وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی

IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده فنی و مهندسی

گروه معدن

تحلیل پایداری تونل های آب بر نیروگاه سد خرسان ۳

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی معدن

گرایش استخراج

مریم ابوالفتحی

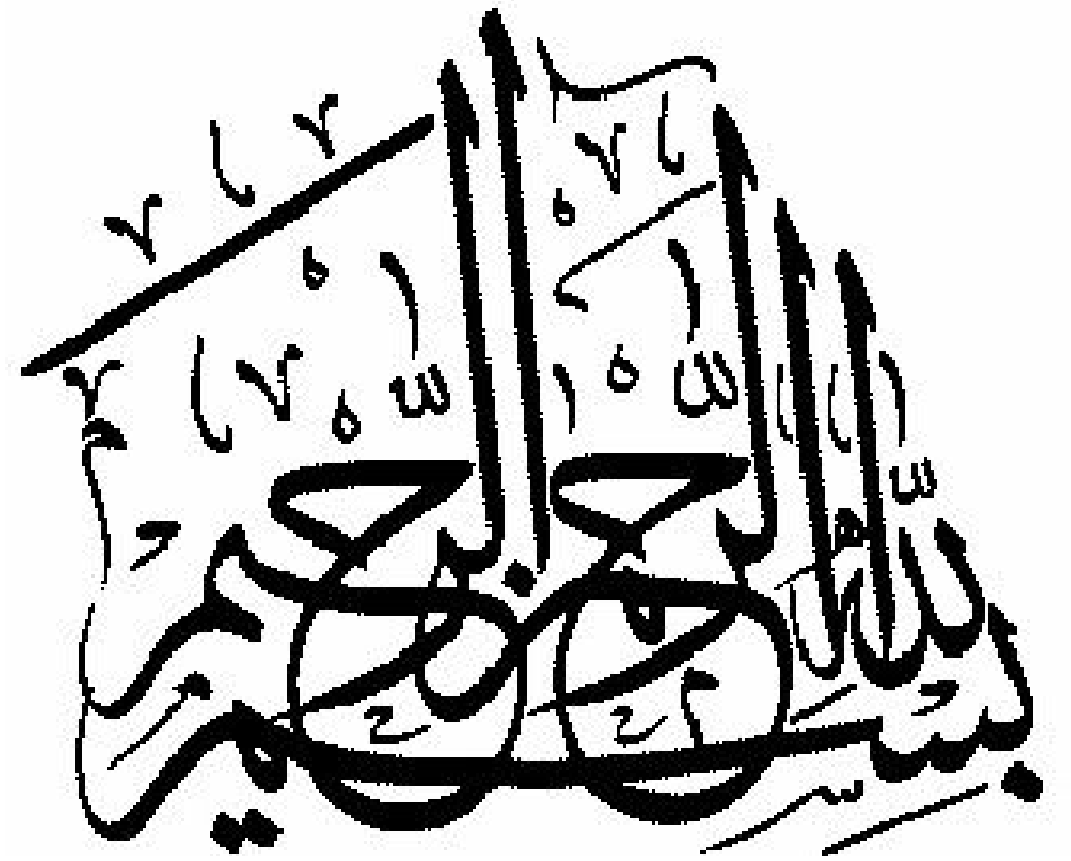
استاد راهنما :

دکتر مهدی حسینی

استاد مشاور :

مهندس رضا تابان راد

مهر ۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به خانواده ی عزیز و بزرگوارم

تشکر و قدر دانی

از جناب دکتر حسینی و مهندس تابان راد که کمک هایشان مرا در رسیدن به هدف یاری نمود کمال تشکر را دارم.

همچنین از خانواده ی عزیزم قدردانی می کنم که با صبر و پشتیبانی خود مرا حمایت نمودند.

