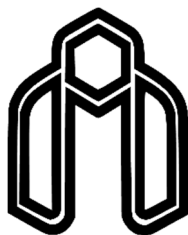


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی

ارائه روش نوین در تعیین قوس لغزش با استفاده از حفر ترانشه شناسایی
و مایع رنگی و مقایسه آن با شیوه‌های تئوریک
(مطالعه موردی سد شورک شیروان)

نگارنده: احمد سلیم ادیب اصل

اساتید راهنما

دکتر سید مهدی حسینی

دکتر احمد احمدی

شهریور ۱۳۹۷

شماره ثبت: ۹۲۳۵۱
تاریخ: ۹۲/۷/۱۷

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 خانم / آقای احمد سلیم ادیب اصل با شماره دانشجویی ۹۳۰۲۰۷۴ رشته مهندسی عمران گرایش آب و سازه های هیدرولیکی تحت عنوان «ارائه روش نوین در تعیین قوس لغزش با استفاده از حفر ترانسه شناسایی و مایع رنگی و مقایسه آن با شیوه های تئوریک (مطالعه موردی سد شورک شیروان) که در تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز ۱۷٫۸۳ درجه خوب) ☐ مردود ☐
نوع تحقیق: ☒ نظری ☐ عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	آقای دکتر سید مهدی حسینی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	آقای دکتر احمد احمدی	دانشیار	
۳- استاد مشاور	-	-	-
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر مهدی گلپای	استادیار	
۵- استاد معتمد اول	آقای دکتر محسن کرامتی	استادیار	
۶- استاد معتمد دوم	آقای دکتر رمضان واقعی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: آقای دکتر رضا نادری

امضاء و تاریخ تصدیق دانشکده:

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: آقای دکتر رضا نادری

تصدیق: در صورتی که کسی مورد شک باشد، باید در جلسه دفاع حاضر شود (در صورتی که نتواند در جلسه دفاع حاضر شود، باید در جلسه دفاع حاضر شود)

مجدد نباید زودتر از ۲۴ ساعت پس از روز برگزاری جلسه دفاع (مجدد نباید زودتر از ۲۴ ساعت پس از روز برگزاری جلسه دفاع)

پاس ایندومان که به من این فرصت را داد تا به این مرحله از علم رسیده و از پیچ محبتی دینی نکرده

و در تمام مراحل زندگیم مراقبت قلب بود.

تقدیم به:

پدر و مادرم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری خداکار نسیم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودند تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند وستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پرافراز و نشیب آموختند. آموزگاری که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند. تقدیم به وجود بارزیشان...

و همسرم

که سایه مهربانش سایه ساز زندگیم می باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود و به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت تا در سایه بیماری و بهدلی او به این منظور نائل شوم.

و برادران و خواهرانم

که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است و همواره در طول تحصیل متحمل زحمت بودند و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات، وجودشان مایه دلگرمی من می باشد...

شکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخوران، در ستودن او بماند و شامندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را کزاردن نتوانند. وبدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، بازبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت های را که به دستش سپرده اند، تضمین. استایدی که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عنوکشیده و کریانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند؛

بر خود لازم می دانم از استاید با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر سید مهدی حسینی و جناب آقای دکتر احمد احمدی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از پیچ کلمی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمات را بهمانانی این رساله را بر عهده گرفتند؛ شکر و قدردانی نمایم.

تعهدنامه

اینجانب احمد سلیم ادیب اصل دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تحت عنوان ارائه روش نوین در تعیین قوس لغزش با استفاده از حفر ترانشه شناسایی و مایع رنگی و مقایسه آن با شیوه‌های تئوریک (مطالعه موردی سد شورک شیروان)

تحت راهنمایی جناب آقای دکتر حسینی و جناب آقای دکتر احمدی متعهد می‌شوم :

- 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 می‌باشد 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 تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- 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 اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضا دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. 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 نمی‌باشد.

چکیده

یکی از مهمترین مسائلی که در بحث سدهای خاکی و خاکی-سنگریزه‌ای پیش روی مهندسان سدسازی و ژئوتکنیک قرار دارد، آنالیز پایداری شیب و تحلیل سطح گسیختگی و نیز نحوه تعیین گسیختگی شیب‌ها می‌باشد. متداول‌ترین روش‌های تحلیل پایداری شیب‌ها، روش‌های تعادل حدی و روش المان محدود است که با انجام محاسبات دستی قابل محاسبه بوده و همچنین از برنامه‌های کامپیوتری نظیر Slope/w و Plaxis بدین منظور و نیز تعیین سطح گسیختگی بحرانی استفاده می‌گردد، اما ترسیم و تعیین این سطوح گسیختگی که به قوس لغزش معروفند تا کنون به طور واقعی و عملی انجام نشده است. در این پایان نامه ترسیم و تعیین این قوس‌های لغزش به طور واقعی و عملی با شیوه ای نوین در جریان حفر ترانشه شناسایی و استفاده از مایع شناساگر رنگی و همچنین محاسبه ضریب پایداری شیب‌ها به کمک آن، جهت تهیه مناسب‌ترین طرح مرمت و مرمت سد خاکی سنگریزه‌ای شورک شیروان که دچار آسیب دیدگی از نوع قوس لغزش شده است، به طور کاملاً عینی و دقیق مورد توجه قرار گرفته است. در طرح مرمت ارائه شده با روش ابداعی جهت بهره برداری مجدد از سد مذکور، حداکثر ارتفاعی که برای برداشت از تاج سد شورک در نظر گرفته شده است ۵ الی ۶ متر می باشد. این در حالی است که در طرح مرمت بدست آمده از اطلاعات ابزار دقیق تعبیه شده در بدنه سد، این مقدار حداقل ۱۰ متر بدست آمده است. نتایج این تحقیق در خصوص ضریب پایداری و نیز مدل سازی عینی قوس لغزش با روش‌های تئوریک شامل محاسبات ریاضی و همچنین نرم افزار مدل سازی Slope/w مقایسه و صحت سنجی شده است.

کلمات کلیدی: تعادل حدی، المان محدود، سد شورک، قوس لغزش، ترانشه شناسایی، شناساگر رنگی، Slope/w.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- تعریف مسئله.....	۵
۱-۳- ضرورت انجام تحقیق.....	۶
۱-۴- اهداف تحقیق.....	۶
۱-۳- نحوه شکل گیری ایده.....	۷
۱-۵- روش تحقیق.....	۸
۱-۶- ساختار پایان نامه.....	۸
فصل دوم.....	۱۱
۲-۱- مقدمه.....	۱۲
۲-۲- سدهای خاکی و خاکی-سنگریزه ای.....	۱۲
۲-۲-۱- تعریف.....	۱۲
۲-۲-۲- دلایل استفاده روزافزون از سدهای خاگریزه ای.....	۱۲
۲-۳- انواع تغییر شکل در سدهای خاکی.....	۱۳
۲-۳-۱- تغییر شکل های مرحله ساخت.....	۱۴
۲-۳-۲- تغییر شکل های در حین آبیگری.....	۲۰
۲-۳-۳- تغییر شکل های بلند مدت.....	۲۸
۲-۴- عوامل مخرب سدها.....	۲۸
۲-۵- مرمت.....	۳۲
۲-۵-۱- توصیه های مهم در مرمت انواع سدها و سازه های منوط به آنها.....	۳۲
۲-۵-۲- انتخاب شیوه مرمت بر اساس شناخت عوامل وارد کننده خسارات.....	۳۴
۲-۵-۳- شیوه های مرمت خسارات ناشی از تغییرشکلها.....	۳۵

۳۵.....	۲-۵-۳-۱- شیوه مرمت لغزشها.....
۳۵.....	۲-۵-۳-۲- شیوه های مرمت خسارات ناشی از نشست ها.....
۳۶.....	۲-۵-۳-۳- شیوه های مرمت خسارات ناشی از قوس خوردگی ها.....
۳۶.....	۲-۵-۳-۴- شیوه های مرمت خسارات ناشی از ترک خوردگی در تاج و بدنه.....
۳۷.....	۲-۵-۳-۵- شیوه های مرمت خسارات ناشی از نشت آب.....
۳۸.....	۲-۶- ابزار و شیوه های بررسی و تحلیل عوامل واردکننده خسارات.....
۳۹.....	۲-۷- تئوری محاسبات پایداری بر اساس ترسیم قوس لغزش.....
۴۱.....	۲-۸- ضریب ایمنی در پایداری.....
۴۲.....	۲-۹- قوس لغزش.....
۴۳.....	۲-۱۰- مروری بر مطالعات پیشین.....
۴۳.....	۲-۱۰-۱- تغییر شکل.....
۴۵.....	۲-۱۰-۲- تحلیل پایداری شیروانی ها.....
۴۹.....	فصل سوم.....
۵۰.....	۳-۱- مقدمه.....
۵۰.....	۳-۲- موقعیت جغرافیایی پروژه سد شورک.....
۵۲.....	۳-۳- خلاصه مشخصات فنی سد.....
۵۴.....	۳-۴- معرفی نرم افزار Geostudio.....
۵۴.....	۳-۴-۱- مدل سازی عددی در نرم افزار Geostudio.....
۵۴.....	۳-۵- معرفی نرم افزار Slope/w.....
۵۵.....	۳-۵-۱- عوامل موثر بر پایداری شیب.....
۵۵.....	۳-۶- مدل سازی پروژه در Slope/w.....
۵۵.....	۳-۶-۱- ترسیم هندسه مدل گرافیکی.....
۵۵.....	۳-۶-۱-۱- ترسیم شکل اولیه مدل گرافیکی.....
۵۶.....	۳-۶-۱-۲- ترسیم المان های مدل گرافیکی.....
۵۶.....	۳-۶-۱-۳- تخصیص خصوصیات مصالح تعریف شده.....

۵۷.....	۳-۶-۲- تخصیص پارامترهای مصالح
۵۹.....	۳-۶-۳- انتخاب نوع تحلیل پایداری
۵۹.....	۳-۶-۴- تحلیل مدل گرافیکی و ارزیابی نتایج
۶۰.....	۳-۷- رئوس فعالیت های میدانی
۶۱.....	۳-۸- بررسی های دفتری و انجام فعالیتهای میدانی
۶۱.....	۳-۸-۱- بررسی گزارشها و آلبوم نقشه های موجود سد شورک
۶۳.....	۳-۸-۲- انجام فعالیتهای صحرایی
۶۳.....	۳-۸-۲-۱- کارهای سطحی روی تاج و بدنه سد
۷۰.....	۳-۸-۲-۲- نقشه برداری
۷۱.....	۳-۸-۳- برنامه ریزی عملیات ژئوتکنیک، حفاری و نمونه گیری
۷۱.....	۳-۸-۳-۱- انجام عملیات ژئوتکنیک، حفاری و نمونه گیری
۷۵.....	۳-۸-۳-۲- اهداف حفر ترانشه شناسایی
۷۶.....	۳-۸-۳-۳- تعیین محل حفر ترانشه شناسایی
۷۷.....	۳-۸-۳-۴- تعیین محل ریختن مایع رنگی
۷۸.....	۳-۸-۳-۵- مشخصات مایع رنگی و روش تهیه آن
۷۹.....	۳-۸-۳-۶- وظایف اساسی مایع رنگی
۸۰.....	۳-۸-۴- فعالیت های داخل ترانشه شناسایی
۸۰.....	۳-۸-۴-۱- مسیر یابی و اندازه گیری ها در داخل ترانشه شناسایی
۸۶.....	۳-۸-۴-۲- نمونه برداری و انجام آزمایشات برجا
۸۷.....	۳-۹- شیوه ی محاسبه ضریب ایمنی پایداری با استفاده از قوسهای لغزش
۸۸.....	۳-۱۰- روش ترسیم قوس لغزش بر اساس جدول (۳-۵) حاصل از شیوه پیشنهادی
۱۰۱.....	فصل چهارم
۱۰۲.....	۴-۱- بررسی عوامل اساسی ایجاد تغییر شکل در بدنه سد شورک
۱۰۳.....	۴-۱-۱- تحلیل نمودارهای تغییر شکل حاصل از ابزار دقیق و مقایسه آن با شیوه پیشنهادی
۱۰۳.....	۴-۱-۱-۱- نشست یا تغییر شکل قائم

۱۰۴.....	۴-۱-۱-۲- نشست هسته
۱۰۴.....	۴-۱-۱-۳- تحلیل نمودارهای تغییر شکل افقی هسته در مقاطع ۵-۵ و ۸-۸
۱۰۶.....	۴-۱-۲- عوامل بروز تغییر شکل ها در تاج و بدنه سد شورک
۱۰۶.....	۴-۱-۲-۱- عدم وجود منابع قرضه مناسب در محل پروژه
۱۰۷.....	۴-۱-۲-۲- عدم اتصال مناسب زون ها و قرارگیری لایه های نا همگون روی همدیگر
۱۰۸.....	۴-۱-۲-۳- نشست نا متقارن بدنه سد
۱۱۰.....	۴-۱-۲-۴- عدم کوبش مناسب سنگریزه ها
۱۱۰.....	۴-۲- تحلیل وضعیت قوس لغزش بدست آمده از نتایج حفاری
۱۱۱.....	۴-۳- نقد و بررسی سابقه تحلیل پایداری انجام شده جهت تعیین هندسه بدنه سد
۱۱۳.....	۴-۴- مدل سازی سد در SLOPE/W
۱۱۳.....	۴-۴-۱- ترسیم هندسه مدل گرافیکی
۱۱۳.....	۴-۴-۱-۱- ترسیم شکل اولیه مدل گرافیکی
۱۱۳.....	۴-۴-۱-۲- ترسیم المان های مدل گرافیکی
۱۱۴.....	۴-۴-۱-۳- تخصیص مصالح برای هر ناحیه
۱۱۴.....	۴-۴-۲- تخصیص خصوصیات مصالح
۱۱۶.....	۴-۴-۳- انتخاب نوع تحلیل پایداری
۱۲۴.....	۴-۵- تهیه طرح مرمت سد شورک
۱۲۵.....	فصل پنجم
۱۲۶.....	۵-۱- مقدمه
۱۲۶.....	۵-۲- نتیجه گیری
۱۲۶.....	۵-۲-۱- نتایج کلی از این تحقیق
۱۲۷.....	۵-۲-۲- نتایج کاربردی در مرمت سد خاکی-سنگریزه ای شورک
۱۲۸.....	۵-۲-۳- مقایسه نتایج ابزار دقیق با نتایج روش پیشنهادی
۱۲۹.....	۵-۲-۴- مقایسه نتایج و صحت سنجی روش پیشنهادی با روش های نرم افزاری
۱۲۹.....	۵-۳- پیشنهادات

- ۱۲۹..... ۵-۳-۱- پیشنهادات در زمینه استفاده از نتایج بدست آمده
- ۱۳۰..... ۵-۳-۲- پیشنهادات در زمینه طراحی و اجرای سدهای خاکی و خاکی سنگریزه ای
- ۱۳۰..... ۵-۳-۳- پیشنهادات در زمینه مرمت سدهای خاکی و خاکیسنگریزه ای
- ۱۳۳..... پیوست ها
- ۱۶۰..... مراجع
- ۱۶۳..... چکیده انگلیسی

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۲) - تغییر شکل ناهمسان قائم (نشست نامتقارن) بدنه سد در طول تاج.....	۱۴
شکل (۲-۲) - حرکات بدنه سد خاکی در حین ساخت.....	۱۶
شکل (۳-۲) نشست سد لانگوستورا - مکزیک - در حین ساخت.....	۱۶
شکل (۴-۲) قوس خوردگی بدنه سد در بالادست و پائین دست سد خاکی همگن.....	۱۸
شکل (۵-۲) قوس خوردگی هسته در داخل بدنه سد.....	۱۸
شکل (۶-۲) قوس خوردگی به داخل بدنه در شیب بالادست.....	۱۹
شکل (۷-۲) لغزش شیب بالا دست به داخل مخزن.....	۱۹
شکل (۸-۲) لغزش بدنه سد در شیب بالا دست.....	۲۰
شکل (۹-۲) حرکات بدنه سد طی مرحله آبیگری مخزن.....	۲۱
شکل (۱۰-۲) انواع ترک خوردگی در مقطع عرضی بدنه سد.....	۲۱
شکل (۱۱-۲) انواع ترک ها در پلان و مقاطع طولی و عرضی سد.....	۲۲
شکل (۱۲-۲) نشست بدنه سد لانگوستورا در حین آبیگری.....	۲۳
شکل (۱۳-۲) ناحیه مستعد نشست ناشی از رمبندگی در اثر آبیگری سد.....	۲۴
شکل (۱۴-۲) ایجاد قوس در محور سد خاکی.....	۲۴
شکل (۱۵-۲) نشست از کل بدنه و پی.....	۲۵
شکل (۱۶-۲) جوشش ماسه ای نقطه ای.....	۲۶
شکل (۱۷-۲) جوشش ماسه ای در مقیاس بزرگتر.....	۲۶
شکل (۱۸-۲) روان گرایی (Liquefaction) یا تخلیه ماسه ریزدانه از پی سد به طور موضعی.....	۲۷
شکل (۱۹-۲) جوشش ماسه ای (Sand boiling) از پی سد در مقیاس بزرگتر.....	۲۷
شکل (۲۰-۲) جهت حرکات عمومی مصالح در نیمرخ عرضی سد.....	۲۸
شکل (۲۱-۲) مکانیسم های مختلف خرابی سدهای خاکی.....	۳۰

شکل (۱-۳)	نمایی از پلان و موقعیت سد شورک در کشور ایران.....	۵۰
شکل (۲-۳)	نقشه راههای دسترسی به محل سد شورک شیروان.....	۵۱
شکل (۳-۳)	پلان هوایی سد شورک اقتباس شده از تصویر ماهواره ای.....	۵۱
شکل (۶-۳)	مقطع عرضی سد شورک.....	۵۳
شکل (۷-۳)	نمای جانبی سد شورک - دید از سمت تکیه گاه راست.....	۵۳
شکل (۸-۳)	شکل اولیه ترسیم شده برای مدل گرافیکی.....	۵۶
شکل (۹-۳)	ترسیم المان های مدل گرافیکی.....	۵۶
شکل (۱۰-۳)	جعبه Draw Materials.....	۵۷
شکل (۱۱-۳)	نمایش نحوه تخصیص مصالح.....	۵۷
شکل (۱۲-۳)	معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Basic.....	۵۷
شکل (۱۳-۳)	معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Suction.....	۵۸
شکل (۱۴-۳)	معرفی پارامترهای مصالح در قسمت R Envelope.....	۵۸
شکل (۱۵-۳)	معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Liquefaction.....	۵۸
شکل (۱۶-۳)	معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Advanced.....	۵۸
شکل (۱۷-۳)	نمایش زیر منوی Slip Surface از منوی Analyses.....	۵۹
شکل (۱۸-۳)	نمایش منوی Solve.....	۵۹
شکل (۱۹-۳)	جابجایی های عمودی و افقی در محل دهانه ترک.....	۶۴
شکل (۲۰-۳)	اثر قوسی شکل ناشی از ترک خوردگی.....	۶۴
شکل (۲۱-۳)	لغزش قوسی شکل در بالادست.....	۶۵
شکل (۲۲-۳)	محدوده ترک خوردگی در شیب پایین دست.....	۶۵
شکل (۲۳-۳)	محدوده ترک خوردگی روی تاج به شکل خط مستقیم.....	۶۶
شکل (۲۴-۳)	بخشی از محدوده ترک خوردگی روی تاج به شکل قوس خارجی.....	۶۷
شکل (۲۵-۳)	محدوده بالآمدگی تخته های بتنی روی تاج.....	۶۸
شکل (۲۶-۳)	محدوده بالآمدگی تخته های بتنی روی تاج از اثر تنش های فشاری.....	۶۸
شکل (۲۷-۳)	نشست موضعی تاج سد به شکل پلکان با جابجایی همزمان به سمت بالادست.....	۶۹

- شکل (۳-۲۸) قوسخوردگی نرده‌های روی تاج سد از اثر تنشهای فشاری..... ۶۹
- شکل (۳-۲۹) جدا شدن جدول روی تاج سد از تخته‌های بتنی پیاده رو از اثر تنشهای فشاری..... ۶۹
- شکل (۳-۳۰) عریض شدن تاج سد در اثر تغییر شکل‌های افقی نزدیک به تکیه گاه چپ..... ۷۰
- شکل (۳-۳۱) عریض شدن تاج سد در اثر تغییر شکل‌های افقی در بخش میانی تاج..... ۷۰
- شکل (۳-۳۲) نمودار برنامه ریزی عملیات ژئوتکنیک حفاری و نمونه گیری..... ۷۳
- شکل (۳-۳۳) الف: حفر ترانشه در محل TR1 ب: حفر ترانشه در محل TR2..... ۷۷
- شکل (۳-۳۴) شبیه سازی محل ریختن مایع رنگی و حفر ترانشه..... ۷۸
- شکل (۳-۳۵) مدلسازی شیوه ریختن مایع رنگی و حفر ترانشه..... ۷۸
- شکل (۳-۳۶) اندازه گیری عمق نفوذ مایع رنگی و ارتفاع ترک در داخل ترانشه شناسایی..... ۸۱
- شکل (۳-۳۷) اندازه گیری طول ترکها در داخل ترانشه شناسایی..... ۸۱
- شکل (۳-۳۸) اندازه گیری عرض بازشدگی ترکها در داخل ترانشه شناسایی..... ۸۲
- شکل (۳-۳۹) اندازه گیری عرض بازشدگی ترکها در داخل ترانشه شناسایی..... ۸۲
- شکل (۳-۴۰) اندازه گیری فاصله ترک نسبت به محور قائم ثابت در داخل ترانشه شناسایی..... ۸۳
- شکل (۳-۴۱) اندازه گیری فاصله ترک نسبت به محور قائم ثابت در داخل ترانشه شناسایی..... ۸۴
- شکل (۳-۴۲) اندازه گیری فاصله ترک نسبت به محور قائم ثابت در داخل ترانشه شناسایی..... ۸۴
- شکل (۳-۴۳) انجام آزمایشات مورد نیاز در داخل ترانشه شناسایی..... ۸۶
- شکل (۳-۴۴) شبیه سازی ترانشه حفر شده در محل TR1 با استفاده از مختصات قوس لغزش، اندازه گیری شده در داخل ترانشه..... ۹۰
- شکل (۳-۴۵) مدلسازی گرافیک بخشی از قوس لغزش TR1..... ۹۱
- شکل (۳-۴۶) موقعیت قوس لغزش روی محور سد در محل TR1 با شعاع R1..... ۹۲
- شکل (۳-۴۷) انطباق قوس لغزش در محل TR1 روی محور سد با شعاع R1..... ۹۲
- شکل (۳-۴۸) موقعیت قوس لغزش در حد فاصل تاج و شیب پائین دست در محل TR1 با شعاع R2..... ۹۳
- شکل (۳-۴۹) انطباق قوس لغزش در محل TR1 در حد فاصل تاج و شیب پائین دست با شعاع R2..... ۹۳
- شکل (۳-۵۰) موقعیت قوس لغزش روی شیب پائین دست در محل TR1 با شعاع R3..... ۹۴
- شکل (۳-۵۱) انطباق قوس لغزش در محل TR1 روی شیب پائین دست با شعاع R3..... ۹۴

- شکل (۳-۵۲) موقعیت قوس های لغزش در نقاط مختلف و تجميع خروجی آنها در یک نقطه در محل TR_1 ۹۵
- شکل (۳-۵۳) انطباق قوس های لغزش روی مقطع عرضی در محل TR_1 و تجميع خروجی آنها در یک نقطه.. ۹۵
- شکل (۳-۵۴) شمای محاسبهای K_c نظر به موقعیت قوس لغزش و قاچهای با عرض $b=0.1R_1$ ۹۶
- شکل (۴-۱) پلان نقشه برداری عمومی بدنه سد و محدوده قوس خوردگی به بیرون در شیب بالادست..... ۱۰۵
- شکل (۴-۲) جزئیات محدوده قوس خوردگی به بیرون در شیب بالادست..... ۱۰۶
- شکل (۴-۳) مقطع عرضی زون بندى شده بدنه سد شورک با احجام اجرایی آن..... ۱۰۹
- شکل (۴-۴) شکل اولیه ترسیم شده برای مدل گرافیکی..... ۱۱۳
- شکل (۴-۵) ترسیم المان های مدل گرافیکی..... ۱۱۳
- شکل (۴-۶) نمایش نحوه تخصیص مصالح برای هر ناحیه..... ۱۱۴
- شکل (۴-۷) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Basic..... ۱۱۴
- شکل (۴-۸) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Suction..... ۱۱۴
- شکل (۴-۹) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت R Envelope..... ۱۱۵
- شکل (۴-۱۰) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Liquefaction..... ۱۱۵
- شکل (۴-۱۱) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Advanced..... ۱۱۵
- شکل (۴-۱۲) تعیین محل شروع و پایان سطح لغزش..... ۱۱۶
- شکل (۴-۱۳) تعیین محل شروع و پایان سطح لغزش..... ۱۱۷
- شکل (۴-۱۴) نمایش مدل گرافیکی سد پس از آنالیز و تحلیل..... ۱۱۸
- شکل (۴-۱۵) نمایش تمامی ضرایب اطمینان و ضریب اطمینان بحرانی..... ۱۱۹
- شکل (۴-۱۷) نمایش مدل گرافیکی سد پس از آنالیز و تحلیل..... ۱۲۲
- شکل (۴-۱۸) نمایش تمامی ضرایب اطمینان و ضریب اطمینان بحرانی..... ۱۲۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) مکانیسم های خرابی سدهای خاکی و روشهای جلوگیری از آنها.....	۳۱
جدول (۱-۳) خلاصه مشخصات فنی سد شورک.....	۵۲
جدول (۲-۳) رابطه تغییرات فاصله قوس لغزش (x) از محور قائم (y).....	۸۵
جدول (۳-۳) مشخصات فیزیکی مکانیکی مصالح بدنه سد.....	۸۷
جدول (۴-۳) اندازه های ارتفاعی خاکهای مختلف که در بدنه سد استفاده شده است.....	۹۷
جدول (۵-۳) جدول محاسبه ای ضریب پایداری K_c بر اساس رابطه (۴-۱۲) برای حالت بعد از ساخت سد شورک.....	۹۹
جدول (۱-۴) میزان نشست بدنه سد شورک حاصل از پردازش داده های ابزار دقیق.....	۱۰۳
جدول (۳-۳) مشخصات فیزیکی مکانیکی مصالح بدنه سد.....	۱۱۵
جدول (۱-۵) مقایسه نتایج ابزار دقیق و روش پیشنهادی.....	۱۲۸
جدول (۲-۵) نمایش ضرایب اطمینان بحرانی با روشهای مختلف.....	۱۲۹

فصل اول کلیات

۱-۱- مقدمه

کشور ایران روی بخش نسبتاً خشک کره زمین قرار دارد. برنامه‌ریزی و مدیریت استفاده از منابع موجود آب امری حیاتی محسوب می‌شود و مهار سیلاب‌ها و آب‌های جاری به کمک احداث سد (سازه-هایی به منظور ذخیره‌سازی آب برای مقاصد مختلف) از امور زیربنایی در رشد و توسعه ایران به شمار می‌رود [۱].

مهار و ذخیره آب‌های سطحی در جهان و بخصوص در کشور ایران که اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارد، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. ذخیره آب با احداث سدها، مخصوصاً سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای که از نظر تکنولوژی اجرا، ساده و کم هزینه ترند، بیشتر مورد توجه است [۱].

از طرفی آمار سدهای دنیا و سدهای داخلی نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد (در بعضی از کشورها تا ۹۰ درصد) سدها از نوع خاکی و سنگریزه‌ای است. سدهای خاکی از جمله سازه‌های مهم و عظیمی هستند که نه تنها پی آنها روی مصالح طبیعی خاکی و سنگی قرار دارد، بلکه مواد اولیه ساخت آنها نیز از مصالح طبیعی خاکی یا سنگی می‌باشد. مزیت زیاد سدهای خاکی باعث شده تا بیش از ۷۰ درصد سدهای موجود در دنیا از این نوع باشد [۲].

چنانچه مبرهن است در طراحی و محاسبات سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای از مصالح و منابع قرضه‌ای استفاده می‌شود که در محدوده اجرای پروژه قابل دسترسی است. مهندسين و طراحان سعی می‌نمایند تا ابعاد و هندسه بدنه سد را طوری محاسبه و طرح نمایند که دارای بهینه‌ترین و مناسب‌ترین حجم و در مقابل تأثیرات عوامل مخرب درونی و بیرونی پایدار و استوار باشد. مشخصه مناسب‌ترین و بهینه‌ترین حجم و پایداری با فاکتورهای اقتصادی و ضرایب پایداری در شرایط مختلف محک زده می‌شود. مناسب‌ترین مقطع عرضی آن است که دارای کمترین حجم مواد و مصالح بوده و شبیه‌های آن در برابر تأثیر نیروهای مخرب، پایداری لازم و کافی را داشته باشد [۱].

سدهایی که با لحاظ کردن کلیه ضوابط و رعایت تمام قواعد طراحی می‌شوند، اگر در اجرا نیز موارد مذکور مورد توجه قرار گیرند، سازه بدنه سد به طور مطمئن دارای عملکرد مناسب خواهد بود. باید گفت جهت جلوگیری از صرف هزینه‌های زیاد، بسیاری از خواسته‌ها از نظر ضوابط مهندسی استاندارد شده و محدودیت‌های مذکور در طراحی و اجرا در حد مجاز اعمال می‌شود، علی‌رغم این همه دقت نظرها، به

علت اینکه عوامل تهدید کننده‌ی پایداری سدها فوق العاده زیاد و برخی از آنها هنوز ناشناخته و فرمول-بندی نشده است، بروز تغییر شکل‌ها در بدنه و در نتیجه آسیب‌پذیری آنها اغلب متصور است [۱].

منظور از پایداری^۱ همان حفظ شرایط و ایستادگی سد در مقابل نیروهاست. پایداری می‌تواند استاتیکی یا دینامیکی باشد [۳].

منظور از پایداری استاتیکی یک سد خاکی، حفظ تعادل و جلوگیری از حرکت اجزای یک سد خاکی در مقابل نیروهای استاتیکی و وارده است. به عبارت دیگر، یک سد خاکی وقتی در حال تعادل پایدار است که در هر قسمت از سد برابند تنش‌های اعمال شده کوچکتر از مقاومت بسیج شده در آن قسمت باشد. بنابراین، مشاهده می‌شود که پایداری سد خاکی یک مسئله نسبی است و بر حسب تغییر نسبی مقادیر نیروهای مخرب و نیروهای مقاوم، درجات مختلفی از پایداری می‌تواند وجود داشته باشد. از این رو در طراحی سدهای خاکی میزان نسبی پایداری با معیاری به نام ضریب اطمینان^۲ سنجیده می‌شود و هرچه این ضریب بالاتر باشد منعکس کننده درجه پایداری بیشتری خواهد بود [۳].

بدیهی است که پایداری کلیه سازه‌ها منجمله بدنه سد نیز تا حد مجاز محدود می‌شود. این محدودیت‌ها و اعمال فاکتورهای استاندارد باعث می‌شود که بسیاری از سدهای خاکی و خاکی سنگریزه-ای در طول دوره بهره‌برداری آسیب ببینند و به علت آسیب دیدگی از زنجیره بهره‌برداری خارج شوند [۱].

به منظور اینکه سدهای آسیب دیده دوباره در شرایط مناسب و بی خطر بهره‌برداری قرار گیرند، باید بازسازی و مرمت شوند، پایداری آنها در مقابل عوامل مختلف دوباره تامین و سلامت آنها تضمین گردد. این مهم می‌تواند تنها در صورت شناخت عوامل آسیب‌رسان و تعیین دقیق محدوده آسیب‌دیدگی در بدنه سد امکان پذیر باشد. آسیب‌ها به شکل ترک‌خوردگی، گسیختگی، نشست و سایر موارد دیگر که منتج به جابجایی و لغزش شیب‌های بدنه می‌شود، بروز می‌نماید [۱].

لغزش شیب‌های بدنه سد عمدتاً به شکل قوس‌هایی که بخشی از یک دایره می‌باشد، صورت می‌پذیرد. این قوس‌ها به نام قوس لغزش در سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای معروف بوده و با استفاده از

1 - Stability

2 - FoS: Factor of Safety

فرمول‌های پایداری به طور تئوریک قابل ترسیم، تحلیل و بررسی می‌باشد و نرم افزارهای متعددی نیز در این زمینه تهیه شده است [۱].

مطالعات اولیه سد شورک شیروان طی سالهای ۱۳۷۳-۱۳۷۵ از طرف شرکت آب منطقه ای خراسان شروع شده و در اواخر سال ۱۳۷۵ پس از انجام مطالعات بازنگری مرحله دوم توسط شرکت مهندسين مشاور مه‌اب قدس وارد مرحله اجرایی شده و طی سال های ۱۳۷۵-۱۳۷۸ عملیات نقشه‌برداری و ژئوتکنیک آن انجام شد و در سال ۱۳۸۳ مرحله ساخت سد شورک به پایان رسید [۴].

به دلیل کمبود نزولات آسمانی و نبود رواناب، سد مذکور تنها به مقدار کمی آب که ناشی از بارندگی مقطعی در حوضه بوده و تا تراز نزدیک به تاج فراز بند تنها یک بار آبگیری شده است. در سال ۱۳۸۵ وقوع ترکها در تاج گزارش شده و در سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶ ترمیم اولیه به علت عمق کم ترک ها روی تاج که تا ۴ متر می رسید، به مرحله اجرا در آمد. بعد از آن افزایش ابعاد و مقدار ترکها در عمق و سطح رو به گسترش گذاشته و مطابق به تحلیل و پردازش اطلاعات ابزار دقیق سد مذکور عمق ترکها تا ۲۰ متری تخمین زده شده است [۴].

با توجه به موارد فوق بهره برداری سد شورک با ابهام و پرسش هایی مواجه شد و بدین دلیل کارفرما (شرکت آب منطقه ای خراسان شمالی)، مطالعات و ارائه طرح مرمت سد را به شرکت های مهندسين مشاور واگذار نمود. طی گذشت چند سال نظریات و پیشنهادات متعددی از طرف شرکت های مذکور جهت تحلیل و بررسی عوامل ایجاد تغییر شکل و همچنین ارائه طرح مرمت بدنه سد ارائه گردید [۴].

با بررسی هایی که بعمل آمد طرح های پیشنهادی این شرکت ها جوابگوی کلیه خواسته‌های کارفرما نبود. بدین منظور برای تحلیل بیشتر عوامل و علل ایجاد ترکها و تغییر شکلهای این پروژه طرحی نوین و کارآمد به کارفرما پیشنهاد گردید. طرح ارائه شده دارای محاسن زیاد از جمله هزینه کم، قابل اجرا و همچنین به علت عینی بودن از صحت و دقت زیادی نیز برخوردار بوده و قابلیت مقایسه با روشهای تئوریک و نرم افزاری را دارا می باشد، که همین امر باعث جلب توجه کارفرما جهت پذیرش این طرح شد.

این طرح تحت عنوان "ارائه روش نوین در تعیین قوس لغزش با استفاده از حفر ترانشه شناسایی و مایع رنگی و مقایسه آن با شیوه های تئوریک (مطالعه موردی سد شورک شیروان)" ارائه گردید.

۱-۲- تعریف مسئله

امروزه ثابت شده است که رفتار سدهای خاکی در مقابل نیروهای دینامیکی، پیچیدگی‌های خاصی دارد و ارزیابی آن نیازمند تحلیل دقیق و علمی موضوع است. برای سال‌های متمادی، طراحی سدهای خاکی عمدتاً بر مبنای جلوگیری از تراوش آب از داخل بدنه سد و پایداری شیروانی‌ها در برابر لغزش انجام گرفته است که هدف از تحلیل پایداری شیروانی‌ها یافتن ضریب اطمینان مناسب برای تامین پایداری ایمن و در عین حال اقتصادی آن می‌باشد.[۱].

اما آنچه که امروز شاهد آن هستیم وجود نواقص بسیار در این بخش است که اکثراً در مرحله بهره برداری مشخص شده و غیر قابل جبران می‌باشند. این نقیصه ها محصول روشها، کارکردها و نظارت های نادرست در مراحل مطالعات و طراحی، عقد قرارداد، نصب و نظارت بر نصب، و بهره برداری می‌باشد[۲].

همراه با پیشرفت صنعت سدسازی و ساخت سدهای بلند، مشکلات فراوانی در اجرا و نگهداری این سدها بوجود آمده است. از جمله‌ی این مشکلات، مسئله پایداری شیروانی‌ها در سدهای خاکی بود. از جمله خرابی‌های مهم ناشی از این امر در سدهای خاکی می‌توان به سدهای خاکی سد خاکی وایونت^۳ ایتالیا در سال ۱۹۶۳ و همچنین سد خاکی تتون^۴ در ایالت آیداهو آمریکا در سال ۱۹۶۷ اشاره کرد[۴]. در سدهای خاکی به علل مختلف مانند عدم تخمین مناسب در مشخصات اولیه خاک، عدم شناسایی و بررسی‌های کافی در این زمینه و تغییر پارامترهای خاک با گذشت زمان و یا عوامل محیطی دیگر مانند زلزله، خاک مقاومت برشی لازم جهت پایداری در شیب های طرفیت سد خاکی را از دست می‌دهد و لذا دامنه‌ی سدهای خاکی گسیخته می‌شود و خسارات جبران ناپذیری به جا می‌گذارد. با توجه به

3 -Vajont Dam

4 -Teton Dam

این امر توجه ویژه به بحث پایداری شیروانی‌ها و همچنین تعیین و تخمین دقیق سطوح گسیختگی شیب‌ها امری مهم به شمار می‌آید.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

به منظور ذخیره آب‌های سطحی جهت مصارف گوناگون، طراحی سدهای خاکی بلند با افزایش چشمگیری همراه بوده است. مرور مراجع حاکی از آن است که در سال‌های اخیر و با پیشرفت علم مهندسی سدسازی خصوصا در بخش استفاده از ابزار دقیق تعبیه شده در بدنه سد و همچنین استفاده از نرم افزارهای موجود جهت مدلسازی در بحث پایداری سدهای خاکی در دو حالت استاتیکی و دینامیکی و نیز بررسی عوامل ایجاد تغییر شکل در بدنه سد و همچنین تعیین و ترسیم سطوح گسیختگی (قوس لغزش) احتمالی مطالعات فراوانی صورت گرفته است و بررسی‌های مفصلی در رابطه با تاثیر پارامترهای مختلف بر روی پایداری شیروانی سدهای خاکی انجام شده است. این در حالیست که بررسی عوامل ایجاد تغییر شکل و همچنین تعیین و ترسیم این قوس‌های لغزش تا کنون به صورت واقعی و عملی انجام نشده است.

در این پایان نامه سعی به عمل آمده است تا با ارائه روشی نوین، عینی، دقیق و در عین حال ساده، ارزان و کاربردی عوامل ایجاد تغییر شکل در بدنه سدهای خاکی (سد شورک شیروان) را بررسی نموده پس از آن با استفاده از نتایج و داده‌های بدست آمده از آزمایشات درجا و اطلاعات گذشته قوس لغزش ایجاد شده را تعیین و ترسیم می‌نماییم و در نهایت محاسبات پایداری شیب‌ها و مدل سازی نرم‌افزاری بدنه سد به وسیله نرم‌افزار SLOPE/W انجام می‌گیرد.

۱-۴- اهداف تحقیق

به طور کلی اهداف اصلی این پایان نامه را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

- ۱- تدقیق بیشتر این روش نوین بعنوان یک شیوه مطمئن شناسایی عوامل اساسی در تغییر شکل بدنه سد در شرایط آسیب دیدگی، با توجه به عینی بودن آن در سازه سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای.

- ۲- بررسی و تحلیل عوامل ایجاد تغییر شکلهای لغزشها و جابجاییها با استفاده از ریختن مایع رنگی بمنظور مسیریابی ترکها و حفر ترانشه شناسایی در صورت عدم وجود ابزار دقیق.
- ۳- راست آزمایی استفاده از مصالح و مواد ساختمانی مناسب در اجرای پروژه.
- ۴- مدلسازی و ترسیم عینی قوس لغزش در بدنه سدهای خاکی در صورت عدم وجود ابزار دقیق و مقایسه آن با نتایج محاسباتی در طراحی بدنه سد بر اساس محاسبات پایداری.
- ۵- تهیه طرح مناسبترین روش مرمت و بازسازی و اجرای آن با هدف احیای مجدد پروژه جهت بهره‌برداری با دقت کافی.
- ۶- استفاده از نتایج و پیشنهادات نهایی طرح ارائه شده در بهبود و تجدید نظر در طراحی سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای.
- ۷- مدل سازی نرم‌افزاری بدنه سد جهت ترسیم قوس لغزش و انجام محاسبات پایداری به کمک نرم‌افزار Slope/w - Geo studio.

۳-۱- نحوه شکل‌گیری ایده

طراحی و اجرای سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای با تنوع و فراوانی شرایط توپوگرافی و زمین-شناسی و دیگر مبانی اطلاعاتی، دست اندرکاران و طراحان این سدها را به این امر واداشته است تا پیوسته شیوه‌های محاسبه‌ای را با استفاده از رابطه‌های موجود در قالب نرم افزارهای متعدد و مختلف بهبود بخشیده و ریسک محاسبه‌ای را به حداقل برسانند و ضمناً در دوران بهره‌برداری با استفاده از ابزار دقیق تعبیه شده در بدنه سد، رفتار سد را در مقابل عوامل مخرب رفتار سنجی نماید.

لازم به ذکر است که ابزار دقیق و یا ابزار آلات رفتار سنجی سدها اکثراً مربوط به سه یا حداقل دو دهه اخیر بوده و استفاده از آنها توسعه پیدا نموده است. لذا تعداد زیادی از سدهایی که تا کنون طراحی و اجرا شده و به علت کوچک و یا کوتاه بودن (زیر ۲۰ متر) به ابزار بندی آنها توجه نشده و اکثراً بدون ابزار دقیق می باشند و لذا نبود آنها عمدتاً از جمله موانع اساسی جهت تحلیل عوامل تغییر شکل سدها به شمار می رود. بنابراین کمبود و یا نبود ابزار دقیق، هزینه بر بودن آنها، انحصاری بودن شیوه نصب و

اجرا و حتی جمع آوری اطلاعات اولیه و پردازش داده های آنها از عوامل اساسی بود، که ایده ابداع این شیوه نوین جهت بررسی عوامل تغییر شکل ها در صورت نبود ابزار دقیق، را به میان آورد [۷].

با توجه به اینکه حفر ترانشه در سد خاکی شهید پارسای فردوس با استفاده از مایع رنگی بمنظور تهیه مناسب ترین شیوه مرمت مورد استفاده قرار گرفته است مشابه آن، ایده ترسیم عینی قوس لغزش برای اولین بار در سد شورک شیروان علی رغم اینکه هدف آن تهیه مناسب ترین طرح مرمت می باشد، جهت مقایسه آن با شیوه های ترسیم تئوریک و نرم افزاری به میان آمد.

سد شهید پارسا بدون ابزار دقیق از خاک مشابه با شرایط همگن اجرا شده که مشخصات فنی و شرح شیوه مذکور به عنوان مستندات تحقیقاتی در این تحقیق مورد استفاده قرار خواهد گرفت. پس از اجرای طرح مرمت در سد مذکور نتایج بسیار مناسب و رضایت بخش بدست آمد که عمده ترین آن بازگشت سد آسیب دیده به چرخه بهره برداری می باشد.

۱-۵- روش تحقیق

در این تحقیق از مدل سازی عددی برای محاسبه ضریب پایداری بدنه سد آسیب دیده که با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمایشات در جای ژئوتکنیکی مصالح موجود در بدنه سد بدست می آید و همچنین ترسیم قوس لغزش به روش کاملاً عینی و مشاهداتی با استفاده از حفر ترانشه شناسایی و مایع رنگی که روشی نوین در زمینه ترسیم قوس لغزش در صورت عدم وجود ابزار دقیق در بدنه سدهای خاکی، می باشد استفاده شده است که نتایج بدست آمده در این روش با روشهای تئوریک محاسباتی و نرم افزارهای ترسیمی از جمله Slope/w که یکی از زیرمجموعه های نرم افزار GeoStudio می باشد و برای بررسی پایداری سطوح شیبدار و تعیین ضریب اطمینان (F.S) در طراحی شیب به کار می رود، صحت سنجی شده است.

۱-۶- ساختار پایان نامه

این پایان نامه در قالب ۵ فصل طراحی شده است که مباحث ذکر شده در فصل ها به صورت زیر می باشد.

فصل اول : در این فصل بیان کلیاتی در مورد تحقیق و ضرورت و اهداف انجام تحقیق ارائه شده است.

فصل دوم : در این فصل ابتدا به معرفی سدهای خاکی و انواع آن، معرفی انواع تغییر شکلها^۵ و عوامل بوجود آورنده آنها در بدنه سدهای خاکی، معرفی مرمت و شیوه های مرمت، سپس تئوری محاسبات پایداری و در نهایت مروری بر مطالعات پیشین در دو بخش تغییر شکل ها و تحلیل پایداری ارائه شده است.

فصل سوم : در این فصل ابتدا به معرفی سد شورک شیروان و سپس به معرفی نرم افزار Slope/w که یکی از زیرمجموعه های نرم افزار Geostudio می باشد، پرداخته شده و در انتها به ارائه رؤس فعالیتهای انجام شده و تشریح آنها پرداخته شده است.

فصل چهارم : در این فصل ابتدا به بیان شیوهی محاسبه ضریب اطمینان پایداری با استفاده از قوس لغزش و روش ترسیم و مدل سازی قوس لغزش پرداخته، سپس جزئیات مربوط به اندازه گیری قوس در داخل ترانشه، عوامل ایجاد تغییر شکل، تحلیل نمودارهای تغییر شکل حاصل از ابزار دقیق را بررسی و در نهایت به تحلیل وضعیت قوس لغزش بدست آمده از نتایج حفاری پرداخته شده است.

فصل پنجم : در این فصل به ارائه طرح مرمت برای سد شورک و همچنین نتیجه گیری نهایی و ارائه پیشنهادات برای توسعه تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم

مروری بر ادبیات فنی و مفاهیم اولیه

۲-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی سدهای خاکی و انواع آن، معرفی انواع تغییر شکلها و عوامل بوجود آورنده آنها در بدنه سدهای خاکی، معرفی مرمت و شیوه های مرمت و تئوری محاسبات پایداری و در نهایت مروری بر مطالعات پیشین در دو بخش تغییر شکل ها و تحلیل پایداری ارائه شده است.

۲-۲- سدهای خاکی و خاکی-سنگریزه ای

۲-۲-۱- تعریف

سدهای ساخته شده از مصالح حاصل از خاکبرداری، بدون اضافه کردن هرگونه مصالح چسباننده مصنوعی، سدهای خاکریزه ای^۶ نامیده می شوند. در چنین سدهایی مصالح طبیعی بدون اضافه کردن هرگونه مصالح چسباننده، به صورت لایه لایه (و گاه به صورت توده) ریخته شده و توسط ماشین آلات سنگین کوبیده و متراکم گردند.

سدهای خاکریزه ای به دو دسته مهم سدهای خاکی^۷ و سدهای سنگریزه ای^۸ تقسیم می شوند. سد خاکی سدی است که بیش از ۵۰٪ مصالح آن را خاک متراکم شده تشکیل دهد و سد سنگریزه ای سدی است که بیش از ۵۰٪ مصالح به کار رفته، مصالح سنگی است [۵].

۲-۲-۲- دلایل استفاده روزافزون از سدهای خاکریزه ای

دلایل متعددی برای استفاده از سدهای خاکریزه ای وجود دارد که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- مناسب بودن دامنه ی وسیعی از عرض دره از دره های عریض تا گلوگاه های با شیبهای دامنه نسبتا تند.

۲- مناسب بودن برای طیف وسیعی از وضعیت شالوده از بستر سنگی تا نهشته های نرم با قابلیت فشرده گی یا خاک نسبتا نفوذپذیر.

۳- امکان استفاده از مصالح طبیعی که از منابع قرضه ی نزدیک محل سد به دست می آید.

6 - Embankment dam

7- Earth dam

8- Rockfill dam

۴- قابلیت انعطاف طراحی برای انواع مختلف مصالح از مصالح خاکی تا مصالح سنگی

۵- قابلیت ماشینی کردن عملیات اجرایی

۶- عدم نیاز به تکنولوژی و مهارت های نسبتا بالا جهت اجرا

و ... [۵].

۲-۳- انواع تغییر شکل در سدهای خاکی

طی سالها متمادی طراحی سدهای خاکی عمدتا بر مبنای کنترل پایداری و حفظ آن در مقابل لغزش شیبها صورت می گرفت. با این وجود در سالهای اخیر روشن شده است که تغییرشکلها و نشست ایجاد شده در داخل بدنه و پی سد اهمیت بسیار زیادی دارد و طراحی باید به گونه ای صورت گیرد که از ایجاد تغییر شکل در سد جلوگیری و در صورت ایجاد کنترل شود. تغییرشکلهای ایجاد شونده در یک سد خاکی به لحاظ زمان وقوع در ۳ گروه جای می گیرند [۹، ۱۰]:

الف: تغییر شکلهای ایجاد شده طی زمان ساخت که خود شامل چند رده هستند:

- نشست متقارن
- نشست نامتقارن
- ترک ناشی از نشست نامتقارن و قوس زدگی (ترک کششی)
- قوس زدگی یا طاق زدگی^۹ ناشی از مصالح متفاوت در مناطق مختلف بدنه سد
- لغزش

ب: تغییر شکلهای ناشی از آبیگری مخزن که خود شامل چند رده است:

- تغییرشکل در امتداد شیب های سد به صورت نشست و ترک کششی.
- تغییر شکل های ناشی از تخریب ساختمان خاک در پوسته بالا دست یا رمبندگی^{۱۰} بر اثر غرقاب شدن و به عبارتی ایجاد نشست ناشی از رمبندگی مصالح و نشست در پایین دست بدنه به علت حرکت ذرات ریز از بین ذرات درشت^{۱۱}.

