۰	دارد		
T3	۱۷	دارد	۵	۲۲	۲۵	۱	۱	دارد		

هزینه های قابل پیشبینی (میلیارد ریال)									
مسیر	تونل ها	سد انحرافی	ساماندهی آبراهه	کانال اصلی	کانال فرعی	سازه مقسم و بند	جمع	جمع با ضرایب	عدم النفع تولید برق	جمع کل
T1	۱۷۱۰۰	۲۰۰	۲۶۰	۲۷۷۵	۲۵۰۰	۱۰۰	۲۲۹۳۵	۳۲۷۹۷.۰۵	۳۰۰۰۰	۶۲۸۰۰
T2	۱۸۰۰۰	۲۰۱	۴۰	۳۳۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰	۲۴۱۹۱	۳۴۵۹۳.۱۳	۳۰۰۰۰	۶۴۶۰۰
T3	۱۵۳۰۰	۲۰۲	۱۰۰	۳۳۰۰	۲۵۰۰	۱۵۰	۲۱۵۵۲	۳۰۸۱۹.۳۶	۳۰۰۰۰	۶۰۸۰۰

به دلیل اینکه در طول مدت اجرای طرح، نیروگاه سد گتوند مشابه با شرایط حاضر در مدار خواهد بود و برق تولید می-نماید از منافع نیروگاه سد در تمام مدت پروژه که حداقل ۸ سال پیش‌بینی می‌گردد ، تمام ظرفیت استفاده می‌شود. لیکن پس از انتقال آب از طریق تونل ها عملا آب به نیروگاه نرسیده و تولید برق منتفی خواهد شد.

هزینه عدم النفع ناشی از عدم فعالیت نیروگاه پس از ۸ سال از شروع پروژه با احتساب نرخ بهره ۷٪ و سرمایه اولیه ۲۰ هزار میلیارد ریال حدود ۳۰ هزار میلیارد برآورد می‌شود. یاد آوری می شود که هزینه عدم النفع برای گزینه انحراف از تراز ۱۸۰ ، ۶۷ هزار میلیارد دلار محاسبه شده است.

همانطور که مشاهده می شود هزینه کل مسیرهای مختلف این سناریو در دامنه ۶۰ تا ۶۵ هزار میلیارد ریال قرار می گیرد. مجموع هزینه های این سناریو بسیار کمتر از سناریوی انحراف از تراز ۱۸۰ بوده و به عنوان سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه کارون پیشنهاد می شود.

در این راهکار همانطور که ذکر شد فرض می‌شود که ساخت تونل‌ها و سیستم انحراف حداقل ۸ سال طول بکشد. بنابراین باید درطول این ۸ سال، بهره‌برداری از مخزن، با مدیریت مخزن صورت گیرد. در طول این هشت سال هدایت الکتریکی پایین‌دست به ۱۳۰۰ محدود شده و مقدار دبیGRP و تخلیه کننده تحتانی متغیر با زمان توسط مدل محاسبه شده است. جزئیات این محاسبات در گزارش مدیریت مخزن آمده است.

در سناریوی انحراف از تراز ۲۲۰ که ظرفیت تونل‌های انحراف حدود ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه میباشد، حجم این دو نوع آورد یعنی سیلاب های مازاد بر ظرفیت تونل های انحراف و آورد میان حوضه در مجموع ۱.۶ میلیارد متر مکعب، معادل ۵۰ متر مکعب بر ثانیه، برآورد می‌شود. یعنی تقریبا یک پنجم آورد رودخانه همچنان وارد مخزن سد شده و چهار پنجم آن منحرف

خواهد شد. با توجه به توضیحات فوق در راهکار انحراف کارون، نه تنها امکان خشک کردن مخزن سد وجود ندارد، بلکه به طور متوسط باید دبی ۵۰ متر مکعب بر ثانیه از سد گتوند تخلیه شود.

در هر صورت باید این نکته را در نظر داشت که عدم امکان خشک کردن مخزن سد به معنای عدم تغییر میزان آورد نمک در راهکار انحراف آب نسبت به سایر راهکارهاست. به بیان دیگر وزن نمکی که در این راهکار باید به نحو مقتضی مدیریت شود در راهکار انحراف آب مشابه سایر راهکارهاست و اگر از مسیر تونل های انحراف آب های با شوری کمتر را به پایین دست هدایت کنیم، از آن جا که وزن کل نمک تغییر نکرده، باقیمانده نمک ها وارد مخزن سد گتوند علیا شده و به ناچار باید به تدریج تخلیه شوند. بدین ترتیب راهکار انحراف آب باید به ناچار با یکی از راهکارهای مدیریت مخزن یا خط انتقال ترکیب شده و به تنهایی ناقص است.

محاسبات انجام شده که جزئیات آن در گزارش مدیریت مخزن انعکاس یافته است، نشان می دهد که در دوران بهره برداری از سامانه انحراف، و در شرایطی که بخواهیم با مدیریت مخزن هدایت الکتریکی آب مخلوط شده و رها شده به پایین دست را در حد ۱۳۰۰ نگه داریم، حجم نمک داخل مخزن نه تنها کاهش نمی یابد بلکه به صورت تجمعی روند افزایشی خواهد داشت. این بدان معنی است که سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف با وجود هزینه بسیار بالا حتی با ترکیب با راهکار مدیریت مخزن نمی تواند مشکل موجود را حل نماید. لذا برای حل مشکل، ناچار به ترکیب این راهکار با راهکار انتقال آب از طریق لوله GRP می باشیم.

از نظر مفهومی این یک مشکل جدی است که در راهکار انحراف آب کارون هم باید هزینه های اضافی تحمل کنیم و هم نهایتا دوباره یکی از سایر راهکارها را اجرا کنیم. بررسی بیشتر بر روی این راهکار به امید تحویل آب با کیفیت بهتر به پایین دست انجام شد و با توجه به عملکرد بهتر خط انتقال در بحث کیفیت آب رودخانه پایین دست، راهکار انحراف آب با راهکار خط انتقال تلفیق شد و البته مشخص است که چنین دستاورد احتمالی، یعنی تحویل آب با کیفیت بهتر به پایین دست، به قیمت صرف هزینه خیلی بیشتر و تجمع بیشتر نمک در مخزن سد خواهد بود. همان طور که در گزارش مدیریت مخزن به تفصیل شرح داده شده است، کیفیت آب رودخانه در پایین دست به دلیل لزوم تخلیه نمک، بهبود مشخصی نسبت به سایر راهکارها نخواهد یافت.

۹. ۷. سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف آب کارون به پایین دست گتوند

در نهایت از بین ایده های مختلف مطرح شده و بسط یافته که در بخشهای قبلی توضیح داده شد، تنها ایده قابل بررسی انحراف کارون با دبی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه انتخاب شد. انتقال این دبی نیازمند حفر سه رشته تونل به ابعاد تقریبی ۱۰ متر است. با توجه به عظمت مخزن سد گتوند علیا، طول این تونل ها خیلی زیاد خواهد بود و هزینه های اجرا در حدی زیاد خواهد بود که اصل راهکار را زیر سوال ببرد. به منظور اقتصادی و عملی شدن این راهکار و با لحاظ کردن هزینه های خیلی زیاد تونل های انحراف نسبت به کانالهای روباز، فرض شده که بخشی از مسیر انحراف را کانالهای روباز تشکیل دهند. احداث یک کانال مصنوعی به منظور انتقال دبی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه نیز یک طرح بلند پروازانه تلقی شده و اجرایی شدن آن نیاز به بررسی های بیشتر دارد. با این وجود در این سطح از مطالعات و صرفا برای قابل قبول کردن راهکار انحراف آب، فرض شد که مشکلات اجرایی و فنی احداث کانال روباز برای انتقال دبی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه قابل حل است. در عمل مجبور هستیم از بخشی از آبراهه های طبیعی موجود در منطقه هم استفاده کنیم.

لذا مشخصات کلی راهکار مورد بررسی در حالت انحراف آب به شرح زیر است:

۱- دبی طراحی ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه
۲- تلفیق راهکار انحراف رودخانه با راهکارخط انتقال
۳- ترکیبی از تونل و کانال روباز انحراف آب و آبراهه های طبیعی
۴- انتقال از تراز ۲۲۰

۹. ۷. ۱. جمع بندی و نتیجه گیری

برای بررسی امکان انحراف و یا برچیدن سد گتوند سناریوهای مختلف مورد بررسی و مطالعه مقدماتی قرار گرفته است. سناریوهای مورد بررسی عبارتند از:

الف) سناریوی انحراف آب به پایین دست گتوند از تراز ۱۸۰ رودخانه
ب) سناریوی انحراف آب به پایین دست گتوند از تراز ۲۲۰ رودخانه
ج) سناریوی انحراف سد گتوند با کمک سدگتوند
د) سناریوی دور زدن توده عنبل

در این گزارش کلیاتی از دو سناریوی ج و د ارائه شده ولی سناریوهای انحراف از تراز ۱۸۰ و انحراف از تراز ۲۲۰ با تفصیل بیشتری مورد بحث قرار گرفته اند.

در سناریوی انحراف سد گتوند با کمک سدگتوند کماکان آب مازاد بر ظرفیت تونل انحراف در معرض توده عنبل قرار گرفته و باعث انحلال آن خواهد شد. از طرفی کیفیت آب خروجی از تونل، مشابه کیفیت آب خروجی از نیروگاه در راهکار مدیریت مخزن می باشد. در حالیکه در راهکار مدیریت مخزن هزینه ای برای ساخت سازه های جدید نمی شود. علاوه برآن در گزینه مدیریت مخزن عمده آورد رودخانه برای تولید برق به تونلهای آب بر نیروگاه جریان می یابند. در حالیکه در این سناریو عمده آورد رودخانه بدون امکان تولید برق از طریق تونل انحراف به پایین دست منتقل می شود. بدین دلایل این سناریو از دستور کار خارج گردید.