چکیده

در حال حاضر تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی، خصوصاً تونل ها یکی از کارهای اساسی در طراحی و اجرای پروژه های عمرانی و معدنی می باشد و بدون استفاده از نتایج آن تخمین نگهداری و عمر مفید سازه کاری بس دشوار است. به طور عمده برای تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی ۴ روش پایه وجود دارد که شامل روش تحلیلی، مشاهده ای، تجربی و عددی می شود. در این پایان نامه تحلیل پایداری تونل های انتقال آب سد خرسان ۳ (واقع در ۴۶ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان لردگان از توابع استان چهارمحال و بختیاری) توسط روش تجربی Q، روش عددی تفاضل محدود و اجزای محدود انجام گرفته است. برای روش تفاضل محدود از نرم افزار FLAC3D و برای روش اجزای محدود از نرم افزار PHASE2 استفاده گردیده است که نتایج حاصل از PHASE2 نتایج مدل‌سازی به کمک نرم افزار FLAC3D را تأیید کرد. نتایج به دست آمده مبین این است که میزان ماکزیمم جابه‌جایی کمتر از جابه جایی بحرانی ساکورایی بوده، بنابراین تونل ها پایدار و نیاز به نصب سیستم نگهداری ندارند. همچنین منحنی عکس العمل زمین نیز رسم گردید. این منحنی نشان می دهد سنگ های اطراف تونل در وضعیت تنش موجود رفتار الاستیک نشان می دهد و نصب سیستم نگهداری ضرورتی ندارد.

کلمات کلیدی : تحلیل پایداری، سد خرسان۳، نرم افزار FLAC3D، تونل های آب بر

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه ---------- ۱

۱-۱-تعریف تحقیق و هدف ---------- ۲

۱-۲-مروری بر فصل های پایان نامه ---------- ۳

فصل دوم : کلیات و معرفی طرح سد خرسان۳ و خصوصیات زمین شناسی و ژئومکانیکی آن ------ ۴

۲-۱-مقدمه ---------- ۵

۲-۲-تاریخچه ی سد ---------- ۶

۲-۳-مشخصات کلی طرح ---------- ۷

۲-۴-اجزای تونل های آب بر ---------- ۸

۲-۵-موقعیت جغرافیایی ---------- ۱۰

۲-۶-موقعیت سد نسبت به سدهای مجاور ---------- ۱۱

۲-۷-زمین شناسی ساختمانی ---------- ۱۲

۲-۸-زمین ریخت شناسی ---------- ۱۴

۲-۹-سنگ چینه شناسی ---------- ۱۶

۲-۹-۱-سازند پابده ---------- ۱۶

۲-۹-۲-سازند آسماری ---------- ۱۶

۲-۹-۳-سازند گچساران ---------- ۱۷

۲-۹-۴-سازند بختیاری ---------- ۱۷

۲-۹-۵-رسوبات کواترنری ---------- ۱۸

۲-۱۰-شرایط زمین شناسی مهندسی محل ساختگاه ---------- ۲۱

۲-۱۱-مشخصات ناپیوستگی ها ---------- ۲۱

۲-۱۲-پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ ---------- ۲۷

۲-۱۳-روش GSI ---------- ۲۷

۲-۱۳-۱-تعیین شاخص GSI بر اساس RMR ---------- ۲۸

۲-۱۳-۲-تعیین شاخص GSI بر اساس Q---------- ۲۹

۲-۱۴-خواص فیزیکی ماده سنگ ---------- ۳۰

۲-۱۵-خواص مکانیکی ماده سنگ ---------- ۳۱
فصل سوم : روش های تحلیل پایداری ---------- ۳۴
۳-۱-مقدمه ---------- ۳۵
۳-۲-روش های مشاهده ای ---------- ۳۶
۳-۳-روش های تحلیلی ---------- ۳۷
۳-۴-روش های تجربی ---------- ۳۸
۳-۴-۱-طبقه بندی ژئومکانیکی (RMR) ---------- ۴۰
۳-۴-۲-طبقه بندی بر اساس شاخص کیفی سنگ (Q) ---------- ۴۳
۳-۵-روش های عددی در مهندسی سنگ---------- ۴۷
۳-۵-۱-روش المان محدود ---------- ۴۹
۳-۵-۲-روش المان مرزی---------- ۵۱
۳-۵-۳-روش المان مجزا ---------- ۵۳
۳-۵-۴-روش تفاضل محدود---------- ۵۵
۳-۵-۵-روش های ترکیبی ---------- ۵۷
فصل چهارم : تحلیل پایداری بر اساس نرم افزار FLAC3D---------- ۵۸
۴-۱-مقدمه ---------- ۵۹
۴-۲-انتخاب مناسب ترین روش عددی ---------- ۵۹
۴-۳-مراحل مدل سازی در مکانیک سنگ ---------- ۶۰
۴-۴-آشنایی با نرم افزار FLAC3D ---------- ۶۱
۴-۵-مراحل مدل سازی FLAC3D ---------- ۶۱
۴-۵-۱-تعیین محدوده مورد نیاز از توده سنگ اطراف تونل ---------- ۶۲
۴-۵-۲-تعیین مدل رفتاری مناسب و تخصیص خصوصیات مواد---------- ۶۴
۴-۵-۳-اعمال تنش های اولیه و مرزی ---------- ۶۸
۴-۵-۴-اجرای مدل تا رسیدن به تعادل ---------- ۷۰
۴-۵-۵-حفر تونل و حل مجدد مدل تا رسیدن به تعادل ---------- ۷۴
۴-۵-۵-۱-ایجاد فضای زیرزمینی ---------- ۷۴

