

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

رفتار سنجی ابزار دقیق سد گلورد نکا

نگارنده:

مازیار شریف

استاد راهنما:

دکتر رضا نادری

دی ماه ۱۳۹۷

شماره: ۴۳۵
تاریخ: ۹۸/۲/۸

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مازیار شریف با شماره دانشجویی ۹۲۰۸۴۰۴ رشته عمران گرایش سازه های هیدرولیکی
عنوان رفتار سنجی ابزار دقیق سد گلودرنگا که در تاریخ ۱۳۹۷/۱۰/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز ۴۰/۲۰/۲۰ درجه) ☒ مردود ☐			
نوع تحقیق: نظری ☒ عملی ☐			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر رضا نادری	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی گلی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر احمد احمدی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر امیر بذرافشان مقدم	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا نادری

دانشکده مهندسی عمران
آموزش تحصیلات تکمیلی
تاریخ و امضاء نماینده دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع

مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به:

دردفزارکار
♦

و

مادر مهربانم

تشکر و قدردانی:

سپاس بیکران خداوند متعال را که مرا فرصت اندیشیدن داد. بر خود لازم می‌دانم از استاد گران‌قدر جناب آقای دکتر نادری که با راهنمایی‌های خود انجام این پایان‌نامه را امکان‌پذیر ساختند نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم.

تعهد نامه

اینجانب **مازیار شریف** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد (دکتری) رشته **مهندسی عمران** دانشکده عمران دانشگاه صنعتی

شاهرود نویسنده پایان نامه **رفتار سنجی ابزار دقیق سد گلورد نکا** تحت راهنمایی **دکتر رضا نادری** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
 - در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
 - مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
 - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
 - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
 - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

فرایند رفتارسنجی به معنی بررسی عملکرد یک سازه در طی دوران ساخت و بهره‌برداری و تطبیق آن با پیش‌بینی‌های زمان طراحی می‌باشد. رفتارسنجی در سازه‌های خاکی به دلیل امکان بروز پدیده‌هایی مانند لغزش شیروانی‌ها، ترک خوردگی یا گسیختگی هیدرولیکی و شستگی مصالح ریزدانه و ... از اهمیت خاصی برخوردار است. انجام فرایند کنترل ایمنی و پایداری بدنه‌ی سد خاکی و پی آن، معمولاً از طریق بررسی اطلاعات موجود در آرشو فنی، نتایج حاصل از قرائت ابزار دقیق و بازرسی میدانی و تحلیل عددی سد صورت می‌گیرد.

در این تحقیق به رفتارسنجی سد گلورد نکا که از نوع سد سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی^۱ می‌باشد، در دوران ساخت پرداخته شده‌است. از این رو به کمک قرائت ابزار دقیق نصب‌شده در بدنه‌ی سد و انجام آنالیز برگشتی توسط نرم‌افزار پیشرفته‌ی FLAC سعی شده‌است تا مشخصات دقیق مصالح به کار رفته در ساخت سد شناخته شود و به کمک آن رفتار آینده‌ی سد پیش‌بینی شود.

محل سد گلورد بر روی رودخانه‌ی نکارود و در حوزه‌ی آبریز دریاچه‌ی مازندران (طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۶ دقیقه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه‌ی شمالی) واقع گردیده‌است. سد گلورد در بالادست روستای گلورد در منطقه‌ی کوهستانی هزار جریب نکا قرار گرفته‌است. این سد در فاصله‌ی ۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان بهشهر، در فاصله‌ی ۷۰ کیلومتری شهرستان ساری و ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی نکا قرار دارد. مساحت حوزه‌ی آبریز تا محل سد گلورد ۱۴۸۰ کیلومتر مربع و متوسط بارندگی سالانه در محل ساخت‌گاه سد ۹۴۰ میلی‌متر می‌باشد.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که نشست سد در حدود ۵ درصد، جابه‌جایی افقی در حدود ۷ درصد و تنش قائم کل و فشار آب منفذی در حدود ۱۰ درصد با نتایج حاصل از ابزار دقیق در دوران ساخت اختلاف دارند که نشان می‌دهد نتایج تحلیل هم‌خوانی مناسبی با ابزار دقیق دارد. از طرفی در سد گلورد بیشینه‌ی نشست در یک سوم میانی از تاج سد رخ می‌دهد.

کلمات کلیدی: رفتارسنجی، سد گلورد، تحلیل استاتیکی در دوران ساخت، FLAC

^۱ CFRD

فهرست مطالب

فصل اول	۱
کلیات	۱
۱-۱- اهداف پژوهش	۲
۲-۱- پیشینه‌ی تحقیق	۲
۳-۱- ضرورت انجام تحقیق	۳
۴-۱- فصل‌بندی	۵
فصل دوم	۷
سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی گلودر نکا	۷
۱-۲- سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی	۸
۱-۱-۲- مقدمه	۸
۲-۱-۲- طرح قدیمی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی	۱۰
۳-۱-۲- بخش‌های تشکیل‌دهنده‌ی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی	۱۰
۱-۳-۱-۲- بدنه‌ی سنگریزه‌ای	۱۱
۲-۳-۱-۲- رویه‌ی بتنی	۱۵
۱-۲-۳-۱-۲- ضخامت رویه‌ی بتنی	۱۶
۳-۳-۱-۲- دال پنجه	۱۷
۴-۳-۱-۲- دیوار جان‌پناه	۱۸
۱-۴-۳-۱-۲- گرده	۱۹
۴-۱-۲- پی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی	۱۹
۱-۴-۱-۲- پی‌های سنگی	۱۹
۲-۴-۱-۲- پی‌های غیرسنگی	۲۰
۵-۱-۲- ابزارگذاری	۲۱
۶-۱-۲- سرریز روی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی	۲۲
۲-۲- معرفی سد گلودر نکا	۲۳

۲۳	۱-۲-۲- مشخصات کلی سد
۲۳	۲-۲-۲- موقعیت سد
۲۴	۳-۲-۲- تاریخچه سد
۲۵	۴-۲-۲- اهداف طرح
۲۶	۵-۲-۲- مشخصات رودخانه و حوزه آبریز
۲۶	۶-۲-۲- مشخصات پروژه
۲۶	۱-۶-۲-۲- مشخصات ساختگاه
۲۶	۲-۶-۲-۲- مشخصات سد
۲۶	۳-۶-۲-۲- مشخصات سرریز
۲۷	۴-۶-۲-۲- مشخصات سیستم انحراف
۲۷	۵-۶-۲-۲- مشخصات تخلیه کننده ی تحتانی
۲۷	۶-۶-۲-۲- مشخصات آب گیر کشاورزی
۲۷	۷-۶-۲-۲- مشخصات دایک دره خانه سر
۲۸	۸-۶-۲-۲- مشخصات گالری ها
۲۸	۷-۲-۲- زمین شناسی عمومی و زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد
۲۸	۱-۷-۲-۲- ساختگاه سد و ویژگی ها
۲۸	۲-۷-۲-۲- زمین شناسی عمومی و ریخت شناسی
۲۹	۳-۷-۲-۲- زمین شناسی مهندسی
۳۰	۱-۳-۷-۲-۲- آزمایش های درجا
۳۰	۲-۳-۷-۲-۲- آزمایش های آزمایشگاهی
۳۰	۸-۲-۲- طراحی بدنه ی سد
۳۰	۱-۸-۲-۲- زون بندی بدنه ی سد
۳۳	۲-۸-۲-۲- تحلیل پایداری شیب ها
۳۴	۳-۸-۲-۲- بهینه سازی عرض زون شماره (3C)
۳۵	۴-۸-۲-۲- روند محاسبات
۳۶	۵-۴-۸-۲-۲- تحلیل سه بعدی بدنه ی سد گلورد در حالت دینامیکی
۳۹	فصل سوم

۳۹.....	ابزار دقیق
۴۰.....	۳-۱- مقدمه
۴۲.....	۳-۲- طبقه‌بندی کلی ابزاردقیق
۴۲.....	۳-۲-۱- ابزارهای مکانیکی
۴۳.....	۳-۲-۲- ابزارهای الکتریکی
۴۳.....	۳-۳- ابزارهای رایج در سدهای خاکی
۴۴.....	۳-۳-۱- ابزار اندازه‌گیری فشار آب حفره ای (پیزومترها)
۴۴.....	۳-۳-۲- ابزار اندازه‌گیری تنش کل
۴۴.....	۳-۳-۳- ابزارهای اندازه‌گیری تغییر شکل‌ها و تغییر مکان‌ها
۴۴.....	۳-۳-۴- ابزار اندازه‌گیری نشت آب
۴۵.....	۳-۳-۵- ابزار اندازه‌گیری دما
۴۵.....	۳-۳-۶- ابزارهای اندازه‌گیری رطوبت
۴۵.....	۳-۳-۷- ابزارهای اندازه‌گیری درز و ترک
۴۵.....	۳-۳-۸- ابزارهای اندازه‌گیری حرکات پی و شیب‌ها
۴۶.....	۳-۳-۹- اندازه‌گیری زمین لرزه - زلزله‌سنجی
۴۶.....	۳-۳-۱۰- اندازه‌گیری تراز آب
۴۶.....	۳-۴- قرائت، ثبت و پردازش داده‌های ابزاردقیق
۴۷.....	۳-۵- ابزار دقیق سد گلورد
۴۸.....	۳-۵-۱- ابزاربندی بدنه
۴۸.....	۳-۵-۲- ابزاربندی رویه بتنی
۴۹.....	۳-۵-۳- ابزاربندی ساخت‌گاه
۵۰.....	۳-۶- مختصری در مورد ابزاردقیق مورد استفاده در سد گلورد
۵۰.....	۳-۶-۱- شتاب‌نگار
۵۱.....	۳-۶-۲- ثبات
۵۱.....	۳-۶-۳- آنتن جی‌پی‌اس
۵۲.....	۳-۶-۴- سنسور شتاب
۵۲.....	۳-۶-۵- پیزومترهای بدنه و پی

۵۳	۳-۶-۶- پیرومتر کاساگراند
۵۴	۳-۶-۷- فشارسنج کل
۵۴	۳-۶-۸- سربز اندازه گیری نشت
۵۵	۳-۶-۹- نشست سنج هیدرولیکی
۵۵	۳-۶-۱۰- کشیدگی سنج زنجیرهای افقی
۵۶	۳-۶-۱۱- مجموعه انحراف سنج عمودی و نشست سنج
۵۷	۳-۶-۱۲- انحراف سنج افقی
۵۸	۳-۶-۱۲- انحراف سنج مایل
۵۸	۳-۶-۱۳- ایستگاه هیدرومتری
۵۸	۳-۶-۱۴- ایستگاه هواشناسی
۵۹	۳-۶-۱۵- الکترولول
۶۰	۳-۶-۱۶- درزه سنج
۶۰	۳-۶-۱۷- کشیدگی سنج گمانه ای
۶۱	۳-۶-۱۸- اشل دریاچه
۶۱	۳-۶-۱۹ (۳-۱۹) اشل تراز آب دریاچه
۶۱	۳-۶-۱۹- کرنش سنج
۶۲	۳-۶-۲۰- تجهیزات اتاق کنترل
۶۳	۳-۶-۲۱- جعبه تقسیم
۶۳	۳-۶-۲۲- چاه مشاهدهای
۶۴	۳-۶-۲۳- تجهیزات مربوط به قرائت های نقشه بردای و میکروژئودزی
۶۴	۳-۷-۷- وضعیت نصب ابزار دقیق سد گلورد
۶۵	۳-۷۰-۱- نمودار درصد وزنی هر ابزار نسبت به کل ابزارها
۶۶	۳-۷-۲- نمودار درصد پیشرفت نصب ابزار دقیق
۶۷	۳-۸-۱- مقطع ابزاربندی ۰ + ۰۷۰
۶۸	۳-۸-۲- مقطع ابزاربندی ۰ + ۱۳۰
۷۰	۳-۸-۳- مقطع ابزاربندی ۰ + ۱۹۰
۷۳	فصل چهارم

۷۳.....	ارائه، تجزیه و تحلیل دقیق و کامل نتایج و یافته ها
۷۴.....	۴-۱- مقدمه
۷۴.....	۴-۲- روند انجام تحلیل‌های برگشتی
۷۶.....	۴-۳- بررسی تغییر شکل‌های افقی و قائم
۷۹.....	۴-۴- بررسی تنش کل
۸۰.....	۴-۵- تعیین پارامترهای مصالح (به‌دست آمده از تحلیل‌های برگشتی)
۸۱.....	۴-۶- آنالیز برگشتی با داده‌های ابزار دقیق
۸۱.....	۴-۶-۱- مقدمه
۸۲.....	۴-۶-۲- بررسی تغییر شکل‌های قائم و افق بدنه‌ی سد
۸۴.....	۴-۶-۳- بررسی فشارهای قائم مقطع (۱۳۰+)
۸۵.....	۴-۷- تحلیل پایداری سد خاکی گلود نکا در دوران بهره‌برداری
۸۵.....	۴-۷-۱- مقدمه
۸۶.....	۴-۷-۲- وضعیت بدنه‌ی سد گلود نکا از لحاظ فشار آب‌منفذی
۸۸.....	۴-۷-۳- ترک‌های ناشی از کاهش سطح تنش مؤثر خاک
۹۰.....	۴-۷-۴- وضعیت بدنه سد گلود نکا از لحاظ تنش - کرنش در توده خاک
۹۶.....	۴-۷-۷- وضعیت بدنه سد گلود نکا از لحاظ جابجایی افقی و نشست
۹۸.....	۴-۸- ویژگی‌های الگوهای عددی سد خاکی در تحلیل دینامیکی
۹۸.....	۴-۸-۱- هندسه الگوها
۹۹.....	۴-۸-۲- بارگذاری دینامیکی
۱۰۱.....	۴-۹- تحلیل دینامیکی سد خاکی
۱۰۲.....	۴-۱۰- تغییر مکان‌های قائم و افقی سد تحت اثر زلزله
۱۰۵.....	فصل پنجم
۱۰۵.....	نتایج و ارائه پیشنهادات
۱۰۶.....	۵-۱- نتایج
۱۰۷.....	۵-۲- پیشنهادات
۱۰۸.....	منابع

فهرست اشکال

شکل (۱-۲) جزئیات طرح سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی قدیم.....	۱۰
شکل (۲-۲) ناحیه‌بندی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی [۱۱].....	۱۳
شکل (۳-۲) جزئیات دال پنجه [۲۳].....	۱۸
شکل (۴-۲) جزئیات دیوار جان‌پناه سد CFR [۳۰].....	۱۹
شکل (۵-۲) موقعیت مکانی سد گلورد نکا.....	۲۴
شکل (۶-۲) عکس هوایی محل احداث سد گلورد.....	۲۴
شکل (۷-۲) جایگاه سد گلورد در فاصله‌ی میان دو گسله‌ی راندگی سراسری در شمال و جنوب.....	۲۹
شکل (۸-۲) مقطع تیپ بدنه‌ی سد گلورد همراه زونبندی آن.....	۳۱
شکل (۱-۳) مجموعه تجهیزات شتابنگاری.....	۵۱
شکل (۲-۳) دستگاه ثبات برای ثبت و ذخیره داده‌های شتابنگار.....	۵۱
شکل (۳-۳) آنتن جی پی اس شتابنگار.....	۵۲
شکل (۴-۳) سنسور شتابنگار.....	۵۲
شکل (۵-۳) پیزومتر تار مرتعش.....	۵۳
شکل (۶-۳) فیلتر پیزومتر کاساگراند.....	۵۳
شکل (۷-۳) فشارسنج کل.....	۵۴
شکل (۸-۳) سرریز اندازه‌گیری نشت (دبی زهاب).....	۵۵
شکل (۹-۳) نشست سنج هیدرولیکی.....	۵۵
شکل (۱۰-۳) سری کشیدگی سنج افقی زنجیره‌ای و متعلقات مربوطه.....	۵۶
شکل (۱۱-۳) لوله انحراف سنج عمودی و مغناطیس نشست از نوع عنکبوتی.....	۵۷
شکل (۱۲-۳) لوله‌های انحراف سنج افقی.....	۵۸
شکل (۱۳-۳) بادسنج.....	۵۹
شکل (۱۴-۳) دماسنج.....	۵۹
شکل (۱۵-۳) باران سنج.....	۵۹
شکل (۱۶-۳) الکترولول (شیب سنج).....	۶۰
شکل (۱۷-۳) درزه سنج سه بعدی.....	۶۰

- شکل (۱۸-۳) کشیدگی سنج گمانه ای سه نقطه ای ۶۱
- شکل (۲۰-۳) کرنش سنج بتن ۶۲
- شکل (۲۱-۳) تجهیزات اتاق کنترل ۶۲
- شکل (۲۲-۳) جعبه تقسیم ۶۳
- شکل (۲۳-۳) لوله های مشبک و ساده چاه مشاهده ای ۶۴
- شکل (۲۴-۳) نمودار درصد وزنی هر ابزار نسبت به کل ابزارها ۶۶
- شکل (۲۵-۳) نمودار درصد پیشرفت نصب ابزار دقیق ۶۷
- شکل (۱-۴) کنتور جابه جایی قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری مربوط به پارامترهای جدول (۴-۱) ۷۷
- شکل (۲-۴) کنتور جابه جایی قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری مربوط به پارامترهای جدول (۴-۲) ۷۷
- شکل (۳-۴) کنتور جابه جایی افقی در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری مربوط به پارامترهای جدول (۴-۲) ۷۸
- شکل (۴-۴) کنتور جابه جایی افقی در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری مربوط به پارامترهای جدول (۴-۲) ۷۸
- شکل (۵-۴) کنتور تنش قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری ۷۹
- شکل (۶-۴) کنتور تنش قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری ۸۰
- شکل (۷-۴) موقعیت جانمایی ابزار دقیق در مقطع با حداکثر ارتفاع سد گلورد نکا ۸۱
- شکل (۸-۴) نمودار زمانبندی اجرای خاکریزی سد گلورد نکا ۸۲
- شکل (۹-۴) کنتور جابجایی قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری ۸۳
- شکل (۱۰-۴) نتایج تحلیل برگشتی در ابزار نشست سنج ۸۳
- شکل (۱۱-۴) کنتور تنش قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری ۸۴
- شکل (۱۲-۴) نتایج تحلیل برگشتی در ابزار تنش کل ۸۵
- شکل (۱۳-۴) فشار آب منفذی مدل در دوران ۱۰ ساله اول بهره برداری ۸۶
- شکل (۱۴-۴) فشار آب منفذی مدل در دوران ۱۰ ساله دوم بهره برداری ۸۷
- شکل (۱۵-۴) کنتور میزان اشباع مصالح بدنه سد در زمان ده ساله اول بهره برداری ۸۷
- شکل (۱۶-۴) کنتور میزان اشباع مصالح بدنه سد در زمان ده ساله اول بهره برداری ۸۸
- شکل (۱۷-۴) تنش موثر پایان ساخت در مدل اصلی ۸۹
- شکل (۱۸-۴) تنش موثر پایان آبیگری و زمان بهره برداری در مدل اصلی ۸۹
- شکل (۱۹-۴) کنتور تنش قائم مدل در پایان دوره ده ساله اول ۹۱
- شکل (۲۰-۴) کنتور تنش کل مدل در پایان دوره ده ساله دوم ۹۱

شکل (۴-۲۱) نرخ کرنش برشی بیشینه در پایان دوره آگیر اولیه	۹۴
شکل (۴-۲۲) نرخ کرنش برشی بیشینه در پایان دوره ده ساله اول بهره برداری	۹۵
شکل (۴-۲۳) نرخ کرنش برشی بیشینه در پایان دوره ده ساله دوم بهره برداری	۹۵
شکل (۴-۲۴) کنتور جابجایی قائم مدل در پایان ده ساله اول بهره برداری	۹۶
شکل (۴-۲۵) کنتور جابجایی قائم مدل اصلی در ده ساله دوم	۹۷
شکل (۴-۲۶) کنتور جابجایی افقی مدل در پایان دوره ده ساله اول بهره برداری	۹۷
شکل (۴-۲۷) کنتور جابجایی افقی مدل در پایان دوره ده ساله دوم بهره برداری	۹۸
شکل (۴-۲۸) : تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی زلزله منجیل	۱۰۰
شکل (۴-۲۹) درصد اشباع مصالح	۱۰۲
شکل (۴-۳۰) تغییر شکل نسبی افقی سد خاکی در زلزله منجیل	۱۰۳
شکل (۴-۳۱) تاریخچه زمانی نشست تاج سد کبودبال تحت زلزله منجیل	۱۰۳

فهرست جداول

جدول (۲-۲) مشخصات کلی سد گلورد نکا	۲۳
جدول (۲-۳) مشخصات رودخانه و حوزه آبریز	۲۶
جدول (۲-۴) مشخصات ساختگاه	۲۶
جدول (۲-۵) مشخصات سد	۲۶
جدول (۲-۶) مشخصات سرریز	۲۶
جدول (۲-۷) مشخصات سیستم انحراف	۲۷
جدول (۲-۸) مشخصات تخلیه کننده ی تحتانی	۲۷
جدول (۲-۹) مشخصات آب گیر کشاورزی	۲۷
جدول (۲-۱۰) مشخصات دایک دره خانه سر	۲۷
جدول (۲-۱۱) مشخصات گالری ها	۲۸
جدول (۲-۱۲) مشخصات دانه بندی مصالح زون های مختلف سد رویه ی بتنی نکا	۳۲

جدول (۲-۱۳) مشخصات مصالح	۳۸
جدول (۳-۱) ابزار اندازه‌گیری فشار آب حفره ای (پیزومترها)	۴۴
جدول (۳-۲) ابزار اندازه‌گیری تنش کل	۴۴
جدول (۳-۳) ابزارهای اندازه‌گیری تغییر شکل‌ها و تغییر مکان‌ها	۴۴
جدول (۳-۴) ابزار اندازه‌گیری نشست آب	۴۴
جدول (۳-۵) ابزار اندازه‌گیری دما	۴۵
جدول (۳-۶) ابزارهای اندازه‌گیری رطوبت	۴۵
جدول (۳-۷) ابزارهای اندازه‌گیری درز و ترک	۴۵
جدول (۳-۸) ابزارهای اندازه‌گیری حرکات پی و شیب‌ها	۴۵
جدول (۳-۹) اندازه‌گیری زمین لرزه - زلزله‌سنجی	۴۶
جدول (۳-۱۰) اندازه‌گیری زمین لرزه - زلزله‌سنجی	۴۶
جدول (۳-۱۱) لیست ابزاردقیق پیش بینی شده برای سد گلورد نکا	۴۹
جدول (۳-۱۲) وضعیت نصب ابزاردقیق سد گلورد در دوره گزارش	۶۴
جدول (۳-۱۳) لیست ابزار دقیق مقطع ۰ + ۰۷۰	۶۸
جدول (۳-۱۴) لیست ابزار دقیق مقطع ۰ + ۱۳۰	۶۹
جدول (۳-۱۵) لیست ابزار دقیق مقطع ۰ + ۱۹۰	۷۱
جدول (۴-۱) مقادیر اولیه‌ی پارامترهای مصالح مربوط به تحلیل شماره‌ی ۱	۷۵
جدول (۴-۲) مقادیر اولیه‌ی پارامترهای مصالح مربوط به تحلیل شماره‌ی ۲	۷۶
جدول (۴-۳) مقادیر نهایی پارامترهای مصالح (به‌دست آمده از تحلیل‌های برگشتی)	۸۰

فصل اول:

کلیات

۱-۱- اهداف پژوهش

رفتارنگاری سدها معمولاً توسط نتایج ابزاردقیق و تحلیل برگشتی توسط نرم‌افزار صورت می‌گیرد. به عبارتی یعنی اگر داده‌های حاصل از رفتارنگاری با نتایج حاصل از تحلیل برگشتی مطابقت داشته باشد می‌توان نتیجه گرفت تحلیل انجام شده گویای رفتار واقعی سد بوده و از نتایج به‌دست آمده می‌توان برای تأمین اطلاعات برای بخش‌هایی که در آن‌ها ابزار رفتارنگاری وجود ندارد استفاده نمود. در واقع اگر بتوان یک مدل رفتاری با پارامترهای واقع بینانه پیدا کرد که با نتایج ابزاردقیق تطبیق خوبی داشته باشد، از این مدل می‌توان جهت پیش‌بینی رفتار آینده‌ی سد که هنوز توسط آن تجربه‌ای نشده است استفاده نمود. بنابراین علت رفتارنگاری سدها را می‌توان در بررسی مسائل ایمنی سدها، مقایسه عملکرد واقعی با پیش‌بینی‌های طراحی و تجربه برای طراحی سدها در آینده خلاصه نمود.

در این تحقیق به رفتارنگاری سد گلورد نکا که از نوع سد سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی می‌باشد، در دوران ساخت پرداخته شده‌است. از این رو به کمک قرائت ابزار دقیق نصب شده در بدنه‌ی سد و انجام آنالیز برگشتی توسط نرم‌افزار پیشرفته‌ی FLAC سعی شده‌است تا مشخصات دقیق مصالح به‌کار رفته در ساخت سد شناخته شود و به کمک آن رفتار آینده‌ی سد پیش‌بینی شود.

۱-۲- پیشینه‌ی تحقیق

در ایران نیز موضوع رفتارسنجی و کنترل ایمنی سدها سابقه‌ای ۵۰ ساله دارد. از سال ۱۳۳۹ با اتمام عملیات ساختمانی سد گلپایگان و نیز به بهره‌برداری رسیدن سد کرج و دز بحث ایمنی و پایداری در سدهای ایران مد نظر قرار گرفت. از این سال تا پیروزی انقلاب اسلامی ۹ سد در کشور به بهره‌برداری رسیده بود. از پیروزی انقلاب امر مهم کنترل و پایداری در سدها بلا تصدی بود تا اینکه گروه کنترل و پایداری در مؤسسه‌ی تحقیقات منابع آب تشکیل گردید. اولین قرارداد کنترل و پایداری در سال ۱۳۶۴ با شرکت مشاور مه‌اب قدس و مشارکت طراحان سوئسی منعقد گردید که تا اواخر سال ۱۳۶۹ ادامه یافت. از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۷ مجدداً قراردادی جهت کنترل و پایداری ۱۱ سد بتنی و ۸ سد خاکی با شرکت مه‌اب قدس منعقد گردید. در این قرارداد مطالعات هیدرولوژی برنامه‌ریزی منابع آب

لرزه‌خیزی، تحلیل استاتیکی و دینامیکی، بازدید فنی از بدنه و تجهیزات پیش‌بینی گردید و نیز ارزیابی سالیانه و ادواری ۵ ساله در نظر گرفته شده‌بود. در این مدت موارد و نواقص بسیاری در سدهای کشور مشاهده شده‌است که می‌توان به مواردی از آن‌ها به شرح ذیل اشاره نمود:

- ۱- ترک‌های افقی ۴۵ درجه در پایه‌ها (سد لتیان و سد سفید رود)
- ۲- ترک در سقف و دیواره‌ی گالری‌ها و تونل‌ها (سد لتیان، سد سفید رود و سد بوکان)
- ۳- فرسایش و کاویتاسیون در سرریز (سد شهید عباسپور، سد پیشین، سد قشلاق، سد وحدت و سد میناب)
- ۴- رسوب در کانال تخلیه (سد پیشین، سد دز و سد صلاح‌الدین کلا)
- ۵- بازشدگی درزه‌های ساختمانی، رطوبت و نشت آب و فرار آب از درزه‌ها (سد سفیدرود، سد بوکان و سد سنبل رود)
- ۶- ترک در صخره‌ها و ریزش سنگ‌ها و خوردگی در نشمین‌گاه‌ها (سد دز در محل آستانه‌ی سرریز و سد شهید عباسپور در محل اتصال سرریز به جداره‌ی کوه)
- ۷- ترک در تکیه‌گاه‌ها و پایه‌ی بدنه‌ی سد و سرریز (سد شهید عباسپور و سد دز)
- ۸- خوردگی و کارکرد نامناسب در اکثر شیرآلات، دریچه‌های خروجی آب، شیرهای پروانه‌ای، دریچه‌های سرریز آشغال‌گیر (سد دز، سد درودزن، سد اکباتان و سد بوکان)
- ۹- خوردگی بتن، تخریب بتن، مشکل پوشش بتنی، تخریب پوشش بتنی در کف گالری‌ها، کف تخلیه‌کننده‌ها و کف اتاقک‌های بازدید.

۳-۱- ضرورت انجام تحقیق

توجه به این نکته ضروری است که طراحی و اجرای یک سد، تنها بخشی از مجموعه فعالیت‌های پروژه است و در کنار آن کنترل ایمنی و پایداری اجزای مختلف آن با توجه به اهمیت سازه سد از جنبه‌های مختلف در طول دوران ساخت و بهره‌برداری از مهم‌ترین مسائل می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سدها همواره باید تحت کنترل باشند. بازرسی پیوسته در مورد عملکرد سدها نه تنها

از دیدگاه پیشرفت شناخت رفتار بخش‌های مختلف سد اهمیت دارد بلکه از دیدگاه ایمنی و رفع نواقص احتمالی و کمک به مهار شدن عواملی که ممکن است باعث تخریب سد گردد از اهمیت خاصی برخوردار است.

تغییرات فشار آب منفذی در اثر تنش‌های وارده با پارامتری به نام ضریب فشار آب منفذی تعیین می‌شود که توسز اسکمپتون^۱ و بیشاپ^۲ پیشنهاد گردید. کاربردهایی چون مشکل مقاومت برشی توسط فردلاند و همکاران^۳ و تغییرات حجم توسز فرنلاند و مورگن استرن^۴ و مشکل جریان‌های گذرا نیز در بررسی‌های حسن و فردلاند^۵ مطرح شده‌است. از سویی محاسبه‌ی فشار آب منفذی در انتهای ساخت توسز هیلف^۶ نیز مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های عددی و المان محدود در برآورد فشارهای منفذی اخیراً مورد استفاده قرار گرفته‌است. البته ضرورت‌های دیگری که برای انجام این تحقیق می‌باشد عبارتند از:

۱- پیش‌بینی مقادیر فشارهای آب منفذی و مقایسه‌ی آن با مقادیر واقعی و ارزیابی عملکرد

بدنه‌ی سد در شرایط فعلی

۲- بررسی رفتار سازه‌ی سد و ارزیابی عملکرد آن در برابر پدیده‌ی شکست هیدرولیکی

۳- نحوه‌ی عملکرد پرده‌ی آب‌بند و ارزیابی تأثیرگذاری پرده‌ی آب‌بند احداث در پی سد

۴- استفاده از نتایج به‌دست آمده در تخمین مقادیر پارامترهای موثر در پایداری سدها در

مرحله‌ی طراحی و ساخت و پیش‌بینی مقادیر طراحی نزدیک به واقعیت به‌منظور کاهش هزینه‌

های ساخت جهت حصول فاکتور ایمنی منطقی

۵- بهینه‌سازی طراحی‌های ابزار دقیق سدهای در حال ساخت و طراحی با شرایط مشابه سد

مورد مطالعه

^۱ Skempton 1954

^۲ Bishop 1954

^۳ Fredlund et al. 1978

^۴ Fredlund & Morgenstern 1976

^۵ Hasan & Fredlund 1979

^۶ Hilf, J. W. 1948

۱-۴- فصل بندی

در این پایان نامه در فصل دوم ابتدا به معرفی سد گلورد نکا پرداخته شده و پس از بیان جزئیات سد

در قسمت دوم به معرفی سدهای سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی پرداخته شده‌است.

در فصل سوم جزئیاتی در مورد ابزارهای دقیق به صورت کلی و ابزارهای دقیق استفاده شده در سد

گلورد نکا به صورت جزئی پرداخته شده‌است.

در فصل چهارم در مورد نرم افزار FLAC و شیوه مدل سازی سد در نرم افزار مذکور و همچنین

رفتار سنجی سد گلورد مطالبی بیان شده‌است.

در انتها در فصل پنجم نتایج تحقیق و پیشنهادات بیان شده‌است.