سناریوی دور زدن توده عنبل به دلایلی نظیر مشکلات اجرایی احداث دو سد در داخل آب و نیاز به تلفیق با راهکار دیگری جهت تخلیه نمک داخل مخزن پذیرفته نشد

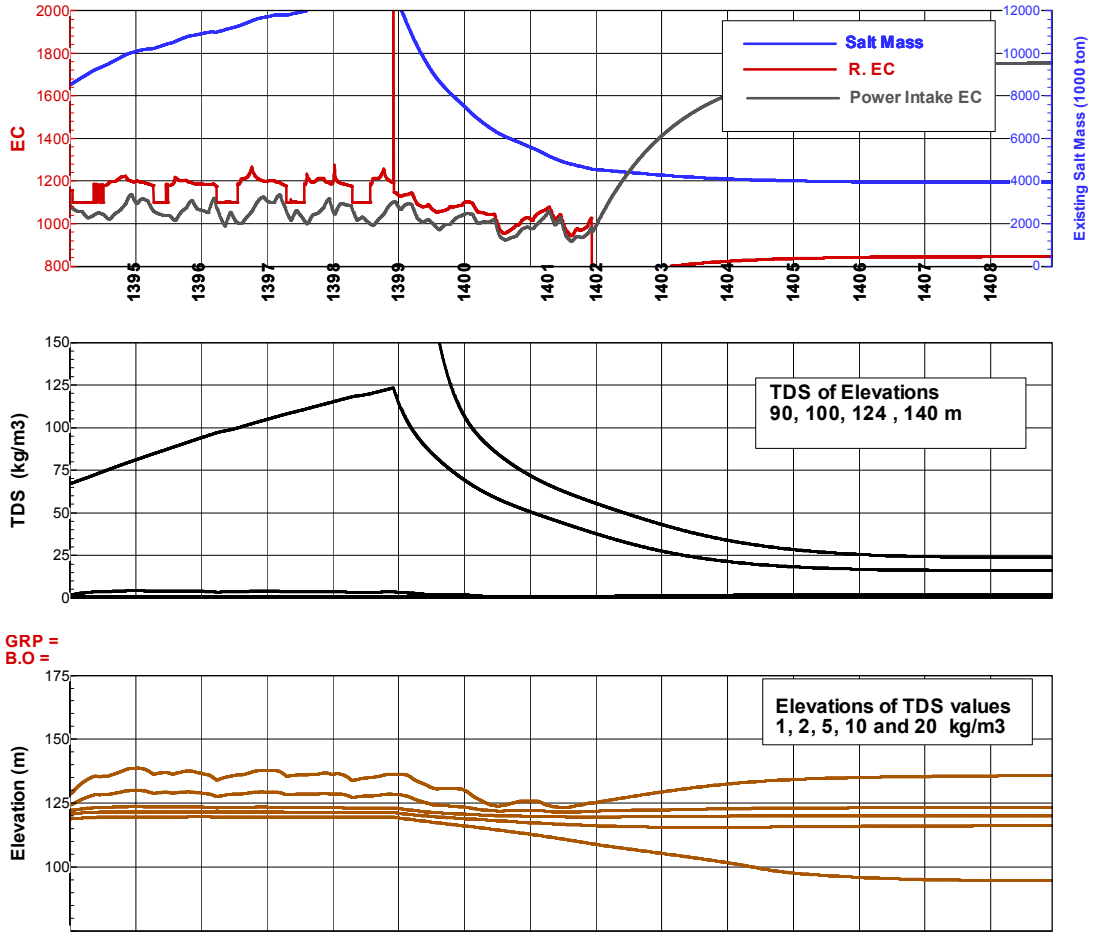
در سناریوی انحراف آب از رقوم ۱۸۰ با فرض امکان انتقال سیلاب تا حد دبی ۵۰ ساله چهار رشته تونل با قطر ۱۵ متر لازم می باشد. هزینه های این سناریو با فرض امکان استفاده از مجرای رودخانه شور و بهسازی آن به ۱۳۵ تا ۱۸۰ هزار میلیارد خواهد رسید. در این سناریو لزوم تخلیه مخزن سد به ترازهای زیر ۱۸۰ منجر به عدم تولید برق نیروگاه گتوند می‌شود. هزینه عدم النفع در هزینه کل اشاره شده درنظر گرفته شده است. علاوه بر آن این سناریو با وجود هزینه بسیار زیاد آن قادر به حل مشکل ناشی از نمک موجود در مخزن سد گتوند نمی باشد.

سناریوی انحراف سد از تراز ۲۲۰ پایین دست سد گدار با سه رشته تونل با قطر ۱۰ متری و با درنظر گرفتن هزینه عدم استفاده از نیروگاه گتوند، بین ۶۱ تا ۶۵ هزار میلیارد ریال هزینه در برخواهد داشت. هدف اصلی در این سناریو انتقال آب کارون به پایین دست می باشد بطوریکه جریان آب با توده عنبل تماسی نداشته باشد. حداکثر دبی عبوری از سامانه انحراف در حدود ۱۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه می باشد.

سناریوی انحراف سد از تراز ۲۲۰ از نظر معیارهای مختلف اقتصادی، اجرایی و فنی با مشکلات کمتری روبرو بوده و به عنوان سناریوی گزینش‌شده توصیه می شود. این سناریو به شرحی که در گزارش آمده است، به تنهایی نمی تواند مشکلات موجود را حل نماید. بنابراین برای تکمیل عملکرد، این سناریو باید با راهکار انتقال آب شور از طریق لوله GRP ، ترکیب شود. بنا براین هزینه اجرای راهکار خط انتقال را هم باید به هزینه های این سناریو افزود.

۹. ۸. نتایج مدل سازی کیفیت مخزن در سناریوی گزینش‌شده انحراف رودخانه

این نتایج قبلا در بخش مدلسازی گزارش شده است و برای تکمیل بحث در این قسمت تکرار می‌شود. در سناریوی گزینش‌شده انحراف رودخانه، ۸ سال نخست مشابه سناریوی گزینش‌شده راهکار خط انتقال است که در آن از مدل CGCM3 برای دبی‌های ورودی به مدل استفاده‌شده است. همچنین مقدار دبی مجرای GRP متغیر با زمان محاسبه می‌شود. میزان دبی تخلیه کننده تحتانی در ۵ سال اول متغیر بوده و بعد از بهره برداری از خط انتقال مقدار ثابت ۵ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. میزان هدایت الکتریکی متوسط خروجی ۱۱۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر اعمال می‌شود و در مواقعی که این مقدار قابل تأمین نباشد مقدار ۱۲۰۰ به‌عنوان معیار EC خروجی انتخاب شده است که مقادیر دبی تخلیه کننده با آن تنظیم می‌شود. بعد از ۸ سال که از تونل‌های انحراف بهره‌برداری شد، دبی ثابت ۵ متر مکعب بر ثانیه از تخلیه کننده و ۴۴ متر مکعب بر ثانیه که بیشتر آن به آوردهای میان‌حوزه مربوط است از خروجی نیروگاه تخلیه می‌شود و خط انتقال همچنان دبی یک متر مکعب بر ثانیه را منتقل می‌کند. خروجی‌های این سناریو در شکل زیر نمایش داده شده است.

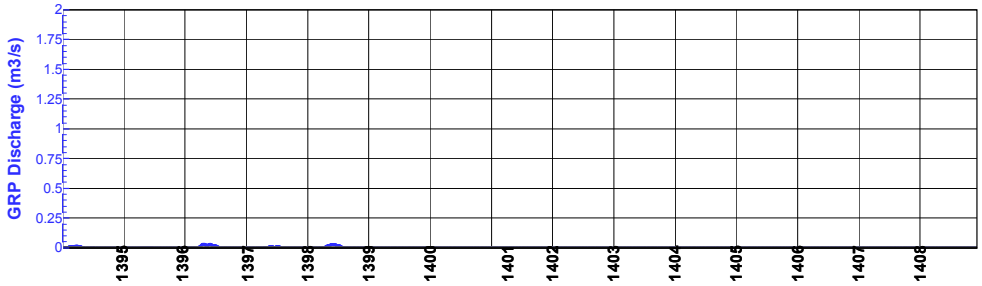


شکل ۹-۷- الف) جرم نمک موجود در مخزن، متوسط هدایت الکتریکی خروجی از مخزن و نیروگاه ب) غلظت نمک در ترازهای مختلف ج) ترازهای مربوط به غلظت‌های مختلف نمک برای سناریوی دوم راهکار انحراف رودخانه (انحراف رودخانه + خط انتقال)

در این سناریو هشت سال نخست مشابه راهکار خط انتقال است و تجمع نمک در طول ۵ سال اول رخ می‌دهد اما چنانچه در شکل ۹-۷ (الف) مشاهده می‌شود با راه‌اندازی خط انتقال نمک داخل مخزن به سرعت شروع به تخلیه می‌کند. بعد از پایان سال هشتم، بهره برداری از تونل انحراف آغاز شده و آب منحرف می‌شود و خروجی از سد حدود ۵۰ متر مکعب بر ثانیه خواهد بود. بدلیل اینکه بعد از انحراف آب، آب وارد شده به مخزن دارای کیفیت پایینی است ($EC = 1300\mu S/cm$) و کل آب از نیروگاه خارج می‌شود، به تدریج ترازهای شوری در مخزن بالا رفته و هدایت الکتریکی آب خروجی از نیروگاه افزایش می‌یابد. آب خروجی از نیروگاه با آبی که منحرف شده ترکیب شده و هدایت الکتریکی حدود ۹۰۰ خواهد داشت.

۹. ۸. ۱. تغییرات دبی مجرای GRP در زمان در سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه

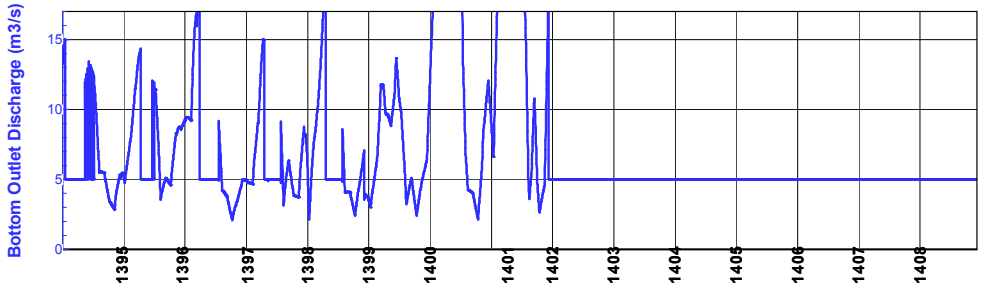
هشت سال نخست سناریوی گزینش‌شده انحراف رودخانه مشابه سناریوی گزینش‌شده خط انتقال است. دبی مجرای GRP برای این راهکار در شکل ۹-۸ نمایش داده شده است. در پنج سال نخست برای تأمین محدودیت هدایت الکتریکی مورد نظر، دبی مجرای GRP برابر صفر محاسبه می‌شود و بعد از راه‌اندازی خط انتقال نیز، برای تأمین هدایت الکتریکی بهتر، خروجی مجرای GRP برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۹-۸- تغییرات دبی GRP در زمان برای سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه

۹. ۸. ۲. تغییرات دبی تخلیه کننده تحتانی در سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه

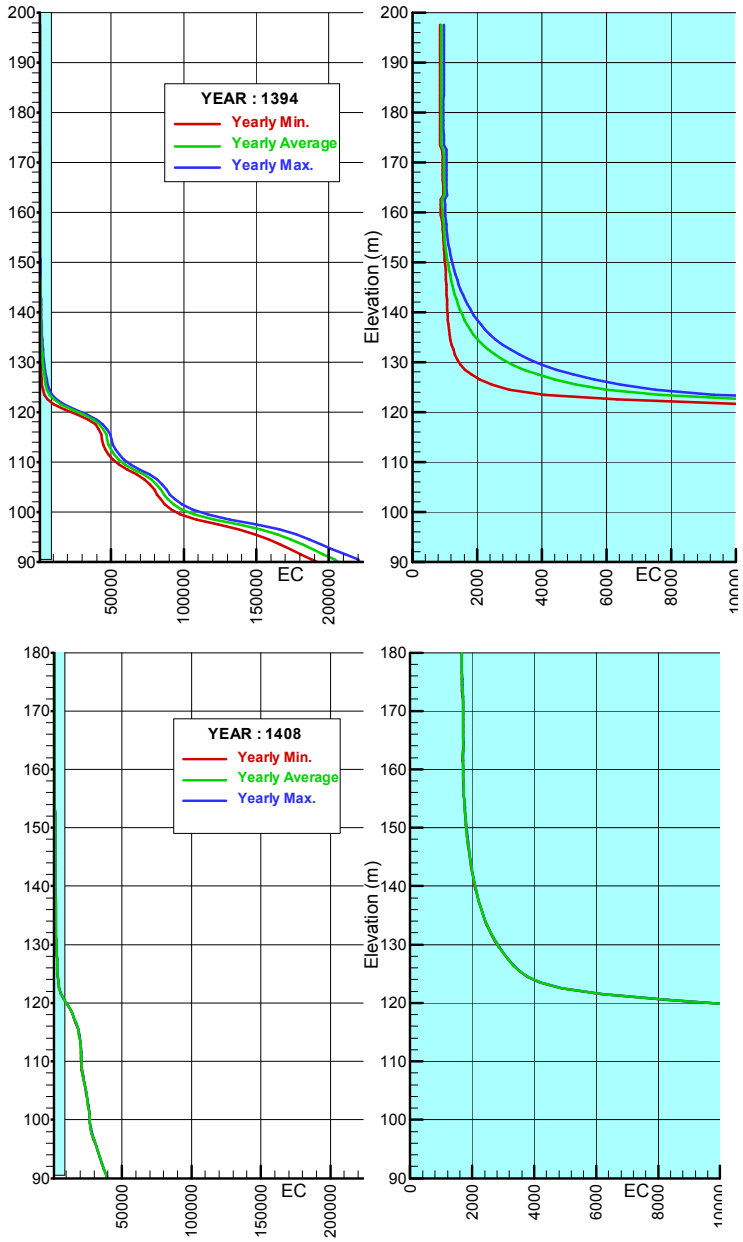
تخلیه‌کننده تحتانی در ۸ سال نخست مشابه سناریوی گزینش‌شده راهکار خط انتقال بوده و بعدازآن دبی ثابت ۵ متر مکعب بر ثانیه از آن تخلیه می‌شود (شکل ۹-۹).



شکل ۹-۹- تغییرات دبی تخلیه کننده تختانی در زمان برای راهکار انحراف رودخانه

۹. ۸. ۳. تغییرات پروفیل شوری در عمق در سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه

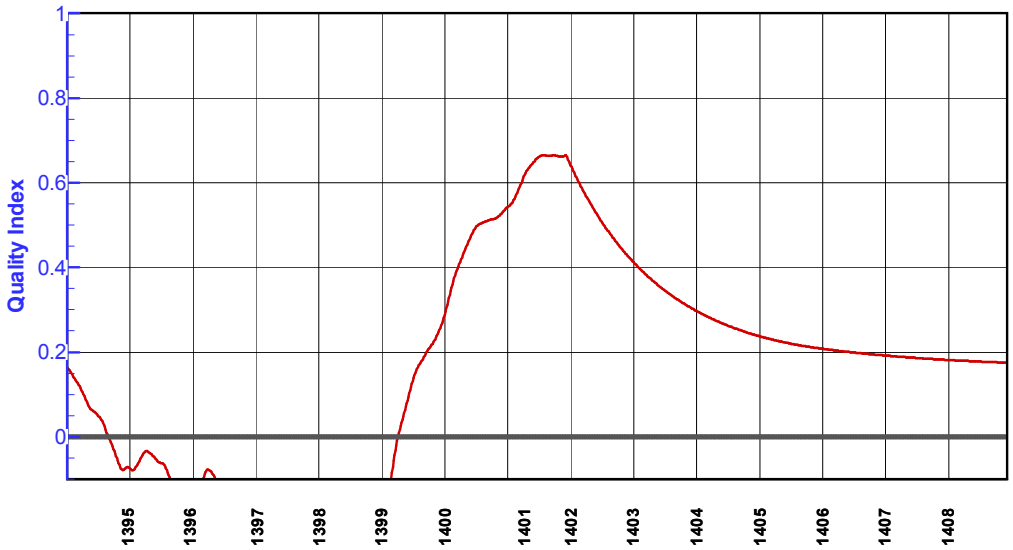
تغییرات پروفیل شوری در عمق برای راهکار انحراف رودخانه برای دوره پانزده ساله محاسبه شده است، اما برای رعایت اختصار نمودارهای مربوط به سال ۱۳۹۴ و ۱۴۰۸ در شکل ۹-۱۰ ارائه شده است.



شکل ۹-۱۰- تغییرات پروفیل شوری در عمق برای سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه

۹. ۸. ۴. شاخص کیفیت آب مخزن در سناریوی گزینش‌شده راهکار انحراف رودخانه

شاخص کیفیت در راهکار انحراف رودخانه در هشت سال اول مشابه خط انتقال است. در پنج سال اول که از خط انتقال بهره‌برداری نشده است، شاخص کیفیت بسیار پایین بوده و حتی مقادیر منفی نیز پیدا می‌کند (شکل ۹-۱۱). با راه اندازی خط انتقال کیفیت آب بهبود پیدا می‌کند و بعد از انحراف رودخانه، مجدداً کیفیت آب مخزن افت پیدا می‌کند.



شکل ۹-۱۱- تغییرات شاخص کیفیت در زمان برای راهکار انحراف رودخانه

۱۰. ارزیابی راهکارهای گزینش‌شده براساس معیارهای تعیین شده

مرحله نهایی در این پروژه، ارزیابی راهکارهای گزینش‌شده (در بخش ۶ تا ۹) براساس معیارهای نهایی (در بخش ۳) و بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. برای انجام این مرحله، اطلاعات مورد نیاز برای سنجش هر یک از راهکارها براساس معیارهای مختلف از گزارشات کارگروه های تخصصی استخراج گردیده است. سپس جلساتی با حضور کارشناسان فعال در کارگروه های تخصصی مختلف برگزار شد و مقایسه زوجی راهکارها براساس هر یک از معیارهای معرفی شده در بخش ۳ گزارش انجام شد. نتایج ارزیابی ها نشان می‌دهد که اولویت راهکارهای گزینش شده به شرح ذیل است:

۶. خط انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک سد (به اختصار خط انتقال به نزدیک سد نامیده می‌شود)
۷. مدیریت مخزن
۸. خط انتقال به خلیج فارس
۹. انحراف رودخانه
۱۰. شستشوی سریع

۱۰. ۱. مشروح نتایج ارزیابی

مشروح نتایج ارزیابی در جدول ۱۰-۱ آمده است. در فرآیند ارزیابی نکات زیر مورد توجه قرار گرفته است:

۱) با توجه به تنوع راهکارهای مورد بررسی در دسته های غیرسازه ای و سازه ای، طول مدت زمان حل مشکل شوری سد گتوند در راهکارهای مختلف متفاوت بوده است. برای ایجاد یک مبنای مشترک برای مقایسه به لحاظ زمانی، بیشترین طول مدت زمان حل مشکل در راهکارهای مدیریت مخزن و انحراف رودخانه به مدت ۱۵ سال مورد استناد قرار گرفته و شبیه سازی وضعیت سیستم در مدت ۱۵ سال برای همه راهکارها انجام شده است. اطلاعات مورد استفاده برای کمی کردن اکثر معیارها، متوسط این دوره ۱۵ ساله هستند.

۲) براساس مطالعات کارگروه های تخصصی، برای ارزیابی راهکارها براساس هر معیار، شاخص های خاصی مورد استفاده قرار گرفته که در ادامه گزارش تشریح شده است. علت انتخاب این شاخص ها، در گزارشات تخصصی کارگروه های مختلف قابل بازبینی است و در این گزارش به آن پرداخته نشده است.

توجیه نتایج بدست آمده برای هر یک از سطرهای جدول جدول ۱۰-۱ به شرح زیر است:

سطر ۱) به استناد مطالعات کارگروه محیط زیست، شوری در قسمت فوقانی مخزن مهمترین شاخص کیفی است که می تواند برای بررسی اولویت راهکارهای مختلف نسبت به این معیار مورد استناد قرار گیرد. متوسط شوری مخزن معیار دیگری است که در اولویت دوم مبنای این رتبه بندی قرار گرفته است. براساس شبیه سازی کمی و کیفی انجام شده در کارگروه تخصصی مربوطه، شوری لایه فوقانی در صورت اجرای کلیه راهکارها به جز راهکار انحراف رودخانه در حد ۱۲۰۰ میکروزیمنس بر سانتی متر محدود خواهد شد. در راهکار انحراف رودخانه، این عدد به حد ۱۵۵۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر خواهد رسید. همچنین نتایج شبیه سازی ها نشان داده است که راهکار شستشوی سریع در کوتاه ترین زمان ممکن، نمک موجود در مخزن را تخلیه می کند و شوری متوسط مخزن در مدت اجرای این راهکار، در کمترین سطح نسبت به سایر راهکارها قرار دارد. به همین دلیل این راهکار در رتبه اول قرار گرفته است. راهکارهای خط انتقال به دلیل انتقال نمک به خارج از سیستم، در رتبه دوم قرار گرفته و راهکار مدیریت مخزن در رتبه سوم قرار گرفته است. راهکار انحراف آب به دلیل تجمع

نمک در مخزن ناشی از ورود آورد میان حوضه به مخزن سد گتوند رتبه آخر را بر اساس این معیار کسب کرده است.

جدول ۱۰-۱- نتایج ارزیابی راهکارهای گزینش‌شده بر اساس معیارهای مختلف

ردیف	دسته	وزن (اهمیت) معیار	وزن (ارجحیت) راهکار				
			مدیریت مخزن	شستشوی سریع	خط انتقال به نزدیک سد	خط انتقال به خلیج فارس	انحراف رودخانه
۱	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در طول دریاچه مخزن	۱.۲۶٪	۰.۱۸	۰.۲۷	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۱۴
۲	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در رودخانه کارون از محل سد گتوند تا مصب رودخانه در خلیج فارس	۳.۸۴٪	۰.۱۰	۰.۰۴	۰.۲۱	۰.۲۱	۰.۴۳
۳	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در محلهای پذیرنده در خلیج فارس	۱.۰۹٪	۰.۲۴	۰.۲۴	۰.۲۳	۰.۰۵	۰.۲۴
۴	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی تالابها	۱.۷۰٪	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲
۵	اثرات شوری بر منابع آب زیر زمینی	۱.۵۳٪	۰.۰۵	۰.۴۶	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۱۴
۶	اثرات شوری بر کیفیت آب شرب	۴.۰۰٪	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۲۷	۰.۲۷	۰.۲۶
۷	اثرات شوری بر مصارف آب بهداشتی	۲.۷۷٪	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۲۷	۰.۲۷	۰.۲۶
۸	افت کیفیت نسبت به وضعیت بدون سد در ایستگاه گتوند	۳.۱۶٪	۰.۱۰	۰.۰۵	۰.۲۲	۰.۲۲	۰.۴۲
۹	تخریب اراضی در دراز مدت و ایجاد کانونهای ریزگرد	۴.۶۰٪	۰.۱۳	۰.۱۴	۰.۱۶	۰.۲۵	۰.۳۲
۱۰	کاهش توان خودپالایی رودخانه	۲.۰۲٪	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰
۱۱	اثرات شوری بر سازندهای محدوده مخزن گتوند و افزایش فرسایش	۱.۱۵٪	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰
۱۲	سهولت اجرای راهکار به لحاظ فنی	۲.۱۲٪	۰.۵۷	۰.۱۵	۰.۱۵	۰.۰۸	۰.۰۵
۱۳	انعطاف پذیری و امکان جایگزینی در صورت ایجاد موانع	۲.۱۸٪	۰.۴۱	۰.۳۱	۰.۱۴	۰.۱۰	۰.۰۴
۱۴	حداکثر طول عمر (ماندگاری راهکار)	۴.۱۰٪	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰
۱۵	سرعت اجرای راهکار	۲.۰۳٪	۰.۴۹	۰.۲۰	۰.۱۹	۰.۰۹	۰.۰۴
۱۶	استفاده بهینه از زیرساخت های موجود	۳.۳۶٪	۰.۴۷	۰.۲۵	۰.۱۴	۰.۰۸	۰.۰۵
۱۷	اثرات شوری بر سد و تاسیسات وابسته	۳.۱۸٪	۰.۱۷	۰.۲۱	۰.۲۱	۰.۲۱	۰.۲۱
۱۸	وجود دانش و تجربه فنی برای اجرای راهکار	۳.۵۲٪	۰.۴۶	۰.۲۴	۰.۱۴	۰.۰۹	۰.۰۸
۱۹	ایجاد مشکلات برای سایر طرح های توسعه در دست اجرا در زمان اجرای راهکار	۱.۹۱٪	۰.۴۰	۰.۲۷	۰.۱۶	۰.۰۸	۰.۱۰
۲۰	خسارت ناشی از شوری بر بخش کشاورزی	۶.۳۲٪	۰.۱۰	۰.۰۹	۰.۲۶	۰.۲۷	۰.۲۸
۲۱	تبعات منفی در بهره برداری از منابع طبیعی از منظر	۱.۰۳٪	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۳۶	۰.۱۲	۰.۲۸