۴-۵-۵-۲-حل مجدد مدل ---------- ۷۵
۴-۶-بررسی مجدد توسط نرم افزار PHASE2 ---------- ۸۰
فصل پنجم : تحلیل پایداری با روش کرنش بحرانی و روش اندرکنش سنگ و وسیله نگهدارنده ---- ۸۴
۵-۱-مقدمه ---------- ۸۵
۵-۲-روش کرنش بحرانی ---------- ۸۵
۵-۳-روش اندرکنش سنگ و وسیله ی نگهدارنده ---------- ۸۸
فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات ---------- ۹۱
۶-۱-نتیجه گیری ---------- ۹۲
۶-۲-پیشنهادات ---------- ۹۲
فهرست منابع ---------- ۹۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱ : ویژگی های سد ---------- ۷
جدول ۲-۲ : مشخصات دهانه ی ورودی ---------- ۹
جدول ۲-۳ : درصد سنگ های تشکیل دهنده واحدها ---------- ۲۰
جدول ۲-۴ : دسته درزه های موجود در تکیه گاه چپ سد خرسان۳ ---------- ۲۲
جدول ۲-۵ : دسته درزه های موجود در تکیه گاه راست سد خرسان۳ ---------- ۲۴
جدول ۲-۶ : خواص مکانیکی توده سنگ از آزمایش جکینگ ---------- ۲۷
جدول ۲-۷ : میزان C و φ در توده سنگ ---------- ۳۰
جدول ۲-۸ : خواص فیزیکی ماده سنگ ---------- ۳۱
جدول ۲-۹ : خواص مکانیکی ماده سنگ ---------- ۳۲
جدول ۲-۱۰ : خواص مکانیکی ماده سنگ ---------- ۳۳
جدول ۳-۱ : برخی از طبقه بندی های مهندسی سنگ ---------- ۳۹
جدول ۳-۲ : طبقه بندی توده سنگ اطراف تونل های آب بر با روش RMR ---------- ۴۱
جدول ۳-۳ : اندازه ی عددی ضریب ESR در وضعیت های مختلف ---------- ۴۴
جدول ۴-۱ : خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ های دربرگیرنده ---------- ۶۷
جدول ۴-۲ : تنش های ثقلی وارده به مدل قبل از وارد کردن روباره ---------- ۷۰

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ : جانمایی کلی طرح سد خرسان۳---------- ۵

شکل ۲-۲ : پروفیل طولی تونل آب بر نیروگاه---------- ۸

شکل ۲-۳ : موقعیت جغرافیایی طرح---------- ۱۰

شکل ۲-۴ : موقعیت طرح در حوزه ی آبریز کارون ---------- ۱۱

شکل ۲-۵ : مکان یابی رودخانه نسبت به تاقدیس لکی ---------- ۱۴

شکل ۲-۶ : صفحات ناپیوستگی های تکیه گاه چپ ---------- ۲۲

شکل ۲-۷ : کنتوردیاگرام ناپیوستگی های تکیه گاه چپ ---------- ۲۳

شکل ۲-۸ : صفحات ناپیوستگی های تکیه گاه راست ---------- ۲۴

شکل ۲-۹ : کنتوردیاگرام ناپیوستگی های تکیه گاه راست ---------- ۲۵

شکل ۲-۱۰ : تغییرات مدول تغییرشکل پذیری نسبت به جهت بارگذاری ---------- ۲۶

شکل ۲-۱۱ : نمودارهای RocLab در منطقه ی UAS2 ---------- ۲۹

شکل ۳-۱ : برآورد رده ی نگهداری تونل ها بر اساس شاخص Q و حداکثر بعد معادل ---------- ۴۶