فصل دوم:

سد سنگ ریزه ای بارویی بتنی کلوردیگا

۲-۱- سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی

۲-۱-۱- مقدمه

سدهای سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی به‌طور گسترده در بسیاری از نقاط جهان ساخته شده‌است [۱]. اکنون این سدها در کشورهای در حال توسعه بسیار محبوب می‌باشند و نسبت به سد هسته‌ی رسی به سرعت و راحت‌تر احداث می‌گردند [۲]. سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی ابتدا به روش ریختنی^۱ اجرا می‌شدند. به‌این صورت که مصالح سنگریزه را از ارتفاع ۲۰ تا ۵۰ متر رها می‌کردند. این سدها دارای شیب‌های بسیار تند، ۰.۵H:۱V تا ۰.۷۵H:۱V، بودند. نخستین سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی در جهان سد چاتورت پارک^۲ در کالیفرنیا می‌باشد که در سال ۱۸۹۵ ساخته شده‌است. از میانه‌های سده ۱۸۰۰ تا سال‌های آغازین ۱۹۰۰ ارتفاع سدها به ۲۵ متر محدود بود. پس از آن در سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰ ارتفاع این سدها به ۸۰ الی ۱۰۰ متر رسید [۳]. به‌دلیل تراکم‌پذیری بالای سنگریز ریختنی، تغییر شکل‌ها و نشست‌هایی در بدنه و رویه به‌وجود آمد و موجب ترک‌خوردگی و نشست در رویه‌ی بتنی شد. در نتیجه سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی مورد توجه قرار نگرفت. گرچه سنگریزه به دلیل مقاومت بالا و اقتصادی بودن، به‌عنوان مصالح ساختمان سد شناخته شده‌بود. به‌همین دلیل در سال ۱۹۴۰ سد سنگریزه‌ای با هسته‌ی رسی^۳ مطرح گردید. با گسترش غلتک‌های سنگین ارتعاشی در اواخر سال ۱۹۶۰ سدهای سنگریزه‌ای به‌صورت متراکم اجرا شدند. به‌این صورت که سنگریزه‌ها را در لایه‌هایی به ضخامت ۱-۲ متر می‌ریزند و با غلتک متراکم می‌کنند، قبل از متراکم کردن به سنگریزه آب اضافه می‌شود. به‌این ترتیب دوباره ساخت سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی از سر گرفته شد [۴]. به دلیل نشست کم سنگریزه‌ی متراکم، نشست به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرد [۵]. گسترش سدهای CFR در بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ به آرامی در جهان صورت گرفت [۶]. امروزه سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی نوعی سد مهم به شمار می‌آید [۷]. سدهای سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی در طرح نوین غیر از متراکم بودن لایه‌ها، تفاوت‌های دیگری نیز با طرح قدیم دارند که می‌توان به تفاوت در رویه‌ی

^۱ Dumped

^۲ Chatworth Park

^۳ Earth Core Rockfill Dam

بتنی و نحوه‌ی اجرا و درزهای موجود در این جزء سازه‌ای اشاره کرد [۸]. امروزه سدهای CFR بسیاری با ارتفاع بیش از ۱۵۰ تا حدود ۲۴۰ متر در دنیا ساخته شده‌اند. بلندترین سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی در جهان تا به امروز سد شیویا با ۲۳۳ متر ارتفاع در چین می‌باشد [۹].

در محل‌هایی که سدهای سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی انتخاب و ساخته می‌شوند، طراحان به‌طور معمول گزینه‌ی سد سنگریزه‌ای با هسته‌ی رسی (ECRD) را هم بررسی می‌کنند. در بسیاری از محل‌هایی که سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی انتخاب شده‌است، مطالعات طرح نشان می‌دهند که این نوع سد حداقل هزینه‌ی ممکن را داشته‌است. برای محل‌های با هوای بارانی، سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی دارای مزایای بیشتری است [۸].

در جایی که مصالح خاکی موجود نباشد، سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی یک انتخاب طبیعی است. با این وجود بررسی‌ها نشان می‌دهد که حتی وقتی مصالح مناسب برای ECRD موجود باشد، از نظر اقتصادی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی گزینه‌ی مناسب‌تری است. دلیل اساسی این مسأله، هزینه‌ی کمتر اجرای رویه‌ی بتنی نسبت به هزینه‌ی کلی هسته و فیلتر در ECRD می‌باشد. از طرفی، در محل‌هایی که پی مناسب وجود دارد، این نوع سد یک رقیب جدی برای سدهای بتنی قوسی^۱ می‌باشد و برای ساخت سدهای بسیار بلند، گزینه مناسبی است [۱۰].

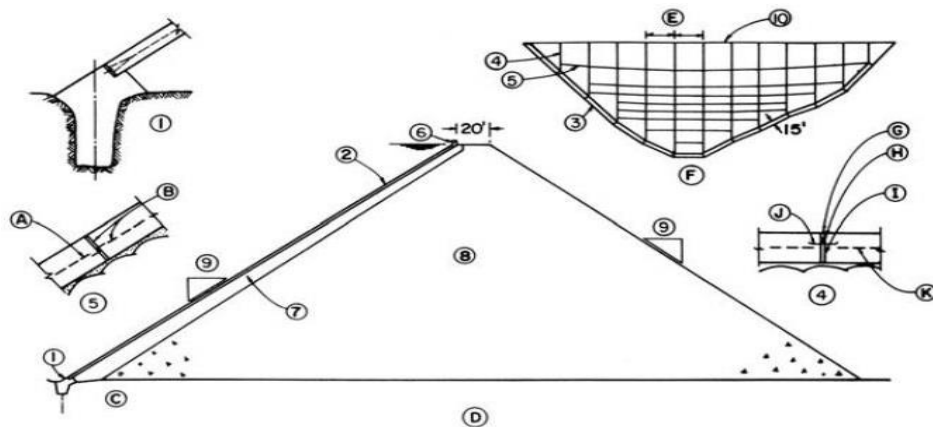
علاوه بر اقتصادی بودن خود سد، به دلیل عرض پایه‌ی کوچک‌تر حاصل از شیب‌های تندتر سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی، به‌طور معمول تونل‌ها، لوله‌های تحت فشار و سرریزها کوتاه‌تر خواهند بود. این نوع سد مزیت ویژه‌ای هم از دیدگاه برنامه‌ریزی دارد، زیرا سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی را می‌توان به‌علت مستقل بودن کارهای تزریق، دردسر کمتر در آب‌وهوای بارانی و حجم خاک‌ریزی کمتر با سرعت بیشتری ساخت [۳].

¹ Arc Concrete Dam

مزیت دیگر سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی پایداری لرزه‌ای آن است. شرارد و کوک (۱۹۸۷) بیان نمودند سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی مشکل ایمنی در هنگام وقوع زلزله قوی و پس از آن ندارد. به دلیل اینکه مصالح سنگریزه دارای خاصیت زهکشی آزاد می‌باشند، زمین‌لرزه نمی‌تواند فشارهای آب منفذی اضافی به وجود بیاورد [۱۱].

۲-۱-۲- طرح قدیمی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی

طرح سدهای CFR به‌طور عمده تجربی بوده‌است و در حال حاضر نیز همانند گذشته تجربی و بر اساس قضاوت مهندسی می‌باشد. جزئیات این سد تا اواخر سال ۱۹۵۰ در شکل (۱-۲) نشان داده شده‌است.



شکل (۱-۲) جزئیات طرح سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی قدیم

(۱) دیوار آب‌بند، (۲) رویه‌ی بتنی، (۳) دال پنجه^۱، (۴) درز قائم، (۵) درز افقی، (۶) دیوار جان‌پناه، (۷) سنگ‌های بزرگ منتخب ریخته شده با جرثقیل، (۸) سنگریزه ریختنی، (۹) شیب، (۱۰) محور منحنی، (A) تقویت‌کننده، (B) ۱٫۹ سانتی‌متر پرکننده و نوار آب بند Z شکل، (C) پرده‌ی تزریق، (D) مقطع عرضی سد، (E) ۱۸ متر، (F) تراز رویه، (G) ماستیک، (H) قیر پیش عمل آورده، (I) پرکننده‌ی درز، (J) مس U شکل، (K) تقویت‌کننده [۱۰].

۲-۱-۳- بخش‌های تشکیل‌دهنده‌ی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی

به‌طور کلی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی از چهار بخش تشکیل شده‌است [۳]:

۱- بدنه‌ی سنگریزه‌ای که خود شامل چند ناحیه می‌باشد؛

¹ Plinth

۲- رویه‌ی نفوذناپذیر بتنی؛

۳- دال پنجه؛

۴- دیوار جان‌پناه^۱

۲-۱-۳-۱- بدنه‌ی سنگ‌ریزه‌ای

زمانی که سنگ‌ریزه‌ی متراکم برای اولین بار به‌طور گسترده برای ساخت سدها در سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۵ مورد استفاده قرار گرفت، شیوه‌های گوناگونی برای ریختن و پخش کردن آن استفاده می‌شد. هم‌چنین ایده‌های متفاوتی با توجه به بزرگ‌ترین اندازه‌ی سنگ نسبت به ضخامت لایه وجود داشت [۳].

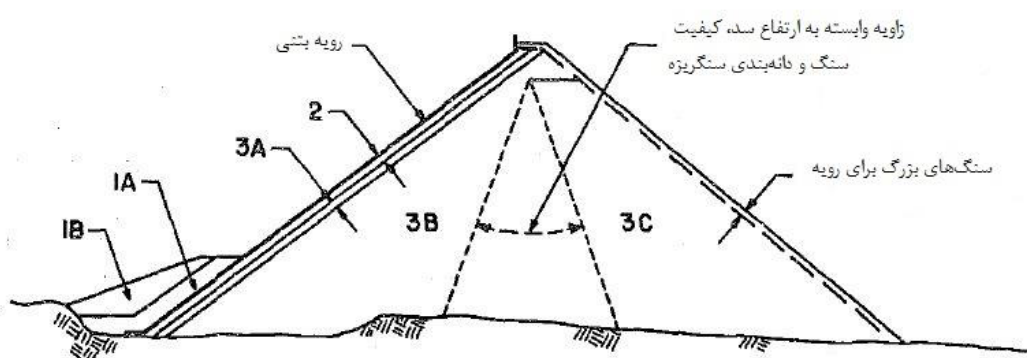
روش مرجع جهت اجرای سنگ‌ریزه در هر دو سد ECR و CFR این گونه است که مصالح سنگ‌ریزه توسط کامیون بر روی سطح لایه ریخته می‌شوند و سپس بر روی کل سطح پخش می‌گردند. این عمل جداشدگی قابل توجهی ایجاد می‌کند، به‌طوری که سنگ‌های بزرگ‌تر در قسمت زیرین لایه و سنگ‌های کوچک‌تر و ذرات ریزدانه در قسمت بالای لایه قرار می‌گیرند. در این صورت سطح نسبتاً صافی ایجاد می‌شود. این سطح هموار موجب کاهش استهلاک لاستیک کامیون، تردد سریع‌تر آن و سهولت کار غلتک لرزشی می‌گردد. لایه‌بندی موجب می‌شود که جریان در جهت افقی نسبت به جهت قائم به‌مراتب بیشتر باشد. این امر افزایش پایداری شیب پایین‌دست هنگامی که مخزن در طی ساخت تا حدی پر شده‌است (یا از سد سرریز شده است)، قبل از قرار گرفتن رویه‌ی بتنی را به دنبال دارد. هم‌چنین برای سنگ‌ریزه با درصد ریزدانه به نسبت بالاتر که به‌صورت لایه‌لایه اجرا می‌گردد، تراوایی به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از وقتی است که همگن اجرا شود [۳]. با استفاده از این روش، قسمت بالایی هر لایه شامل ذرات ریزتر می‌باشد. این روش اجرای سنگ‌ریزه، موجب نگرانی در برخی مهندس‌ها شد که جریان آب از میان حفرات سنگ‌ریزه، در اثر سیلی که در حین ساخت می‌آید یا نشت از رویه‌ی بتنی در طول آب‌گیری، موجب فرسایش برخی ذرات ریز جدا شده از سنگ‌های

¹ Parapet Wall

بزرگ‌تر گردد و به دنبال آن سست شدن ساختار داخلی سنگ‌ریزه و نشست اضافی بزرگی را به همراه داشته باشد. تاکنون با وجود اینکه جریان آب زیاد از میان سنگ‌ریزه در چندین سد، در اثر وقوع سیل در حین ساخت و یا نشت از میان رویه بتنی رخ داده، اما هیچ گونه نشست قابل توجهی در اثر عبور جریان آب مشاهده نشده است [۳].

تجربه نشان داده است که سنگ‌ریزه متراکم دارای اسکلت سازی است که در آن اتصال سنگ به سنگ، وزن لایه‌های بالایی را تحمل می‌کند. در طول ساخت، سنگ‌ها توسط غلتک لرزان سنگین با اتصال سخت به هم متصل می‌شوند. پس از ساخت سد وزن اعمال شده توسط اسکلت تحمل می‌شود. سطح تماس بین سنگ‌ها در مقایسه با اسکلت کوچک است، در نتیجه تنش‌های فشاری بزرگی ایجاد می‌شود و نزدیک به مقاومت فشاری سنگ می‌باشد. این تنش‌های فشاری بالا در سطح تماس سنگ‌ها، مقاومت اصطکاکی بالایی ایجاد می‌کند و مانع جابه‌جایی سنگ‌ها در داخل اسکلت می‌گردد [۳].

در اجرای بدنه‌ی سنگ‌ریز سد سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی بهتر است که از یک ناحیه‌بندی مشخص و استاندارد برای اجرای مصالح در سد استفاده شود. سد CFR شامل بدنه‌ی سنگ‌ریزه‌ای و رویه‌ی بتنی در بالادست می‌باشد. شکل (۲-۲) برشی از این نوع سد را به عنوان نمونه نشان می‌دهد [۱۱].



3A: مصالح کوچک انتخابی به ضخامت مشابه ناحیه‌ی ۲

1A: خاک ناتراوا

3B: سنگ‌های معدنی در لایه‌هایی به ضخامت حدود ۱۰ متر

1B: مصالح تصادفی ۳

3C: سنگ‌های معدنی به ضخامت حدود ۱,۵ تا ۲ متر

2: سنگ کوچک سرند شده انتقالی

شکل (۲-۲) ناحیه‌بندی سد سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی [۱۱].

ناحیه‌ی ۱ برای مصالح ناتراوا، ناحیه‌ی ۲ برای فیلتر یا ناحیه‌ی انتقالی که مستقیم زیر دال بتنی قرار می‌گیرد و ناحیه‌ی ۳ به‌عنوان بخش اصلی بدنه‌ی سنگ‌ریز مشخص می‌شود [۱۰].

ناحیه‌ی یک

یک پوشش از خاک ناتراوای متراکم‌شده می‌باشد که ابتدا در بخش پایینی رویه‌ی بتنی در سد آلتوآنچیکا^۱ اجرا شد و سپس روی سدهای خائوالم^۲ و گولیالس^۳ و چند سد بلند دیگر تکرار شد. هدف از اجرای این ناحیه پوشش درز محیطی و رویه‌ی بتنی در ترازهای پایینی با خاک ناتراوا، ترجیحاً سیلت، است که هرگونه ترک یا بازشدگی درز را پر کند. کمترین سیلت برای اجرایی خاک ناتراوا را می‌توان به‌طور مستقیم در مجاورت دال رویه و پی سنگی مورد استفاده قرار داد و با مصالح زائد کم هزینه‌ی آن را برای پایداری پوشاند (ناحیه‌ی 1B). همان‌طور که توسط نلسون پینتو^۴ پیشنهاد شد، یک نوار ماسه‌ی ریز سیلت‌دار می‌توانست روی درز محیطی قرار گیرد [۱۱].

سدهای CFR بدون اجرای ناحیه‌ی یک در بال دست نیز به‌طور کامل موفق عمل کرده‌اند، این امر نشان می‌دهد که اجرای ناحیه‌ی یک ضروری نیست. به‌طور کلی قرار دادن این ناحیه تا چند متر بالاتر از بستر رودخانه‌ی اصلی مطلوب می‌باشد [۱۲].

ناحیه‌ی دو

هدف اصلی و اولیه از این ناحیه به‌طور مستقیم زیر دال رویه، ایجاد تکیه‌گاهی محکم و یک‌نواخت برای رویه‌ی بتنی است. به‌طور معمول برای این ناحیه، سنگ‌ریز خرد شده کوچک‌تر از ۷,۵ تا ۱۵ سانتی‌متر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تمایل نیز وجود دارد که برای بهبود کارایی، دانه‌بندی ناحیه‌ی دو به‌صورتی در نظر گرفته شود که به حد کافی از ذرات هم‌اندازه‌ی ماسه و ریزدانه‌ها تشکیل

¹ Alto Anchicaya

² Khao Laem

³ Golillas

⁴ Nelson Pinto

گردد که این دانه‌بندی سبب کاهش مصرف بیش از حد بتن برای رویه شود و ضریب تراوایی پایین بیاید و تقریباً دانه‌بندی فیلتر را دارا باشد. این دانه‌بندی، منطقه‌ای نیمه تراوا را به وجود می‌آورد تا از هرگونه نشت ناشی از ترک در دال بتنی یا نقص نوار آب‌بند جلوگیری کند [۱۱].

مصالص منطقه‌ای دو با ۴۰ درصد ماسه‌ی ریزدانه در لایه‌های به سبترای ۰٫۴ الی ۰٫۵ متر توسط غلتک لرزشی کوبیده می‌شوند. برای تراکم این ناحیه، ابتدا چندین مرتبه با غلتک بدون ارتعاش متراکم می‌شود، سپس با چهار بار عبور غلتک به همراه ارتعاش متراکم می‌گردد. یک روش دیگر، استفاده از لرزنده صفحه‌ای است که روی کجیل سوار می‌شود [۸].

در مکان‌هایی با بارندگی شدید، حفاظت از سطح شیب‌دار منطقه‌ای دو در برابر روان‌آب ضروری است. در سدهای سالواجینا^۱ و آلتو آنچیکایا، میزان فرسایش در گالری‌های مجاور دال پنجه در چند ساعت بارندگی شدید به ژرفای پنج تا هشت متر رسید و نیاز به تعمیرات اساسی پیدا کرد. خرابی ناشی از فرسایش ابتدا نتیجه‌ی تمرکز روان‌آب در تکیه‌گاه‌ها یا از سطوح اجرایی افقی خاکریز اصلی است [۱۱].

ناحیه‌ی سه

بدنه‌ی سنگ‌ریزه‌ای از سه ناحیه که ضخامت هر لایه‌ی خاک‌ریز این نواحی به ترتیب از بالادست به پایین دست افزایش می‌یابد، تشکیل می‌گردد تا تغییرات سختی، تراکم‌پذیری و تراوایی از بالادست به پایین دست، به تدریج صورت پذیرد. در قسمت پوسته‌ی بالادست تراکم‌پذیری کمتری مطلوب است تا بار آب را به پی انتقال دهد. این ناحیه به سه بخش 3A، 3B و 3C تقسیم می‌شود. افزایش تدریجی تراوایی از ناحیه‌ی دو تا نواحی 3A، 3B و 3C کمک می‌کند که هنگام رخداد سیل قبل از اجرای رویه‌ی بتنی، سد تخریب نشود. بعد از اجرا رویه‌ی بتنی، مشکل عمده‌ای وجود ندارد [۹].

¹ Salvajina

۲-۱-۳-۲- رویه ی بتنی

برای بتن دال رویه، دوام و ناتراوایی بسیار مهم تر از مقاومت می باشند. مقاومت فشاری ۲۸ روزه حدود ۲۰ مگاپاسکال مناسب است. بیشینه ی اندازه ی دانه ی مورد استفاده در رویه حدود ۳۸ میلی متر می باشد، با این وجود، بیشینه ی اندازه ۶۴ میلی متر نیز گاهی اوقات با در نظر گرفتن شرایط ویژه در درزهای اجرایی و نوارهای آب بند استفاده می شود. هیچ سابقه ای از واکنش سنگ دانه ی قلیایی در رویه ی بتنی سد سنگ ریزه ای با رویه ی بتنی وجود ندارد. می توان از پوزولان نیز استفاده کرد. برای ارائه ی یک بتن غیرقابل نفوذتر و بادوام تر، استفاده از پوزولان حتی با دانه های به ظاهر بدون واکنش باید در نظر گرفته شود. دوام رویه ی بتنی تحت گرادیان های هیدرولیکی بالا و شرایط آب و هوایی سخت حتی برای سدهای قدیم از نوع سنگ ریزه ای ریختنی و آن ها که پیش از استفاده از پوزولان ساخته شده اند، اثبات شده است [۵].

در طرح قدیم رویه ی بتنی به صورت شبکه ای شامل درزهای افقی و قائم بوده است، اما در طرح جدید، رویه به صورت قطعات قائم بتنی اجرا می گردد و فقط درزهای قائم بر روی رویه ی بتنی دیده می شود [۶].

کوک و شرارد در سال ۱۹۸۵ به این نتیجه رسیدند که علت تغییر شکل های اضافی دال رویه نتیجه دو عامل است [۳]:

۱- تراکم ناکافی سنگ ریزه

۲- وجود سیستم درزهای افقی و قائم و اجرای شبکه ی شطرنجی در دال بتنی

به طور کل، دال رویه دارای درزهای زیر می باشد:

۱- درز محیطی که درز بین دال پنجه و دال رویه است؛

۲- درز اجرایی قائم در دال رویه؛

۳- درز اجرایی افقی در دال رویه؛

۴- درز انقباضی قائم (در حوالی تکیه گاه ها، برای کاهش بازشدگی در محل درز محیطی)؛

۵- درز بین دال رویه و دیوار جان پناه [۷].

یکی از مسائل مهم در رویه های بتنی استفاده از سیستم درزهای انقباضی و انبساط و درزهای اجرایی و نیز آب بندی مناسب آن ها به منظور کنترل نشست از رویه ی بتنی می باشد، زیرا این درزها محل وقوع نشست آب از رویه را کنترل می کند. در سدهای مختلف، نوارهای مختلف آب بندی از جنس فولاد ضدزنگ، لاستیک و پی وی سی مورد استفاده قرار گرفته است. در بعضی از موارد به منظور اطمینان کامل از انجام آب بندی درز مورد نظر، از دو نوع نوار به منظور آب بندی استفاده می شود [۸].

۲-۱-۳-۱-۲- ضخامت رویه ی بتنی

شیب آبی^۱ زیادی در دال رویه به وجود می آید. بتن دال رویه تحت شیب آبی زیاد و شرایط آب-وهوایی دشوار حتی برای سدهای اولیه با سنگریزه درهم و آن هایی که قبل از رایج شدن استفاده از مواد پوزولانی و هوازا ساخته شده اند، دوام خوبی نشان داده است. در سدهای سنگریزه ای با سنگ-ریزه ی متراکم و اجرای پیوسته ی دال های قائم هیچ ترک خوردگی بجز ترک های مویی (حرارتی افقی) که تأثیری هم ندارند، مشاهده نگردید. با روش طرح متداول، یک رویه ی دائمی و آب بند به وجود می آید [۹].

ضخامت دال در ابتدا برای سدهای سنگریزه ای ریختنی به طور مرسوم از رابطه ی زیر به دست می آمد:

$$t = 0.3 + 0.0067H$$

در رابطه ی فوق t ضخامت دال و H ارتفاع آب بر حسب متر می باشد [۱۰].

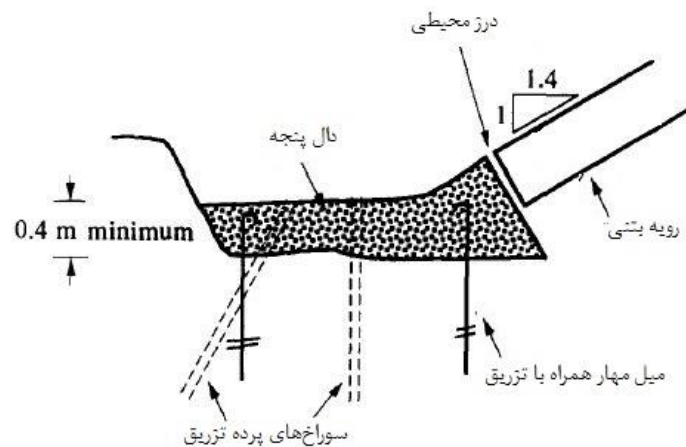
برای سد سنگریزه ای با رویه ی بتنی با سنگریزه ی متراکم شده و رویه ی بالادست متراکم شده افزایش ضخامت به $0.003H$ و حتی به $0.002H$ و کمتر کاهش یافت. این دال ها عملکرد رضایت بخشی داشته اند و در حال حاضر تمایل به دال های نازک تر وجود دارد. تجربه نشان می دهد دال های قدیمی تر

¹ Hydraulic Gradients

به طور قابل ملاحظه‌ای رضایت بخش بوده‌اند. با فناوری بتن، کیفیت و دوام بتن بالاتر رفته است و نسبت به گذشته قابل اعتمادتر می‌باشد. یک ضخامت حتمی به عنوان حداقل پوشش میل‌گرد، اجرای خوب، حداقل نمودن ترک‌خوردگی انقباضی سطحی، حدود ۰/۲۵ یا ۰/۳ متر مورد نیاز است [۱۱].

۲-۱-۳-۳- دال پنجه

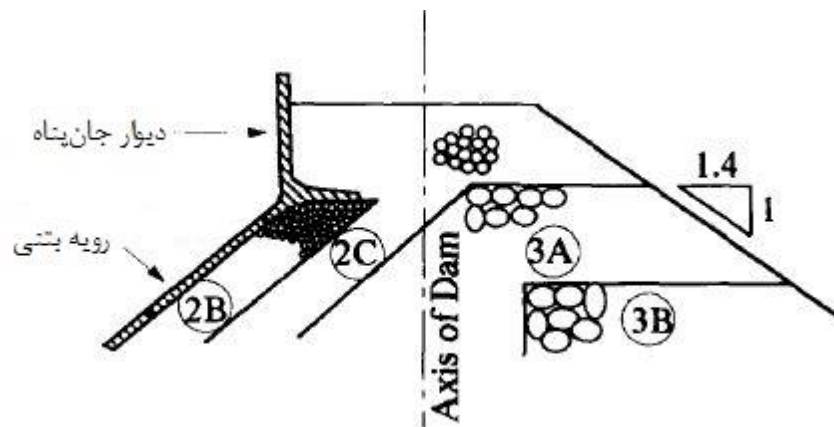
دال پنجه به طور معمول روی سنگ تمیز، سخت و فرسایش‌ناپذیر که تزریق‌پذیر است، قرار می‌گیرد. روش‌های گوناگونی برای اصلاح نقص‌های موضعی وجود دارد. معیار اصلی از بین بردن احتمال فرسایش یا رگاب در پی می‌باشد. برای کمینه کردن گسیختگی یا ترک‌خوردگی سطح سنگی که دال پنجه روی آن قرار می‌گیرد، حفاری باید با دقت بسیار انجام شود. به منظور تأمین چسبندگی مناسب بین بتن و پی، قبل از ریختن بتن، محل بتنی ریزی باید با هوا یا آب-هوا تمیز گردد. اگرچه بیشتر سدهای CFR، پی‌های سنگی سخت مقاوم در برابر فرسایش دارند، اما بسیاری از آن‌ها هم روی سنگ‌ها با شکاف‌ها یا درزهای به شدت هوازده یا روی نواحی به نسبت بزرگ از سنگ نرم ساخته می‌شوند. به همین علت، طول مسیر تراوش در پی، با اجرای یک لایه شاتکریت (یا بتن) به اندازه ۰/۲۵ هد آب یا بیشتر روی سطح پی نهایی پایین‌دست دال پنجه و یک لایه فیلتر در بالای شاتکریت برای پیش‌گیری از ترک‌خوردگی احتمالی، افزایش می‌یابد. گاهی اوقات برای پخش ترک‌های حاصل از نشست به یک سری ترک‌های کوچک‌تر از شاتکریت مسلح استفاده می‌شود [۲۲]. در شکل (۲-۳) جزئیات دال پنجه مشاهده می‌گردد.



شکل (۲-۳) جزئیات دال پنجه [۲۳].

۲-۱-۳-۴- دیوار جان پناه

سدهای قدیمی، دیوار جان‌پناهی به ارتفاع ۱/۲ متر داشتند. البته دیوار به ارتفاع ۳ تا ۵ متر اقتصادی‌تر می‌باشد. اجرای این دیوار موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود زیرا با ساخت آن، حجم خاک‌ریزی سنگی کاهش می‌یابد. هر چه ارتفاع سد بیشتر شود، به‌میزان حجم سنگ‌ریزه‌ای که به‌علت وجود دیوار اجرا نمی‌شود، افزوده می‌گردد و صرفه‌جویی اقتصادی بیشتری صورت می‌گیرد. دیوار سخت جان‌پناه به‌منظور اجازه‌ی نشست و تغییرات حرارتی نیاز به درزهای نازک دارد. در محاسبه‌ی ارتفاع آزاد برای سد CFR، به‌جای محاسبه از تراز تاج، از بالای دیوار جان‌پناه حساب می‌شود [۲۹]. شکل (۲-۴) سیمای دیوار جان‌پناه را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۴) جزئیات دیوار جان‌پناه سد CFR [۳۰].

۲-۱-۳-۴-۱- گرده^۱

به علت نشست‌های ناچیز پس از ساخت و نشست‌های ناشی از پر شدن مخزن، نیاز به اجرای گرده‌ای با ارتفاع اندک می‌باشد. در سد فزدوایریا با ۱۶۰ متر ارتفاع، نشست تاج در دو سال اول ۲۰ سانتی‌متر گزارش شده‌است. گرچه گرده در خاک‌ریز را می‌توان با تند کردن شیب‌های بالای سنگ‌ریزه ایجاد نمود اما رسیدن به آن با استفاده از دیوار جان‌پناه با ارتفاع مختلف آسان‌تر است.

۲-۱-۴- پی سد سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی

۲-۱-۴-۱- پی‌های سنگی

بیشتر سدهای سنگ‌ریزه‌ای با رویه بتنی روی بستر سنگی ساخته می‌شوند، از این رو پی‌های سنگی باید برای تعیین نفوذپذیری آن‌ها به‌دقت بررسی شوند. اگر نشست فرساینده، فشار برخاستی اضافی یا افت زیاد آب از طریق درزها، شکاف‌ها، ترک، لایه‌های تراوا یا صفحات طولانی گسل اتفاق بیفتد، ملاحظات برای تزریق باید در نظر گرفته شود. با بررسی زمین‌شناسی محل و تحلیل افت آب از درون سوراخ‌های حفاری شده در پی مشخص می‌گردد که آیا نیاز به تزریق دارد یا خیر [۳۱].

ممکن است روش‌های اقتصادی‌تر و مؤثرتری برای کنترل تراوش یا نشست نسبت به تزریق وجود داشته باشد. در صورت وجود شرایط مشکوک باید از طراح با تجربه نظرخواهی شود. تزریق پی‌های سنگی معمولاً برای سدهای تأخیری کوچک و یا برای سدهای مخزنی و انحرافی خیلی کوتاه لازم نیست. به جز حالتی که شرایط زمین‌شناسی اجازه ندهد، تزریق باید تا عمقی برابر با تراز حداکثر آب مخزن، زیر سطح سنگ انجام گیرد. این عمل مقداری آب‌بندی در پی ایجاد می‌کند؛ بنابراین زمانی که با شکاف‌های بزرگ و سنگ‌های بسیار تراوا روبرو می‌شویم، خطوط چندگانه‌ی سوراخ تزریق ضروری است. از آنجایی که تزریق کامل تمام شکاف‌ها و منافذ در پی امکان‌پذیر نیست، حتی خطوط چندگانه‌ی تزریق نیز نمی‌تواند این اطمینان را بدهد که پی آب‌بند است. در مواردی که نواحی بزرگی

¹ Camber

از سنگ ترک خورده در عمق کم وجود داشته باشد، می‌توان تزریق را تا اعماق سطحی، معمولاً ۱۰ تا ۳۰ فوت، با استفاده از الگوی نرده‌ای اجرا کرد. این نوع تزریق به نام تزریق پوششی^۱ شناخته می‌شود. این نوع تزریق، نشت را در نواحی ترک خورده کاهش داده و پی مستحکم‌تری برای سد ایجاد می‌کند [۳۲].

۲-۱-۴-۲- پی‌های غیرسنگی

گر چه بیشتر سدهای سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی ساخته شده، روی بستر سنگی هستند، با این وجود سدهای سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی هم وجود دارند که روی پی‌های خاکی ساخته می‌شوند. به عنوان مثال، سد پتریلوس^۲ به ارتفاع ۱۱۶ متر در آرژانتین، سد ساناتا جوانا^۳ به ارتفاع ۱۰۳ متر و سد پوکالرو^۴ به ارتفاع ۸۳ متر در شیلی، سد وست ست^۵ به ارتفاع ۱۹۰ متر در نپال و سد موروده اریکا^۶ به ارتفاع ۲۱۵ متر در پرو. ضخامت نهشته‌های آب‌رفتی پی سدهای CFR به‌طور معمول بیش از ۷۰ متر نیست به جز سد پوکالرو که روی نهشته‌های آب‌رفتی با ضخامت ۱۱۳ متر قرار داشت [۳۳].

گسترش روش‌های پیش‌بینی که امکان تعیین توزیع تنش و تغییر شکل‌ها و مقایسه مقادیر مشاهده شده با پیش‌بینی شده را می‌دهد، ابزاری مطمئن برای کنترل ایمنی است. شرایط پی‌ها یک عامل مهم تأثیرگذار روی پایداری سد است. مارکوس فیلنو و ماچودو^۷ گزارش دادند که رویه‌ی بتنی سد پیچی پیکن لیفو^۸ ۵۴ متری که بر روی نهشته‌های شنی با ضخامت ۲۵ متر متکی است، در حین آب‌گیری مخزن حداکثر ۱/۲ متر جابه‌جا می‌شود. در مواردی که ضخامت نهشته‌های دان‌های کمتر از ۳۰ متر است، بهبود تراکم‌پذیری نهشته‌ها به وسیله‌ی تراکم ارتعاشی برای کاهش جابه‌جایی‌ها طی ساخت سد و آب‌گیری مخزن امکان‌پذیر است [۳۴].