9 - Arching

10 - Collapse

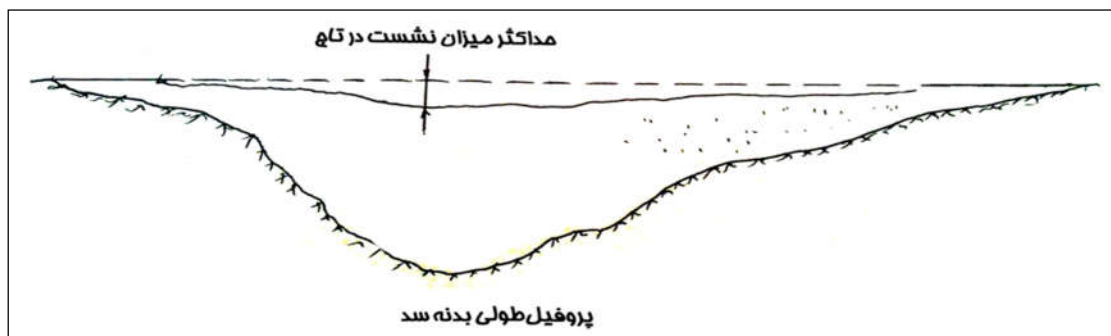
11 - Migration

- فرسایش داخلی^{۱۲}

پ: تغییر شکل های بلند مدت ناشی از تحکیم^{۱۳} و خزش^{۱۴} [۹، ۱۰].

۲-۳-۱- تغییر شکلهای مرحله ساخت

به هنگام ساخت بدنه یک سد خاکی یا سنگریزه ای، وزن مصالح و افزایش تدریجی آن (با افزایش ارتفاع سد) موجب نشست بدنه می شود. نشست عبارت است از تغییر محل قائم بدنه سد در تمام طول تاج و یا برخی از آن که در اثر تراکم پذیری و یا تحکیم پذیری بیشتر از زمان اجرا صورت می پذیرد. نشست ها همسان، متقارن و یا نامتقارن بوده که با توجه به شرایط پی و تکیه گاهها در یک قسمت بیشتر و در بعضی جاها کمتر بروز می نماید. در صورت نشست نامتقارن، تنش های کششی و یا فشاری ایجاد گردیده که باعث ایجاد ترکهای طولی و عرضی در بدنه می گردد. نشست بیشتر عمدتاً در مقاطع عرضی با ارتفاع حداکثر متصور است. شکل (۱-۲) تغییر محل قائم بدنه سد را در طول تاج نشان می دهد. در شکل (۲-۲) حرکات داخلی ایجاد شده در یک سد خاکی در حین ساخت به صورت تیپ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، تغییر شکل های افق و قائم تقریباً هر دو به صورت سهمی در مقطع سد تغییر نموده و حداکثر مقادیر در حدود میانه ارتفاع سد رخ می دهد [۱۱].



شکل (۱-۲) - تغییر شکل ناهمسان قائم (نشست نامتقارن) بدنه سد در طول تاج

چنانچه سد خاکی در یک دره باریک با مقطع V احداث شود، مقدار نشست در قسمت وسط (بدلیل عمق بیشتر مصالح نشست پذیر) بیشتر است و در جناحین مقادیر کمتری را خواهد داشت. این امر خود ممکن است به ایجاد ترک های کششی در حد فاصل دو محدوده منجر شود (قسمت الف شکل ۲-۲).

12 - Internal erosion

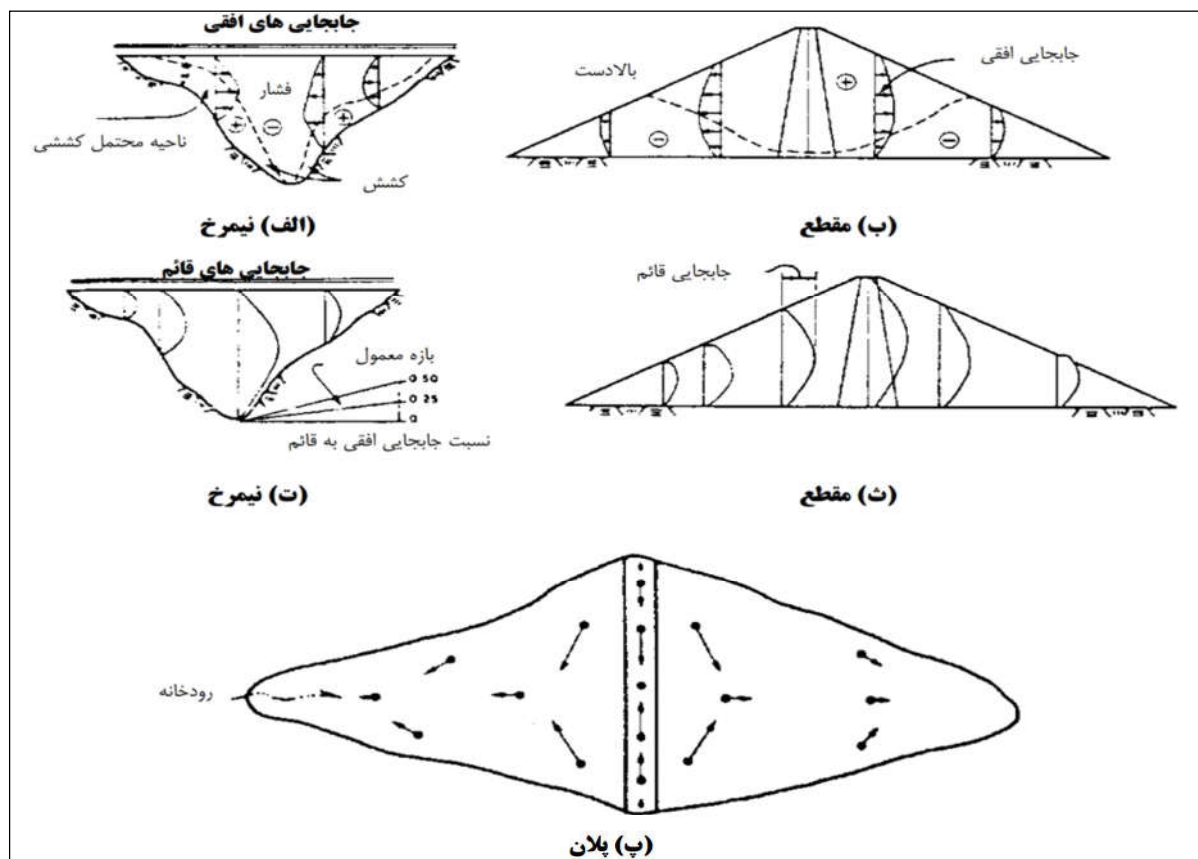
13 - Consolidation

14 - Creep

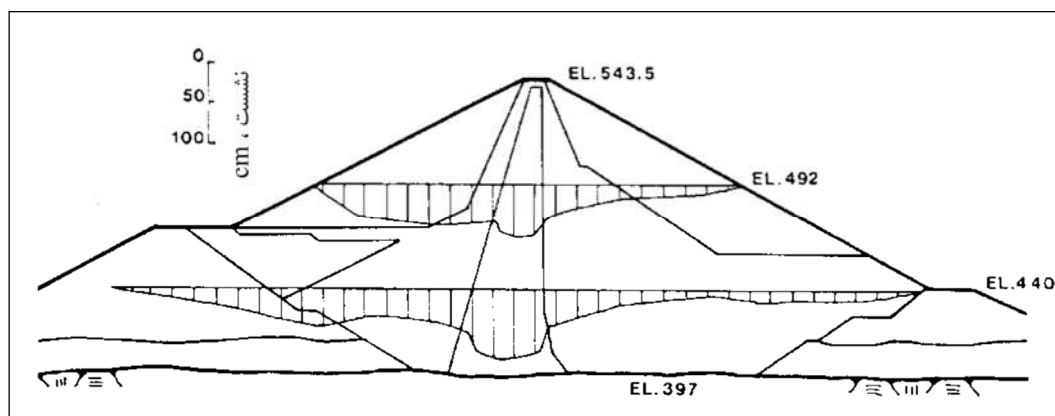
این نوع ترک کششی معمولاً به صورت عرضی و در جهت عمود بر محور سد رخ می‌دهد و ممکن است تمام بدنه سد را از بالادست تا پائین دست طی کند که در این صورت به علت ایجاد معبر مناسب برای نشت متمرکز آب ممکن است بسیار مخاطره انگیز باشد [۱۱].

در شکل (۲-۲) تغییرات مقادیر حرکات افقی در مقطع عرضی و طولی سد در قسمت‌های (الف) و (ب) و تغییرات حرکات قائم (نشست) در دو مقطع مذکور در قسمت‌های (ت) و (ث) نشان داده شده و در قسمت (پ) جهت عمومی حرکات مصالح در بدنه سد در تصویر افق مشخص گردیده است. همان طور که در قسمت (پ) مشاهده می‌شود، جهت عمومی حرکت مصالح در هر دو مقطع بالادست و پائین دست به سمت دور شدن از تاج و در روی تاج به سمت وسط آن است. به عبارت دیگر، حرکت مصالح در نیمرخ عرضی به سمت خارج (بالا دست و پائین دست تاج) و در نیمرخ طولی به سمت داخل (خط القعر دره) است [۱۱].

چنانچه بدنه سد از مناطق مختلف دارای مصالح متفاوت تشکیل شده باشد، عدم تطبیق در تغییر شکل پذیری این مصالح مختلف ممکن است منجر به ایجاد تغییر شکل‌های بسیار متفاوت بین مناطق مجاور گردد. برای مثال، در شکل (۳-۲) تغییر شکل‌های قائم (نشست) ایجاد شده در قسمت‌های مختلف بدنه سد لانگوستور^{۱۵} در کشور مکزیک نشان داده شده است [۱۲].



شکل (۲-۲) - حرکات بدنه سد خاکی در حین ساخت



شکل (۳-۲) نشست سد لانگوستورا - مکزیک - در حین ساخت

این سد از نوع غیر همگن با هسته مرکزی و پوسته های بالادست و پائین دست است. هسته قائم مرکزی متشکل از رس است که توسط دو لایه قائم از مصالح شن و ماسه ای خوب متراکم شده پوشانده شده و در بالادست و پائین دست این مجموعه نیز پوسته سد متشکل از سنگ آهک هوا زده با تراکم پذیری بسیار زیاد قرار گرفته است. در این حالت خاص، نشست هسته رسی ممکن است منجر به

محبوس شدن و در واقع میزان نشدن آن در بین مصالح پوسته بالادست و پائین دست شود و در واقع پدیده طاق زدگی قوس خوردگی^{۱۶} را ایجاد کند [۱۲].

قوس خوردگی ممکن است داخل سطحی^{۱۷} و یا بیرون سطحی^{۱۸} باشد، مانند فرورفتگی یا برآمدگی هایی در شیب های بالا دست و یا پائین دست. قوس خوردگی در اجزای داخلی بدنه سد مانند هسته و یا دیافراگم نیز اتفاق می افتد که نتیجه آن جدا شدن هسته به دو قسمت بالایی و پائینی بوده که در وسط آن امکان بروز ترک افقی متصور است، این نوع ترک ها فوق العاده خطرناک بوده و با جریان تحت فشار آب از این ترک ها، امکان تخریب سریع سد متصور است. عمدتاً در شیب های بالادست قوس خوردگی به داخل و در شیب های پائین دست قوس خوردگی به بیرون بروز می نماید. علت عمده آن تغییر شرایط فیزیکی - مکانیکی خاک ها از اثر فشار هیدروستاتیک می باشد. قوس خوردگی در شیب پائین دست حاکی از وجود خاکهای ریزدانه و کم نفوذ در منشور پائین دست بدنه سد می باشد. در صورتیکه در منشورهای محافظ هسته مرکزی در بدنه سد خاک درشت دانه که قابلیت نفوذ پذیری آنها زیاد باشد استفاده گردد، قوس خوردگی به بیرون بوجود نمی آید [۱۳].

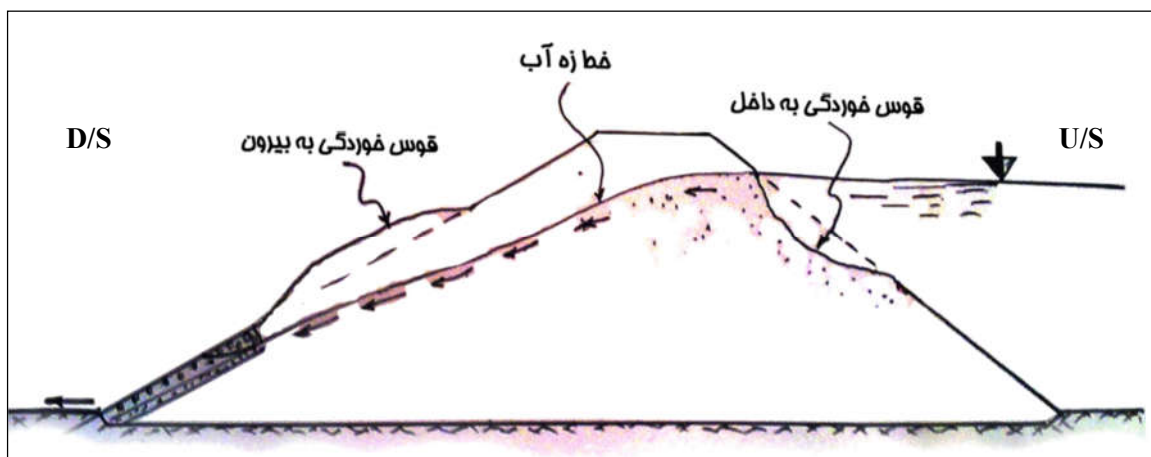
در شکل (۲-۴) قوس خوردگی به داخل در شیب بالادست و قوس خوردگی به بیرون در شیب پائین دست به صورت شماتیک نشان داده شده است. قوس خوردگی در اجزای داخلی بدنه سد مانند هسته و یا دیافراگم نیز در شکل (۲-۵) دیده می شود. در شکل (۲-۶) قوس خوردگی به داخل در شیب بالادست ملاحظه می شود [۱۳].

تشخیص این پدیده در انتهای مرحله ساخت از مقایسه ارقام نشان داده شده توسط تنش سنج های نصب شده در قسمت های مختلف با مقادیر تنش اعمال شده متناسب با وزن خاکریز، امکان پذیر است [۱۳].

16 - Arching

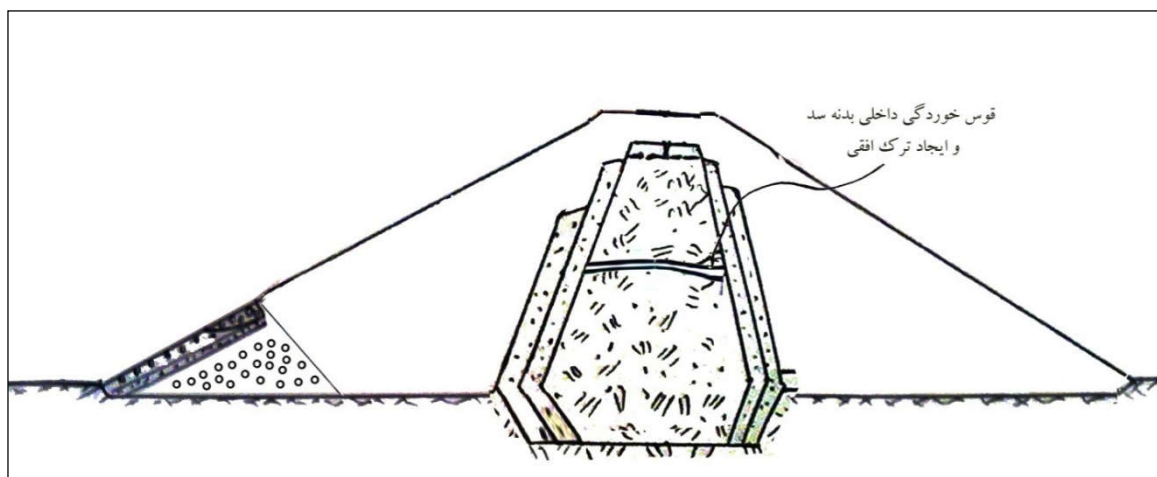
17 - Arching into dam's body

18 - Arching out of dam's body



شکل (۴-۲) قوس خوردگی بدنه سد در بالادست و پائین دست سد خاکی همگن

این پدیده در بسیاری از سدهای خاکی بویژه اگر سرعت عملیات ساخت زیاد باشد و بین نشست پذیری مصالح هسته با مصالح اطراف اختلاف چشم گیری وجود داشته باشد، به چشم می خورد. از جمله در سد ۱۵ خرداد نیز در اوایل بهره برداری از سد ارقام قرائت شده توسط سیستم ابزار دقیق سد، وقوع این پدیده را نشان داده است [۱۴].



شکل (۵-۲) قوس خوردگی هسته در داخل بدنه سد

از آنجا که وقوع پدیده طاق زن ممکن است منجر به ایجاد ترک در سد گردد و در نهایت خطرهایی را پیش از شروع بهره برداری در برداشته باشد، بنابراین این موضوع باید مورد توجه خاص طراحان و سازندگان قرار گیرد. یکی از راه حل های رفع این مشکل، طراحی هسته سد به صورت شیب دار است [۱۳].

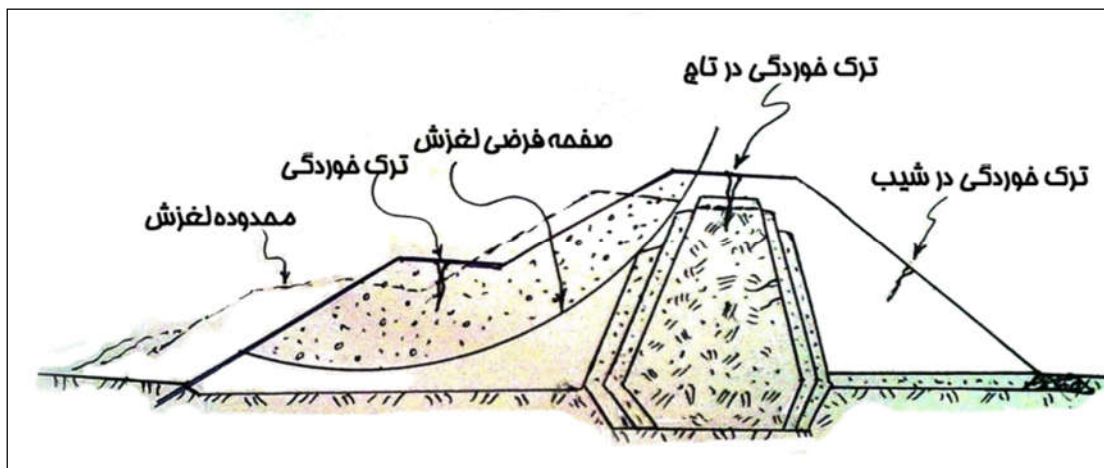


شکل (۶-۲) قوس خوردگی به داخل بدنه در شیب بالادست

تغییر محل همزمان افقی و قائم و یا حرکت یک توده از بدنه سد به سمت بالا دست و یا پائین دست مطابق با قوس را لغزش گویند. در شکل (۷-۲) لغزش بدنه سد در بالا دست دیده می شود. در شکل (۸-۲) انواع تغییر شکلها مانند ترک خوردگی در تاج، در شیب و در هسته و نشست هسته نشان داده شده است. در شیب بالا دست یک حرکت لغزشی که سطح گسیختگی آن یک قوس است مشخص گردیده است [۱۳].



شکل (۷-۲) لغزش شیب بالا دست به داخل مخزن



شکل (۸-۲) لغزش بدنه سد در شیب بالا دست

۲-۳-۲- تغییر شکل های در حین آبنگیری

در حین مرحله آبنگیری ممکن است چهار نوع تغییر شکل در سد خاکی رخ دهد :

- لبریز شدن
- تغییر شکل های ناشی از افزایش بار آب روی بدنه
- تغییر شکل های ناشی از تخریب ساختمان خاک در پوسته بالا دست (رمبندگی) بر اثر غرقاب شدن
- فرسایش داخلی

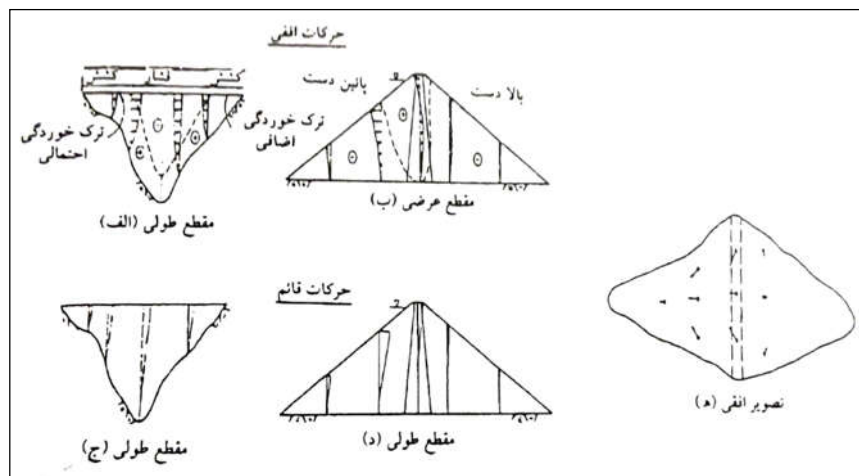
لبریز شدن^۱ به حالتی گفته می شود که در آن آب دریاچه از بالای تاج سد سرریز نماید که در چنین حالتی به واسطه فرسایش و آب شستگی، کل موجودیت سد می تواند به خطر بیفتد. لبریز شدن سد خاکی میتواند ناشی از کم بودن ظرفیت سرریز، یا کم بودن ارتفاع آزاد^۲ و یا تغییر شکل و نشست تابع زمان پی و یا بدنه سد باشد. عوامل موثر در جلوگیری از لبریز شدن سد، ظرفیت کافی سرریز و ارتفاع آزاد کافی می باشد. به هنگام برخورد سیلاب، اگر ظرفیت آگذری سرریز کافی نباشد، آب دریاچه ممکن است بیش از حد بالا آمده و از تاج سد سرریز نماید. ارتفاع آزاد، یعنی اختلاف ارتفاع بین تراز حداکثر سطح دریاچه در تخلیه سیلاب و تراز حداقل تاج، باید برای جلوگیری از لبریز شدن سد به علت موج های تولید شده در سطح دریاچه کافی باشد. در انتخاب ارتفاع آزاد، باید به نشست تابع زمان بدنه و پی زیر سد توجه دقیق نمود. بدنه و پی سد باید در هنگام ساخت و تمام شرایط بهره برداری پایدار

1 - Over topping

2 - Free board

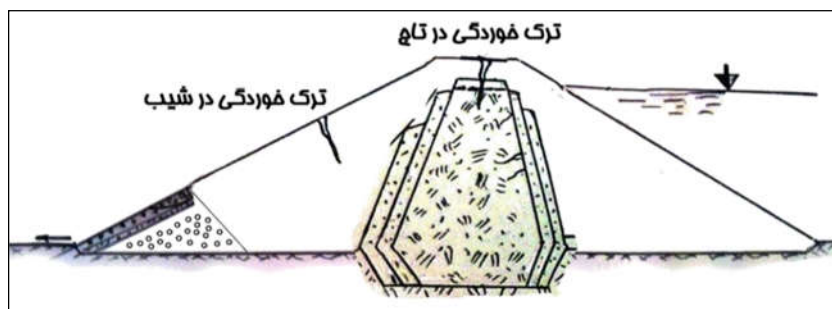
باشد. به همین علت، شیب‌های وجوه بالادست و پائین‌دست باید به قدر کافی ملایم و وضعیت تنش‌ها در بدنه و پی سد نسبت به خرابی برشی به قدر کافی مطمئن باشد [۱۵].

در حین اولین آگیری مخزن سد، حداکثر تغییر شکل افق و قائم در امتداد تاج و نیز در امتداد شیب‌های سد حادث می‌شود. چگونگی وقوع این تغییر شکل‌ها در شکل (۲-۹) نشان داده شده است. همانطور که در قسمت (الف) از شکل مذکور دیده میشود، در نیمرخ طولی مصالح به سمت وسط فشرده شده، در حالی که در جناحین دچار کشش می‌گردند و این امر ممکن است منجر به ایجاد ترک در حد فاصل دو منطقه کششی و فشاری شود [۱۵].



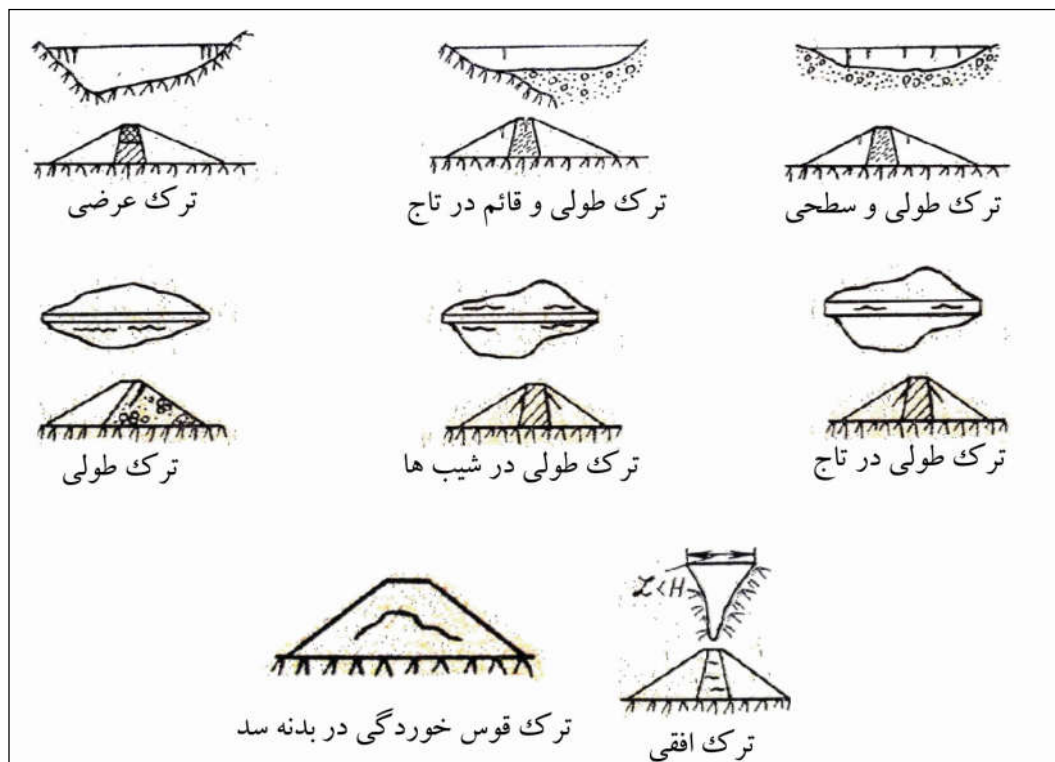
شکل (۲-۹) حرکات بدنه سد طی مرحله آگیری مخزن

ترک خوردگی ممکن است در تاج و یا شیب‌های بدنه اتفاق بیفتد. ترک‌ها می‌توانند طولی، عرضی، قائم، افقی و یا مایل باشند. ترک خوردگی در تاج شیب در شکل (۲-۱۰) دیده می‌شود. همچنین انواع ترک خوردگی در سدهای خاکی در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است [۱۵].



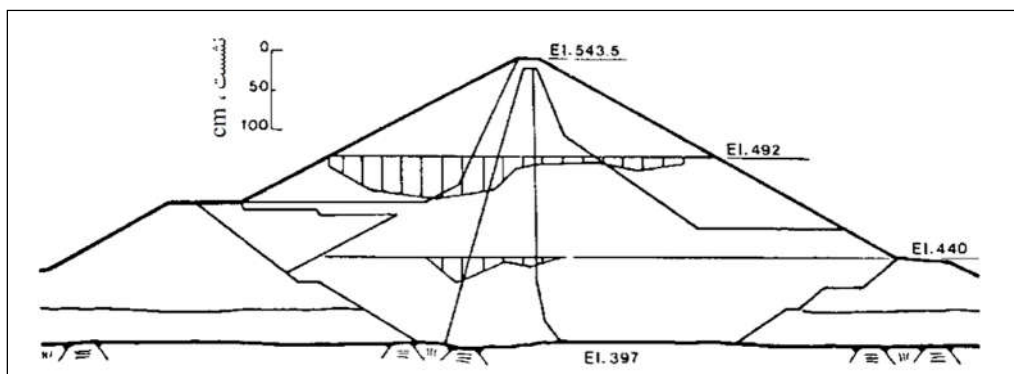
شکل (۲-۱۰) انواع ترک خوردگی در مقطع عرضی بدنه سد

با توجه به فشار ناشی از وزن آب روی مصالح بخش بالادست سد، در نیمرخ عرضی این مصالح نشست بیشتری کرده و در جهت دورشدن از تاج حرکت می‌کنند. (قسمت ب شکل ۲-۹). این پدیده در قسمت پائین دست بدنه اثر چندان ندارد. در قسمت‌های (ج) و (د) شکل (۲-۹) مقادیر و تغییرات حرکات قائم در نیمرخ‌های طولی و عرضی و در قسمت (هـ) شکل، جهات عمومی حرکات مصالح در پلان سد دیده می‌شود [۱۵].



شکل (۲-۱۱) انواع ترک‌ها در پلان و مقاطع طولی و عرضی سد

در سدهای زون‌بندی شده (غیر همگن)، اختلاف میزان حرکت بین مصالح مختلف ممکن است در حین اولین آبرگیری سد حادث شود. برای نمونه، در طی اولین آبرگیری سد لانگوستورا در مکزیک حرکت قائم قابل توجهی در پوسته سنگریزه بالادست سد ایجاد شد که چگونگی آن در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده است. در واقع فشرده شدن مصالح سنگریزه پوسته بالادست به معنی آن است که بدنه سد در اثر بار ناشی از وزن آب به سمت بالا دست حرکت کرده است [۱۲].



شکل (۲-۱۲) نشست بدنه سد لانگوستورا در حین آبگیری

مصالح متراکم شده به میزان کم و تحت رطوبت های کمتر (کمتر از رطوبت بهینه بنابر استاندارد پراکتور)، بر اثر اشباع شدن تمایل به رمبندگی یا تخریب ساختمان دارند. این پدیده می تواند در هر نوع مصالح اعم از سنگریزه، ماسه، سیلت و رس رخ دهد [۱۵].

مصالح با دانه بندی خوب، کمتر از مصالح با دانه بندی یکنواخت تمایل به رمبندگی دارند، اما به طور کل مهمترین عوامل موثر بر پدیده رمبندگی را می توان به شرح زیر برشمرد:

الف : تراکم اولیه

ب: مقدار رطوبت تراکم

ج: دانه بندی مصالح

معمولا پوسته بالادست سدهای خاکی ممکن است به یکی از دو صورت زیر اجرا شوند:

- مصالح ریخته شده به صورت غرقاب^۱

- مصالح متراکم شده به صورت خشک^۲

این مصالح در اولین آبگیری مخزن به علت غرقاب شدن تمایل به رمبندگی و نشست دارند. از آنجا که معمولا لایه های تحتانی پوسته نسبت به لایه های بالاتر از تراکم بیشتری برخوردارند، از این رو در انتهای مرحله ساخت و به دنبال اولین آبگیری مخزن سد، بیشترین حرکات ناشی از رمبندگی ممکن است در قسمت های فوقانی و نزدیک به تاج سد رخ دهد (منطقه هاشور زده در شکل ۲-۱۳) [۱۵].

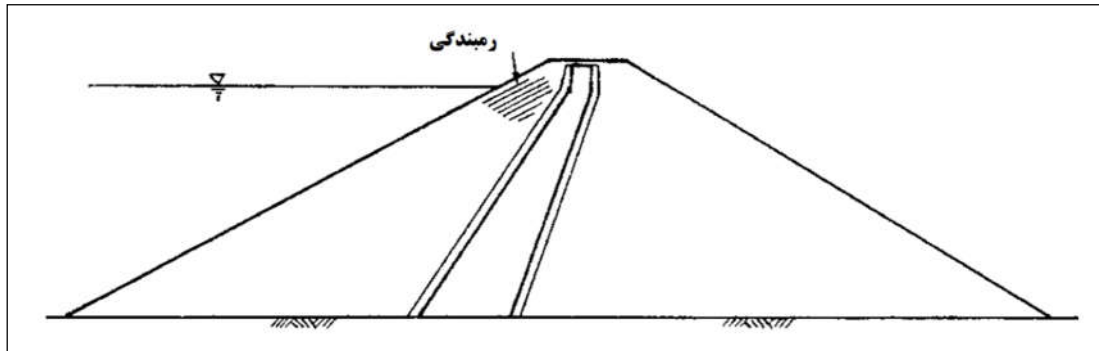
1 - Sluiced dumped earch

2 - Compated earch placed dry

نشست ناشی از رمبندگی در پوسته بالادست ممکن است منجر به دو پدیده زیر شود:

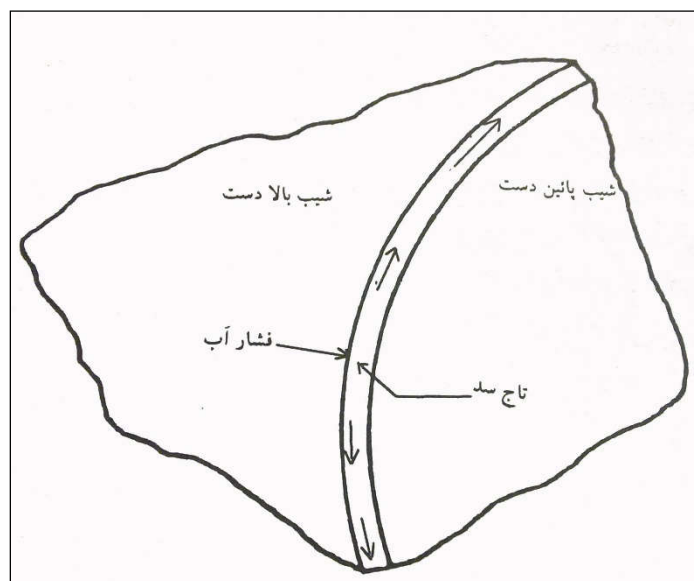
۱- حرکت مختصر تاج سد به سمت بالا دست

۲- ایجاد ترک طولی در امتداد حاشیه بالادست هسته یا منطقه فیلتر [۱۵].



شکل (۱۳-۲) ناحیه مستعد نشست ناشی از رمبندگی در اثر آبگیری سد

از آنجا که در نزدیکی تکیه‌گاه‌های جانبی سد بر اثر تغییر شکل‌های کششی، تنش‌های افقی کمتری حاصل می‌شود، از این رو در بعضی از سدها به منظور حفظ فشار محوری در هسته ممکن است محور سد به صورت قوسی به سمت بالادست (شکل ۱۴-۲) طراحی و اجرا شود. البته بسیاری از مهندسان هنوز به آثار مثبت این روش به جز در مواردی که هسته نازک و دره باریک باشد اعتقاد نیافته‌اند. در این نوع از تغییر شکل‌ها گروهی نیز تحت مهاجرت ذرات ریزتر از بین ذرات درشت خارج می‌شوند که اصطلاحاً نشست بدنه تحت مهاجرت نامیده می‌شود که بیشتر در پائین دست بدنه نمود دارد [۱۱].



شکل (۱۴-۲) ایجاد قوس در محور سد خاکی

برای جلوگیری از فرسایش داخلی^۳ به علت پدیده رگاب^۴ و مهاجرت مصالح ریزدانه از هسته نفوذناپذیر و باتلاقی شدن پائین دست، باید نشت آب از بدنه و پی سد کنترل شده باشد. بنابراین شیب هیدرولیکی، فشار و سرعت نشت باید در حد مجاز برای مصالح انتخابی نگه داشته شوند. شیب بالا دست سد باید در مقابل فرسایش های موضعی به علت تاثیر موج و فشار و حرکت یخ به نحو مناسبی محافظت گردد[۱۱].

نشت آب از بدنه سد خاکی طبق قانون دارسی به شکل خطی^۵ (آرام و پایدار) و یا آشفته^۶ (ناآرام و ناپایدار) امکان پذیر است. پدیده نشت در برخی حالات بدون خطر بوده و در بسیاری حالات خطرناک و مخرب است. در صورت جریان آب از بدنه یا هسته امکان شسته شدن ذرات ریزدانه بوده و این حالت با آلودگی جریان نشتی تحلیل و بررسی می شود. زلال بودن آب نشتی حاکی از پایدار بودن نشت و عدم شسته شدن ذرات ریزدانه از بدنه می باشد. رویش علف و گیاه، لجنی و یا نمکزار شدن خاک از علامت های نشت آب از بدنه سد خاکی می باشد. نشت آب ممکن است به طور موضعی از تکیه گاهها و یا قسمتی از بدنه و یا پی باشد. مواردی هم وجود دارد که نشت از کل بدنه و تکیه گاهها همزمان رخ می دهد. در شکل (۲-۱۵) نشت از کل بدنه و پی نشان داده شده است. در این شکل نشت و جدا شدن پنجه سنگی از بدنه سد به وضوح دیده می شود[۱۶].



شکل (۲-۱۵) نشت از کل بدنه و پی

3 - Internal Erosion

4 - Piping

5 - Laminar

6 - Turbulent

با توجه به شرایط قرار گیری این خاک ها در پی به شکل توده ها و یا لایه های وسیع و یا لنزهای کوچک تحت فشار وزن بدنه سد و فشار هیدروستاتیک قرار میگیرند، در مواقع حدوث زلزله این فشار که فوق العاده زیاد است به طور آنی آزاد شده و قسمت های ضعیف بدنه را سوراخ نموده و به شکل جوشش ماسه ای با آب فوران می نماید. اشکال (۱۶-۲) تا (۱۹-۲) دیده شود [۱۶].



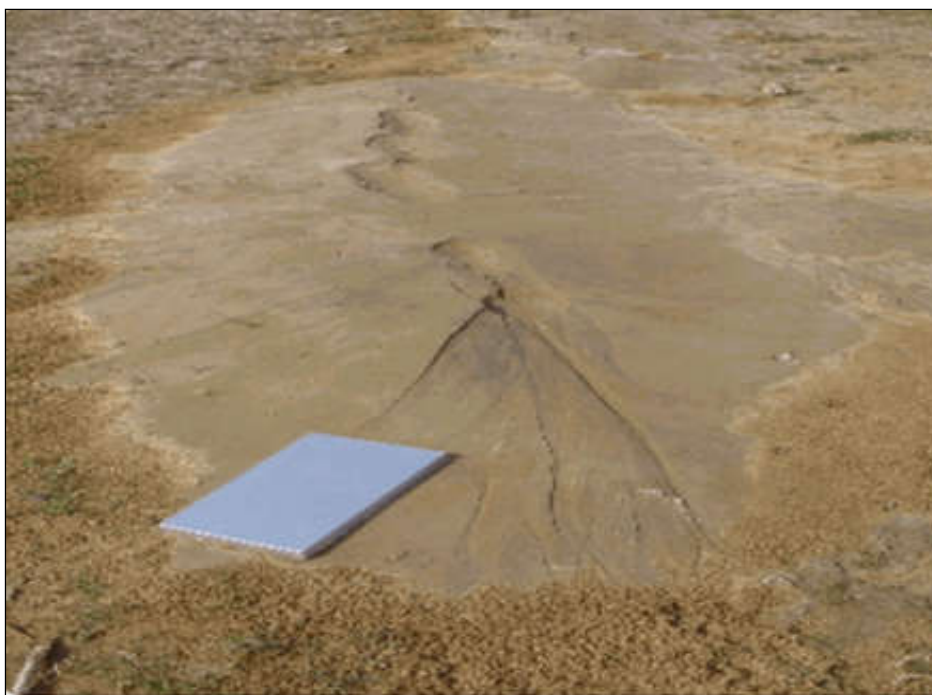
شکل (۱۶-۲) جوشش ماسه ای نقطه ای



شکل (۱۷-۲) جوشش ماسه ای در مقیاس بزرگتر



شکل (۱۸-۲) روان گرایی (Liquefaction) یا تخلیه ماسه ریزدانه از پی سد به طور موضعی



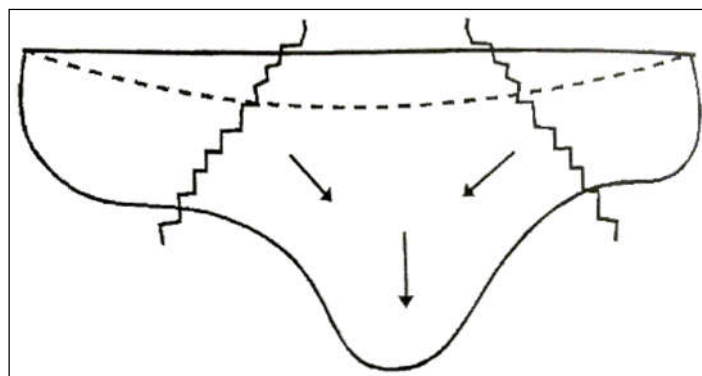
شکل (۱۹-۲) جوشش ماسه ای (Sand boiling) از پی سد در مقیاس بزرگتر

در خصوص پیشگیری از پدیده نشست باید به آب بندی نمودن محیط لوله ها و یا هر گونه مجرای عبور داده شده از حجم سد نیز توجه خاص نمود و با بقیه جزئیات مناسب از هر گونه احتمال نشست از این ناحیه جلوگیری کرد [۱۶].

۲-۳-۳- تغییر شکل های بلند مدت

تغییر شکل های بلند مدت در تمام سدهای خاکی می تواند به علل زیر رخ دهد:

- تحکیم مصالح رسی
 - خزش کلیه مصالح شامل رس تا سنگریزه
- در شکل (۲-۲۰)، جهت عمومی حرکات ایجاد شده در سد Netzahualcoyot در مکزیک طی یک دوره ۱۲ ساله نشان داده شده است [۱۷].



شکل (۲-۲۰) جهت حرکات عمومی مصالح در نیمرخ عرضی سد

۲-۴- عوامل مخرب سدها

عوامل بوجود آورنده خسارتهای، علل بروز آسیب ها و زمینه و شرایط آنها ممکن است خیلی متفاوت باشد. بسیاری از دانشمندان آسیب ها و خسارات را تحلیل نموده و بعد از بررسی، آنها را دسته بندی کرده و اطلاعات و ارقام راجع به آنها را ارائه نموده اند. بطور کلی عمده ترین عوامل مخرب در سدهای خاکی در شش رده خلاصه می شوند [۱۸]:

- ۱- آبگذری از روی تاج ۳۰٪
- ۲- نشست متمرکز از بدنه و پی سد و شسته شدن دانه های ریز ۲۵٪

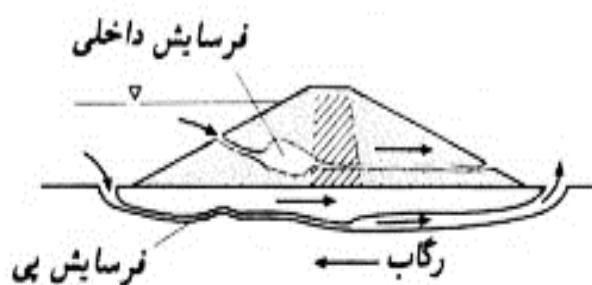
- ۳- لغزش شیب ها ۱۵٪
 - ۴- نشت از لوله آب بر ۱۳٪
 - ۵- زلزله ۷٪
 - ۶- دلایل متفرقه، امواج و تاثیرات آن ۵٪
 - ۷- عوامل دیگر مانند تاثیرات شیمیایی خاک بدنه توسط حیوانات جونده و مخرب ۵٪
- از منظر دیگر عوامل ایجاد تغییر شکل در سد و سازه های منوط به آن را می توان در ۲ گروه جای داد:

الف- عوامل طبیعی مانند :

- حدوث زمین لرزه با قدرت بیشتر از ارقام محاسبه ای جاری شدن سیلاب های با دوره برگشت فوق طراحی و روگذری ...
 - ب- عوامل فنی و مهندسی مانند:
 - عدم دقت در طراحی؛ لحاظ نشدن ضوابط طراحی در محاسبات، استفاده از داده های محاسبه ای غیر استاندارد و نا مطمئن (پائین بودن کیفیت طراحی)
 - عدم دقت در اجرا؛ اعمال نکردن دستورت لازم اجرایی (پائین بودن کیفیت اجرایی و عدم دقت در انتخاب و استفاده از مصالح واجد شرایط).
- در شکل (۲-۲۱) مکانیسم های مختلف خرابی سدهای خاکی به طور خلاصه نشان داده شده است. همچنین در جدول (۲-۱) انواع، مشخصات، علل و راههای جلوگیری از مکانیسم های خرابی سدهای خاکی ارائه شده است [۱۸].

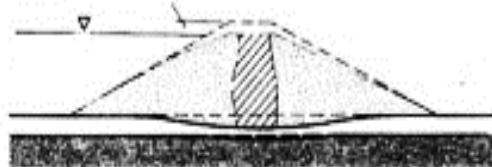


(الف) سرریز از روی بدنه سد (لب ریزشیدن)



(ب) فرسایش داخلی

افت ارتفاع زیاد



(پ) نشست بدنه و پی



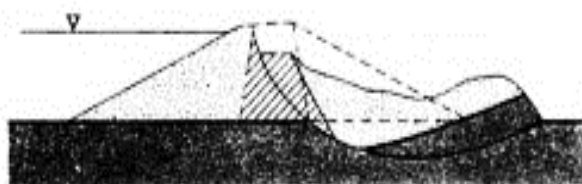
(ت) لغزش شیب پایین دست



افت تراز دریاچه



(ث) لغزش شیب بالادست



(ج) لغزش عمیق شیب پایین دست

شکل (۲-۲۱) مکانیسم های مختلف خرابی سدهای خاکی

جدول (۱-۲) مکانیسم های خرابی سدهای خاکی و روشهای جلوگیری از آنها

راه علاج	علت	مشخصه	خرابی
خارجی			
افزایش ارتفاع آزاد و یا ظرفیت سرریز، جبران نشست با اضافه کردن ارتفاع	سرریز و یا ارتفاع آزاد ناکافی، نشست بدنه و یا پی	جریان از روی سد و فرسایش آن	لب ریز شدن
نگهداری و طراحی صحیح	غشاء محافظ صدمه می بیند	خسارت به شیب بالادست	فرسایش موج
دقت در طرح هیدرولیکی صحیح و دیوار محافظ	مسیر کانال تخلیه و سرریز بد انتخاب شده	جریان سیل باعث فرسایش پنجه می شود	فرسایش پنجه
چمن کاری شیب و یا زهکشی درست آن	زهکشی سطح ناقص	فرسایش شیب پایین دست به علت بارندگی	چسبناک شدن
نشست داخلی			
پرده آب بند و یا تزریق هسته، دقت در طرح و تزریق	پی نفوذ پذیر و پرده آب بند ناقص، ترک داخلی	افزایش نشست	اتلاف آب
زهکشی داخلی، فیلترها و ناحیه بندی صحیح خاکریز استفاده از حلقه های آب بند	ترک داخلی نشست از اطراف تونل تخلیه	نشست کدر	فرسایش نشست
ناپایداری			
تحکیم و زهکش پی و اصلاح آن	پی ضعیف و فشار حفره ای بالا		لغزش پی
زهکشی، شیب تخت و احداث برم	فشار حفره ای زیاد، شیب تند و افت سریع آب دریاچه	تغییر شکل هندسه بنده سد	شیب بالادست
تراکم کافی و یا اضافه کردن برم پنجه	حرکت یا شک سریع، خاکهای لای حداکثر ریسک را دارند	مکانیسم جریان سریع	لغزش جریان

۲-۵- مرمت

اقدامات لازم به منظور رفع خسارت‌های ناشی از عوامل مختلف و بازسازی مجدد سدها و سازه‌های منوط به آن، جهت بهره‌برداری را "مرمت" گویند. مرمت، مراحل بررسی عوامل وارد کننده خسارتها به بدنه سد و سازه‌های منوط به آن با مراجعه و استفاده از گزارشها و آلبوم نقشه‌های اجرایی، انجام حفاری‌ها و آزمایشهای گوناگون، تحلیل و تفسیر داده‌های ابزار دقیق و سرانجام تهیه و ارائه طرح مرمت و در نتیجه اجرای آن طرح و بازگرداندن سازه به شرایط مورد نیاز بهره برداری را در بر می‌گیرد [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

در مرمت یک اصل عمده وجود دارد که مهندسین تهیه کننده طرح باید بدانند که همیشه طرحی را ارائه دهند که از طرح اجرایی اولیه بهتر باشد، زیرا طرح اولیه دارای معایبی بوده که نتوانسته در مقابل عوامل وارد کننده خسارت مقاومت نماید. لازم به ذکر است، این طرح مرمت بیشتر از همه بایستی روی ارقام و داده‌های اولیه‌ای که بر اساس آن ضریب‌های مجاز ایمنی محاسبه می‌شوند، تاکید نماید. ضریب‌های مذکور با توجه به شرایط ویژه طرح مانند دبی طرح با انتخاب دوره برگشت‌های مناسب، وجود منابع قرضه در محل و در نظر گرفتن ضرایب محاسباتی زلزله طرح، مدنظر می‌باشد. سایر موارد غیر مترقبه از مواردی که ذکر شد جدا می‌باشند [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

۲-۵-۱- توصیه‌های مهم در مرمت انواع سدها و سازه‌های منوط به آنها

تمام سدها اعم از خاکی، خاکی سنگریزه‌ای، بتنی (وزنی، قوسی و غیره) چوبی و لاستیکی آسیب‌پذیر بوده که در صورت حدوث آسیب‌های قابل بازگشت نیاز به مرمت دارند. طبق تعریف مرمت، کلیه سدهای آسیب دیده ناشی از عوامل مختلف با استفاده از طرح‌های متفاوت مرمت و احیا شده و مجدداً وارد چرخه بهره‌برداری می‌شوند. سدهای آسیب دیده از نظر اقتصادی قابل بررسی بوده و در صورت توجیه-پذیری، طرح مناسب مرمت آنها ارائه گردیده و ترمیم می‌شوند. بعضی از سدها طوری تخریب شده و یا آسیب می‌بینند که مرمت و بازسازی آنها غیر اقتصادی است، در این صورت تغییر محور و یا احداث سد جدید مدنظر خواهد بود [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

کلیه سدها و سازه‌های منوط به آنها با استفاده از مصالح خود آنها قابل مرمت است، لذا انتخاب مصالح جهت مرمت با توجه به شرایط محل و طرح تهیه شده مرمت، انتخاب می‌شود. به عنوان مثال مرمت سدهای خاکی با هسته مرکزی و مایل از منابع قرضه موجود در محل که طراحی و اجرای اولیه سد بر مبنای مشخصات این منابع صورت پذیرفته است، انجام می‌شود، همچنین مرمت سدهای خاکی- سنگریزه‌ای از همان خاک و سنگی که قبلا در طراحی و اجرای سد استفاده شده، باید مورد توجه قرار گیرد. این امر سبب می‌شود تا بدنه اصلی به قسمت جدید وصل و به راحتی بازسازی و مرمت شود، بدون اینکه در مشخصات اصلی طرح تغییراتی بوجود آید. این مهم، از موارد اساسی می‌باشد که باید در طرح‌های مرمت رعایت گردد. در صورت عدم وجود قرضه و یا مصالح مناسب، بایستی سعی به عمل آید تا از معادل و یا مشابه قرضه که مشخصات فیزیکی- مکانیکی آن با مشخصات اصلی بدنه و سازه مطابقت داشته باشد، استفاده شود. این امر در مرمت انواع سدهای دیگر از اهمیت خاصی برخوردار می- باشد [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

در طراحی و محاسبات و تهیه طرح مرمت، مشخصات فیزیکی - مکانیکی - ژئوتکنیکی مصالح باید طوری در نظر گرفته شود که با شرایط موجود قابل مقایسه باشد. به عبارت دیگر با انجام آزمایشات لازم روی بدنه و اجزای تشکیل دهنده آن، مشخصات بعد از ساخت را تهیه نموده و بر اساس آن طرح جدید ارائه می‌شود، نه اینکه با استفاده از گزارش‌های قبلی، مشخصات مصالح برای مرمت مورد استفاده قرار گیرد. توضیح این مطلب با مثال زیر روشن می‌شود [۱۸ و ۱۹ و ۲۰]:

یک سد خاکی که مدتی قبل طراحی و اجرا شده است، در دوره بهره‌برداری، بسیاری از مشخصه‌های فیزیکی- مکانیکی خاک بدنه و اجزای داخلی آن بر اثر گذشت زمان، تاثیر وزن خود سد، ریزش‌های جوی، تغییرات درجه حرارت، آبگیری و تخلیه، تغییر نموده است. مثلا اگر تراکم در موقع اجرا ۹۵ درصد بوده و دانسیته آن تراکم در محاسبات پایداری مورد استفاده قرار گرفته است، بعد از گذشت زمان، نشست، تحکیم و تغییر شکل‌ها سبب می‌شود که این تراکم تغییر نماید و لذا با تغییر درصد تراکم، دانسیته نیز تغییر نموده و لذا بایستی از این تراکم جدید در طرح مرمت استفاده گردد و یا سعی بعمل آید این مشخصه به نحوی شبیه سازی شود که مشخصات فیزیکی- مکانیکی، معادل خاک اصلی باشد.