شکل ۳-۲ : نمودار ترتیب محاسبات در روش صریح ---------- ۵۵

شکل ۴-۱ : استفاده از روش های عددی بر حسب پیوسته یا ناپیوسته بودن محیط---------- ۶۰

شکل ۴-۲ : هندسه ی مدل ساخته شده در نرم افزار FLAC3D ---------- ۶۳

شکل ۴-۳ : بستن مرزهای مدل در دیواره ها و کف با استفاده از تکیه گاه های غلتکی ---------- ۶۹

شکل ۴-۴ : کنتور تنش قائم یکنواخت در مدل قبل از وارد کردن روباره ---------- ۷۱

شکل ۴-۵ : کنتور تنش قائم غیر یکنواخت در مدل پس از وارد کردن روباره ---------- ۷۱

شکل ۴-۶ : تاریخچه ی نیروهای نامتعادل طی ۹۹۲۶ گام زمانی ---------- ۷۲

شکل ۴-۷ : تاریخچه ی سرعت نقطه ای در وسط شبکه قبل از حفر ---------- ۷۳

شکل ۴-۸ : تاریخچه ی جابه جایی نقطه ای در وسط شبکه قبل از حفر ---------- ۷۳

شکل ۴-۹ : حفاری هر دو تونل تا انتها ---------- ۷۴

شکل ۴-۱۰ : به تعادل رسیدن نیروها پس از حفر تونل ها ---------- ۷۵

شکل ۴-۱۱ : به تعادل رسیدن سرعت نقطه ای در سقف تونل پس از حفر ---------- ۷۶

شکل ۴-۱۲ : به تعادل رسیدن سرعت نقطه ای در دیواره ی تونل پس از حفر ---------- ۷۶

شکل ۴-۱۳ : به تعادل رسیدن جابه جایی نقطه ای در سقف تونل پس از حفر ---------- ۷۷
شکل ۴-۱۴ : به تعادل رسیدن جابه جایی نقطه ای در دیواره ی تونل پس از حفر ---------- ۷۷
شکل ۴-۱۵ : کنتور جابه جایی های ایجاد شده پس از حفر ---------- ۷۸
شکل ۴-۱۶ : عدم گسترش ناحیه ی پلاستیک قبل از حفر تونل ها---------- ۷۹
شکل ۴-۱۷ : گسترش ناحیه ی پلاستیک بعد از حفر تونل ها ---------- ۸۰
شکل ۴-۱۸ : کنتور جابه جایی های ایجاد شده پس از حفر در منطقه UAS3 ---------- ۸۱
شکل ۴-۱۹ : شبکه ی ساخته شده در نرم افزار PHASE2---------- ۸۱
شکل ۴-۲۰ : تنش های وارده به مدل در نرم افزار PHASE2---------- ۸۲
شکل ۴-۲۱ : جابه جایی های کلی ایجاد شده در مدل در نرم افزار PHASE2 ---------- ۸۳
شکل ۵-۱ : ترازهای هشدار خطر برای ارزیابی پایداری تونل ها ---------- ۸۶
شکل ۵-۲ : کنتور کرنش های برشی به دست آمده در مدل ---------- ۸۷
شکل ۵-۳ : رابطه ی بین فشار سیستم نگهداری و جابه جایی شعاعی---------- ۸۹
شکل ۵-۴ : نمودار عکس العمل زمین در منطقه ی UAS2---------- ۹۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تعریف تحقیق و هدف

یکی از تحولات عظیم در شاخه ی مهندسی معدن رشد علم مکانیک سنگ در زمینه ی طراحی، احداث، تحلیل پایداری و ارزیابی پارامترهای اصلی در طراحی سازه های خاکی و سنگی می‌باشد که به کارگیری آن به خصوص در سازه های زیرزمینی مانند تونل های شهری، مغارها، نیروگاه های برق آبی و اتمی و....بسیار با اهمیت و مشهود است.

سد خرسان۳ در فاصله ی ۴۶ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان لردگان از توابع چهارمحال و بختیاری بر روی رودخانه ی خرسان از سرشاخه های رودخانه ی کارون قرار دارد.

هدف از احداث این سد تأمین انرژی برق آبی می باشد. انتقال آب از پشت سد به نیروگاه توسط دو رشته تونل انجام می شود و چون تونل های انتقال آب به نیروگاه جزء حفریات دائمی یک سد به شمار می آیند پایدار ماندن تونل در طول عمر خود از اهمیت بالایی برخوردار است و عدم توجه به ایمنی منطقه خسارات جبران ناپذیری به بار می آورد.