جدول ۱۰-۱- نتایج ارزیابی راهکارهای گزینش‌شده بر اساس معیارهای مختلف

ردیف	دسته	وزن (اهمیت) معیار	وزن (ارجحیت) راهکار				
			مدیریت مخزن	شستشوی سریع	خط انتقال به نزدیک سد	خط انتقال به خلیج فارس	انحراف رودخانه
	اقتصادی و اشتغال (معادن نمک و مخازن نفت و گاز)						
۲۲	هزینه اجرا، بهره برداری و نگهداری راهکار	۲.۶۹٪	۰.۵۳	۰.۲۰	۰.۱۶	۰.۰۸	۰.۰۳
۲۳	درآمد حاصل از بهره برداری از سد گتوند	۲.۸۴٪	۰.۲۴	۰.۲۴	۰.۲۴	۰.۲۴	۰.۰۳
۲۴	خسارات سیل	۲.۲۵٪	۰.۱۹	۰.۱۹	۰.۱۹	۰.۱۹	۰.۲۳
۲۵	(خسارت وارده به سرمایه گذاری های انجام شده در سد و زیرساخت ها در پایین دست سد گتوند و) افزایش هزینه های تعمیرات و نگهداری و بهره برداری	۴.۸۳٪	۰.۱۹	۰.۱۷	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۰۶
۲۶	کاهش درآمد آبزی پروری نسبت به شرایط بدون سد	۰.۹۲٪	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰
۲۷	اتلاف آب	۲.۲۴٪	۰.۴۳	۰.۰۶	۰.۱۸	۰.۱۸	۰.۱۵
۲۸	افزایش هزینه های تصفیه آب در بخش صنعت	۱.۳۰٪	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۲۶
۲۹	افزایش هزینه های تصفیه آب شرب و هزینه های درمانی	۲.۶۲٪	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۲۶
۳۰	ریسک ناشی از اثر وجود آب شور بر تخلیه اضطراری در هنگام بلایای طبیعی (مانند زلزله، بروز فروچاله یا رانش زمین)	۳.۵۵٪	۰.۰۶	۰.۴۰	۰.۲۰	۰.۱۹	۰.۱۵
۳۱	ریسک نشت آب شور از تاسیسات راهکار پیشنهادی	۱.۰۵٪	۰.۳۸	۰.۳۸	۰.۱۰	۰.۰۴	۰.۱۰
۳۲	ریسک تشدید شوری ناشی از شرایط حدی اقلیمی	۲.۰۷٪	۰.۱۰	۰.۳۲	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۱۷
۳۳	ریسک از دست دادن امکان تخلیه آب از ترازهای مختلف از مخزن	۳.۴۵٪	۰.۱۰	۰.۳۲	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۱۷
۳۴	ریسک ناشی از نشت نفت به مخزن	۱.۱۴٪	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰
۳۵	تبعات منفی اجتماعی، سیاسی و روانی بر ذینفعان	۳.۹۵٪	۰.۲۷	۰.۱۱	۰.۳۵	۰.۱۴	۰.۱۳
۳۶	احساس بی هنجاری و آنومی اجتماعی	۱.۶۶٪	۰.۲۷	۰.۱۱	۰.۳۵	۰.۱۴	۰.۱۳
۳۷	کاهش سرمایه اجتماعی (اعتماد و امنیت) نسبت به شرایط بدون سد	۳.۰۷٪	۰.۲۷	۰.۱۱	۰.۳۵	۰.۱۴	۰.۱۳
۳۸	رضایت بهره برداران و ذینفعان	۳.۴۹٪	۰.۲۷	۰.۱۱	۰.۳۵	۰.۱۴	۰.۱۳
	امتیاز نهایی راهکار		**۲۲.۴۶**	**۱۸.۱۴**	**۲۲.۴۷**	**۱۸.۶۹**	**۱۸.۲۵**

سطر دوم) متوسط EC خروجی از سد گتوند در مدت زمان اجرا و بهره برداری از راهکارهای مختلف در یک دوره ۱۵ ساله و تغییرات آن در پایین دست سد گتوند تا خلیج فارس براساس نتایج مدلسازی های کیفی انجام شده و نتایج بررسی های کارگروه محیط زیست در خصوص تنوع ماهی های موجود در رودخانه کارون در سه بازه پایین دست سد گتوند، میانی و پایاب

تا محل تخلیه به خلیج فارس و حساسیت آنها به شوری مبنای رتبه بندی راهکارها براساس این معیار بوده است. با توجه به اینکه شوری آب خروجی از مخزن برای راهکار شستشوی سریع بیشترین میزان ودر راهکار انحراف رودخانه، کمترین میزان را خواهد داشت، این دو راهکار به ترتیب رتبه های آخر و اول را کسب کرده اند. راهکارهای خط انتقال با توجه به حد میانی شوری خروجی نسبت به سایر راهکارها، در رتبه دوم قرار گرفته اند. راهکار مدیریت مخزن نیز که بطور متوسط در دوره ۱۵ ساله شوری حدود ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر را از مخزن خارج می کند به دلیل اثرات نامطلوب بر محیط زیست جانوری و گیاهی در رودخانه کارون در رتبه سوم قرار گرفته است.

سطر سوم) در میان راهکارهای بررسی شده تنها راهکار خط انتقال به خلیج فارس، آب بسیار شور لایه های تحتانی مخزن را با درنظر گرفتن ملاحظات محیط زیستی پس از اختلاط و کاهش شوری به حد قابل ملاحظه ای به خلیج فارس تخلیه می کند. بر این اساس، این راهکار بدلیل تخلیه آب با شوری بیش از شوری طبیعی خلیج فارس، در رتبه آخر قرار گرفته است. سایر راهکارها از منظر این معیار تفاوت قابل ملاحظه ای ندارند.

سطح چهارم) با توجه به اینکه تخلیه آب شور به تالابها در هیچ یک از راهکارهای مورد بررسی موضوعیت نداشته است، به کلیه راهکارها براساس این معیار، رتبه یکسانی داده شده است تا در نتیجه نهایی اثری نداشته باشند.

سطر پنجم) بررسی تغییرات شوری آب زیرزمینی در دشت عقیلی (دریافت شده از سازمان آب و برق خوزستان) نشان می دهد که از زمان آبگیری سد گتوند، حداقل های فصلی شوری به میزان قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. برای ارزیابی راهکارها براساس این معیار همانند معیار ردیف اول، شوری متوسط مخزن در طول دوره اجرا و بهره برداری از راهکار (دوره ۱۵ ساله) مورد استناد قرار گرفته است. لازم به ذکر است احتمال نشت شورابه از محل ذخیره سازی نمک در صورت اجرای راهکار خط انتقال به نزدیک سد و نیز شکست خطوط لوله در راهکارهای خط انتقال و نشت شورابه به آب زیرزمینی در رتبه بندی راهکارها براساس این معیارها مدنظر قرار گرفته است. براساس رتبه بندی انجام شده، راهکار شستشوی سریع به دلیل تخلیه سریع شوری از مخزن، رتبه اول را کسب کرده است. راهکار خط انتقال به خلیج فارس رتبه دوم، راهکارهای انحراف رودخانه و خط انتقال به نزدیک سد که دارای سیستم انتقال آب خیلی شور مشابه هستند، رتبه سوم و راهکار مدیریت مخزن به دلیل تجمع بیشتر نمک در مخزن در رتبه چهارم قرار گرفته است.

سطرهای ششم و هفتم) EC متوسط شبیه سازی در رودخانه کارون در محل شهر اهواز در دوره ۱۵ ساله ملاک رتبه بندی راهکارها براساس این معیارها بوده است. نتایج مدلسازی ها نشان می دهد، بیشترین EC متوسط در محل شهر اهواز در راهکارهای مدیریت مخزن و شستشوی سریع تجربه خواهد شد. راهکارهای انحراف رودخانه و خط انتقال کمترین EC را تأمین خواهند نمود.

سطر هشتم) EC متوسط خروجی از سد در دوره ۱۵ ساله و میزان تغییر آن نسبت به شرایط بدون سد در محل ایستگاه سد تنظیمی گتوند (۱۱۶۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر به استناد مطالعات هیدرولوژی) مبنای مقایسه براساس این معیار بوده است. لازم به ذکر است، با توجه عوامل متنوعی مثل کاهش آورد رودخانه در سالهای اخیر که بر کیفیت آب کارون در محل سد گتوند اثرگذار بوده است، شرایط بدون سد منظور میزان شوری است که در صورت عدم احداث سد گتوند در اثر سایر عوامل اثر گذار بر میزان شوری، تجربه می شد. نتایج مدلسازی های انجام شده نشان می دهد، راهکارهای شستشوی سریع و مدیریت مخزن به ترتیب بیشترین میزان افت کیفیت را نسبت به حالت بدون سد ایجاد می کنند. راهکار انحراف رودخانه بهترین کیفیت آب را در ایجاد می کند و به همین دلیل در این رتبه بندی، رتبه اول را کسب کرده است. راهکارهای خط انتقال وضعیت کیفی مشابهی در محل ایستگاه سد تنظیمی گتوند ایجاد می کنند و به همین دلیل دارای رتبه مشابه دوم هستند.