در صورت ممکن نبودن موارد فوق، طراحی و اجرا باید طوری انجام شود که تفاوت مشخصات مصالح قدیم و جدید به حداقل برسد. این طرح مرمت، طرحی موفق خواهد بود [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

۲-۵-۲- انتخاب شیوه مرمت بر اساس شناخت عوامل وارد کننده خسارات

طرح‌های مرمت بر اساس شناخت عوامل وارد کننده خسارات به بدنه سد و سازه‌های منوط به آن انتخاب و مورد اجرا قرار می‌گیرند. ممکن است این عوامل یک و یا چند عامل متفاوت باشند که سبب بروز یک نوع خسارت گردیده است. مثلاً همزمان نشست، ترک خوردگی و گسیختگی عامل لغزش و یا جابجایی بخشی از بدنه سد گردد. در عوامل مذکور تاثیرات تنش‌های کششی و فشاری، تحکیم، تراکم و دیگر موارد وارد کننده خسارات دیده می‌شود [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

خسارات وارده به سد ممکن است به یکی از اشکال زیر باشد:

- نشست و جوشش ماسه‌ای باعث نشست نامتقارن و شکست سد
- در سدهای زون‌بندی شده نادرست، در زمان آبگیری تخلیه یک زون به زون دیگر
- انتخاب نادرست منابع قرضه و یا استفاده از نتایج آزمایشات آنها در طراحی
- اجرای نادرست و رعایت نکردن ضوابط اجرایی
- انتخاب هندسه سد و یا به عبارت دیگر تحلیل شیب‌ها در پایداری در اثر استفاده نادرست از نرم‌افزارها و یا داده‌های نادرست ورودی

لذا شناخت عوامل وارد کننده خسارات در انتخاب نوع طرح و شیوه مرمت اثر فوق العاده دارد. در این بحث به طور کاملاً خلاصه و موجز راجع به شیوه‌های مرمت با در نظر گرفتن عوامل وارد کننده خسارات اشاره می‌شود، تا این بحث هم از غنای مناسبی به منظور ایده دادن و راه گشایی ارائه طرح مرمت، برخوردار باشد [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

۲-۵-۳- شیوه‌های مرمت خسارات ناشی از تغییر شکل‌ها

۲-۵-۳-۱- شیوه مرمت لغزشها

به منظور تهیه طرح مرمت لغزش‌های بدنه سد، قبل از همه در نظر گرفتن موارد ذیل الزامی است:

- انجام نقشه‌برداری و مقایسه آن با نقشه‌های قبلی

- انجام حفاری و انجام آزمایشهای لازم

- تعیین نوع لغزش (قوسی و یا گوه‌ای)

- تعیین ضخامت قوس لغزش

- تهیه طرح مرمت

- تعیین محدوده خاکبرداری و خاکریزی

- برآورد احجام عملیات و هزینه‌ها

در طرح مرمت خسارات وارده ناشی از لغزش شیوه‌های ذیل قابل استفاده است:

۱- خاکبرداری پلکانی

۲- خاکبرداری به شکل برم‌های متوالی

در خاکبرداری بدنه سد که ارتفاع آن براساس عمق ترک‌ها تعیین می‌شود، تعیین تعداد و موقعیت طولی یا عرضی پلکان‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. خاکبرداری مذکور باید در تمام طول بدنه سد با ارتفاع متناسب صورت پذیرد. هدف از احداث پلکان‌ها اتصال خاکریز موجود با خاکریز جدید است که شرایط کوبیدن خاک را بدون هر گونه مشکل به خوبی فراهم می‌کند [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

خاکبرداری به صورت برم‌های متوالی، زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که شرایط خاکبرداری و خاکریزی به شکل پلکانی میسر نباشد و همچنین حجم و ارتفاع خاکبرداری خیلی زیاد باشد. از خاکریزی برمی در شیب بالادست و یا پائین‌دست تا تاج، در صورت ترفیع سدها بیشتر استفاده به عمل می‌آید [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

۲-۵-۳-۲- شیوه‌های مرمت خسارات ناشی از نشست‌ها

نشست بدنه سد ممکن است موضعی و یا کلی باشد، در هر دو صورت موارد ذیل قابل استفاده است:

- مرمت موضعی

- مرمت کلی

نشست‌های بدنه سد را اولاً با خاکبرداری و تسطیح و دوباره خاکریزی مرمت می‌کنند. ممکن است این خاکبرداری و خاکریزی به طور موضعی و یا در کل طول بدنه سد اجرا شود. قبل از شروع عملیات خاکبرداری و خاکریزی لحاظ نمودن موارد ذیل الزامی است:

- نقشه‌برداری به منظور تعیین محلها و میزان نشست، عمق و ابعاد آنها با استفاده از ژئوتکنیک محلی و یا نقشه‌برداری یا میکروژئودوزی در مقایسه با طرح اولیه.
- انجام آزمایشهای دانه بندی، حدود اتربرگ، برش مستقیم و سه محوری، تعیین رطوبت بهینه و منابع قرضه و در سدهای سنگریزه‌ای، تعیین مشخصات ژئوتکنیکی سنگ و تعیین معدن آن.
- تعیین محدوده خاکبرداری و خاکریزی و یا سنگ برداری یا سنگ ریزی مجدد.
- برآورد احجام و هزینه‌ها [۲۰۱۹و۱۸].

۲-۵-۳- شیوه‌های مرمت خسارات ناشی از قوس خوردگی‌ها

ممکن است قوس خوردگی‌ها در سطوح شیب‌های بالادست و پائین‌دست به شکل داخلی و یا بیرونی باشد. در این صورت بازسازی مشابه مرمت در لغزش‌ها طراحی و انجام می‌شود. قوس خوردگی ممکن است در داخل بدنه سد و یا هسته نیز اتفاق بیفتد که مرمت این نوع خسارتها با استفاده از تزریق مصالح مشابه در داخل بدنه سد و یا هسته امکان پذیر است [۲۰۱۹و۱۸].

۲-۵-۴- شیوه‌های مرمت خسارات ناشی از ترک خوردگی در تاج و بدنه

ترک‌ها را به شیوه تزریق با فشار و بدون فشار مرمت و بازسازی می‌نمایند. در صورت ترک خوردگی های زیاد و متعدد ولی با عمق کمتر ممکن است از شیوه خاکبرداری و خاکریزی مجدد نیز استفاده به عمل آید [۲۰۱۹و۱۸].

در مرمت ترک خوردگی بررسی موارد ذیل الزامی است:

- استفاده از ابزار دقیق، ژئوتکنیک محلی و یا شیوه‌های ابداعی به منظور تعیین محلها و میزان ترک خوردگی، عمق و ابعاد آنها.

- نقشه برداری و یا میکروژئودوزی
- انجام آزمایشهای دانه بندی، حدود اتربرگ، برش مستقیم و سه محوری، تعیین رطوبت بهینه و منابع قرضه و در سدهای سنگریزه‌ای، تعیین مشخصات ژئوتکنیکی سنگ و تعیین معدن آن.
- تعیین محدوده خاکبرداری و خاکریزی و یا سنگ‌برداری یا سنگ‌ریزی مجدد.
- تهیه طرح مرمت
- برآورد حجم و هزینه‌ها [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

۲-۵-۳-۵- شیوه‌های مرمت خسارات ناشی از نشت آب

- مرمت نشت آب از بدنه به شیوه‌های ذیل امکان پذیر است:
- به شیوه تزریق
 - به شیوه ازدیاد تراکم به کمک غلطک زدن یا بارگذاری
 - پهن کردن خاکهای ریزدانه در شیب بالادست
 - در صورتی که نشت آب از بدنه، پی و تکیه‌گاهها کنترل شده و پیش‌بینی شده نباشد، از عوامل بسیار مخرب و منهدم کننده سدها به شمار می‌رود.
 - عدم اتصال مناسب هسته با پی و تکیه‌گاهها، کمبود کوبیدگی و بروز ترکها از عوامل اساسی نشت آب می‌باشد.
 - لحاظ نکردن کلیه ضوابط در طراحی و اجرا جهت جلوگیری از نشت آب از پی، بدنه و تکیه‌گاهها نیز باعث نشت آب می‌گردد.
 - ضوابط طراحی مانند :
 - کمبود اطلاعات راجع به اطلاعات پایه ، آزمایشگاهی و ژئوتکنیکی
 - عدم انتخاب محور مناسب جهت طراحی و اجرای سد
 - کمبود و یا نبود منابع قرضه مناسب با مشخصات طراحی φ, C, K, γ, W
 - عدم استفاده از نرم‌افزارهای مناسب جهت تحلیل نفوذ و نشت آب

ضوابط اجرایی مانند:

- انتخاب منابع قرضه مناسب از نظر دانه‌بندی و ضریب نفوذپذیری
- انتخاب نوع و کیفیت مصالح آب‌بندی به عنوان هسته و یا پرده
- اتصال بدنه سد به طور کاملاً آب‌بند با تکیه‌گاهها
- بوجود آمدن تغییرشکلها و نشست‌ها از اثر عوامل طبیعی و غیر طبیعی [۱۸ و ۱۹ و ۲۰].

۲-۶- ابزار و شیوه‌های بررسی و تحلیل عوامل واردکننده خسارات

۱- با استفاده از ابزار دقیق شامل:

- درز سنج‌ها
- انواع پاندول‌ها
- نشست سنج‌ها
- کشش سنج‌ها
- انحراف سنج‌ها
- ابزار سنجش فشار منفذی
- انواع پیزومترها مانند : پیزومتر لوله قائم - پیزومتر پنوماتیک (هوایی) - پیزومتر در خاک - پیزومترهای داخل صخره‌ها و سنگ‌ها - سلول‌های اندازه‌گیری فشار کل و غیره [۷].

۲- با استفاده از ژئوتکنیک

۳- با استفاده از شبکه و یا شبکه‌های میکروژئودوزی و نقشه‌برداری

۴- با استفاده از ترانشه شناسایی و مایع رنگی (شیوه ارائه شده در تحقیق حاضر)

- در صورت نبود ابزار دقیق

- در صورت وجود ابزار دقیق

همانگونه که پیشتر بیان شد، هدف اصلی این پایان نامه تدقیق، تحلیل و تعمیم بند چهارم می باشد. این شیوه برای انواع سدهای خاکی و خاکی-سنگریزه‌ای در صورت وجود ابزار دقیق و یا عدم وجود آن مورد توجه قرار گرفته است. در این کار با استفاده از امکانات و اطلاعات در دسترس و تحلیل عوامل و فاکتورهای وارد کننده خسارات یا ترسیم قوس لغزش و تحلیل آن در مقاطع مختلف و نتایج بدست آمده، طرح مرمت تهیه و پیشنهاد گردیده است.

۲-۲- تئوری محاسبات پایداری بر اساس ترسیم قوس لغزش

سدهای خاکی اصولاً دارای مقطع عرضی ذوزنقه‌ای بوده و در دو طرف دارای شیب‌هایی می‌باشند که طراحی و اجرای آن شیب‌ها مبتنی بر اصول و ضوابط خاص مهندسی است. پایداری این شیب‌ها از قوانین طبیعی مشخصات خاک مانند دانه‌بندی، رطوبت، تراکم، و مخصوصاً زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و ... تبعیت مینماید. مشخص است که پایدارترین شیب، ملایم‌ترین آنهاست ولی از هیچ نظر مناسب‌ترین نیست. از نظر مهندسی مناسب‌ترین شیب آن است که هم پایدار و هم از لحاظ اقتصادی با صرفه‌ترین باشد، نا گفته نماند که در طراحی، پایدارترین شیب مد نظر نبوده بلکه بر اساس ضوابط و استانداردهای معمول، مناسب‌ترین آن که از جهات مختلف قابل توجیه می‌باشد، انتخاب می‌گردد. این شیب منتخب، از نظر پایداری جوابگوی خواسته‌های طرح بوده و پایداری آن در مقابل عوامل و فاکتورهای مخرب و ناخواسته طبق ضوابط تامین شده است [۲۱].

در خیلی از حالات لازم می‌شود ایمنی یک شیروانی (شیب) که ممکن است در اثر گودبرداری یا خاکریزی ایجاد شده باشد، توسط مهندسین کنترل گردد. در این کنترل، می‌باید تنشهای برشی ایجاد شده در امتداد بحرانی ترین و محتمل ترین سطح لغزش محاسبه شده و با مقاومت برشی خاک مقایسه گردد. به چنین فرآیندی، تحلیل پایداری شیروانی^۷ اطلاق می‌گردد [۲۲].

از توضیحات قبل چنین استنباط می‌گردد که بخشی از نیروهای درونی و بیرونی نگهدارنده بوده و بعضی از آنها مخرب و منهدم کننده است، در این صورت پایداری شیب‌ها در صورتی تامین می‌شود که نیروهای نگهدارنده بیشتر از نیروهای مخرب باشند. این مشخصه به کمک ضریب پایداری مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. نسبت نیروهای نگهدارنده بر نیروهای تخریب کننده عبارت است از "ضریب پایداری" که در صورت مساوی و یا بیشتر از ۱ بودن آن، شرایط پایداری تامین می‌شود [۲۲].

به طور کلی روش های آنالیز پایداری شیروانی‌ها به دو دسته تحلیل دو بعدی و سه بعدی تقسیم می‌گردد و اغلب روشها بر پایه تعادل حدی می‌باشند. روش های متعدد تعادل حدی برای آنالیز پایداری

شیب منتشر شده اند. فلنیوس^۸ (۱۹۳۶) اولین روش را معرفی کرد که برای سطح لغزش دایروی اشاره به روش معمولی دارد. بیشاپ^۹ (۱۹۵۵) با معرفی یک رابطه جدید برای نیروی نرمال قاعده قطعه روش اول را بهبود بخشید و به این دلیل معادله مربوط به فاکتورهای اطمینان غیر خطی شد. همزمان جانبو^{۱۰} (۱۹۵۴) برای سطوح اعزش غیر دایروی یک روش ساده شده منتشر کرد. سپس روش کلی قطعات جانبو به عنوان توسعه بیشتر روش ساده جانبو منتشر شد (۱۹۷۳). بعدها مورگنسترن-پرایس^{۱۱} (۱۹۶۵)، اسپنسر^{۱۲} (۱۹۶۷) و بسیاری دیگر با فرضیات مختلف برای نیروهای بین قطعه ای روش های دیگری ارائه دادند [۲۲].

مناسبترین شیوه محاسباتی شیوه ای است که بتواند تعادل نیروها و گشتاورها یا ممان ها را تامین نماید. محاسبات پایداری ممکن است در محدوده شیب، بدنه و یا پی و یا همزمان برای همه انجام شود [۲۲].

به طور کلی در محاسبات پایداری موارد اساسی زیر لحاظ می گردد.

۱- هندسه بدنه سد که با لحاظ نمودن کلیه تاثیرات عوامل فیزیکی - مکانیکی یک مدل (شکل مقطع عرضی) بدست می آید.

۲- در نظر گرفتن تمام نیروها مانند نیروهای مؤثر خارجی، وزن خود بدنه و نیروهای نفوذ، تعلیقی، هیدرودینامیک، زمین لرزه و ...

۳- در نظر گرفتن مشخصات انواع خاکهای مورد استفاده شده در بدنه، در محاسبات و مشخصات فیزیکی- مکانیکی آنها مانند C و ϕ و γ که در طراحی مقطع عرضی در نظر گرفته شده است.

۴- استفاده از حجم بیشتر انواع خاکهای موجود در منطقه، جهت ساده شدن محاسبه و طراحی مقطع عرضی بدنه سد به منظور توجیه اقتصادی پروژه.

۵- تطبیق کامل تحقیقات صحرایی و آزمایشگاهی با مدل محاسبه ای [۲۲].

8 - Fellenius

9 - Bishop

10 - Janbu

11 -Morgenstern-price

12 -Spencer

۸-۲- ضریب ایمنی در پایداری

ضریب ایمنی به شیوه های مختلف قابل محاسبه است :

۱- نسبت نیروهای مخرب (حدی) بر نیروهای محاسبه‌ای.

۲- نسبت نیروهای نگهدارنده بر نیروهای مخرب.

۳- نسبت مشخصات نیروهای نگهدارنده بر نیروهای حقیقی موجود.

به طور معمول محاسبه ضریب ایمنی در لغزش، از نسبت نیروها و یا ممان‌های نگهدارنده بر نیروهای مخرب و یا ممان‌های مخرب بر لغزنده حاصل می‌گردد.

$$K_c = \frac{N_1}{N_2} \quad \frac{\text{نیروهای نگهدارنده}}{\text{نیروهای مخرب در لغزش}} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

$$K_c = \frac{M_1}{M_2} \quad \frac{\text{ممان های نگهدارنده}}{\text{ممان های لغزنده}} \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

ضریب ایمنی را همچنین می توان از روابط (۳-۲) و (۴-۲) محاسبه کرد.

$$K_c = \frac{C_1}{C_2} \quad \frac{\text{چسبندگی}}{\text{چسبندگی مجاز}} \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

$$K_c = \frac{\tan \phi_1}{\tan \phi_2} \quad \frac{\text{ضریب اصطکاک خاک}}{\text{ضریب اصطکاک مجاز}} \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

در این روابط داریم :

$$N_1 = \text{نیروهای نگهدارنده در لغزش} \quad N_2 = \text{نیروهای مخرب در لغزش}$$

$$M_1 = \text{ممان های نگهدارنده} \quad M_2 = \text{ممان های مخرب}$$

$$C_1 = \text{ضریب چسبندگی نگهدارنده} \quad C_2 = \text{ضریب چسبندگی مجاز}$$

$$\tan \phi_1 = \text{زاویه اصطکاک داخلی واقعی خاک}$$

$$\tan \phi_2 = \text{زاویه اصطکاک داخلی محاسبه ای خاک یا زاویه اصطکاک داخلی مجاز [۲۲]}$$

۹-۲- قوس لغزش

چنانچه قبلا ذکر شد، بدنه سدهای خاکی معمولا به شکل دوزنقه‌ای طراحی می‌شود که دارای شیب‌های بالادست و پائین‌دست است. در شیب بالادست آب ذخیره شده و در موقع آبگیری سد این شیب تحت فشار هیدروستاتیکی قرار می‌گیرد و مشخصات خاک‌های استفاده شده یا حفظ مشخصات شرایطی که آب با خاک بوجود می‌آورد، در محاسبات مد نظر قرار می‌گیرد [۱۳].

شیب پائین‌دست معمولا خشک بوده و در صورت تداوم نگه‌داری آب در مخزن خط جریان نفوذی آب که به نام خط زه آب^{۱۳} نیز یاد می‌شود، تشکیل می‌گردد، که خاک بدنه را به قسمت‌های خشک، مرطوب و اشباع تقسیم می‌نماید و این مشخصات در محاسبات در نظر گرفته می‌شود [۱۳].

حالت‌هایی که در اثر عوامل درونی و بیرونی بوجود می‌آید، باعث بهم خوردن تعادل نیروها در شیب‌ها شده و در نتیجه باعث لغزش کلی و یا جزئی در بدنه می‌شود. این لغزش از یک قوس که بخشی از یک دایره را تشکیل می‌دهد، تبعیت می‌نماید که این قوس به "قوس لغزش"^{۱۴} معروف است. در محدوده این قوس بخشی از خاک بدنه قرار دارد که تمام نیروهای درونی و بیرونی در آن در تعادل بوده و یا نیروهای نگهدارنده در آن غالب بوده و شکل مقطع عرضی بدنه سد حفظ می‌شود. در صورت غالب شدن نیروهای مخرب بخشی از بدنه سد آسیب دیده و به شکل ترک خوردگی مطابق با قوانین دایره لغزش یا قوس لغزش، از بدنه جدا شده و به سمت شیب بالادست و یا پائین‌دست حرکت می‌کند. این تغییر شکل‌ها قبل از احداث، در یک مدل طراحی شده که تمام جزئیات آن در حالات مختلف مانند حالت بعد از ساخت، نیمه پر، پر با نفوذ آب از بدنه با لحاظ کردن تاثیرات زلزله و دیگر حالات مختلف، قابل تحلیل و محاسبه می‌باشد، که نتایج آن به طور تئوریک به انتخاب یک مقطع عرضی بهینه منتج می‌گردد. با توجه به اهداف این پایان‌نامه، شیوه محاسبه ضریب ایمنی در پایداری به کمک قوس لغزش مورد توجه بوده که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

13 - Fratic line

14 - Sliding Circle

۲-۱۰- مرووری بر مطالعات پیشین

۲-۱۰-۱- تغییر شکل

سدهای خاکی در مرحله حین ساخت و در طول زمان بهره برداری در معرض انواع تنشهای متفاوت از جمله تنشهای حاصل از نشست سد و تنشهای حاصل از بدنه سد، فشار استاتیکی آب و نیروی دینامیکی امواج، زلزله و غیره قرار دارند، که به منظور مقاومت در مقابل آنها باید تمامی ملاحظات لازم صورت پذیرفته و طرح ایمنی اجرا گردد [۲۳].

تغییرشکلهای یک سد خاکی با افزایش تنشهای موثر در مدت ساخت به وسیله لایه های متوالی مصالح خاکی و نیز به وسیله تاثیرات خزش مصالح ایجاد میشوند. بعد از پایان ساخت سد نیز حرکات قابل توجه تاج و بدنه سد میتواند در مدت تکمیل مقدماتی مخزن گسترش یابد و بعد از آن، نرخ تغییرشکلهای معمولاً با زمان کاهش پیدا میکند که میتواند باعث نشستهای مختلف بین هسته، پوسته، فیلترهای بالادست و پائین دست و پدیده قوس زدگی گردد و در نهایت ممکن است به شکست هیدرولیکی سد بینجامد [۲۳].

سدهای سنگریزه‌ای از مصالحی که حداکثر قطر ذراتشان در حدود ۱ متر است، تشکیل شده‌اند. بنابراین انجام تستهای آزمایشگاهی مقاومت برشی روی مصالح سنگریزه خیلی سخت است. به جای تستهای آزمایشگاهی، اغلب بررسی اطلاعات جمع آوری شده از تغییر شکلهای مشاهده شده در سدهای سنگریزه‌ای ساخته شده سودمندتر است [۲۴].

در این بخش، اطلاعات گردآوری شده در نوشته‌ها درباره تغییرشکلهای عمودی و جانبی سدهای سنگریزه‌ای مرور خواهد شد.

۱- لوتن و لستر با مطالعه ۱۱ سدهای که بین سالهای ۱۹۲۵ تا ۱۹۶۴ ساخته شده بودند، فهمیدند که نشست میتواند با رابطه (۱-۲) بیان شود:

$$S = 0.001H^{3/2} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

بر طبق این تحقیق، انحراف افقی (تغییرشکل خمشی) تاج حدود ۵۰٪ نشست آن است [۲۵].

۲- ساورز و همکاران با تحلیل رفتار ۱۴ سد سنگریزه‌ای، دریافتند که نشست تاج یک سد سنگریزه‌ای برابر ۰/۲۵ تا ۱٪ ارتفاع است. مستقل از ارتفاع سد، مقطع عرضی یا نوع مصالح خاگریزی، رابطه پیشنهادی آنها رابطه (۲-۲) است که به عنوان درصدی از ارتفاع، بین زمانهای t_1 و t_2 نتیجه میدهد. در این رابطه α نرخ تغییر نشست از ۰/۲ تا ۰/۵ است [۲۶].

$$\Delta H = \alpha \cdot (\log t_2 - \log t_1) \quad \text{رابطه (۲-۲)}$$

۳- سویدمیر و کجا ارنس لی برای نشست تاج سدهای سنگریزه‌ای متراکم با رویه غیر قابل نفوذ، رابطه (۳-۲) را در آگیری اولیه، و سه برابر این مقدار را بعد از ۱۰ سال بهره برداری، پیشنهاد کردند. لازم به ذکر است که این رابطه ساده، نشستهای محاسبه شده در تاج سد را با متوسط ضریب ۳/۲، بیشتر از نشست های مشاهده شده تخمین میزند [۲۷].

$$S = 10^{-4} \cdot H^{3/2} \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

۴- هیئت توسعه آبادانی ایالات متحد، برای طراحی سدهای سنگریزه‌ای، نشست حداکثر تاج سد را برابر ۱٪ ارتفاع (H 1%) (به علاوه هر تغییر شکل ناشی از نشست فونداسیون)، برای سدهای سنگریزه‌ای با ارتفاع کمتر از ۱۵ متر، پیشنهاد کرد [۲۴].

۵- به عقیده هانت و فل سدهای سنگریزه‌ای بعد از تکمیل ساخت خود به تغییر شکلهای طولانی ادامه میدهند، هر چند با یک نرخ نزولی همراه باشد. بر طبق نظر این محققین، مشخصات تراکم پذیری سنگریزه به وسیله عواملی همچون: درجه فشردگی (تراکم) سنگریزه، وضعیت تنش اعمال شده و مسیر تنش، شکل ذرات و توزیع اندازه ذرات، مقاومت بکر (دست نخورده) سنگ و قابلیت آسیب پذیری سنگریزه برای رمبش ناشی از مرطوب شدن، تاثیر میپذیرد [۲۸].

۶- اولین پژوهشهای تجربی در زمینه قوسزدگی در سدهای خاکی، اندازه گیری تنشهای قائم در سد جان مارتین در سالهای ۱۹۴۱ و ۱۹۴۲ است. با توجه به نتایج بدست آمده، در مرز هسته رسی و فیلترها مقدار تنش قائم افت پیدا میکند و در کناره‌های هسته به کمترین مقدار خود میرسد و مقدار تنش در مرکز هسته رسی از کناره‌ها بیشتر است. به عبارتی در مرز هسته رسی با فیلترها بیشترین مقدار قوسزدگی رخ داده است [۲۹].

۷- در مطالعات مشابهی که هانتز در سال ۲۰۰۳ انجام داد، با ایجاد مدل عددی یک سد خاکی به روش تفاضل محدود به بررسی تاثیر عرض هسته بر میزان قوس زدگی پرداخته است. نتیجه اینکه برای سدی با هسته پهن تر، مقدار قوس زدگی کمتر از قوس زدگی با هسته باریک بوده و مقدار تنش قائم در مرکز هسته با زیاد شدن عرض هسته افزایش می یابد. همچنین برای هسته با شیب ۵/۰ افقی به ۱ قائم، مقدار تنش در مرکز هسته با مقدار تنش در سد همگن با همان مصالح سنگریزه یکسان شده است [۳۰].

۸- نریمان مهابادی و رضا امام به بررسی قوس زدگی در هسته سیلتی رسی سد سنگریزه ای دوستی (جنوب شرقی ایران) بر اساس قرائت های ابرابندی سد و تحلیل المان محدود مقاطع مختلف سد پرداختند. به منظور مطالعه رفتار سد در مدت ساخت، شش مقطع سد با کاربرد گام به گام لایه های خاک در هر مقطع مدلسازی شد و بدین منظور از مدل هیپربولیک غیرخطی دانکن-چانگ استفاده شد. نتایج تحلیل نشان داد که بیشترین تغییر شکلها در حدود ارتفاع میانی هسته رخ میدهند. تاثیرات قوس زدگی در هسته رسی سیلتی سد با ارتفاع هسته، عرض مقطع، و مجاورت تکیه گاه های سنگی به هسته سد تغییر میکند و بیشترین تاثیرات قوس زدگی در حدود یک چهارم ارتفاع سد از پی، و کمترین تاثیرات در تاج سد اتفاق می افتد [۳۱].

۲-۱۰-۲- تحلیل پایداری شیروانیها

در نیم قرن گذشته در زمینه تحلیل استاتیکی و تغییر مکان شیب های خاکی مطالعات بسیاری صورت گرفته است که استفاده از کامپیوتر در سالهای گذشته تحول اساسی در این زمینه ایجاد کرده است و دقت کار را تا حد زیادی بالا برده است. هر چند نمی توان پارامترهایی مثل دانش مهندسی، فهم و درک بالا از مکانیک خاک، قضاوت های مهندسی و عوامل دیگر را در این زمینه نادیده گرفت [۲۲].

به طور کلی روش های آنالیز پایداری شیروانی ها به دو دسته تحلیل دو بعدی و سه بعدی تقسیم می گردد و اغلب این روشها بر پایه تعادل حدی می باشد [۲۲].

روش مرسوم آنالیز پایداری شیب، تعادل توده خاک محصور مابین سطوح لغزش بالقوه مفروض و سطح شیروانی را مورد بررسی قرار می دهد. نیروها و لنگر هایی که گرایش به ایجاد ناپایداری توده خاک

را دارند با آنهایی که تمایل به مقاومت در مقابل پایداری دارند مقایسه می شوند. اغلب روشها یک مقطع دو بعدی و شرایط کرنش مسطح را برای آنالیز فرض می کنند. مفروضات دیگر مربوط به سطح لغزش بالقوه نیز انجام می گیرد تا اینکه بحرانی ترین سطح (کمینه ضریب اطمینان) بدست آید [۲۲].

اگر مقاومت برشی خاک در طول سطح لغزش از مقدار لازم جهت تامین تعادل بیشتر باشد، توده خاک پایدار است و در غیر اینصورت ناپایدار می باشد. پایداری یا ناپایداری توده خاک بستگی به وزن آن، نیروهای خارجی وارده بر آن، مقاومت برشی و فشار آب منفذی در طول سطح لغزش دارد [۲۲].

در این بخش، اطلاعات گردآوری شده در نوشته‌ها درباره آنالیز پایداری شیروانی سدهای خاکی- سنگریزه‌ای مرور خواهد شد.

۱- برای اولین بار روش اجزای محدود برای مسائل ژئوتکنیک توسط Clough و Woodward در سال ۱۹۷۶ میلادی مطرح گردید اما استفاده از این روش برای تحلیل سازه هیا خاکی بزرگ مانند سدهای خاکی توسط Duncan در سال ۱۹۹۶ ارائه گردید. در سال ۱۹۷۶ میلادی Clough و Zienkiewicz گزارشات خیلی کلی برای تحلیل استاتیکی سدهای خاکی ارائه دادند. (Kuhleymer and Lysmer, 1983) و (Zienkiewicz and Naylor, 1976)

۲- Conte و همکاران در سال ۲۰۰۹ به آنالیز پایداری شیروانی ها با رفتار کاهش کرنش پرداختند. در این تحقیقات که از نرم افزار Plaxis جهت مدل سازی استفاده شده بود، در یک شیب معین شیروانی به تعیین روابط بین پارامترهای خاک و پایداری شیروانی پرداخته شده و در نهایت روابطی جهت تخمین پارامترهای خاک ارائه شد.

۳- Ozer و Bromwell در سال ۲۰۱۲ به بررسی پایداری سد خاکی بر روی پی رس و لای با مطالعه موردی پرداختند. در این تحقیقات تاثیر پارامترهای مختلف اجزای تشکیل دهنده بدنه و پی سد بر روی پایداری استاتیکی و دینامیکی سد بررسی شده و در نتیجه مشخص شد که با توجه به تمهیدات در نظر گرفته شده، این سد از لحاظ پایداری استاتیکی و دینامیکی مشکل نخواهد داشت.

۴- کاظم بد و همکاران در سال ۱۳۸۷ نتایج تحلیل رفتار ژئوتکنیکی سد شهر چای از نظر تغییر شکل و نشست در انتهای ساخت و در حین بهره‌برداری با استفاده از نرم افزار المان محدود Plaxis ارائه گردیده است. نتایج بدست آمده نشان داد که تطابق خوبی بین داده های تحلیل عددی با داده های مشاهده‌ای وجود دارد.

۵- امین پور و همکاران در سال ۱۳۸۷ به بررسی پایداری شیب، جریان نشتی و رفتار دینامیکی سد مارون هنگام زلزله با استفاده از بسته نرم افزاری Geo Studio پرداختند. نتیجه این تحقیقات نشان داد که ضرایب اطمینان محاسبه شده جهت پایداری شیروانی بالادست و پایین دست سد مارون در حالت تراوش دائم و تخلیه سریع در حالات استاتیکی و دینامیکی در محدوده مجاز بوده و این سد از لحاظ استاتیکی و دینامیکی مشکل پایداری نخواهد داشت.

۶- نصرتیان و کریمی در سال ۱۳۹۰ با مدل سازی عددی سد Carsington به بررسی آنالیز تراوش و پایداری سد در حالت بارگذاری استاتیکی پرداختند. نتایج این تحقیقات مشخص نمود که با توجه به استانداردهای USBR و نتایج حاصله از مدل عددی در حالت های پایان ساخت، تراوش دائم و تخلیه سریع، حداقل ضرایب اطمینان محاسبه شده در حد قابل قبولی بوده و پایداری سد مذکور از لحاظ استاتیکی مشکلی نخواهد داشت.

۷- حقیقت و همکاران در سال ۱۳۹۲ با تحلیل استاتیکی و شبه استاتیکی شیروانی های سد خاکی رودبال با استفاده از نرم افزار Geo Studio و مدل نمودن سد در نرم افزار به بررسی وضعیت این سد و تحلیل استاتیکی و شبه استاتیکی آن پرداختند. در نهایت خروجی از این نرم افزار حاکی از آن بود که ضرایب اطمینان بدست آمده برای این سد با توجه به استانداردهای ضرایب اطمینان در حالت های مختلف بارگذاری، در حد قابل قبولی قرار دارند.

فصل سوم

مواد و روش تحقیق

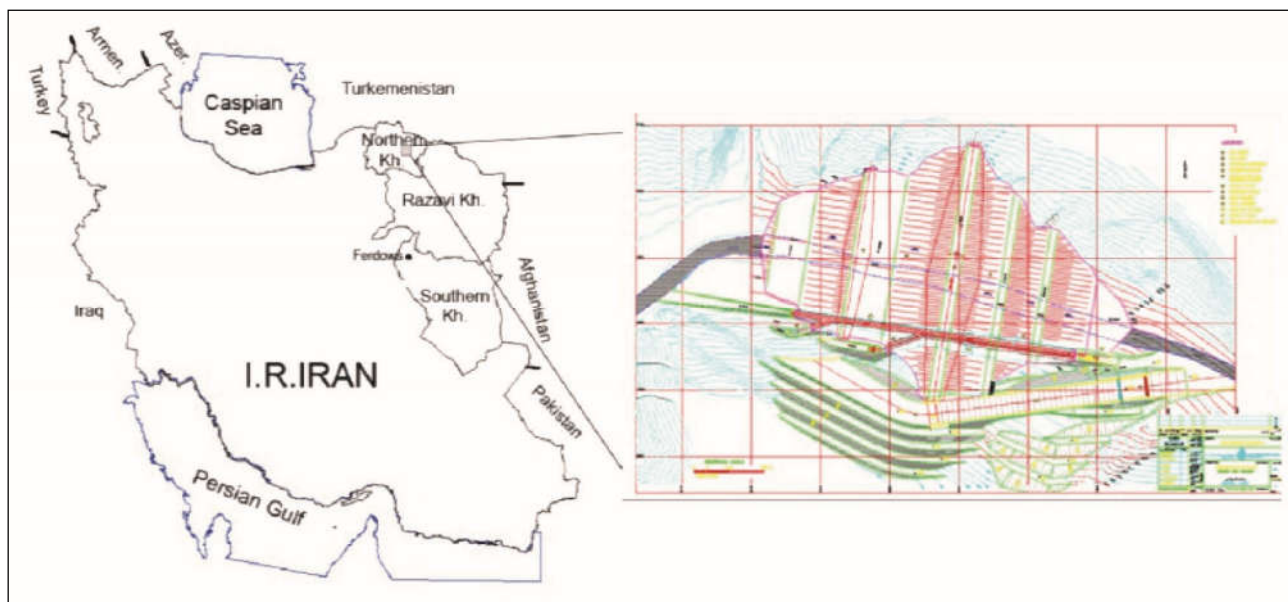
۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به معرفی سد شورک شیروان و سپس به معرفی نرم افزار Slope/w که یکی از زیرمجموعه‌های نرم افزار Geostudio می باشد، پرداخته شده و در انتها به ارائه رئوس فعالیت‌های انجام شده و تشریح آنها خواهیم پرداخت.

۳-۲- موقعیت جغرافیایی پروژه سد شورک

سد مخزنی شورک، سدی خاکی است که در ۲۵ کیلومتری غرب شهر شیروان و در بخش مرکزی آن شهرستان قرار دارد. فاصله این شهر تا تهران حدود ۷۲۰ کیلومتر و تا مشهد ۱۹۰ کیلومتر است. موقعیت محل احداث پروژه در مختصات طول جغرافیایی شرقی $6^{\circ} 43' 57''$ و عرض جغرافیایی شمالی $37^{\circ} 22' 23''$ واقع گردیده است.

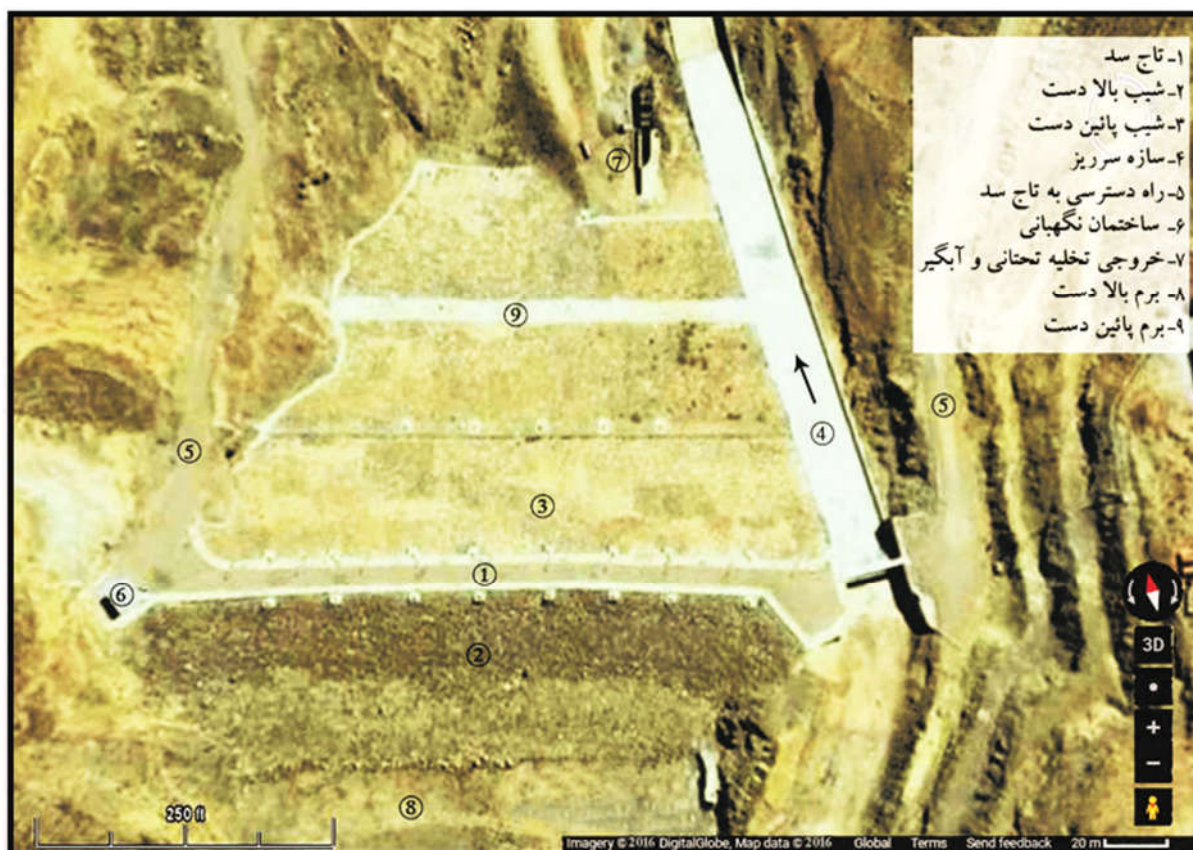
نقشه راه‌های دسترسی، پلان هوایی، محدوده تاسیسات سد و عکس ماهواره‌ای موقعیت سد شورک نسبت به شهر شیروان به ترتیب در اشکال (۳-۱)، (۳-۲)، (۳-۳)، (۳-۴) و (۳-۵) ارائه گردیده است.



شکل (۳-۱) نمایش از پلان و موقعیت سد شورک در کشور ایران



شکل (۳-۲) نقشه راه‌های دسترسی به محل سد شورک شیروان



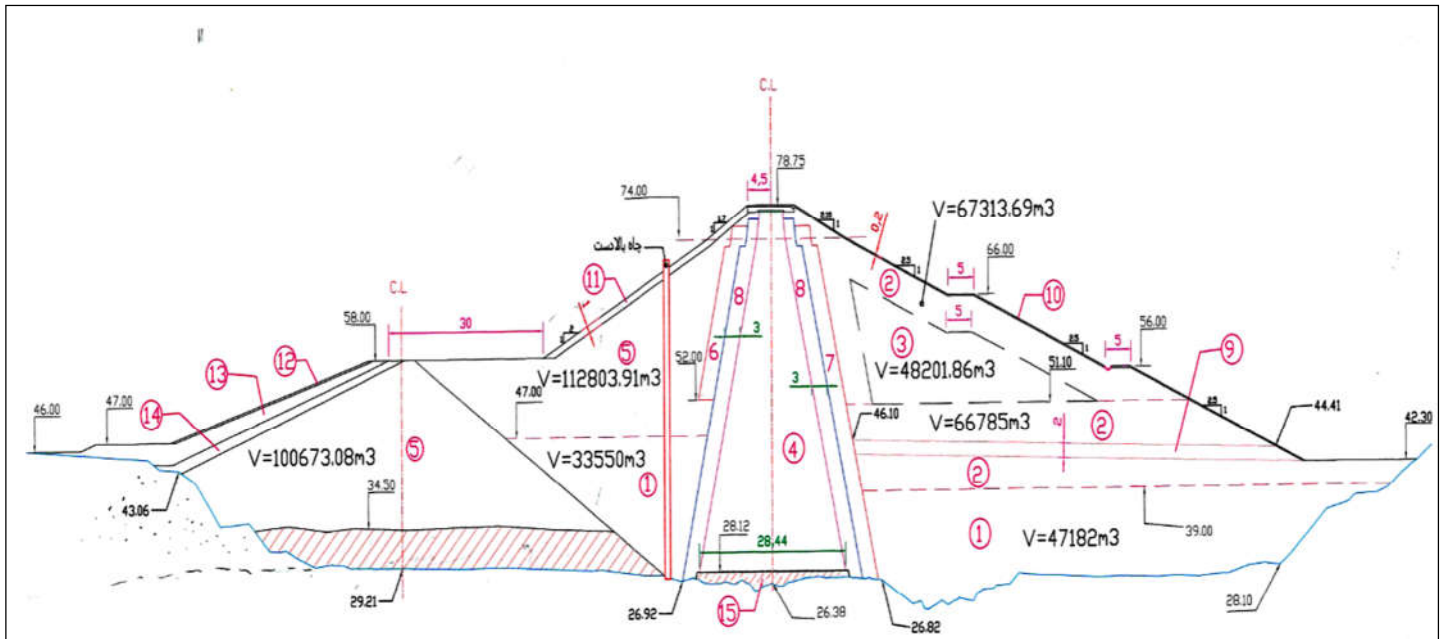
شکل (۳-۳) پلان هوایی سد شورک اقتباس شده از تصویر ماهواره ای

۳-۳- خلاصه مشخصات فنی سد

سد مخزنی شورک یک سد خاکی سنگریزه ای زون بندی شده با هسته مرکزی رسی می باشد. عملیات اجرائی این سد در سال ۱۳۸۳ به اتمام رسیده است. مشخصات فنی بدنه سد در جدول (۱-۳) ارائه گردیده است. مقطع عرضی سد (شکل ۳-۶) و نمای جانبی سد (شکل ۳-۷) در ادامه نشان داده شده است.

جدول (۱-۳) خلاصه مشخصات فنی سد شورک

نوع سد	خاکی - سنگریزه ای با هسته مرکزی	رقوم تراز حداقل	۶۸ متر
ارتفاع سد از بستر رودخانه	۳۴ متر	عرض هسته در تاج	۴ متر
ارتفاع سد از پی سنگی	۵۰ متر	عرض هسته در قاعده	۲۸/۴۴ متر
عرض تاج سد	۹ متر	رقوم تاج هسته	۷۷ متر
طول تاج	۱۹۵ متر	عرض برم در بالادست در تراز تاج فراز بند	۳۰ متر
ارتفاع فراز بند	۱۲ متر	عرض برم بالادست در تراز ۴۷ متری (۳متر بالاتر از رقوم بستر رودخانه)	۲۵ متر
رقوم بستر رودخانه	۴۴ متر	عرض برم در پایین دست در ترازهای ۶۵ و ۶۶	۵ متر
رقوم پی سنگی در زیر هسته	۲۸/۱۲ متر	شیب های بالادست از تاج به پایین	۱/۷ ، ۱:۲
رقوم تاج سد	۷۸/۷۵ متر	شیب های بالادست از تاج به پایین	۱: ۲/۵ ، ۱: ۲/۱
رقوم تراز نرمال	۷۳ متر		



شکل (۶-۳) مقطع عرضی سد شورک



شکل (۷-۳) نمای جانبی سد شورک - دید از سمت تکیه گاه راست

۳-۴- معرفی نرم افزار Geostudio

بسته نرم افزاری Geostudio برای انجام مدل سازی یک سد، کنترل پارامترهایی از یک خاک را داراست و برای مدل سازی ژئوتکنیک و محیط جغرافیایی گسترده مورد استفاده قرار می گیرد.

۳-۴-۱- مدل سازی عددی در نرم افزار Geostudio

مدل سازی عددی در واقع روشی است که به کمک آن از یک فرآیند فیزیکی که در دنیای واقعی رخ می دهد، شبیه سازی ریاضی می شود. در این روش فرآیند مورد بررسی در قالب یک محیط ریز شده شبیه سازی می شود و سپس روی طیف وسیعی از متغیرهای آن پژوهش می شود. روش های عددی در مسائل مهندسی می توانند کاربردهای زیادی داشته باشند. در گذشته به علت نبود امکانات رایانه ای کافی و همچنین زمان بر بودن انجام محاسبات بیشتر از روابط تجربی استفاده می شد. باید توجه داشت که حل دقیق مسائل ژئوتکنیکی با استفاده از روشهای تجربی و عددی به تنهایی ممکن نیست، ترکیب این دو روش می تواند ما را در حل مسائل پیچیده کمک کند. اساس روش های عددی تبدیل یک محیط با بینهایت درجه آزادی به محیطی با درجه آزادی محدود در تعداد معینی از نقاط محیط است. موقعیت تعداد و ارتباط نقاط یاد شده توسط مش بندی مشخص می شود. امروزه با توجه به پیشرفت سریع علم کامپیوتر استفاده از روشهای عددی برای حل مسائل ژئوتکنیکی گسترش چشمگیری داشته است. از کاربردهای این نرم افزار همچنین می توان به آنالیز و طراحی پروژه های ژئوتکنیکی، عمرانی، هیدرولیکی و معدن اشاره کرد [۴۶].

۳-۵- معرفی نرم افزار Slope/w

نرم افزار Slope/w که یکی از زیرمجموعه های نرم افزار Geostudio می باشد برای بررسی پایداری سطوح شیب دار و تعیین ضریب اطمینان (F.S)^{۱۵} در طراحی شیب است که این فرآیند از طریق روش های تعادل حدی از قبیل Bishop, Ordinary, Janbo به صورت پیش فرض صورت می گیرد و در کنار این روشها از دیگر روش ها شامل Spencer, Morgenstern-Price و GLE هم استفاده می کند [۴۶].

۳-۵-۱- عوامل موثر بر پایداری شیب

عوامل مختلفی بر پایداری شیب ها تاثیر دارند. این پارامترها شامل چسبندگی خاک، ضریب اصطکاک خاک، تنش‌های موجود و تراز آب هستند. این پارامترها به نوعی در مقاومت برشی سطح لغزش موثر هستند. برای مثال اگر خاک بدون چسبندگی باشد، سطح لغزش ایجاد شده بسیار نزدیک به خود شیب و محدود به خود شیب می‌شود و از طرف دیگر برای خاک‌های پسمنده این سطح به صورت یک قوس کامل است و قسمتی از سطوح قبل و بعد از شیب را هم در بر می‌گیرد. همچنین برای خاک‌هایی که ضریب اصطکاک ناچیزی دارند این سطح بسیار بزرگ و دارای عمق زیادی است. همچنین هندسه‌ی سطح و شیب آن هم در هندسه‌ی سطح لغزش بوجود آمده اثر می‌گذارد [۴۶].