^۱ Blanket Grouting

^۲ Potrerillos

^۳ Sanata Juana

^۴ Puclaro

^۵ West Seti

^۶ Morro de Arica

^۷ Marques Filho and Machado

^۸ PichiPicun Leufu

بررسی‌ها نشان می‌دهد که ساخت سدهای CFR روی پی یخ رفتی بسیار متراکم یا روی نهشته‌های آب‌رفتگی دانه‌ای بسیار متراکم امکان‌پذیر است. سدی که برای ساخت روی نهشته‌های آب‌رفتگی دانه‌ای متراکم طرح‌ریزی می‌شود، باید مورد بررسی‌های بیشتری قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که جابه‌جایی‌های مورد انتظار رویه‌ی بتنی طی آب‌گیری مخزن با یک‌پارچگی سازه‌ای بتن دال سازگار است [۳۵].

۲-۱-۵- ابزارگذاری

ابزارگذاری در سدهای CFR در پیشرفت دانش طراحی بسیار حائز اهمیت است که به اصلاحاتی در طرح درز و دال رویه، ارزیابی سنگ و ناحیه‌بندی سنگ‌ریزه منجر می‌شود. ابزارگذاری به‌منظور بازبینی ایمنی سد یک ضرورت نیست بلکه برای ارزیابی عملکرد و شرایط هر سد امری ضروری می‌باشد. طراحی سد سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی ضرورتاً بر اساس تجربه و قضاوت است و نتایج ابزارگذاری عامل مهمی در کسب تجربه و قضاوت صحیح می‌باشد [۳۶].

ابزارگذاری در سدهای سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی در محل‌های مختلف به اهداف گوناگون صورت می‌گیرد که به‌طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد:

- سنجش درزهای محیطی: برای ارزیابی حرکات رویه‌ی بتنی نسبت به دال پاشنه.
- تنش‌سنج‌های رویه‌ی بتنی: برای اندازه‌گیری تغییر شکل‌های نسبی رویه‌ی بتنی نصب می‌شوند.
- نشست‌های قائم داخلی: با استفاده از سلول‌های نشست‌سنج هیدرولیکی ثبت می‌شود.
- فشار کلی خاک.
- فشارهای منفذی: در نقاط متعدد در آب‌رفت و پی سنگی اندازه‌گیری می‌شود.
- وسایل اندازه‌گیری نشست سطحی و نشست آب [۳۷].

برای سدهای سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی زیر ۶۰ متر ارتفاع، اطلاعات زیادی موجود است که نشان می‌دهد جابه‌جایی‌ها بسیار کوچک هستند. نشست تاج و نشت سرریز کافی می‌باشند. در طول ساخت‌وساز برخی ابزارهای سطح تراز آب برای تعیین تقریبی مدول تراکم‌پذیری قائم سنگریزه مفید می‌باشند. برای سدهای سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی با ارتفاع بین ۶۰ تا ۱۳۰ متر دامنه‌ی برنامه‌ی ابزارها در حوزه‌ی ترجیح طراح و مالک می‌باشد [۳۸].

۲-۱-۶- سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی

در سال‌های گذشته بسیاری از مهندسين سرریزهای بزرگ را روی سد سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی اجرا می‌کردند. این سرریزها از طراحی برای تخلیه‌های بزرگ تا طراحی سرریزهای کمکی تغییر نموده‌اند. مطالعات اندکی برای طراحی و ساخت سرریز صورت گرفته‌است [۳۹].

نشست سد CFR نوین نسبتاً کوچک است. بیشترین جابه‌جایی در ۵ سال اول رخ می‌دهد و نرخ نشست تاج بعد از ۵ سال تنها چند میلی‌متر در سال می‌باشد؛ چنین نشست‌هایی به آسانی و بدون آسیب به سرریز قابل تحمل خواهند بود. خاکریز CRFD نوین پی سرریز را فراهم می‌کند که به‌طور کلی ایمن است و از تعداد زیادی سنگ‌های هوازده دیوارهای دره که سرریز در آن‌جا ساخته شده، استفاده می‌شود [۴۰].

جز برای سدهای کوتاه، متراکم کردن توده سنگریز شامل شیب بالادست و پی سرریز در همان ضخامت لایه‌ی مطلوب می‌باشد. هم‌چنین قرار دادن یک لایه سنگ کوچک‌تر به‌طور مستقیم در زیر سرریز و متراکم نمودن و حفاظت سطح شیب‌دار خاکریز برای شیب بالادست زیر دال بتنی مناسب است [۴۱].

بتن مسأله‌ی مهمی در ارزیابی ترک‌خوردگی در آن می‌باشد [۴۲].

۲-۲- معرفي سد گلورد نکا

۲-۲-۱- مشخصات کلی سد

جدول (۲-۲) مشخصات کلی سد گلورد نکا

عنوان طرح	کارفرما	شرکت مشاور	پیمان کار	مدت اولیه ی پیمان
ساخت سد مخزنی گلورد نکا و تأسیسات وابسته	آب منطقه ای مازندران	مهندسين مشاور سکو	شرکت ساختمانی او-یول	۴۰ ماه شمسی

۲-۲-۲- موقعیت سد

محل سد گلورد بر روی رودخانه ی نکارود و در حوزه ی آبریز دریاچه ی مازندران (طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۶ دقیقه ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه ی شمالی) واقع گردیده است. سد گلورد در بالادست روستای گلورد در منطقه ی کوهستانی هزارجریب نکا قرار گرفته است. این سد در فاصله ی ۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان بهشهر، در فاصله ی ۷۰ کیلومتری شهرستان ساری و ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی نکا قرار دارد. مساحت حوزه ی آبریز تا محل سد گلورد ۱۴۸۰ کیلومترمربع و متوسط بارندگی سالانه در محل ساخت گاه سد ۹۴۰ میلی متر می باشد و هم چنین متوسط روان آب سالانه ی رودخانه ۱۱۲ میلیون مترمکعب و متوسط آورد رسوب سالانه ۵۴۰ میلیون- مترمکعب می باشد. جایگاه سد در رقوم ۶۴۶ متر بالاتر از سطح دریا واقع می باشد.



شکل (۲-۵) موقعیت مکانی سد گلورد نکا



شکل (۲-۶) عکس هوایی محل احداث سد گلورد

۲-۲-۳- تاریخچه سد

در مرحله‌ی مطالعات، شش محل برای ساخت‌گاه سد بر روی رودخانه‌ی نکارود شناسایی گردید. در نهایت ساخت‌گاه گلورد به‌لحاظ تنظیم آب بیشتر گزینه‌ی نهایی اعلام شد. در سال ۱۳۶۹ برای انجام مطالعات مراحل اول و دوم توسعه‌ی منابع آب رودخانه‌ی نکا قراردادی بین شرکت سهامی آب

منطقه‌ای مازندران (کارفرما) و شرکت مهندسی منابع آب و خاک منعقد شد و در اجرای این قرارداد گزارش مرحله‌ی شناخت در سال ۱۳۷۱ و گزارش‌های مرحله‌ی اول در سال ۱۳۷۵ و گزارش مرحله‌ی دوم در سال ۱۳۷۸ مورد تصویب شرکت آب منطقه‌ای مازندران گردید. عملیات اجرایی طرح در سال ۱۳۷۹ با احداث راه دسترسی سد به پیمان‌کاری شرکت راه‌سازی و عمران ایران و در سال ۱۳۸۱ با احداث تونل انحراف و سازه‌های جنبی به پیمان‌کاری شرکت سابیر و در سال ۱۳۸۶ با اجرای آسفالت لایه‌ی دوم راه دسترسی به پیمان‌کاری شرکت ساختمانی چپر آغاز گردید.

با بررسی‌های مجدد و در جهت سرعت دادن به عملیات اجرایی سد براساس مطالعات مهندسی ارزش و جهت احتراز از مشکلات هسته‌ی رسی در شرایط آب‌وهوایی منطقه و وفق مصوبه‌ی کمیته‌ی تخصصی وزارت نیرو مقرر گردید گزینه‌ی سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی^۱ جای‌گزین گزینه‌ی سنگ-ریزه‌ای با هسته‌ی رسی^۲ گردد. تا پایان سال ۱۳۸۷ عملیات احداث تونل انحراف و راه دسترسی به تاج سد و آسفالت راه با مشاور شرکت مهندسی منابع آب و خاک به اتمام رسید. بخش اصلی طرح احداث بدنه‌ی سد مخزنی گلورد و تأسیسات جنبی آن به پیمان‌کاری شرکت گروه اویول آب نیرو در اردیبهشت ماه سال ۸۸ آغاز گردیده‌است.

۲-۲-۴- اهداف طرح

- تأمین آب مورد نیاز کشاورزی برای بخشی از دشت شهرستان‌های نکا و بهشهر به مساحت تقریبی ۲۵۰۰۰ هکتار
- تأمین سالیانه‌ی آب شرب شهرهای پایین‌دست به حجم تقریبی ۳۰ میلیون مترمکعب
- کنترل سیلاب‌های مخرب و جلوگیری از خسارات ناشی از سیلاب
- ایجاد کار و اشتغال، جذب توریست و اثرات مثبت زیست‌محیطی
- توسعه‌ی دامپروری و صنایع جنبی کشاورزی و پرورش آبزیان

^۱ Concrete Face Rockfill Dam

^۲ Clay Core Rockfill Dam

۲-۲-۵- مشخصات رودخانه و حوزه آبریز

جدول (۲-۳) مشخصات رودخانه و حوزه آبریز

مساحت حوزه آبریز رودخانه	متوسط بارندگی سالانه‌ی ساخت‌گاه سد	متوسط روان آب سالانه‌ی رودخانه	متوسط آورد رسوب سالانه
۱۴۸۰ کیلومتر مربع	۹۰۴ میلی متر	۱۱۲ میلیون مترمکعب	۵۴/۰ میلیون مترمکعب

۲-۲-۶- مشخصات پروژه

۲-۲-۶-۱- مشخصات ساخت‌گاه

جدول (۲-۴) مشخصات ساخت‌گاه

نوع پی و تکیه‌گاه‌ها	عمق آب‌رفت در محل ساخت‌گاه
سنگ آهک لار	۱۲ متر

۲-۲-۶-۲- مشخصات سد

جدول (۲-۵) مشخصات سد

نوع سد	ارتفاع از پی (متر)	ارتفاع از بستر رودخانه (متر)	تراز تاج (متر)	طول تاج (متر)	عرض تاج (متر)	پهنای سد در پی (متر)	حجم بدنه‌ی سد (متر مکعب)
سنگ‌ریزه‌ای با رویه‌ی بتنی	۱۱۱	۹۹	۷۳۹	۲۷۰	۱۰	۳۴۵	۲/۳ میلیون

۲-۲-۶-۳- مشخصات سرریز

جدول (۲-۶) مشخصات سرریز

نوع سرریز	موقعیت	تراز تاج سرریز	عرض سرریز	دبی طراحی (۱۰۰۰۰ ساله)	دبی PMF	سیستم استهلاک انرژی
سرریز آزاد با شوت بتنی	جناح چپ	۷۳۳ متر	۶۶ متر	۱۳۳۸ متر مکعب بر ثانیه	۲۱۷۰ متر مکعب بر ثانیه	جام پرتابی و حوضچه‌ی استغراق

۲-۲-۶-۴- مشخصات سیستم انحراف

جدول (۷-۲) مشخصات سیستم انحراف

موقعیت	ظرفیت	تعداد تونل	قطر تونل	طول تونل	تراز فراز بند	ارتفاع فراز بند
جناح چپ	۱۹۴ متر مکعب بر ثانیه	۱ رشته	۵ متر	۴۶۰ متر	۶۵۹ متر	۱۹ متر

۲-۲-۶-۵- مشخصات تخلیه کننده ی تحتانی

جدول (۸-۲) مشخصات تخلیه کننده ی تحتانی

تراز ورودی	ظرفیت	ابعاد دریچه ی سرویس	ابعاد دریچه ی حفاظتی	طول پوشش فلزی
۶۶۱,۵ متر	۴۵ متر مکعب بر ثانیه	۱,۲۵ * ۱,۵ متر	۱,۳ * ۱,۶ متر	۴۵ متر

۲-۲-۶-۶- مشخصات آب گیر کشاورزی

جدول (۹-۲) مشخصات آبگیر کشاورزی

تراز ورودی	ظرفیت آب گیری	شیرهای کنترل	شیرهای محافظ
۶۷۰ متر	۷,۵ * ۲ متر مکعب بر ثانیه	۲ عدد شیر سوزنی به قطر ۹۰۰ میلی - متر	۲ عدد شیر پروانه ای به قطر ۱۴۰۰ میلی متر

۲-۲-۶-۷- مشخصات دایک دره خانه سر

جدول (۱۰-۲) مشخصات دایک دره خانه سر

تراز دایک	ارتفاع دایک
۷۳۵ متر	۱۸ متر

۲-۲-۶-۸- مشخصات گالری‌ها

جدول (۱۱-۲) مشخصات گالری‌ها

طول گالری‌های جناح چپ	طول گالری‌های جناح چپ	طول گالری‌های جناح چپ
۱۱۰۰ متر	۱۲۲۲ متر	۱۷۱۷ متر

۲-۲-۷- زمین‌شناسی عمومی و زمین‌شناسی مهندسی ساخت‌گاه سد

۲-۲-۷-۱- ساخت‌گاه سد و ویژگی‌ها

بر پایه‌ی نوشتارهای مشاور (شرکت مهندسی منابع آب و خاک) و با بررسی‌های انجام شده، بهترین گزینه برای محور سد برروی رودخانه‌ی نکا در میانه‌ی نقطه ایست با موقعیت جغرافیایی زیر:

عرض جغرافیایی: ۳۶/۵۹ درجه‌ی شمالی

طول جغرافیایی: ۵۳/۶۱ درجه‌ی خاوری

فاصله‌ی سد تا شهر نکا (استان مازندران) از جاده‌ی آسفالتی حدود ۴۴ کیلومتر و دوری آن نسبت به محل شهر نکا در راستای فاصله‌ی هوایی، ۲۸ کیلومتر می‌شود (راستای ۱۰۵ درجه).

۲-۲-۷-۲- زمین‌شناسی عمومی و ریخت‌شناسی

گستره‌ی دربرگیرنده‌ی ساخت‌گاه سد مخزنی گلورد که روی روخانه‌ی نکا ساخته شده‌است، بخش بسیار کوچکی از استان ساختاری-رسوبی البرز می‌باشد که ویژگی‌های زمین‌شناسی آن در نوشتارهای گوناگون پژوهش‌گران سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور وجود دارد. گسله‌هایی که در نقشه‌های زمین‌شناسی چهارگوش‌های ساری و بهشهر نشان داده شده‌اند، همه‌ی آن‌ها از جایگاه سد گلورد دورتر از ۳۰-۵ کیلومترند که از میان آن‌ها از چند گسله یاد می‌شود.

شرکت گروه "اویول-آب نیرو" خدماتی شامل بازنگری و کامل کردن بررسی‌های مرحله‌ی یکم و انجام بررسی‌های مرحله‌ی دوم و ارائه به کارفرما در سال ۱۳۸۸ بوده است. تعداد ۵۳ حلقه گمانه با درازای کل بیش از ۲۷۲۶ متر حفاری گردیده است که در زمان نگارش و تهیه‌ی این نوشتار در حال حفاری بوده و حفاری‌ها ادامه دارند.

۲-۲-۷-۱- آزمایش‌های درجا

در این بخش از نوشتار آزمایش‌های مکانیک سنگ درجا انجام شده در ساخت‌گاه سد گلورد مورد بحث قرار گرفته است. در ساخت‌گاه سد گلورد تنها یک آزمایش درجا انجام شده که آزمایش‌های دیلاتومتری^۱ است.

۲-۲-۷-۲- آزمایش‌های آزمایشگاهی

شامل آزمایش‌های شاخص، مقاومت فشاری تک‌محوری، اندازه‌گیری سرعت موج^۲، مقاومت فشاری سه‌محوری، برش مستقیم و بار نقطه‌ای.

۲-۲-۸- طراحی بدنه‌ی سد

۲-۲-۸-۱- زون‌بندی بدنه‌ی سد

تعیین زون‌بندی‌های مختلف بدنه‌ی سد بر اساس معیارهای جهانی و سدهای ساخته شده در دنیا و معیارهای طرح سدهای رویه‌ی بتنی بلند^۳ و توجه به محدوده‌ی دانه‌بندی مصالح با توجه به حداقل‌های مجاز درصدهای عبوری از الک‌ها انجام شده است.

سد سنگ‌ریزه‌ای رویه‌ی بتنی نکا دارای نواحی ذیل می‌باشد که مقطع تیپ آن در شکل (۲-۴) ارائه شده است:

۱- زون (1A) لایه‌ی ریزدانه‌ی غیرچسبنده‌ی سیلتی که بر روی دال رویه قرار می‌گیرد و تا تراز ۶۷۰ ادامه می‌یابد.

¹ Dilatometer

² Ulterasonic

³ Guidelines for Design High concrete Face Rock Fill Dam CFRD international society , D001-2008

۲- زون (1B) ناحیه‌ی مصالح درشت‌دانه که جهت پایداری و حفاظت ناحیه‌ی (1A) بر روی آن اجرا می‌گردد.

۳- زون (2A) یا Cushion Layer با سایز حداکثر سنگ‌دانه ۴۰ الی ۸۰ میلی‌متر به‌عنوان بستر رویه‌ی بتنی عمل می‌نماید.

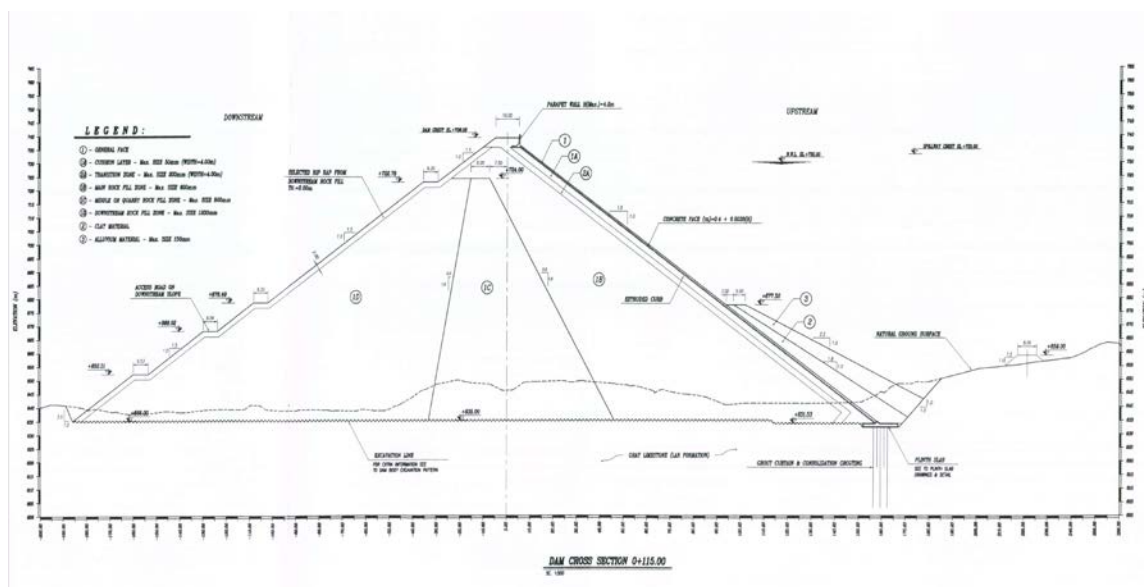
۴- زون (2B) یا لایه‌ی انتقالی^۱ با سایز حداکثر ۱۰۰ الی ۲۰۰ میلی‌متر که لایه‌ی انتقالی بین بستر سنگ‌ریز پوسته سد می‌باشد.

۵- زون (3A) یا Main Rock Fill با سایز حداکثر ۲۰۰ الی ۸۰۰ میلی‌متر که به‌عنوان سنگ‌ریز اصل در پوسته بالادست اجرا می‌گردد.

۶- زون (3C) یا Quarry Run or Middle Rock Fill با سایز حداکثر ۷۵ الی ۴۰۰ میلی‌متر به‌عنوان سنگ‌ریز میانی و با درصد ریزدانه نسبتاً زیادتر در وسط پوسته اجرا می‌شود.

۷- زون (3B) یا Downstream Rock Fill با سایز حداکثر ۲۰۰ الی ۱۰۰۰ میلی‌متر.

۸- زون (3E) یا Drain Rock Fill سنگ‌ریز زهکش افقی با سایز حداکثر ۲۰۰ الی ۱۰۰۰ میلی‌متر که تا تراز ۶۴۸ ادامه یافته و از آن به بعد با ضخامت ۳ متر بر روی دیواره‌ی تکیه‌گاه‌های سد اجرا می‌شود.



شکل (۲-۸) مقطع تیپ بدنه‌ی سد گلورد همراه زون‌بندی آن

¹ Transition Layer

به طور خلاصه می توان مشخصات دانه بندی مصالح زون های مختلف سد را به شرح جدول ذیل بیان

داشت:

جدول (۲-۱۲) مشخصات دانه بندی مصالح زون های مختلف سد رویه ی بتنی نکا

ردیف	نام ناحیه	حداکثر سایز (mm)	D5 mm	D= 0.75 mm	ضخامت لایه (cm)
۱	Cushion Layer (1A)	40~50	30~50 %	2~8 %	40
۲	Transition Layer (2A)	100~200	15~30 %	2~10 %	40
۳	Main Rock Fill (1B)	500~600	5~15 %	0~5 %	80
۴	Down Stream Rock Fill (1C)	500~1200	5~15 %	0~5 %	120
۵	Middel Par Rock Fill (1D)	500~800	5~15 %	0~5 %	80

تعداد پاس غلتک و ضخامت واقعی لایه ها در حین خاک ریز آزمایشی برای مصالح خرده سنگی دقیق

خواهد شد ولی عملاً به طور تجربی کوبیدن این مصالح با غلتک و بیره حدود ۳۰ تن و آب با حداکثر ۵

پاس تکمیل می شود.

ضخامت رویه ی بتنی با توجه به توصیه ی مراجع مختلف از رابطه ی زیر محاسبه شده و در نقشه ها

گنجانده شده است:

$$Th. (m) = 0.4 + 0.0035 H$$

H: ارتفاع سد بر حسب متر

دال رویه با درز ساختمانی و انقباض-انبساط در هر ۱۲ متر به دال پلینت^۱ متصل می گردد. دال پلینت

درگودترین نقطه ۱۰ متر عرض داشته و عرض این دال در تاج سد به ۴ متر می رسد که از دو بخش دال

خارجی^۲ و دال داخلی^۳ تشکیل شده است.

^۱ Plinth Slab

^۲ Internal Slab

^۳ External Slab

دال پلینت پس از حفاری بدنه و بخش دال پلینت ساخته خواهد شد و تزریقات پرده‌ی آب در گرداگرد بدنه از این طریق انجام خواهد شد. اما دال رویه پس از حادث شدن نشست آبی بدنه و حدوداً ۷ الی ۸ ماه پس از تکمیل ساخت بدنه‌ی خرده‌سنگی برروی آن ساخته شده و احتمالاً یک‌سال طول خواهد کشید تا احداث آن خاتمه یابد.

شیب سراب و پایاب سد در پروسه‌ی بهینه‌سازی شکل بدنه به ترتیب ۱/۴۵ و ۱/۴ افقی به قائم منظور شده‌است که در ادامه شرح مختصری از تحلیل‌های پایداری انجام گرفته ارائه می‌شود.

مشخصات فنی و عمومی بدنه‌ی سد رویه بتنی گلودر به شرح زیر می‌باشد:

از لحاظ محاسبات با توجه به جنس مصالح لایه‌ی (2A) که حداکثر سائز آن‌ها از ۴۰ الی ۷۶ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند، ناپایداری موضعی حین ساخت محتمل است. بنابراین در سدهای رویه‌ی بتنی از یک- طرف به دلیل این ناپایداری موضعی حین ساخت در بخش لایه‌ی 2A و از طرف دیگر به دلیل راحتی اجرای رویه‌ی بتنی از Extruded curb که مقاومت آن در رده‌ی ۵ تا C3 قرار دارد استفاده می‌شود. این ناحیه به طور یک پارچه در شیروانی سراب به ارتفاع حدود ۴۰ سانتی‌متر در زمان اجرای لایه‌ی 2A اجرا می‌گردد که این ناحیه باعث می‌شود تا ضمن حفاظت سطحی از لایه‌ی بستر رویه‌ی بتنی امکان تراکم آن را نیز فراهم نماید.

۲-۸-۲-۲- تحلیل پایداری شیب‌ها

تحلیل پایداری نهایی بدنه‌ی سد با توجه به موارد زیر انجام شده‌است:

۱- شیب سراب 1.45H: 1V و شیب پایاب 1.35H: 1V با برم‌های واقعی جاده دسترسی به پایاب برای دوران بهره‌برداری در مدل‌سازی لحاظ شده‌است. علی‌رغم این موضوع شیب پایین دست به لحاظ ساخت مرحله‌ای و تغییرات احتمالی در معدن سنگ 1.4H: 1V در نقشه‌ها لحاظ گردید.

۲- حداقل ۳ مقطع عرضی در شناژ ۰+۰۷۰ ، ۰+۰۹۰ و ۰+۱۵۰ با شیب‌های موضوع بند ۱ در آنالیز دیده شد.

۳- صلبیت قشر Extruded curb برای نگهداری مصالح با شرایط واقعی خود در آنالیزها وارد شد تا تأثیر این مهم در تحلیل‌ها اعمال گردد.

۴- ضریب زلزله مبنای کار برای کنترل پایداری شیب 0.2g در محاسبات لحاظ شد ولی باز محاسبات برای ضریب حداکثر زلزله بحرانی 0.25g نیز انجام شد (حدود $\frac{1}{3}$ از مقدار شتاب مشابه $PGA_H = 0.73g$)

۵- عرض زون شماره (3c) با توجه به اطلاعات شرایط حاضر در قاعده و ارتفاعات بهینه‌سازی شد.

۲-۲-۸-۳- بهینه‌سازی عرض زون شماره (3c)

زون شماره‌ی (3c) به‌علت دارا بودن مصالح ریزدانه در داخل خرده‌سنگ با زاویه‌ی اصطکاک اولیه‌ی درجه در محاسبات وارد شده و با توجه به این‌که زاویه‌ی اصطکاک داخلی مصالح خرده‌سنگی تابعی از تنش جانبی است در لایه‌های مختلف از رابطه زیر زاویه اصطکاک داخلی برآورد و به مدل معرفی شده‌است:

$$\rho = \rho_0 - \Delta\rho \log\left(\frac{\sigma_3}{\rho_a}\right)$$

$\rho_a = 101.4 \text{ Kpa}$ فشار اتمسفر

$\rho_0 = 45^\circ$

$\Delta\rho = 12^\circ$ حداکثر مقدار اطمینان بخش

به‌عبارتی زون 3c که حداکثر در ۵ لایه‌ی محاسباتی مدل‌سازی شد، دارای زاویه‌ی اصطکاک داخلی φ از ۴۲ درجه الی ۳۶ درجه خواهد بود که در مدل‌سازی جهت برآورد پایداری شیروانی مدنظر قرار گرفته شده‌است.

پس از چندین دور محاسبات سعی و خطا و کنترل پایداری شیروانی سراب و پایاب می‌توان فقط قشر روکش محافظ زون 3c را با عرضی حدود ۱۵ متر به‌عنوان حداقل عرض بهینه‌سازی شده در سراب از

زون شماره‌ی 3A و در پایاب از زون شماره‌ی 3B ریخته و متراکم نمود و مابقی لایه‌های محاسباتی داخلی را از زون شماره‌ی 3C لحاظ گردید که در پروسه‌ی محاسبات بندهای آینده به‌همین شکل اقدام شده‌است.

۲-۲-۸-۴- روند محاسبات

(۱) محاسبات به‌وسیله‌ی مدل ریاضی Geo-Studio2007 به دو روش پیشاپ اصلاح شده و اسپنسر^۱ انجام شده‌است.

(۲) محاسبات برای سه مقطع عرضی ۰+۰۷۰، ۰+۰۹۰ و ۰+۱۵۰ از آلبوم نقشه‌ها انجام شده‌است.

(۳) ضریب ایمنی مطابق با جدول شماره‌ی (۲-۵) منظور شده‌است.

(۴) پارامترهای مصالح بدنه و پی مطابق با جدول شماره‌ی (۲-۶) لحاظ شده‌است.

(۵) محاسبات استاتیک برای حین ساخت و اتمام ساخت، آب‌گیری در ترازهای محاسباتی حداکثر آب ۷۳۹ متر، نرمال ثانویه‌ی ۷۳۶ و نرمال اولیه ۷۳۳ متر و مخزن نیمه پر ۷۱۰ متر و ۶۹۰ متر و تراز حداقل ممکن ۶۶۳ متر برای هر سه مقطع به‌تفکیک انجام شده‌است.

(۶) محاسبات شبه استاتیک با ضریب زلزله‌ی ۰/۱ برای حین و اتمام ساخت بدنه و با ضریب ۰/۲ و ۰/۲۵ برای شرایط آب‌گیری و بهره‌برداری سیلابی برای هر سه مقطع به‌تفکیک انجام شده‌است.

(۷) محاسبات با روش پیشاپ اصلاح^۲ انجام و با روش اسپنسر کنترل گردیده‌است. به‌عبارتی توصیه‌ی اول برای دریافت نتایج پیشاپ اصلاح شده‌است و روش دقیق‌تر اسپنسر کنترل محاسبات به‌روش پیشاپ اصلاح شده می‌باشد.

(۸) شیب سراب زیر رویه 1V : 1.45H و شیب پایاب 1V : 1.35 H با برم‌های واقعی جاده روی بدنه می‌باشد.

^۱ Spencer

^۲ Modified Pishop

۹) در آنالیزها Extruded Curb با مقاومت حداقل ۳ الی ۵ مگاپاسکال در طرح پایداری شیروانی با توجه به آلبوم نقشه‌های بدنه‌ی سد برای شیب بالادست در محاسبات وارد شده‌است.

۲-۲-۸-۴-۵- تحلیل سه‌بعدی بدنه‌ی سد گلورد در حالت دینامیکی

آنالیز سه‌بعدی بدنه‌ی سد گلورد در حالت دینامیکی به‌روش تاریخچه‌ی زمانی با استفاده از نرم‌افزار آباکوس^۱ انجام شده‌است. در این مدل‌سازی، آنالیز و تحلیل سه‌بعدی بدنه‌ی سد گلورد با روش اجزای محدود^۲ و برای سه شتاب‌نگاشت مربوط به سه زمین‌لرزه‌ی مختلف در سطح MCL انجام شده‌است. شرایط مرزی مسأله از قبیل شرایط هندسی دره، بدنه‌ی سد و رویه‌ی بتنی^۳ تا حد امکان با شرایط واقعی تطبیق سازی شده‌است. همچنین در پایین‌دست سد قسمت‌های برم و راه‌های دسترسی در مدل‌سازی‌ها در نظر گرفته شده‌اند.

به‌منظور مدل‌سازی شرایط اندرکنش مابین رویه‌های بتنی و بستر زیرین از المان‌های سطحی^۴ و از نوع اصطکاکی^۵ استفاده شده‌است. در این روش با اعمال ضریب اصطکاک^۶ مابین رویه‌های بتنی و بستر زیرین، امکان لغزش و حرکت رویه‌ها بر روی بدنه فراهم می‌گردد. فرم شماتیک المان اندرکنش مابین رویه‌ی بتنی و بستر زیرین در شکل (۲-۵) نشان داده شده‌است. همچنین آنالیزها در دو حالت مخزن پر و نیمه‌پر صورت گرفته‌است.

مدل رفتاری استفاده شده برای مصالح بدنه‌ی سد گلورد در این آنالیزها مدل رفتاری الاستیک-پلاستیک کامل^۷ و از نوع موهر-کولمب^۸ می‌باشد که پارامترهای مورد استفاده در این مدل در جدول شماره‌ی (۲-۱۰) نشان داده شده‌اند. همچنین برای رویه‌های بتنی، مدل رفتاری الاستیک خطی در نظر گرفته شده‌است. در این آنالیزها از روش پی بدون جرم استفاده شده‌است.

^۱ ABAQUS

^۲ Finite Element Method

^۳ Face Slab

^۴ Interface

^۵ Friction

^۶ Friction Coefficient

^۷ Elastic- Perfect Plastic

^۸ Mohr-Coulomb

به دلیل وجود المان‌های اندرکنش مابین رویه‌ی بتنی و بدنه و به علاوه سه‌بعدی بودن آنالیزها، زمان لازم برای تحلیل این حالات چندین برابر حالت دوبعدی بوده است. همچنین هدف اصلی از تحلیل سه‌بعدی بدنه‌ی سد گلودر حالت دینامیکی بررسی رفتار دال بتنی و حصول نیروهای محوری، لنگرهای خمشی و تغییر مکان‌های موجود در این سازه می‌باشد، در نتیجه از مدل کردن پلینت^۱ در این آنالیزها صرف نظر شده است.

به دلیل پیچیده بودن مدل هندسی مسأله در حالت سه‌بعدی، برای مش‌بندی بدنه‌ی سد و فونداسیون از المان‌های هرمی و برای دال بتنی از المان‌های چهاروجهی شکل استفاده شده است. همچنین به منظور ایجاد شرایط مناسب در المان‌های اندرکنش، سازه المان‌های موجود در دال بتنی و بستر زیرین تا حد امکان یک‌سان در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی مناسب‌تر رفتار دال بتنی، نتایج حاصل از تحلیل‌ها در پنج مقطع از این سازه گردآوری شده است. موقعیت این پنج مقطع در شکل شماره‌ی (۲-۶) نشان داده شده است. در کلیه آنالیزها محور x هم‌جهت با راستای محور سد، محور y هم‌جهت با راستای عمود بر محور سد و محور z هم‌جهت با راستای ارتفاع سد در نظر گرفته شده است و نتایج تحلیل‌ها با توجه به مختصات فوق‌الذکر ارائه شده است. همچنین با توجه به نوع سد و شیب ملایم شیروانی بالادست از اثرات هیدرودینامیکی صرف نظر شده است. به منظور اطمینان بیشتر در یکی از حالات (زلزله‌ی طبس) اثر هیدرودینامیک با استفاده از روش تعمیم یافته وسترگارد لحاظ شده است که نتایج نشان دهنده‌ی اختلاف جزئی این دو حالت می‌باشد.