سطر نهم) شوری رودخانه کارون در دارخوین و ESP محاسبه شده در کارگروه کشاورزی، ملاک تصمیم گیری در ارتباط با این معیار بوده است. معیار ESP برای هر چهار راهکار مشابه بوده و شوری رها شده در رودخانه پایین دست در دو راهکار مدیریت مخزن و شستشوی سریع بالاتر از سایر راهکارست و به همین دلیل، این دو راهکار در رتبه های آخر قرار گرفته اند. راهکار انحراف رودخانه با در بر داشتن سیستم انتقال و ذخیره نمک مشابه راهکار خط انتقال به نزدیک سد به دلیل تأمین آب با کیفیت مناسبتر در رتبه اول قرار گرفته است. راهکار خط انتقال به خلیج فارس به دلیل تأمین کیفیت آب نسبتاً مناسب در پایین دست و عدم وجود ریسک مربوط به پخش نمک از محل ذخیره سازی نسبت به راهکار انحراف رودخانه در رتبه دوم قرار گرفته است. راهکار خط انتقال به نزدیک سد، همانطور که ذکر شد به دلیل ریسک محدود انتقال نمک توسط جریان هوا از محل ذخیره سازی در صورت عدم رعایت ملاحظات بهره برداری از حوضچه ها، رتبه سوم را کسب کرده است.

سطرهای دهم و یازدهم) بررسی انجام شده توسط کارگروه تخصصی مدلسازی کیفیت آب در مخزن و رودخانه نشان می دهد که اثر شوری بر خودپالایی رودخانه کارون محدود بوده و راهکارهای مختلف تفاوت قابل ملاحظه ای از این منظر ندارند. همین جمع بندی از بررسی های تخصصی زمین شناسی در مورد سازندهای محدوده مخزن حاصل شده است. برهمین دلایل، به کلیه راهکارها رتبه یکسانی براساس این دو معیار داده شده اند.

سطرهای دوازدهم و سیزدهم) سهولت اجرای راهکار به لحاظ فنی/انعطاف پذیری ...، در راهکارهای سازه ای از منظر سهولت ساخت/انعطاف پذیری در تغییر طرح و در راه های غیرسازه ای از منظر سهولت اجرای دستورالعمل های بهره برداری/انعطاف پذیری در تغییر دستورالعمل مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر این اساس، راهکار مدیریت مخزن با فاصله زیادی در رتبه اول قرار گرفته است. دو راهکار شستشوی سریع و انتقال به حوضچه های تبخیری نزدیک سد در رتبه های دوم و سوم قرار گرفته اند. راهکارهای خط انتقال به خلیج فارس در رتبه چهارم و راهکار انحراف آب به دلیل پیچیدگی های قابل توجه طراحی و اجرای آن در رتبه آخر قرار گرفته است.

سطر چهاردهم) علیرغم اینکه اعضای کارگروه های تخصصی مطالعات، زمان زیادی را صرف تدقیق تعریف این معیار کردند، جمع بندی مناسبی که قابل استفاده در فرآیند ارزیابی باشد حاصل نشد. علت این امر هم عمدتاً تفاوت ماهوی راهکارهای سازه ای و غیرسازه ای است. به طور مثال راهکارهای خط انتقال پس از اتمام انتقال نمک ذخیره شده در مخزن عملاً بدون کاربرد باقی خواهند ماند در حالی که در راهکار مدیریت مخزن عملاً تاسیسات خاصی ایجاد نمی شود که عمر بهره برداری از آن مورد استناد قرار گیرد. حتی اگر طول مدت زمان استفاده از راهکار برای حل مشکل ملاک قضاوت در خصوص این معیار قرار گیرد، ارائه تعریف مشخصی از حل مشکل که توسط همه ذینفعان قابل پذیرش باشد به راحتی امکان پذیر نیست. به همین دلیل کارشناسان ارزیابی کننده در مشورت با پیشنهاد دهنده این معیار تصمیم به حذف آن از فرآیند ارزیابی گرفتند که برهمین اساس رتبه همه راهکارها بر اساس این معیار یکسان درنظر گرفته شده است.

سطر پانزدهم) مدت زمان اجرای اجزای سازه ای راهکارها مبنای این مقایسه بوده است. در راهکار مدیریت مخزن، این مدت زمان صفر بوده است چون نیاز به اجرای هیچ نوع سازه خاصی نیست. در راهکار شستشوی سریع، مدت زمان دو سال برای آماده سازی مخازن ذخیره موقت آب شرب و بهداشتی و صنعتی و انتقال آن به نقاط مصرف درنظر گرفته شده است. مدت زمان اجرا برای راهکارهای خط انتقال به نزدیک سد، خط انتقال به خلیج فارس و انحراف آب طبیعتاً طولانی تر درنظر گرفته شده اند و بنابراین این راهکارها در رتبه های بعدی قرار گرفته اند.

سطر شانزدهم) در استفاده بهینه از زیرساخت های موجود، کلیه زیرساخت های توسعه داده شده در قالب طرح سد گتوند و شبکه های آبیاری و زهکشی اراضی کشاورزی، سیستم های انتقال و تصفیه آب برای مصارف مختلف و نظایر آن درنظر

گرفته شده است. طبیعتاً در این مقایسه، راهکارهای بهره برداری از مخزن و شستشوی سریع به دلیل اکتفای بیشتر به سرمایه گذاری های انجام شده قبلی، رتبه بندی بالاتری کسب کرده اند. راهکار خط انتقال به نزدیک سد به دلیل نیاز به سرمایه گذاری و تاسیسات جدید محدودتر در رتبه سوم و راهکارهای خط انتقال به خلیج فارس و انحراف رودخانه به همین دلیل در رتبه های بعدی قرار گرفته اند.

سطر هفدهم) با توجه به ارزیابی های تخصصی انجام شده در مورد اثر شوری بر نیروگاه، هسته رسی، دریچه ها و گالری های بتنی سد، تفاوت ملموسی بین راهکارهای مختلف وجود ندارد. تنها در راهکار بهره برداری از مخزن به دلیل وابستگی کامل راهکار به تخلیه کننده های موجود و تجمع قابل ملاحظه نمک در مخزن در یک دوره چند ساله، این راهکار پایین ترین رتبه بندی را نسبت به این معیار کسب کرده است.

سطر هجدهم) دانش و تجربه فنی موجود در کشور در راهکارهای سازه ای مربوط به مراحل طراحی و ساخت راهکار و در راهکارهای غیرسازه ای مربوط به تجارب بهره برداری از سیستم های رودخانه – مخزن در کشور است. براساس نظر ارزیابی کنندگان، راهکارهای مدیریت مخزن و شستشوی سریع، رتبه های بالاتری دریافت کرده اند. لازم به ذکر است راهکار مدیریت مخزن با فاصله قابل توجهی رتبه اول را کسب کرده است. راهکارهای سازه ای رتبه های بعدی را براساس این معیار کسب کرده اند. راهکار انحراف آب رودخانه به دلیل پیچیدگی قابل ملاحظه طرح آن، پایین تر رتبه را براساس این معیار بدست آورده است.

سطر نوزدهم) با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات طرح های توسعه در استان که ممکن است در صورت اجرای راهکارهای مورد بررسی در این طرح، دچار مشکلات اجرا یا بهره برداری شوند، گستردگی جغرافیایی محدوده ای که تحت عملیات سازه ای قرار می گیرد مبنای این مقایسه قرار گرفته است. طبیعتاً راهکار خط انتقال به خلیج فارس، به دلیل طولانی بودن خط انتقال، آخرین رتبه و راهکارهای مدیریت مخزن و شستشوی سریع بالاترین رتبه ها در این مقایسه بدست آورده اند.

سطر بیستم) با توجه به بررسی های انجام شده در کارگروه کشاورزی، خسارت وارده به اراضی کشاورزی براساس میزان شوری آب رودخانه کارون در محل آبگیری اراضی کشاورزی و میزان کاهش تولید متناسب با شوری شبیه سازی شده، محاسبه شده است که براساس این بررسی ها، راهکارهای مدیریت مخزن و شستشوی سریع، خسارت بیشتری را به اراضی وارد می کنند و به همین دلیل در رتبه های آخر قرار گرفته اند. راهکار انحراف آب رودخانه به دلیل تأمین بهترین کیفیت آب در رودخانه کارون، رتبه اول را در مقایسه راهکارها براساس این معیار بدست آورده است. راهکارهای خط انتقال نیز با فاصله اندکی نسبت به راهکار انحراف رودخانه در رتبه بعدی قرار گرفته اند.

سطر بیست و یکم) از منظر عدم دسترسی به برخی از چاه های نفت به دلیل قرار گرفتن در محدوه مخزن سد، تفاوتی بین راهکارهای مختلف وجود ندارد. در راهکارهای مدیریت مخزن، خط انتقال به خلیج فارس و شستشوی سریع، نمک تخلیه شده از مخزن به هدر می رود در صورتی که در دو راهکار دیگر، امکان بهره برداری اقتصادی از نمک وجود خواهد داشت. به همین دلیل، دو راهکار انتقال به نزدیک سد و انحراف رودخانه، رتبه های اول و دوم را در مقایسه راهکارها براساس این معیار بدست آورده اند.

سطر بیست و دوم) ارقام ریالی برآورد شده برای بخشهای سازه ای راهکارهای مختلف و هزینه بهره برداری به صورت درصدی از هزینه ساخت، معیار مقایسه در این بخش بوده است. راهکار انحراف رودخانه و انتقال به خلیج فارس به ترتیب گران ترین راهکارها و پس از آن راهکارهای خط انتقال به نزدیک سد و شستشوی سریع هزینه های بیشتری دارند. راهکار مدیریت مخزن، هزینه سازه ای در بر ندارد.

سطر بیست و سوم) دبی متوسط ۱۵ ساله خروجی از نیروگاه سد گتوند در این بخش برای تصمیم گیری درنظر گرفته شده است. برای راهکار انحراف رودخانه، از درآمد حاصل از بهره برداری از سد گتوند صرفنظر شده است. درآمدهای حاصل از بهره برداری در صورت اجرای سایر راهکارها تفاوت قابل ملاحظه ای ندارد.

سطر بیست و چهارم) حفظ توان استهلاک سیل در سد گتوند در صورت اجرای راهکارهای مختلف، معیار رتبه بندی در این سطر بوده است. تفاوت محسوسی بین راهکارهای مدیریت مخزن، شستشوی سریع و خطوط انتقال وجود ندارد. راهکار انحراف رودخانه بدلیل خالی تر نگهداشته شدن مخزن، آمادگی بیشتری برای مهار سیلابها دارد و به همین دلیل در این مقایسه، رتبه اول را کسب کرده است.

سطر بیست و پنجم) افزایش هزینه های تعمیرات، نگهداری و بهره برداری از تاسیسات در پایین دست، به دلیل شوری یکسان تخلیه شده به رودخانه کارون در صورت اجرای راهکارهای خط انتقال مشابه درنظر گرفته شده و این دو راهکار رتبه اول را در این مقایسه دریافت نموده اند. راهکار انحراف رودخانه به دلیل صرف نظر کردن از توان تولید برق نیروگاه و توان تنظیم آب توسط سد گتوند، رتبه آخر را در این مقایسه کسب نموده است. راهکارهای مدیریت مخزن و شستشوی سریع به دلیل شوری نسبتاً بالاتر تخلیه شده به رودخانه کارون، در این مقایسه، رتبه های سوم و چهارم را اختیار کرده اند.