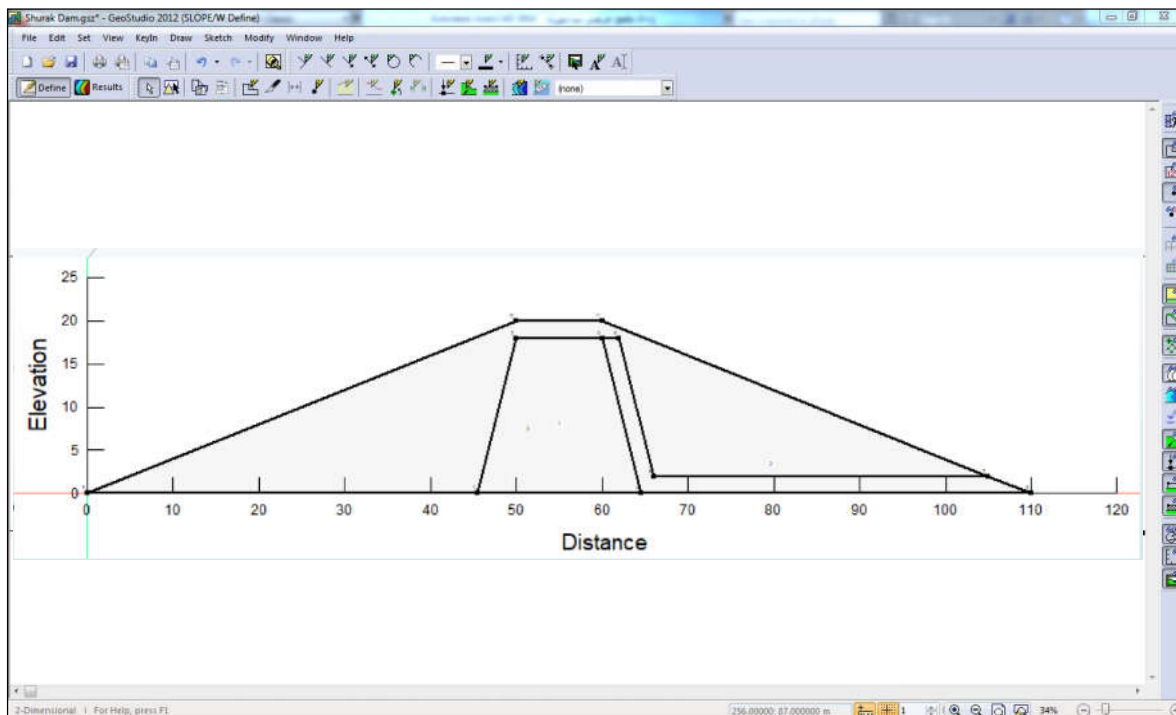
۳-۶-۱- مدل سازی پروژه در Slope/w

پس از اجرای نرم افزار GeoStudio و انتخاب زیرمجموعه Slope/w، تنظیمات اولیه که شامل تنظیمات نمای دید (منوی Set)، تنظیمات نمایشی (منوی View) و تعریف مشخصات مدل (منوی KeyIn) می‌باشد، را انجام داده و پس از آن به مدل سازی گرافیکی سد و تعریف پارامترهای مورد نیاز جهت آنالیز سد و در نهایت به تحلیل مدل گرافیکی می‌پردازیم.

۳-۶-۱- ترسیم هندسه مدل گرافیکی

۳-۶-۱-۱- ترسیم شکل اولیه مدل گرافیکی

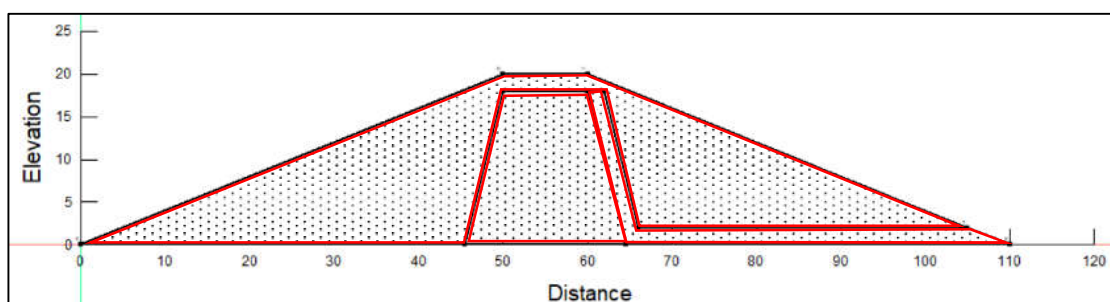
برای این منظور از ابعاد هندسه بدنه سد جهت ترسیم هندسه مدل استفاده کنیم (شکل (۳-۸)).



شکل (۸-۳) شکل اولیه ترسیم شده برای مدل گرافیکی

۳-۶-۱-۲- ترسیم المان های مدل گرافیکی

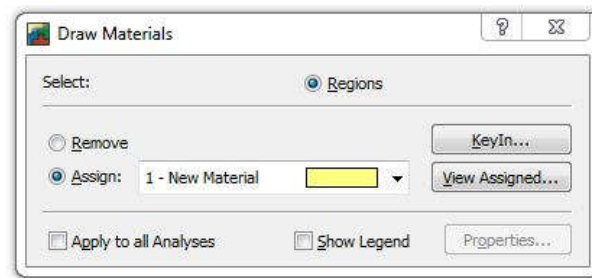
پس از ترسیم هندسه مدل گرافیکی باید المان های مدل را به تفکیک مصالح ترسیم و مشخص نماییم (شکل ۹-۳).



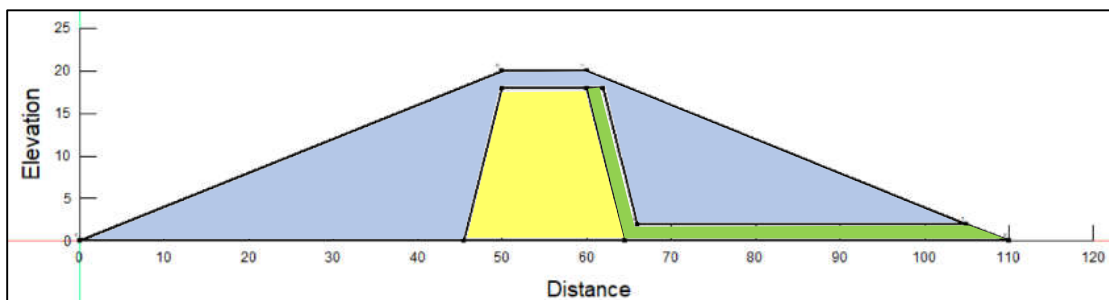
شکل (۹-۳) ترسیم المان های مدل گرافیکی

۳-۶-۱-۳- تخصیص خصوصیات مصالح تعریف شده

به این صورت که با انتخاب این گزینه، جعبه ای مطابق شکل (۱۰-۳) باز می شود که نوع مصالحی که باید به Region مورد نظر تخصیص داده شود را انتخاب کرده و روی ناحیه مورد نظر کلیک کرده تا ناحیه مورد نظر رنگ مصالح انتخابی را به خود بگیرد. تصویر نهایی مدل گرافیکی بعد از تخصیص مصالح برای هر Region در شکل (۱۱-۳) نمایش داده شده است.



شکل (۳-۱۰) جعبه Draw Materials



شکل (۳-۱۱) نمایش نحوه تخصیص مصالح

۳-۶-۲- تخصیص پارامترهای مصالح

پس از تخصیص نوع مصالح برای هر Region با توجه به مدل رفتاری مصالح که معروف ترین آنها مدل رفتاری Mohr-Coulomb می باشد، پارامترهای تک تک مصالح بکار رفته در بدنه سد را در قسمت‌های Basic، Suction، R Envelope، Liquefaction و Advanced به مدل گرافیکی معرفی می‌کنیم.

شکل (۳-۱۲) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Basic

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

☐ Phi B

☒ Vol. WC Fn. Dam Core ...

Residual Water Content:

15 % (% of Sat WC)

شکل (۳-۱۳) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Suction

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

Undrained strength parameters for staged analyses (Duncan et al., 1990):

Cohesion R: 0 kPa

Phi R: 0 °

شکل (۳-۱۴) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت R Envelope

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

☐ Use steady-state strength when liquefied

Steady-state strength (C_{ss}): 0 kPa

Collapse surface angle: 0 °

شکل (۳-۱۵) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Liquefaction

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

Unit Weight in Unsaturated Zone:

☐ Use saturated unit weight

☐ Use constant unsaturated unit weight: 0 kN/m³

☒ Calculate from the material Vol. WC Fn:

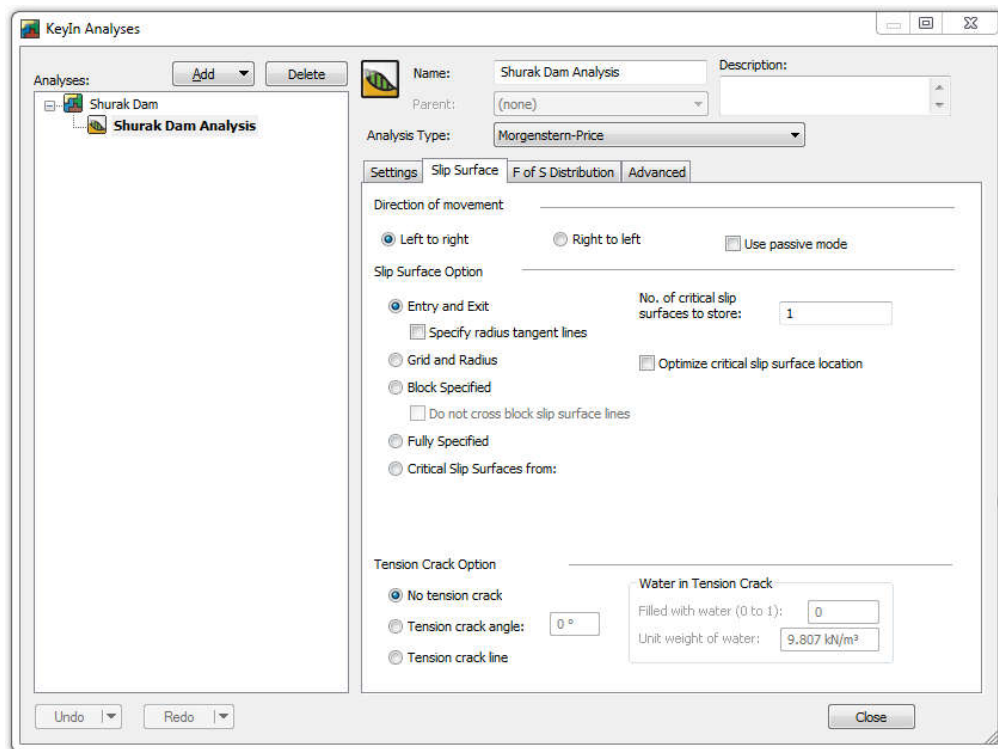
Dam Core ...

Anisotropic Fn: (none) ...

شکل (۳-۱۶) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Advanced

۳-۶-۳- انتخاب نوع تحلیل پایداری

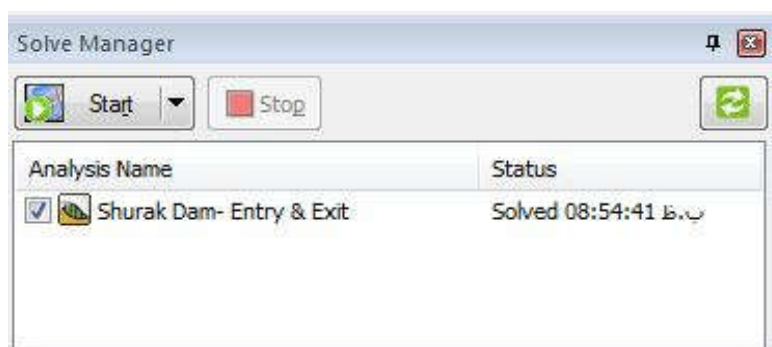
روشهای مختلفی برای تحلیل پایداری شیب ها وجود دارد که شامل روشهای Grid, Entry & Exit و ... هستند که این روشها هم در حالت استاتیکی مورد استفاده قرار می گیرند و هم در حالت شبه استاتیکی (شکل ۳-۱۷).



شکل (۳-۱۷) نمایش زیر منوی Slip Surface از منوی Analyses

۳-۶-۴- تحلیل مدل گرافیکی و ارزیابی نتایج

پس از مدل نمودن مسئله و اختصاص مشخصات مصالح به آن و نیز انتخاب نوع آنالیز، مدل آماده آنالیز و تحلیل است. (شکل ۳-۱۸)



شکل (۳-۱۸) نمایش منوی Solve

پس از پایان زمان تحلیل نتایج بدست آمده قابل بررسی است و نیز امکان بررسی خروجی ها با توجه به انتخاب پارامتر مورد نظر وجود دارد.

همچنین برای دیدن تمامی مقادیر ضریب اطمینان و مشخصات مربوط به آنها و همچنین مشاهده ضریب اطمینان بحرانی می توان از قسمت Slip Surfaces استفاده نمود.

۷-۳- رئوس فعالیت های میدانی

۱- جمع آوری مدارک و اطلاعات لازم

۲- بررسی های دفتری و برنامه ریزی فعالیت های میدانی

۳- انجام فعالیت های میدانی که خود شامل موارد زیر می باشد:

الف- نقشه برداری پلان سد با مقیاس دقیق به منظور استفاده از شبکه میکروژئودوزی^{۱۶} جهت

بررسی تغییر شکل ها و جابجایی ها.

ب- حفر ترانشه شناسایی و استفاده از شناساگر رنگی

ج- نمونه گیری و انجام آزمایشات برجا و آزمایشگاهی

شرح خدمات فوق بعد از جمع آوری مدارک و اطلاعات لازم و بررسی های دفتری، به شکل زیر

برنامه ریزی شده و فعالیت های میدانی بر اساس آن انجام شده است؛

۱- بررسی کلیه سازه، تحلیل ظاهری بدنه سد و سازه های جنبی و آسیب های وارده

۲- بررسی وضعیت ترک ها و تعیین محل حفر و تعداد ترانشه و ریختن مایع رنگی

۳- تحلیل آسیب ها، نمونه گیری و انجام آزمایش های برجا و مستند سازی داخل ترانشه

۴- مدل سازی قوس لغزش و انجام محاسبات پایداری بدنه سد

۵- تهیه طرح مرمت بر اساس قوس لغزش مدل شده و تحلیل عوامل تغییر شکل ها بر اساس

نقشه های موجود مرحله دوم مطالعات و نقشه توپوگرافی جدید برداشت شده.

موارد فوق در صورت نبود ابزار دقیق تعبیه شونده در بدنه سد مدنظر می باشد. در صورت موجودیت

ابزار دقیق، شرایط مقایسه ای این طرح با طرحی که با استفاده از اعداد و ارقام و اطلاعات ابزار بدست

می آید، میسر می‌گردد. در این پایان نامه سعی به عمل آمده است که با توجه به انحصاری بودن این ابزار، مشکل هزینه و ارزیابی آنها را حل نموده و تعداد مورد استفاده از این ابزار آلات در طرح ها به حداقل ممکن برسد.

با توجه به اینکه در کشور ایران تعداد زیادی از سدهای کوچک و بزرگ بدون ابزار دقیق اجرا شده است و اکثراً آسیب دیده اند، زمینه بکارگیری این شیوه عملاً خیلی وسیع پیش‌بینی می‌شود و ارزش این روش را فوق‌العاده بالا می‌برد.

با بکارگیری این روش جهت تحلیل عوامل آسیب ها، در سدهای خاکی و خاکی سنگریزه ای در صورت موجودیت ابزار دقیق در بدنه سد، زمینه تدقیق و تصحیح اعداد و ارقام و اطلاعات مساعد گردیده و با استفاده از این شرایط مقایسه ای امکان مناسب بهینه سازی طرح مرمت متصور است.

۳-۸- بررسی های دفتری و انجام فعالیتهای میدانی

۳-۸-۱- بررسی گزارشها و آلبوم نقشه های موجود سد شورک

پس از جمع آوری اطلاعات و مدارک لازم و نیز مطالعات انجام شده تا کنون در بررسی های دفتری، کلیه منابع و مآخذ تهیه شده از شرکت های مهندسين مشاور بازبینی و مطالعات لازم روی آنها انجام شد. این منابع هر کدام به نوبه خویش ارائه کننده ایده های متفاوت و گاه موافق بوده که در مجموع مرمت و بازسازی بدون یک طرح جامع و کامل را شامل می‌شده است. این طرح‌ها کاملاً خلاصه و در حد متون چند صفحه‌ای با استفاده از دیدگاههای کارشناسی جمع بندی و نتیجه‌گیری شده است. در گزارش نهایی مهندسين مشاور مهتاب قدس دقت بیشتر و ارائه طرح‌های جامع‌تر که نتیجه تحلیل و پردازش اطلاعات ابزار دقیق تعبیه شده در سد و حفاری‌های انجام شده تا عمق حداکثر ۸ متر که آن هم به شکل گمانه‌های قائم دستی می‌باشد، مورد توجه قرار گرفته است. ضمناً انجام آزمایشهای در حد دانه‌بندی، آزمایش حدود اتربرگ و آزمایش تراکم (تعیین دانسیته) نیز صورت گرفته است. لازم به ذکر است با استفاده از داده‌های ابزار دقیق در مقاطع عرضی مختلف بدنه سد، تحلیل‌هایی نیز صورت گرفته که در نتیجه چگونگی وضعیت ترک‌ها را در داخل بدنه سد با ترسیم منحنی‌ها به تصویر کشیده و نتیجه‌گیری نموده است. مضاف بر موارد فوق قرائت‌های سطحی با استفاده از برداشت‌های ارتفاعی از

BM^{۱۷}های موجود در محدوده سد و تکیه گاهها، نشست‌های قائم بدنه سد در پلان نیز صورت گرفته است که نسبت به سایر گزارشها از توضیحات بیشتر برخوردار می‌باشد.

با بررسی گزارش مرمت سد شورک ملاحظه گردید محاسبات پایداری برای شیب بالادست با استفاده از مدلسازی عددی با در نظر گرفتن زاویه اصطاک داخلی برای مصالح سنگ ریزه‌ای معادل ۳۸ درجه (که چگونگی انتخاب این عدد مورد سوال است) صورت پذیرفته است. در گزارش چنین آمده است: ((بر اساس نتایج محاسبات پایداری، در شرایطی که سطح آب مخزن در زمان بهره برداری در وضعیت نیمه پر قرار می‌گیرد، شیب بالادست در بحرانی‌ترین وضعیت خود قرار خواهد گرفت. برای شناخت بحرانی‌ترین دواير گسيختگی شیب بالادست با سطح آب مخزن در ترازهای مختلف پایداری شیب بالادست کنترل گردید که در نهایت در شرایطی که سطح آب در تراز ۶۷ قرار دارد، ضریب اطمینان حداقل برابر ۱/۴۴ در حالت استاتیک حاصل می‌گردد. بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که شیب بالادست در شرایط استاتیک از پایداری کافی در آگیری سد برخوردار می‌باشد. سطح گسیختگی بحرانی شیب بالا دست در شکل ۷-۱ نمایش داده شده است [۳۶].

برای کنترل پایداری شیب بالادست در شرایط وقوع زمین لرزه از روش شبه استاتیکی استفاده گردید. در این محاسبات، شتاب حاصل از زمین لرزه به صورت کسری از شتاب ثقل اعمال می‌گردد. شتاب زلزله بکار گرفته شده در آنالیز شبه استاتیکی مطابق با توصیه های پروفیسور سید^{۱۸} برای زلزله با بزرگی ۷/۲ ریشتر برابر ۰/۱۲g می باشد. بر اساس نتایج محاسبات پایداری در شرایط شبه استاتیک، ضریب اطمینان حداقل برای سطح گسیختگی نشان داده شده در شکل شماره ۷-۲ برابر ۱/۰۶۴ بدست آمده است)) [۳۶].

این مطالب عیناً از گزارش مذکور استخراج شده و شکل‌های مورد اشاره (۷-۱ و ۷-۲) در پیوست (۱) ارائه شده است.

با عنایت به اینکه حداقل ضریب اطمینان مجاز توصیه شده برای کنترل پایداری در شرایط شبه استاتیک ۱/۱۵ می‌باشد، لذا بررسی اتخاذ تمهیدات مناسب برای تامین پایداری در شرایط وقوع زمین

17- Benchmark

18 - Harry Bolton Seed (father of geotechnical earthquake engineering)

لرزه ضرورت خواهد داشت. شایان ذکر است که مبنای ضریب اطمینان توصیه شده در روش "پروفسور سید" محدود نمودن میزان عرض تاج سد در اثر وقوع زمین لرزه است و به تامین ارتفاع آزاد مورد نیاز نشست های ناشی از وقوع زلزله قابل جبران خواهد بود [۲۱].

۳-۸-۲- انجام فعالیتهای صحرایی

عملیات صحرایی که به صورت مستمر و مطابق برنامه از پیش تهیه شده به اجرا در آمده شامل دو بخش اساسی زیر می باشد:

الف- کارهای سطحی شامل بررسی کامل بدنه، تاج سد و سازه های منوط به آن، امور نقشه برداری و عکس برداری.

ب- عملیات ژئوتکنیک که شامل کارهای داخلی و عمقی مانند تعیین محل حفر و تعداد ترانشه های شناسایی به کمک مایع رنگی و برداشت ها یا اندازه گیری مشخصات ترک ها و ترانشه، نمونه برداری برای انجام آزمایش های مکانیک خاک و انجام آزمایش های ژئوتکنیک (دانه بندی، وزن مخصوص، برش مستقیم و سه محوری) در محل و آزمایشگاه می باشد.

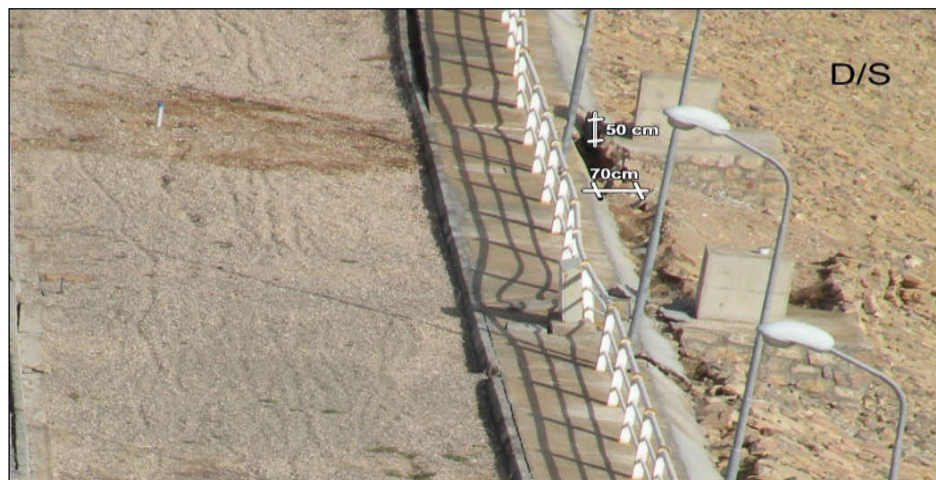
۳-۸-۲-۱- کارهای سطحی روی تاج و بدنه سد

در بحث کارهای سطحی سه مورد اساسی که عبارت از تحلیل و بررسی حالت های مختلف ترک- خوردگی، جابجایی و یا لغزش، عکس برداری از آنها و اندازه گیری ابعاد و اندازه های ترک ها می باشد، مورد توجه قرار گرفته است.

همچنین بررسی دقیق و جامع از وضعیت عمومی بدنه سد و تکیه گاه ها، شیب ها، برم ها و سازه های پیاده رو و ابزار دقیق را می توان از فعالیتهای این بخش دانست.

این بررسی ها به وضوح نشان داد که تغییر شکل ها و جابجایی ها در تاج سد در جهت بالادست بوده و بیشترین جابجایی در تاج سد رخ داده است. بازشدگی دهانه ترک ها عمدتاً به ابعاد ۲ تا ۷۰ سانتی متر به سمت بالا دست در تاج سد، در محل جدا شدن پیاده رو و نرده های حفاظ از شیب پائین دست به

جهت بالادست اندازه‌گیری گردید. این جابجایی‌ها به طور قائم تا ۵۰ سانتی‌متر و در جهت افقی تا حدود ۷۰ سانتی‌متر رسیده است (شکل ۳-۱۹).



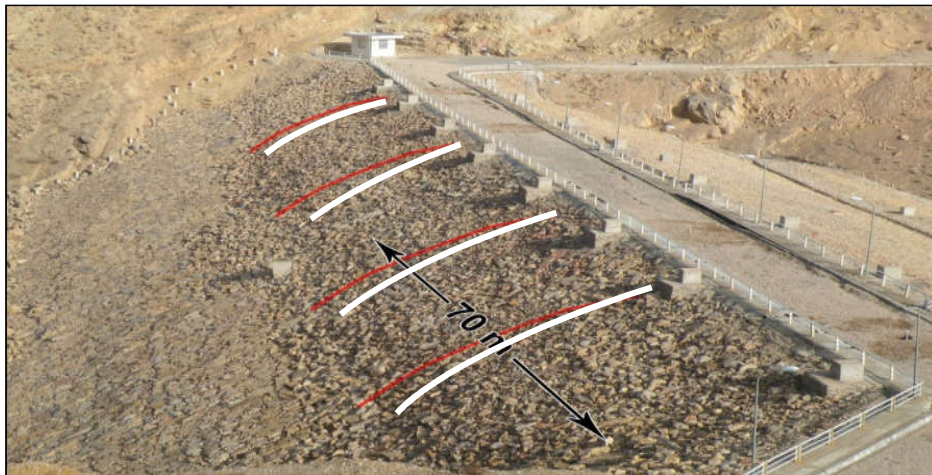
شکل (۳-۱۹) جابجایی‌های عمودی و افقی در محل دهانه ترک

ضمناً بازشدگی ترک‌ها در تاج، عمدتاً به موازات محور سد و در طول حدود ۱۵۰ متر به شکل یک انحنا که قوس خارجی آن به سمت پائین دست و قوس داخلی آن به سمت بالادست بوده آرایش یافته‌اند. شروع قوس خوردگی از سنگ‌چین ۱۹ شیب بالادست جناح راست شروع شده و بخشی از پیاده روهای سیمانی سمت پائین دست را از بدنه جدا نموده، دوباره به سمت بالادست حرکت نموده و در محدوده سنگی سنگ‌چین محو شده است (شکل ۳-۲۰).



شکل (۳-۲۰) اثر قوسی شکل ناشی از ترک خوردگی

این وضعیت کلی قوس، یک حرکت لغزشی را به سمت بالا دست نشان می‌دهد که مانند یک توده در آن جهت جابجا شده است. این قوس در سطح تاج به شکل خطوط شکسته به فاصله‌های نیم، یک، و گاهی هم دو متری از هم قرار داشته که در داخل بدنه سد یک قوس را نشان می‌دهد. در کل می‌توان گفت که این رشته ترک‌ها با عملکرد هم جهت و همسان محصول نیروهای برشی یکسان و یک جهت می‌باشد (شکل ۳-۲۱).



شکل (۳-۲۱) لغزش قوسی شکل در بالادست

عرض ترک‌ها بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر در محل شروع شیب پائین دست تا چند سانتی‌متر در محل ترک‌های فرعی متفاوت می‌باشد. ترک‌ها در شیب‌های بالادست و پائین دست با توجه به سنگریزه بودن آنها چندان مشخص نیست ولی در شیب پائین دست در فاصله ۱۰ متری از سازه سرریز یک ترک طولی، جابجایی سنگریزه را به وضوح نشان می‌دهد (شکل ۳-۲۲).



شکل (۳-۲۲) محدوده ترک خوردگی در شیب پایین دست

ضمنا ترک‌های طولی که در شکل (۳-۲۰) قوسی بودن آنها مشخص است، با توجه به طول زیاد در بسیاری از قسمت‌های تاج، به شکل خطی دیده می‌شوند و دارای طول‌های مختلف می‌باشند (شکل ۳-۲۳). تاثیرات لغزش در شیب بالادست به شکل قوس خوردگی‌های خارجی یا برآمدگی بروز نموده و طول آن تا ۷۰ متر می‌رسد. این قوس خوردگی‌های خارجی از تکیه‌گاه سمت راست در محل سرریز در شیب بالادست شروع شده و به سمت تکیه‌گاه چپ ادامه می‌یابد و در فاصله حدود ۹۰ متری از محل سرریز این تغییر شکلها دیده می‌شود (شکل ۳-۲۴). لازم به ذکر است که این قوس خوردگی در شیب پائین دست به شکل قوس خوردگی داخلی یا فرورفتگی‌های ضعیف قابل رؤیت می‌باشد.

در مرکز قوس ترکها بر روی تاج، که مرکز تجمع تنش‌های فشاری گوه‌ای از اثر تغییر شکل بدنه بدلیل لغزش به سمت بالادست است، بالا آمدگی تخته‌های بتنی پیاده رو به طول حدود ۳۰ متر و جابجایی با ارتفاع حداکثر ۲۵ سانتی‌متر به وضوح مشاهده می‌گردد، ضمنا این تغییر شکلها در نرده های بالادست و پائین دست نیز دیده شده است (شکل های ۳-۲۵ و ۳-۲۶).



شکل (۳-۲۳) محدوده ترک خوردگی روی تاج به شکل خط مستقیم



شکل (۳-۲۴) بخشی از محدوده ترک خوردگی روی تاج به شکل قوس خارجی

نوع دیگری از تغییر شکل‌ها نشست بدنه است که عمدتاً در محدوده فاصله وسط بین دو تکیه گاه انجام شده است. اندازه دقیق نشست‌ها در نقاط مختلف بدنه در بحث نقشه برداری به تفصیل مورد تحلیل قرار خواهد گرفت (بخش مرمت). اما این نشست تا ۵۰ سانتی متر در محدوده وسط بدنه سد تخمین زده شده است. بیشترین نشست بدنه در محل حداکثر ارتفاع سد یا محل اصلی رودخانه شورک است.



شکل (۲۵-۳) محدوده بالآمدگی تخته‌های بتنی روی تاج



شکل (۲۶-۳) محدوده بالآمدگی تخته‌های بتنی روی تاج از اثر تنش‌های فشاری

نشست‌ها در محل عبور ترک‌ها به شکل پلکانی جداگانه قابل تشخیص می‌باشد (شکل ۲۷-۳).



شکل (۳-۲۷) نشست موضعی تاج سد به شکل پلکان با جابجایی همزمان به سمت بالادست

محل تنش‌های کششی و فشاری در طول تاج سد در جاییکه نرده‌های حفاظ کارگذاری شده، بر روی تاج به خوبی قابل تفکیک است. نشست بدنه، نشست متقارن نبوده و به این علت سبب بوجود آمدن تنش‌های متفاوت در روی تاج سد گردیده است. لوله‌های نرده حفاظ در بعضی قسمت‌ها از همدیگر جدا شده و در بعضی محل‌ها فشرده و یا قوس برداشته است (شکل ۳-۲۸ و ۳-۲۹).



شکل (۳-۲۸) قوس خوردگی نرده‌های روی تاج سد از اثر تنش‌های فشاری



شکل (۳-۲۹) جدا شدن جدول روی تاج سد از تخته‌های بتنی پیاده رو از اثر تنش‌های فشاری

جابجایی در جهت قائم به شکل بازشدگی ترک و در جهت افق به شکل دور شدن نرده‌ها و زیاد شدن عرض از ۸ متر به ۸/۵ متر به وضوح قابل اندازه‌گیری می‌باشد (شکل‌های ۳-۳۰ و ۳-۳۱). لازم به ذکر است کلیه تغییرشکلها به طور دقیق در پلان توپوگرافی با تمام جزئیات با دقت لازم ارائه گردیده است.



شکل (۳-۳۰) عریض شدن تاج سد در اثر تغییر شکل‌های افقی نزدیک به تکیه گاه چپ



شکل (۳-۳۱) عریض شدن تاج سد در اثر تغییر شکل‌های افقی در بخش میانی تاج

۳-۸-۲-۲- نقشه برداری

نقشه برداری یکی از راهکارهای اصلی جهت تحلیل و بررسی تغییر شکل‌های قائم بدنه سد در شرایط وجود یک شبکه مناسب میکروژئودوزی به شمار می‌رود. بنابراین از مدیریت محترم عامل شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی در خواست نقشه‌برداری با دقت بالا گردید. این نقشه‌برداری در حد تهیه

یک پلان توپوگرافی با دقت بالا بوده که از روی آن با مقایسه شرایط موجود و نقشه‌های در دسترس قرار گرفته، تغییر شکل‌های قائم و حتی جابجایی‌های افقی در سطح امکان‌پذیر شد.

با استفاده از این نقشه موارد اساسی زیر مشخص شده است؛

- تغییر شکل قائم (نشست) در کلیه ابعاد بدنه سد مخصوصاً تاج سد

- جابجایی‌های افقی، سازه‌های صلب بتنی و در بعضی قسمت‌ها جابجایی‌های افقی بدنه سد مخصوصاً تاج سد در جهت بالا دست.

- قوس خوردگی‌های ناشی از جابجایی و لغزش بدنه روی شیب بالادست بدنه سد

- اندازه‌گیری دقیق ترک‌ها در کلیه نقاط پلان سد

تحلیل نقشه پلان توپوگرافی نشان می‌دهد که بیشترین تغییر شکل قائم سطحی در تاج سد و بیشترین جابجایی افقی در حد فاصل تاج و شیب پائین‌دست در جهت بالادست صورت پذیرفته است. بیشترین عرض ترک در تاج و کوچکترین اندازه ترک در دیواره بتنی جناح چپ سرریز در حد فاصل شیب دیواره و قسمت افقی تاج ملاحظه شده است.

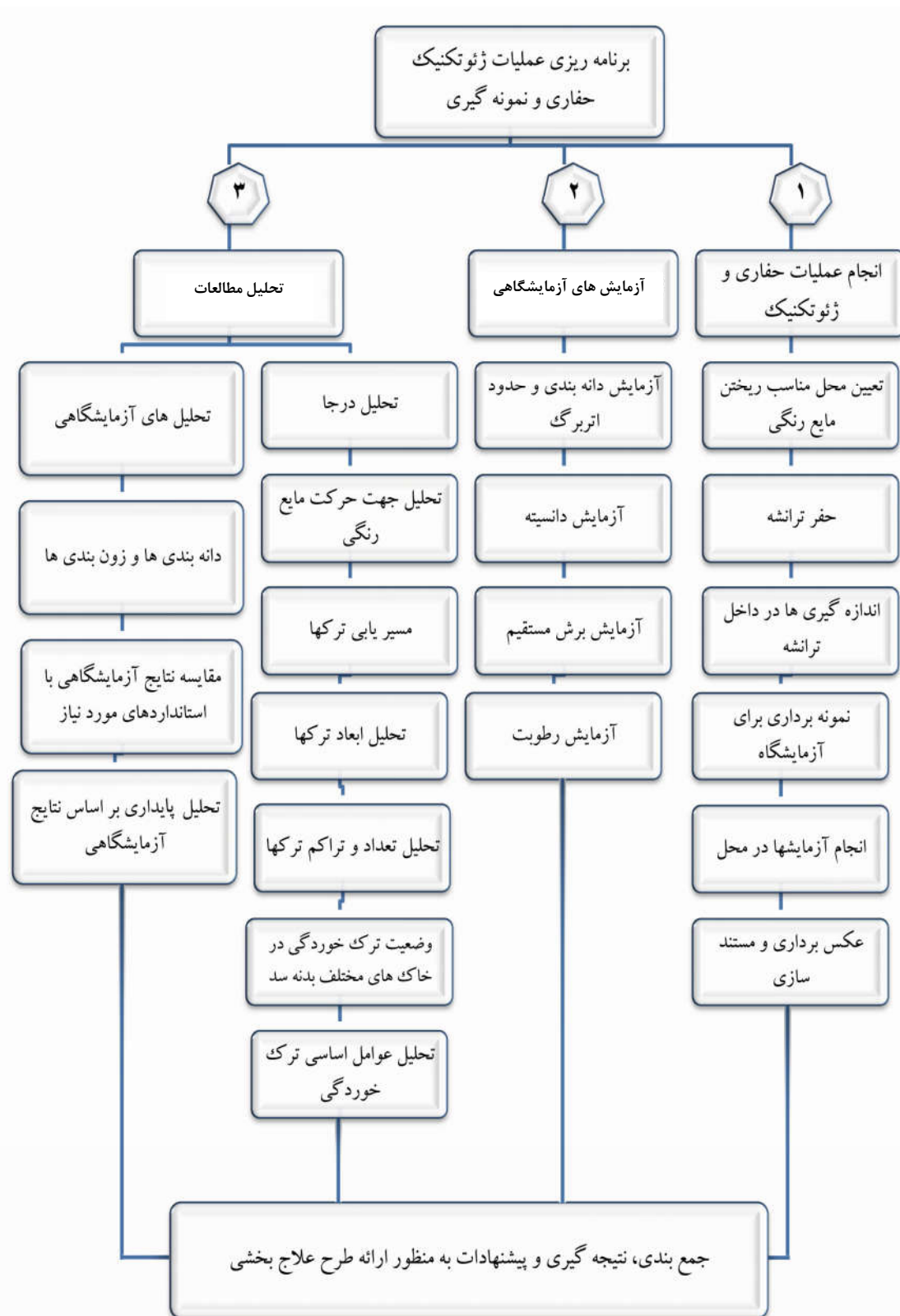
۳-۸-۳- برنامه ریزی عملیات ژئوتکنیک، حفاری و نمونه‌گیری

عملیات ژئوتکنیک، حفاری و نمونه‌برداری ارائه شده در این کار، شیوه مخصوص به خود را داشته و کاملاً منحصر به فرد می‌باشد، لذا برای انجام عملیات مذکور با دقت تمام، برنامه‌ریزی خاصی در نظر گرفته شده و بر اساس آن عملیات ژئوتکنیکی، حفاری و نمونه‌گیری صورت پذیرفته است. برنامه‌ریزی دارای ۳ مرحله انجام عملیات حفاری و ژئوتکنیک، آزمایش‌های آزمایشگاهی و تحلیل مطالعات می‌باشد که در نمودار ترتیبی شکل (۳-۳۲) خلاصه شده است.

۳-۸-۳-۱ انجام عملیات ژئوتکنیک، حفاری و نمونه‌گیری

به منظور دسترسی به یک سری داده‌های اساسی و مورد نیاز جهت تحلیل و بررسی فاکتورهای تغییر شکل‌ها و ارائه طرح مناسب بازسازی سد شورک عملیات ژئوتکنیک و حفاری انجام گردید. عمدتاً سعی شد تا حفاری در حداقل عمق ممکن تحت نظر محققین در حدی که بتوان اطلاعات لازم را از آن

بدست آورد، صورت گرفته و از آسیب‌های ناشی از انجام حفاری در تاج و بدنه سد به خوبی جلوگیری به عمل آید. انجام عملیات ژئوتکنیک و حفاری‌ها، نمونه‌برداری و آزمایشات لازم در محل به طور کامل و در ابعاد حداقل ممکنه صورت پذیرفته است.



شکل (۳-۳۲) نمودار برنامه ریزی عملیات ژئوتکنیک حفاری و نمونه گیری

به طور کلی فعالیتهای مرتبط با ژئوتکنیک و حفاری در ۴ بخش ذیل خلاصه می‌گردد

الف: انجام عملیات حفاری و آزمایشهای برجای ژئوتکنیکی

- تعیین محل مناسب جهت حفر ترانشه و ریختن مایع رنگی
- حفر ترانشه با ابعاد حداقل ممکنه
- اندازه‌گیری‌ها در داخل ترانشه
- نمونه‌برداری جهت انجام آزمایش‌های لازم
- انجام آزمایش‌های در محل در داخل ترانشه
- عکس‌برداری از شکل و ابعاد ترانشه در سطح و داخل، موقعیت ترک‌ها و عملیات نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها و غیره در داخل هر ترانشه به منظور مستند سازی

ب: انجام آزمایشهای ژئوتکنیک در آزمایشگاه

- دانه بندی و حدود اتربرگ
- اندازه‌گیری دانسیته در محل
- اندازه‌گیری رطوبت خاک
- برش مستقیم
- تحلیل نتایج آزمایشها

ج: تحلیل نتایج عملیات حفاری و ژئوتکنیک

- تحلیل‌های بر جا در داخل ترانشه مانند :
- تحلیل جهت حرکت مایع رنگی
- مسیریابی ترک‌ها
- تحلیل اندازه ترک‌ها
- تحلیل موقعیت ترک‌ها در ترانشه، تعداد و تراکم آنها با توجه به ترکهای ترمیم شده
- تحلیل موقعیت ترک‌ها در مصالح مختلف استفاده شده در بدنه سد
- تحلیل شرایط اجرای بدنه سد در زون‌های مختلف
- تحلیل عوامل اساسی تغییر شکلها

- تحلیل نتایج آزمایشگاهی مانند :

- مقایسه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی با استانداردهای مورد نیاز

- بررسی عوامل اساسی تغییر شکل بر اساس نتایج آزمایشگاهی

- استفاده از نتایج آزمایشگاهی به منظور تحلیل پایداری و نفوذ در بدنه سد و هسته آن

د: جمع بندی امور حفاری و آزمونهای ژئوتکنیک و ارائه طرح مرمت

برنامه ریزی انجام عملیات حفاری و ژئوتکنیک با هدف دستیابی به اطلاعات کافی و مورد نیاز صورت پذیرفته است که در چند بخش جداگانه به آن پرداخته می شود .

۳-۸-۲-۱ اهداف حفر ترانشه شناسایی

به طور کلی اهداف حفر ترانشه را می توان در موارد زیر خلاصه نمود :

الف- اندازه گیری ابعاد ترک در کل عمق حفاری با دقت فوق العاده بالا به طور عینی.

ب- دنبال نمودن مسیر حرکت مایع رنگی جهت مسیریابی ترکها در عمق و افق.

پ- تعیین مختصات قوس لغزش و ترسیم قوس لغزش در مسیر حقیقی ترک خوردگی با دقت فوق العاده بالا.

ج- نمونه برداری در اعماق مورد نظر و ترسیم لاگ حفاری در جدار قائم ترانشه.

چ- انجام آزمایشهای مختلف در محل مانند تعیین دانسیته در محل، تعیین درصد رطوبت، دانه بندی و حتی امکان تعیین دانسیته در هر لایه ریخته شده.

ح- تعیین ضخامت لایه های ریخته شده.

خ- مشخص نمودن موقعیت زون های مختلف.

د- تعیین عمق خاکبرداری از روی تاج سد بر اساس ابعاد و موقعیت ترکها جهت مرمت.

ذ- تعیین شیوه های مرمت در بخش های مختلف بدنه چه در عمق و چه در سطح.

ر- ارائه مناسب ترین و بهینه ترین طرح مرمت از نظر فنی مهندسی و اقتصادی.

۳-۸-۳-۳- تعیین محل حفر ترانشه شناسایی

با توجه به ابعاد گسترده تغییر شکلها و موقعیت ترکها، طول و ابعاد متفاوت آنها، تغییر شکلها در شیبهای بالادست و پائین‌دست و مخصوصا گذشت زیاد زمان و ریزش نزولات جوی و همچنین انجام کارهای اختصاصی توسط کارشناسان ذیربط در سالهای گذشته، به منظور بازسازی و یا تحقیقات دیگر، انتخاب جای مناسب حفر ترانشه شناسایی و ریختن مایع رنگی با دشواری‌های زیاد و موانع جدی مواجه گردید. در هر صورت سعی به عمل آمد تا مناسبترین محل‌ها که بتواند بیشترین اطلاعات را بدست بدهد و کمترین خسارت به تاج و بدنه سد وارد گردد، انتخاب شود.

انتخاب تعداد ترانشه‌ها وابسته به چگونگی تغییر شکلها، محل و موقعیت آنها، شرایط مقطع عرضی بدنه سد، تعداد زون‌ها و غیره می‌باشد. اما تجربه نشان داده است که مناسبترین تعداد ترانشه از دو تا سه عدد می‌باشد که دلایل آن در همین بخش توضیح داده شده است. تعداد گمانه‌ها و حفر ترانشه در شیبهای پائین‌دست عمدتاً بلامانع بوده و چندان مشکل ساز نیست. اما حفر ترانشه در شیب بالادست نظر به عمق و محل ترکها، موقعیت تراز نرمال آب، مواد و مصالح لایه حفاظ از شسته شدن مانند سنگ‌چین یا پلیت‌های بتنی و یا دیگر شیوه‌های حفاظتی، توام با مشکلات فراوان می‌باشد. در این صورت حداقل تعداد ترانشه مورد توجه قرار می‌گیرد.

حفر این تعداد ترانشه در بدنه سد شورک با توجه به خشک بودن مخزن در زمان حفاری مشکل عمده‌ای نداشته، ضمناً وجود یک زون لاشه سنگ، حجم و مقدار حفاری را به نسبت ضخامت آن کم کرده و لذا این موارد نه تنها از کیفیت حفاری کم نکرده بلکه احجام حفاری را به حداقل تقلیل داده است. بهتر است تا حفر ترانشه به صورت دستی صورت پذیرد چون با توجه به عرض کم ترانشه، عدم امکان استقرار دستگاههای حفار مانند بیل مکانیکی و غیره، ممکن است آسیب‌های فراوانی به بدنه سد وارد گردد و ضمناً با این دستگاه‌ها جزئیات و دقت کار کاملاً از بین می‌رود.

محل حفر ترانشه در جایی باید در نظر گرفته شود که کمترین آسیب ناشی از حفاری به بدنه و هسته سد متصور باشد و ضمناً بتوان اطلاعات لازم و کافی را نسبت به کلیه موارد در هر شرایط، قبل و بعد از بوجود آمدن ترک‌ها و تغییر شکلها بدست آورد. به طور کلی مناسبترین محل حفر ترانشه جایی است که عرض ترک بیشترین و در فاصله بین وسط قوس لغزش قرار گیرد.

مناسبتترین تعداد ترانشه حداقل سه ترانشه است که در طرح پیش رو با توجه به عدم وجود حساسیت‌های خاص مطالعاتی، به دو ترانشه اکتفا شده است که یکی تقریباً در وسط قوس لغزش (TR1) و دیگری نزدیک $\frac{1}{3}$ فاصله بین وسط قوس و انتهای آن (TR2) در نظر گرفته شده است.

حفر ترانشه از دورترین نقطه ممکن شروع شده و به محل ترک نزدیک می‌شود، خاکبرداری با احتیاط کافی در جداره بدون مایع رنگی صورت گرفته و در هر نیم متر نمونه برداری، آزمایش‌های لازم برجا و عکس برداری‌های مورد نیاز انجام گردیده است. عرض ترانشه پیش بینی شده معادل ۶۰ سانتی-متر در نظر گرفته شد شکل (۳-۳۳).



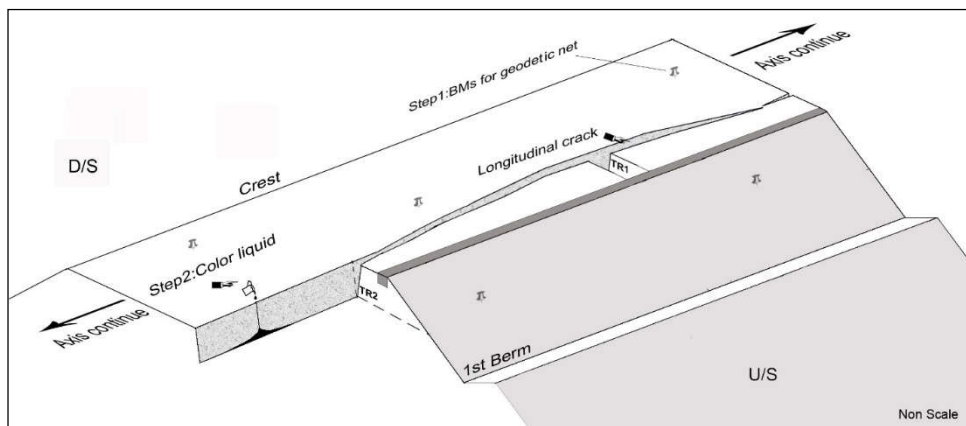
ب: حفر ترانشه در محل TR2



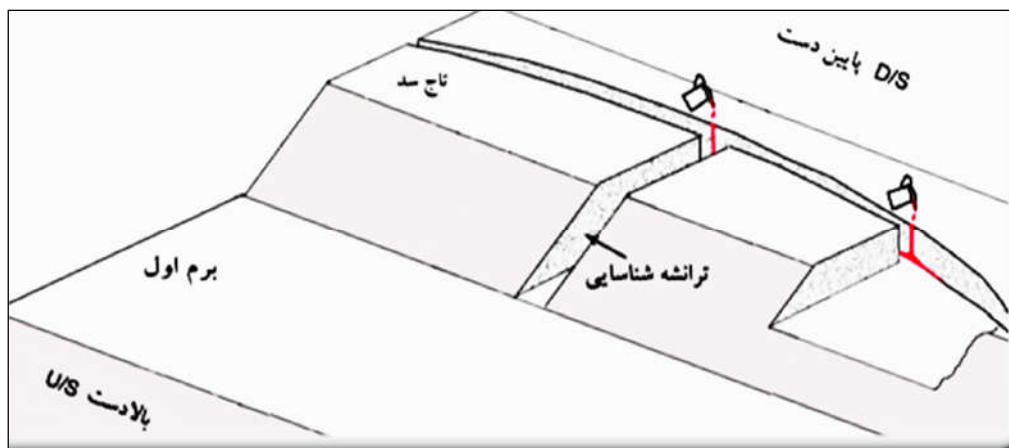
شکل (۳-۳۳) الف: حفر ترانشه در محل TR1

۳-۸-۴- تعیین محل ریختن مایع رنگی

انتخاب محل ریختن مایع رنگی بدون تردید منوط به محل ترانشه بوده و مناسب‌ترین محل ریختن مایع رنگی جایی است که مسیر ترک خوردگی کاملاً باز و بدون دست‌خوردگی و پرشدگی باشد و ضمناً محل حفر ترانشه بدون مشکل و موانع زیاد باشد. ممکن است جایی که ریختن مایع رنگی مناسب است، حفر ترانشه در آنجا با توجه به موجودیت سازه‌های متفاوت، بتن پیاده‌روها، کابل‌ها و موقعیت ابزار دقیق، نوع حفاظ شیب بالادست و ... فوق العاده مشکل باشد. لذا با توجه به موارد فوق محل ریختن مایع رنگی و حفر ترانشه شناسایی باید همزمان صورت پذیرد. مدل‌سازی شیوه ریختن مایع رنگی و حفر ترانشه و مقایسه آن در دو نقطه در شکل‌های (۳-۳۴ و ۳-۳۵) نشان داده شده است.