در این تحقیق برای بررسی تنش ها و تغییر مکان ها در اطراف تونل های آب بر تحلیل پایداری انجام شده است.

به دلیل اینکه بیشتر فضاهای زیرزمینی دارای شکل ساده و منظمی نبوده و در اعماق مختلف با توپوگرافی‌های متفاوت وجود دارند همچنین وجود ناپیوستگی ها و در بعضی موارد عدم شرایط همگن و ایزوتروپ در توده سنگ باعث شده در چند دهه ی اخیر روش های عددی برای تعیین تنش‌ها و گسیختگی ها در سازه های زیرزمینی به وفور استفاده شوند و جایگزین بهتری برای دیگر روش های تحلیل پایداری گردند.

بنابراین برای تحلیل پایداری تونل های آب بر روش های عددی که دقت محاسباتی بالاتری نیز نسبت به دیگر روش ها دارند انتخاب گردیدند.

با توجه به تعداد ناپیوستگی ها (۵ دسته ناپیوستگی) و در نظر گرفتن شرایط ایزوتروپ، منطقه ی مورد نظر را محیطی معادل پیوسته فرض کرده و از نرم افزار FLAC3D برای مدل سازی و تحلیل پایداری استفاده می گردد.

به دلیل عدم حفر تونل های آب بر تا زمان نگارش پایان نامه و عدم نصب وسایل ابزار سنجی نتایج حاصل از نرم افزار FLAC3D با نتایج حاصل از نرم افزار PHASE2 و همچنین نتایج حاصل از رسم منحنی عکس العمل زمین مقایسه گردید. نتایج حاصل از روش های مختلف خیلی به هم نزدیک است که نشان دهنده ی درستی تحلیل ها می باشد.

۱-۲- مروری بر فصل های پایان نامه

در فصل اول موضوع و هدف تحلیل پایداری توضیح داده شده است. فصل دوم به طور کامل به معرفی طرح سد خرسان ۳ و خصوصیات زمین شناسی و ژئومکانیکی آن پرداخته است. در فصل سوم انواع روش های تحلیل پایداری توضیح داده شده و طبقه بندی مهندسی سنگ ها توسط روش های تجربی انجام گرفته است. فصل چهارم به تحلیل پایداری بر اساس روش عددی و استفاده از نرم افزار FLAC3D و PHASE2 اختصاص یافته است. در فصل پنجم تحلیل پایداری تونل ها با استفاده از روش کرنش بحرانی و روش اندرکنش سنگ و وسیله ی نگهدارنده توضیح داده شده است و در نهایت فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات را بیان می کند.

فصل دوم

کلیات و معرفی طرح سد خرسان ۳ و خصوصیات زمین شناسی و ژئومکانیکی آن

۲-۱- مقدمه

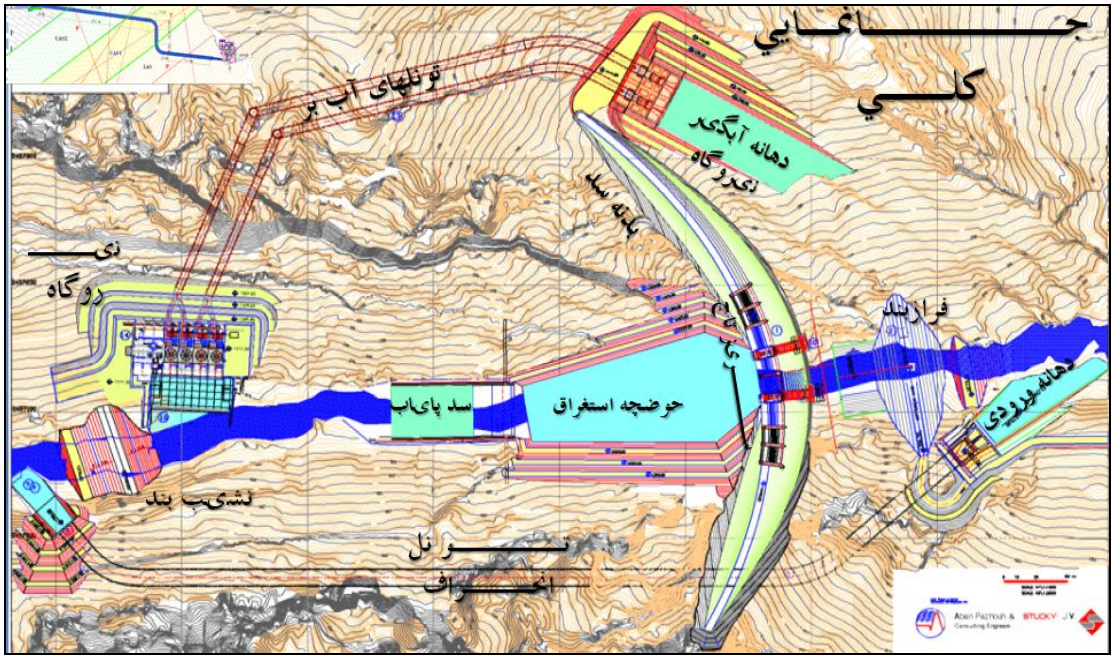
سد خرسان ۳ از جمله طرح های در دست اجرا می باشد ذخیره ی آب در پشت این سد به منظور بهره‌گیری از انرژی آب برای تولید نیروی برق می باشد، این سد بر روی رودخانه ی خرسان که یکی از بزرگترین سرشاخه های رودخانه کارون به حساب می آید قرار می‌گیرد.