سطر بیست و ششم) با توجه به سطوح شوری تخلیه شده به رودخانه کارون از سد گتوند در صورت اجرای راهکارهای مختلف و بررسی های تخصصی انجام شده در کارگروه کشاورزی، کاهش ملموسی در درآمدهای آبزی پروری پیش بینی نمی شود.

سطر بیست و هفتم) آب تلف شده، منظور آبی است که با شوری بسیار بالا از مخزن از طریق راهکارهای مختلف تخلیه می شود. حجم آب تلف شده در راهکار شستشوی سریع، بیشترین میزان و در راهکار مدیریت مخزن، صفر است. به همین دلیل این دو راهکار به ترتیب، رتبه های آخر و اول را در مقایسه براساس این معیار کسب کرده اند. میزان اتلاف آب در راهکارهای خط انتقال نیز، نسبت به آورد کل رودخانه ناچیز است ولی بیشتر از تلفات آب نسبت به راهکار مدیریت مخزن هستند. راهکار انحراف رودخانه نیز به لحاظ اتلاف آب شرایط نسبتاً مشابهی را در مقایسه با راهکارهای خط انتقال ایجاد می کند.

سطرهای بیست و هشتم و نهم) شوری متوسط ۱۵ ساله آب در رودخانه کارون در محل شهر اهواز، ملاک تصمیم گیری در مورد این معیارها بوده است. براساس بررسی های کارگروه های تخصصی، راهکارهای مدیریت مخزن و شستشوی سریع، شوری بالاتری را ایجاد می کنند و به همین دلیل رتبه های آخر را در این مقایسه کسب نموده اند. راهکار انحراف رودخانه به دلیل تأمین بهترین کیفیت آب، رتبه اول و راهکارهای خط انتقال به فاصله اندکی رتبه دوم را کسب کرده اند.

سطرهای سی ام و سی و سوم) متوسط جرم نمک موجود در مخزن در دوره ۱۵ ساله، عمده ترین عامل خطرساز در صورت وقوع بلایای طبیعی و از دست دادن امکان تخلیه از ترازهای مختلف درنظر گرفته شده است. براساس مدلسازی های انجام شده، راهکاری مدیریت مخزن و انحراف رودخانه، بالاترین تجمع نمک در مخزن را به دنبال خواهند داشت و به همین دلیل این دو راهکار رتبه های آخر را کسب کرده اند. راهکار شستشوی سریع، کمترین متوسط تجمع نمک را در مخزن فراهم می کند که به همین دلیل رتبه اول را کسب کرده است. راهکارهای خط انتقال شرایط مشابهی را از این منظر ایجاد می کنند و به همین دلیل در رتبه های دوم قرار گرفته اند.

سطر سی و یکم) مقایسه براساس ریسک ناشی از نشت آب شور از راهکارها، به استناد قضاوت کارشناسی، براساس جزئیات سازه ای راهکارها انجام شده است. بر اساس طول خط انتقال آب بسیار شور، راهکار خط انتقال به خلیج فارس، رتبه آخر و راهکارهای انحراف رودخانه و خط انتقال به نزدیک سد، با شرایط یکسان، رتبه دوم را کسب کرده اند. دو راهکار

مدیریتی نیز که چنین ریسکی را ندارند به شکل مشابه رتبه اول را کسب کرده اند.

سطر سی و دوم) مدلسازی های انجام شده نشان می دهد که راهکار شستشوی سریع به دلیل تخلیه سریعتر نمک از مخزن و انعطاف پذیری زیاد آن در مورد زمان بندی اجرای عملیات شستشوی سریع، کمترین حساسیت را نسبت به شرایط حدی اقلیمی دارد. به همین دلیل این راهکار رتبه اول را در مقایسه کسب کرده است. راهکارهای خط انتقال با شرایط مشابه و سرعت بالای تخلیه نمک از مخزن در رتبه دوم قرار گرفته اند. راهکار مدیریت مخزن به دلیل طول مدت تجمع نمک در مخزن و انعطاف پذیری اندک آن در صورت وقوع شرایط حدی در رتبه آخر قرار گرفته است.

سطر سی و چهارم) با توجه به احتمال ناچیز نشت نفت به مخزن، کلیه راهکارها ارجحیت یکسانی براساس این معیار دارند.

سطر سی و پنجم) با توجه به نظر کارگروه اجتماعی، این معیار در واقع تجمیع سه معیار ردیف های سی و ششم تا سی و هشتم است. بنابراین در انجام ارزیابی راهکارها نیز، تجمیع نتایج مقایسات انجام شده در سه معیار بعدی برای این معیار در نظر گرفته شده است.

سطرهای سی ششم و تا سی و هشتم) براساس مباحثات انجام شده با ذینفعان استانی و حساسیت های مطرح در مورد طرح و با توجه به معضلات مختلفی که هر یک از راهکارها می توانند در منطقه ایجاد کنند، مقایسه به صورت نظری براساس این معیارها صورت گرفته است. لازم به ذکر است انجام مطالعات اجتماعی در شرح خدمات این طرح نبوده است و صرفاً به منظور پاسخ گویی به نیازهای مطرح شده از طرف ذینفعان، این معیارها در مقایسه مورد استناد قرار گرفته اند. براساس نظر ارزیابی کنندگان، راهکار خط انتقال به نزدیک سد، با توجه به هزینه های محدود اجرایی، ایجاد فرصت بهره برداری از نمک استحصال شده و تضمین آزادسازی آب از سد گتوند با کیفیتی مشابه شرایط بدون سد، به نظر می رسد بهترین شرایط را به لحاظ معیارهای اجتماعی ایجاد کند. راهکار مدیریت مخزن، به نظر می رسد عمدتاً بدلیل عدم تحمیل هزینه های عمرانی جدید و فراهم کردن زمینه بهره برداری از سرمایه گذاری انجام شده در قالب طرح سد گتوند، در رتبه دوم از منظر مقبولیت اجتماعی قرار دارد. راهکار خط انتقال به خلیج فارس، به دلیل حجم قابل توجه سرمایه گذاری مورد نیاز، هدر رفتن نمک و اثرات محیط زیستی قابل توجه به دلیل طولانی بودن خط، از مقبولیت اجتماعی کمتری نسبت به راهکار های قبلی برخوردار است. راهکار انحراف رودخانه به دلیل طولانی بودن مدت زمان اجرا و هزینه قابل توجه و راهکار شستشوی سریع به دلیل تخلیه آب با شوری بالا در تعدادی از روزهای سال به رودخانه کارون و متعاقباً نارضایتی محتمل بهره برداران از آب و ذینفعان، پایین ترین رتبه ها را در این مقایسه اختیار کرده اند.

۱۰. ۲. تحلیل حساسیت نتایج ارزیابی

تحلیل حساسیت نتایج ارزیابی با توجه به تنوع معیارهای موجود در جدول ۱۰-۱ نشان داده شده است. نتایج ارائه شده در این جدول نشان می دهد، در صورت درنظر گرفتن مجموع پنج دسته معیار فنی، اقتصادی، محیط زیستی، اجتماعی و ریسک، راهکار خط انتقال به نزدیک سد رتبه اول را کسب می کند. در صورت در نظر گرفتن چهار دسته معیار، تنها در حالت حذف معیارهای فنی از پنج دسته ذکر شده، راهکار خط انتقال به نزدیک سد رتبه اول را کسب می کند. در سایر ترکیب های چهار دسته از پنج دسته معیارهای ذکر شده، این راهکار بعد از راهکار مدیریت مخزن، در رتبه دوم قرار می گیرد.

تنها بر اساس یک دسته معیار از دسته های پنج گانه ذکر شده، راهکارهای زیر رتبه اول را کسب می کنند که به نوعی

نشان دهنده نقطه قوت هر راهکار براساس دسته بندی پنج گانه معیارهاست:

- تنها بر اساس معیارهای محیط زیست: راهکار انحراف رودخانه
- تنها بر اساس معیارهای فنی: راهکار مدیریت مخزن
- تنها بر اساس معیارهای اقتصادی: راهکار خط انتقال به نزدیک سد
- تنها بر اساس معیارهای ریسک: راهکار شستشوی سریع
- تنها بر اساس معیارهای اجتماعی: راهکار خط انتقال به نزدیک سد

در سایر ترکیب های دو و سه گانه از پنج دسته معیار ذکر شده، از مجموع ۲۰ ترکیب مختلف، راهکار مدیریت مخزن در ۹ حالت و راهکار خط انتقال به نزدیک سد در ۷ حالت در رتبه اول قرار می گیرند. در مجموع ۳۱ حالت مختلف بررسی شده، راهکارهای شستشوی سریع، خط انتقال به خلیج فارس، و انحراف آب هر یک تنها در دو حالت در رتبه اول قرار می گیرند.
مجموعه نتایج تحلیل حساسیت نشان می دهد، راهکارهای خط انتقال به حوضچه های تبخیری در نزدیک سد و مدیریت مخزن در رقابت بسیار نزدیکی برای کسب رتبه اول هستند در حالی که سه راهکار خط انتقال به خلیج فارس، انحراف رودخانه و شستشوی سریع، با فاصله نسبت به دو راهکار برتر (خط انتقال به نزدیک سد و مدیریت مخزن) در رتبه های بعدی قرار می گیرند.

جدول ۱۰-۲- نتایج تحلیل حساسیت ارزیابی نسبت به معیارهای مختلف

ردیف	محیط زیست	فنی	اقتصادی	ریسک	اجتماعی	رتبه راهکار				
						مدیریت مخزن	شستشوی سریع	خط انتقال به نزدیک سد	خط انتقال به خلیج فارس	انحراف رودخانه
۱	√	√	√	√	√	۲	۵	۱	۳	۴
۲		√	√	√	√	۱	۳	۲	۴	۵
۳	√		√	√	√	۴	۵	۱	۲	۳
۴	√	√		√	√	۱	۳	۲	۵	۴
۵	√	√	√		√	۱	۵	۲	۳	۴
۶	√	√	√	√		۱	۴	۲	۳	۵
۷	√					۵	۴	۳	۲	۱
۸		√				۱	۲	۳	۴	۵
۹			√			۳	۵	۱	۲	۴
۱۰				√		۵	۱	۲	۳	۴
۱۱					√	۲	۵	۱	۳	۴
۱۲	√	√				۱	۵	۳	۴	۲
۱۳		√	√			۱	۳	۲	۴	۵
۱۴			√	√		۴	۳	۱	۲	۵
۱۵				√	√	۳	۲	۱	۴	۵
۱۶	√		√			۴	۵	۳	۱	۲
۱۷	√			√		۵	۴	۳	۲	۱
۱۸	√				√	۴	۵	۱	۳	۲
۱۹		√		√		۱	۲	۳	۴	۵
۲۰		√			√	۱	۳	۲	۴	۵
۲۱			√		√	۲	۵	۱	۳	۴
۲۲	√	√	√			۱	۵	۲	۳	۴
۲۳		√	√	√		۱	۲	۳	۴	۵
۲۴			√	√	√	۲	۴	۱	۳	۵
۲۵	√	√		√		۲	۱	۴	۵	۳
۲۶	√	√			√	۱	۵	۲	۴	۳
۲۷	√			√	√	۵	۴	۱	۳	۲
۲۸	√		√	√		۵	۴	۲	۱	۳
۲۹	√		√		√	۴	۵	۱	۲	۳
۳۰		√	√		√	۱	۴	۲	۳	۵
۳۱		√		√	√	۱	۲	۳	۴	۵

۱۰. ۳. مقایسه دو راهکار برتر

در جلسه مورخ ۱۳۹۴/۴/۱۳ با موضوع ارائه گزارش ارزیابی به دستگاه نظارت، مقرر شد که مقایسه دو راهکار برتر یعنی راهکارهای خط انتقال به نزدیک سد و راهکار مدیریت بهره برداری از مخزن نیز به صورت مستقل با روش شناسی مشابه آنچه که در بخش قبل ارائه شد، انجام شود. جدول ۱۰-۳، نتایج این مقایسه را نشان می دهد. همانطور که در این جدول نشان داده شده، راهکار خط انتقال به نزدیک سد با وزن (ارجحیت) ۵۴.۶۵ درصد در رتبه اول و راهکار مدیریت بهره برداری از مخزن با وزن ۴۵.۳۵ در رتبه دوم قرار گرفته است.