شکل (۳-۳۴) شبیه سازی محل ریختن مایع رنگی و حفر ترانشه



شکل (۳-۳۵) مدل سازی شیوه ریختن مایع رنگی و حفر ترانشه

پس از تعیین دقیق محل ریختن مایع رنگی، آن را مطابق با پارامترهای گفته شده در قبل، داخل ترک ریخته و همزمان با آن حفر ترانشه و مسیر یابی ترک نیز آغاز میشود. در ترانشه‌های مورد نظر، مایع رنگی طی دو مرحله که در مرحله اول تا عمق ۱/۵ متر و در مرحله دوم تا عمق ۳ متر ریخته شد و مسیریابی ترک‌ها در عمق و عرض به خوبی و بدون مشکل انجام و اطلاعات مورد نیاز ثبت گردید.

۳-۸-۳-۵- مشخصات مایع رنگی و روش تهیه آن

مایع رنگی می‌تواند از انواع رنگ‌های خشک که حلال آنها آب است، تهیه گردد. در این تحقیق از پرمنگنات پتاسیم که ارزانه‌ترین مایع رنگی می‌باشد و رنگ آن نظر به مقدار و غلظت آن در آب از قرمز به سیاه متفاوت است، استفاده شده است. مایع رنگی در یک ظرف ۲۰ لیتری تهیه گردیده و با احتیاط

بسیار در جداره مقابل ترانشه بداخل ترک به طور یکنواخت و غیر منقطع ریخته می‌شود. این مایع رنگی یک طرف جداره ترک را رنگی نموده و تا عمق باز شدگی ترک بدون هر مشکلی پائین می‌رود. در صورت تغییر جهت ترک خوردگی دقیقاً مایع رنگی به سمت بازشدگی ترک تغییر جهت داده و تنها یک طرف جداره ترک را علامتگذاری می‌کند. در صورت نزدیک شدن جداره ترک‌ها و یا به عبارت دیگر در صورت کوچک شدن ابعاد ترک خوردگی در انتهای ترک مایع ممکن است هر دو طرف جداره را رنگی نماید و در صورت بسته شدن ترک مایع رنگی در دو طرف انتهای ترک از حالت جریان قائم به شکل جریان افقی حرکت نموده و محدوده رنگ شدگی بزرگتر می‌شود. این به این معنی است که دیگر ترک ادامه ندارد.

لازم به ذکر است که با توجه به اینکه روش‌های ژئوفیزیک می‌تواند کارایی مناسبی در جهت شناخت ترک‌ها داشته باشد اما این کارایی در خصوص اندازه‌گیری ابعاد ترک‌ها در حد قابل قبول نمی‌باشد. هر شیوه‌ی دیگر و استفاده از هر وسیله دیگر ترک‌های میلی‌متری و همچنین عمقی را به صورت دقیق و عینی نمی‌تواند درک کند. تنها مایع رنگی می‌تواند با دقت کافی عمق این ترک‌ها را رنگی نماید و جهت آنها را تعیین نماید و با حفر دقیق ترانشه شناسایی امکان مسیر یابی ترک را برای ما فراهم می‌آورد.

۳-۸-۶- وظایف اساسی مایع رنگی

نقش مایع رنگی را می‌توان در نکات زیر بیان نمود :

- ۱- تعیین عمق ترک با دقت فوق العاده بالا در بدنه و هسته.
 - ۲- تعیین مسیر ترک خوردگی بدنه و هسته با توجه به حرکت سریع مایع در عمق و تعیین شیب ترک‌ها در بدنه و حتی فیلتر و زهکش.
 - ۳- تعیین مختصات قوس ترک خوردگی با دقت بالا.
 - ۴- تعیین عرض ترک‌ها در صورت ریختن مایع رنگی در جداره‌های هر دو طرف با دقت بالا.
 - ۵- جهت دهی حفر ترانشه بر اساس حرکت مایع رنگی در جداره مقابل آن.
- موارد فوق از نیازهای اساسی است که توسط آنها می‌توان قوس لغزش را مدل نمود و تحلیل مناسبی از وضعیت تغییر شکل‌ها بعمل آورد.

۳-۸-۴- فعالیتهای داخل ترانشه شناسایی

ترانشه‌های شناسایی بخش اساسی شیوه ارائه شده را در بحث بررسی عوامل تغییر شکل سدها و انتخاب مناسبترین شیوه مرمت تشکیل می‌دهد. همچنین تعیین محل ترانشه‌ها، شیوه حفر و همچنین عمق آنها نیز از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

فعالیه‌های داخل ترانشه‌های شناسایی عبارتند از :

- ۱- مسیریابی و اندازه‌گیری دقیق ابعاد ترک جهت مدلسازی و ترسیم قوس لغزش
- ۲- نمونه برداری جهت انجام آزمایش‌های ژئوتکنیک (در محل و آزمایشگاه) برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز محاسبه ضریب اطمینان پایداری

۳-۸-۴-۱- مسیر یابی و اندازه‌گیری‌ها در داخل ترانشه شناسایی

حفر ترانشه به ادامه مسیر مایع رنگی که در دیواره مقابل قابل رؤیت بود با احتیاط کامل انجام گردید. بعد از برداشت لایه حفاظ هسته، که از تاج هسته تا تراز تاج هسته معادل ۱/۱۵ متر ضخامت داشت، مسیر حرکت ترک بداخل هسته به خوبی قابل رؤیت بود. خاکبرداری به داخل خاک هسته تا عمق دو متری ادامه داده شد که هنوز مسیر ترک خوردگی به خوبی قابل مشاهده بود، اما ابعاد ترک به سرعت از سطح تاج هسته به عمق کاهش می‌یافت. عرض ترک به داخل لایه درشت دانه در سطح تاج معادل ۱۵ تا ۱۸ سانتی‌متر، در محل تاج هسته ۱۰ سانتی‌متر و به عمق حدود ۲ متر از تاج هسته به پائین از ۳ تا ۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. این کاهش عرض بازشدگی، نشان می‌دهد که ترک بعد از عمق ۵ متری از تاج هسته خیلی کوچک گردیده است. چون از نظر مرمت قابل تزریق از مصالح مشابه می‌باشد لذا ادامه خاکبرداری ترانشه به عمق بیشتر نیاز نبود و حفر ترانشه تا این عمق کافی تلقی گردید. (شکل‌های ۳-۳۶ تا ۳-۳۹)



شکل (۳-۳۶) اندازه گیری عمق نفوذ مایع رنگی و ارتفاع ترک در داخل ترانشه شناسایی



شکل (۳-۳۷) اندازه گیری طول ترک‌ها در داخل ترانشه شناسایی



شکل (۳۸-۳) اندازه گیری عرض بازشدگی ترک‌ها در داخل ترانشه شناسایی



شکل (۳۹-۳) اندازه گیری عرض بازشدگی ترک‌ها در داخل ترانشه شناسایی

این اندازه‌گیری‌ها یکی از اساسی‌ترین اقدامات داخل ترانشه شناسایی است که محقق را به هدف اصلی نزدیک میکند. هدف اصلی این اندازه‌گیری، در ریختن مایع رنگی در مسیر ترک خوردگی و همچنین خاکبرداری ترانشه به یک طول مناسب نهفته است. اندازه‌گیری از نقطه ریختن مایع رنگی از تاج سد شروع شده و در عمق در مسیر حرکت مایع رنگی به فاصله هر ۰/۵ متر از یک محور قائم ثابت به اعماق مختلف، یا به عبارت دیگر در مسیر حرکت درزه ختم می‌شود. این اندازه‌گیری در عمق به ازای یک خط قائم در محور ۷ ثابت و در مسیر حرکت مایع رنگی متغییر است. (شکلهای ۳-۴۰ و ۳-۴۱)



شکل (۳-۴۰) اندازه‌گیری فاصله ترک نسبت به محور قائم ثابت در داخل ترانشه شناسایی



شکل (۳-۴۱) اندازه گیری فاصله ترک نسبت به محور قائم ثابت در داخل ترانشه شناسایی



شکل (۳-۴۲) اندازه گیری فاصله ترک نسبت به محور قائم ثابت در داخل ترانشه شناسایی

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌های داخل ترانشه شناسایی به صورت جدول (۲-۳) ارائه شده است.

جدول (۲-۳) رابطه تغییرات فاصله قوس لغزش (X) از محور قائم (Y)

شماره نقاط	عمق به متر (Y)	فاصله از خط قائم تا سطح مایع رنگی (X)	شماره نقاط	عمق به متر (Y)	فاصله از خط قائم تا سطح مایع رنگی (X)
۱	۰	۱,۷۵	۵	۰,۵	۱,۴۰
۲	۰,۵	۱,۶۵	۶	۰,۵	۱,۲۵
۳	۰,۵	۱,۶	۷	۰,۵	۱,۱۵
۴	۰,۵	۱,۴۵			

با استفاده از جدول (۲-۳) می‌توان منحنی دقیق مسیر حرکت ترک به داخل بدنه سد و یا به عبارت دیگر قوس لغزش را رسم نمود. بعد از ترسیم قوس لغزش به عمق حدود ۳ متر که در شرایط موجود ترانشه حفر شده است، امکان آن میسر است که یکی از قوس‌های گسیختگی واقعی را که عوامل مختلف همزمان باعث بوجود آمدن آن شده است، ترسیم و تحلیل برگشتی را انجام داد.

برای این منظور اولاً موقعیت وضعیت کلی ترانشه و محل دقیق مایع رنگی در پلان مشخص گردید و ثانیاً موقعیت خط جریان مایع رنگی روی آن ترسیم شد. بعداً قسمتی از قوس لغزش یا گسیختگی واقعی رسم گردید و قوس مذکور بعد از تکمیل آن در طول کامل ترانشه شناسایی روی مقطع عرضی واقعی بدنه سد که در مطالعات مرحله دوم نهایی شده (نقشه‌های اجرایی) و بر اساس آن نقشه‌های طرح تهیه شده است، منطبق گردید. در اینصورت محدوده گسیختگی در سطح اصلی مشخص شده و یک قوس واقعی و قابل محاسبه (قوس عینی TR_1) بدست می‌آید. با مدل نمودن قوس لغزش به شعاع R_1 می‌توان قوس‌های دیگر را با شعاع‌های R_2 و R_3 با توجه به موقعیت ترک‌ها روی بدنه سد نیز رسم نمود، با استفاده از این قوس‌ها، مسیر عبور قوس لغزش کلی و عمق ترک‌ها با دقت بالا مشخص می‌شوند. با استفاده از بازدیدهای صحرایی، نقشه‌برداری و عکس‌های موجود، این امر تا اندازه زیادی مورد قبول واقع شده است.

بازشدگی ترک اصلی در ابعاد حدود ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر نشان‌دهنده حرکت قوس لغزش به سمت شیب بالادست بوده، بعد از قطع منشور پائین‌دست این ابعاد در داخل لایه‌های زهکش و فیلتر، به تحلیل

رفته و کوچکتر شده است، لذا حین حفاری، جابجایی هسته با عرض ترک خیلی کمتر، در جهت شیب بالا دست رویت گردیده است و دوایر رسم شده از نتایج عینی (حاصل از نتایج حفاری) و مدل نیز، این حقیقت را تأیید می‌کند.

۳-۸-۴-۲- نمونه برداری و انجام آزمایشات برجا

به منظور کسب اطلاعات مورد نیاز از مصالح موجود در داخل ترانشه و همچنین تعیین پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه ضریب پایداری نیازمند انجام آزمایشات ژئوتکنیک در محل و همچنین نمونه برداری جهت انجام آزمایشات آزمایشگاهی شامل آزمایشات دانه بندی و حدود اتربرگ، دانسیته، برش مستقیم و آزمایش رطوبت می باشد. (شکل ۳-۴۳)



شکل (۳-۴۳) انجام آزمایشات مورد نیاز در داخل ترانشه شناسایی

نتایج بدست آمده از تحلیل‌های آزمایشگاهی (که توسط گروه آزمایشگاهی جهداژما انجام شده است) در پیوست شماره ۳ ارائه شده است. همچنین پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه ضریب پایداری شامل وزن مخصوص، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی در جدول (۳-۳) ارائه شده است.

جدول (۳-۳) مشخصات فیزیکی مکانیکی مصالح بدنه سد

ردیف	مشخصات مصالح	H	دانشپته (γ)	زاویه اصطکاک داخلی (φ)	چسبندگی (C)
۱	سنگریزه	h'	۱/۸	۳۰	۰
۲	مخلوط بدنه سد	h''	۱/۸۷	۴۰/۸	۰/۰۳
۳	خاک هسته	h'''	۱/۶۴	۲۸	۰/۱۴

۳-۹- شیوهی محاسبه ضریب ایمنی پایداری با استفاده از قوس‌های لغزش

محاسبه ضریب ایمنی پایداری برای بخشی از بدنه سد که لغزش آن به شکل یک قوس مد نظر است، بر اساس رابطه کلی (۳-۱) صورت می‌پذیرد. در رابطه مذکور نسبت ممان‌های عمل و عکس العمل در سطح مذکور مورد توجه بوده و به صورت زیر ارائه می‌گردد [۳۲].

$$K_c = \frac{M_R}{M_a} = \frac{\int_e R\tau_R dl}{\int R\tau_a dl} \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

با جایگزینی جمع به جای انتگرال داریم:

$$K_c = \frac{R \sum \tau_R \Delta l}{R \sum \tau_a \Delta l} = \frac{\sum \tau_R \Delta l}{\sum \tau_a \Delta l} \quad \text{رابطه (۳-۲)}$$

در روابط فوق τ_R و τ_a ، تنش‌های مماسی عمل و عکس‌العمل می‌باشند که از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$\tau = \sigma \tan \varphi + c \quad \tau = G \sin \alpha \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

که این رابطه به نام رابطه کولومب معروف است.

Δl عرض قسمت‌ها یا قاچ‌هایی است که از تقسیمات بخش لغزشی در طول قوس به شیوه‌ای که در همین بحث ارائه می‌گردد، بدست می‌آید. تعداد Δl منوط به تعداد قاچ‌های تقسیم شده می‌باشد. در نتیجه ضریب ایمنی یا پایداری در لغزش بر اساس رابطه تشریحی زیر محاسبه می‌شود:

$$K_c = \frac{\sum G_n \cos \alpha_n \tan \varphi_n + \sum c l_n + \rho_w \frac{a_b}{R}}{\sum G_n \sin \alpha_n} \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

در رابطه فوق داریم:

G_n - وزن هر قاچ با احتساب تاثیر نیروهای هیدروستاتیکی و ارشمیدس^{۲۰} (نیروی شناوری)

C - ضریب چسبندگی خاک

ρ_w - برآیند فشار افقی هیدرواستاتیک

a_b - بازوی نیرو موثر ρ_w با توجه به مرکز ثقل قوس لغزش

اگر رابطه (۴-۴) بیشتر باز گردد و جزئیات کامل آن ارائه شود، به شکل زیر در آمده و با جدول تحلیلی (۴-۱) مطابقت می نماید.

$$K_c = \frac{\sum \left[\left(\sum \gamma h.b + \rho_w \right) \cdot \cos \alpha_n - \frac{h_w}{\cos \alpha_n} b \cdot \gamma_w \right] \cdot \tan \varphi_n + \sum C \frac{b}{\cos \alpha_n} + \rho_w \frac{a_n}{R}}{\sum G_n \cdot \sin \alpha_n} \quad \text{رابطه (۳-۵)}$$

در رابطه فوق داریم:

$\frac{h_w}{\cos \alpha_n}$: نیروی شناوری و فشار هیدروستاتیکی که جریان نفوذی را در نظر می گیرد.

$\sum \gamma h.b$: مجموع وزن تمامی n قاچها می باشد.

معمولا محاسبات رابطه (۳-۵) به شکل جدول تهیه گردیده و اجزای رابطه مذکور در آن درج می گردد. محاسبات موردی مذکور برای سد شورک در حالت بعد از ساخت در بخش (۳-۱۰) ارائه گردیده است. برای این منظور باید اولاً قوس لغزش ترسیم و حالات مختلف آن تحلیل و نتایج آزمایشات نمونه های اخذ شده به عنوان داده های اولیه در محاسبات لحاظ گردد.

۳-۱۰- روش ترسیم قوس لغزش بر اساس جدول (۳-۵) حاصل از شیوه پیشنهادی

آنچه که قبلاً در بخش ۲-۱۲ و بخش ۳-۹ ارائه شد خلاصه ای از توضیحات راجع به چگونگی محاسبه ضریب ایمنی در پایداری مقطع عرضی بدنه سد با استفاده از قوس لغزش بود، که مبنای تئوریک آن نیز ارائه گردید. با توجه به اینکه هدف اصلی این پایان نامه ترسیم قوس لغزش با استفاده از ریختن مایع رنگی شناساگر و حفر ترانشه شناسایی و محاسبات پایداری بدنه سد شورک بر اساس آن می باشد، لذا روش ترسیم قوس لغزش با استفاده از مختصات بدست آمده و محاسبات پایداری با لحاظ کردن داده های حقیقی در ادامه مد نظر می باشد.

بعد از تعیین مناسبترین محل ریختن مایع رنگی (نقطه TR_1) در یک جدار دارای ترک خوردگی، عملیات حفاری با دقت تمام به طوریکه جداره مقابل آن یا جاییکه مایع رنگی ریخته شده است، آسیب نبیند شروع و حفاری تحت نظر کارشناس مربوطه تا عمق لازم انجام گردید. سپس بعد از خاکبرداری، جدول (۳-۴) حاصل گردیده، که در آن مختصات نقاطی که روی جداره ترک با مایع رنگی وجود دارد در اعماق مختلف بدست آمده است، که بر اساس آن بخشی از قوس لغزش ترسیم گردیده است.

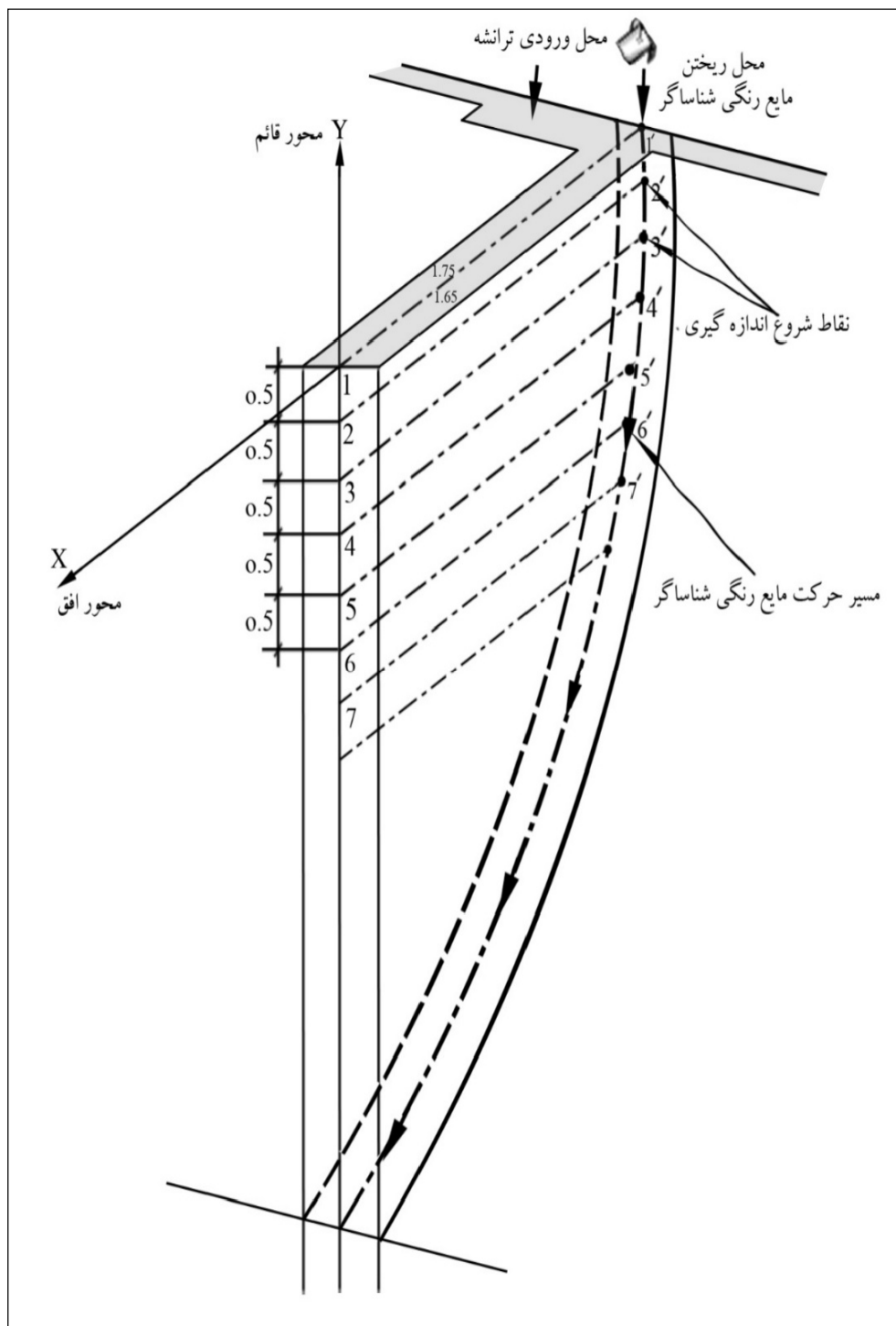
محل TR_1 روی تاج سد در محل بیشترین بازشدگی ترک که به سمت بالادست سومین ترک قابل ارزیابی روی بدنه می باشد. این نقطه تقریباً روی محور سد منطبق بوده و کاملاً اتفاقی می باشد. نقطه ای که برای ریختن مایع رنگی انتخاب شده است، اولین نقطه شروع قوس لغزش روی تاج بوده که حرکت آن به عمق و به سمت شیب بالادست می باشد. وجود تخته های بتنی روی تاج که به عنوان پیاده رو در دو طرف اجرا شده است، از موارد محدود کننده حفر ترانشه در طول بوده که ما طول ترانشه را از نقطه ریختن مایع رنگی تا لبه تخته های مذکور کافی دانسته و به حفر آن مبادرت گردیده است.

با توجه به نتایج بدست آمده، طول ترانشه شناسایی ممکن است به اندازه ای کافی تلقی شود که بتوان بر اساس آن، مختصات چند نقطه ای بخشی از قوس لغزش را بدست آورد. ترانشه حفر شده در محل TR_1 ، با استفاده از مختصات اندازه گیری شده در داخل آن به صورت شکل (۳-۴۴) مدل گردیده است.

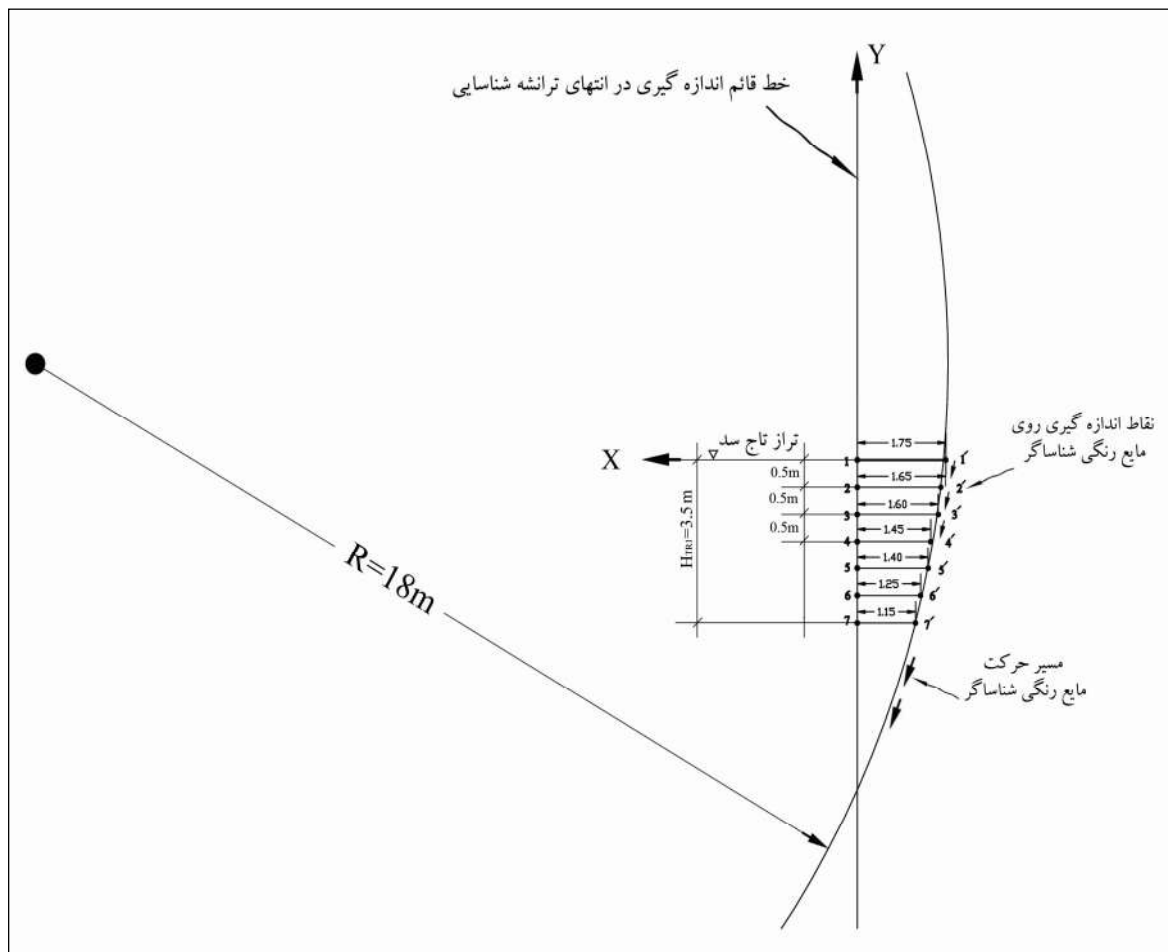
با استفاده از اندازه گیری های عینی در داخل ترانشه شناساگر، مختصات نقاط در اعماق نیم متری بخشی از قوس لغزش با کمک نرم افزار ترسیمی AutoCAD به صورت شکل (۳-۴۵) ترسیم و شبیه سازی شده است.

مبرهن است که با توجه به وجود بخشی از شکل حقیقی قوس، با استفاده از روابط هندسی و همچنین نرم افزارهای ترسیمی موجود نظیر AutoCAD، می توان به ترسیم یک دایره کامل از مدل بدست آمده، مبادرت ورزید و شکل کامل قوس را بدست آورد. بدیهی است که با داشتن شکل کامل قوس و یا حتی بخشی از آن می توان مرکز و شعاع آن را تعیین و جانمایی نمود. در اینجا نقطه شروع قوس محل ریختن مایع رنگی روی جدار ترک و ادامه آن روی همان مسیری که مایع رنگی دارای

مختصات افقی X و Y بوده، می‌باشد. این قوس را که نقطه شروع آن روی تاج سد مشخص است، میتوان به آسانی روی نقشه یا هر مقطع عرضی پیاده نمود.



شکل (۳-۴۴) شبیه سازی ترانشه حفر شده در محل TR1 با استفاده از مختصات قوس لغزش، اندازه گیری شده در داخل ترانشه

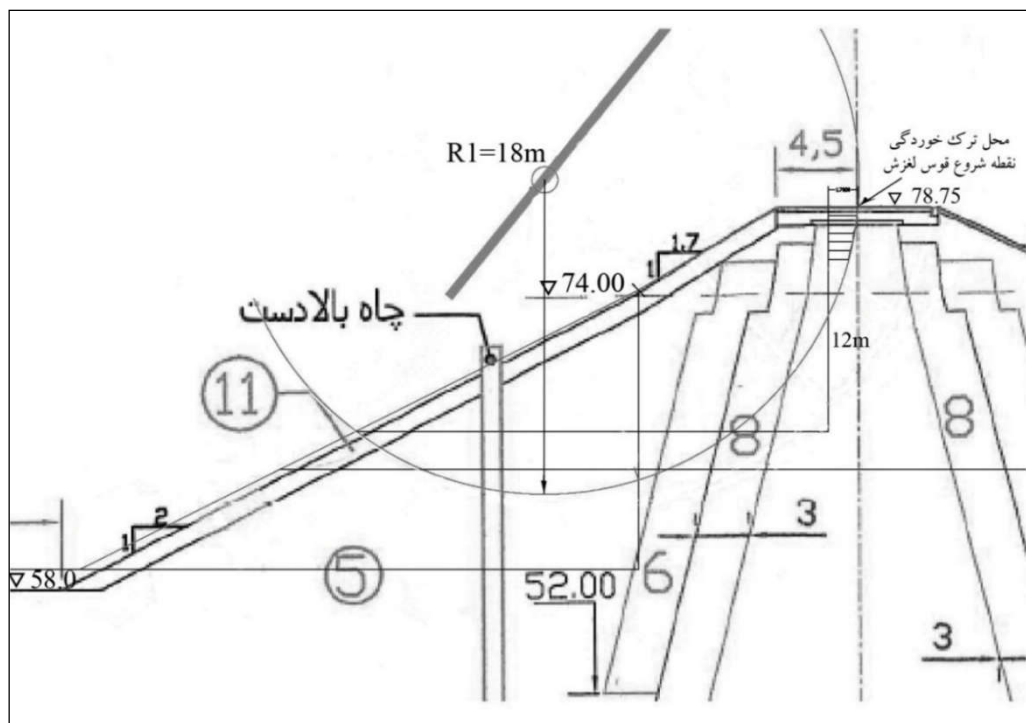


شکل (۳-۴۵) مدلسازی گرافیک بخشی از قوس لغزش TR1

اولین قوس روی مقطع عرضی در محل حفر ترانشه که نقطه مشخصه آن محل ریختن مایع رنگی می‌باشد، انطباق داده شده و به امتداد آن در دو محل بارز ترک خوردگی، دو قوس دیگر شبیه سازی شده است. ترکهای محور سد، حد فاصل بین تاج سد و شیب پائین دست، و ترک روی شیب پائین دست بروی سنگ چین و ترسیم قوسهای لغزش مرتبط با آنها در شکلهای (۳-۴۶ تا ۳-۵۱) دیده می‌شود. چنانچه قبلاً ذکر گردید قوس‌های لغزش با شعاعهای مختلف دارای یک روند کلی جابجایی می‌باشند و در یک دید کلی مجموعاً یک حرکت کلی را در یک قوس بزرگ به سمت بالادست نشان میدهند (شکل ۳-۵۲) یا به عبارت دیگر کلیه تغییر شکلهای و یا ترک خوردگی‌ها در یک سطح لغزش قرار دارند، خروجی تمام قوس‌های لغزش روی شیب بالادست در یک نقطه تجمع می‌نمایند (شکل ۳-۵۳).



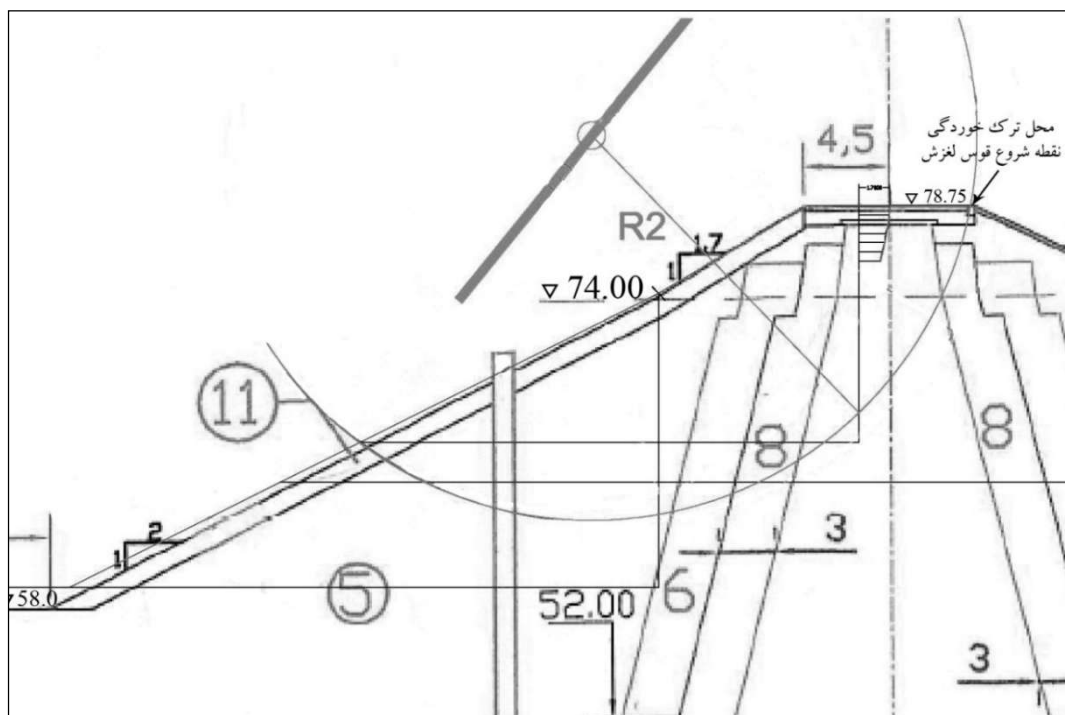
شکل (۳-۴۶) موقعیت قوس لغزش روی محور سد در محل TR1 با شعاع R1



شکل (۳-۴۷) انطباق قوس لغزش در محل TR1 روی محور سد با شعاع R1



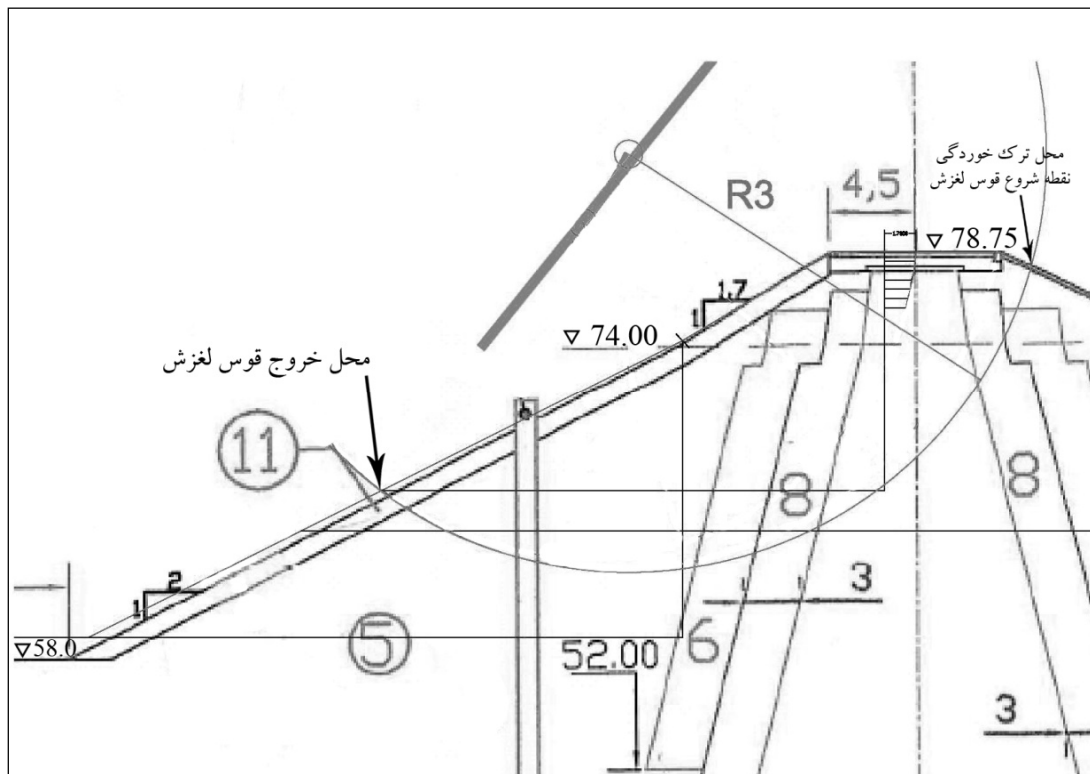
شکل (۳-۴۸) موقعیت قوس لغزش در حد فاصل تاج و شیب پائین دست در محل TR1 با شعاع R2



شکل (۳-۴۹) انطباق قوس لغزش در محل TR1 در حد فاصل تاج و شیب پائین دست با شعاع R2



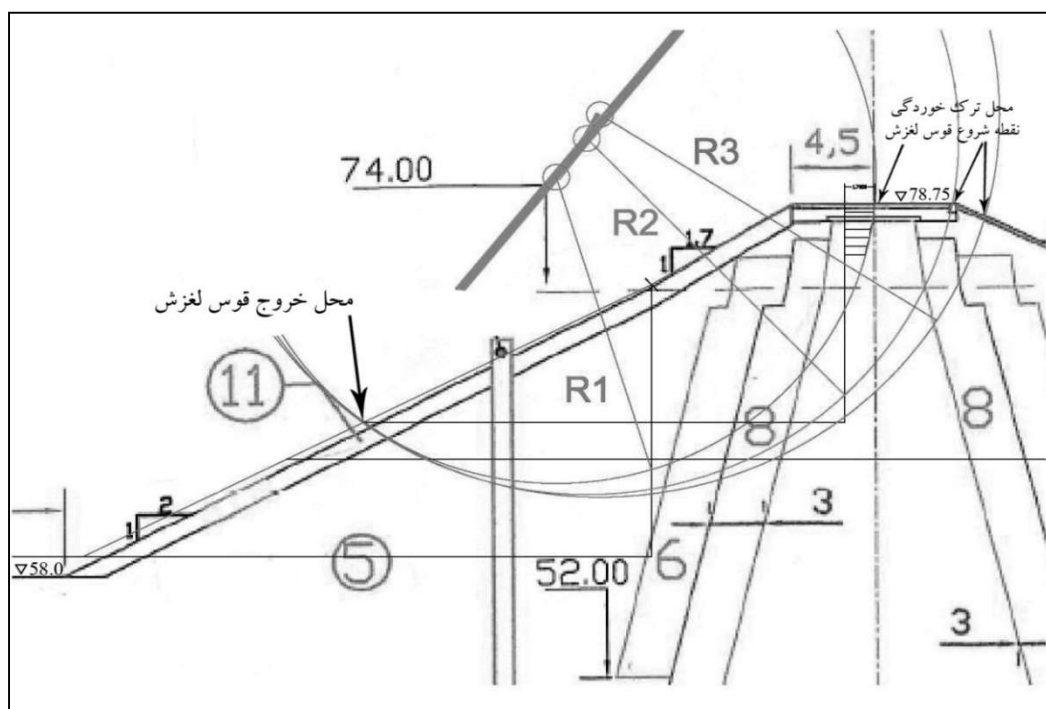
شکل (۵۰-۳) موقعیت قوس لغزش روی شیب پائین دست در محل TR1 با شعاع R3



شکل (۵۱-۳) انطباق قوس لغزش در محل TR1 روی شیب پائین دست با شعاع R3



شکل (۳-۵۲) موقعیت قوس های لغزش در نقاط مختلف و تجميع خروجی آنها در یک نقطه در محل TR



شکل (۳-۵۳) انطباق قوس های لغزش روی مقطع عرضی در محل TR1 و تجميع خروجی آنها در یک نقطه

بعد از پیاده نمودن قوس لغزش روی مقطع عرضی بدنه سد به منظور استحصال شمای محاسبه‌ای

پایداری شیب بالادست مقطع عرضی سد و جدول (۳-۴)، به شرح زیر عمل گردیده است:

$$\sin \alpha = 0.1n \quad \text{یا} \quad \sin \alpha = \frac{n \cdot 0.1R}{R} \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$

و به همین ترتیب رابطه (۴-۷) بدست می آید:

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0.1n^2} \quad \text{رابطه (۳-۷)}$$

مناسبت است اولاً در یک جدول جداگانه (جدول ۳-۴) مقادیر h' ، h'' ، h''' اندازه گیری و درج گردد و بعد از آن، جدول (۳-۳) که نتایج آزمایشات نمونه های اخذ شده از حفاری ها که حاکی از مشخصات فیزیکی - مکانیکی مصالحی که در بدنه به کار رفته است، می باشد وارد نموده و در نهایت جدول اساسی محاسبه ضریب پایداری تنظیم گردیده است (جدول ۳-۵).

جدول (۳-۴) اندازه های ارتفاعی خاک های مختلف که در بدنه سد استفاده شده است

مرکز قوس	به سمت بالادست										به سمت پایین دست				
	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	-۱	-۲	-۳	-۴	-۵
n	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	-۱	-۲	-۳	-۴	-۵
h'	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	-	-	-	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲
h''	۷/۲	۸	۸/۶	۹	۹/۶	۱۰	۹/۶	۲	۲	۱۰	۶	۵	۳/۸	۲/۴	۰/۵
h'''	-	-	-	-	-	-	-	-	۷	۵	۷	-	-	-	-

در جدول فوق داریم:

n - شماره قاچها

h' - ارتفاع خاک شماره ۱۱ (سنگ چین شیب بالادست)

h'' - ارتفاع خاک شماره ۵ (پوسته بالادست از مصالح حاصل از خاکبرداری)

h''' - ارتفاع خاک شماره ۸ (فیلتر قائم طرفین هسته رسی از مصالح ریزدانه معدن سنگ)

شکل ساده رابطه محاسبه‌ای (۵-۳) با استفاده از جدول (۵-۳) ، جهت محاسبه ضریب اطمینان

پایداری در برابر لغزش به شکل ذیل ارائه می‌گردد:

$$K_c = \frac{\sum(16) + \sum(17) + \gamma h_z^2 \frac{a_b}{2R_b}}{\sum(19)} \quad \text{رابطه (۸-۳)}$$

در رابطه فوق داریم:

a_b - فاصله از مرکز قوس در محدوده اشباع تا مرکز قوس می‌باشد.

h_z - ارتفاع آب در پائین دست است. در صورت خشک بودن پائین دست $h_z=0$

نتایج محاسبات مطابق رابطه (۹-۳) برای ضریب پایداری K_c در شرایط بعد از ساخت بدون در نظر داشتن ضریب زلزله برابر است با :

$$K_{c1} = \frac{\sum(16) + \sum(17)}{\sum(19)} = \frac{119.423 + 1.4102}{52.769} = 2.28 \quad K_{c1} = 2.28 \quad \text{رابطه (۹-۳)}$$

عدد مذکور ضریب ایمنی مناسبی را در شرایط نمونه‌های برداشت شده موجود نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که نتایج آزمایش بعد از گذشت زمان ۵ سال که دوره تحکیم ۷۰ سانتی‌متری را در خود داشته است با اعداد و ارقام مصالح و منابع قرضه‌ای که در زمان ساخت استفاده شده است تغییر زیادی را نشان می‌دهد.

این بدین معنا است که اجرای بدنه سد از کیفیت اجرایی مناسبی برخوردار نبوده و زون‌بندی اجرا شده در طرح مقطع عرضی با مصالح متفاوت، پایداری شیب را تامین ننموده است. پس می‌توان گفت که از عوامل عمده تغییر شکل بدنه سد، اجرای نامطلوب سد در زون‌های متعدد و استفاده از مصالح نامرغوب می‌باشد.

تبصره: "جدول و رابطه‌های فوق‌الشاره برای شیب‌های بالادست و پائین‌دست یکسان بوده و تنها در صورت وجود آب در محاسبات شیب پائین‌دست، جزء سوم رابطه قابل توجه می‌باشد."

لازم به ذکر است که در صورت وجود قوس لغزش و مرکز آن، محاسبات ضریب ایمنی در پایداری به هر شیوه‌ای از شیوه‌هایی که قبلاً به آن اشاره شده است، امکان پذیر است. اما این شیوه بدلیل عدم نیاز آن به نرم افزارهای خاص از دقت خاصی برخوردار می‌باشد. سهولت انجام محاسبات با دانستن

مشخصات خاک‌ها که از آزمایش خاک‌های موجود در بدنه به طور واقعی بدست می‌آید، از محاسن دیگر این شیوه است.

جدول (۵-۳) جدول محاسبه‌ای ضریب پایداری K_c بر اساس رابطه (۴-۱۲) برای حالت بعد از ساخت سد شورک

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
N	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	h'	h''	h'''	$\gamma h'$	$\gamma h''$	$\gamma h'''$	$\sum \gamma h$	$\gamma h \cdot \cos \alpha$	γh_w	$\frac{\gamma h_w}{\cos \alpha}$	$11 - 13 \tan \phi$	$14 + \tan \phi$	$\frac{C}{\cos \alpha}$	$\sum \gamma h - \gamma h_w$	$18 \cdot \sin \alpha$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	0	1	1.2	7.8		2.6	13.46		16.1	16.1			16.1	0.577	9.2897	0.03	16.1	0
1	0.1	0.995	1.2	8		2.6	14.96		17.56	17.47			17.47	0.577	10.08019	0.03	17.56	1.756
2	0.2	0.98	1.2	8.6		2.6	16.1		18.7	18.32			18.32	0.577	10.57064	0.031	18.7	3.74
3	0.3	0.954	1.2	9		2.6	16.8		18.4	17.55			17.55	0.577	10.12635	0.0315	18.4	5.52
4	0.4	0.915	1.2	9.6		2.6	17.95		18.5	16.93			16.93	0.577	9.76861	0.0327	18.5	7.4
5	0.5	0.865	1.2	10		2.6	18.7		21.3	21			21	0.577	12.117	0.035	21.3	10.65
6	0.6	0.8	1.2	9.6			17.95		20.5	28.6			23.6	0.577	13.6172	0.037	20.5	12.3
7	0.7	0.714		2			3.7		3.7	2.64			2.64	0.53	1.3992	0.196	3.7	2.59
8	0.8	0.6		2	7		3.7	11.5	15.2	9.12			15.2	0.53	8.056	0.23	15.2	12.16
9	0.9	0.435		1	5		0.87	8.2	10.07	4.23			4.23	0.53	2.2419	0.32	10.07	9.063
-1	-0.1	0.995	1.2	6	7	2.6	11.2	11.5	25.3	25.17			25.17	0.577	14.52309	0.03	25.3	-2.53
-2	-0.2	0.98	1.2	5		2.6	9.35		11.9	11.66			11.66	0.577	6.72782	0.31	11.9	-2.38
-3	-0.3	0.954	1.2	3.8		2.6	7.1		9.7	9.25			9.25	0.577	5.33725	0.031	9.7	-2.91
-4	-0.4	0.915	1.2	2.4		2.6	4.5		7.1	6.5			6.5	0.577	3.7505	0.033	7.1	-2.84
-5	-0.5	0.9	1.2	0.5		2.6	0.9		3.5	3.15			3.15	0.577	1.81755	0.033	3.5	-1.75
																1.4102		52.769
																119.423		

فصل چهارم
بررسی و تحلیل نتایج

۴-۱- بررسی عوامل اساسی ایجاد تغییر شکل در بدنه سد شورک

در آسیب‌پذیری سد شورک شیروان عوامل متعددی دخیل است که تحلیل، بررسی و شناخت آنها با توجه به شیوه‌های بکار گرفته شده، خیلی مشکل به نظر نرسید. زیرا تحلیل داده‌ها و ارقام بدست آمده از ابزار دقیق کارگزاری شده در بدنه سد از یک طرف و انجام حفاری و آزمایشات ژئوتکنیکی متعدد از طرف دیگر، کمک شایانی در حل این معضل نموده است.

مشاور طراح و بازنگری کننده سد شورک بارها برای حل مشکل و آسیب‌های وارده به سد شورک، اقدامات لازم را انجام داده و در حل به موقع آنها کوشیده است، که گزارش‌های متعدد و مخصوصا گزارش نهایی آنها حاکی از این اقدامات می‌باشند [۳۶] و [۳۷].

در گزارش‌های مذکور تحلیل و پردازش اطلاعات ابزار دقیق تعبیه شده در بدنه سد شورک، حفر چاهک‌های مشاهده‌ای متعدد و آزمایشات برجا و آزمایشگاهی انجام شده به روی نمونه‌های خاک بدنه سد، از موارد اساسی است، که جهت شناخت عوامل تغییر شکل در این تحقیق کمک شایانی نموده است. ضمناً انجام حفاری و آزمایش‌های متعدد در حد نیاز، توسط محققین که به شیوه خاصی انجام شده است، نیز از منابع مهمی به شمار می‌رود که جهت تحلیل و بررسی عوامل بوجود آورنده تغییر شکل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از منابع و مآخذ بدست آمده، به منظور رسیدن به نتایج مناسب و تعیین‌کننده، شیوه بررسی ابتدا از مباحث ارائه شده در گزارش‌ها شروع و بعد از مقایسه با نتایج بدست آمده از شیوه نوین، در نهایت جمع‌بندی گردیده و با استفاده از نتایج مذکور، طرح مناسب مرمت جهت بازسازی سد، پیشنهاد خواهد شد.

موارد بررسی به شرح زیر دسته‌بندی می‌شود:

- ۱- تحلیل نتایج نمودارهای تغییر شکل بدست آمده از اطلاعات و اعداد و ارقام ابزار دقیق.
- ۲- تحلیل نتایج بدست آمده از حفاری‌هایی که توسط مهندسین مشاور انجام شده است.
- ۳- تحلیل نقشه توپوگرافی تهیه شده توسط مهندس مشاور طرح.
- ۴- تحلیل نقشه توپوگرافی و عملیات میکروژئودوزی که در این تحقیق تهیه گردیده است.
- ۵- تحلیل نتایج بدست آمده از حفاری‌ها و آزمایش‌های انجام شده با استفاده از مایع شناساگر رنگی و ترانسه شناسایی و مدل‌سازی قوس لغزش.

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

۷- تهیه و ارائه نقشه های طرح مرمت

۴-۱-۱- تحلیل نمودارهای تغییر شکل حاصل از ابزار دقیق و مقایسه آن با شیوه پیشنهادی

۴-۱-۱-۱- نشست یا تغییر شکل قائم

سدهای خاکی و خاکی سنگریزه ای، نشست های قائم را معمولا در اثر اولین آبرگیری از خود بروز میدهند و نشست های تحکیمی تا مدت طولانی ادامه خواهد داشت. برای رفع این معضل در طراحی، سدهای با ارتفاع محاسبه ای معین بیشتر از ارتفاع طراحی اجرا می شوند که این تفاوت ارتفاع به نام گرده یاد می شود. گرده سدها از تکیه گاه ها با ارتفاع حداقل شروع شده و در وسط طول تاج به حداکثر می رسد. در سد شورک این عدد معادل ۷۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است [۳۷]. طی نقشه برداری سطحی انجام شده، این نوع نشست ها حداکثر حدود ۷۵ تا ۸۰ سانتی متر تخمین زده شد که در طرح مرمت مورد توجه قرار گرفته است. این نشست تا تراز تاج سد با در نظر گرفتن گرده روی تاج بعد از خاکریزی مرمت، به میزان ۵۰ سانتی متر جبران خواهد شد.