^۱ Plinth

جدول (۲-۱۳) مشخصات مصالح

مدل مصالح	ϕ	C (KPA)	γ	ν	E(MPA)	ناحیه
موهر کلمب	51	0	19	0.24	100	بدنه ی سنگ- ریزه
موهر کلمب	25	550	0	0.25	1900	پی
الاستیک خطی	-	-	20	0.17	2500	رویه ی بتنی

فصل سوم:

ابزار دقیق

۳-۱- مقدمه

سدها سازه‌هایی با اهمیت از نظر مهندسی، زیست‌محیطی و اقتصادی هستند که از سویی با صرف هزینه‌های بسیار ساخته می‌شوند و از سویی دیگر با صرف هزینه‌های زیاد دیگری نگهداری می‌شوند. لذا کنترل پایداری این سازه‌های عظیم نیازی همیشگی جهت حفظ و کاهش هزینه‌های جانی و مالی و زیست‌محیطی است. از آنجایی که خطرات مختلفی از جمله هیدرولوژیکی و ژئوتکنیکی این سازه‌ها را با ماهیتی آنی یا تدریجی تهدید می‌کند، نیازی مداوم به کنترل این عوامل مؤثر در پایداری سدها وجود دارد که بخش اعظم این نیاز با تعبیه‌ی ابزار دقیق‌های مختلف جهت اندازه‌گیری‌های پایداری دینامیکی و استاتیکی صورت می‌گیرد. و از آنجا که آسیب‌دیدگی سدها پدیده‌هایی پیش‌رونده است، به‌این معنی که پدیده‌های مخرب نه تنها باعث آسیب یا تخریب سد می‌شوند بلکه تخریب سد خود موجب ایجاد تخریب‌های دیگر می‌گردد. از این‌رو کنترل ایمنی سدها و بررسی پایداری و خطراتی که آن‌ها را تهدید می‌کند، دارای اهمیتی دو چندان می‌باشد.

میتوان تهدیدات مترتب بر سدها را به‌انواع تهدیدات زمین‌شناختی، زمین‌لرزه‌ای، خطرات ناشی از مصالح ساختمانی و نوع سد تقسیم‌بندی نمود.

از دیدگاه زمین‌شناسی فرسایش بدنه، پی و جناحین سد در اثر جریان‌های عبوری از روی سرریز یا لغزش توده‌ها و امواجی که در اثر این پدیده در مخزن ایجاد می‌شود عامل خطر شناخته شده‌اند.

از منظر زلزله، تأثیر مخزن در ایجاد زلزله‌های القایی، تشدید زلزله در شرایط مختلف بر روی پی و سازه، تأثیر زلزله بر سازه و اثرات ناشی از زلزله نظیر روان‌گرایی و لغزش توده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. از دیدگاه مصالح ساختمانی، عوامل مختلفی که می‌تواند کیفیت مصالح را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه در سازه ضعف ایجاد نماید مورد بررسی قرار می‌گیرند.

با این توضیحات در مراحل طراحی و ساخت سدها انواع مختلفی از ابزار دقیق جهت اندازه‌گیری و پایش عواملی که بالقوه یا بالفعل از گروه عوامل خطرزا هستند به اقتضای نوع پروژه در نظر گرفته می‌شود.

این ابزار به‌طور کل ابزاری جهت اندازه‌گیری فاکتورهایی نظیر فشارهای منفذی، فشار سرباره و سطح آب‌های زیرزمینی و جابه‌جایی‌های افقی (انحراف) و قائم (نشست)، میزان فشار آپلیفت و برخی دیگر از عوامل می‌باشند.

به‌طور کلی هدف از تهیه و نصب تجهیزات ابزار دقیق در سدها، کنترل و پایش بدنه‌ی سد و ساخت-گاه آن بر اساس پارامترهای طرح در حین ساخت، آب‌گیری و دوره‌ی بهره‌برداری می‌باشد تا بر اساس نتایج حاصل، روش‌های اجرائی در دوران ساخت کاملاً مورد تکوین و تدقیق قرار گیرند. به-طور کلی مجموعه کارهای انجام شده در این زمینه "رفتارنگاری" نامیده می‌شود. رفتارنگاری سدها یکی از فرآیندهای ارزیابی "ایمنی سد" محسوب می‌گردد. ایمنی سد به معنای اطمینان داشتن از سلامت سازه سد و تضمین عدم وجود ریسک غیر قابل قبول برای انسان، دارایی‌ها و محیط زیست اطلاق گردیده و به‌منظور دستیابی به این مسأله استفاده‌ی همه‌جانبه از اصول مهندسی، تجهیزات مناسب و تجربه توصیه شده‌است. پارامترهایی که توسط تجهیزات ابزار دقیق مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند را می‌توان به‌صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

- تغییر مکان‌ها شامل جابه‌جایی‌های افقی در داخل بدنه‌ی سد و نشست بدنه و پی سد
- تغییرات تنش و فشار آب منفذی در بدنه و پی
- شرایط نشست آب از بدنه، پی و تکیه‌گاه‌ها
- پارامترهای دینامیکی شامل شتاب و تغییر مکان ناشی از زلزله

۳-۲- طبقه‌بندی کلی ابزار دقیق

همان‌طور که بیان شد در پروژه‌های سد سازی جهت کاهش هزینه و ریسک ساخت و نگهداری این سازه‌های عظیم و مستعد خطر، نیاز به پایش مداوم و اندازه‌گیری و تحلیل عوامل مؤثر بر پایداری سدها میباشد. جهت انجام این امر ابزار خاص کنترل و پایداری سدها در دو حوضه عمده سدهای بتنی و سدهای خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار که در اصطلاح رایج با نام ابزار دقیق از آنها یاد میشود، جهت اندازه‌گیری دو دسته کلی مشترک از تغییرات در بدنه و ساختگاه سدها، شامل جابجاییها و تغییرات فشارها مورد استفاده قرار میگیرند. این ابزارها از نظر نحوه عملکرد نیز به دو دسته کلی تفکیک می‌شوند:

۳-۲-۱- ابزارهای مکانیکی

ابزارهای مکانیکی ابزارهایی هستند که عمدتاً از عوامل مکانیکی تشکیل شده‌اند و سیستم قرائت آنها ممکن است دستی، مکانیکی و یا الکتریکی باشد. ابزارهای مکانیکی خود به دو زیرگروه هیدرولیکی و پنوماتیکی (گازی) تفکیک می‌شوند. سیستم اصلی این ابزارها چنان است که ممکن است پدیده‌های موردنظر را بطور مستقیم اندازه‌گیری کند و احتمالاً نیازی به تبدیل قرائت به پارامتر مورد نظر نباشد. برای مثال، اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی بوسیله یک پیزومتر لوله قائم سطح ایستایی را از دهانه لوله پیزومتر اندازه‌گیری می‌نماییم. مقدار بدست آمده بطور مستقیم تراز سطح آب زیرزمینی را بدست می‌دهد به همین ترتیب مقدار جابجایی یک درز در بتن، سنگ و ... را بطور مستقیم می‌توان از طریق قرائت یک دستگاه درزسنج مکانیکی اندازه‌گیری کرد. برخی از ابزارهای مکانیکی در بسیاری موارد دارای مزایای زیادی هستند اما در مواردی ممکن است کاربرد ابزارهای مکانیکی مقدور نباشد و یا آنکه نتواند منظور خاصی را در اندازه‌گیری برآورده سازند. ضمناً در صورتیکه دقت زیادی در اندازه‌گیری مورد نیاز باشد حتماً ابزارهای الکتریکی دارای برتری‌هایی می‌باشند.

۳-۲-۲- ابزارهای الکتریکی

این ابزارها آنهایی هستند که با جریان الکتریکی کار می‌کنند و عامل اصلی اندازه‌گیری آنها بطور عمده مقاومتی و یا ارتعاشی می‌باشد. امروزه در اغلب موارد کاربرد تار مرتعش در دستگاههای اندازه‌گیری دارای برتریهای زیادی می باشد. ابزارهای الکتریکی در واقع پدیده های مورد نظر را بطور غیر مستقیم اندازه گیری می کنند، به این ترتیب که نتیجه قرائت آنها را بایستی بوسیله فرمولهایی تبدیل به پارامترهای اصلی نمود برای مثال در صورتیکه یک پیزومتر الکتریکی از نوع تار مرتعش را در نظر بگیریم قرائت فشار آب حفره‌ای بطور مستقیم امکانپذیر نبوده، بلکه قرائت فرکانس ارتعاش تار را بدست می‌دهد. از اینجا با قرار دادن مقدار قرائت شده در فرمول داده شده‌ای مقدار فشار آب حفره‌ای بدست می‌آید. امروزه با پیشرفت تکنولوژی ابزارهای اندازه‌گیری بسیاری از دستگاههای اندازه‌گیری الکتریکی، دارای حساسیت مناسب بوده و از نظر دوام و هزینه نیز با بسیاری از ابزارهای مکانیکی رقابت می‌نمایند. بعلاوه تکنولوژی ساخت آنها بمراتب پیچیده‌تر از ابزار مکانیکی می‌باشد از طرفی دیگر بعلت پاسخ سریع این دستگاهها نسبت به تغییرات حاصله در پارامترهای مورد نظر کاربرد این ابزارها در بسیاری موارد جایگزین دستگاههای مکانیکی و غیره می‌شود.

۳-۳- ابزارهای رایج در سدهای خاکی

در ادامه لیستی کلی برخی از ابزار دقیق های مورد استفاده در سدهای خاکی به تفکیک عامل مورد اندازه گیری آورده شده است. بدیهی است که لیست حاضر یک لیست کلی بوده و الزامی برای استفاده از تمامی این ابزارها در یک پروژه نمی باشد.

۳-۳-۱- ابزار اندازه‌گیری فشار آب حفره ای (پیزومترها)

جدول (۳-۱) ابزار اندازه‌گیری فشار آب حفره ای (پیزومترها)

ابزار اندازه‌گیری فشار آب حفره ای (پیزومترها)			
پیزومتر الکتریکی (تارمرتتش و مقاومتی)	پیزومتر کاساگراند	پیزومتر هیدرولیکی	پیزومتر پنوماتیکی

۳-۳-۲- ابزار اندازه‌گیری تنش کل

جدول (۳-۲) ابزار اندازه‌گیری تنش کل

ابزار اندازه‌گیری تنش کل		
سلول تنش کل الکتریکی	سلول تنش کل پنوماتیکی	سلول تنش کل هیدرولیکی

۳-۳-۳- ابزارهای اندازه‌گیری تغییر شکلها و تغییر مکانها

جدول (۳-۳) ابزارهای اندازه‌گیری تغییر شکلها و تغییر مکانها

ابزارهای اندازه‌گیری تغییر شکلها و تغییر مکانها					
انحراف سنج	کرنش سنج ها	لوله قائم با بازوهای متقاطع	حلقه‌های القایی یا مغناطیسی	نشست منبع دو سیاله افقی	سلول نشست منبع (هیدرولیک و پنوماتیک و ...)

۳-۳-۴- ابزار اندازه‌گیری نشست آب

جدول (۳-۴) ابزار اندازه‌گیری نشست آب

ابزار اندازه‌گیری نشست آب		
سرریز دبی سنج، سرریز کالیبره	دبی سنج مخزنی	پارشال فلوم

۳-۳-۵- ابزار اندازه‌گیری دما

جدول (۳-۵) ابزار اندازه‌گیری دما

ابزار اندازه‌گیری دما			
دماسنج الکتریکی (تارمرتتش و مقاومتی)	دماسنج از نوع مقاومت الکتریکی در جبهه بالادست و پایین دست	دماسنج از نوع مقاومت الکتریکی مستقر در هوا یا آب	دماسنج ثبات

۳-۳-۶- ابزارهای اندازه‌گیری رطوبت

جدول (۳-۶) ابزارهای اندازه‌گیری رطوبت

ابزارهای اندازه‌گیری رطوبت			
رطوبت‌سنج معمولی	رطوبت‌سنج از نوع تارمو	رطوبت‌سنج از نوع مقاومت مخصوص	رطوبت‌سنج الکتریکی

۳-۳-۷- ابزارهای اندازه‌گیری درز و ترک

جدول (۳-۷) ابزارهای اندازه‌گیری درز و ترک

ابزارهای اندازه‌گیری درز و ترک	
درزسنج مکانیکی	درزسنج الکتریکی

۳-۳-۸- ابزارهای اندازه‌گیری حرکات پی و شیب‌ها

جدول (۳-۸) ابزارهای اندازه‌گیری حرکات پی و شیب‌ها

ابزارهای اندازه‌گیری حرکات پی و شیب‌ها								
انبساط سنج	انبساط سنج	نقشه‌برداری	نقطه نشانه	علامت	نشانه	ایستگاه	تقاط مرجع	خط
میله‌ای	نواری	رفتارنگاری	دائم (BM)	نقشه‌برداری زمینی	رفتارسنجی	اصلی نقشه‌برداری	فرانس	مبنا

۳-۳-۹- اندازه‌گیری زمین لرزه - زلزله‌سنجی

جدول (۳-۹) اندازه‌گیری زمین لرزه - زلزله‌سنجی

اندازه‌گیری زمین لرزه - زلزله‌سنجی						
لرزه‌نگار لرزه‌های شدید	لرزه‌نگار تغییر مکانها	لرزه‌نگار سرعت	لرزه‌نگار شتاب	لرزه‌نگار مکانیکی	لرزه‌نگار (با مولفه افقی و با مولفه قائم)	لرزه‌نگار با سیم پیچ متحرک

۳-۳-۱۰- اندازه‌گیری تراز آب

جدول (۳-۱۰) اندازه‌گیری زمین لرزه - زلزله‌سنجی

اندازه‌گیری زمین لرزه - زلزله‌سنجی		
اشل	سوند الکتریکی	لیمنوگراف

۳-۴- قرائت، ثبت و پردازش داده‌های ابزار دقیق

زمانبندی قرائت ابزار دقیق نصب شده می‌بایست براساس دستورالعمل‌های تعیین شده توسط مهندس مشاور پروژه انجام گردد. از آنجا که ارزیابی وضعیت پایداری و نیز پی جویی عوامل هر نوع ناپایداری احتمالی مستلزم داشتن اطلاعات کافی در مورد چگونگی وقوع تغییرات در اندازه‌گیری ابزار دقیق می‌باشد، این زمانبندی می‌باید بصورت پویا و مطابق با آهنگ تغییرات پیش‌بینی شده و یا ثبت شده تنظیم شود. ضمناً، ثبت هر نوع فعالیت اجرایی در محل پروژه، که به نوعی با پایداری و عملکرد سد و تاسیسات وابسته به آن ارتباط دارد، با ذکر جزئیات آن ضروری می‌باشد.

اندازه‌گیری‌های انجام شده می‌باید در فرم‌های استاندارد که به همین منظور تهیه و تدوین شده‌اند ثبت و نگهداری شوند. به منظور اجتناب از خطاهای مکرر در اندازه‌گیری‌ها، عدم پیوستگی داده‌ها و در بسیاری از موارد، عدم اطمینان به صحت داده‌ها و نیز تلقین حس دقت و جدیت در پرسنل

ابزاردقیق، لازم است که کلیه قرائتهای ابزاردقیق در فرمهای استاندارد ثبت شوند. متأسفانه، در برخی از سدها، فرمهای ثبت داده های ابزاردقیق غیراستاندارد بوده و یا لاقلاً دستورالعمل های مربوط به قرائت، ثبت و پردازش داده های ابزاردقیق بخوبی رعایت نمی شود. در زمان بهره برداری، اکثر تغییرات مشاهده و یا ثبت شده با نوسانات ارتفاع آب مخزن و شرایط جوی (درجه حرارت محیط، میزان بارندگی) مرتبط است. بنابراین ثبت کلیه اندازه گیریها می باید با این دو پارامتر و با ذکر ساعت اندازه گیری توأم باشند.

پردازش داده های قرائت شده با اعمال تصحیحات مربوط به خطاهای قابل پیش بینی و نیز تصحیحات لازم در ارتباط با لزوم هماهنگی قرائت های ابزار دقیق مختلف در یک ایستگاه یا یک مقطع انجام میشود. رسم منحنیهای رفتارسنجی، آنطور که رایج است، بصورت نمودارهای تغییرات اندازه گیری نسبت به زمان، و یا پارامترهای موثر دیگر می باشد. مثلاً رسم منحنی تغییرات در پارامترهایی چون تغییر شکل در بدنه و پی سد، فشار آب منفذی در بدنه و پی سد و ... نسبت به نوسانات تراز سطح آب مخزن می تواند ارزیابی عوامل اصلی تغییرات را ممکن سازد.

۳-۵- ابزار دقیق سد گلورد

بطور کلی با توجه به توضیحات ذکر شده در بالا و همچنین نوع و مشخصات سد مخزنی گلورد نکا و ضمن در نظر گرفتن دیگر شرایط تأثیرگذار، ابزاربندی سد گلورد به سه بخش اصلی که هر یک از آنها نیز دارای زیر بخش هایی می باشند، تقسیم می گردد که عبارتند از:

الف) ابزاربندی بدنه

به) ابزار بندی رویه بتنی

ج) ابزاربندی ساختگاه

۳-۵-۱- ابزاربندی بدنه

بدنه سد گلورد به عنوان بستر و سازه نگهدارنده دال رویه بتنی می باشد. لذا با توجه به عملکرد، شکل هندسی و ابعاد و اندازه های بدنه سد گلورد و همچنین نوع مصالح بکار رفته در آن که از نوه خرده سنگی بوده و بر خلاف سدهای هسته رسی دارای نشست آنی حین ساخت می باشد، ابزارهای گوناگونی برای پایش رفتار بدنه سد در نظر گرفته شده است. همانطور که ذکر شد مهمترین عملکرد بدنه سد گلورد به عنوان سازه نگهدارنده رویه بتنی آن می باشد. لذا از جمله پارامترهای بسیار مهمی که باید در رفتارنگاری آن مورد توجه قرار گیرد جابجائیهای افقی و عمودی (نشست) می باشد که برای کنترل و اندازه گیری آنها از انواع ابزارهای جابجایی سنجی شامل نشست سنجهای مغناطیسی و هیدرولیکی، انحراف سنجهای افقی و عمودی و همچنین مجموعه از کشیدگی سنجها بکار گرفته شده اند. لازم به ذکر است که با توجه به اهمیت تعیین خط جریان آزاد آب در بدنه سد، برای اندازه گیری این پارامتر نیز از انواع پیزومترهای تارمرتعش^۱ پی و بدنه و پیزومترهای لوله آزاد (کاساگراند) استفاده شده است.

بطور کلی ابزار دقیق بدنه سد در سه مقطع اصلی عرضی که در کیلومترهای ۷۰، ۱۳۰ و ۱۹۰ واقع شده اند و پروفیل طولی جانمایی شده اند که ابزارهای هر مقطع نیز در ترازهای ارتفاعی مختلف و تعیین شده نصب خواهند گردید.

۳-۵-۲- ابزاربندی رویه بتنی

با توجه به اهمیت رویه بتنی به عنوان المان آب بند سد، و به منظور بررسی رفتار این سازه مهم در حین آبگیری و دوران بهره برداری از ابزارهای گوناگونی همانند سیستم های درزه سنجی، انحراف سنجی و ... استفاده شده است.

^۱ Vibrating Wire

۳-۵-۳- ابزاربندی ساخت‌گاه

در خصوص ابزاربندی ساخت‌گاه سد گلورد نیز با توجه به اهمیت بررسی تغییرات تراز آب زیر زمینی و جریان آب مجموعه ای از چاههای مشاهده ای در تکیه گاهها و پایاب سد بکار گرفته شده اند. همچنین برای بررسی میزان نشت و نحوه عملکرد زهکش تحتانی نیز از سیستمهای اندازه گیری دبی نشت^۱ استفاده شده است. بر این اساس لیست کلی تجهیزات ابزار دقیق پیش بینی شده و مورد نیاز برای سد گلورد در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول (۱۱-۳) لیست ابزاردقیق پیش بینی شده برای سد گلورد نکا

ردیف	نام ابزار	تعداد	واحد	توضیحات
۱	شتابنگار	۳	عدد	
۲	پیزومتر تار مرتعش بدنه	۱۲	عدد	
۳	پیزومتر تار مرتعش پی	۳۰	عدد	
۴	پیزومتر کاساگراند	۶	سری	
۵	فشارسنج کل	۱۲	عدد	
۶	سرریز اندازه گیری نشت	۲	سری	
۷	نشست سنج هیدرولیکی	۱۸	عدد	
۸	کشیدگی سنج افقی	۳۳	سری	
۹	مجموعه انحراف سنج عمودی و	۶	سری	
۱۰	انحراف سنج افقی	۲	سری	
۱۱	انحراف سنج مایل	۳	سری	
۱۲	ایستگاه هیدرومتری	۲	مجموعه	
۱۳	ایستگاه هواشناسی	۱	مجموعه	
۱۴	الکترولول	۳۶	سری	
۱۵	درزه سنج تک محوره	۲۰	عدد	
۱۶	درزه سنج سه محوره	۱۷	عدد	
۱۷	کشیدگی سنج گمانه ای	۱۱	سری	
۱۸	اشل سطح آب دریاچه	۱	سری	
۱۹	کرنش سنج	۳۰	عدد	
۲۰	تجهیزات اتاق کنترل	۱	مجموعه	
۲۱	جعبه تقسیم	۲۵	عدد	
۲۲	تجهیزات چاه مشاهده ای	۱۲	سری	

^۱ Weir

۳-۶- مختصری در مورد ابزار دقیق مورد استفاده در سد گلورد

۳-۶-۱- شتابنگار

جهت اندازه گیری سرعت امواج درونی زمین که در اثر زلزله یا حرکات لایه های زمین شناسی و یا حتی انفجارات ایجاد می شود بکار می رود و توانایی ثبت جابجایی های ناشی از امواج را در جهت های قائم و افقی را دارا می باشد. وقوع زلزله و تأثیر آن بر ساختمان سدها از مواردی است که همیشه ذهن مجریان و طراحان سدها را به خود مشغول داشته است. به همین دلیل است که طراحان و مجریان پروژه های سدسازی برای پایش های لرزه ای سدها اقدام به پایش بینی و اجرای شبکه های لرزه نگاری و شتابنگاری سدهای مورد اجرای خود می کنند تا از مجموعه داده های اخذ شده از این ابزارها در دانش طراحی های بعدی اینگونه سازه ها و نیز بهینه کردن آگاهی های مورد نیاز در زمان نگهداری و بهره برداری سدها استفاده نمایند. در این شبکه ها سعی بر آن است تا وقوع زلزله های مؤثر بر سدها ثبت و همچنین اثرپذیری و پاسخ سازه سد به این زلزله ها ثبت و مورد بررسی همزمان قرار گیرند.

به همین منظور بسته به نوع سازه سد، ابعاد آن و شرایط زمین شناسی ساختگاه سد اقدام به طراحی و نصب شبکه شتابنگاری بر روی سازه و ساختگاه آن و نیز شبکه لرزه نگاری پوشش دهنده شعاع تأثیر دریاچه می نمایند.

بدین ترتیب که برای شبکه شتابنگاری از یک یا مجموعه ای از شتابنگارها بر روی سازه (تاج، گالری یا شیب ها) و همچنین یک یا تعداد بیشتری از همین ابزار در ساختگاه طبیعی سد (جنا حین یا پایین دست پنجه سد) استفاده می کنند. با این توضیحات در سد گلورد تعداد ۳ ایستگاه شتابنگاری در نظر گرفته شده است که یکی در تکیه گاه راست و یا چپ، یکی در بر روی بدنه سد (تاج سد) و

دیگری در پایین دست سد و بر روی سنگ بستر نصب خواهند شد. هر ایستگاه شتابنگاری از سه بخش ثابت^۱، آنتن جی پی اس و سنسور شتاب تشکیل می گردد.



شکل (۳-۱) مجموعه تجهیزات شتابنگاری

۳-۶-۲- ثبات

ثبات یکی از دو بخش اصلی هر ایستگاه شتابنگاری می باشد. نقش این دستگاه دریافت اطلاعات لرزه ایی از سنسور شتاب یا سنسور لرزه و ثبت آنها به صورت دیجیتال همراه با اطلاعات زمانی دقیق وقوع لرزه است.



شکل (۳-۲) دستگاه ثبات برای ثبت و ذخیره داده های شتابنگار

۳-۶-۳- آنتن جی پی اس

این آنتن عمل بر قراری ارتباط ثبات با ماهواره را بر عهده دارد. تا ثبات اطلاعات زمانی خود را با استفاده از ماهواره ها به روز نماید.

^۱ Recorder



شکل (۳-۳) آنتن جی پی اس شتابنگار

۳-۶-۴- سنسور شتاب

سنسور شتاب حساس ترین بخش هر ایستگاه شتابنگاری می باشد و نیاز است که در رابطه با آن مراقبت‌های لازم بخصوص عدم ضربه، صورت گیرد. هنگامی که در محل نصب شتابنگار، لرزه ایی اتفاق می افتد سنسور شتاب با تأثیر از لرزه سیگنال هایی را به ثبات انتقال می دهد. تا در صورت همخوانی این سیگنالها با تنظیمات (قرار داشتن در محدوده حساسیت) ثبات آنها را در حافظه خود ثبت کند.



شکل (۳-۴) سنسور شتابنگار

۳-۶-۵- پیزومترهای بدنه و پی

پیزومترهای بدنه و پی سد گلورد از نوع پیزومترهای تارمرتزش بوده جهت اندازه گیری فشار منفذی در بدنه سد و اندازه گیری فشار پیزومتریک در پی سد کارگذاری شده اند. این دو نوع ابزار تفاوت ساختاری چندانی با یکدیگر نداشته تنها تفاوت آنها در نوع فیلتر بکار رفته در آنها میباشد بطوری که در نوع پیزومتر بدنه جنس فیلتر از نوع سرامیکی با اندازه منافذ بسیار ریز و در مدل پیزومتر پی جنس فیلتر از استیل ضد زنگ و با قطر منافذی بزرگتر از نوع سرامیکی است.



شکل (۳-۵) پیزومتر تار مرتعش

۳-۶-۶- پیزومتر کاساگراند

پیزومتر کاساگراند شامل یک فیلتر از جنس پی وی سی یا سرامیک و لوله های پی وی سی (عموماً به قطر یک اینچ) متصل به آن می باشد. فیلتر این دستگاه در تراز مورد نظر نصب و لوله های آن که عموماً از شاخه های سه متری تشکیل می شوند، در زمان اجرا پروژه به مرور همراه با بالا آمدن خاکریز افزوده شده تا جایی که در شیب بدنه سد یا تاج به نقطه پایانی خود برسد. نصب به گونه ایی صورت می گیرد که نفوذ آب به داخل لوله ها تنها از محل فیلتر اتفاق بیفتد. با این ترتیب با اندازه گیری تراز آب از طریق لوله های متصل به فیلتر، می توان فشار آب منفذی مربوط به تراز نصب فیلتر را محاسبه نمود.



شکل (۳-۶) فیلتر پیزومتر کاساگراند

۳-۶-۷- فشارسنج کل

فشار سنج کل از دو صفحه فولادی ضد زنگ دایره ایی که محیط آنها به یکدیگر جوش خورده ساخته شده است. فضای بین دو صفحه حلقه ای از نوعی سیال غیر قابل تراکم (روغن هیدرولیک یا الکل بدون هوا) پر شده است. این سلول بوسیله یک لوله ضد زنگ به یک سنسور مبدل تار مرتعش متصل است. این ابزار برای اندازه گیری تنش کل در سدهای خاکی بکار می رود. تنش کل یکی از پارامترهای مهم سدهای خاکی است. که خود برای به دست آوردن پارامترهایی نظیر ضریب قوس زدگی و تنش مؤثر بکار برده می شود.



شکل (۳-۷) فشارسنج کل

۳-۶-۸- سرریز اندازه گیری نشت

میزان نشت آب از بدنه سدهای خاکی از آن جهت که بر پایداری این سازه ها تأثیر مستقیم دارد نیازمند بررسی و پایش مدام است، از این روی در بسیاری از سدها با طراحی و ایجاد کانالهای جمع آوری زهاب بدنه سدها در پایین دست و اندازه گیری میزان دبی خروجی کانالها بر مقدار نشت بدنه سدها نظارت دائمی صورت می گیرد. به منظور اندازه گیری میزان دبی خروجی از کانالهای جمع آوری زهاب بدنه از ابزاری به نام سرریز مثلثی^۱ استفاده میگردد که در دهانه خروجی حوضچه انتهای کانال نصب میگردد.

^۱ VNotch



شکل (۸-۳) سرریز اندازه گیری نشت (دبی زهاب)

۳-۶-۹- نشست سنج هیدرولیکی

این ابزار از یک سنسور فشار، یک مخزن مایع، لوله های ارتباطی و کابل انتقال داده تشکیل شده و کاربرد آن در اندازه گیری میزان نشست بدنه سد می باشد.



شکل (۹-۳) نشست سنج هیدرولیکی

۳-۶-۱۰- کشیدگی سنج زنجیره ای افقی

این ابزار مجموعه ای سنسور و متعلقات مربوطه می باشد که برای اندازه گیری جابجایی های افقی درون بدنه سد بکار گرفته می شود. از این ابزار می توان بصورت تکی و یا پیوسته استفاده نمود و طول هر مجموعه از آن می تواند از ۲ تا ۳۰ متر متغییر باشد که در پروژه سد گلورد با توجه به شرایط موجود، طول هر مجموعه ابزار برابر ۱۷ متر و بصورت پیوسته در نظر گرفته شده اند.



شکل (۳-۱۰) سری کشیدگی سنج افقی زنجیره ای و متعلقات مربوطه

۳-۶-۱۱- مجموعه انحراف سنج عمودی و نشست سنج

وسیله ای برای اندازه گیری جهت و مقدار تغییر شکل توده خاک میباشد که در سازه های خاکی نصب می شود و در اغلب موارد با نصب صفحات مغناطیسی به مجموعه انحراف سنج همزمان با تغییر شکل افقی نشست قائم نیز اندازه گیری می شود که در این صورت سیستم بکار رفته را مجموعه انحراف - نشست سنج می نامند. این ابزار کاملاً بصورت مکانیکی قرائت می شوند. این ابزار برای اندازه گیری حرکات افقی (جانبی) سازه های زیرزمینی یا سطحی مورد استفاده قرار می گیرد. این ابزار داده های عددی معنی داری از اندازه انحراف یا شیب شالوده ها و تغییرات آن با زمان را بدست میدهد. تخمین مناسب مقدار انحراف شالوده ها با رفتارنگاری رفتار سازه پس از احداث و آشکار کردن خطرات احتمالی که ممکن است پایداری سازه شالوده و محیط اطراف آن را تحت تأثیر قرار دهد، کمک می کند. محدوده اندازه گیری این ابزار ± 30 درجه نسبت به قائم است.

این ابزار که ابزاری دو منظوره است متشکل است از مجموعه هایی از لوله های سه متری از جنس ABS که در دیواره داخلی لوله ها دارای چهار شیار می باشد. این شیارها جهت تسهیل حرکت پروب انحراف سنجی در لوله ها تعبیه شده اند.

برای اتصال شاخه های سه متری به یکدیگر از رابط های تلسکوپی استفاده می شود این امر سبب می شود که در زمان نشست خاکریز در طول زمان، فشار نامتعارفی در نتیجه نشست به لوله های انحراف سنج وارد نشده و موجب شکست و یا تغییر شکل لوله ها نگردد. لوله های مذکور برای اندازه گیری انحراف از راستای قائم یا همان جابجایی افقی بدنه بکار می روند. برای اندازه گیری جابجایی قائم یا همان میزان نشست بدنه و پی سد، از حلقه های مغناطیسی که دور لوله قرار می گیرند استفاده می گردد. بدین ترتیب با ترکیب داده های حاصل از انحراف سنجی و نشست سنجی این ابزار می توان جابجایی ها را در هر سه جهت بررسی نمود.



شکل (۱۱-۳) لوله انحراف سنج عمودی و مغناطیس نشست از نوع عنکبوتی

۳-۶-۱۲- انحراف سنج افقی

این ابزار نیز نوعی از سیستم های جابجایی سنجی بوده و همانند انحراف سنج عمودی از مجموعه ای لوله های بهم پیوسته تشکیل می گردد. اما تفاوت آن در نحوه نصب و نوع پروپ اندازه گیری مورد استفاده در آن می باشد. بدین معنی که در این ابزار لوله ها بصورت افقی نصب می شوند تا داده های حاصل از قرائت آنها یک پروفیل طولی نشست را جهت بررسی جابجایی قائم در اختیار قرار دهد. البته پروپ مورد استفاده در این نوع ابزار نیز در دو نوع پرتابل و برجا می باشد. که در پروژه سد گلورد با توجه به موقعیت نصب ابزار از نوع برجا با فاصله طولی ۱۵ متر استفاده شده است.