تا تاریخ ۸۹/۸/۲۰ در کل هشتاد و یک گمانه اکتشافی با مجموع طول ۱۰۷۶۷ متر و چهار رشته گالری اکتشافی برای به دست آوردن اطلاعات مکانیک سنگی ماده سنگ و توده سنگ حفر شده است [۱].

اجزای اصلی این ساختگاه متشکل از:

بدنه ی سد، یک تونل انحراف آب، دو تونل انتقال آب به نیروگاه، نیروگاه، نشیب بند و فرازبند است که ناحیه ی انتخاب شده جهت بررسی در این تحقیق طولی از تونل های آب بر می باشد که تحلیل پایداری آن توسط نرم افزار FLAC3D انجام می شود.

در شکل ۲-۱ جانمایی اجزای نام برده نشان داده شده است.



شکل۲-۱ : جانمایی کلی طرح سد خرسان ۳ [۱]

۲-۲- تاریخچه ی سد

در ارتباط با سد مخزنی خرسان۳ مجموعه مطالعاتی در چندین مرحله توسط مشاورین مختلف انجام شده است که خلاصه ی آن به شرح زیر است :

۱. شرکت هارزا، اردیبهشت ۱۳۴۶، مطالعات مقدماتی توسعه ی منابع آب رودخانه ی کارون که در این مطالعات در مجموع ۱۳ محل سد معرفی شده است.

۲. شرکت ایکرز، سال ۱۳۶۱، مطالعات امکان یابی سدهای کارون.

۳. شرکت جاماب، تیر ۱۳۶۷، مطالعات طرح جامع آب کشور در حوضه ی کارون.

۴. شرکت مهاب قدس، شهریور ۱۳۷۲، مرحله ی پیش شناخت طرح تولید انرژی برقابی سرشاخه های کارون.

۵. شرکت مهاب قدس، مهر ۱۳۷۵، مرحله ی شناخت طرح سد مخزنی و نیروگاه.

۶. شرکت مهاب قدس، آبان ۱۳۷۹، مرحله ی اول طرح سد مخزنی و نیروگاه.

۷. شرکت مهاب قدس، خرداد ۱۳۸۰، مطالعات تکمیلی مرحله ی اول سد مخزنی و نیروگاه خرسان ۳.

۸. مشارکت پارس آب تدبیر، آبان پژوه و اشتوکی، سال ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۵ مطالعات بازنگری مرحله‌ی اول طرح.

۹. مشارکت پارس آب تدبیر، آبان پژوه و اشتوکی، سال ۱۳۸۶ مطالعات مرحله دوم.