نشست بدنه سد یا تغییر شکل های قائم از تحلیل داده های حاصل از نشست سنج ها (در مقطع ۵-۵ از پیوست ۲) و قرائت میزان نشست های حاصل از صفحات مغناطیسی بدست آمده است. جدول زیر حداکثر نشست تاج را در تاریخ های متفاوت نشان می دهد [۶].

جدول (۴-۱) میزان نشست بدنه سد شورک حاصل از پردازش داده های ابزار دقیق

تاریخ	میزان نشست حداکثر در مقطع ۵-۵ (cm)
۱۳۸۴/۲/۱۹	۱۲
۱۳۸۵/۶/۱۶	۱۸
۱۳۸۵/۸/۲۲	۲۲
۱۳۸۵/۹/۲۰	۴۰
۱۳۸۵/۱۲/۹	۵۲
۱۳۸۶/۱/۱۸	۶۳
۱۳۸۶/۲/۳۱	۷۵
۱۳۸۸ آبان	۸۰

۴-۱-۱-۲- نشست هسته

در تراز ۶۲ تا ۶۴ متری، تغییر شکل افقی هسته در حدود ۲۰ سانتی متر با توجه به حفاری‌هایی که در ترانشه شناسایی انجام شده است، قابل رؤیت بوده که این امر در سطح سنگریزه در شیب بالادست به شکل قوس خوردگی به خارج از سطح شیبدار پدیدار شده است. این پدیده به وضوح در پلان توپوگرافی نقشه‌برداری قابل مشاهده است (شکل‌های ۴-۱ و ۴-۲). برای رفع این معضل جهت جلوگیری از ادامه این جابجایی افقی، احداث یک برم با عرض حداقل ۳ متر از تراز ۵۸ متری تا تراز ۶۵ متری پیشنهاد می‌شود. نمودارهای نشست هسته در پیوست (۲) (شکل‌های ۱۴ و ۱۶ مربوط به مقاطع ۵-۵ و ۸-۸) نشان داده شده است [۶].

۴-۱-۱-۳- تحلیل نمودارهای تغییر شکل افقی هسته در مقاطع ۵-۵ و ۸-۸

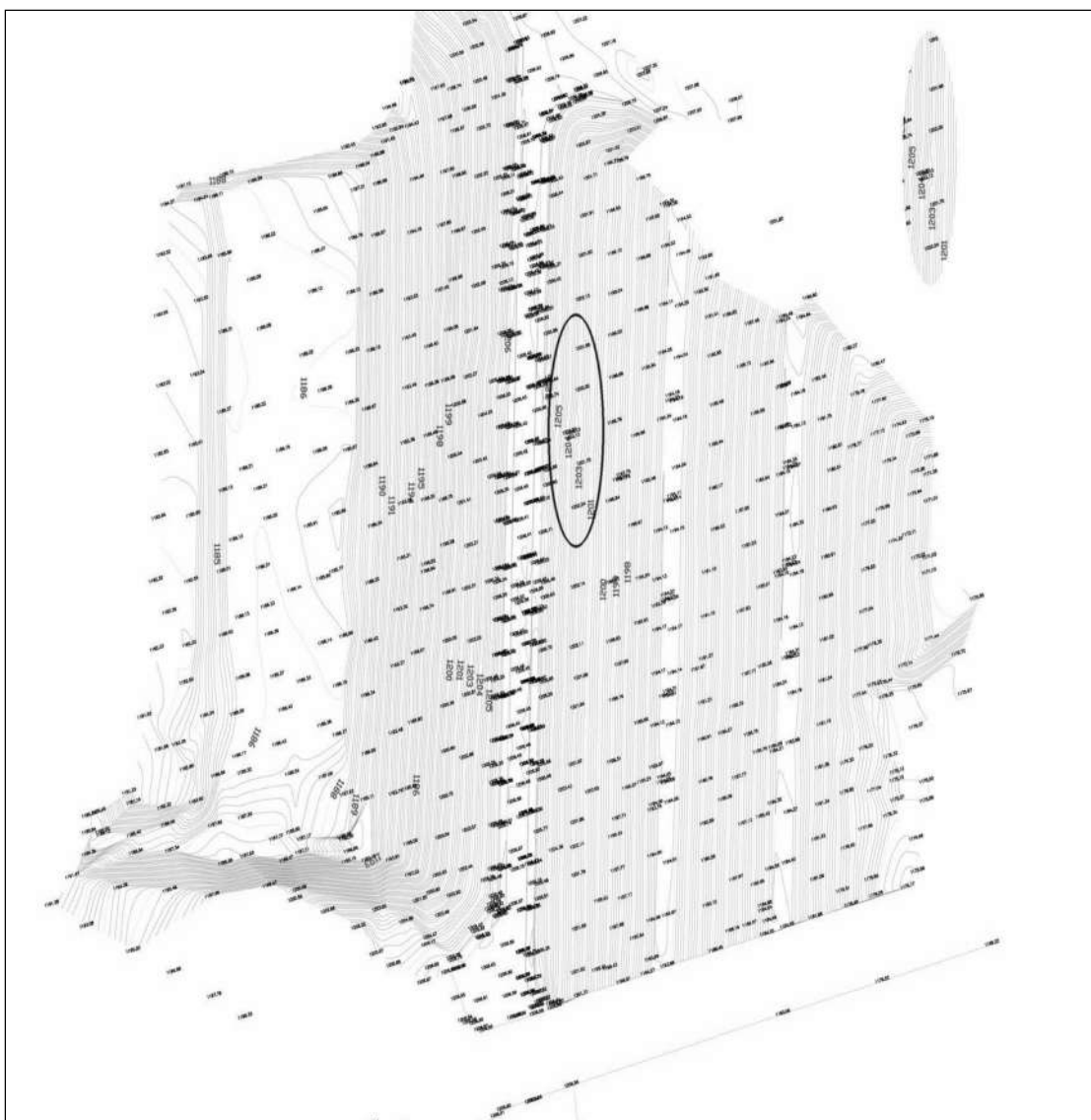
تحلیل نمودارهای مذکور نشان دهنده آنست که تغییر شکل تا عمق حدود ۲۰ تا ۲۳ متری ادامه داشته و تاثیرات آن در اعماق ۱۵ متری کاهش می‌یابد. بیشترین تغییر شکل تا اعماق ۱۰ الی ۱۵ متری ادامه داشته و بعد از آن در حد قابل قبول بروز نموده است. چنانچه از نمودارها استنباط می‌شود، تغییر شکل افقی هسته در تاج در جهت موازی با محور سد حدود ۱۲ سانتی متر و در عمق ۱۰ متری، این جابجایی تا ۴ سانتی متر تقلیل یافته است. همچنین تغییر شکل در جهت عمود بر محور در سطح، حدود ۲۳ سانتی متر و در عمق ۱۰ الی ۱۵ متری بازشدگی حدود ۱۹ سانتی متر را نشان می‌دهد. اما تحلیل تغییر شکل افقی هسته با بخشی از بدنه سد در جهت شیب بالا دست که به کمک ترسیم و تحلیل قوس لغزش و بر اساس مسیر حرکت مایع رنگی در داخل ترک که از دقت کافی برخوردار است، بدست آمده در تمام حالات، تغییر شکل‌ها را تا عمق حدود ۱۲ تا ۱۵ متری، حداکثر نشان می‌دهد.

ابعاد بازشدگی ترک در بحث اندازه‌گیری‌ها در داخل ترانشه شناسایی آمده است. عرض بازشدگی ترک در سطح تاج، ۱۵ تا ۱۸ سانتی متر و در تاج هسته معادل ۱۰ سانتی متر و در عمق حدود ۲ متر از تاج هسته به پائین، از ۵ تا ۳ سانتی متر اندازه‌گیری شده است.

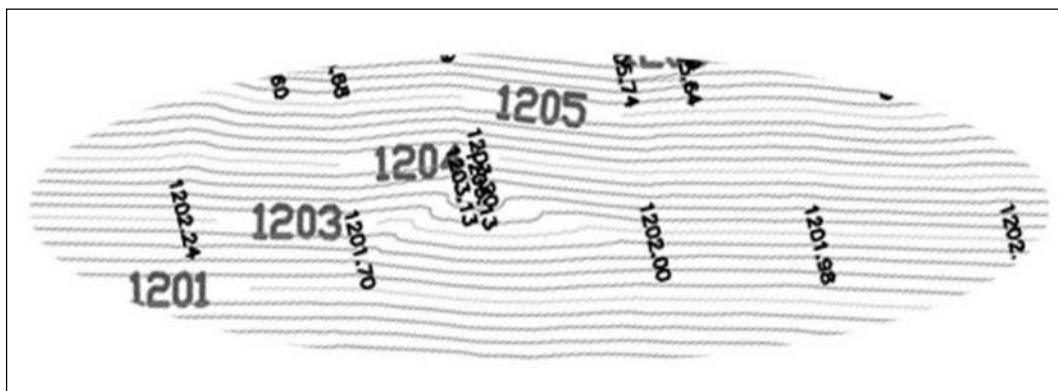
با توجه به اینکه انواع تغییر شکل‌ها و یا جابجایی و یا ترک خوردگی تا حدود ۱۰ سانتی متر با شیوه‌های معمول قابل مرمت می‌باشد، نیاز به برداشت و یا تخریب ندارد. اندازه‌گیری عرض ترک‌ها در داخل ترانشه

شناسایی، عرض آنها را در تاج هسته ۱۰ سانتی متر و در عمق یک متری حدود ۴ سانتی متر نشان می دهد.

از مقایسه اعداد و ارقام چنین استنباط می گردد که اگر از تحلیل داده های ابزار دقیق تبعیت شود، خاکبرداری بدنه سد تا عمق حداقل ۱۰ متری انجام و در صورت تائید موارد فوق دوباره خاکریزی شود. در حالیکه از داده های عینی و اندازه گیری شده به شیوه پیشنهادی حداکثر عمق برداشت از سطح تاج سد ۵ الی ۶ متر بدست می آید.



شکل (۴-۱) پلان نقشه برداری عمومی بدنه سد و محدوده قوس خوردگی به بیرون در شیب بالادست



شکل (۴-۲) جزئیات محدوده قوس خوردگی به بیرون در شیب بالادست

۴-۱-۲- عوامل بروز تغییر شکل ها در تاج و بدنه سد شورک

در بروز تغییر شکل ها در تاج و بدنه سد شورک عوامل متعددی دخیل است که به طور خلاصه اساسی ترین آنها مورد بررسی قرار می گیرد.

۴-۱-۲-۱- عدم وجود منابع قرضه مناسب در محل پروژه

زون بندی سد از مواد و مصالح مختلف، که در مقطع عرضی بدنه سد با تفکیک مصالح اجرا شده به خوبی نشان داده شده است، یکی از بازرترین عوامل تغییر شکل تاج و بدنه سد می باشد. در سدهای زون بندی شده در صورتیکه لایه ها به صورت افقی روی هم قرار گیرند و یا به نحوی روی شیب همدیگر اجرا شوند، رعایت مشخصات فیزیکی- مکانیکی، مانند دانه بندی، دانسیته خشک و اشباع، درصد تراکم و چگونگی شرایط کوبیدگی باید جدا در نظر گرفته شود. با توجه به عدم وجود منابع قرضه مناسب در محدوده سد شورک بالاجبار، طرح مقطع عرضی با زون بندی صورت پذیرفته است.

قرار گیری حجم ۳۳۵۵۰ مترمکعب سنگریزه با شماره ۱ در مقطع عرضی، به تفکیک مصالح اجرا شده روی خاک مخلوط پوسته بالادست از مصالح حاصل از خاکبرداری با شماره ۵ که حجم اصلی بدنه فرازبند را تا تراز ۵۸ تشکیل می دهد، از جهات مختلف با هم قرابت ندارد.

مشخصات فیزیکی- مکانیکی مصالح ۱ با مصالح ۵ کاملاً متفاوت بوده و قرارگیری سنگریزه روی یک مخلوط با دانه بندی نسبتاً ریز باعث تغییر شکل های جدی خواهد بود (شکل ۴-۳). مخصوصاً در شرایط

اولین آگیری که تغییر شکل‌ها در خاک‌های ریزدانه به شدت قابل توجه می‌باشد. این امر یکی از عوامل

اساسی تغییر شکل بدنه در مصالح اشباع شده فراز بند در جهت بالا دست تلقی می‌شود.

ضمناً قرارگیری یک لایه سنگریزه ۱۱ روی مصالح ۵ با حجم حدود ۹۱/۱۱۲۸۰۳ مترمکعب نیز از

عوامل دیگر تغییر شکل محسوب می‌شود.

چنانچه شکل (۳-۴) نشان‌دهنده آن است که قبل از شروع امور اجرایی، خاکبرداری در پی سد تا

سنگ کف انجام شده است. لذا نشست در پی سنگی مد نظر نبوده و تغییرات کلی عمدتاً منوط به

نشست و تحکیم بدنه فراز بند می‌باشد، که در آینده نیز ادامه خواهد داشت.

۴-۱-۲-۲- عدم اتصال مناسب زون‌ها و قرارگیری لایه‌های نا همگون روی همدیگر

علی‌رغم اینکه زون‌بندی بدنه سد خاکی بدلیل نبود منابه قرضه مناسب است، با این وجود به تعدد

زون‌ها در بدنه تاکید گردیده است. در صورت قرارگیری لایه‌های زون‌های مختلف روی همدیگر، چه در

شیب و چه در افق، از نظر مشخصات فیزیکی - مکانیکی مانند دانه‌بندی، دانسیته، درصد کوبیدگی و

نفوذپذیری باید به طور ملایم تغییر نماید و طوری روی همدیگر قرار گیرند که ترتیب مشخصات از

جهت افق و قائم از کم به زیاد متغیر باشد. در زون‌های استفاده شده در سد شورک و قرارگیری لایه‌ها

روی همدیگر موارد فوق رعایت نگردیده است.

ضمناً وجود مصالح ریزدانه در حجم سنگریزه استفاده شده در بدنه سد با درصد زیاد را می‌توان یکی

از عوامل اساسی تلقی نمود که درصد تخلخل را در سنگریزه بیشتر ساخته و در شرایط اشباع کاملاً از

دانه‌بندی تخلیه شده است، این امر به نوبه خود موجب شده است تا نشست و جابجایی در جهات مختلف

در محدوده زون سنگریزه‌ای صورت پذیرد.

علی‌رغم موارد فوق، در بین لایه‌های ریز دانه و سنگریزه از لایه انتقالی که سلامت وجود لایه را در

تمام حالات حفظ نماید استفاده نگردیده است. این مورد نیز خود سبب می‌شود تا لاشه سنگ‌ها در لایه

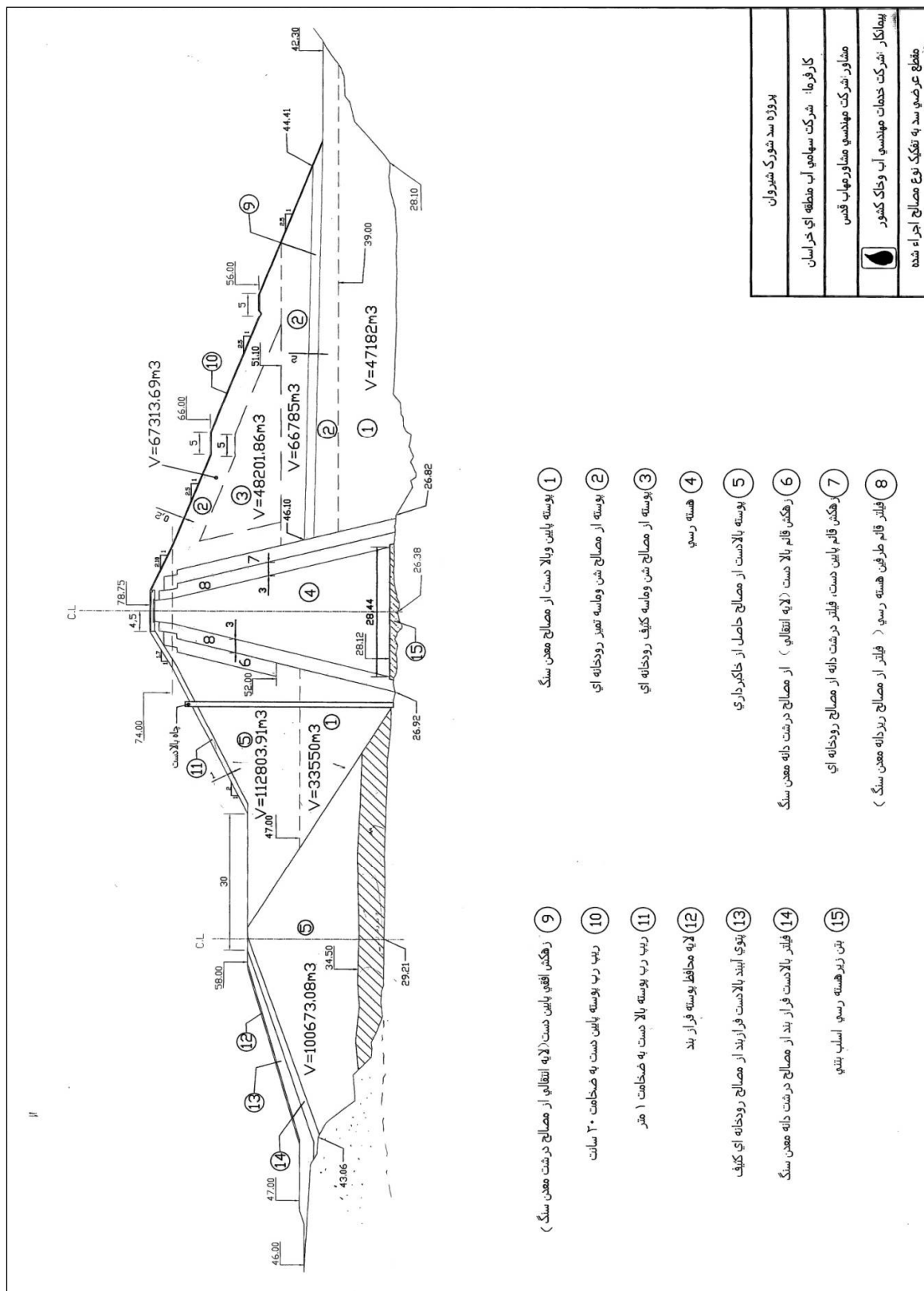
ریزدانه فرو رفته و در صورت اشباع این عمل تشدید گردد. موارد ذکر شده از عوامل عمده ایجاد تغییر

شکل در بدنه سد شورک می‌باشد.

جابجایی‌ها و لغزش‌ها در صورت تخلیه شدن مصالح بدنه با مصالح دیگر، مخصوصاً در اولین آبگیری باعث لغزش بدنه شده و کمبود مقاومت برشی در مقابل نیروهای وارده لغزشی باعث بوجود آمدن ترک‌های طولانی و وسیع در تاج و بدنه گردیده است.

۴-۱-۲-۳- نشست نا متقارن بدنه سد

از عوامل دیگر بوجود آورنده تنش‌های برشی مخرب در مقابل نیروهای نگهدارنده، نشست نا متقارن بدنه سد بوده که این امر هم باعث بوجود آمدن ترک‌ها در بدنه سد شده است. راجع به این موضوع قبلاً نیز توضیحات لازم ارائه گردیده است.



شکل (۳-۴) مقطع عرضی زون‌بندی شده بدنه سد شورک با احجام اجرایی آن

از شیوه اجرایی سد که در گزارش‌ها و مآخذ از آن یاد شده است، چنین استنباط می‌شود که زمان اجرا، پروژه با کمبود آب مواجه بوده است و این کمبود آب بر شیوه کوبیدن و کیفیت آن اثر بازر گذاشته است. این معضل به این معنی بوده است که لایه‌های کوبیده شده روی همدیگر از درصد تراکم مناسب برخوردار نبوده و لذا نشست‌ها و تغییر شکل‌های بوجود آمده خصوصاً در اولین آبیگری‌ها که تا تراز فرازبند بوقوع پیوسته است، نیز از عوامل اساسی نشست و لغزش شیب بالا دست بوده که تاثیرات آن روی تاج بوضوح قابل مشاهده است.

۴-۱-۲-۴- عدم کوبش مناسب سنگریزه‌ها

اصولاً سدهای سنگریزه‌ای با استفاده از هیدرومانیتورها^{۲۱} یا نازل آب^{۲۲} کوبیده میشوند. نازل آبی، آب را تحت فشار کافی که قدرت جابجایی سنگدانه‌ها را در داخل جوشش آبی داشته، در متراکم ساختن سنگریزه اثر بسیار مثبت دارد. نازل مذکور یکی از ابزار بسیار با ارزش در سدسازی بوده و مورد استفاده زیادی در اجرای سدهای سنگریزه‌ای دارد. کمبود آب، استفاده از این دستگاه را نیز منتفی نموده است، لذا کوبیدگی به شکل مکانیکی صورت پذیرفته است که در این شرایط کوبیدن مکانیکی برای سنگریزه‌ها چندان موثر نمی‌باشد.

۴-۲- تحلیل وضعیت قوس لغزش بدست آمده از نتایج حفاری

تحلیل قوس لغزش بدست آمده از حفر ترانشه شناسایی، که با رعایت مسیر جریان مایع رنگی و اندازه‌گیری آن، ضمن تعیین مختصات نقاط مذکور برای نقاط TR_1 و TR_2 ترسیم شده است در چند بخش جداگانه به شرح زیر بیشتر معرفی می‌گردد:

- در این روش تنها موقعیت و شرایط ترک‌خوردگی و شکل آن قابل بررسی بود و بر اساس آن، محل ریختن مایع رنگی تعیین گردید. مایع رنگی مذکور ریخته شد و حفر ترانشه صورت پذیرفت. حفر این ترانشه بر اساس مسیر حرکت مایع رنگی که طبیعی‌ترین و واقعی‌ترین مسیر حرکت ترک خوردگی را دنبال می‌کند، صورت پذیرفت. در حالیکه هیچ شیوه دیگر حفاری نمی‌تواند این مسیر

²¹ - Hydro Monitor

²² - Water Nozzel

را به طور واقعی و عینی در معرض دید بگذارد و اجازه دهد تا جزئیات تغییر شکل‌ها دیده و اندازه‌گیری شود. این امر یکی از ویژگی‌های خاص این شیوه ابداعی است.

- مختصات دو بعدی نقاط بخشی از محدوده قوس که طول آن وابسته به عمق ترانشه پیشنهادی می‌باشد، با دقت فوق العاده بدست می‌آید که می‌توان بر اساس آن کل قوس محدوده لغزش را ترسیم و در عمل مقایسه نمود. با این شیوه می‌توان شکل واقعی قوس لغزش را که $Kc < 1$ است، بدست آورده و بر اساس آن اصلاحات لازم در طرح مرمت را پیشنهاد داد.

- به هر اندازه تعداد این قوسها بیشتر باشد، مشخصات ژئوتکنیکی واقعی تری بدست می‌آید که می‌توان بر اساس آن راجع به چگونگی طرح و اجراء، قضاوت‌های کارشناسی واقع بینانه‌تری را انجام داد. مشخصات نمونه‌ها بر اساس آزمایش‌های انجام شده، بر ارزش شیوه ابداعی افزوده و دید واقعی را جهت ارائه طرح مرمت را بدست می‌دهد و مهمتر از همه اینکه اقتصادی‌ترین طرح ممکن را می‌توان پیشنهاد داد.

نتایج آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی در پیوست (۳) ارائه شده است.

۴-۳- نقد و بررسی سابقه تحلیل پایداری انجام شده جهت تعیین هندسه بدنه سد

نتایج محاسبات پایداری که قبلاً توسط مهندسین مشاور برای شیب بالادست سد شورک انجام شده است، از جهات مختلف قابل بررسی است.

- با توجه به اینکه محاسبات و تحلیل پایداری شیب‌های بدنه سد در مراحل بازنگری با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمایشات مصالح قبلی صورت پذیرفته است، لازم بود این اعداد و ارقام در یک جدول جداگانه با اعداد و ارقام بدست آمده از حفاری‌ها و آزمایشهای ژئوتکنیکی که بعد از آسیب‌پذیری بدست آمده است، مقایسه می‌شد. در صورت معادل بودن، تصور این بود که خاک استفاده شده در بدنه، تغییری نداشته و لذا نیاز به محاسبه مجدد نبوده، بلکه لازم بود جای دیگری عوامل و فاکتورهای اساسی بوجود آورنده تغییرشکلها در بدنه سد جستجو شود.

- مشخص نیست زاویه اصطکاک داخلی سنگریزه معادل ۳۸ درجه بر چه اساسی در محاسبات پایداری شیب بالا دست انتخاب شده است.

- توضیح داده نشده است که ارقام و داده‌های محاسباتی برای نرم افزار، جهت تحلیل پایداری در

این مرحله از کجا بدست آمده و چگونه مورد استفاده قرار گرفته است.

بر اساس تحلیل ها و بررسی‌های انجام شده در این پایان نامه می توان گفت که، اجرای سد شورک بر اساس نقشه‌هایی که قبلا با استفاده از نتایج آزمایش‌های منابع قرضه و مصالح تهیه شده، صورت پذیرفته است و به آن اعتماد شده است. در غیر این صورت کلیه ارقام و اعداد وارده در نرم افزار باید اعداد واقعی می‌بود که از آزمایش مصالح استفاده شده در بدنه بدست آمده است، در این صورت قوس‌های لغزشی که توسط شیوه پیشنهادی، مدل شده است (در بحث های بعدی همین گزارش آمده است) قوس‌هایی اند که ضریب اطمینان آنها زیر عدد ۱ تلقی می‌شوند، در این صورت مقطع عرضی پیشنهادی جهت اجرا در مطالعات بازنگری دارای ابهام خواهد بود.

شایان ذکر است که راجع به موارد فوق در این گزارش تحلیل‌های بیشتری به عمل آمده و نتیجه-

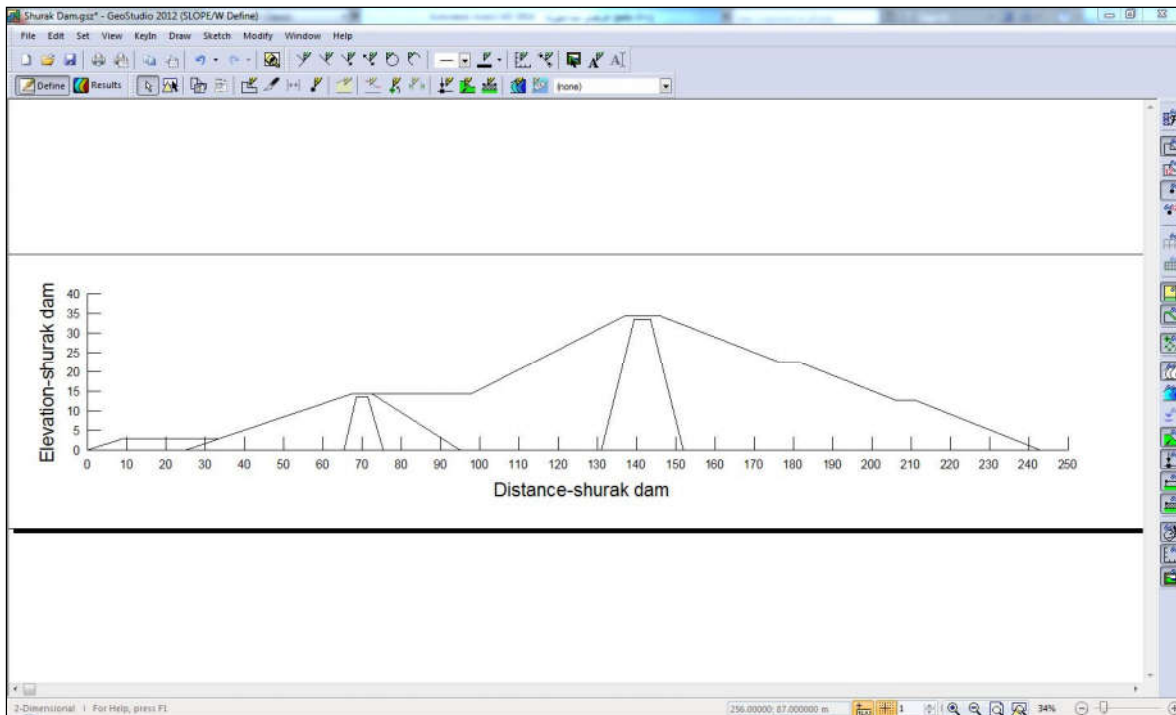
گیری نیز شده است.

۴-۴- مدل سازی سد در SLOPE/W

جهت مدلسازی سد در نرم افزار Slope/w مطابق آنچه در بخش ۳-۶ گفته شد انجام می دهیم (شکل ۴-۳).

۴-۴-۱- ترسیم هندسه مدل گرافیکی

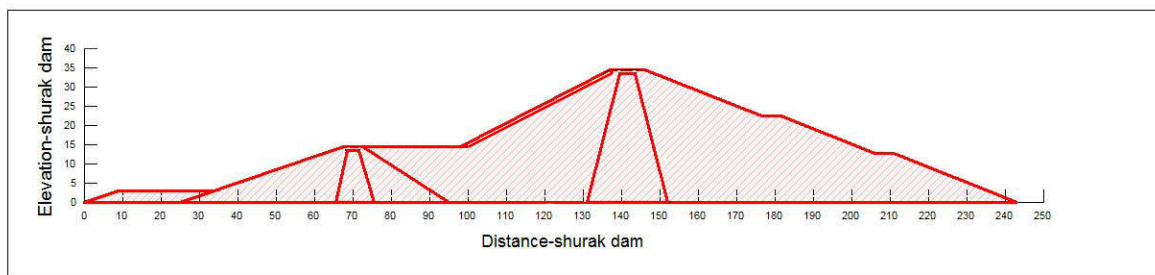
۴-۴-۱-۱ ترسیم شکل اولیه مدل گرافیکی



شکل (۴-۴) شکل اولیه ترسیم شده برای مدل گرافیکی

۴-۴-۲- ترسیم المان های مدل گرافیکی

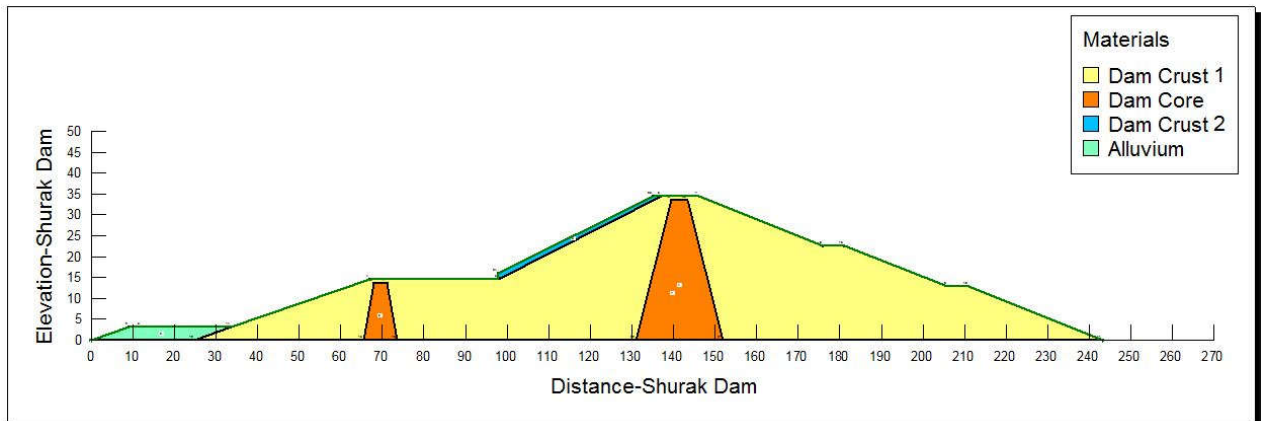
پس از ترسیم هندسه مدل گرافیکی باید المان های مدل را به تفکیک مصالح ترسیم و مشخص نمود (شکل ۴-۵).



شکل (۴-۵) ترسیم المان های مدل گرافیکی

۴-۱-۳- تخصیص مصالح برای هر ناحیه

تصویر مدل گرافیکی بعد از تخصیص مصالح برای هر Region در شکل (۴-۶) نمایش داده شده است.



شکل (۴-۶) نمایش نحوه تخصیص مصالح برای هر ناحیه

۴-۲-۴- تخصیص خصوصیات مصالح

پس از تخصیص نوع مصالح برای هر Region با توجه به مدل رفتاری مصالح که معروف ترین آنها مدل رفتاری Mohr-Coulomb می باشد، خصوصیات تک تک مصالح بکار رفته در بدنه سد را مطابق با داده های جدول (۴-۲) در قسمت های Basic، Suction، R Envelope، Liquefaction و Advanced به مدل گرافیکی معرفی می کنیم اشکال (۴-۷) تا (۴-۲۳).

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

Unit Weight: 18.7 kN/m³

Cohesion: 3 kPa

Phi: 40.8 °

شکل (۴-۷) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Basic

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

☐ Phi B

☒ Vol. WC Fn. Dam Core

Residual Water Content: 15 % (% of Sat WC)

شکل (۴-۸) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Suction

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

Undrained strength parameters for staged analyses (Duncan et al., 1990):

Cohesion R: 0 kPa Phi R: 0 °

شکل (۹-۴) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت R Envelope

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

☐ Use steady-state strength when liquefied

Steady-state strength (C_{ss}): 0 kPa

Collapse surface angle: 0 °

شکل (۱۰-۴) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Liquefaction

Material Model: Mohr-Coulomb

Basic Suction R Envelope Liquefaction Advanced

Unit Weight in Unsaturated Zone:

☐ Use saturated unit weight

☐ Use constant unsaturated unit weight: 0 kN/m³

☒ Calculate from the material Vol. WC Fn: Dam Core

Anisotropic Fn: (none)

شکل (۱۱-۴) معرفی پارامترهای مصالح در قسمت Advanced

جدول (۳-۳) مشخصات فیزیکی مکانیکی مصالح بدنه سد

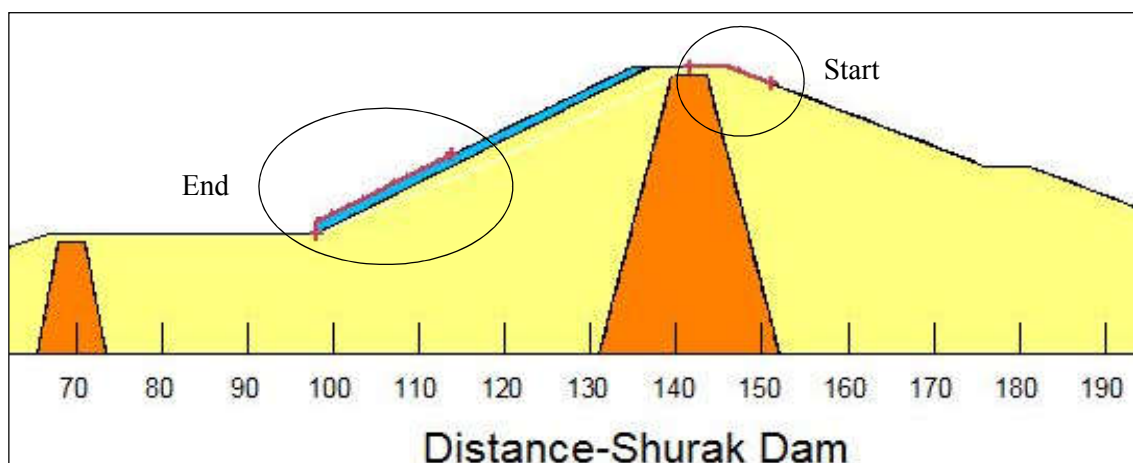
ردیف	مشخصات مصالح	H	دانسیتة (γ)	زاویه اصطکاک داخلی (φ)	چسبندگی (C)
۱	سنگریزه	h'	۱/۸	۳۰	۰
۲	مخلوط بدنه سد	h''	۱/۸۷	۴۰/۸	۰/۰۳
۳	خاک هسته	h'''	۱/۶۴	۲۸	۰/۱۴

۴-۳- انتخاب نوع تحلیل پایداری

همانطور که قبلاً توضیح داده شده در نرم افزار Slope/w روشهای مختلفی برای تحلیل پایداری شیب ها وجود دارد که شامل روشهای Enty & Exit و Grid & Radius، Block Specified و ... هستند که این روشها هم در حالت استاتیکی مورد استفاده قرار می گیرند و هم در حالت شبه استاتیکی. ما در اینجا هر دو روش را به طور خلاصه توضیح داده و مدل گرافیکی را با آنها تحلیل می کنیم.

- روش Enty and Exit

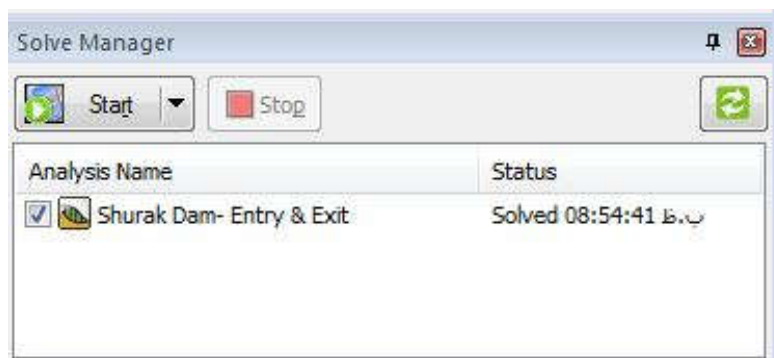
در این روش محل شروع و پایان سطح لغزش به نرم افزار اختصاص داده می شود تا نرم افزار از بین سطوح لغزش محتمل، بحرانی ترین را انتخاب کند. شکل (۴-۱۲)



شکل (۴-۱۲) تعیین محل شروع و پایان سطح لغزش

- تحلیل برنامه و ارزیابی نتایج

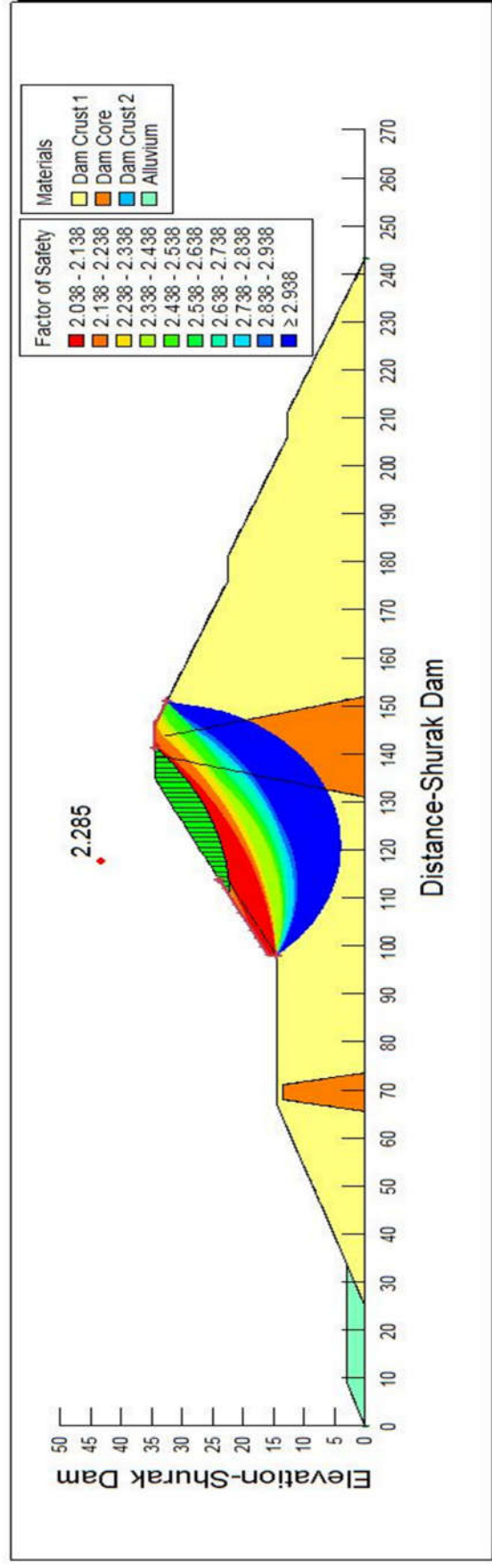
پس از مدل نمودن مسئله و اختصاص مشخصات مصالح به آن و تعیین نقاط ابتدایی و انتهایی سطح لغزش مدل آماده آنالیز است. (شکل ۴-۱۳)



شکل (۴-۱۳) تعیین محل شروع و پایان سطح لغزش

تصویر نهایی مدل گرافیکی سد پس از تحلیل و آنالیز به صورت شکل (۴-۱۴) می باشد، که این تصویر مقادیر مختلف ضریب اطمینان را در روی بدنه سد و جدول کنار آن نمایش میدهد. با استفاده از این روش ضریب اطمینان بحرانی $2/038$ می باشد که تصدیق است برای ضریب اطمینان بدست آمده از روش های تئوری محاسباتی که در بخش ۳-۱۰ ارائه شد.

همچنین برای دیدن تمامی مقادیر ضریب اطمینان (که در این آنالیز به تعداد ۶۰۵ عدد می باشد) و مشخصات مربوط به آنها و همچنین مشاهده ضریب اطمینان بحرانی می توان از قسمت Slip Surfaces استفاده نمود. (شکل ۴-۱۵)



شکل (۱۴-۴) نمایش مدل گرافیکی سد پس از آنالیز و تحلیل

Slip Surfaces					
All slip surfaces					
Select Slip Surface					
	1	☐ Auto select critical			
Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
1	2.038	-36.13	363.54	373.92	Critical (analysis)
2	2.073	92.26	84.29	70.026	
3	2.340	105.75	54.954	41.189	
4	2.792	111.31	42.853	31.323	
5	3.440	114.58	35.742	26.947	
6	2.075	-34.182	368.04	377.45	
7	2.112	93.028	85.049	70.724	
8	2.385	106.4	55.293	41.65	
9	2.848	111.93	43.001	31.723	
10	3.513	115.18	35.765	27.339	
11	2.110	-32.305	372.57	381.04	
12	2.149	93.783	85.811	71.436	
13	2.430	107.05	55.633	42.117	
14	2.909	112.54	43.149	32.129	
15	3.598	115.78	35.788	27.736	
16	2.145	-30.494	377.11	384.7	
17	2.187	94.526	86.576	72.16	
18	2.474	107.69	55.974	42.592	
19	2.966	113.15	43.298	32.54	
20	3.677	116.37	35.811	28.137	
21	2.178	-28.745	381.66	388.42	
22	2.221	95.258	87.344	72.895	
23	2.519	108.33	56.317	43.074	
24	3.028	113.75	43.448	32.956	
25	3.773	116.96	35.835	28.542	
26	2.216	-25.353	384.82	390.32	
27	2.264	96.269	87.782	73.302	
28	2.574	109.1	56.433	43.378	
29	3.107	114.44	43.407	33.254	
30	3.888	117.6	35.685	28.861	
600	6.776	130.74	33.826	19.407	
601	3.660	79.249	260.4	238.95	
602	3.647	123.29	68.499	45.457	
603	4.245	128.03	47.814	27.641	
604	5.402	130.07	38.938	21.94	
605	7.292	131.32	33.481	19.746	

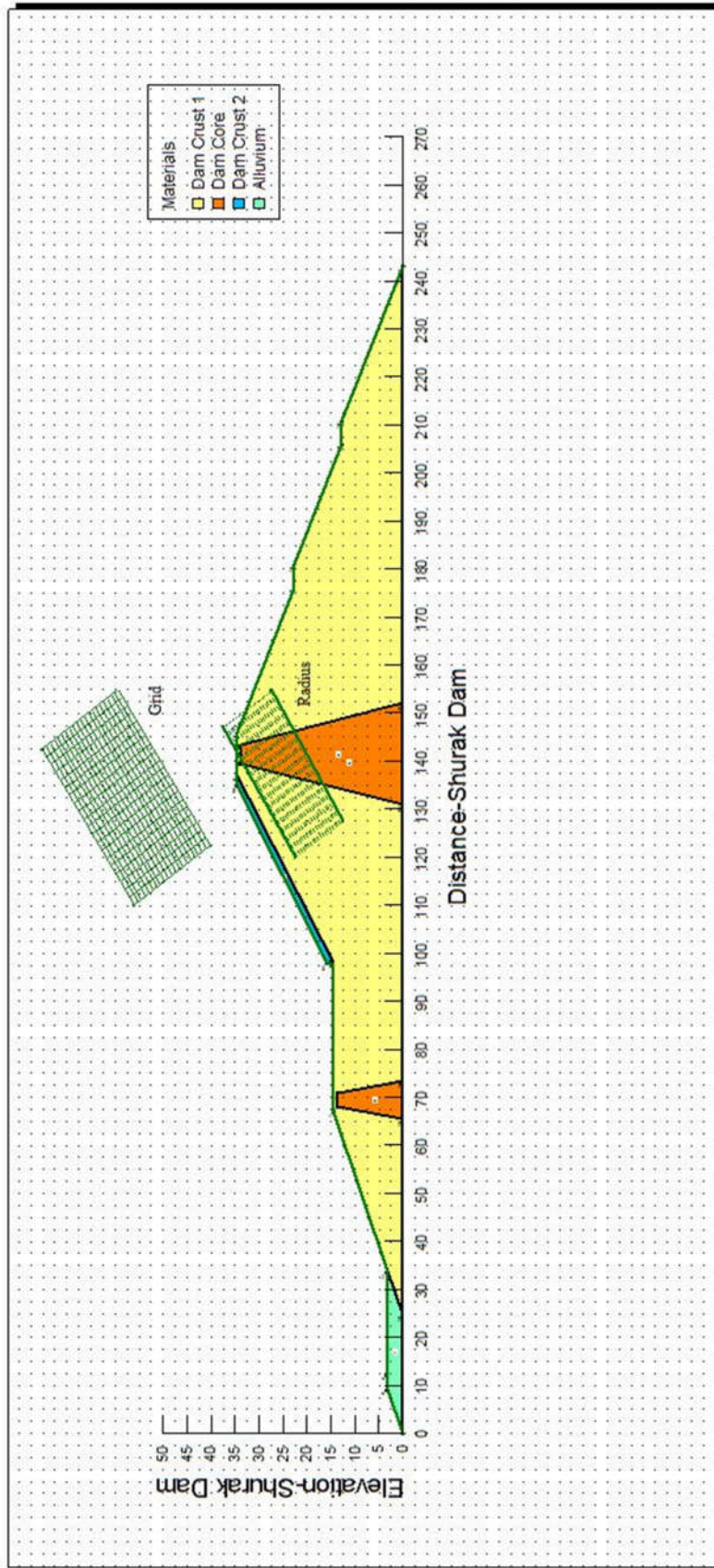
شکل (۴-۱۵) نمایش تمامی ضرایب اطمینان و ضریب اطمینان بحرانی

- روش Grid and Radius

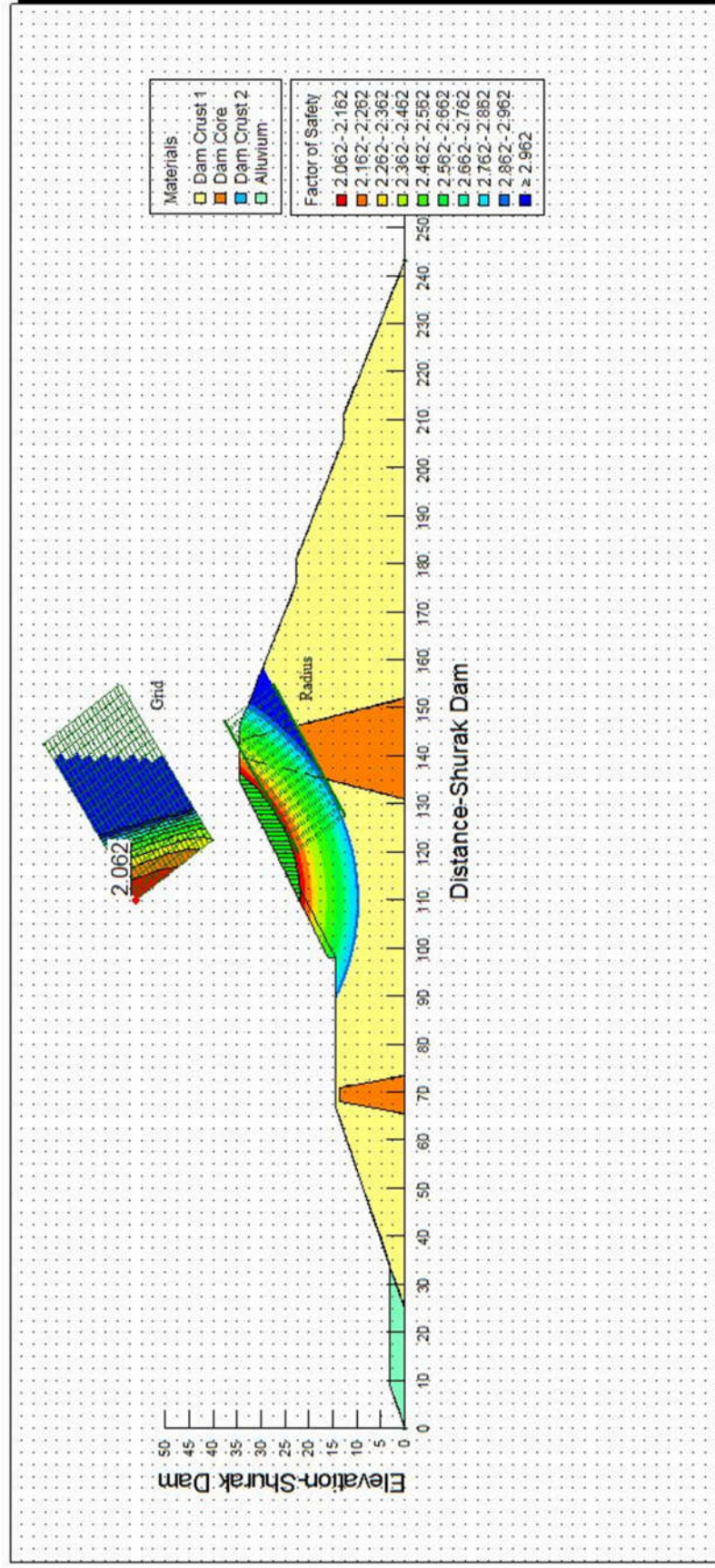
در این حالت به منظور تحلیل پایداری شیب بالادست لازم است با استفاده از روش Morgenstern-Price، سطوح لغزش تقریبی را برای شیب مورد نظر ترسیم کرد، تا برنامه خود جواب بهینه را تعیین کند. برای این منظور با استفاده از دو دستور Grid و Radius از بخش Slip Surface در منوی Draw به ترتیب برای تعیین نقاط مرکز دایره‌ی مشخص کننده مقاطع لغزش و ترسیم خطوط تعیین کننده شعاع این دایره‌ها استفاده می‌شود که معمولاً در بالای سطح شیب‌دار Grid و در سمت پایین آن Radius ترسیم می‌شود. محل قرارگیری Grid و Radius به صورت سعی و خطا می‌باشد و باید چندین مکان مختلف را امتحان کرد تا به مکان مناسب و معقول دست یافت. همچنین جهت دستیابی به دقت بالاتر در تحلیل می‌توان ابعاد و تعداد شبکه‌های آنها را نیز افزایش داد که در این صورت زمان آنالیز افزایش می‌یابد. تصویر مدل گرافیکی سد پس از ترسیم Grid و Radius به صورت شکل (۴-۱۶) می‌باشد.