شکل (۳-۱۲) لوله های انحراف سنج افقی

۳-۶-۱۲- انحراف سنج مایل

این ابزار نیز همانند دو ابزار قبلی از انواع ابزارهای جابجایی سنجی می باشد که بصورت مایل در زیر دال بتن رویه نصب شده و برای اندازه گیری جابجایی افقی و قائم زیر دال در اثر آبرگیری مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۶-۱۳- ایستگاه هیدرومتری

این ابزار برای اندازه گیری تغییرات سطح آب رودخانه در طول زمان مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۶-۱۴- ایستگاه هواشناسی

از آنجایی که وضعیت آب و هوایی تأثیری مستقیم بر وضعیت دریاچه مخازن سدها دارد، در بسیاری از سدها ایستگاههای هواشناسی جهت ثبت وضعیت آب و هوایی محدوده ساختگاه و مخزن سد در نظر گرفته می شود. در سد گلورد نیز ایستگاه هواشناسی در نظر گرفته شده است.

ایستگاه هواشناسی بایستی بصورت یک مجموعه کامل و مجهز به سنسورهای زیر باشد:

- باران سنج
- رطوبت سنج برای اندازه گیری رطوبت هوا
- دماسنج های معمولی، حداقل و حداکثر
- باد سنج برای اندازه گیری سرعت و جهت وزش باد
- تشت تبخیر

- آفتابنگار
- تشعشع سنج برای اندازه گیری میزان تشعشع خورشید



شکل (۳-۱۴) دماسنج



شکل (۳-۱۳) بادسنج



شکل (۳-۱۵) باران سنج

۳-۶-۱۵- الکترولول

الکترولول ابزاری جهت اندازه گیری نشست با تغییر شکل نرمال (در جهت نرمال آب) می باشد که برای اندازه گیری جابجایی های دال رویه به سبب کنترل قرائت های شیب سنج یا انحراف مایل در نظر گرفته شده است.



شکل (۳-۱۶) الکترولول (شیب سنج)

۳-۶-۱۶- درزه سنج

برای رفتارنگاری و یا اندازه گیری بازشدگی بین دو بلوک بتنی در سازه های بتنی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین برای رفتارنگاری جابجایی ترکها در سازه های بتنی - سنگی بکار می رود. درزه سنج ها برای اندازه گیری تغییرات درزه های عمودی رویه بتنی و درز پیرامونی ما بین پلینت و اسلب های بتن رویه مورد استفاده قرار می گیرند. با توجه به نوع عملکرد درزه ها در سد گلورد، برای پایش درزه ها در این سد در دو نوع تک بعدی و سه بعدی در نظر گرفته شده است که نوع تک بعدی برای اندازه گیری درزه های عمودی اسلب های بتن رویه و درزه سنج های سه بعدی برای پایش تغییرات تغییرات درز پیرامونی بکار گرفته می شود.

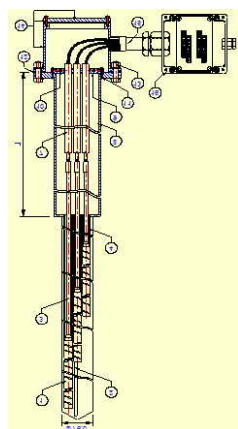


شکل (۳-۱۷) درزه سنج سه بعدی

۳-۶-۱۷- کشیدگی سنج گمانه ای

این وسیله برای اندازه گیری تغییر شکل و میزان جابجایی لایه های سنگی و یا خاکی طراحی شده است. این کشش سنج ها ممکن است یک نقطه ای یا چند نقطه ای باشند. کشش سنج ها عموماً در

دو نوع مکانیکی و یا الکترونیکی عرضه می‌گردند. در سد گلودر کشیدگی سنج یا اکستنسومتر برای پایش نشست و هر نوع تغییر مکان پی زیر دال پلینت در مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (۳-۱۸) کشیدگی سنج گمانه ای سه نقطه ای

۳-۶-۱۸- اشل دریاچه

بصورت صفحات مدرج یک متری می باشد که جهت اندازه گیری حدودی سطح آب مخزن با دقت ۰,۱ متر در مخزن سد نصب مورد استفاده قرار می گیرند. البته برای اندازه گیری دقیق تراز آب مخزن یک سیستم الکتریکی که بطور خودکار و با دقت بالایی تراز آب را اندازه گیری می نماید نیز بکار گرفته خواهد شد.



شکل (۳-۱۹) اشل تراز آب دریاچه

۳-۶-۱۹- کرنش سنج

به منظور پی بردن به وجود یا مقدار کرنش های (تغییر شکلهای نسبی) ایجاد شده در دال رویه بتنی و رفتار رویه بر طبق معیارهای طراحی آن، کرنش سنج های باید با آرایش ۴۵ درجه و ۹۰ درجه یا بر

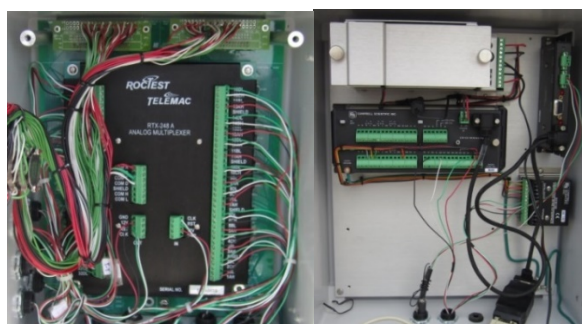
طبق نقشه ها ، در دال بتن مدفون شوند. از آنجا که حساسیت برای کرنش های کششی دال بتنی به مراتب از کرنش های فشاری بیشتر است، اغلب کرنش سنج های سد گلودر در نقاطی قرار خواهد گرفت که انتظار می رود در آنها تنش کششی وجود داشته باشد.



شکل (۳-۲۰) کرنش سنج بتن

۳-۶-۲۰- تجهیزات اتاق کنترل

اتاق کنترل ابزار دقیق هر پروژه به عنوان مرکز اصلی قرائت و ثبت داده های ابزار دقیق محسوب می شود که اجزاء تشکیل دهنده آن شامل مولتی پلکسرها، دیتالاگر و کامپیوتر می باشد. البته موارد ذکر شده فقط بخش های مهم سخت افزاری مربوط به یک اتاق کنترل بوده و برای فعالیت این واحد یکسری پیش نیازها و همچنین نرم افزارهایی برای مدیریت و ثبت قرائت ها مورد نیاز می باشد.



شکل (۳-۲۱) تجهیزات اتاق کنترل

۳-۶-۲۱- جعبه تقسیم^۱

جعبه تقسیم ابزاری برای اندازه گیری یک پارامتر خاص نبوده و در واقع قطعه ای شامل برد الکتریکی و کلید سوئیچی است که همراه یک مولتی پلکسر شده تا جهت تسهیل قرائت دستی مورد استفاده باشد. همچنین این قطعه برای تجمیع کابل ابزارها جهت انتقال داده های آنها به اتاق کنترل نیز مورد استفاده قرار می گیرد. بدین ترتیب تمامی کابل های ابزارهای نصب شده در یک مقطع ابزاربندی در یک محل مشخص منتقل شده و به این جعبه های تقسیم متصل می شوند و سپس از طریق کابل های چند رشته ای به اتاق کنترل انتقال می یابند.



شکل (۳-۲۲) جعبه تقسیم

۳-۶-۲۲- چاه مشاهده ای

این چاه های برای اندازه گیری سطح آب زیر زمینی در جناجین و پایاب سدها مورد استفاده قرار می گیرند. تراز نصب لوله های چاه مشاهده ای بایستی پایین تر از سطح آب سفره زیرزمینی در محل نصب باشد. لوله های مورد استفاده در چاه مشاهده ای از دو نوع ساده و مشبک می باشند. قرائت تراز آب در چاه مشاهده ای همانند قرائت پیژومتر کاساگراند می باشد.

^۱ Switch box



شکل (۳-۲۳) لوله های مشبک و ساده چاه مشاهده ای

۳-۶-۲۳- تجهیزات مربوط به قرائت های نقشه بردای و میکروژئودزی

این تجهیزات شامل نقاط نشانه روی دال رویه، پیلارهای مربوط به شبکه میکروژئودزی و نقاط ثابت نشانه روی بدنه سد می باشند که برای اندازه گیری دقیق جابجایی های بدنه مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

۳-۷- وضعیت نصب ابزار دقیق سد گلورد

با توجه به وضعیت پیشرفت فیزیکی بدنه سد گلورد، وضعیت پیشرفت ابزارهای پیش بینی شده در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول (۳-۱۲) وضعیت نصب ابزار دقیق سد گلورد در دوره گزارش

ردیف	نام ابزار	تعداد	درصد وزنی	تعداد ابزار نصب شده	تعداد ابزار باقی مانده	درصد پیشرفت
۱	شتابنگار	۳	۱/۰۶	۰	۳	۰
۲	پیزومتر تار مرتعش بدنه	۱۲	۴/۲۳	۱۲	۰	۱۰۰
۳	پیزومتر تار مرتعش پی	۳۰	۱۰/۵۶	۲	۲۸	۶/۶۷
۴	پیزومتر کاساگراند	۶	۲/۱۱	۶	۰	۱۰۰
۵	فشارسنج کل	۱۲	۴/۲۳	۱۲	۰	۱۰۰
۶	سرریز اندازه گیری نشت	۲	۰/۷۰	۰	۲	۰
۷	نشست سنج هیدرولیکی	۱۸	۶/۳۴	۱۸	۰	۱۰۰
۸	کشیدگی سنج افقی	۳۳	۱۱/۶۲	۳۳	۰	۱۰۰
۹	مجموعه انحراف سنج عمودی و نشست سنج مغناطیسی	۶	۲/۱۱	۶	۰	۱۰۰

۱۰	انحراف سنج افقی	۲	۷۰/	۲	۰	۱۰۰
۱۱	انحراف سنج مایل	۳	۱/۰۶	۰	۳	۰
۱۲	ایستگاه هیدرومتری	۲	۰/۷۰	۰	۲	۰
۱۳	ایستگاه هواشناسی	۱	۰/۳۵	۰	۱	۰
۱۴	الکترولول	۳۶	۱۲/۶۸	۰	۳۶	۰
۱۵	درزه سنج تک محوره	۲۰	۷/۰۴	۰	۲۰	۰
۱۶	درزه سنج سه محوره	۱۷	۵/۹۹	۰	۱۷	۰
۱۷	کشیدگی سنج گمانه ای	۱۱	۳/۸۷	۰	۱۱	۰
۱۸	اشل سطح آب دریاچه	۱	۰/۳۵	۰	۱	۰
۱۹	کرنش سنج	۳۰	۱۰/۵۶	۶	۲۴	۲۰
۲۰	تجهیزات اتاق کنترل	۱	۰/۳۵	۰	۱	۰
۲۱	جعبه تقسیم	۲۵	۰/۸۰	۰	۲۵	۰
۲۲	تجهیزات چاه مشاهده ای	۱۲	۴/۲۳	۰	۱۲	۰

۳-۷۰-۱- نمودار درصد وزنی هر ابزار نسبت به کل ابزارها

با توجه به تعداد و تنوع ابزارهای در نظر گرفته شده برای سد گلورد، درصد وزنی هر یک از این ابزارها

نسبت به کل در شکل شماره ۱ ارائه شده است.

جدول (۳-۱۳) لیست ابزار دقیق مقطع ۰ + ۰۷۰

ردیف	کد ابزار	موقعیت نصب		
		کیلومتر از (متر)	تراز (متر)	فاصله از محور (متر)
۱	EP 070-1	۰ + ۰۷۰/۲۱۳	۶۸۵/۲۴۰	۰۷۵/۶۱۰ بالادست
۲	TPC 070-	۰ + ۰۶۹/۸۴۱	۶۸۵/۲۵۳	۰۷۵/۸۹۰ "
۳	EP 070-2	۰ + ۰۶۵/۶۵۴	۶۹۸/۴۷۴	۰۵۵/۷۳۷ "
۴	TPC 070-	۰ + ۰۶۶/۰۸۳	۶۹۸/۴۸۸	۰۵۵/۷۵ "
۵	EP 070-3	۰ + ۰۶۷/۷۹۰	۷۱۸/۰۴۰	۰۲۷/۸۶۰ "
۶	TPC 070-	۰ + ۰۶۸/۳۶۰	۷۱۸/۰۷۰	۰۲۷/۹۳۰ "
۷	SP 070-1	۰ + ۰۶۵/۰۰۰	۶۴۷/۵۲۹	۰۳۵/۰۰۰ پایین
۸	SP 070-2	۰ + ۰۶۵/۰۰۰	۶۴۹/۶۶۵	۰۶۰/۰۰۰ "
۹	IV 070-1	۰ + ۰۶۵/۰۰۰	۶۸۳/۹۸۳	۰۰۵/۰۰۰ "
۱۰	IV 070-2	۰ + ۰۶۵/۰۰۰	۶۸۰/۳۷۸	۰۴۵/۰۰۰ "
۱۱	HS 070-1	۰ + ۰۶۵/۵۶۰	۶۹۹/۹۵۰	۰۳۱/۲۸۳ بالادست
۱۲	HS 070-2	۰ + ۰۶۶/۲۲۰	۶۹۹/۹۶۰	۰۰۱/۷۷۰ پایین
۱۳	HS 070-3	۰ + ۰۶۷/۹۷۰	۶۹۹/۹۴۲	۰۴۵/۹۴۴ پایین

۳-۸-۲- مقطع ابزاربندی ۱۳۰ + ۰

این مقطع بعنوان مقطع میانی و اصلی بدنه سد بوده و تنوع ابزارهای بکار گرفته شده در این مقطع شامل پیزومترهای پی و بدنه، فشارسنج های کل، مجموعه های انحراف سنج عمودی و نشست سنج های مغناطیسی، پیزومترهای کاساگراند، انحراف سنج های افقی، کشیدگی سنجهای افقی زنجیره ای و نشست سنج های هیدرولیکی می باشد. لیست ابزارهای مقطع ۱۳۰ + ۰ در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

جدول (۳-۱۴) لیست ابزار دقیق مقطع ۱۳۰ + ۰

ردیف	کد ابزار	موقعیت نصب		
		کیلومتر (متر)	تراز (متر)	فاصله از محور (متر)
۱	RP 29	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۱۹/۵۸۵	بالادست ۱۳۹/۵۷۰
۲	RP 30	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۲۷/۸۲۰	" ۰۸۰/۱۹۰
۳	EP 130-4	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۳۵/۰۶۶	" ۱۴۵/۸۰۰
۴	TPC 130-	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۳۵/۱۲۱	" ۱۴۵/۹۳۰
۵	EP 130-5	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۵۷/۴۶۰	" ۱۱۶/۲۵۰
۶	TPC 130-	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۵۷/۴۶۰	" ۱۱۶/۲۵۰
۷	EP 130-6	۰ + ۱۲۹/۵۷۰	۶۷۸/۴۲۰	" ۰۸۴/۱۰۰
۸	TPC 130-	۰ + ۱۲۹/۴۴۰	۶۷۸/۴۵۰	" ۰۸۴/۲۳۰
۹	EP 130-7	۰ + ۱۳۰/۷۰۶	۶۹۸/۵۸۹	" ۰۵۵/۳۴۳
۱۰	TPC 130-	۰ + ۱۳۱/۰۲۶	۶۹۸/۶۰۳	" ۰۵۵/۳۹۴
۱۱	EP 130-8	۰ + ۱۳۱/۷۸۰	۷۱۸/۰۳۰	۰۲۷/۸۷۰
۱۲	TPC 130-	۰ + ۱۳۲/۱۸۰	۷۱۸/۰۶۰	۰۲۸/۰۲۰
۱۳	SP 130-1	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۲۷/۰۰۰	پایین ۰۴۵/۰۰۰
۱۴	SP 130-2	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۲۷/۰۰۰	" ۱۰۰/۰۰۰
۱۵	IV 130-1	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۳۷/۰۰۰	" ۰۰۵/۰۰۰
۱۶	IV 130-2	۰ + ۱۳۰/۰۰۰	۶۳۰/۵۲۰	" ۰۸۰/۰۰۰
۱۷	SSG 130-	۰ + ۱۲۷/۸۶۰	۶۸۰/۰۰۰	بالادست ۰۶۳/۸۲
۱۸	SSG 130-	۰ + ۱۲۷/۵۰۰	۶۸۰/۰۱۰	" ۰۲۹/۶۲۰
۱۹	SSG 130-	۰ + ۱۲۷/۸۵۰	۶۸۰/۰۴۰	" ۰۰۱/۴۲۰
۲۰	SSG 130-	۰ + ۱۲۷/۶۸۰	۶۷۹/۹۹۰	پایین ۰۱۶/۱۰۰
۲۱	SSG 130-	۰ + ۱۲۸/۰۰۰	۶۷۹/۹۸۰	" ۰۶۶/۹۸۰
۲۲	SSG 130-	۰ + ۱۲۸/۳۸۰	۷۰۰/۴۱۹	بالادست ۰۳۲/۱۸۴
۲۳	SSG 130-	۰ + ۱۲۷/۵۸۰	۷۰۰/۴۲۵	پایین ۰۰۱/۸۱۰
۲۴	SSG 130-	۰ + ۱۲۷/۵۸۰	۷۰۰/۴۲۲	پایین ۰۴۵/۹۶
۲۵	HI 130-1	۰ + ۱۳۲/۰۰۰	۶۶۰/۱۷۰	بالادست ۱۰۸/۸۰۰
۲۶	HI 130-2	۰ + ۱۳۲/۰۰۰	۶۶۰/۱۸۰	" ۰۹۳/۸۰
۲۷	HI 130-3	۰ + ۱۳۲/۰۰۰	۶۶۰/۱۷۲	" ۰۷۸/۸۰۰

"	۰۶۳/۸۰۰	۶۶۰/۱۷۰	۰ + ۱۳۲/۰۰۰	HI 130-4	۲۸
"	۰۴۸/۸۰۰	۶۶۰/۱۷۲	۰ + ۱۳۲/۰۰۰	HI 130-5	۲۹
"	۰۳۳/۸۰۰	۶۶۰/۱۷۸	۰ + ۱۳۲/۰۰۰	HI 130-6	۳۰
بالادست	۰۶۵/۸۰۰	۶۸۰/۱۰۰	۰ + ۱۲۷/۴۹۰	HEX 130-	۳۱
"	۰۴۸/۷۴۰	۶۸۰/۱۱۰	۰ + ۱۲۷/۵۰۰	HEX 130-	۳۲
"	۰۳۱/۶۲	۶۸۰/۱۰۰	۰ + ۱۲۷/۵۱۰	HEX 130-	۳۳
"	۰۱۴/۵۳۰	۶۸۰/۰۳۰	۰ + ۱۲۷/۴۹۰	HEX 130-	۳۴
پایین	۰۰۲/۵۷۰	۶۸۰/۰۰۰	۰ + ۱۲۷/۵۱۰	HEX 130-	۳۵
"	۰۱۹/۷۳۰	۶۸۰/۰۹۰	۰ + ۱۲۷/۵۵۰	HEX 130-	۳۶
"	۰۳۶/۸۵۰	۶۸۰/۰۷۰	۰ + ۱۲۸/۰۰۰	HEX 130-	۳۷
"	۰۵۳/۹۷۰	۶۸۰/۱۲۰	۰ + ۱۲۸/۰۰۰	HEX 130-	۳۸
"	۰۷۱/۰۷۰	۶۸۰/۱۱۰	۰ + ۱۲۸/۰۰۰	HEX 130-	۳۹
"	۰۸۸/۲۰۰	۶۸۰/۰۸۰	۰ + ۱۲۸/۰۰۰	HEX 130-	۴۰
بالادست	۰۳۳/۹۷۰	۷۰۰/۴۳۷	۰ + ۱۲۷/۹۹۰	MX 130-	۴۱
"	۰۱۶/۸۱۱	۷۰۰/۴۵۰	۰ + ۱۲۷/۹۹۰	MX 130-	۴۲
پایین	۰۰۰/۳۰۰	۷۰۰/۴۵۴	۰ + ۱۲۷/۹۵۰	MX 130-	۴۳
"	۰۱۷/۳۶۸	۷۰۰/۴۳۷	۰ + ۱۲۷/۹۵۰	MX 130-	۴۴
"	۰۳۴/۵۴۵	۷۰۰/۴۵۰	۰ + ۱۲۷/۹۵۰	MX 130-	۴۵
"	۰۵۱/۰۱۷	۷۰۰/۴۴۶	۰ + ۱۲۷/۹۵۰	MX 130-	۴۶

۳-۸-۳- مقطع ابزاربندی ۱۹۰ + ۰

بطور کلی تنوع ابزارهای بکار گرفته شده در این مقطع شامل پیزومترهای بدنه، فشارسنج های کل، مجموعه های انحراف سنج عمودی و نشست سنج های مغناطیسی، پیزومترهای کاساگراند، انحراف سنج های افقی، کشیدگی سنجهای افقی زنجیره ای و نشست سنج های هیدرولیکی می باشد. لیست ابزارهای مقطع ۱۳۰ + ۰ در جدول شماره ۵ ارائه شده است.

جدول (۳-۱۵) لیست ابزار دقیق مقطع ۱۹۰ +

ردیف	کد ابزار	موقعیت نصب		
		کیلومتر از (متر)	تراز (متر)	فاصله از محور (متر)
۱	EP 190-9	۰ + ۱۹۰/۰۰۰	۶۵۷/۰۵۰	بالادست ۱۱۶/۶۳۰
۲	TPC 190-	۰ + ۱۹۰/۰۰۰	۶۵۷/۰۵۰	" ۱۱۶/۶۳۰
۳	EP 190-	۰ + ۱۹۰/۲۵۰	۶۷۸/۴۰۰	" ۰۸۴/۴۱۰
۴	TPC 190-	۰ + ۱۸۹/۷۸۰	۶۷۸/۴۳۰	" ۰۸۴/۴۸۰
۵	EP 190-	۰ + ۱۸۸/۸۶۷	۶۹۸/۵۲۵	" ۰۵۵/۷۷۴
۶	TPC 190-	۰ + ۱۸۹/۱۵۰	۶۹۸/۵۴۱	" ۰۵۵/۸۳۰
۷	EP 190-	۰ + ۱۹۰/۱۱۰	۷۱۷/۹۹۰	" ۰۲۸/۱۵۰
۸	TPC 190-	۰ + ۱۹۰/۵۰۰	۷۱۸/۰۰۰	" ۰۲۸/۱۵۰
۹	SP 190-1	۰ + ۱۹۰/۰۰۰	۶۲۷/۰۰۰	پایین ۰۵۰/۰۰۰
۱۰	SP 190-2	۰ + ۱۹۰/۰۰۰	۶۴۴/۱۹۰	" ۰۷۵/۰۰۰
۱۱	IV 190-1	۰ + ۱۹۰/۰۰۰	۶۲۹/۸۵۰	" ۰۰۵/۰۰۰
۱۲	IV 190-2	۰ + ۱۹۰/۰۰۰	۶۵۰/۴۷۵	" ۰۵۵/۰۰۰
۱۳	SSG 190-	۰ + ۱۸۷/۴۰۰	۶۸۰/۱۰۰	بالادست ۰۴۵/۹۸
۱۴	SSG 190-	۰ + ۱۸۷/۷۰۰	۶۸۰/۰۷۰	" ۰۱۲/۳۸۰
۱۵	SSG 190-	۰ + ۱۸۸/۰۰	۶۸۰/۰۴۲	پایین ۰۲۱/۲۳
۱۶	SSG 190-	۰ + ۱۸۸/۰۰	۶۸۰/۰۵۱	" ۰۵۵/۲۵
۱۷	HS 190-5	۰ + ۱۸۷/۹۵۰	۶۹۹/۹۲۴	" ۰۳۲/۱۵۱
۱۸	HS 190-6	۰ + ۱۸۸/۰۵۰	۶۹۹/۹۱۲	پایین ۰۰۱/۹۴۴
۱۹	HS 190-7	۰ + ۱۸۸/۴۶۰	۶۹۹/۹۱۰	" ۰۴۵/۸۶۲
۲۰	HI 190-1	۰ + ۱۸۸/۰۰۰	۶۶۰/۱۸۱	بالادست ۱۰۸/۸۰۰
۲۱	HI 190-2	۰ + ۱۸۸/۰۰۰	۶۶۰/۱۷۰	" ۰۹۳/۸۰
۲۲	HI 190-3	۰ + ۱۸۸/۰۰۰	۶۶۰/۱۶۳	" ۰۷۸/۸۰۰
۲۳	HI 190-4	۰ + ۱۸۸/۰۰۰	۶۶۰/۱۶۱	" ۰۶۳/۸۰۰
۲۴	HI 190-5	۰ + ۱۸۸/۰۰۰	۶۶۰/۱۵۰	" ۰۴۸/۸۰۰
۲۵	HI 180-6	۰ + ۱۸۸/۰۰۰	۶۶۰/۱۸۵	" ۰۳۳/۸۰۰
۲۶	HEX 190-	۰ + ۱۸۷/۳۰۰	۶۸۰/۱۰۰	بالادست ۰۶۵/۹۹۰
۲۷	HEX 190-	۰ + ۱۸۷/۳۰۰	۶۸۰/۱۱۴	" ۰۴۸/۹۴۰

"	۰۳۱/۸۶۰	۶۸۰/۱۱۴	• + ۱۸۷/۳۰۰	HEX 190-	۲۸
"	۰۱۴/۷۷۰	۶۸۰/۱۲۲	• + ۱۸۷/۳۰۰	HEX 190-	۲۹
پایین	۰۰۲/۲۸۰	۶۸۰/۱۲۱	• + ۱۸۷/۳۰۰	HEX 190-	۳۰
"	۰۱۹/۳۳۰	۶۸۰/۱۱۸	• + ۱۸۷/۳۰۰	HEX 190-	۳۱
"	۰۳۶/۴۳۰	۶۸۰/۱۲۴	• + ۱۸۷/۳۰۰	HEX 190-	۳۲
"	۰۵۳/۵۳۰	۶۸۰/۱۲۳	• + ۱۸۷/۳۰۰	HEX 190-	۳۳
"	۰۷۰/۶۳۰	۶۸۰/۱۲۹	• + ۱۸۷/۳۰۰	HEX 190-	۳۴
"	۰۸۷/۷۳۰	۶۸۰/۱۲۹	• + ۱۸۷/۳۰۰	HEX 190-	۳۵

فصل چہارم:

ارائہ، تجزیہ و تحلیل دقیق و کامل نتیجہ و یافتہ

۴-۱- مقدمه

به‌طور کلی در هر سازه‌ی خاکی سه عامل مهم در ارتباط با خاک وجود دارد که توجه به آن‌ها در پایداری و ایمنی آن سازه بسیار با اهمیت است. این سه عامل عبارتند از: فشار آب حفره‌ای ایجاد شده در خاک، تغییر شکل‌های به‌وجود آمده در آن و در نهایت فشارهای ایجاد شده در خاک ناشی از وزن خودش و دیگر عوامل وارد کننده‌ی فشار سربار.

در ادامه همه‌ی موارد فوق با استفاده از اطلاعات ابزار دقیق تا پایان اسفند ماه سال ۱۳۸۶ و تحلیل‌های برگشتی، در سه بخش به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار خواهند گرفت و نتایج و نمودارهای معرف رفتار مصالح سد، به‌طور کامل ارائه می‌گردد. در کلیه نمودارهای ارائه شده، سعی شده است تا حد قابل قبولی تطابق بین رفتار واقعی مصالح، به‌دست آمده از ابزار دقیق و رفتار به‌دست آمده از تحلیل‌های برگشتی برقرار باشد.

۴-۲- روند انجام تحلیل‌های برگشتی

پس از ساخت هندسه‌ی مدل، برای مصالح به‌کار رفته در سد، مدل رفتاری الاستو-پلاستیک کامل موهر-کولمب که شناخته‌شده‌ترین مدل در مصالح خاکی می‌باشد، انتخاب شده‌است. پارامترهای مورد نیاز در این مدل عبارتند از: وزن مخصوص، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون، چسبندگی، زاویه‌ی اصطکاک داخلی، زاویه‌ی اتساع و در تحلیل تحکیم ضریب نفوذپذیری، درجه‌ی اشباع و پوکی نیز به پارامترهای مورد نیاز قبلی اضافه می‌شوند. در ابتدای انجام تحلیل از پارامترهای اولیه‌ای که بر اساس آن‌ها پیش‌بینی‌های طراحی انجام شده‌است، استفاده می‌گردد که در جداول (۴-۱) و (۴-۲) آمده‌است. به‌این ترتیب پس از ساخت هندسه‌ی مدل و وارد نمودن پارامترهای اولیه‌ی مصالح، تحلیل اولیه قابل انجام است و پس از آن تحلیل‌های برگشتی انجام می‌شود. همان‌طوری‌که قبلاً هم بیان شد، در واقع هدف اصلی از انجام تحلیل‌های برگشتی در این تحقیق، رسیدن به پارامترهای واقعی مصالح مصرفی در زمان ساخت سد می‌باشد. به‌این‌منظور باید اصلی‌ترین پارامترهای اولیه‌ی ورودی به نرم‌افزار با توجه به رفتار واقعی سد که از اطلاعات ابزار دقیق به‌دست آمده‌است، تغییر داده شوند تا جایی که رفتار

واقعی سد، در مدل هم ایجاد شود. به این منظور در مراحل مختلف و با انجام تحلیل‌های متعدد، همه پارامترهای اصلی تأثیرگذار به‌طور مجزا با روند منطقی تغییر می‌نمایند تا در نهایت همگی پارامترها تدقیق شوند. لازم به‌ذکر است که این کار بسیار پیچیده و حساس است، زیرا تقریباً همه‌ی پارامترها به نوعی بر یک‌دیگر تأثیر دارند و با تغییر یکی، بقیه‌ی پارامترها هم تغییر می‌نمایند. به این دلیل در هر بار انجام تحلیل، فقط یک پارامتر به‌طور منطقی تغییر می‌کند تا تأثیر آن بر بقیه‌ی پارامترها دیده شود و بر این اساس لزوم تغییر پارامتر بعدی و حدود آن مشخص گردد. پارامترهای قابل تغییر را می‌توان به دو دسته‌ی پارامترهای مؤثر در فشار آب حفره‌ای و پارامترهای مؤثر بر نشست بدنه‌ی سد تقسیم نمود. البته این تقسیم‌بندی کاملاً دقیق نمی‌باشد، زیرا همان‌طوری که قبلاً هم بیان شد، تمامی پارامترها بر یک‌دیگر تأثیر دارند و نمی‌توان محدوده‌ی تأثیر آن‌ها را کاملاً از یک‌دیگر جدا کرد. ولی برای ایجاد یک نظم منطقی در روند ارائه‌ی مطالب، از این تقسیم‌بندی استفاده می‌شود. در ادامه روند منطقی تغییرات انجام شده پارامترهای فوق بیان شده‌است. برای رسیدن به پارامترهای واقعی تحلیل‌های برگشتی زیادی انجام شد که نتایج دو تحلیل به‌صورت زیر می‌باشد:

جدول (۴-۱) مقادیر اولیه‌ی پارامترهای مصالح مربوط به تحلیل شماره‌ی ۱

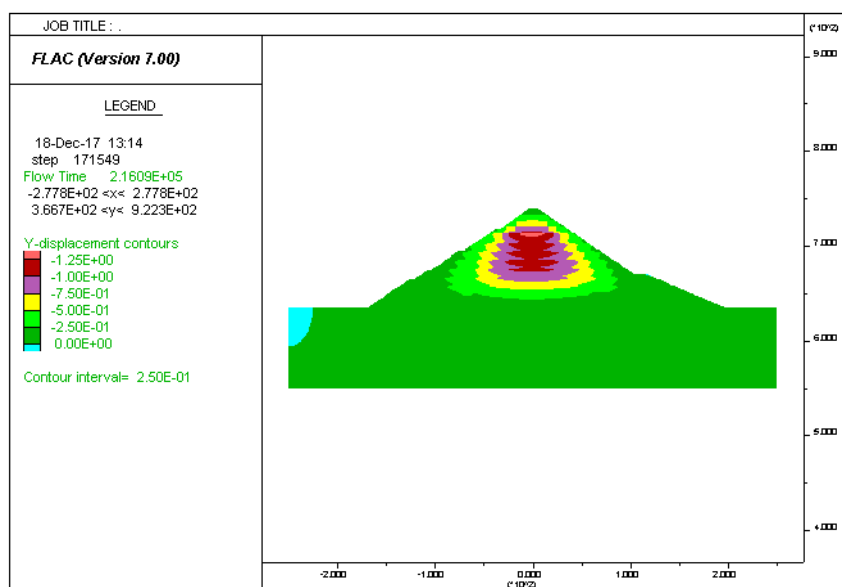
مصالح	$E, KN/m^2$	ν	$C, KN/m^2$	ϕ, deg	ψ, deg	$K_{x,m/s}$	$K_y, m/s$	e
پی آهک خاکستری	4.0E+05	0.25	250	12	2	1.0E-06	1.0E-06	0.32
پی سازند شمشک	1.2E+06	0.24	400	20	1	6.0E-07	6.0E-07	0.33
پی سازند گرگان	4.5E+04	0.23	500	16	1	1.0E-04	1.0E-04	0.31
رویه‌ی بتنی	1.3 E+05	0.17	-	-	-	1.0E-12	1.0E-12	-
3E	8.0E+04	0.36	20	35	3	3.0E-04	3.0E-04	0.35
3C	8.5E+03	0.38	180	39	0	2.0E-10	1.0E-10	0.35
3B	8E+04	0.37	35	38	0	0.4	0.4	0.35
3A	9.0E+04	0.35	95	38	0	1	1	0.35

جدول (۲-۴) مقادیر اولیه‌ی پارامترهای مصالح مربوط به تحلیل شماره‌ی ۲

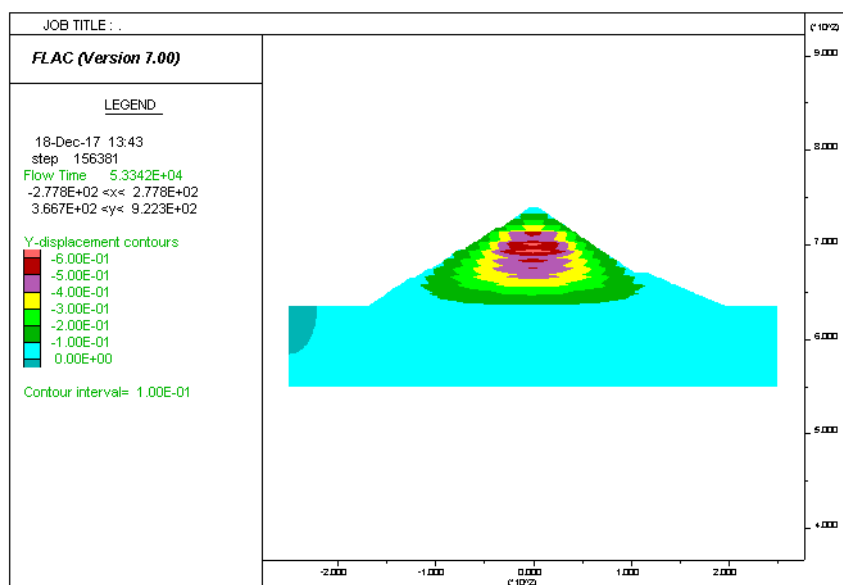
مصالح	$Y, KN/m^2$	$E, KN/m^2$	ν	$C, KN/m^2$	ϕ, deg	ψ, deg	$K_{x,m/s}$	$K_y, m/s$	e
پی آهک خاکستری	22	5.0E+05	0.25	300	16	2	1.0E-06	1.0E-06	0.32
پی سازند شمشک	24	1.6E+06	0.24	450	27	1	6.0E-07	6.0E-07	0.33
پی سازند گرگان	25	5.0E+04	0.23	550	25	1	1.0E-04	1.0E-04	0.31
رویه بتنی	20	1.5E+05	0.17	-	-	-	1.0E-12	1.0E-12	-
3E	19	8.0E+04	0.36	22	43	3	3.0E-04	3.0E-04	0.35
3C	19	9.0E+03	0.38	135	48	0	2.0E-10	1.0E-10	0.35
3B	19	4.5E+04	0.37	5	41	0	0.4	0.4	0.35
3A	19	7.5E+04	0.35	58	46	0	1	1	0.35

۴-۳- بررسی تغییر شکل‌های افقی و قائم

برای تحلیل تغییر شکل‌های افقی و قائم پارامترهای مقاومتی مصالح شامل مدول الاستیسیته و ضریب پواسون، طی تحلیل‌های متعدد تغییر نموده تا بر طبق اطلاعات به‌دست آمده از نشست‌سنج‌های نصب‌شده در بدنه‌ی سد، مقادیر واقعی در محل برای این پارامترها، به‌دست آید. ارتباط پارامترهای فوق با نشست‌های ایجاد شده در بدنه، از نوع معکوس می‌باشد و با افزایش آن‌ها، از مقادیر نشست ایجاد شده کاسته می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل برگشتی پارامترهای جدول (۴-۱) و (۴-۲) به‌شرح زیر است.