جدول ۱۰-۳- نتایج ارزیابی راهکارهای گزینش‌شده بر اساس معیارهای مختلف

ردیف	دسته	وزن (اهمیت) معیار	ارجحیت راهکار	
			مدیریت مخزن	خط انتقال به نزدیک سد
۱	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در طول دریاچه مخزن	۱.۲۶٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۲	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در رودخانه کارون از محل سد گتوند تا مصب رودخانه در خلیج فارس	۳.۸۴٪	۰.۳۷	۰.۶۳
۳	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی در محلهای پذیرنده در خلیج فارس	۱.۰۹٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۴	اثرات شوری بر محیط زیست جانوری و گیاهی تالابها	۱.۷۰٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۵	اثرات شوری بر منابع آب زیر زمینی	۱.۵۳٪	۰.۴۳	۰.۵۷
۶	اثرات شوری بر کیفیت آب شرب	۴.۰۰٪	۰.۴۳	۰.۵۷
۷	اثرات شوری بر مصارف آب بهداشتی	۲.۷۷٪	۰.۴۳	۰.۵۷
۸	افت کیفیت نسبت به وضعیت بدون سد در ایستگاه گتوند	۳.۱۶٪	۰.۳۶	۰.۶۴
۹	تخریب اراضی در دراز مدت و ایجاد کانونهای ریزگرد	۴.۶۰٪	۰.۴۲	۰.۵۸
۱۰	کاهش توان خودپالایی رودخانه	۲.۰۲٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۱۱	اثرات شوری بر سازندهای محدوده مخزن گتوند و افزایش فرسایش	۱.۱۵٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۱۲	سهولت اجرای راهکار به لحاظ فنی	۲.۱۲٪	۰.۸۷	۰.۱۳
۱۳	انعطاف پذیری و امکان جایگزینی در صورت ایجاد موانع	۲.۱۸٪	۰.۶۰	۰.۴۰
۱۴	حداکثر طول عمر (ماندگاری راهکار)	۴.۱۰٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۱۵	سرعت اجرای راهکار	۲.۰۳٪	۰.۷۳	۰.۲۷
۱۶	استفاده بهینه از زیرساخت های موجود	۳.۳۶٪	۰.۷۴	۰.۲۶
۱۷	اثرات شوری بر سد و تاسیسات وابسته	۳.۱۸٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۱۸	وجود دانش و تجربه فنی برای اجرای راهکار	۳.۵۲٪	۰.۶۷	۰.۳۳
۱۹	ایجاد مشکلات برای سایر طرح های توسعه در دست اجرا در زمان اجرای راهکار	۱.۹۱٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۲۰	خسارت ناشی از شوری بر بخش کشاورزی	۶.۳۲٪	۰.۲۴	۰.۷۶

جدول ۱۰-۳- نتایج ارزیابی راهکارهای گزینش‌شده بر اساس معیارهای مختلف				
ردیف	دسته	وزن (اهمیت) معیار	ارجحیت راهکار	
			مدیریت مخزن	خط انتقال به نزدیک سد
۲۱	تبعات منفی در بهره برداری از منابع طبیعی از منظر اقتصادی و اشتغال (معادن نمک و مخازن نفت و گاز)	۱.۰۳٪	۰.۳۱	۰.۶۹
۲۲	هزینه اجرا، بهره برداری و نگهداری راهکار	۲.۶۹٪	۰.۸۹	۰.۱۱
۲۳	درآمد حاصل از بهره برداری از سد گتوند	۲.۸۴٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۲۴	خسارات سیل	۲.۲۵٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۲۵	(خسارت وارده به سرمایه گذاری های انجام شده در سد و زیرساخت ها در پایین دست سد گتوند و) افزایش هزینه های تعمیرات و نگهداری و بهره برداری	۴.۸۳٪	۰.۴۲	۰.۵۸
۲۶	کاهش درآمد آبزی پروری نسبت به شرایط بدون سد	۰.۹۲٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۲۷	اتلاف آب	۲.۲۴٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۲۸	افزایش هزینه های تصفیه آب در بخش صنعت	۱.۳۰٪	۰.۳۸	۰.۶۳
۲۹	افزایش هزینه های تصفیه آب شرب و هزینه های درمانی	۲.۶۲٪	۰.۳۸	۰.۶۳
۳۰	ریسک ناشی از اثر وجود آب شور بر تخلیه اضطراری در هنگام بلایای طبیعی (مانند زلزله، بروز فروچاله یا رانش زمین)	۳.۵۵٪	۰.۳۲	۰.۶۸
۳۱	ریسک نشت آب شور از تاسیسات راهکار پیشنهادی	۱.۰۵٪	۰.۵۷	۰.۴۳
۳۲	ریسک تشدید شوری ناشی از شرایط حدی اقلیمی	۲.۰۷٪	۰.۳۳	۰.۶۷
۳۳	ریسک از دست دادن امکان تخلیه آب از ترازهای مختلف از مخزن	۳.۴۵٪	۰.۳۳	۰.۶۷
۳۴	ریسک ناشی از نشت نفت به مخزن	۱.۱۴٪	۰.۵۰	۰.۵۰
۳۵	تبعات منفی اجتماعی، سیاسی و روانی بر ذینفعان	۳.۹۵٪	۰.۲۹	۰.۷۱
۳۶	احساس بی هنجاری و آنومی اجتماعی	۱.۶۶٪	۰.۲۹	۰.۷۱
۳۷	کاهش سرمایه اجتماعی (اعتماد و امنیت) نسبت به شرایط بدون سد	۳.۰۷٪	۰.۲۹	۰.۷۱
۳۸	رضایت بهره برداران و ذینفعان	۳.۴۹٪	۰.۲۹	۰.۷۱
امتیاز نهایی راهکار			**۴۵.۳۵**	**۵۴.۶۵**

۱۱. جمع بندی و ارائه راهکار(های) برتر

بررسی نتایج تحلیل حساسیت روی رتبه بندی راهکارهای مختلف رفع شوری سد گتوند نشان می دهد که راهکار خط انتقال به نزدیک سد، برتری نسبتاً قابل توجهی به سایر راهکارهای مورد بررسی دارد. نقاط قوت این راهکار براساس مدلسازی ها، ارزیابی های فنی و نتایج ارزیابی چند معیاره انجام شده به شرح زیر است:

- این راهکار می تواند در صورت پذیرش تجمع بیشتر نمک در مخزن سد گتوند، در طی مدت زمان اجرای خط

انتقال و مدت بهره برداری از آن (یعنی یک دوره حدوداً نه ساله)، اثر سد گتوند در افزایش شوری را قابل اغماض کند.

- هزینه های اجرایی این راهکار با توجه به میزان و سرعت اثربخشی آن در رفع شوری مخزن و تحویل آب با کیفیت بهتر به مردم خوزستان قابل توجیه به نظر می رسد.
- مدت زمان اجرای آن نسبت به سایر راهکارهای سازه ای مورد بررسی کوتاه تر است.
- به لحاظ اجتماعی، به نظر می رسد اجرای این راهکار با هزینه های نسبتاً محدود آن، می تواند زمینه رفع نگرانی های مردم خوزستان و دستگاه های ذینفع را فراهم کند.
- پتانسیل بهره برداری اقتصادی از نمک استحصال شده از این راهکار وجود دارد.
- تلفات آب در این راهکار در حد ۳۰ میلیون متر مکعب در سال محدود می شود که در مقایسه با آورد کل رودخانه کارون ناچیز است.

نقاط ضعف این راهکار به شرح زیر است:

- تجمع نمک در مخزن سد تا زمان راه اندازی خط انتقال به حدود ۱۳ میلیون تن خواهد رسید که تبعات محیط زیستی منفی در محدوده مخزن سد خواهد داشت.
- علی‌رغم طول محدود خط انتقال و توصیه به درنظر گرفتن ملاحظات محیط زیستی در نحوه ذخیره سازی نمک استحصال شده، ریسک انتشار شورابه یا پخش شدن نمک خشک در این راهکار صفر نیست.
- با توجه به مدلسازی های انجام شده، حساسیت عملکرد خط انتقال به وقوع شرایط حدی اقلیمی (نظیر خشکسالی های شدید) زیاد است.
- تملک اراضی لازم برای احداث حوضچه های تبخیری می تواند در این راهکار چالش برانگیز باشد، هر چند که مطالعات انجام شده نشان می دهد سطح قابل توجهی از اراضی در محدوده پیشنهادی فاقد کاربری خاص هستند و به نظر می رسد با هماهنگی با سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور می توان اراضی مناسبی برای این منظور را با هزینه تملک بسیار محدود شناسایی کرد.

در مقایسه با راهکار خط انتقال به خلیج فارس که راهکار مورد نظر وزارت نیرو نیز هست، نکات زیر ارجحیت راهکار خط انتقال به نزدیک سد را نشان می دهد:

- به استناد جلسات هم اندیشی برگزار شده در طی انجام این مطالعات، هزینه بسیار قابل توجه خط انتقال به خلیج فارس حتی توسط ذینفعان استانی که قاعدتاً بایستی به دنبال بهبود کیفیت آب کارون به هر قیمتی باشند، قابل پذیرش نیست.
- ریسک نشت آب شور از خط انتقال به خلیج فارس و تبعات محیط زیستی تخلیه آب با شوری بالاتر از شوری طبیعی خلیج فارس به آن بسیار گسترده تر از راهکار خط انتقال به نزدیک سد است.
- با توجه به طولانی بودن مسیر انتقال به خلیج فارس، به لحاظ ملاحظات پدافند غیر عامل، راهکار انتقال به نزدیک سد برتری دارد.
- در خط انتقال به خلیج فارس امکان بهره برداری از نمک تخلیه شده از مخزن فراهم نمی شود و به عبارت دیگر با اجرای این راهکار، یک معدن نمک از استان خوزستان بدون هیچ بهره برداری اقتصادی به خلیج فارس تخلیه می شود.