در نهایت شکل نهایی مدل گرافیکی سد پس از آنالیز و تحلیل با این روش به صورت شکل (۴-۱۷) می‌باشد. همچنین برای دیدن تمامی مقادیر ضریب اطمینان (که در این آنالیز به تعداد ۸۴۰۰ عدد می‌باشد) و مشخصات مربوط به آنها و همچنین مشاهده ضریب اطمینان بحرانی می‌توان از قسمت Slip Surfaces استفاده نمود. (شکل ۴-۱۸)

با استفاده از این روش ضریب اطمینان بحرانی ۲/۰۶۲ می‌باشد که نسبت به روش قبل اختلاف زیادی ندارد، همچنین این روش ترسیمی نیز صحت ضریب اطمینان بدست آمده از روش‌های تئوری محاسباتی روش نوین ارائه شده در بخش ۳-۱۰ رو تأیید می‌نماید.



شکل (۱۶-۴) نمایش محل قرارگیری Grid و Radius در مدل گرافیکی سد



شکل (۱۷-۴) نمایش مدل گرافیکی سد پس از آنالیز و تحلیل

Slip Surfaces					
Valid slip surfaces ▼					
Select Slip Surface					
	1	☐ Auto select critical			
Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
1	2.062	110	55.953	34.157	Critical (analysis)
2	2.099	110	55.953	34.776	
3	2.138	110	55.953	35.394	
4	2.181	110	55.953	36.013	
5	2.225	110	55.953	36.631	
6	2.272	110	55.953	37.25	
7	2.321	110	55.953	37.868	
8	2.367	110	55.953	38.487	
9	2.409	110	55.953	39.105	
10	2.450	110	55.953	39.724	
11	2.489	110	55.953	40.342	
12	2.524	110	55.953	40.961	
13	2.560	110	55.953	41.579	
14	2.594	110	55.953	42.198	
15	2.623	110	55.953	42.816	
16	2.652	110	55.953	43.435	
17	2.689	110	55.953	44.053	
18	2.736	110	55.953	44.672	
19	2.788	110	55.953	45.29	
20	2.847	110	55.953	45.909	
21	2.912	110	55.953	46.527	
22	2.068	110.63	55.156	33.158	
23	2.106	110.63	55.156	33.776	
24	2.147	110.63	55.156	34.395	
25	2.191	110.63	55.156	35.013	
26	2.236	110.63	55.156	35.632	
27	2.284	110.63	55.156	36.25	
28	2.334	110.63	55.156	36.869	
29	2.381	110.63	55.156	37.487	
30	2.424	110.63	55.156	38.106	
8,397	17...	140.88	74.137	45.85	
8,398	14...	140.88	74.137	46.469	
8,399	13...	140.88	74.137	47.088	
8,400	11...	140.88	74.137	47.706	

شکل (۴-۱۸) نمایش تمامی ضرایب اطمینان و ضریب اطمینان بحرانی

۴-۵- تهیه طرح مرمت سد شورک

بررسی‌های همه جانبه سطحی، انجام حفاری‌ها و آزمایش‌های ژئوتکنیکی نشان داد که بدنه سد شورک حاوی ترک‌خوردگی به شکل قوس‌هایی است که طول آن حدود ۱۵۰ متر بوده و از نزدیکی یک تکیه‌گاه شروع شده و به نزدیک تکیه گاه دیگر منتهی می‌شود. در داخل قوس ترک‌خوردگی یک گوه عظیم یا توده خاکی به سمت بالادست لغزش نموده است که در شکل (۳-۵۲) ارائه شده است. این لغزش در داخل قوس باعث شده است تا توده خاکی از دو طرف در جهت بالا دست فشرده شده و باعث بوجود آمدن ترک‌های متعدد و ناپیوسته در داخل قوس بزرگ گردد. این فشردگی عمدتاً در تاج سد و تا عمق بیش از ۵ متر ادامه داشته و ابعاد و اندازه‌های ترک‌ها از سطح به عمق کوچکتر و کوچکتر شده و بعد از رسیدن به هسته، فیلتر و زهکش، ابعاد ترک‌ها خیلی کوچک شده و ظاهراً تا عمق ۱۵ متری متوقف شده است. نمودارهای تحلیلی بدست آمده از داده‌های ابزار دقیق موید این امر است.

قبلاً در بحث تحلیل عوامل تغییر شکلهای گفته شد که بدنه سد عمدتاً تا عمق ۵ الی ۶ متری، بهم ریختگی و آسیب‌دیدگی نسبتاً شدید داشته که قابل مرمت نبوده و برداشت آن الزامی به نظر می‌رسد. قوس لغزش مدل شده نیز موید این پیشنهاد می‌باشد.

در طرح مرمت، بدنه سد از تاج تا عمق ۵ متری قابل برداشت بوده و بعد از آن منوط به گسترش آسیب‌های وارده بوده که تصمیم‌گیری خاک‌برداری و برداشت آن منوط به تصمیم‌گیری مهندس ناظر خواهد بود. باید گفته شود که موارد گفته شده در بحث عوامل بوجود آورنده تغییر شکل‌ها نشان می‌دهد که آبرگیری مجدد سد از عوامل تداوم تغییر شکلهای آینده بدنه سد بوده و امید می‌رود که با انجام دقیق جزئیات اجرایی در مرمت، بتوان تداوم جابجایی و تغییر شکلهای را در حد مجاز مهار نموده و از خسارات وارده در آینده جلوگیری به عمل آورد (به نقشه‌های طرح مرمت در پیوست ۴ مراجعه شود).

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

امروزه ذخیره آب با احداث سدها، مخصوصاً سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای که از نظر تکنولوژی اجرا، ساده و کم هزینه ترند، بیشتر مورد توجه است. یکی از مهمترین مسائلی که در این مقوله پیش روی مهندسان سدسازی و ژئوتکنیک قرار دارد، آنالیز پایداری شیب و تحلیل سطح گسیختگی و نیز نحوه تعیین گسیختگی شیب‌ها می‌باشد. متداول‌ترین روش‌های تحلیل پایداری شیب‌ها، روش‌های تعادل حدی و روش المان محدود است که با انجام محاسبات دستی قابل محاسبه بوده و همچنین سطوح گسیختگی محتمل توسط برنامه‌های کامپیوتری موجود، قابلیت ترسیم و مدل‌سازی را دارند، اما ترسیم و تعیین این سطوح گسیختگی که به قوس لغزش معروفند تا کنون به طور واقعی و عملی انجام نشده است. در این پایان نامه ترسیم و تعیین این قوس‌های لغزش به طور واقعی و عملی با شیوه‌ای نوین در جریان حفر ترانشه شناسایی و استفاده از مایع شناساگر رنگی و همچنین محاسبه ضریب پایداری شیب‌ها به کمک آن، جهت تهیه مناسب‌ترین طرح علاج بخشی و مرمت سد خاکی سنگریزه‌ای شورک شیروان که دچار آسیب دیدگی از نوع قوس لغزش شده است، به طور کاملاً عینی و دقیق مورد توجه قرار گرفته است.

۵-۲- نتیجه گیری

۵-۲-۱- نتایج کلی از این تحقیق

در پایان نامه حاضر ضمن ارائه یک روش نوین جهت تحلیل و بررسی عوامل تغییرشکل سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای، شیوه حفاری و نمونه‌برداری آن نیز در این تحقیق منحصر بفرد می‌باشد. ایده مدل سازی قوس لغزش یا خطرناک‌ترین قوس لغزش ممکنه از بارزترین ایده‌های علمی-تحقیقی این پایان نامه است که اساس آن بر مبنای محاسبه فرمول های K_c پی ریزی شده است.

به خلاصه توضیحات زیر در این زمینه اکتفا می گردد :

- ۱- در پایان نامه حاضر استفاده از این شیوه نوین جهت بررسی عوامل تغییرشکل سدهای خاکی سنگریزه‌ای که قبلاً مشابه آن برای تحلیل سدهای خاکی همگن (سد شهید پارسا فردوس) مورد استفاده قرار گرفته بود، یکبار دیگر مورد تائید قرار می‌گیرد.

- ۲- مدلسازی گرافیکی خطرناکترین قوس لغزش و ترسیم آن با استفاده از داده‌های عینی یکی از دستاوردهای مهم این تحقیق به شمار می‌رود، بر این اساس عمق و ابعاد تخریب، میزان جابجایی، لغزش و چگونگی تغییرشکلها بدست آمده و شیوه مرمت و مرمت طراحی می‌شود.
- ۳- تحلیل محدوده داخل ترانشه شناسایی و مسیر حرکت مایع رنگی شناساگر، انجام آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی، شرایط فوق‌العاده‌ای را برای تحلیل صحیح عوامل و فاکتورهای بوجود آورنده تغییر شکلها ایجاد نموده است.
- ۴- یکی از بارزترین محاسن این روش این است که در صورت وجود و یا عدم وجود ابزار دقیق تعبیه شده در بدنه سد قابلیت اجرا و استفاده را دارا می باشد.
- ۵- از دیگر محاسن ویژه این روش، سهولت انجام محاسبات با داشتن مشخصات خاک‌ها که از آزمایش خاک‌های موجود در بدنه به طور واقعی بدست می‌آید، می باشد.
- ۶- تصدیق و صحت سنجی این روش جهت ترسیم قوس لغزش و محاسبه ضریب اطمینان پایداری با مقایسه با روش های ترسیمی-نرم افزاری انجام شده و نتایج آن در بخش ۵-۵ ارائه شده است.
- ۷- دقت نتایج در این روش با توجه به عینی بودن آن، کلیه موارد حدس و گمان را از بین می‌برد.
- ۸- تصمیم‌گیری جهت ارائه یک طرح مطمئن و با عیب و نقص کمتر برای مرمت سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای، امکان پذیر شده است.
- ۹- در این پایان نامه مباحث با اهمیت علمی پژوهشی و تجربی، جهت پویایی دانش مرمت و بازسازی در سدسازی گنجانده شده است که برای دانش‌آموختگان و طراحان رشته سد سازی می‌تواند به عنوان یک الگوی مناسب قابل استفاده باشد.

۲-۲-۵- نتایج کاربردی در مرمت سد خاکی-سنگریزه‌ای شورک

- ۱- در بدنه سد شورک یک جابجایی یا لغزش افقی ۷۰ تا ۸۰ سانتی‌متری صورت گرفته است.
- ۲- حداکثر عرض ترک ۷۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است.

۳- ترک‌ها تا عمق ۵ تا ۶ متری قابل مرمت نبوده ولی بعد از آن با شیوه‌های معمولی قابل مرمت می‌باشد.

۴- خاکبرداری بدنه سد شورک از سطح تاج تا عمق ۵ الی ۶ متری الزامی است.

۵- ترک‌ها بعد از خاکبرداری و تسطیح کامل با توجه به مسیر مایع رنگی که قبل از شروع خاکبرداری در ترک‌ها ریخته شده، علامت گذاری شده و بازگشایی شوند.

۶- در صورت لزوم، مرمت ترک‌ها به شیوه‌های معمول انجام و بعد از کوبیدن سطح اولیه، خاکریزی مجدد طبق طرح مرمت صورت پذیرد.

۵-۲-۳- مقایسه نتایج ابزار دقیق با نتایج روش پیشنهادی

سد شورک شیروان از آن دسته از سدهای خاکی سنگریزه ای می باشد که در بدنه آنها ابزار دقیق مورد نیاز تعبیه شده است. در این بخش نتایج و داده های بدست آمده از ابزار دقیق تعبیه شده در بدنه سد را با داده های عینی بدست آمده از روش پیشنهادی جهت ارائه مناسب ترین طرح مرمت سد، مقایسه و در جدول ۵-۱ ارائه گردیده است.

جدول (۵-۱) مقایسه نتایج ابزار دقیق و روش پیشنهادی

ردیف	عنوان	داده های ابزار دقیق	داده های عینی
۱	عمق ترک ها	حداقل ۲۰-۲۳ سانتی متر	حداکثر ۱۲-۱۵ سانتی متر
۲	عرض ترک ها در سطح تاج هسته	۲۳ سانتی متر	۱۰ سانتی متر
۳	عرض ترک ها در عمق ۱۰ متری	۱۹ سانتی متر	۳-۵ سانتی متر
ارائه طرح مرمت سد			
	خاکبرداری بدنه سد جهت مرمت	حداقل ۱۰ متر	حداکثر ۵-۶ متر

۵-۲-۴- مقایسه نتایج و صحت سنجی روش پیشنهادی با روش های نرم افزاری

نتایج بدست آمده برای ضریب اطمینان پایداری در مدلسازی های انجام گرفته توسط دو روش در نرم افزار Slop/w و همچنین استفاده از روش تئوری محاسباتی در روش پیشنهادی که در بخش ۳-۱۰ ارائه شد، با هم مقایسه شده و در جدول (۵-۲) ارائه گردیده است.

جدول (۵-۲) نمایش ضرایب اطمینان بحرانی با روشهای مختلف

روش ترسیمی Grid and Radius	روش ترسیمی Enty and Exit	روش محاسباتی K _c	ضریب اطمینان پایداری در بحرانی ترین حالت
2.062	2.038	2.28	

۵-۳-۳- پیشنهادات

۵-۳-۱- پیشنهادات در زمینه استفاده از نتایج بدست آمده

- ۱- استفاده از شیوه نوین ارائه شده، جهت تحلیل و بررسی عوامل تغییر شکل کلیه سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای با هسته مرکزی و مایل و سدهای با مصالح همگن.
- ۲- استفاده از مایعات رنگی با ترکیبات خاص (از قبیل داشتن خواص فرابنفش، مغناطیس و ...) به منظور جهت‌یابی و مسیریابی ترکها در اعماق بیشتر در بدنه سد.
- ۳- انجام آزمایش لوفران جهت مایع رنگی مورد استفاده پیش از ریختن در داخل ترک.
- ۴- در صورت امکان و فراهم بودن شرایط، استفاده از دستگاه‌های مسیر یابی ترکها در اعماق زیر ۱۰ متر، جهت جلوگیری از حفر ترانشه شناسایی و صدمه بیشتر به بدنه سد آسیب دیده.
- ۵- بررسی پایداری شیب بالادست و پائین‌دست سدهای خاکی در شرایط پایان ساخت و تراوش پایدار و مقایسه آنها با یکدیگر بر اساس روشهای تعادل حدی و روشهای عددی.

۵-۳-۲- پیشنهادات در زمینه طراحی و اجرای سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای

- ۱- سعی به عمل آید تا در طراحی و اجرای سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای علی رغم نبود منابع قرضه خاکهای مناسب در محل پروژه، از زون‌بندی اجتناب شود. در صورت اجبار از کمترین تعداد زون‌های ممکنه در طرح بدنه سد استفاده گردد.
- ۲- در طراحی سدهای زون‌بندی شده، استفاده از لایه‌های انتقالی^{۲۳} که ارتباط ملایمی را با تغییر تدریجی دانه‌بندی بین لایه‌ها برقرار می‌نماید، تاکید می‌گردد.
- ۳- استفاده از لایه انتقالی در فاصله بین لایه‌های فیلتر و زهکش با سنگریزه، جهت جلوگیری از تخلیه لایه زهکش به داخل سنگریزه الزامی پنداشته می‌شود.
- ۴- رعایت ضوابط اجرایی و انتخاب ابزار و دستگاه‌ها در تراکم بخشی لایه‌ها، اثر فوق‌العاده داشته و لذا مورد توجه قرار گیرد.
- ۵- علی رغم کمبود آب، ایجاد رطوبت بهینه و حتی درصدی بیشتر از آن جهت بدست آوردن کوبیدگی مناسب در سدهای خاکی توصیه می‌شود.
- ۶- ترجیحا لزوم استفاده از دستگاه آبی مخصوص کوبیدن سنگریزه با آب تحت فشار، جهت تراکم بخشیدن سدهای سنگریزه‌ای در دستور کار قرار گیرد.
- ۷- از طراحی سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای با هسته‌های حجیم و ابعاد بزرگ دوری جسته و تا حد امکان از نوع هسته‌های نازک با خاک با کیفیت استفاده گردد.

۵-۳-۳- پیشنهادات در زمینه مرمت سدهای خاکی و خاکی سنگریزه‌ای

- ۱- در مرمت سدهای خاکی با ترک‌های با عرض حداکثر ۱۰ سانتی‌متر، بدون خاکبرداری از شیوه‌های ترمیم معمولی استفاده گردد.
- ۲- در صورت بروز آسیب‌دیدگی سطحی ناشی از عوامل مختلف وارد کننده خسارت‌ها، به منظور مرمت و احیای مجدد، ترمیم سطحی تنها در تاج سد صورت پذیرد.

- ۳- سعی به عمل آید در انواع سدها، طرح مرمت و مرمت با استفاده از منابع قرضه و مصالحی که قبلاً در بدنه استفاده شده است، صورت پذیرد.
- ۴- انتخاب مشخصات فیزیکی- مکانیکی خاک‌ها و مصالح استفاده شونده در طرح مرمت باید از مصالح قبلی که دچار آسیب دیدگی شده است، بهتر باشد.
- ۵- در نظر گرفتن گرده به یک ضخامت مناسب حتی بعد از مرمت نیز الزامی است.
- ۶- کیفیت مرمت، باید جلوگیری از بروز خسارتهای مشابه را حتی الامکان تضمین نماید.
- ۷- دانه‌بندی و قطر سنگ‌ها در سدهای سنگریزه‌ای طوری باید انتخاب شود که قطر کوچکتر بتواند فضای خالی بین سنگ‌های بزرگ را پر نماید. در این صورت سنگریزه با تراکم مناسب‌تر بدست آمده و این امر باعث می‌شود تا شیب‌های بدنه تندتر انتخاب گردد.
- ۸- وجود خاک‌های ریزدانه در مصالح سنگریزه‌ای به هیچ وجه نباید بیشتر از درصد معینی باشد که موقع اجرا باعث ازدیاد تخلخل سنگریزه در حدی گردد که در صورت اشباع باعث جابجایی گردد. این درصد کمتر از ۱۵ درصد مجاز تلقی می‌شود.
- ۹- لایه‌های با دانه‌بندی ریز دانه به هیچ وجه نباید روی لایه‌های سنگریزه، بدون استفاده از لایه انتقالی معکوس قرار داده شود.

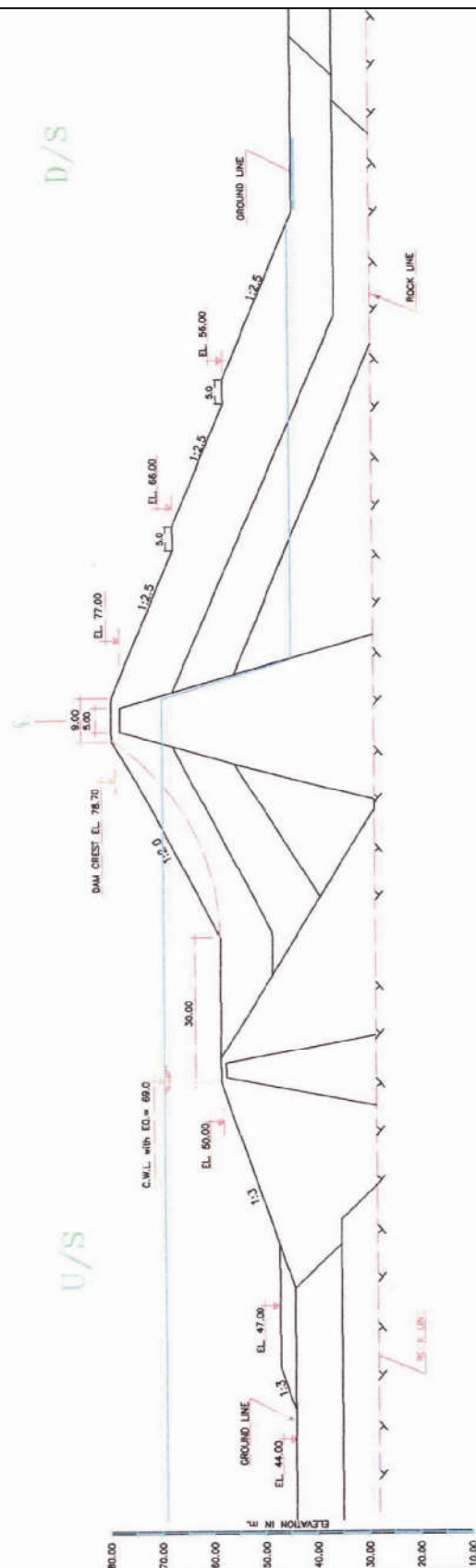
پیوست ها

پیوست (۱)

شکلهای ۱-۷ و ۲-۷ مورد اشاره بند ۱-۸-۳

SHURAK DAM

LOADING CONDITION	MIN. FACTOR OF SAFETY	FAILURE SURFACE
PARTIAL POOL-PSEUDO STATIC ($g_R=0.12$)	1.064	



شکل شماره ۷-۱ : نمایی از بحرانی ترین دایر گسیختگی در حالت دایره نهمه پیر برای شیب پلاستی بدنه سد
(در حالت شبه استاتیکی)



SHURAK DAM

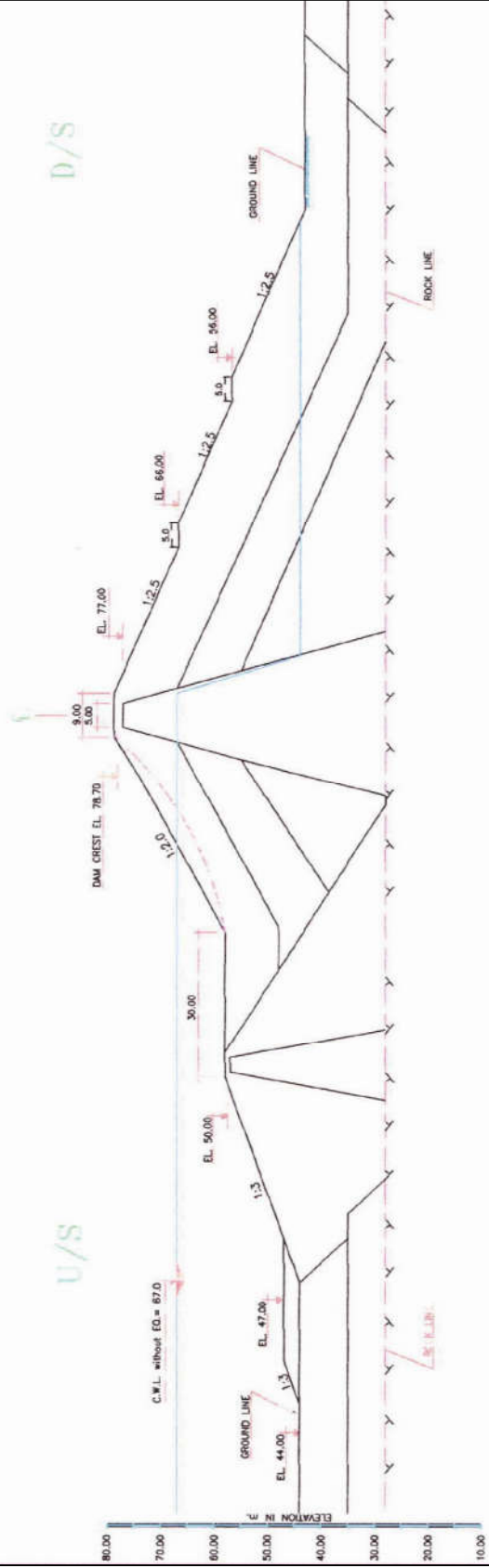
LOADING CONDITION	MIN. FACTOR OF SAFETY	FAILURE SURFACE
PARTIAL POOL-STATIC	1.442	

The diagram illustrates the cross-section of the Shurak Dam. The upstream (U/S) side is on the left, and the downstream (D/S) side is on the right. The crest elevation is 78.70. The dam body is shown with a failure surface indicated by a dashed line. Key elevations and dimensions are provided: U/S slope (1:1.3), crest width (9.00), downstream slope (1:2.5), and ground line elevations (44.00, 47.00, 50.00, 56.00, 66.00). The failure surface is labeled with a factor of safety of 1.442. The diagram also shows the ground line, rock line, and a scale bar from 10.00 to 80.00.

شکل شماره ۷-۷ : نمایش از بحرانی ترین دواير گيختگی در حالت درياچه پهنه پو برای شيب ۹۰ درصد بدنه سد
(در حالت استاتيکی)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
تهران - ۱۳۸۴

LOADING CONDITION	MIN. FACTOR OF SAFETY	FAILURE SURFACE
PARTIAL POOL-STATIC	1.442	



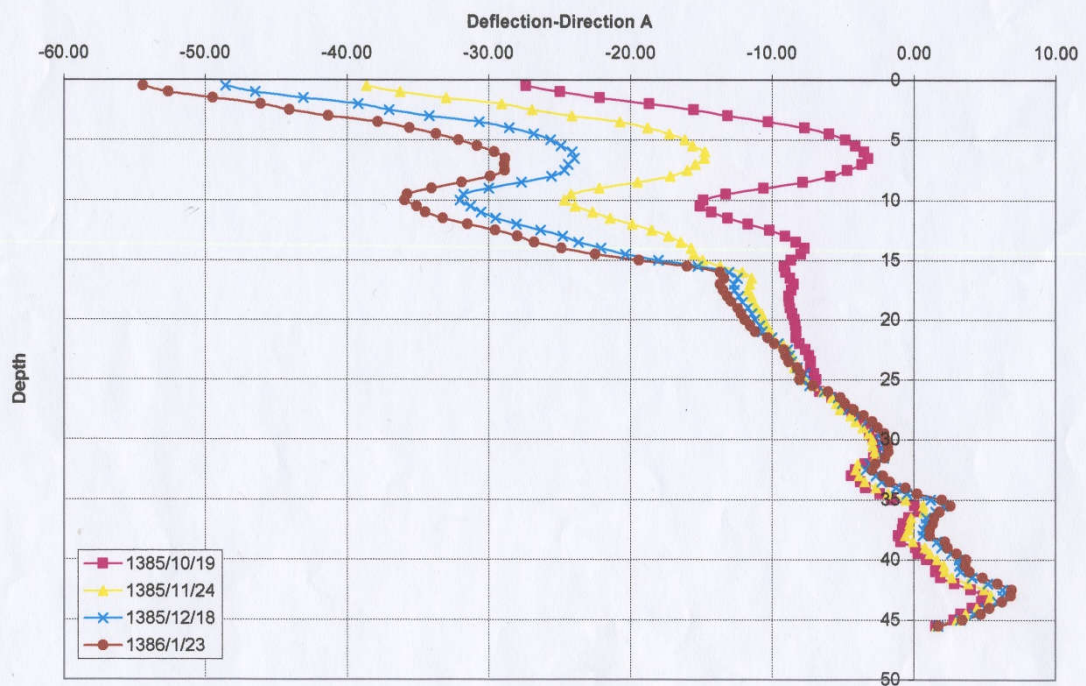
شکل شماره ۷-۶: نمایش از بحرانی ترین دایره گسیختگی در حالت دریاچه پهنه ای شیب ۱۰ درصد

(در حالت استاتیکی)

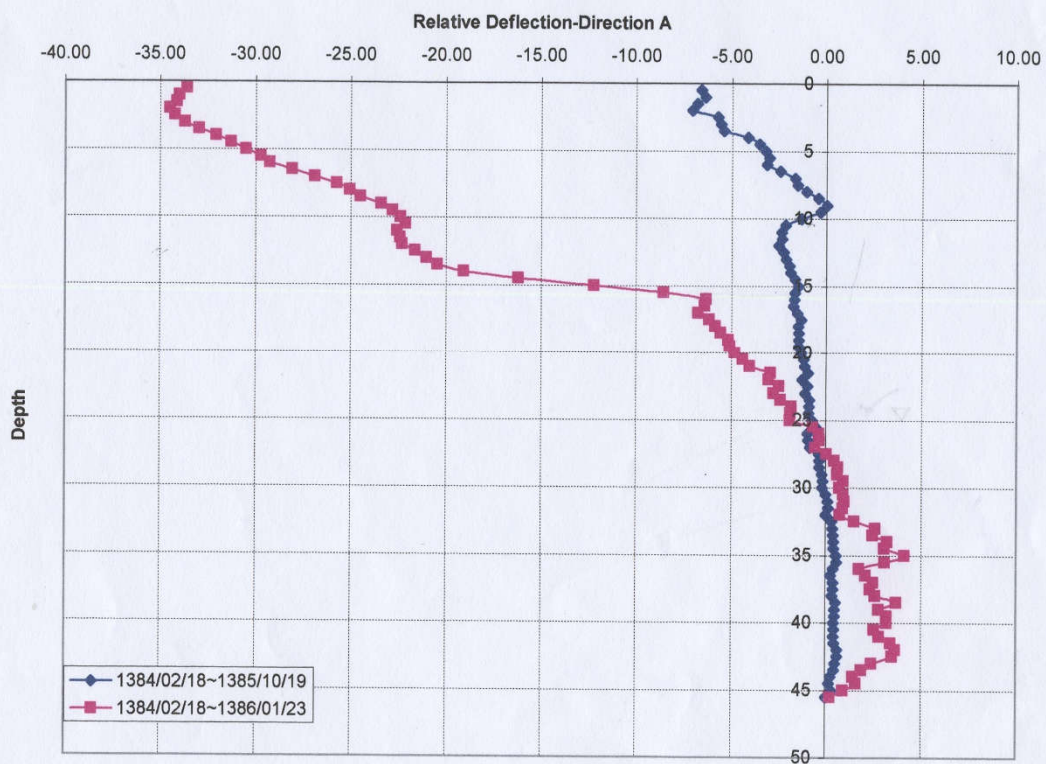
پیوست (۲)

نمودارهای تحلیلی حاصل از برداشت های ابزار دقیق تعبیه
شده در بدنه سد

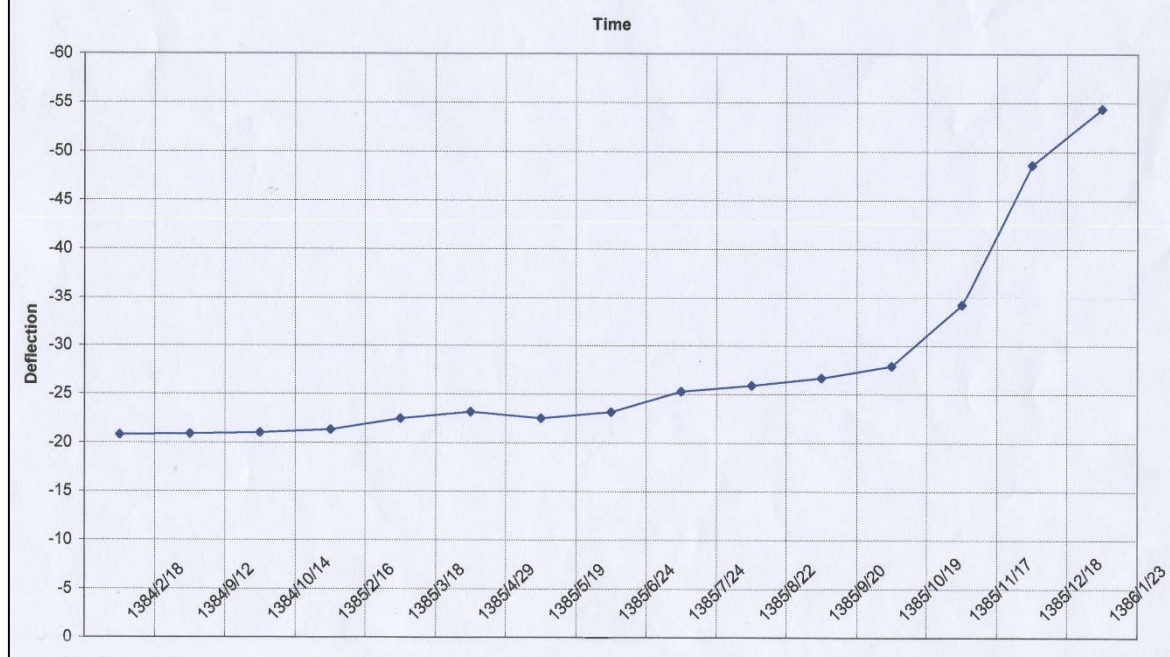
شکل شماره 6 - مقطع 5-5



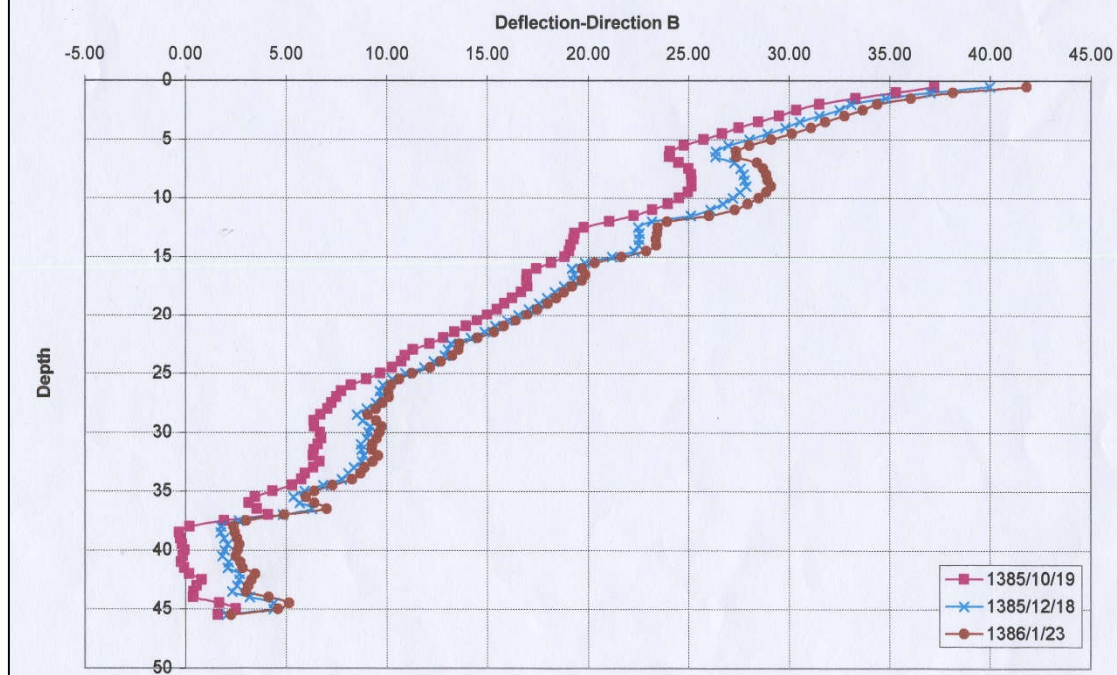
شکل شماره 7 - مقطع 5-5

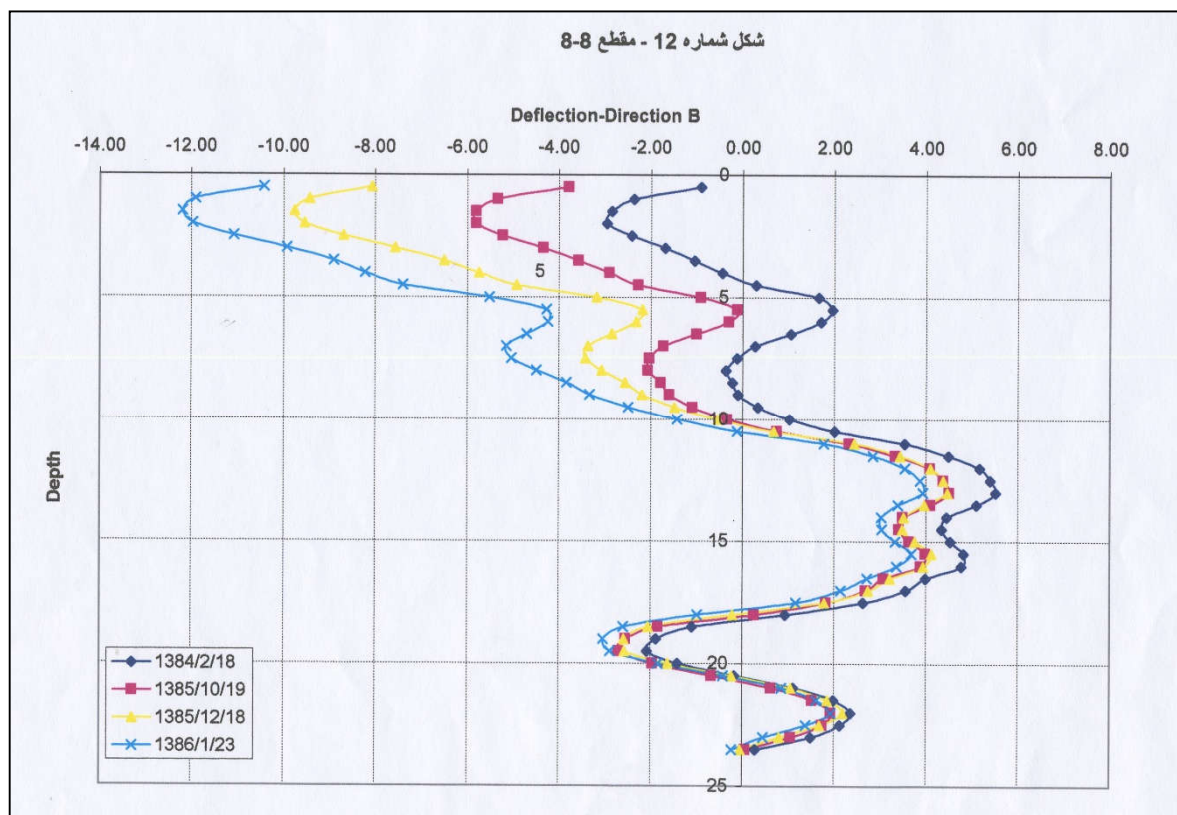
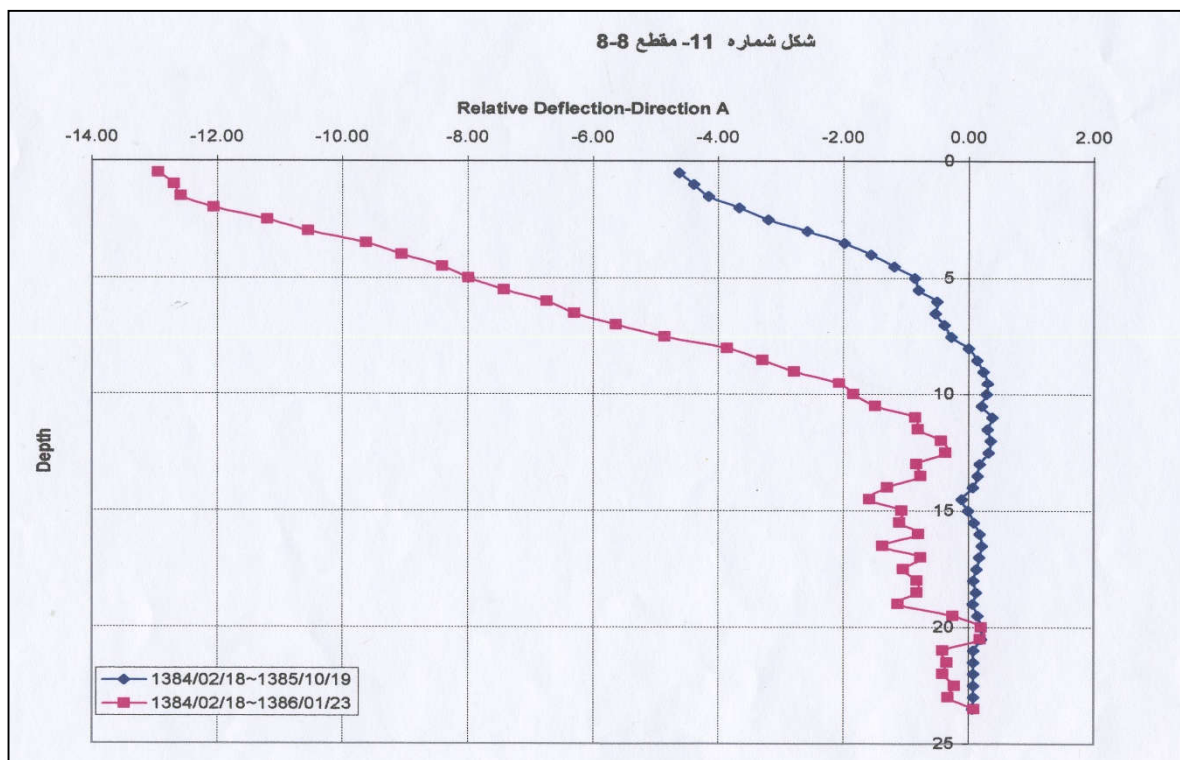


شکل شماره 8 - تغییر شکلها در عمق نیم متری مقطع 5-5 ، جهت A-A

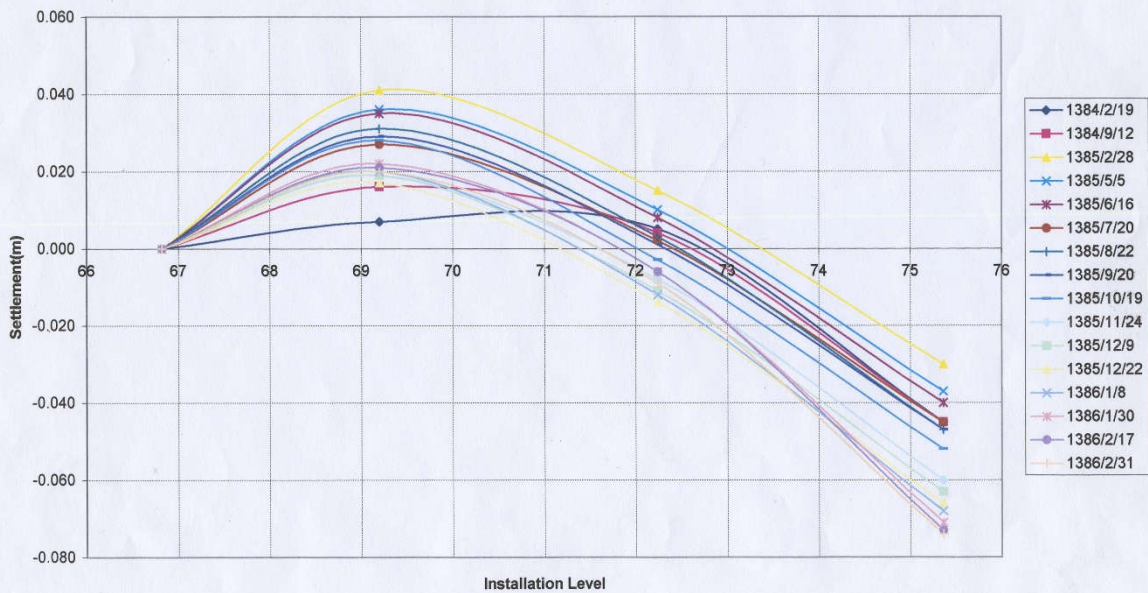


شکل شماره 9 - مقطع 5-5

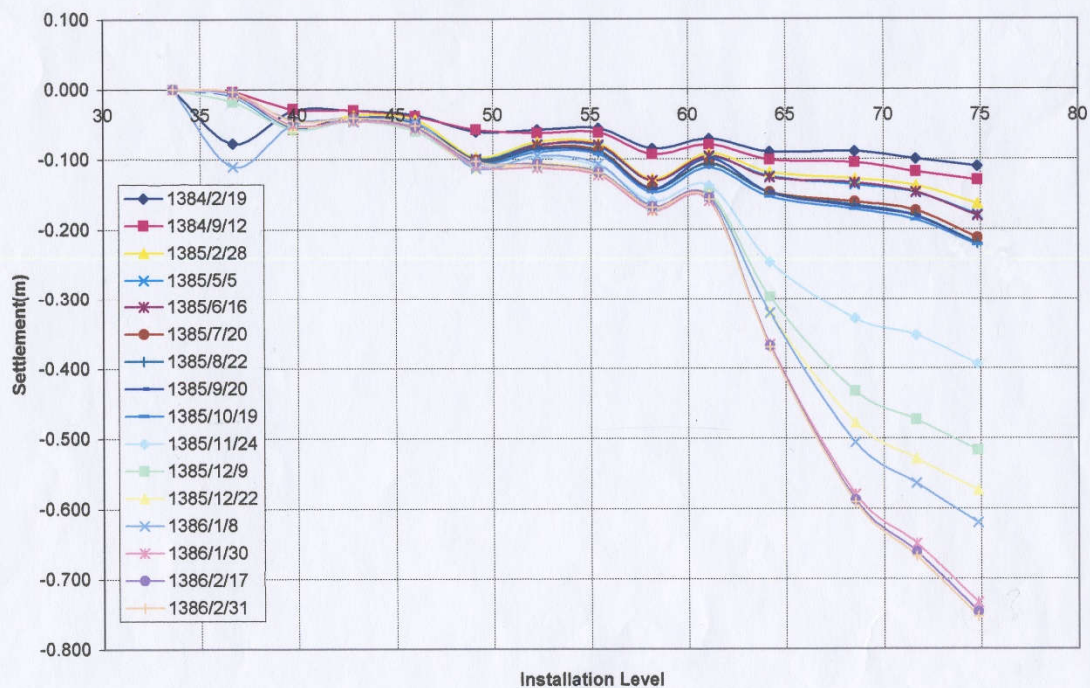


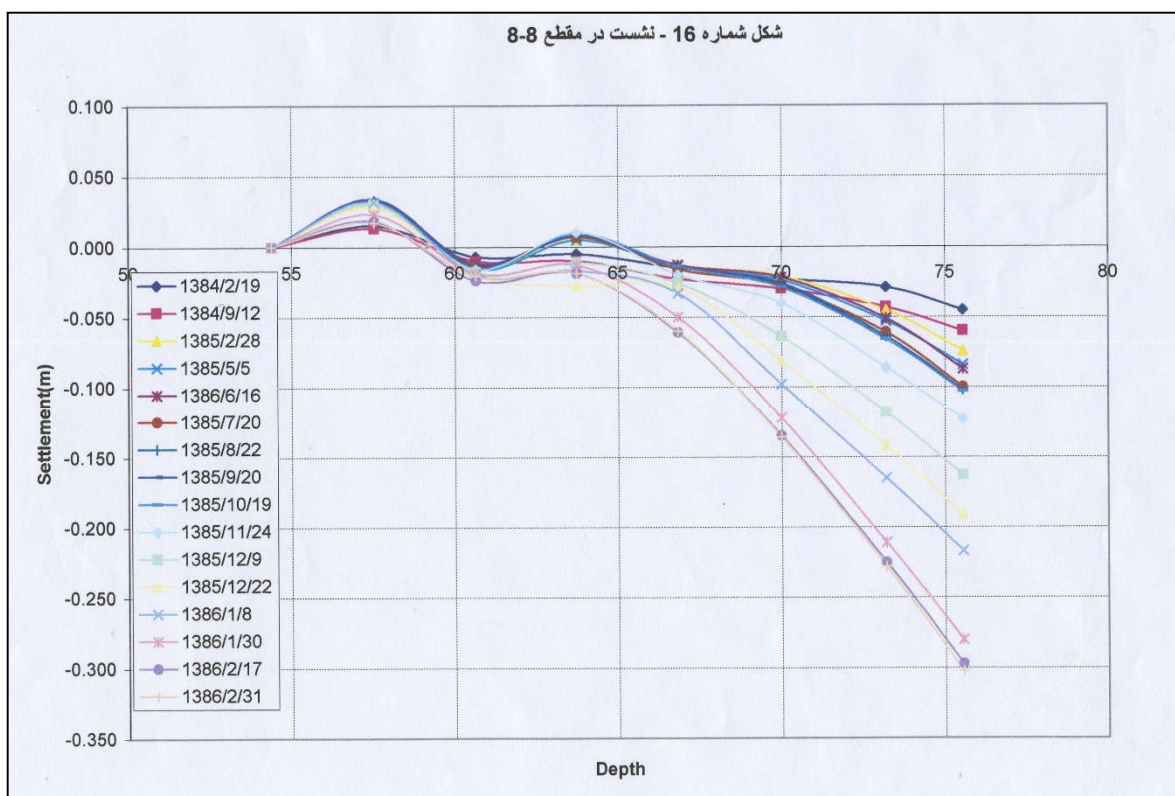
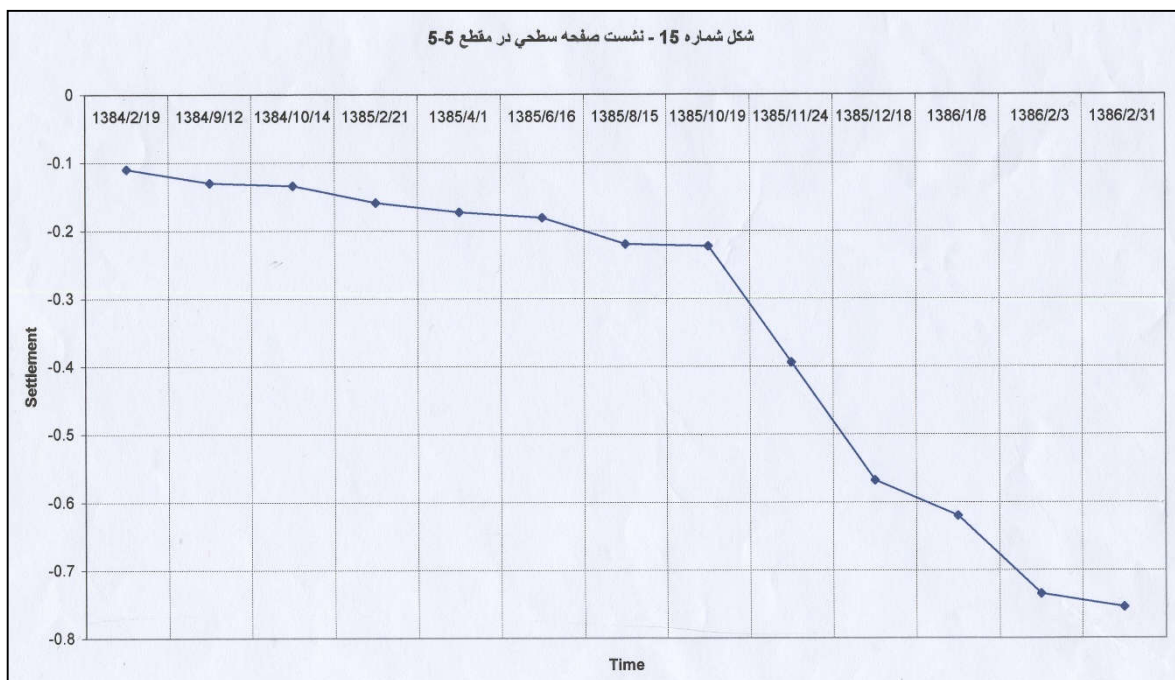