شکل (۴-۱) کنتور جابه‌جایی قائم در تراز خاک‌ریزی ۷۳۹ متری مربوط به پارامترهای جدول (۴-۱)

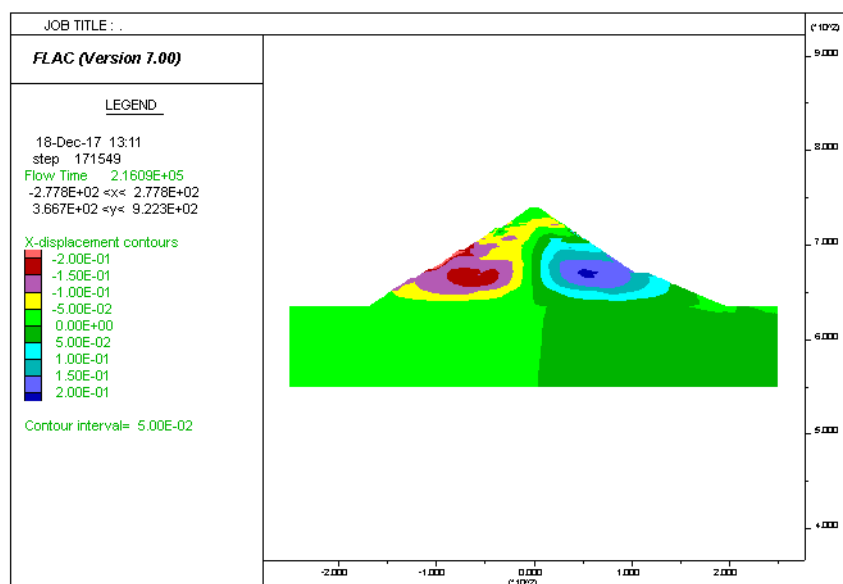


شکل (۴-۲) کنتور جابه‌جایی قائم در تراز خاک‌ریزی ۷۳۹ متری مربوط به پارامترهای جدول (۴-۲)

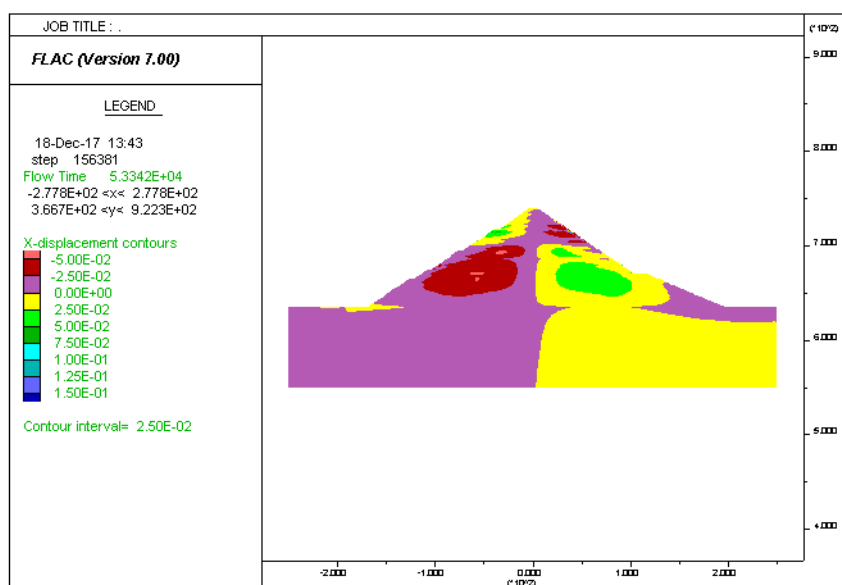
با توجه به شکل‌های (۴-۱) و (۴-۲) مشاهده می‌شود مقادیر به‌دست آمده از تحلیل برگشتی با

نتایج ابزار دقیق اختلافی زیادی دارند که در شکل (۴-۸۱) به دلیل پایین بودن مدول الاستیسیته‌ی

خاک نشست بیشتر از ابزار و در شکل (۴-۲) به دلیل بالا بودن مدول الاستیسیته‌ی نشست کمتر از مقدار واقعی به دست آمد.



شکل (۴-۳) کنتور جابه‌جایی افقی در تراز خاک‌ریزی ۷۳۹ متری مربوط به پارامترهای جدول (۴-۲)

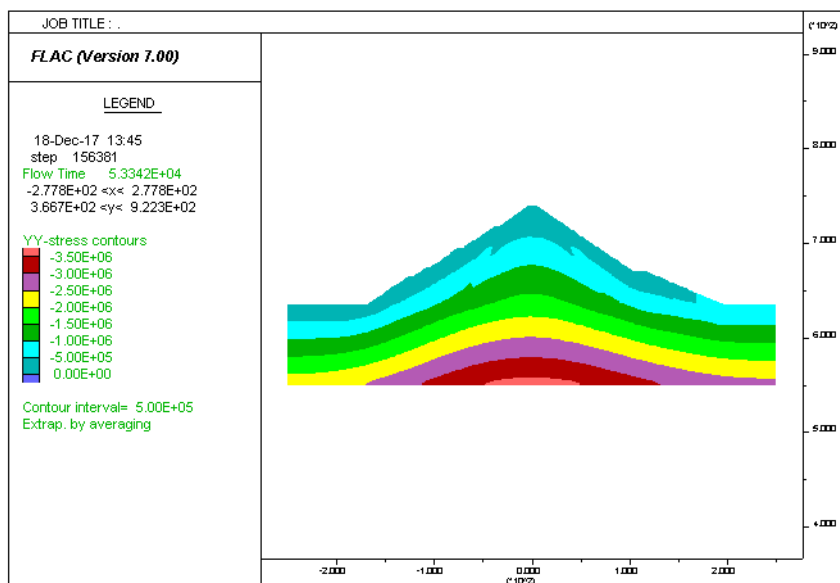


شکل (۴-۴) کنتور جابه‌جایی افقی در تراز خاک‌ریزی ۷۳۹ متری مربوط به پارامترهای جدول (۴-۲)

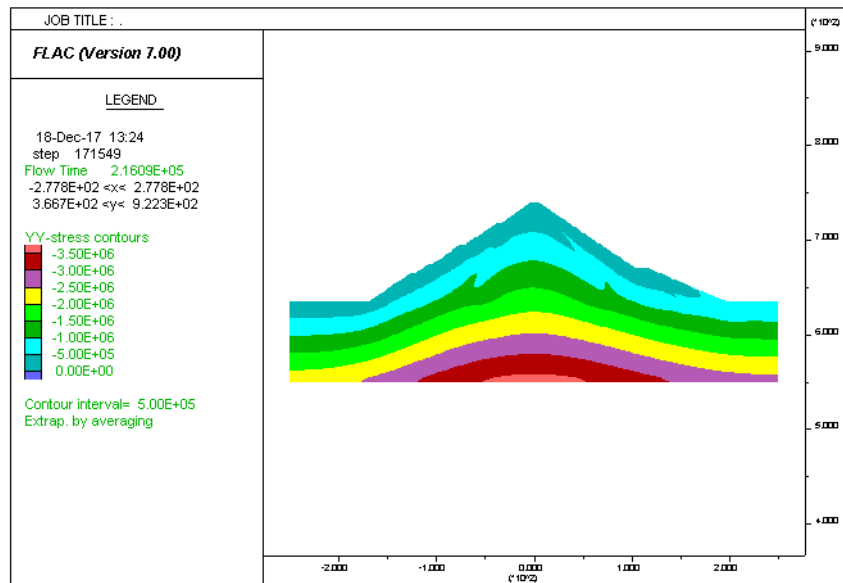
از طرفی نتایج به دست آمده از تحلیل برگشتی برای جابه‌جایی افقی در شکل‌های (۳-۴) و (۴-۴) نشان می‌دهد مقادیر به دست آمده با نتایج ابزار اختلاف زیاد دارند که این نشان‌دهنده فاصله داشتن مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی است.

۴-۴- بررسی تنش کل

با توجه به بررسی نتایج تحلیل برگشتی تنش قائم کل برای مصالح جدول (۴-۱) و (۴-۲) با مقادیر ابزار دقیق مشاهده شد که نتایج حاصله با توجه به شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) با مقادیر واقعی اختلاف دارند که این نشان می‌دهد مقادیر پیش فرض طراحی با واقعیت اختلاف دارند.



شکل (۴-۵) کنتور تنش قائم در تراز خاک‌ریزی ۷۳۹ متری



شکل (۴-۶) کنتور تنش قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری

۴-۵- تعیین پارامترهای مصالح (به دست آمده از تحلیل های برگشتی)

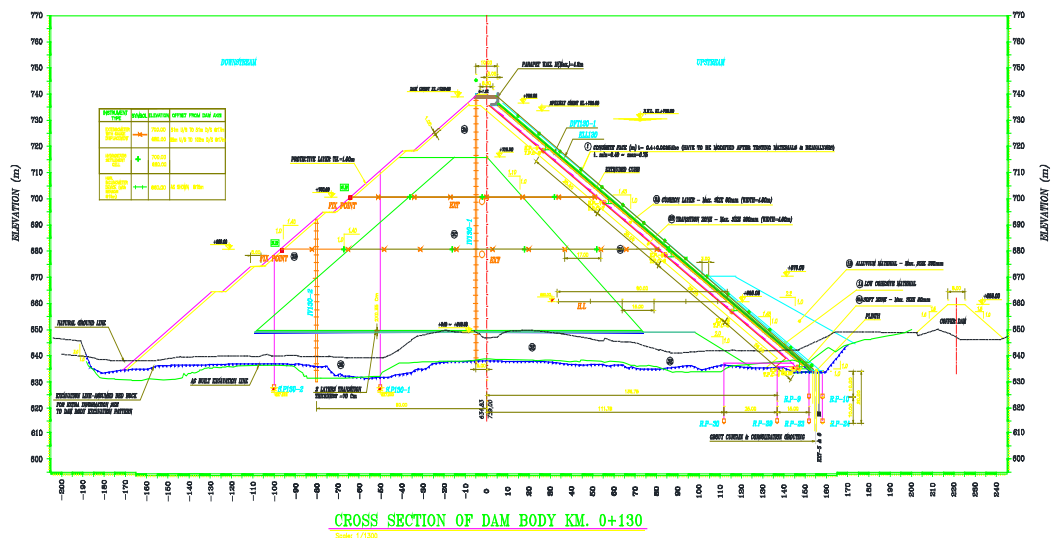
رفتار واقعی سد در دوران ساخت از اطلاعات ابزار دقیق به دست می آیند که نهایتاً مشخصات مصالح

به دست آمده از تحلیل های برگشتی به صورت جدول (۴-۳) خلاصه می شود که در آن مدول بالک آب

$kw = 4.35e6$ منظور شده است.

جدول (۴-۳) مقادیر نهایی پارامترهای مصالح (به دست آمده از تحلیل های برگشتی)

e	$K_y, m/s$	$K_x, m/s$	ψ, deg	ϕ, deg	$C, KN/m^2$	ν	$E, KN/m^2$	$Y, KN/m^2$	مصالح
0.32	1.0E-06	1.0E-06	2	16	300	0.25	6.0E+08	23	پی آهک خاکستری
0.33	6.0E-07	6.0E-07	1	27	530	0.24	1.8E+09	23.6	پی سازند شمشک
0.31	1.0E-04	1.0E-04	1	25	670	0.23	6.0E+09	26	پی سازند گرگان
-	1.0E-12	1.0E-12	-	-	-	0.17	2.0E+05	20	رویه بتنی
0.35	3.0E-04	3.0E-04	3	43	0	0.3	4.0E+07	19	3E
0.35	1.0E-10	2.0E-10	1	48	0	0.3	2.0E+07	19	3C
0.35	0.4	0.4	1	41	0	0.25	8.0E+07	19	3B
0.35	1	1	1	46	0	0.32	5.0E+07	19	3A

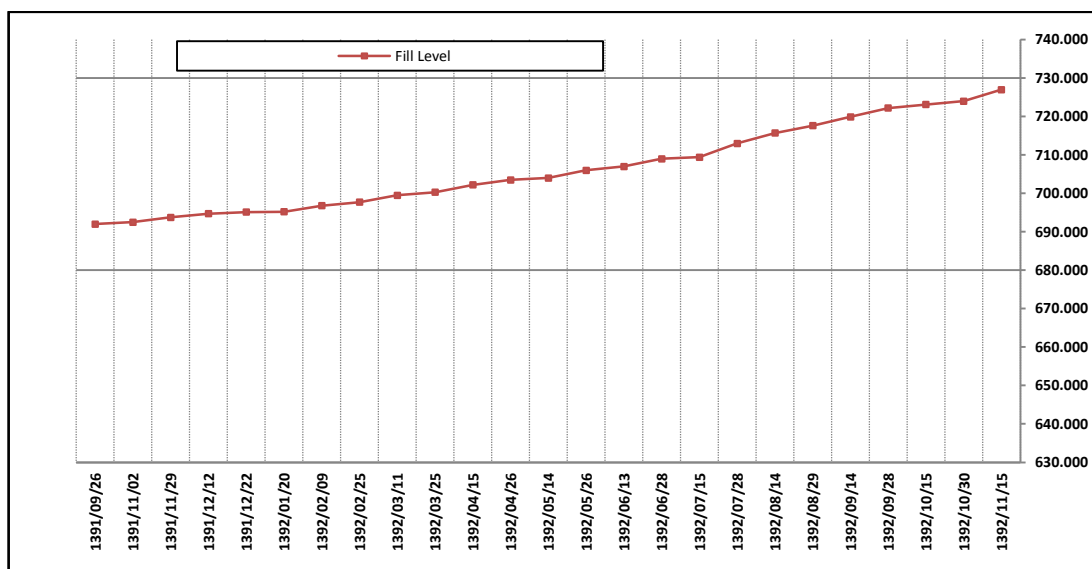


شکل (۴-۷) موقعیت جانمایی ابزار دقیق در مقطع با حداکثر ارتفاع سد گلورد نکا

۴-۶- آنالیز برگشتی با داده‌های ابزار دقیق

۴-۶-۱- مقدمه

به‌طور کلی در هر سازه‌ی خاکی سه عامل مهم در ارتباط با خاک وجود دارد که توجه به آن‌ها در پایداری و ایمنی آن سازه بسیار با اهمیت است. این سه عامل عبارتند از: فشار آب حفره‌ای ایجاد شده در خاک، تغییر شکل‌های به‌وجود آمده در آن و در نهایت فشارهای ایجاد شده در خاک ناشی از وزن خودش و دیگر عوامل وارد کننده‌ی فشار سربار می‌باشد. شکل (۴-۱) نمودار زمان‌بندی اجرای واقعی خاک‌ریزی را نشان می‌دهد. از آنجایی‌که باید روند واقعی خاک‌ریزی در تحلیل‌های عددی اعمال گردد، از سرعت واقعی به‌عنوان سرعت مورد استفاده در تحلیل‌های عددی استفاده شده‌است. در ادامه همه‌ی موارد فوق با استفاده از اطلاعات ابزار دقیق تا پانزدهم مرداد ماه سال ۱۳۹۴ و تحلیل‌های برگشتی، مورد بررسی قرار خواهند گرفت و نتایج و نمودارهای معرف رفتار مصالح سد، به‌طور کامل ارائه می‌گردد.

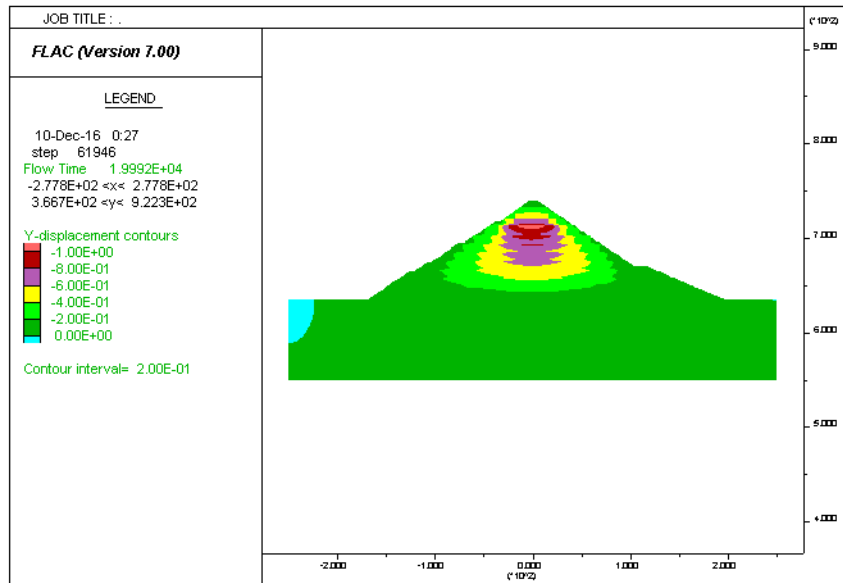


شکل (۴-۸) نمودار زمان بندی اجرای خاکریزی سد گلورد نکا

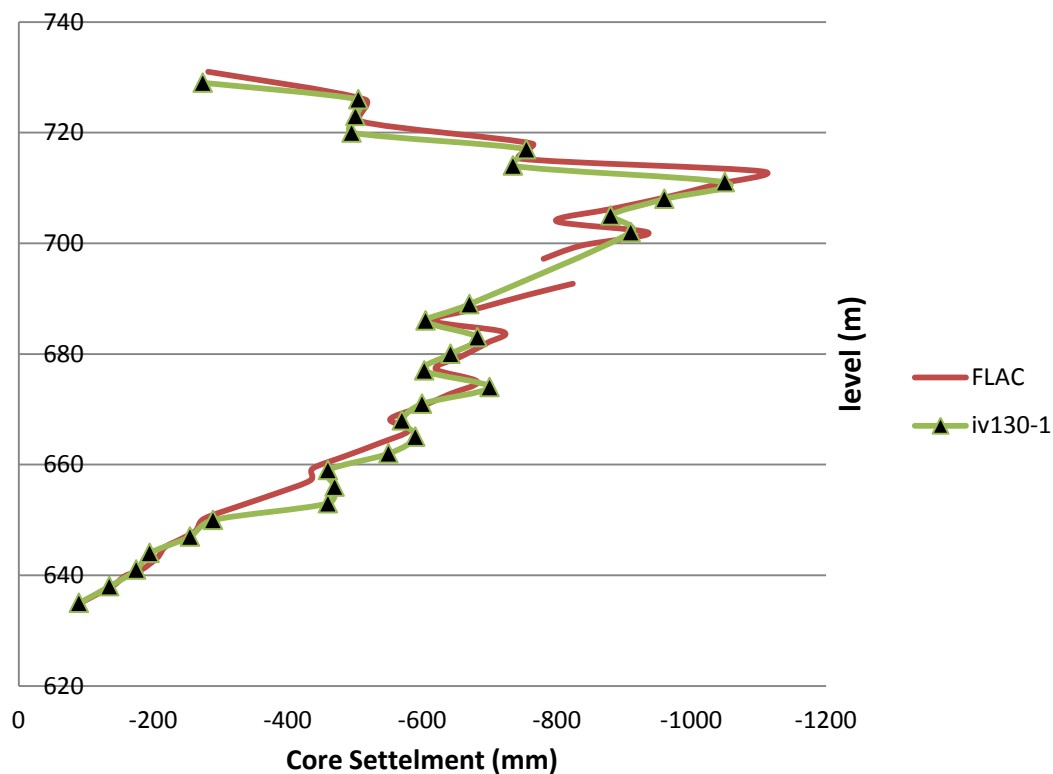
۴-۶-۲ - بررسی تغییر شکل های قائم و افق بدنه ی سد

یکی از مهم ترین رفتارهای سد خاکی، تغییر شکل هایی است که هم در دوران ساخت و هم پس از آن در داخل و خارج بدنه ی سد اتفاق می افتد که در صورت عدم کنترل آن می تواند پایداری و یا کارایی سد را به مخاطره بیندازد. برای اندازه گیری تغییر شکل های داخلی از ۱ عدد نشست سنج - انحراف سنج کار گذاشته شده در مقطع عرضی (۰+۱۳۰) بدنه ی سد، استفاده می شود. به این ترتیب که برای اندازه گیری تغییر شکل های قائم، نشست سنج قرائت می شود.

تغییر شکل های ظاهری سد نیز از طریق نقطه یابی مداوم نقاط نشانه ای که در مناطقی از رویه ی بدنه کار گذاشته شده است، به وسیله ی دوربین های نقشه برداری اندازه گیری می شود. اندازه گیری تغییر شکل های قائم توسط ابزار نشست سنج انجام می شود. به این ترتیب که درون غلاف نشست سنج در فواصل ۵ متری صفحات مغناطیسی خاصی نصب شده است و پایین ترین صفحه که صفحه ی مبنا می باشد، روی پی سنگی که حداقل تغییر مکان ها در آن رخ می دهد و تقریباً نقطه ثابتی است، نصب می شود. در مقطع ۰+۱۳۰ یک عدد نشست سنج در حدود ۱ متری محور سد، در سمت پوستره ی پایین - دست قرار دارند. برای ارزیابی تغییر شکل های قائم و افق مقطع (۰+۱۳۰)، مقادیر نشست اندازه گیری شده توسط ابزار فوق در حین ساخت، تجزیه و تحلیل می گردد.



شکل (۴-۹) کنتور جابجایی قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری



شکل (۴-۱۰) نتایج تحلیل برگشتی در ابزار نشست سنج

میزان خطای موجود در این داده ها ۵٪ می باشد. بر اساس محاسبات ملاحظه می شود، نشستهای اندازه گیری شده تا حدودی کمتر از نشست پوسته بالادست می باشند، ولی تقریباً با همان روند تغییرات می باشد. به طوریکه حداکثر نشست اندازه گیری شده ۱۰۵ سانتیمتر و حداکثر نشست از

تحلیل برگشتی ۱۱۰ سانتیمتر می‌باشد. لازم به ذکر است که مقدار حداکثر نشست اندازه‌گیری شده در هسته که در حدود ۱/۱۵ درصد ارتفاع سد می‌باشد.

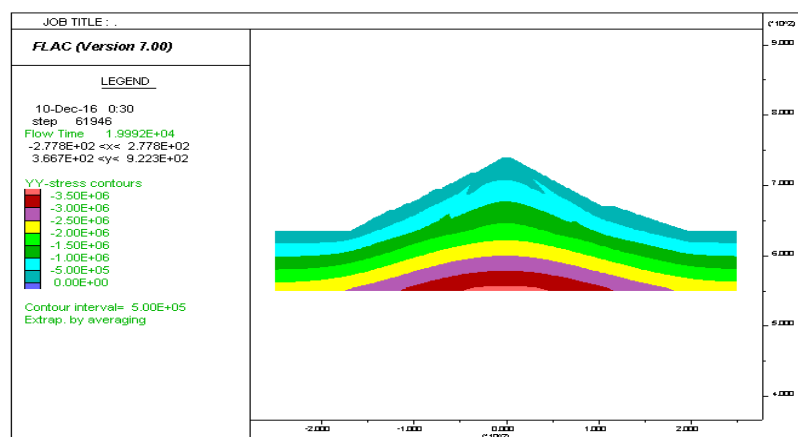
۴-۶-۳- بررسی فشارهای قائم مقطع (۱۳۰+)

در مقطع (۱۳۰+) در ۵ تراز ۶۳۵، ۶۶۰، ۶۸۰، ۷۰۰، ۷۰۵ متر که دارای بیشتری مقادیر تنش کل می‌باشد، پنج خوشه پنج‌تایی سلول فشار کل نصب شده است. تمامی این سلول فشار در بالادست و در زیر لایه بتنی قرار دارند می‌باشند.

روند تغییرات فشار کل اندازه‌گیری شده در پوسته مقادیر فشار قائم بیشتری را نسبت به کناره‌ها و نواحی فیلتر نشان می‌دهد. بطور کلی با افزایش ارتفاع خاکریزی، نتایج سلولهای فشار نسبت به نتایج حاصله از نرم افزار کاهش پیدا کردند. دلیل این مسئله می‌تواند چرخش احتمالی صفحات فشارسنج و همچنین پدیده قوس زدگی موضعی باشد. همانطور که از اصول مقاومت مصالح می‌دانیم زمانیکه یک صفحه نسبت به راستای افق به اندازه θ بچرخد در این صورت تنش در صفحه ای که نسبت به راستای افق زاویه θ دارد برابر است با:

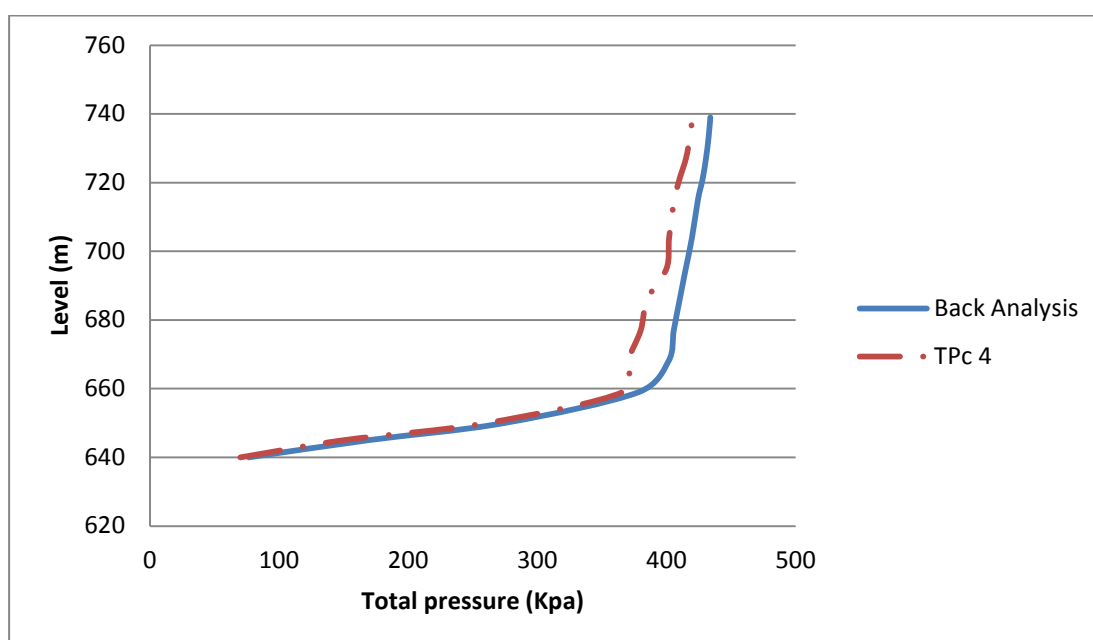
$$\sigma_{\theta} = \sigma_y \cos^2 \theta \quad (۲-۵)$$

در خصوص سلولهای فشار نصب شده در بدنه سد اگر صفحه فشارسنج به اندازه زاویه θ بچرخد در نهایت به جای قرائت تنش قائم σ_y تنش کمتری یعنی σ_{θ} ثبت می‌شود.



شکل (۴-۱۱) کنتور تنش قائم در تراز خاکریزی ۷۳۹ متری

برای نصب سلولهای فشارسنج، در یک تراز مشخص، در ناحیه موردنظر گودالی حفر و فشارسنج را در آن گودال قرار داده و سپس گودال حفر شده را با همان مصالح پر و مجدداً می‌کوبند، اما با توجه به اینکه خاک پرکننده گودال حفر شده با غلطک‌های سبک‌تر متراکم می‌شود همواره خاک موجود در گودال نسبت به خاک موجود در نواحی اطراف گودال از تراکم کمتری برخوردار است و با افزایش تراز خاکریزی، مصالح خاکی موجود در گودال به اطراف تکیه می‌کنند و در نتیجه پدیده قوس زدگی موضعی در محل گودال اتفاق می‌افتد و تنش کمتری به صفحه فشارسنج می‌رسد.



شکل (۴-۱۲) نتایج تحلیل برگشتی در ابزار تنش کل

میزان خطای موجود در تنش کل به طور میانگین ۱۰٪ می‌باشد.

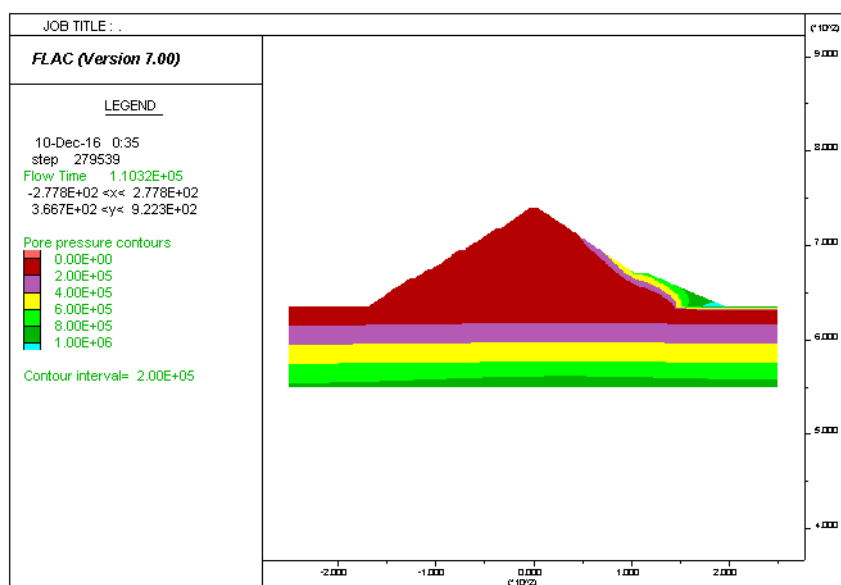
۴-۷- تحلیل پایداری سد خاکی گلود نکا در دوران بهره‌برداری

۴-۷-۱- مقدمه

در تحلیل آبگیری سد توسط این برنامه، مخزن در ساخت سد شروع به آبگیری شده است. تراز نرمال برای آبگیری تا تراز ۷۳۰ متری می‌باشد که در دو مرحله شبیه‌سازی شده است و مدت زمان آبگیری برای رسیدن به تراز نرمال مخزن یک سال در نظر گرفته شده است. برای دوران بهره‌برداری به دو قسمت ده سال اول و ده سال دوم تقسیم بندی شده است.