راهکار مدیریت مخزن به عنوان راهکار دوم پیشنهادی دارای نقاط قوت زیر است:

- در مقایسه با راهکارهای سازه ای، فاقد هزینه اجرا است.
- بلافاصله بعد از انتخاب قابل اجراست.
- با توجه به تجارب کسب شده در بهره برداری از سد از زمان آبگیری آن، سهولت اجرای این راهکار به لحاظ فنی بیش از تمام راهکارهای دیگر است.
- در مقایسه با راهکارهای سازه ای که نیازمند سرمایه گذاری هایی هستند که تنها در دوره رفع شوری مخزن سد قابل بهره برداری هستند، این راهکار فاقد هدررفت سرمایه است.
- این راهکار، حداقل اختلال در تأمین اهداف بهره برداری از سد گتوند را فراهم می کند و هدر رفت آب آن نیز صفر است.

نقاط ضعف این راهکار به شرح زیر است:

- طول مدت زمان حل مشکل در این راهکار، از تمام راهکارهای دیگر طولانی تر است. در این راهکار، مردم خوزستان باید متوسط EC خروجی از سد ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر را برای مدت ۱۵ سال تحمل کنند. این میزان البته حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ واحد کمتر از مقداری است که پس از آبگیری از سد از آن تخلیه شده است. این امر، علاوه بر تبعات اجتماعی که نمونه های آنها از زمان آبگیری سد نیز ملاحظه شده، افزایش هزینه های بهره برداری از سایر تاسیسات آبی و بهداشتی – درمانی و خسارات به اراضی کشاورزی و و احدهای صنعتی را نیز به دنبال خواهد داشت.
- تجمع شوری در مخزن در این راهکار نسبتاً قابل توجه است که تبعات محیط زیستی خاص خود را به دنبال خواهد داشت. ریسک های مرتبط نیز قابل توجه خواهند بود.
- این راهکار به عملکرد مناسب تاسیسات تخلیه کننده آب از سد بسیار حساس است و در صورت هر اختلالی در این تاسیسات، امکان بروز تبعات جبران ناپذیری وجود خواهد داشت.

به نظر می‌رسد صرف هزینه بابت اجرای خط انتقال به نزدیک سد به منظور بهبود کیفیت آب کارون و بازگرداندن آن به سطح طبیعی خود در مقطع سد گتوند، امری معقول و ضروری باشد. با توجه به منابع آلاینده متعددی که علاوه بر سد گتوند بر کیفیت کارون اثر منفی و جدی دارند، اگر مطالعات جامعی در خصوص کاهش آلودگی کارون انجام شده و مشخصات سایر راهکارهای بهبود کیفیت کارون مشخص شده بود، با توجه به محدودیت های مالی دولت، این امکان فراهم بود که احتمالاً راهکار دیگری در مقایسه با راهکار خط انتقال مطرح شود که با لحاظ کردن جمیع جهات در سامانه کارون بزرگ، اثر بیشتری بر بهبود کیفیت این رودخانه داشته باشد. ولی از آن جا که چنین اطلاعاتی در دست نیست، راهکار برتر مؤسسه آب دانشگاه تهران، با لحاظ کردن معیارهای محیط زیستی، اقتصادی، فنی، اجتماعی و ریسک، راهکار خط انتقال به نزدیک سد است. بدیهی است که اجرای راهکار خط انتقال مستلزم طی مراحل مختلف طراحی توسط مشاور، تأمین اعتبار لازم و اخذ مجوز محیط زیستی است.

لازم به ذکر است که هزینه های قابل توجه راهکارهای سازه ای رفع شوری سد گتوند پس از حل مشکل سد، عمدتاً بلااستفاده خواهد ماند، در صورتی که راهکارهای کاهش آلودگی های ورودی به رودخانه کارون در پایین دست سد گتوند می

تواند در درازمدت برای تضمین کیفیت آب رودخانه و تأمین آب با کیفیت بهتر برای مردم خوزستان مورد استفاده قرار گیرند.

شایان ذکر است که هیچ یک از راهکارهای بررسی شده توان حل فوری مشکل را نداشته و از این لحاظ اضطراری در اجرای آنها نیست. ولی از لحظه ای که تصمیم گرفته شود خط انتقال به نزدیک سد اجرا شود، باید اجرای آن یک اضطرار تلقی شده و از به ثمر رسیدن خط انتقال ظرف مدت ۳ الی ۵ سال مطمئن بود. زیرا با توجه به بازگرداندن کیفیت آب به وضعیت طبیعی رودخانه با شوری در حد ۱۱۰۰ واحد، نمک تجمع یافته در مخزن سد در آینده مشکل ساز شده و بسته به میزان تاخیر، چه بسا مجبور به تخلیه آب با کیفیت به مراتب بدتر شویم. لذا در صورتی که دولت امکان تضمین تأمین اعتبار مورد نیاز جهت اجرای خط انتقال را نداشته باشد، چنین راهکاری پیشنهاد نمی‌شود و به ناچار باید به راهکار مدیریت مخزن و شوری خروجی در حدود ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر رضایت داد.

۱۲. الزامات اجرایی و توصیه‌ها

۱۲. ۱. الزامات اجرایی راهکار برتر

۱. راهکار مدیریت مخزن جزئی از راهکار نهایی است. اجرای صحیح این راهکار نیازمند بازنگری مدل‌های بهره برداری از سدهای موجود با لحاظ کردن مسائل خاص سد گتوند و تدوین برنامه عملیاتی بهره برداری از سدها است. این کار هر چه سریعتر باید انجام شود. در انجام این کار باید کلیه عوامل موثر مانند کیفیت آب رودخانه و مخزن سد گتوند، تولید برق، نیاز آبی پایین دست، کنترل سیل، و همچنین تبعات محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی لحاظ گردد. از آنجا که امکان تأمین همزمان منافع دستگاه های ذینفع وجود ندارد، لازم است ترتیبی اتخاذ گردد که در تهیه چنین برنامه‌ای منافع ملی لحاظ گردد.

۲. با توجه به نیاز به ادامه عملکرد دریچه تخلیه تحتانی و نقش تعیین کننده آن در مدیریت مخزن، لازم است هر چه سریعتر مطالعه و بررسی لازم در خصوص تعمیر، بازسازی و ارتقای این سیستم و نحوه کنترل آن انجام شود.

۳. به استناد مطالعات هیدرولوژی این طرح، یکی از علل افزایش شوری کارون در سالهای اخیر کاهش آوردها نسبت به متوسط درازمدت بوده است. لذا هر گونه اقدامی که باعث کاهش آورد کارون در مقطع سد گتوند شود، اجرای موفق راهکار برتر را به مخاطره می اندازد.

۴. مطالعات تکمیلی خط انتقال انجام شود و در شرح خدمات آن، مباحث مرتبط با مدلسازی های کیفیت آب در مخزن و رودخانه لحاظ گردد. همچنین گزارش ارزیابی محیط زیستی خط انتقال به نزدیک سد هر چه زودتر تهیه و جهت اخذ مجوز محیط زیستی ارائه گردد.

۵. از لحظه شروع اجرای خط انتقال ، باید اجرای آن یک اضطرار تلقی شده و از به ثمر رسیدن آن ظرف مدت ۳ الی ۵ سال مطمئن شد. زیرا با توجه به بازگرداندن کیفیت آب به وضعیت طبیعی رودخانه ، نمک تجمع یافته در مخزن سد در آینده مشکل ساز شده و بسته به میزان تاخیر، چه بسا مجبور به تخلیه آب با کیفیت به مراتب بدتر شویم. لذا در صورتی که دولت امکان تضمین تأمین اعتبار مورد نیاز جهت اجرای خط انتقال را نداشته باشد، چنین راهکاری پیشنهاد نمی‌شود و به ناچار باید به راهکار مدیریت مخزن اکتفا نمود.

۶. راهکار خط انتقال به نزدیک سد تنها در صورتی به لحاظ محیط زیستی قابل توصیه است که شرایط ذخیره سازی نمک تا زمان بهره برداری از آن به صورت دقیق مطالعه و پیاده سازی شود به نحوی که هیچ نوع انتشار شورابه یا پخش نمک در مناطق اطراف صورت نگیرد. به نظر می رسد دانش و تجربه فنی لازم در این خصوص در کشور وجود دارد. همچنین با توجه به حجم قابل توجه نمک استحصالی از خط انتقال، توصیه می شود، همزمان با اجرای خط انتقال، سرمایه گذاری برای احداث واحدهای صنعتی جدید و یا تقویت ظرفیت واحدهای صنعتی موجود در استان برای بهره برداری از نمک استحصال شده صورت گیرد.

۱۲. ۲. توصیه ها و پیشنهادات

۱. برنامه پایش منظم و علمی کیفیت آب مخزن تهیه شود.
۲. بهتر است مسئولیت این پایش به سازمان آب و برق خوزستان واگذار شده و تا زمان رفع نگرانی ذینفعان، امکان نظارت ایشان بر برنامه پایش فراهم شود. نظارت دانشگاه شهید چمران بر این برنامه پایش نیز توصیه می‌شود.
۳. بررسی، مطالعه و پایش توده عنبل در دستور کار قرار گیرد و از جمله گمانه های توصیه شده در گزارش شناخت حفر گردد.
۴. بررسی بیشتر در خصوص تأثیر شوری بر بتن گالری بازدید انجام شده و آزمایشات توصیه شده در گزارش شناخت انجام شود.
۵. طرح جامع کاهش آلودگی کارون مجددا در دستور کار قرار گیرد.
۶. تا زمانی که طرح جامع کاهش آلودگی تهیه و آماده اجرا گردد، چند منبع آلاینده دیگر موثر بر کیفیت کارون شناسایی شده و مشابه سد گتوند مطالعات علاج بخشی خاص آنها انجام شود.
۷. گروهی مسئول ریشه یابی مسائل پیش‌آمده در سد گتوند شده و به منظور پیشگیری از وقوع اشتباهات مشابه و ضمن تبیین درس آموخته های این پروژه بزرگ، در صورت نیاز، اصلاحات لازم در فرآیندهای مربوط به مطالعه، ارزیابی، تصویب و به طور کلی نظام حاکم بر پروژه های فنی-مهندسی صنعت آب کشور را پیشنهاد نماید.

۱۳. مراجع

اصغرپور، م.ج. (۱۳۸۷) تصمیم‌گیری چند معیاره، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران. چاپ ششم.

زبردست، ا. (۱۳۸۹)، کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا،شماره ۴۱، ص ۹۰-۷۹.

قدسی‌پور، س.ح. (۱۳۹۲) فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. چاپ یازدهم.

محمدمرادی ا.، اخترکاوان م. (۱۳۸۸) روش شناسی مدل های تحلیل تصمیم گیری چند معیاره. مجله معماری و شهرسازی آرمان شهر ۲(۲). ۱۱۳-۱۲۵

ناصح، م. رییسی استبرق، ع. مقدس، م. (۱۳۹۳) استفاده از روش الکترواسمزی به منظور تسریع خروج آب در خاک‌های ریزدانه. مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۴۵(۴).۴۹۱-۴۹۷

شرکت مهاب قدس، فایل ارائه تحت عنوان «کیفیت آب مخزن سد گتوند»، ۱۲ اسفند ۱۳۹۳، (با انجام تغییرات)

Casagrande, L. (1949). Electro-osmosis in soils. Journal of Ge´otechnique, 1(3), 159–177.

Casagrande, L. (1983). Stabilization of soils by means of electro-osmosis: state-of-the-art. Journal of the Boston Society of Civil Engineers Section, ASCE. 69(2).255-302

Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, New York: McGraw Hill. International, RWS Publications.

Saaty, T.L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1.