۲-۳- مشخصات کلی طرح

جدول۲-۱ : ویژگی های سد [۲]

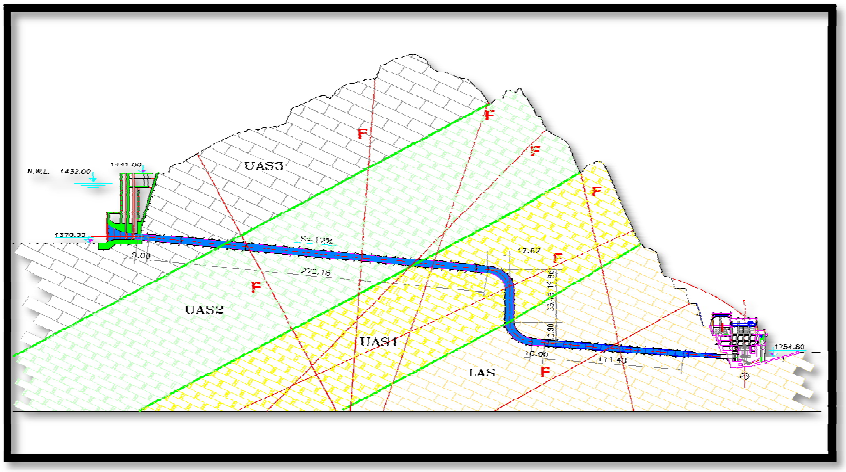
نوع سد	بتنی دو قوسی
ارتفاع سد از پی (متر)	۱۹۵
عرض دره در تراز تاج (متر)	۳۷۰
عرض بستر رودخانه (متر)	۴۰
رقوم تاج سد (متر از سطح دریا)	۱۴۲۵
رقوم حداکثر عادی بهره برداری آب (متر از سطح دریا)	۱۴۱۸
رقوم حداقل عادی بهره برداری آب (متر از سطح دریا)	۱۴۰۰
رقوم کف رودخانه (متر از سطح دریا)	۱۲۶۲
رقوم پی (متر از سطح دریا)	۱۲۵۰
حجم دریاچه تا رقوم عادی بهره براداری (میلیون متر مکعب)	۷۷۷/۵
حجم دریاچه تا رقوم حداقل بهره برداری (میلیون متر مکعب)	۵۲۰/۱
مساحت حوضه ی آبریز (کیلومتر مربع)	۷۷۳۳
متوسط بارندگی (میلی متر)	۵۸۵/۴
حجم رسوب ۵۰ ساله (میلیون متر مکعب)	۱۸۸/۵
متوسط تبخیر از سطح آزاد آب (میلی متر)	۱۶۶۸/۶
حداکثر سیل ۵۰ ساله (متر مکعب در ثانیه)	۲۸۵۶
حداکثر سیل محتمل آماری (متر مکعب در ثانیه)	۸۷۸۰

۲-۴- اجزای تونل های آب بر:

- تونل تراز بالا با قطر حفاری ۷/۳ متر
- شفت قائم با قطر حفاری ۷/۳ متر
- تونل تراز پایین با قطر حفاری ۶/۶ متر
- انشعاب Y شکل با قطر ۳/۷ متر
- اتصال انشعاب به واحدها

تونل های انتقال آب در جناح راست ساختگاه سد واقع شده است.

به ترتیب قسمت عمده ای از تونل های آب بر تراز بالا در واحدهای UAS3، UAS2، قسمت انتهای آن و بخش عمده ای از شفت قائم در واحد UAS1 و تونل های تراز پایین و انشعاب ها در واحد LAS قرار گرفته اند.



شکل۲-۲ : پروفیل طولی تونل آب بر نیروگاه [۱]

در انتها تونل های آب بر که در قسمت انشعاب به چهار تونل تقسیم می شوند به چهار توربین نیروگاه ختم می شوند.

جدول ۲-۲ : مشخصات دهانه ی ورودی [۲]

تراز کانال ورودی	۱۳۷۰متر از سطح دریا
طول کانال ورودی	۱۶۵متر
تعداد تونل آب بر	۲
قطر تونل	۷/۳ متر
موقعیت	تکیه گاه راست
نوع نیروگاه	سطحی
ارتفاع مؤثر توربین (هد طراحی)	۱۴۲ متر
حداکثر ارتفاع توربین	۱۶۷ متر
حداقل ارتفاع توربین	۱۳۵ متر
دبی سیستم آب بر نیروگاه	۳۲۰ متر مکعب بر ثانیه
رقوم آبگیر	۱۳۷۲ متر از سطح دریا
رقوم محور توربین	۱۲۵۴ متر از سطح دریا
ظرفیت نصب	۴۰۰ =۱۰۰×۴ مگا وات
ضریب کارکرد	٪۲۰
انرژی مطمئن	۶۸۲ گیگا وات ساعت بر روز
انرژی ثانویه	۴۳۹ گیگا وات ساعت بر روز
تعداد ساعت تولید انرژی پیک	۴/۸