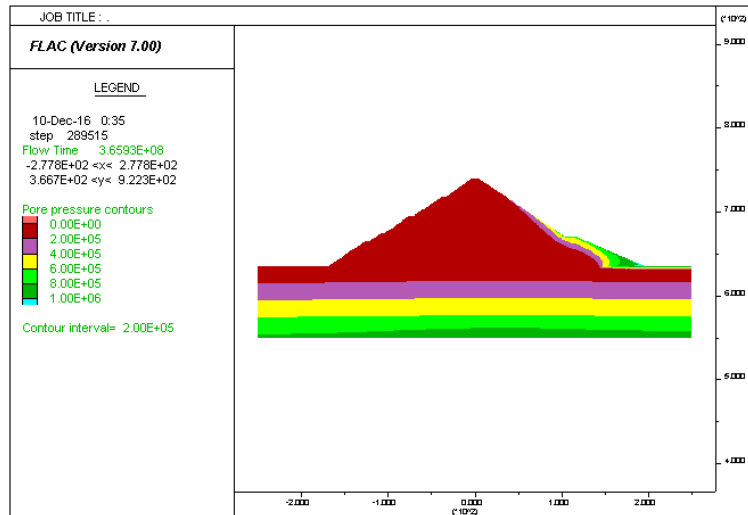
۴ - ۷ - ۲ - وضعیت بدنه‌ی سدگورد نکا از لحاظ فشار آب‌منفذی

در ضمن ساخت سد و بلافاصله پس از آن در بخشهای ریزدانه و کم‌نفوذپذیر سد و شالوده فشار آب منفذی حبس شده ابتدا افزایش می‌یابد ولی به تدریج کاسته می‌گردد و لایه‌های پایین‌تر تحکیم می‌یابند. بنابراین شدت و چگونگی توزیع فشار آب منفذی نه فقط بستگی به مشخصات تحکیمی و نفوذپذیری مواد و شرایط مرزی زهکشی دارد. بلکه تا حد زیادی بستگی به چگونگی و ترتیب اجرای کار دارد. در دوران ساخت هنوز زه در بدنه وجود ندارد و کم شدن آب به علت خشک شدن نیز ناچیز است و تشابه علت وزن لایه‌های بالاتر آب منفذی تحت فشار قرار گرفته است. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته برای کل بدنه سد پس از کامل شدن ساخت و آ‌بگیری اولیه، به دوران بهره برداری به مدت ۱۰ ساله اول فشار آب منفذی ایجاد شده در هسته سد به مقدار (kpa) ۱۶۵ می‌رسد که این مقدار در میانه تراز هسته نیز می‌باشد.



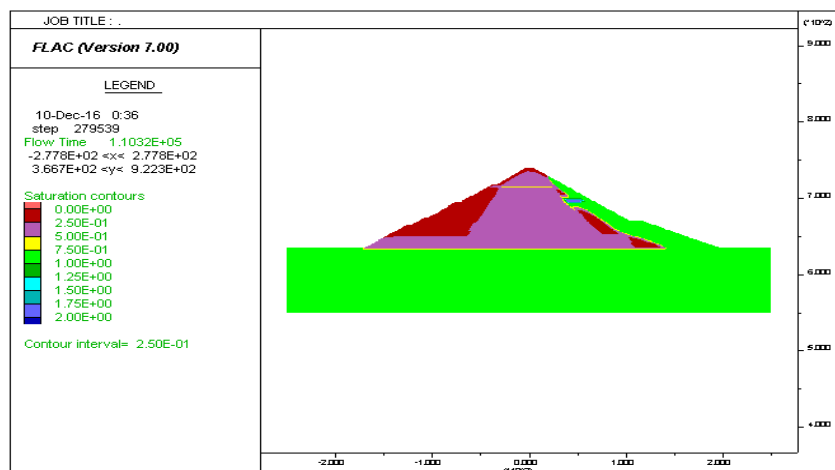
شکل (۴-۱۳) فشار آب منفذی مدل در دوران ۱۰ ساله اول بهره برداری

در اثر تراکم لایه های مختلف خاک و کاهش حجم فضای خالی بین دانه ها آب مورد استفاده در حین اجرا موجب ایجاد گونه ای فشار آب حفره ای می گردد و در نهایت ممکن است بطور موضعی ترک هایی ایجادکند. با افزایش ارتفاع سد این ترک ها تحت تنش بیشتری از طرف خاک قرار گرفته و غالباً بسته می شوند.

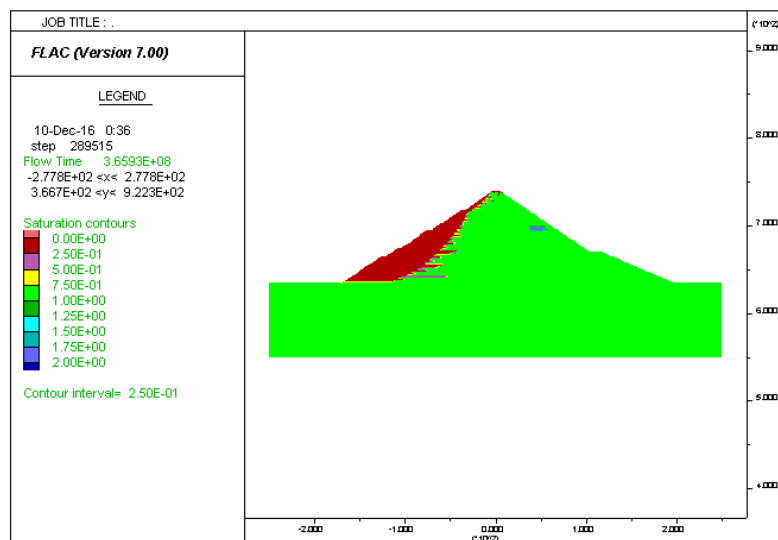


شکل (۴-۱۴) فشار آب منفذی مدل در دوران ۱۰ ساله دوم بهره برداری

همانطور که در شکل فوق مشاهده می شود کنتورهای مربوط به فشار آب منفذی در دوران بهره برداری به مدت ۱۰ ساله دوم فشار آب منفذی ایجاد شده در هسته سد به مقدار (kpa) ۳۷۵ می رسد که این مقدار در میانه تراز هسته نیز می باشد.



شکل (۴-۱۵) کنتور میزان اشباع مصالح بدنه سد در زمان ده ساله اول بهره برداری



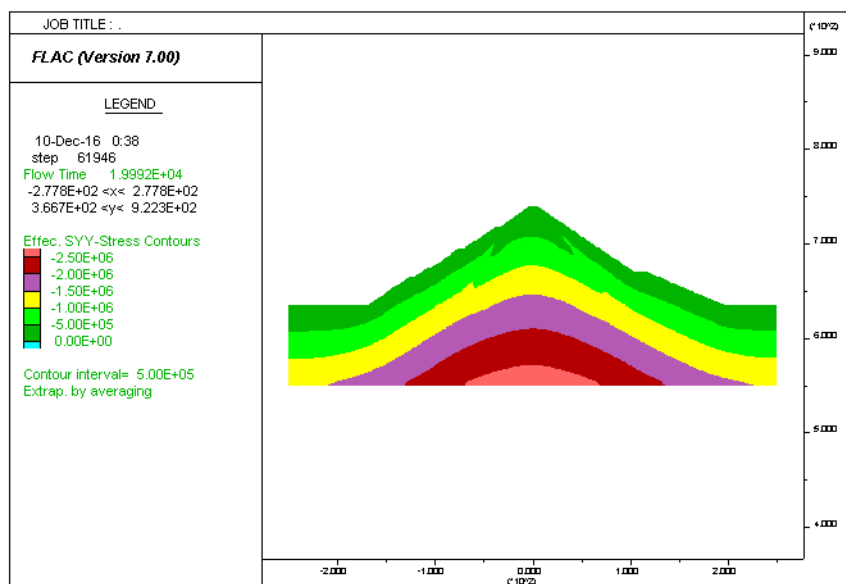
شکل (۴-۱۶) کنتور میزان اشباع مصالح بدنه سد در زمان ده ساله اول بهره برداری

۴ - ۷ - ۳ - ترک‌های ناشی از کاهش تنش مؤثر خاک

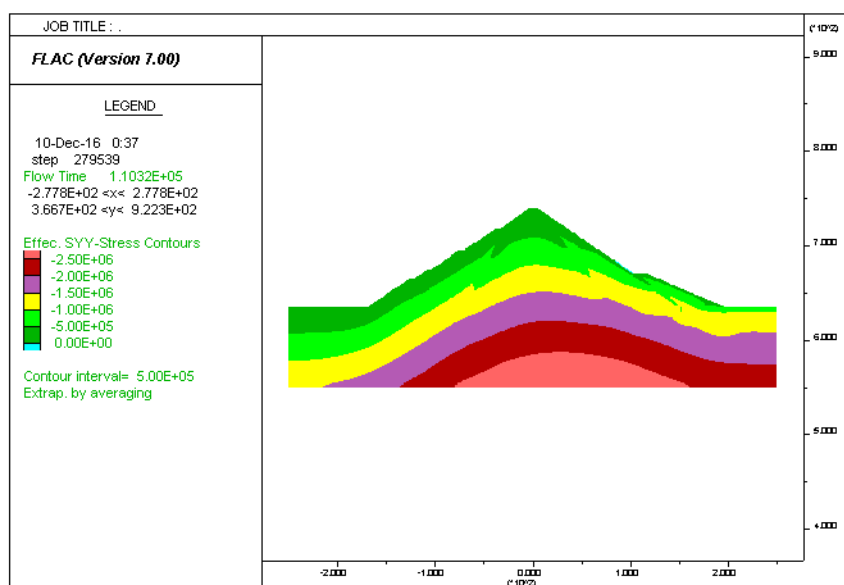
هر گونه کاهش سطح تنش مؤثر خاک باعث کاهش مقاومت در مقابل کشش یا برش شده و توده خاک را به سمت ترک خوردگی سوق می دهد. افزایش فشار آب در لبه یک توده خاکی و یا درون لبه باز یک ترک باعث ایجاد و یا گسترش ترک می گردد. در حالت معمول فشار آب به تنهایی توانایی غلبه بر تنش مؤثر خاک و ایجاد ترک هیدرولیکی را ندارد ولی با بروز مسائلی همانند قوس زدگی فشار آب موجب شکست هیدرولیکی می گردد. زیرا تنش های فشاری داخلی در داخل سد با عمق افزایش یافته و ترک ها را تحت فشار قرار داده و آن ها را می بندد. در جریان ساخت سد مخزن هنوز آبگیری نشده و بنابراین فشار آب برای وقوع شکست هیدرولیکی وجود ندارد در اولین آبگیری سد حداکثر افزایش فشار آب در هسته حاصل می شود. پس بازهم اولین آبگیری محتمل ترین زمان شکست هیدرولیکی می باشد.

فشار آب نیز به عنوان یک عامل بارگذاری از عوامل اصلی بروز ترک در سدهای خاکی می باشد. ترکیب این دو عامل به راحتی می تواند باعث بروز ترک خوردگی شود. مثلاً با کاهش سطح تنش مؤثر خاک تحت تأثیر عاملی مانند قوس زدگی فشار آب به راحتی می تواند بر تنش مؤثر خاک غلبه

کند. در عین حالی که حضور آب باعث تغییر مقاومت مصالح و خواص ژئومکانیکی شده و خود به عنوان یک عامل تعیین کننده بشمار می رود.



شکل (۴-۱۷) تنش موثر پایان ساخت در مدل اصلی



شکل (۴-۱۸) تنش موثر پایان آبدگیری و زمان بهره برداری در مدل اصلی

با توجه به کنطوره‌های تنش موثر مشخص است که سطح تنش موثر در آبدگیری اول نسبت به ساخت بیشتر است. ولی سطح تنش موثر دوران ده ساله دوم نسبت به ده ساله اول کاهش داشته که این میتواند کمی خطرناک باشد زیرا هر قدر سطح تنش مؤثر در خاک پایین تر باشد، وقوع ترک های

کششی و برشی در خاک راحت تر صورت می پذیرد. کاهش سطح تنش به تنهایی می تواند موجب خرابی گردد ولی حضور بارهای خارجی مثل فشار آب باعث تسهیل ترک خوردگی می شود. حتی بدون توجه به نقش بارهای خارجی مناطق کم تنش در اثر اختلاف سختی مصالح پدید می آید.

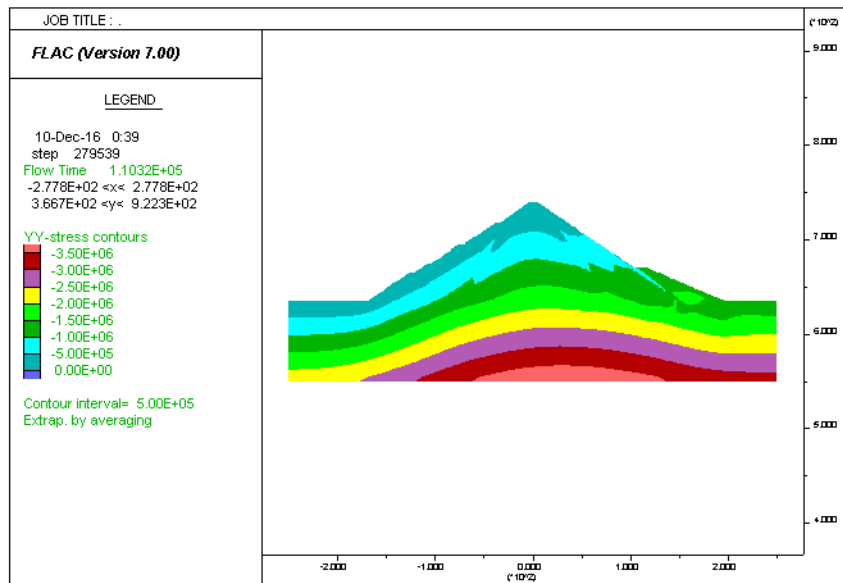
۴ - ۷ - ۴- وضعیت بدنه سد گلورد نکا از لحاظ تنش - کرنش در توده

خاک

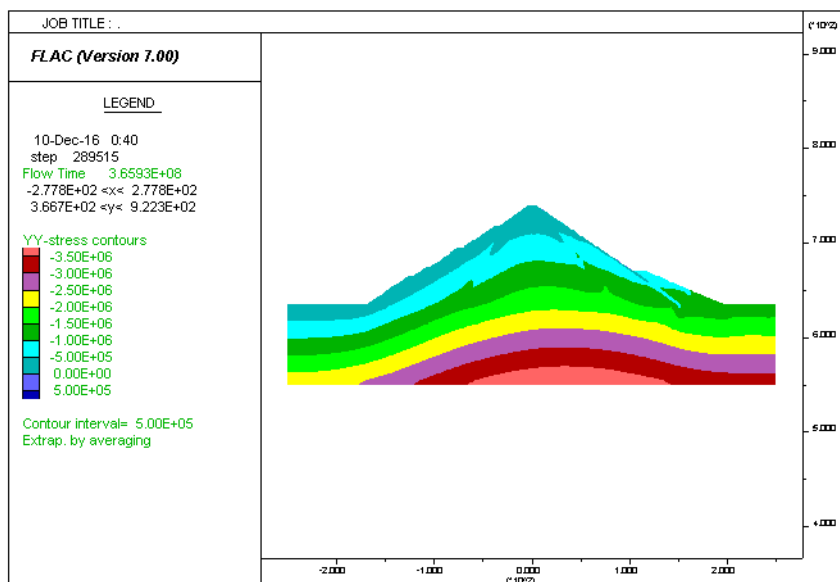
اندازه گیری تنش در مراحل مختلف رفتارنگاری سدهای خاکی، بویژه در مراحل آبدگیری جهت بررسی پدیده شکست هیدرولیکی و همچنین تأیید فرضیات طراحی از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. بدین منظور از ابزار فشار کل برای بررسی توزیع، جهت و تعیین میزان تنش درون بدنه سد استفاده می شود. مشاورین و پیمانکاران در اکثر موارد به هنگام بکارگیری از داده های اندازه گیری از این ابزار، با عدم قطعیت هایی در داده های حاصله مواجه می شوند. بنابراین قبل از استفاده از داده های این ابزار نیاز به کالیبراسیون داده ها داریم. در شرایط کاربردی برای یک ابزار سلول فشار کل مدفون در خاکریز، فشار تماسی بر روی سلول فشار کاملاً یکنواخت نبوده و در اثر قوس زدگی و تماس بین سلول و خاک، محیط اطراف سلول پیوسته نخواهد بود. بعبارت دیگر در یک محیط دانه ای و مجزا فشار تماسی، تابعی از اندازه ذرات محیط اطراف سلول خواهد بود. بعبارت دیگر در یک محیط دانه ای و مجزا فشار تماسی، تابعی از اندازه ذرات محیط اطراف سلول خواهد بود. بدین ترتیب واضح است که پاسخ ابزارهای سلول فشار بستگی به مصالحی دارد که در آن مدفون است و اغلب تنشی که توسط این ابزار اندازه گیری می شود دقیقاً همان تنشی نیست که در صورت عدم وجود ابزار در آن نقطه بدست می آید.

در همین راستا با توجه به بررسی و پردازش اطلاعات بدست آمده از سلول های اندازه گیری فشار کل نصب شده در بدنه سد گلورد نکا و انجام تحلیل های برگشتی تا ارتفاع ۶۶ متری خاکریزی بدنه، شاهد رفتار نسبتاً خوبی از سد بودیم و تنها در چند مورد قوس زدگی های موضعی را داشتیم. با توجه به این

نتایج پس از تحلیل کل بدنه سد نیز پیش‌بینی رفتار عادی را برای سد در نظر داریم. همچنین با توجه به در دست داشتن پارامترهای واقعی مصالح فشار کل قائم در پایان ساخت ۹۷۰ kpa شده است.



شکل (۴-۱۹) کنتور تنش قائم مدل در پایان دوره ده ساله اول



شکل (۴-۲۰) کنتور تنش کل مدل در پایان دوره ده ساله دوم

با توجه به کنتور های تنش کل و عدد های بدست آمده میزان تنش کل در پایان دوره ده ساله اول 1016 kpa و در ده ساله دوم 1043 kpa که مکان همگی آنها از تراز پایینی کناری هسته به تراز پایینی میانی هسته انتقال یافته است.

کاهش سطح تنش باعث می شود که فشار لازم برای ایجاد و توسعه ترک کاسته شود، بنابراین مناطقی از سد که به هر دلیل دچار کاهش سطح تنش شده اند در معرض خطر شکست هیدرولیکی قرار دارند. از مهمترین عوامل کاهش سطح تنش ها می توان به نشست های اختلافی، قوس زدگی هسته و ترک خوردگی اشاره کرد. در هر یک از این مکانیزم ها اگر کاهش سطح تنش به حدی باشد که توده خاک دچار ترک خوردگی شود تمرکز تنش ها در نوک ترک به نحوی است که گسترش آن از طریق فشار آب، پدیده شکست هیدرولیکی را آسان می کند. بنابراین کاهش سطح تنش در پایان ساخت سد و حداکثر پس از آبرگیری و نفوذ آب به پی باید اثرات خود را نشان دهد. پس زمان محتمل در این ارتباط اولین آبرگیری مخزن سد می باشد.

تغییر وضعیت تنش بدین نحوه است که در برخی از نقاط تنش های فشاری افزایش می یابند، و در برخی نقاط دیگر سطح کاهش می یابد. عامل دیگری که موجب برهم خوردن وضعیت تنش در بدنه سد می شود وضعیتی است که در آبرگیری اولیه ایجاد می شود. به دلیل عدم همگنی خاک، سطح پیش رونده آب در نقاط مختلف یکسان نیست. بر هم خوردن وضعیت تنش در اثر اشباع شدن بخشی از توده خاک و قرار گرفتن در مجاورت توده غیر اشباع سبب ایجاد نشست های غیر همسان در بدنه و عوض کردن سطح تنش در نقاط مختلف دیگر می شود. بدیهی است که اگر آبرگیری سد از سرعت بالایی برخوردار باشد وقوع این پدیده احتمال بیشتری دارد.

۴ - ۷ - ۵ - قوس زدگی

پدیده قوس زدگی یعنی انتقال نیروی بخشی از محیط خاکی به ناحیه مجاور آن که قاعدتا باید صلب تر و محکم تر از بخش جابه جا شونده باشد. به این علت این پدیده را انتقال فشار هم می نامند. تاثیر چنین حالتی، کاهش یافتن تنش های قائم حاصل از وزن خاک در افق های پایین تر می باشد که

همین کاهش یافتن تنشهای قائم، شدت فشردگی و تحکیم لایه های زیرین را کاهش می دهد. به علت تغییر شرایط تنش ها در ضمن عملکرد قوس زدگی، وضعیت تنش های اصلی در آن مقاطع تغییر می کند. از این رو در بررسی تحلیلی یا محاسباتی این پدیده می توان از این تغییرات نیز بهره گرفت. تاثیر پدیده قوس زدگی در بعضی موارد به نفع پروژه و در جهت اطمینان و پایداری بیشتر است، در حالی که در بعضی موارد تاثیر آن نامطلوب تلقی می گردد و در بعضی موارد کاهش اثر قوس زدگی مناسب تر است. میزان قوس زدگی را میتوان بر حسب نسبت تنش قائم موجود به تنش حاصل از وزن در هر تراز از هسته سد تعریف یا تعیین نمود. مقدار ضریب قوس زدگی در داخل هسته از رابطه زیر بدست می آید :

$$(3-5) \quad u / \gamma \cdot h = \text{ضریب قوس زدگی}$$

u = فشار آب حفره ای (Kpa) اندازه گیری شده توسط پیزومتر

γ = وزن مخصوص خاک (KN/m³) و h = ارتفاع خاکریزی (m)

استفاده از عکس این نسبت هم در بعضی پژوهش ها کاربرد دارد. قوس زدگی به سه صورت امکان پذیر است:

- قوس زدگی عرضی

- قوس زدگی طولی

- قوس زدگی موضعی

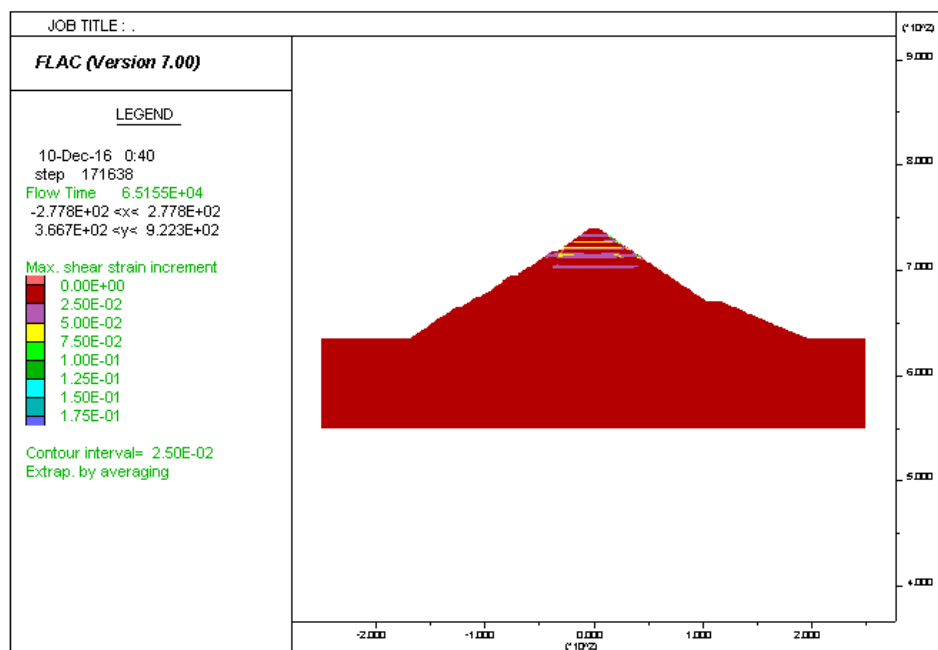
قوس زدگی عرضی: این نوع قوس زدگی بین پوسته و هسته اتفاق افتاده و ناشی از اختلاف پارامترهای مکانیکی مصالح در این دو قسمت می باشد.

البته به خاطر اینکه قوسی زدگی موضعی خصوص اینکه به دلیل تفاوت فاحش بین خواص ژئومکانیکی و سختی مصالح ، تغییر شکل ها باهم هماهنگ نمی باشد. قوس زدگی موضعی به خصوص در هنگام تغییر شکل ها در زمان آبیگری گریز ناپذیر است.

که بر اساس عدد های بدست آمده ضریب قوسی زدگی در پایان ساخت و در دوران بهره برداری در حد ۰/۵ می باشد.

۴ - ۷ - ۶ - کرنش برشی

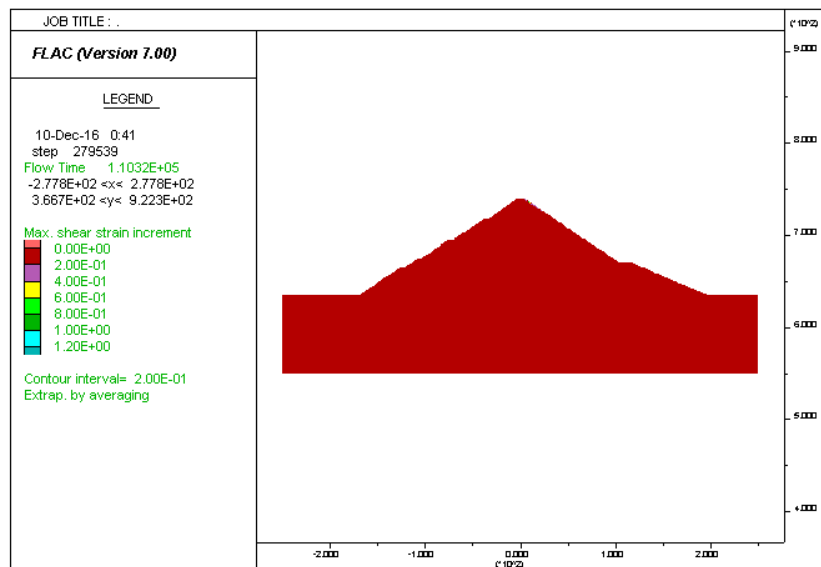
کرنش و مقاومت برشی نقش قابل توجهی پایداری سد خاکی دارند به این دلیل که ترک های باز که در نتیجه تغییرات نشست بوجود آمده است ، کرنش هایی در خاکریز تحت فشار بوجود می آورد که باعث می شود توزیع داخلی تنش ها در داخل سد به هم بخورد. در این حالت فشار داخلی در بعضی از قسمت ها افزایش یافته و در جاهای دیگر کاهش می یابد.



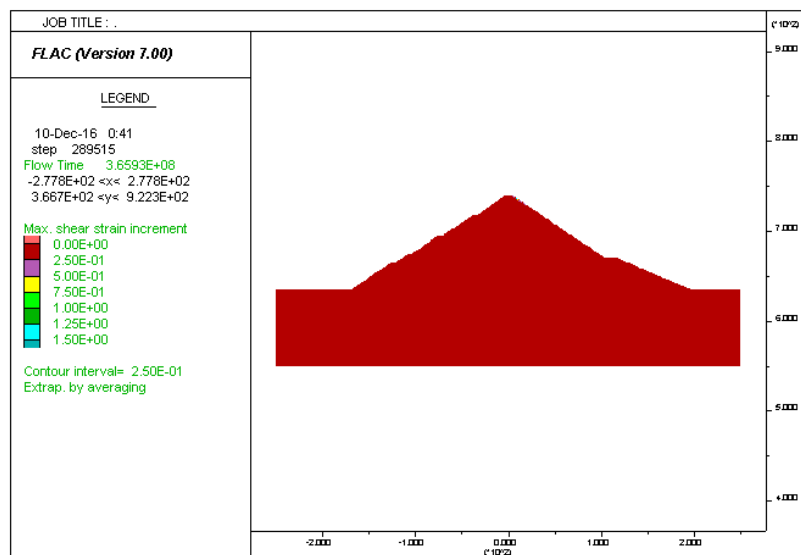
شکل (۴-۲۱) نرخ کرنش برشی بیشینه در پایان دوره آبیگر اولیه

با افزایش فشار آب در یک توده خاکی احتمال بروز شکست هیدرولیکی افزایش می یابد. با این حال به این نکته باید توجه کرد که منظور از فشار آب ، فشار آب منفذی نیست بلکه فشار آبی است که بر دیواره ترک وارد شده سعی دارد این ترک را گسترش دهد. بدیهی است که در اثر آبیگری این فشار افزایش می یابد. فشار آب حفره ای به هر مقداری که باشد قدرت ایجاد ترک در توده خاک را ندارد.

بلکه منجر به پدیده روانگرایی می شود. ولی افزایش فشار آب در لبه یک توده می تواند در این توده ترک ایجاد کرده و آن را گسترش دهد.



شکل (۴-۲۲) نرخ کرنش برشی بیشینه در پایان دوره ده ساله اول بهره برداری



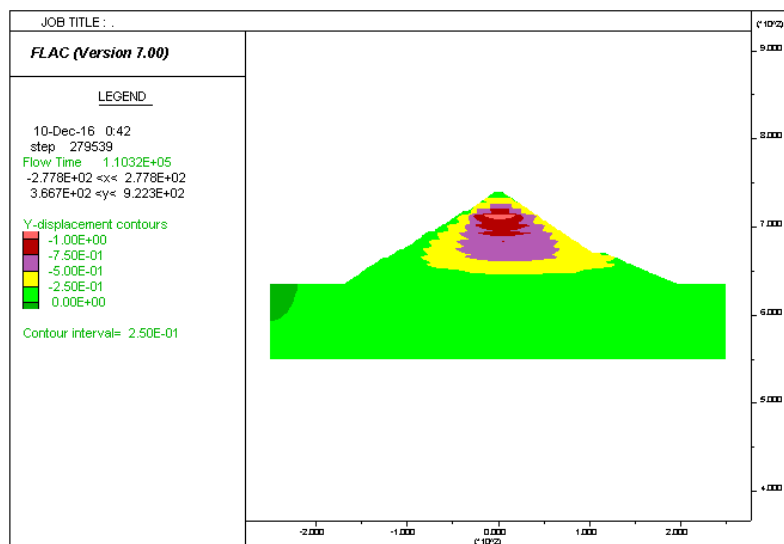
شکل (۴-۲۳) نرخ کرنش برشی بیشینه در پایان دوره ده ساله دوم بهره برداری

همانطور که از کنتور های نرخ کرنش برشی ماکزیم مشاهده کرده اید سطح گسترش و بزرگی کرنش برشی از آبگیری اولیه تا دوره ده ساله اول و دوره ده ساله دوم روند نزولی داشته است که بیانگر روند خوبی است.

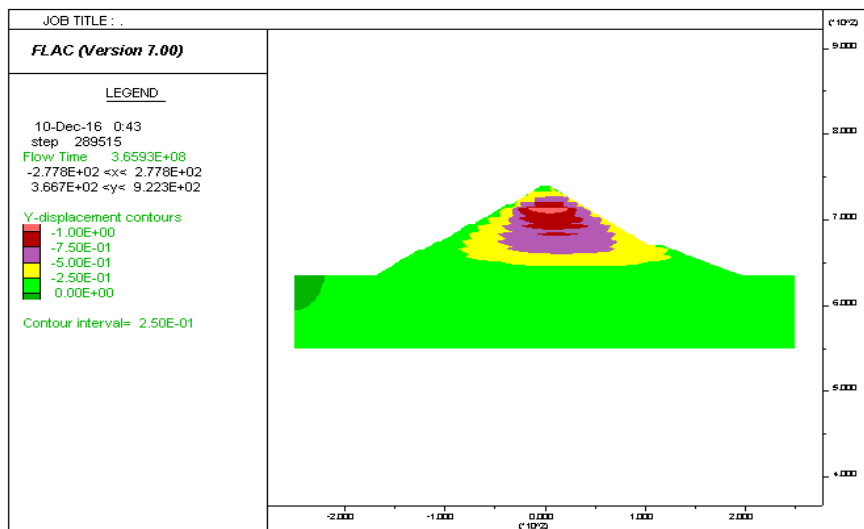
۴-۷-۷ - وضعیت بدنه سد گلودر نكاء از لحاظ جابجایی افقی و

نشست

بطور کلی مقدار نهایی نشست یک سد بستگی به نوع زمین و بار سد (ارتفاع آن) دارد، اما در مورد نشست‌های تحکیمی، زمان رسیدن به حد نهایی نشست بستگی به نفوذپذیری شالوده و شرایط زهکشی دارد. همان‌طور که در این فصل مشاهده شد، نشست قسمت‌های مختلف بدنه سد گلودر نكاءمورد بررسی و مقایسه با تحلیل‌های برگشتی قرار گرفت و نتایج قابل قبولی را ارائه کرد. همچنین مشاهده شد که بیشترین مقدار نشست مربوط به هسته سد بود که این موضوع به دلیل طبیعت مصالح بکار رفته در قسمت هسته می‌باشد. مقدار این نشست در هسته تا پایان دوره ده ساله اول ۱۱۰ سانتیمتر و در ده ساله دوم ۱۱۷ سانتیمتر می‌باشد. این مقدار نشست در محدوده مورد قبول نشست سدهای خاکی یعنی ۱/۶۵٪ تا ۱/۷۵٪ است.

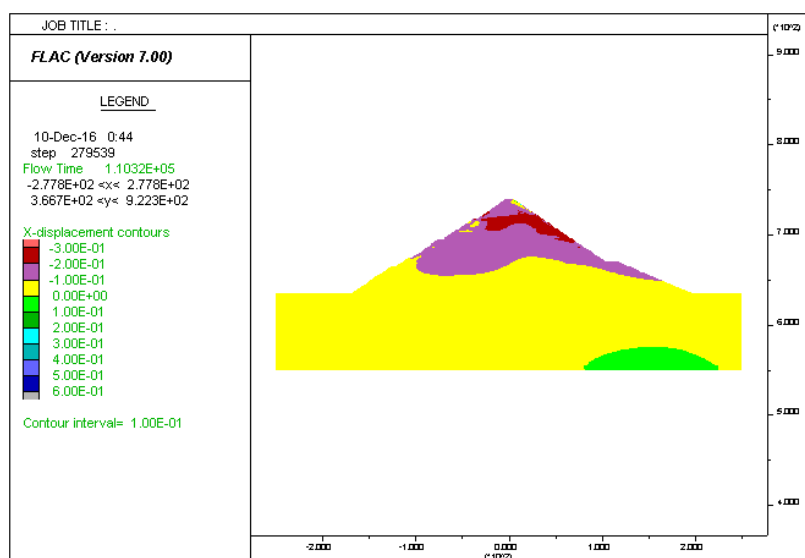


شکل (۴-۲۴) کنتور جابجایی قائم مدل در پایان ده ساله اول بهره برداری

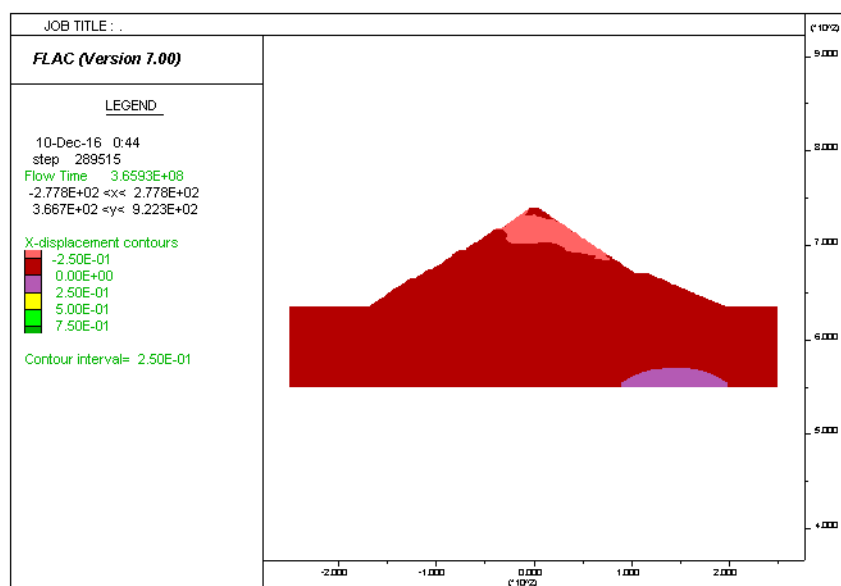


شکل (۴-۲۵) کنتور جابجایی قائم مدل اصلی در ده ساله دوم

مقدار نشست سد گلودر نكاء در پایان دوره ده ساله اول و دوم روند صعودی کندی دارد اما این رود در پوسته بالا دست نسبت به پوسته پایین دست به دلیل وجود آب کند تر است.



شکل (۴-۲۶) کنتور جابجایی افقی مدل در پایان دوره ده ساله اول بهره برداری



شکل (۴-۲۷) کنتور جابجایی افقی مدل در پایان دوره ده ساله دوم بهره برداری

مقدار جابجایی افقی در مدل همانطور که از شکل‌های فوق پیداست به دلیل فشار آب دریاچه از میزان جابجایی افقی پوسته بالادست کاسته و به میزان جابجایی پوسته پایین دست افزایش می یابد.

۴-۸- ویژگی‌های الگوهای عددی سد خاکی در تحلیل دینامیکی

به منظور بررسی اثر زلزله های بر رفتار دینامیکی سدهای خاکی در پژوهش حاضر تحلیل پارامتری با در نظر گرفتن پارامترهای ارتفاع سد، رکورد زلزله و بیشینه شتاب زلزله انجام گردید. ابتدا یک الگوی برای تحلیل ایجاد شده و سپس با تغییر تنها یک پارامتر، اثر آن بر رفتار خاک تحت اثر زلزله پایه مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این بخش جزئیات تشکیل الگوها به همراه پارامترهای انتخاب شده برای قسمت‌های مختلف ارائه می گردد

۴-۸-۱- هندسه الگوها

الگوسازی سدهای خاکی همگن به شکلی انجام گردید که ضمن حفظ دقت در محاسبات، تا حد ممکن از ناحیه‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر استفاده گردد تا زمان انجام محاسبات کاهش یابد. همان‌طور که در بند (۳-۲-۵) بیان گردید، ابعاد ناحیه‌ها باید به شکلی تعیین گردد که امکان عبور صحیح موج از

الگو فراهم گردد. با توجه به مصالح خاکی، کمترین سرعت امواج برشی براساس رابطه (۳-۵) مربوط به مصالح ضعیف تر می باشد. بنابراین، بیشترین فرکانسی که می توان از الگو به شکل صحیح عبور داد براساس رابطه زیر به دست می آید:

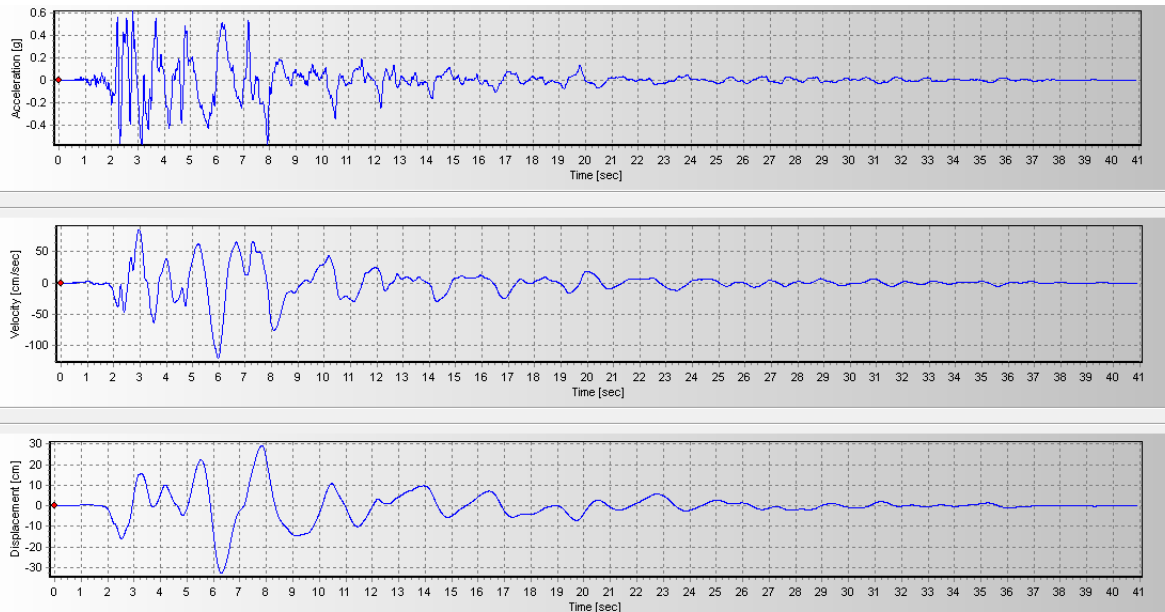
$$f = \frac{C_s}{\Delta l \times 10}$$

بر اساس رابطه فوق بیشترین فرکانس مجاز بارگذاری دینامیکی را برای حالت های مختلف به دست می آید. با توجه به اینکه شتاب نگاشت زلزله های واقعی ممکن است شامل امواجی با فرکانس های بالاتر باشد. بنابراین لازم است تاریخچه شتاب زلزله های ورودی، برای حذف مولفه های فرکانسی بالا اصلاح گردد. این امر توسط فیلتر نمودن انجام می گردد

سد خاکی، دست پایین و بالادست شیب سد، ارتفاع پی، ضخامت و عرض شامل پایه الگوهای هندسه می گردد سد بدنه در قرار گیری هسته نحوه و تاج عرض آزاد ارتفاع

۴-۸-۲- بارگذاری دینامیکی

به منظور بررسی تاثیر زلزله بر رفتار دینامیکی سدهای خاکی همگن از زلزله منجیل در تحلیل های عددی استفاده گردید. این رکوردها از وب سایت PEER وابسته به دانشگاه برکلی اخذ گردید. همچنین به منظور بررسی تاثیر بیشینه شتاب زلزله، از PGA شامل ۰/۳g برای نگاشت های زلزله در نظر گرفته شد.



شکل (۴-۲۸): تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی زلزله منجیل

مطابق شکل (۴-۲۸) ابتدا تاریخچه زمانی زلزله منجیل در نرم افزار Seismosignal ترسیم می‌شود. سپس فرکانس بالای زلزله منجیل را توسط نرم افزار FLAC فیلتر شده تا فرکانسی که عمده انرژی زلزله مربوط به آن است بدست آید که برای زلزله منجیل از فرکانس ۵ به بعد فیلتر شده است. از طرفی فرکانس بالا در حد یک پالس است و اگر سازه برای این فرکانس طراحی شود طرح غیر اقتصادی می‌شود. از تاریخچه‌ی زمانی شتاب زلزله منجیل در نرم افزار FLAC انتگرال گرفته تا طیف سرعت نگاشت بدست آید و سپس از طیف سرعت نگاشت انتگرال گرفته تا طیف جابجایی نگاشت بدست آید. با توجه به اینکه جابجایی در انتها صفر نشده است که این ناشی از خطای دستگاه می‌باشد. دلیل وجود این خطا در تاریخچه شتاب این است که شتاب‌نگارها اغلب دارای حساسیت‌های متفاوتی هستند و از یک شتاب آستانه مشخصی شروع به ثبت شتاب‌ها در هنگام وقوع زمین‌لرزه می‌کنند و در نتیجه ممکن است بخشی از تکان‌های اولیه زمین لرزه را ثبت نکنند. برای اصلاح این مشکل با استفاده از دستور baseline در نرم افزار این خطا در طیف جابجایی اصلاح شده که برای زلزله منجیل طیف جابجایی رو در قسمت انتها به اندازه 0.0014 اضافه می‌شود تا به صفر برسد.

۹-۴- تحلیل دینامیکی سد خاکی

آخرین مرحله از تحلیل دینامیکی سد خاکی پس از رسیدن به وضعیت تراوش پایا، اعمال شتاب نگاشت زلزله به مرزهای کف پی و ارزیابی رفتار سد تحت این شتاب ها می باشد. در پژوهش حاضر از تاریخچه شتاب زلزله منجیل به عنوان بارگذاری زلزله استفاده گردید. به جهت حفظ سادگی تنها مولفه افقی زلزله مذکور به مدل ها اعمال گردید و از مولفه قائم آنها صرفه نظر گردید. این شتاب نگاشت ها بصورت تنش برشی در تراز کف پی اعمال شدند.

محاسبات جریان در طول بارگذاری زلزله غیرفعال بود و با انتخاب مقدار واقعی برای ضریب حجمی آب، اجازه تولید فشار آب حفره ای در اثر تغییر حجم حفرات داده شد. قابل ذکر است غیر فعال نمودن محاسبات جریان مانع انجام تحلیل تنش موثر نمی گردد و تنها سبب می شود فرایند استهلاک اضافه فشار آب حفره ای در طول تحلیل انجام نگیرد.

ضریب حجمی برای محاسبات تحلیل دینامیکی $2 \times 10^8 \frac{N}{m^2}$ متناظر با آب دارای هوای محبوس انتخاب گردید. مراحل آماده سازی الگو جهت انجام تحلیل دینامیکی به صورت زیر انجام گردید:

۱- گزینه های تحلیل دینامیکی و انجام محاسبات در حالت تنجش های بزرگ به ترتیب توسط

دستورات Set large و Set dyn on فعال گردید.

۲- برخی از نقاط مهم سد جهت ثبت تغییرات پارامترهای مختلف در طول بارگذاری زلزله

توسط دستور history تعیین گردید.

۳- تغییر شکل های سد در دو جهت x و y، با دستور (Displmt&Velocity) صفر گردید تا در

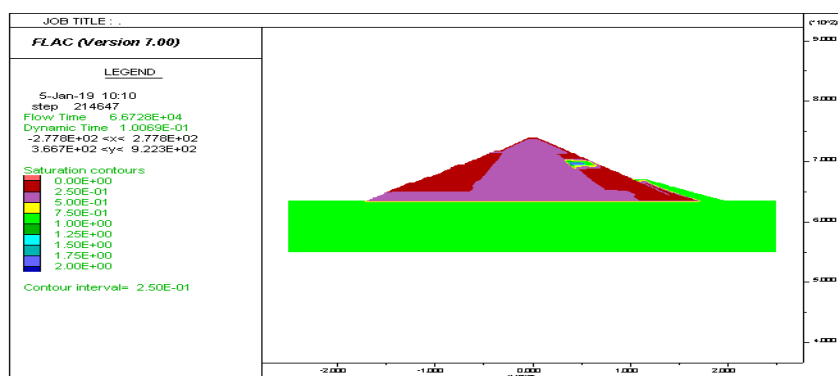
این مرحله تنها اثر بارگذاری دینامیکی بر تغییر شکل ها لحاظ گردد.

۴- مرز آزاد مطابق با توضیحات قبلی به مرزهای جانبی نسبت داده شد.

۵- پارامترهای میرایی هیستریسیس را با توجه به توضیحات گذشته همراه با درصدی از میرایی

رایله متناسب با سختی برای میرایی کامل فرکانس های بالا بکار رفته است.

۶- شتاب‌های زلزله با دستور (In situ/apply) به مرز کف الگو و با توجه به کارگیری از مرز آرام که با دستور (yquiet، xquiet) در کف الگو اعمال گردید، تاریخچه شتاب ابتدا به تاریخچه تنش تبدیل و سپس به کف الگو اعمال گردید. در واقع مرز جدید جایگزین شرایط مرزی تحلیل استاتیکی می‌گردید. پس از انجام مراحل فوق، تحلیل دینامیکی به مدتی برابر با زمان وقوع زلزله انجام گردید

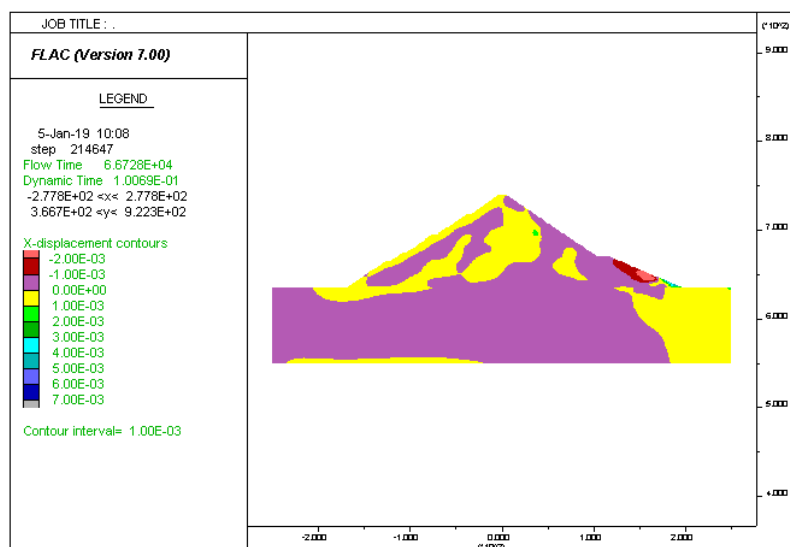


شکل (۴-۲۹) درصد اشباع مصالح

در شکل (۴-۲۶) با توجه به مقایسه نمودار درصد اشباع مصالح در حالت استاتیکی و دینامیکی مشخص گردیده که توزیع درصد اشباع مصالح به طور چشمگیری در حالت دینامیکی افزایش پیدا کرده است. و سد تقریباً به طور کاملاً اشباع شده است و در این حالت تنش موثر خاک به طور چشمگیری کاهش یافت که باید تمهیدات ویژه‌ای برای آن اندیشید

۴-۱۰- تغییر مکان‌های قائم و افقی سد تحت اثر زلزله

شکل‌های نشان داده شده در این بخش شامل تغییر مکان‌های قائم و افقی سد تحت اثر زلزله منجیل می‌باشد. شکل (۴-۲۷) تغییر مکان افقی و شکل (۴-۲۸) تغییر مکان قائم را نشان می‌دهد.

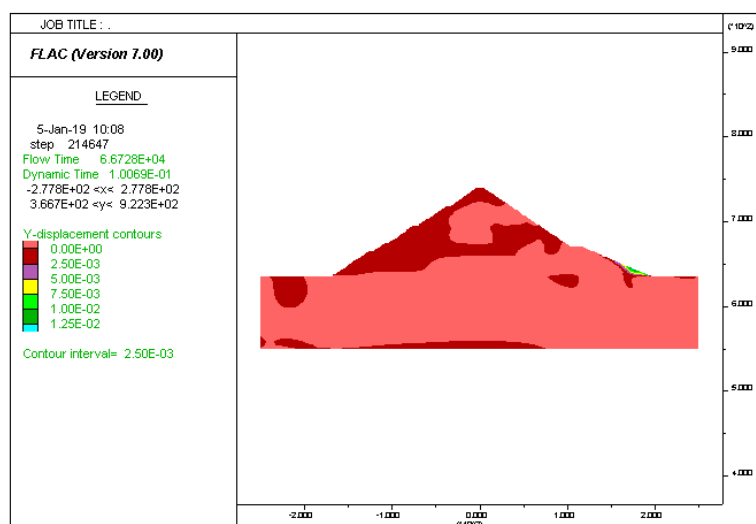


شکل (۴-۳) تغییر شکل نسبی افقی سد خاکی در زلزله منجیل

با توجه به شکل (۴-۲۷) مشخص می‌گردد که بیشترین جابجایی در جهت افق برابر ۷۵ سانتیمتر در

پایین دست که در پاشنه سد می‌باشد که برای بحث ایمنی بایستی تمهیداتی در دوران ساخت

لحاظ گردد.



شکل (۴-۳۱) تاریخچه زمانی نشست تاج سد کبودبال تحت زلزله منجیل

با توجه به شکل (۴-۲۸) بیشتر نشست در زمان پس از زلزله در پاشنه سد اتفاق افتاده که برابر ۱۲,۵ سانتیمتر است که این مقدار کمتر از ۰/۱ ارتفاع سد می باشد آسیب چندانی به سد وارد نمی کند و نشان دهنده رفتار مناسب سد می باشد.+

فصل پنجم:

نتیج و ارائه شهادت

۵-۱- نتایج

با توجه به ۳ مقطع اصلی نصب ابزار در بدنه‌ی سد گلورد نکا و از آن جا که امکان تحلیل تمامی این مقاطع امکان پذیر نبوده به بررسی رفتارسنجی در مقطع بحرانی سد، مقطع (۱۳۰ + ۰) نصب ابزار پرداخته شده است. بدیهی است در صورت درک درست رفتار سد در مقطع بحرانی، این رفتار، به طور کلی به تمامی مقاطع سد قابل تعمیم خواهد بود. در ابتدا با استفاده از داده‌های ابزار دقیق دوران ساخت، روش عددی با روش آنالیز برگشتی از یک سری داده‌های اولیه به داده‌های منطقی دست پیدا کرده و آن گاه برای ادامه‌ی روند پروژه در دوران آب‌گیری از سال ۹۲ ادامه داده و سپس به بیان نتایج این تحقیق می‌پردازیم:

۱ - به طور کلی فشار آب حفره‌ای در حد قابل انتظار بوده و نیز فشار آب حفره‌ای سمت بالادست مرکز با شروع آب‌گیری افزایش بسیار کندی داشته است.

۲- مصالح بدنه بین ۲۵ تا ۴۵ درصد در پایان ساخت اشباع گردید. اما در پایان آب‌گیری به دلیل عملکرد رویه‌ی بتنی به صفر در پوسته پایین دست رسیده و در پوسته‌ی بالادست به دلیل آب‌گیری تا تراز ۷۳۰ اشباع کامل مصالح بعد از ۲۰ سال می‌باشد.

۳- روند تنش کل در بدنه‌ی سد روند صعودی خاصی نداشته داشته ولی پس از آب‌گیری به دلیل میزان آب توزیع تنش به دلیل وزن آب به هم خورده و روند صعودی داشته است.

۴- ضریب فشار آب حفره‌ای در سد همواره کمتر از ۰/۴ می‌باشد که دارای روند مناسبی می‌باشد.

۵- جابه‌جایی در راستای قائم در سد گلورد دارای روند کند صعودی می‌باشد که این روند در پوسته‌ی بالادست نسبت به پوسته‌ی پایین دست به دلیل وجود آب کندتر است.

۶- جابه‌جایی افقی نیز مشابه جابه‌جایی قائم می‌باشد که روند کلی صعودی دارد اما سرعت پوسته‌ی بالادست به دلیل آب دریاچه داری روند بیشتری مخصوصاً در دوران آب‌گیری تغییر فاحشی کرده - است.

- ۷- از مقایسه‌ی مقادیر نشست، فشار آب حفره‌ای و تنش به‌دست آمده از آنالیز با نتایج ثبت شده توسط ابزار دقیق می‌توان بیان داشت که تطابق مناسبی میان نتایج وجود دارد.
- ۸- در سد گلورد بیشینه‌ی تغییر مکان افقی در یک‌سوم میانی سد رخ می‌دهد.
- ۹- در اثر بارگذاری زلزله سد کامل اشباع شد که این باعث شد تنش مؤثر در سد کاهش یابد ولی این کاهش به‌میزانی نبود که احتمال گسیختگی هیدرولیکی در سد را موجب شود.
- ۱۰- در تحلیل‌های دینامیکی تغییر مکان قائم بیشینه در پاشنه‌ی سد رخ می‌دهد و مقدار آن کمتر از ۱/۱ درصد از ارتفاع سد می‌باشد که در محدوده قابل قبول است ولی جابه‌جایی افقی سد در اثر زلزله نسبت به حالت استاتیکی افزایش قابل توجهی داشت مخصوصاً در پاشنه‌ی سد در پایین‌دست که حتماً باید تمهیدات ویژه‌ای برای آن اندیشید.

۵-۲- پیشنهادات

- ۱- استفاده از مدل سه فازه‌ی خاک غیر اشباع در ساخت و آب‌گیری اولیه و مقایسه‌ی آن با جواب‌های حاصل از نتایج روش سیال تراکم‌پذیر.
- ۲- انجام تحلیل در حالت خطرناک دیگر از قبیل تخلیه‌ی سریع در حالت استاتیکی و دینامیکی
- ۳- تحلیل سد گلورد با استفاده از مدل‌های رفتاری پیشرفته‌تر و مقایسه‌ی آن با مدل رفتاری فعلی

منابع:

- [1] United states Bureau of Reclamation, "Design of small Dams", *Water Resources Technical Publication*, Washington, DC., 1987.
- [2] Seo, M.W., Ha, I.S., Kim, Y.S., Olson, S.M., "Behavior of concrete Faced Rock fill Dams during initial Impoundment", *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering*, 135(8):1070-1081, 2009.
- [3] Sherard, J.L., Cooke, J.B., "Concrete- Face Rock fill Dam: I. Assessment", *Journal of Geotechnical Engineering*, 113(10):1096-1112, 1987.
- [4] Quiroz, J.E., Modares, M., "Mitigation Measures Evaluation for concrete Faced rock fill Dams", *Journal of REC*, 1-14, 2014.
- [5] Kartal, M., Bayraktar, A., Basaga, H., "No linear Finite Element Reliability Analysis of concrete- Faced Rock fill(CFR) Dams under static Effects", *Applied Mathematical modeling*, 36(11):5229-5248, 2012.
- [6] Zhou, W., Hua, J., Chang, X., Zhou, C., "settlement analysis of the shuibuya concrete- Face Rock fill Dam", *Computer and Geotechnics*, 38(2):269-280, 2011,
- [7] Harita, k., Yonezaki, F., Sato, N., Someya, T., Ono, k., "stress and Deformation of concrete slab in DFRD", *Proceeding of symposium on concrete faced Rock fill Dams*, china, 273-281, 2000.
- [8] Gazetas, G., Dakoulas, P., "Seismic analysis and Design of Rock fill Dams: state of the art", *Soil Dynamics and Earth quake Engineering*, 11(1):27-61, 1992.
- [9] Aric, Y., "Investigation of the cracking of CFRD Face Plates", *Computers and Geotechnics*, 38(7):905-916, 2011.
- [10] Fell, R., McGreggor, P., Stapledon, D., "Geotechnical Engineering of Embankment Dams", *A.A. Balkema*, 675, 1992.
- [11] International commission on large Dams (I cold D), "CONCRETE Face Rock fill Dams concepts for Design and construction", Paris, France, Bulletin No. 70, 2004.
- [۱۲] نورزاد، ر.، "سدهای سنگریزه‌ای با رویه‌ی بتنی"، *سمینار کارشناسی/ارشد*، دانشگاه تهران، ۱۳۷۲.
- [13] Cooke, J.B., "Progress in Rock fill Dams", *Journal of Geotechnical Engineering*, 110(10):1383-1414, 1984.

[14] Wieland, M., Brenner, R.P., "Seismic performance of CFRDs", *Water power and dam construction magazine*, 18-21, 2007.

[15] Cooke, J.B., Sherard, J.L., "Concrete-face Rock fill Dam: II. Design", *Journal of Geotechnical Engineering*, 113(10):1113-1132, 1987.

[16] Charles, J.A., Watts, K.S., "The Influence of Confining Pressure on the Shear Strength of Compacted Rock fill", *Geo technique*, 30(4):353-367, 1980.

[17] Xing, H.F., Gong, X.N., Zhou, X.G., Feng, H., "Construction of Concrete-Faced Rock fill Dams with Weak Rocks", *Geotechnical Engineering*, 132(6):778-785, 2006.

[۱۸] نجفی، ط.، "ارزیابی رفتار حد فاصل رویه بتنی و بدنه سنگریزه‌ای در سدهای سنگریزه‌ای با رویه بتنی تحت زلزله‌های شدید"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، ۱۳۸۸.

[19] Badenhorst, D., "The Design of Concrete-Faced Rock fill Dam", *SANCOLD/US*, 1-75, 2005.

[20] Lianjun, Y., "Study and Design of Concrete Faced Rock fill Ballasr Dam", *Proceeding of Symposium on Concrete Faced Rock fill Dams*, China, 301-309, 2000.

[21] Massiera, M., Szostak-hrzanowski, A., Vautour, J., Hammamji, Y., "Deformation of Concrete Face Rock fill Dams (CFRDs) Resting on Soil Foundation", *Technical Sciences*, 8:65-78, 2005.

[22] Oldecop, L.A., Alonso, E.E., "Theoretical Investigation of the Time-Dependent Behavior of Rock fill", *Geo technique*, 57(3):289-301, 2007.

[23] Hunter, G., Fell, R., "Rock fill Modulus and Settlement of Concrete Face Rock fill Dams", *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering*, 129(10):909-917, 2003.

[24] Christian, J.T., Desai, C.S., "Numerical Methods in Geotechnical Engineering", *McGraw- Hill*, New York, 1977.

[25] Yuezhen, Y., Ping, Y., Shuping, H., Baoying, D., "Emulation Stress Analysis of High Concrete Face Rock fill Dam", *Proceeding of Symposium on Concrete Faced Rock fill Dams*, China, 413-424, 2000.

[26] Guangxu, Y., "Sliding Movement of Face Slabs and Structures of CFRDs", *Proceeding of Symposium on Concrete Faced Rock fill Dams Design*, China, 395-404, 2000.

[27] Zhang, B., Wang, J.G., Shi, R., "Time- Dependent Deformation in High Concrete faced Rock fill Dams and Separation between Concrete Face Slab and Cushion Layer", *Computer and Geo techniques*, 31(7):559-573, 2004.

[28] Xu., Z., "Three Dimentional Stress and Deformation Analysis of Wuluwati CFRD", *Proceeding of Symposium on Concrete Faced Rock fill Dams*, China, 381-393, 2000.

[29] Qian, X.X., Yuan, H.N., Li, Q.M., Zhang, B.Y., "Comparative Study on Interface Elements, Thin- Layer Elements, and Contact Analysis Methods in the Analysis of High Concrete- Faced Rock fill Dams", *Journal of Applied Mathematics, Hindawi Publishing Corporation*, 1-11, 2013.

[30] Hibbitt, D., Karlsson, B., Sorensen, P., "Getting Started With ABAQUS—Version (6.12)", *Hibbitt, Karlsson and Sorensen Inc, Pawtucket, R. I.*, 2012.

[۳۱] گروه اویول- آب نیرو، " گزارش خلاصه سیمای طرح سد گلورد"، گزارش طرح/احداث سد مخزنی گلورد، ۱۳۹۰.

[۳۲] مهابادی، ن.، " مشخصات فنی کارهای اصلی"، گزارش طرح/احداث سد مخزنی گلورد، ۱۳۹۰.

[۳۳] کرد رستمی و اسکندری، ۱۳۸۹، " گزارش تکمیلی مجموعه پرده آب بند، گالری های و گمانه های تزریق سد گلورد"، گزارش طرح احداث سد مخزنی گلورد.

[34] Saboya, J.R., and Byrne, P.M., "Parameters for Stree and Deformation Analysis of Rock fill Dams", *Canadian Geo technical Journal*, 30(4):690- 701, 1993.

[35] Analysis User's Manual for Abaqus Version 6.12, Vol. III: Materials, 2012.

[36] Smith, M.I., Griffiths, D.V., Margetts, L., "Programming the Finite Element Method", *Wiley, J. and Ltd, S.*, 2013.

[37] Analysis User's Manual for Abaqus Version 6.12, Vol. IV: Elements, 2012.

[۳۸] گروه اویول- آب نیرو، " خلاصه گزارش طراحی، محاسبات و آنالیز بدنه و رویه بتنی"، گزارش طرح/ احداث سد مخزنی گلورد، ۱۳۹۱.

[39] Dakoulas, P., "Longitudinal Vibrations of Tall Concrete Faced Rock fill Dams in Narrow Canyons", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 41:44-58, 2012.

[40] Abaqus/CAE User's Manual Version 6.12, 2012.

[41] Ozkuzukiran, S., Ozkan, M.Y., Ozyazicioglu, M., Yildiz, G.S., "Settlement Behaviour of a Concrete Faced Rock- Fill Dam", *Geo technical and Geological Engineering*, 24(6):1665-1678, 2006.

[42] Pinto, N.L., Marques, P.L., "Estimating Maximum Face Deflection in CFRDs" *Journal of Hydropower and dams*, 5(6):28-32, 1998.

Abstract

Monitoring process means the evaluation of the performance of the structure, during construction and operation and its adaptation to projected design time. earth structures monitoring is crucial due to the possibility of occurrence of phenomena such as slippage of slopes, cracking or hydraulic fracturing and scouring of fine aggregates, etc. Performing the process of controlling the safety and stability of the fuselage of an earth dam and its foundation is usually carried out by examining the information in the technical archive, the results of instrumentation readings, field inspection, and numerical analysis.

In this research, the dam Gelvard Neka, which is a concrete face rockfill dam, is under construction monitored. Hence, with the help of reading the precision instrumentation in the dam body and performing a back analysis, FLAC's advanced software has tried to identify the precise specifications of the materials used in the construction of the dam and to predict the future behavior of the dam.

Gelvard dam is located on Nekarod River and in the drainage basin of Mazandaran Lake (longitude 53 degrees, 36 minutes east and latitude 36 degrees and 35 minutes north). Gelvard dam located on the upstream side of the village Gelvard in the mountainous region of the Hezarjarib district. The dam located 35 km south of Behshahr county, 70 km from the county of Sari and 45 km south-east of Neka county. The area of the drainage basin up to the dam is 1480 square kilometers, and the mean annual rainfall is 940 mm in the site of the dam.

The results of this study show that the dam settlement is about 5%, the horizontal displacement is about 7% and total vertical stress and pore water pressure are about 10% different with the results of the instrumentation during the construction period, which indicates that the results of the analysis are in good agreement with the instrumentation. On the other hand, in the Gelvard dam, the maximum settlement occurs in the middle of a third of the top of the dam.

Keywords: Monitoring, Gelvard dam, Static analysis during construction, FLAC.



Shahrood University of Technology
Faculty of the Civil Engineering

MSc Thesis in Civil Engineering

Monitoring instrumentation of the dam Gelvard Neka

By: Maziar Sharif

Supervisor:

Dr. Reza Naderi

2019