شکل شماره 13 - نشست در مقطع 3-3



شکل شماره 14 - نشست در مقطع 5-5





پیوست (۳)

نتایج آزمایشگاهی نمونه های برداشت شده خاک ها از بدنه سد



مهندسين مشاور ژئوتکنیک جہازما
JALID AZMAN GEOTECHNICAL CONSULTING ENGINEERS

لاي گمانه : TRI

TR1 لای گمانه : TRI																
نام پروژه : سد شورک شیروان																
سطح آب زیرزمینی (متر) : -																
نوع حفاری : دستی																
شماره کار : -																
مختصات گمانه (UTM) :																
عمق m	علامت	عمق لایه m	طبقه بندی	شرح	Passing				LL %	PI %	رطوبت لایه %	عمق m	دانه بندی g/cm ³	رطوبت نمونه %	SPT / CPT	آزمایشات دیگر
					3 in 76.1 mm	No 4 4.76 mm	No 200 0.074 mm	0.005 mm								
0.0																
0.3				شن رسی میلند دار ماسه و پاره سنگ	95.3	37.2	15.5	3.0	23.7	5.2	8.8	0.3	1.88	5.9		G
0.8												0.8	1.86	7.5		
1.2												1.2	1.71	15.3		
1.5												1.5	1.53	12.8		G.D.P
2.1												2.1	1.69	13.5		
2.5				رس سبلی ماسه دار	100.0	87.8	66.5	12.7	25.5	5.5	13.1					
3.0																
4.0																
5.0																
6.0																
7.0																
8.0																
9.0																
10.0																
11.0																
12.0																
13.0																
14.0																
15.0																

Legend:

Disturbed

Undisturbed

Waxed

SPT

Monolith

Water level

GW

GP

GM

GC

SW

SP

SM

SC

CL

ML

CH

MH

دستبرد

دستی

آب

GW	GP	GM	GC	SW	SP	SM	SC	CL	ML	CH	MH	دستریز	نمونه	سنگ

Legend:

□ Disturbed ■ Undisturbed ● Waxed □ SPT ◆ Monolith ▼ Water level

Test Key: C: Consolidation, D: Direct Shear, U: Unconfined, COL: Collapsibility, P: permeability, CH: Chemical



مهندسين مشاور ژئوتكنيك جهادآزما
JAHID AZMAA GEOTECHNICAL CONSULTING ENGINEERS

لاگ گمانه : TR2

نام پروژه : سد شورک شیروان															سطح آب زیرزمینی (متر) :															نوع حفاری : دستی														
شماره کار :															تراز سطح گمانه (متر) :															مختصات گمانه (UTM) :														
عمق m	علامت	عمق لایه m	طبقه بندی	شرح	Passing				LL %	PI %	رطوبت لایه %	عمق m	ضخامت m	رطوبت نمونه %	دانشگاه خشک g/cm ³	SPT / CPT	ازمایشات دیگر																											
					3 in 76.1 mm	No 4 4.76 mm	No 200 0.074 mm	No 400 0.005 mm																																				
0.0																																												
0.1				شکل رسی سیلت دار همراه با ماسه	100.0	41.8	21.5	4.1	23.7	5.7	5.5	0.1			1.79	7.3																												
0.5												0.5			2.10	5.9	G.D																											
1.1												1.1			2.06	4.5																												
1.2																																												
2.0																																												
3.0																																												
4.0																																												
5.0																																												
6.0																																												
7.0																																												
8.0																																												
9.0																																												
10.0																																												
11.0																																												
12.0																																												
13.0																																												
14.0																																												
15.0																																												

Legend:

□ Disturbed ■ Undisturbed ● Waxed ▣ SPT ◆ Monolith ▼ Water level

Test key:

G: Grain Size , T: Triaxial , C: Consolidation , D: Direct Shear , U: Unconfined , COL: Collapsibility , P: permeability , CH: Chemical



مهندسين مشاور ژئوتكنيك جهدازما
JAHED AZMAA GEOTECHNICAL CONSULTING ENGINEERS

Project: سد شورک شیروان

Borehole No: TR2

Job.no :

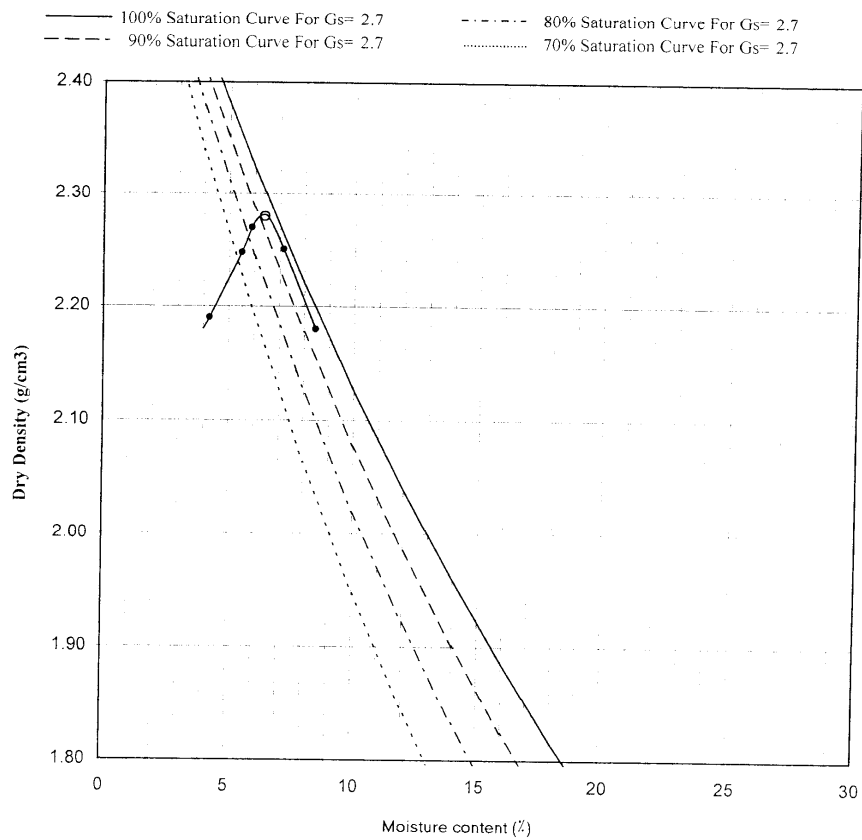
Depth of Sample: 0.00 - 1.20 m

COMPACTION TEST

Type of test: Modified compaction test (AASHTO T180)

Maximum dry density= 2.28 g/cm³

Optimum moisture = 6.4 %



توضیحات :

تاریخ بازنگری: ۸۶/۴/۱۹

شماره بازنگری: ۰۰۱

کد مدرک: FT39



مهندسين مشاور ژئوتكنيك جهدارما
FAHD AZMA GEOTECHNICAL CONSULTING ENGINEERS

Project: سد شورگ شيروان

Borehole No: TRI

Job.no :

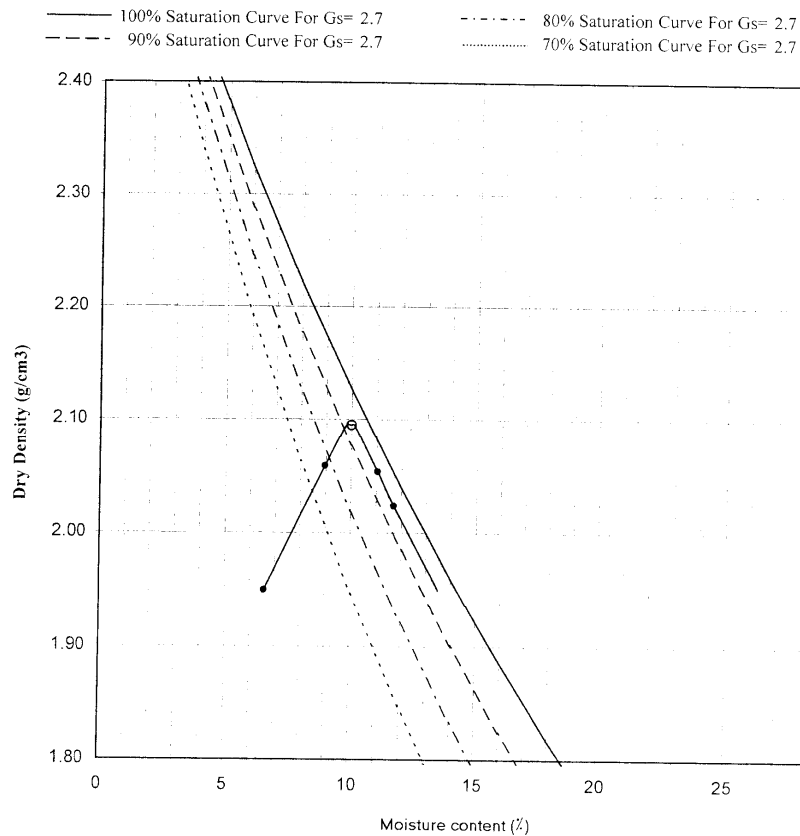
Depth of Sample: 1.20 - 2.50 m

COMPACTION TEST

Type of test: Modified compaction test (AASHTO T180)

Maximum dry density= 2.095 g/cm³

Optimum moisture = 10 %



توضیحات :

تاریخ بازنگری: ۸۶/۴/۱۹

شماره بازنگری: ۰۰۱

کد مدرک: FT39



مهندسين مشاور جهاد آزما
JAHDAZMA CONSULTING ENGINEERS

آزمایش تعیین ضریب نفوذ پذیری

(ASTM D 2434)

نام و محل پروژه: سد شورک

شماره کار:

توضیحات	میانگین ضریب نفوذ پذیری cm/sec	ضریب نفوذ پذیری cm/sec	ضریب تصحیح حرارت	زمان خروج آب sec	حجم آب خروجی cm ³	قطر بورت cm	ارتفاع ثانویه آب cm	ارتفاع اولیه آب cm	قطر نمونه cm	ارتفاع قالب cm	نوع آزمایش	درصد رطوبت %	وزن مخصوص خشکی g/cm ³	ضخ نمونه m	شماره گمانه
	5.41E-07	5.63E-07	1.025	200.0	-	0.167	140.0	150	14.8	12.5	متغیر	10.0	1.99	1.2-2.5	TR1
		5.36E-07	1.025	210.0	-	0.167	140.0	150	14.8	12.5					
		5.23E-07	1.025	215.0	-	0.167	140.0	150	14.8	12.5					

تاریخ بازنگری : ۸۶/۴/۱۹

شماره بازنگری: ۰۰۱

کد مدرک: FT30



مهندسين مشاور ژئوتكنيك جهدازما
FAHD AZMA GEOTECHNICAL CONSULTING ENGINEERS

Project: سد شورک شیروان

Borehole No: TR1

Job.no :

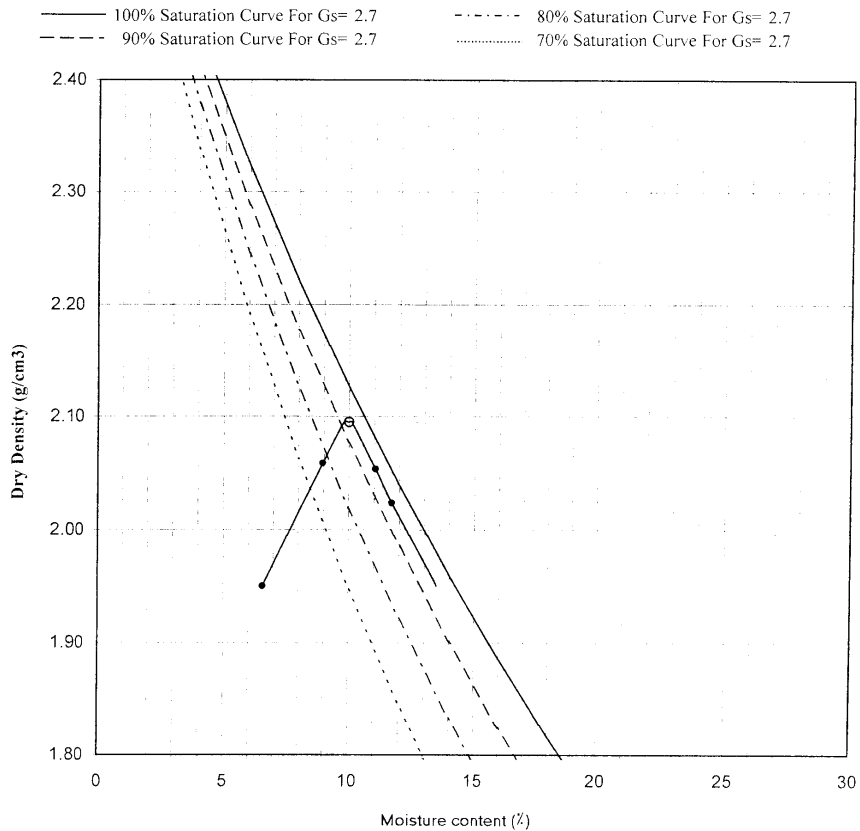
Depth of Sample: 1.20 - 2.50 m

COMPACTION TEST

Type of test: Modified compaction test (AASHTO T180)

Maximum dry density= 2.095 g/cm³

Optimum moisture = 10 %



توضیحات :

تاریخ بازنگری: ۸۶/۴/۱۹

شماره بازنگری: ۰۰۱

کد مدرک : FT39



مهندسين مشاور ژئوتكنيك جهداژما
JAHD AZMA GEO. CON. ENGINEERS

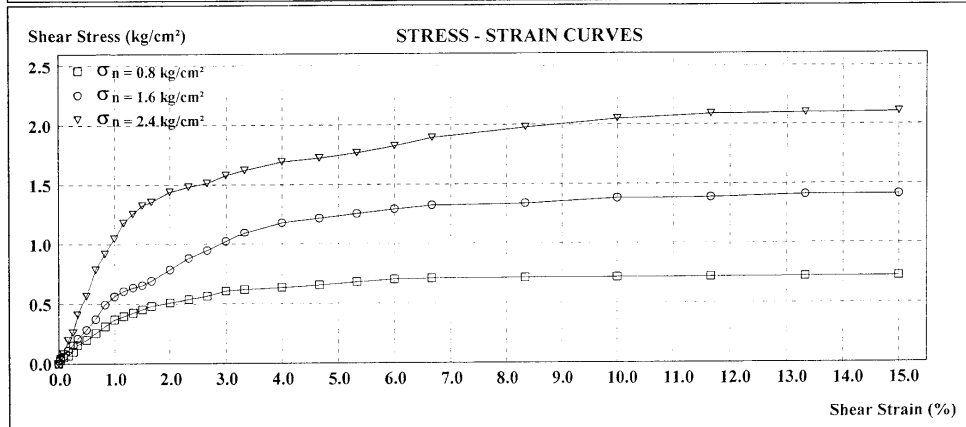
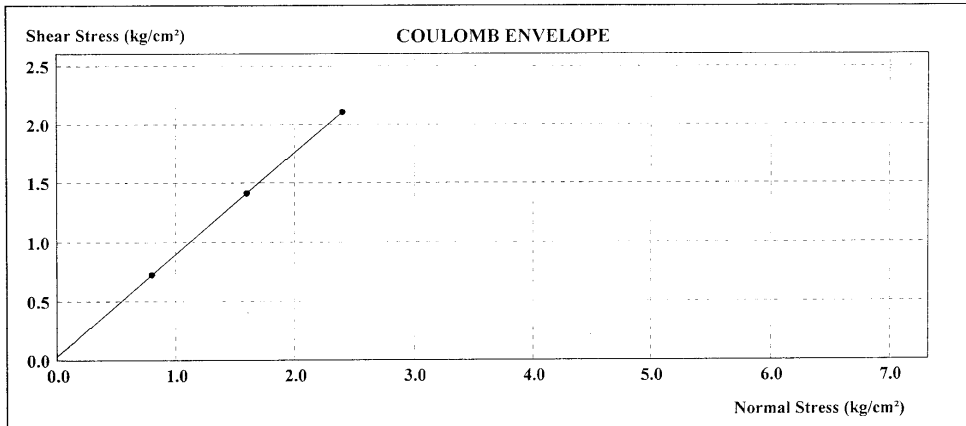
Name of Project : سد شورك
Job No. :

Borhole/Sample : TR2
Depth : 0.00 - 1.20 m

Shear Box Test

Type Of Test : Quick
Type of Sample : Remolded

Sample Dimensions : 30 @ 30 @ 15 cm
Loading Rate : 1mm/min



Test No.	Intial Moisture %	Intial Dry Density g/cm³	Intial Wet Density g/cm³	Normal Stress kg/cm²	Shear Strength kg/cm²	C kg/cm²	Φ deg.
1	6.40	2.17	2.30	0.80	0.72	0.03	40.8
2	6.40	2.17	2.30	1.60	1.41		
3	6.40	2.17	2.30	2.40	2.11		
Comment :							



مهندسين مشاور ژئوتكنيك جهد آزما
JAHD AZMA GEO. CON. ENGINEERS

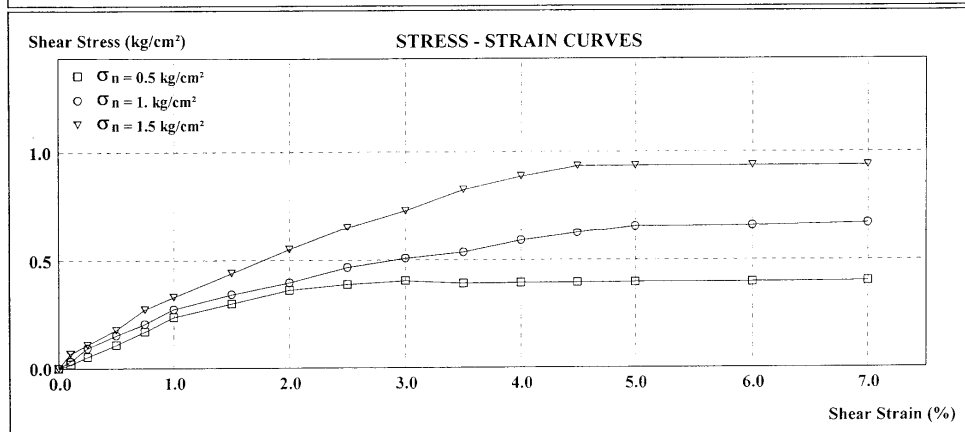
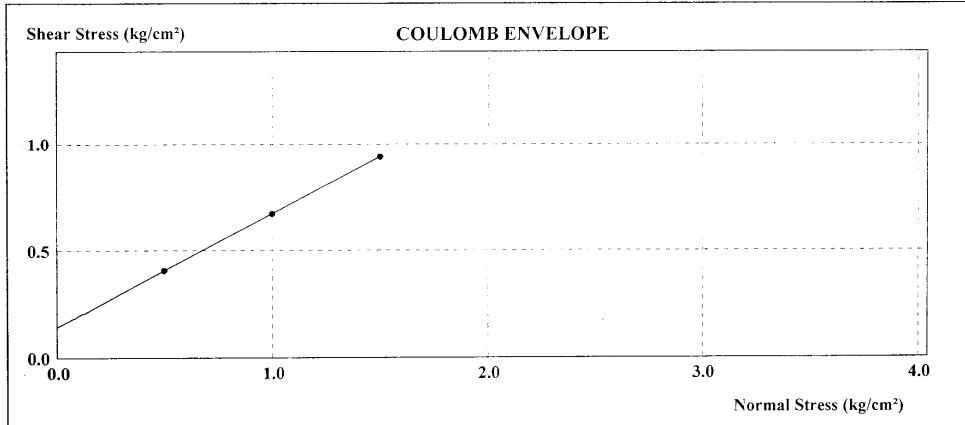
Name of Project : سد شورك
Job No. :

Borhole/Sample : TR1
Depth : 1.20 - 2.50 m

Shear Box Test

Type Of Test : Quick
Type of Sample : Remolded

Sample Dimensions : 10 @ 10 @ 2 cm
Loading Rate : 1mm/min



Test No.	Initial Moisture %	Initial Dry Density g/cm³	Initial Wet Density g/cm³	Normal Stress kg/cm²	Shear Strength kg/cm²	C kg/cm²	Φ deg.
1	10.00	1.99	2.19	0.50	0.41	0.14	28.0
2	10.00	1.99	2.19	1.00	0.67		
3	10.00	1.99	2.19	1.50	0.94		
Comment :							



مهندسين مشاور ژئوتکنیک جہد آزما
JAHD AZMA GEO. CON. ENGINEERS

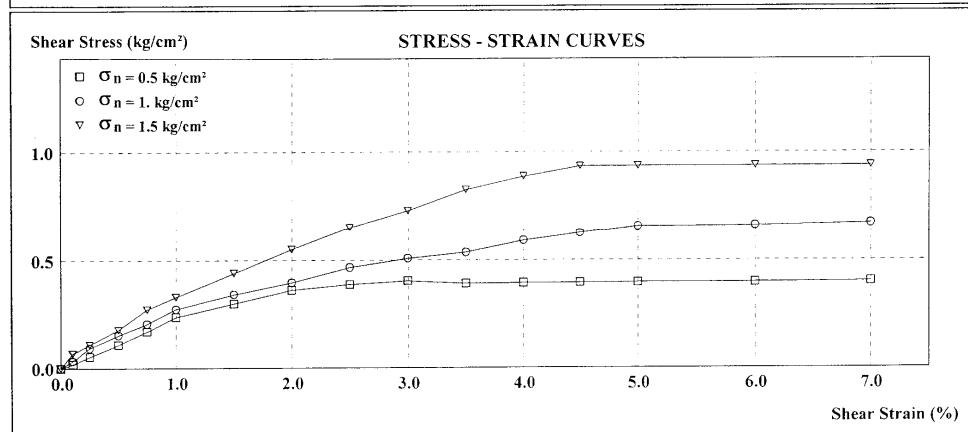
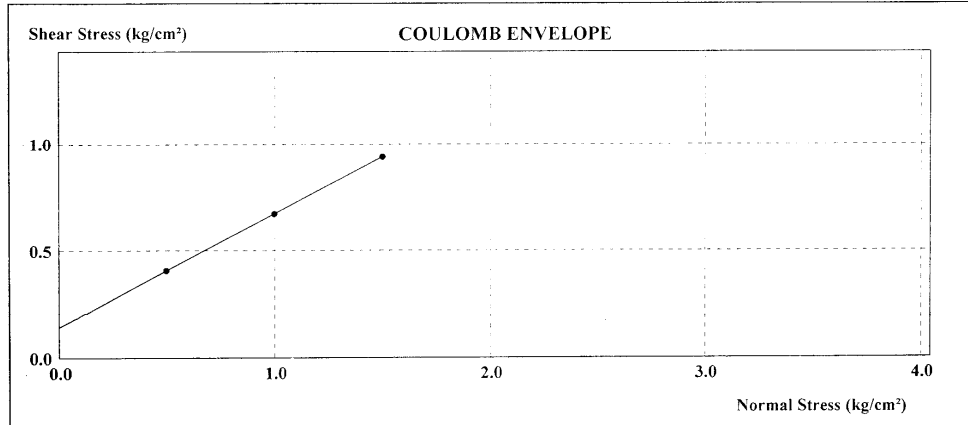
Name of Project : سد شورک
Job No. :

Borhole/Sample : TR1
Depth : 1.20 - 2.50 m

Shear Box Test

Type Of Test :Quick
Type of Sample :Remolded

Sample Dimensions :10 @ 10 @ 2 cm
Loading Rate :1mm/min



Test No.	Intial Moisture %	Intial Dry Density g/cm³	Intial Wet Density g/cm³	Normal Stress kg/cm²	Shear Strength kg/cm²	C kg/cm²	Φ deg.
1	10.00	1.99	2.19	0.50	0.41	0.14	28.0
2	10.00	1.99	2.19	1.00	0.67		
3	10.00	1.99	2.19	1.50	0.94		
Comment :							



مهندسين مشاور ژئوتكنيك جهادزما

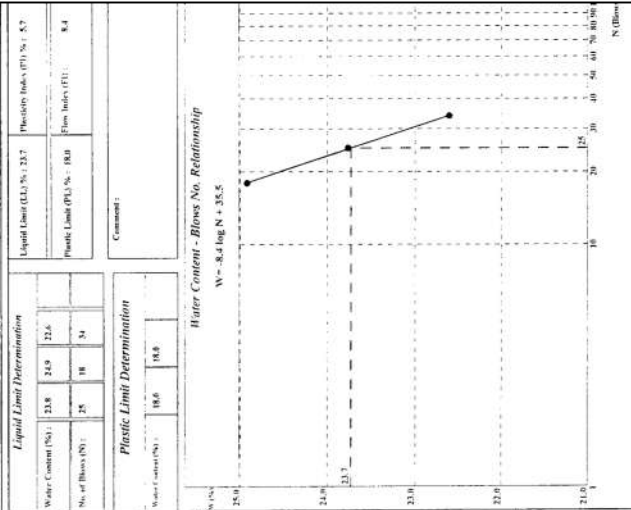
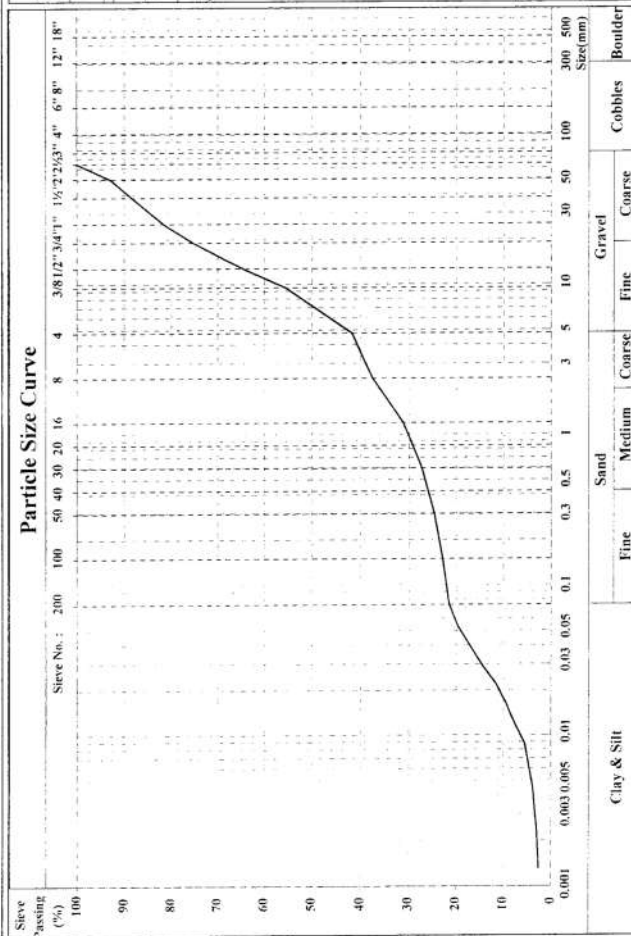
JAHDAZMA GEO. CON. ENGINEERS

Grain Size Analysis

مد شورك شوران : Name of Project
Job No. :

Borehole/Sample : TR2
Depth (m) : 0.00 - 1.20

				Unified Classification		
D10 mm	D30 mm	D60 mm	CU D60/D10	CC D30/(D10+D60)	LL %	PI %
0.018	0.963	10.990			23.7	5.7
GC-GM						
Silty, clayey gravel with sand						
شن رسي سيلت دار همراه با ماسه						
Sieve No. :	3in (76.2 mm)	3/4in (19 mm)	No4 (4.75 mm)	No10 (2 mm)	No40 (0.42 mm)	No200 (0.074 mm)
Passing (%) :	100.0	75.4	41.8	36.0	25.9	21.5
Comment :						



تاریخ بازنگری : ۸۹/۸/۸۷

کد مدارك : FT65

شماره بازنگری : ۰۰۱



مهندسين مشاور ژئوتكنيك جهادآزما

JAHD AZMA GEO. CON. ENGINEERS

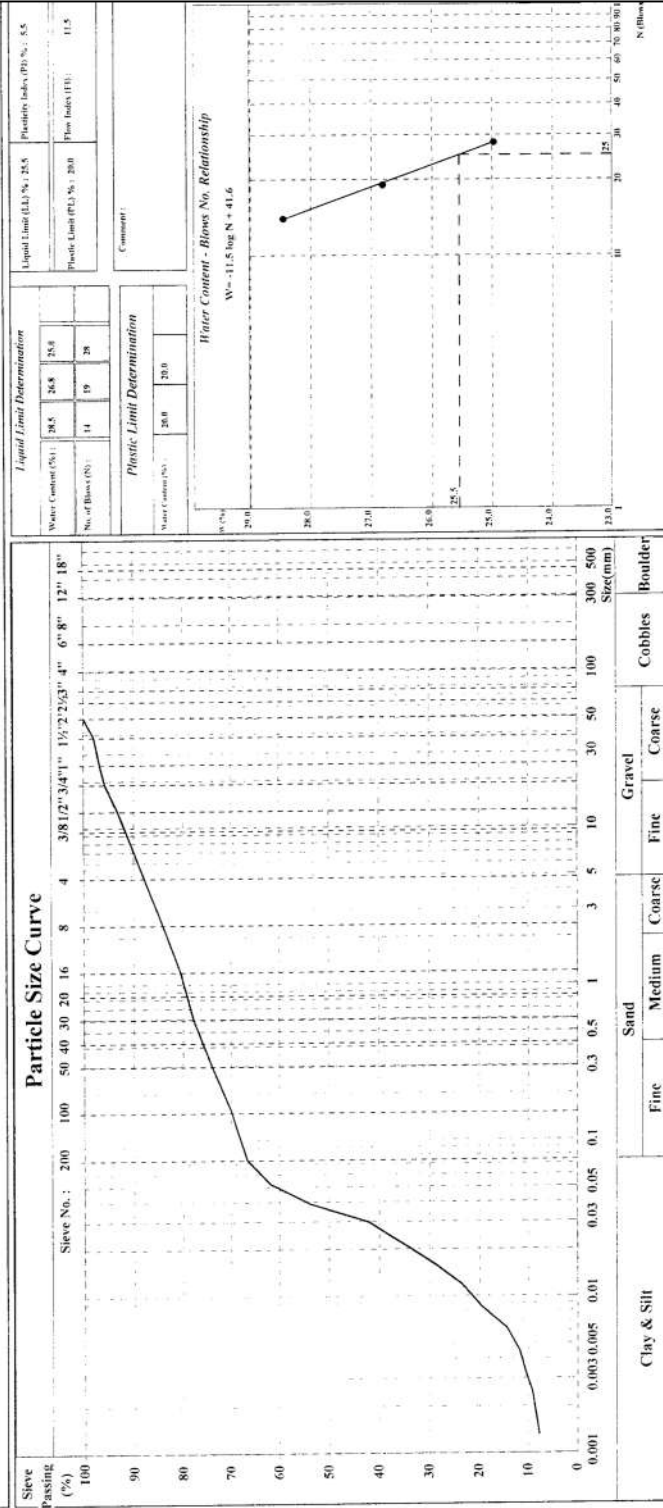
Grain Size Analysis

Borehole/Sample : TRI
Depth (m) : 1.20 - 2.50

Name of Project : سد شورك شيروان
Job No. :

D10 mm	D30 mm	D60 mm	CU D60/D10	CC D30 ² /(D10*D60)	LL %	PI %	Unified Classification
Sieve No. :	3in (76.2 mm)	3/4in (19 mm)	No4 (4.76 mm)	No10 (2 mm)	No40 (0.42 mm)	No200 (0.074 mm)	CL-ML Sandy silty clay
Passing (%) :	100.0	95.7	87.8	83.1	75.9	66.5	رسم سيالتي ماسه دار

Comment :



شماره پايگوي : ۰۰۱

تاريخ پايگوي : ۸۷/۸/۸۹

شماره : FT65



Grain Size Analysis

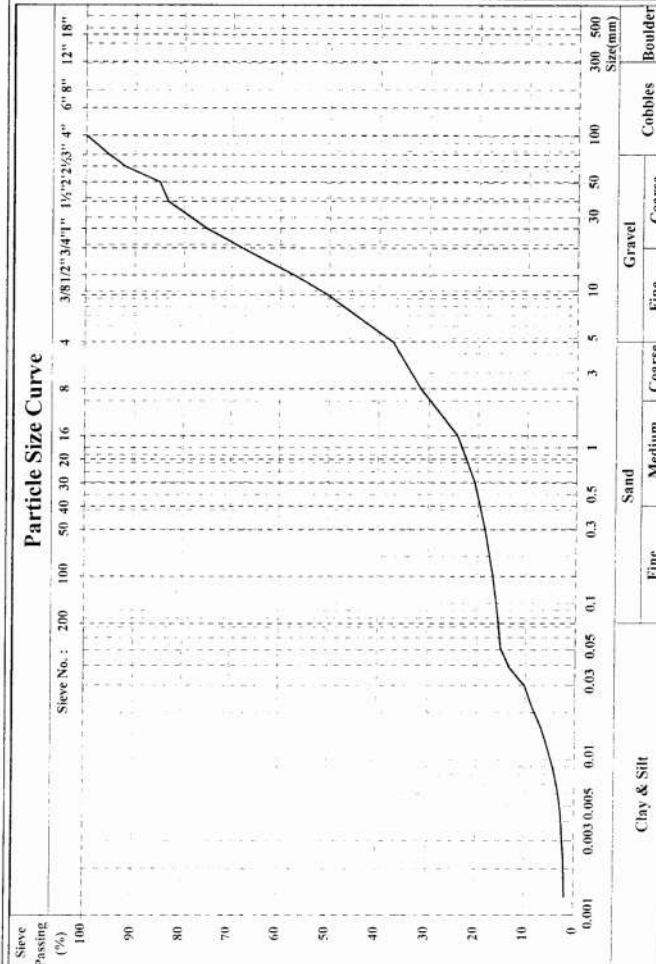
Name of Project : سد شورک شیروان
Job No. :

Borehole/Sample : TRI
Depth (m) : 0.00 - 1.20

Grain Size Analysis

D10 mm	D30 mm	D60 mm	CU D60/D10	CC D ₃₀ ² /D10* D60)	LL %	PI %
0.029	2.052	14.138			23.7	5.2
Sieve No. :	3/in (76.2 mm)	3/4in (19 mm)	N ₆₀ (4.76 mm)	N ₁₀ (2 mm)	N ₆₀ (0.42 mm)	N ₂₀₀ (0.074 mm)
Passing (%) :	95.3	67.8	37.2	29.7	19.5	15.5

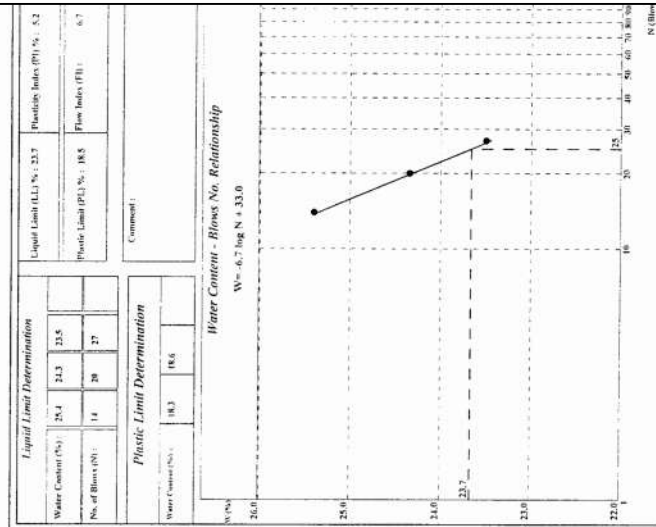
Comment :



تاریخ بازنگری : ۸۷/۱۰/۱۹

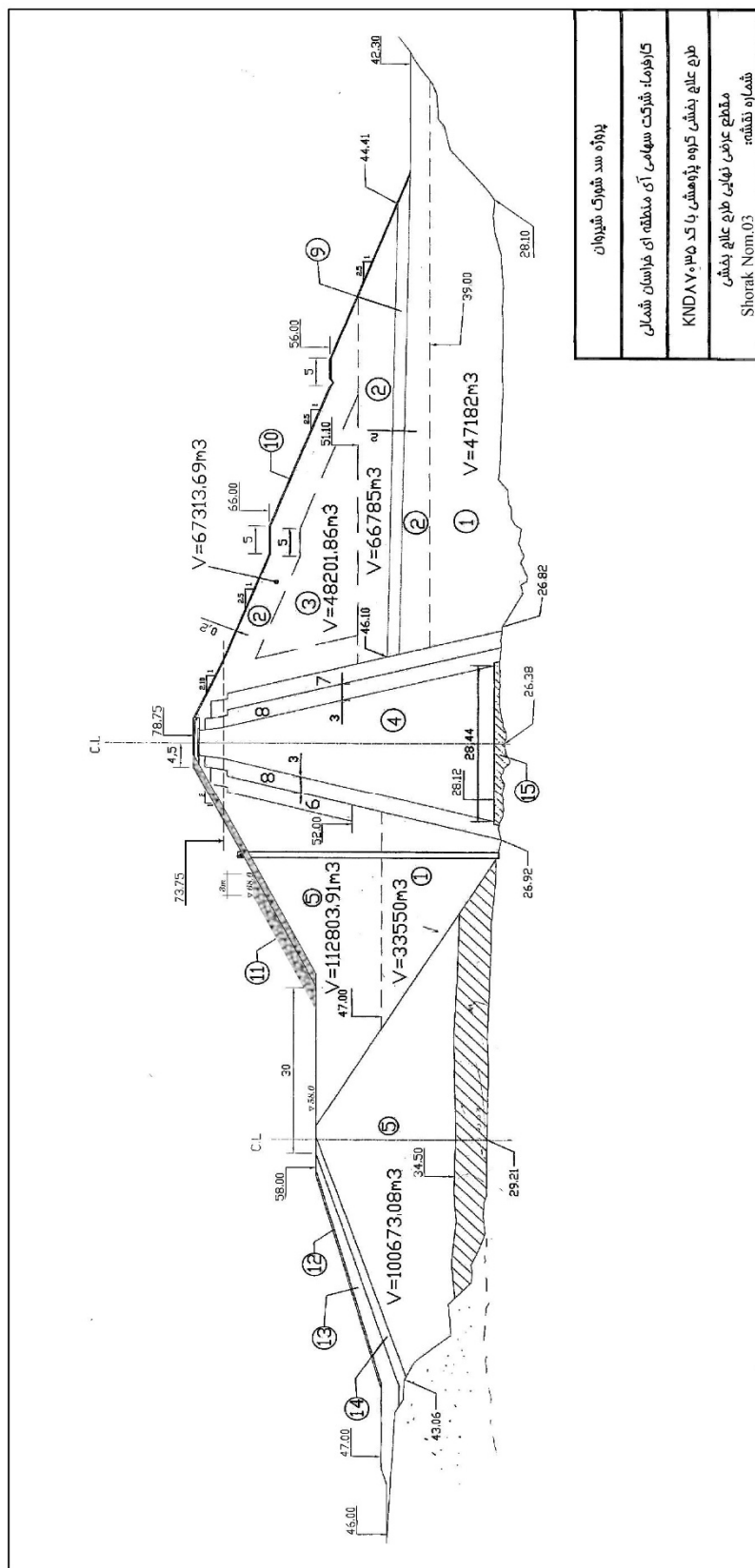
شماره بازنگری : ۰۰۱

FL65 : 59.14



پیوست (۴)

نقشه های طرح مرمت



پروژه سد شوراق

مهندس: شرکت سازه های آبی منطقه ای خراسان شمالی

مقطع عرضی: گروه پژوهشی با کد KNDAY.03

شماره نقشه: Shorak Nom.03

مراجع

- ۱- ون ناسترند راینهورلد (وی.ان.بی). ۱۳۹۰. "مهندسی پیشرفته در طراحی، ساخت و بازسازی سدها". انتشارات کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- ۲- نیرومند حبیب. ۱۳۸۹. "رفتار نگاری سد کرخه با استفاده از ابزار دقیق در زمان ساخت" پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش خاک و پی دانشکده فنی تهران.
- ۳- رحیمی، حسن. ۱۳۸۵. "سدهای خاکی". انتشارات دانشگاه تهران.
- 4- "Failure of the Teton dam.gotechnical aspects", 2002, International water power dam construction, july.
- ۵- طاحونی، ش. ۱۳۸۶ "اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد اول: مکانیک خاک" انتشارات پارس آیین.
- ۶- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۷. "گزارش تحلیل و پردازش ابزار دقیق سد شورک شماره ۲۱۷۵۰۱۰".
- ۷- اسدیان، حامد. رحیمی، اغفوری، م. گنبدی، م. ۱۳۹۳. "نقش ابزار دقیق در کنترل و پایداری سدهای خاکی (مطالعه موردی)،" دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، کرمانشاه، ۹-۱۰ مهرماه ۱۳۹۳
- 8- Adib asl A., Bahrami H., and Soleymani S. 2008. "Investigation of deformation reasons and rehabilitation methods of Parsa dam in absence of instrumentation". Proceeding of 76th ICOLD Annual Meeting, Sofia , Bulgaria, 2-6 June.
- 9- Clough, R. W. and R. j. Woodward 1967. "Analysis of embankment stresses and deformations". JI. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 93, SM4, pp. 529-549.
- 10- Leonards, G. I. M. Duncan, and E.L. Wilson 1973. "Three dimensional finite element analysis of dams". Jr. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 99, SM7, pp. 495-507.
- 11- Anna Szostak – Chrzanowski, Michel Massiéra, 2006, "Relation between monitoring and design aspects of large earth dam".
- 12- Marsal, R. J., E. Moreno, A. Arenas, M.A. Guzman and F. Saldana, (1976), "La Angostura", in Behavior of Dams built in Mexico", Ministry of Hydraulic Resources, Federal Commission of Electricity and Institute of Engineering, UNAM, 313-391.
- ۱۳- میرزاعلی محمدی، علی، ۱۳۹۲، "بررسی تأثیر خصوصیات هندسی هسته بر پدیده قوس زدگی در سدهای خاکی"، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ۱۴- صالحیان، محمد، ۱۳۹۲، "پایش تغییر شکلهای سد خاکی ۱۵ خرداد با استفاده از نتایج ابزار دقیق"، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی دانشگاه قم.
- 15- Marshal, R. J. 1977. "Deformation of earth-rockfill dams". Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Tokyo. Vol. 3. pp. 525-536.
- ۱۶- بهروزی نیا، ث.، احمدی، ح. و عباسی، ن.، ۱۳۹۲، "بررسی پارامترهای موثر در تحلیل نشست و پایداری سدهای خاکی همگن"، اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران.
- 17- H. Bolton Seed, University of California, Berkeley, CA., 1981, "Earthquake-Resistant Design of Earth Dams", First International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering & Soil Dynamics.
- 18- Donald, H., 1991, "Improving Seismic Safety of Dam in California. ASCE Publication", PP. 365-385.

- 19- Wieland, M., 2002, "*Lessons Learnt from the Earthquake Behaviour of large dams and their Implication on Seismicdesing Criteria*", Chairman, ICOLD Committee on Seismic Aspects of Dam Design Electrowatt-Ekono AG, Hardturmstrasse161, CH-8037 Zurich, Switzerland.
- ۲۰- فولادی، امیر و روح الله احسانی، ۱۳۹۱، "تحلیل پایداری سدهای خاکی همگن در پروژه های علاج بخشی (مطالعه موردی سد وشمگیر)"، دومین کنفرانس ملی یافته های نوین در مهندسی عمران، نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.
- ۲۱- حسنی، ح. و مامی زاده، ج.، ۱۳۹۰، "تحلیل پایداری شیب در سدهای خاکی"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- ۲۲- فرج زاده، دارا، ۱۳۹۳، "بررسی تاثیر جنس مصالح در پایداری استاتیکی سدهای خاکی"، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه ارومیه.
- 23- A. Szostak-Chrzanowski, M. Massiera, A. Chrzanowski, M. Bazanowski, C. Whitaker, 2008, "*Study of a Long-Term Behavior of Large Earth Dam Combining Monitoring and Finite Element Analysis Results*", 13th FIG International Symposium on Deformation Measurements and Analysis, 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Lisbon, May 12-15.
- 24- Y.Z. Oral, 2010 "*Deformation Behaviour of a Clay Cored Rockfill Dam in Turkey*", Thesis of the degree of Master of Science, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, Turkey.
- 25- F. L. Lawton, M. D. Lester, 1964, "*Settlement of Rockfill Dams*," Eighth International Congress on Large Dams, held at Edinburgh, Scotland, Vol. 3, pp. 599-613.
- 26- G.F. Sowers, R.C. Williams, and T.S. Wallace, 1965, "*Compressibility of Broken Rock and the Settlement of Rockfills*" Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Toronto, Canada, Vol. 2, pp. 561-565.
- 27- R.S., Ozkuzukiran, 2005, "*Settlement Behaviour of Concrete Faced Rockfill Dams: A Case Study*", Thesis of the degree of Master of Science, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, January.
- 28- G. Hunter, R. Fell, 2003, "*Rockfill Modulus and Settlement of Concrete Face Rockfill Dams*", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 129, pp. 909- 917.
- 29- R. Fell, P. Mac Gregor, D. Stapeldon, 1992, "*Geotechnical Engineering of Embankment Dams*", Balkema Publishers.
- 30- G. J. Hunter, 2003 "*The Pre- and Post-Failure Deformation Behaviour of Soil Slopes*", A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for degree of Doctor of Philosophy, School of Civil and Enviromental Engineering, The University of New South Wales, Digital Library.
- 31- N. Mahabadi, R. Imam, 2011, "*Observed and calculated arching in the clayey silt of an earth dam*", Pan-Am CGS Geotechnical Conferenec.
- 32- Nichiprovich, A.A., 1973. "*Earthfill and Rockfill Dams*". EstroyEzdat Ltd. 310p pp. (In Russian).
- 33- Jansen R.B, 1988. "*Advanced dam engineering for design, construction, and rehabilitation*", 1988. Van Nostrand Reinhold edition.
- ۳۴- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۳. "مطالعات مرحله دوم سد شورک، گزارش بدنه سد و مقاطع عرضی".
- ۳۵- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۳. "مطالعات مرحله دوم سد شورک، گزارش سازه های هیدرولیکی".

۳۶- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۶. "گزارش بررسی علل ایجاد تغییرشکل در بدنه سد شورک،
کد 1500-B15"

۳۷- شرکت مهندسی مشاور آب پوی، آبان ماه ۱۳۸۶. "گزارش وضعیت موجود سد شورک و راه حل های
مرمت"

۳۸- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، آذرماه ۱۳۸۷. "علل و نتایج بررسی نشست تاج سد شورک و پیشنهاد-
اجرای عملیات اصلاحی".

39- Garbovsky, E.A. 1975. "Design of earthfill dams". Partis lomumba university Ltd.
80pp. (In Russian).

40- GeoStudio user's manual, version 2012

۴۱- علی لنگری، ۱۳۸۷. "بررسی ترک های طولی سد مخزنی شورک"، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه
برقایی.

۴۲- وفائیان، م، ۱۳۷۶ "بررسی ترک های کششی در سدهای خاکی"، مجموعه مقالات اولین همایش سدهای
خاکی، تهران.

43- Fell,R.;Mc Gregor,P.;Stap ledon,D.; 1992"GEOTEchnical Engineering of
Embankment Dams" Publication A.A.Balkema.

44- Singh,B.,Varshney,R.S. 1995,"Engineering for embankment dams", publication,
A.A, Balkema.

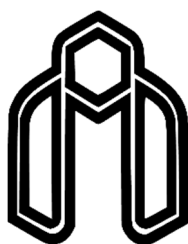
45- Fellenius, W., 1936. Calculation of the stability of earth dams,Transactions of 2nd
Congress on Large Dams, Washington,with DC VOL.4.445-462.

۴۶- امین جواهری، امیررضا؛ پاکنیت، احسان، "تحلیل استاتیکی و دینامیکی سدهای خاکی با استفاده از
GeoStudio" نشر علم عمران، تهران، چاپ دوم، ۱۳۹۱.

Abstract

One of the most important issues encountered by the dam and geotechnical engineers in the field of earth and earth-rockfill dams is the slope stability analysis and the failure surface analysis and also the procedure of determining the slopes failure. The most common methods of slopes stability analysis are the limit equilibrium methods and the finite element method which can be calculated by manual calculation and computer programs such as slope/w and plaxis are utilized for this purpose and also for the determination of the critical failure surface but the plotting and determination of these failure surfaces which are known as the slip arc have not been performed yet in an actual and practical manner. In this thesis, the plotting and determination of these slip arcs have been accomplished in a real and practical way by a modern method during the drilling of the reconnaissance trench. In addition, using the liquid colored indicator and also the calculation of the slopes stability coefficient by it have been considered in a completely visual and accurate manner to prepare the most appropriate design for the restoration of Shurak earth-rockfill dam in Shirvan which has experienced a damage of slip arc type. In the presented restoration design for the reoperation of the mentioned dam, the maximum height considered for drawing off the crown of Shurak dam is 5 to 6 meters. However, this value has been obtained at least equal to 10 meters according to the information yielded from the instrument prepared in the dam body in the restoration design. The results of this research about the stability factor and also the visual modeling of the slip arc have been compared to and validated by theoretical methods including mathematical calculations and also Slope/w simulation software.

Keywords: Limit equilibrium, Finite element, Shurak dam, Slip arc, Reconnaissance trench, Colored indicator, Slope/w.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

**New method for determining the arc slip using the
identifying trench and colored liquid and its
comparison with theoretical methods
(Case Study: Shoorak dam, Shirvan)**

By: Ahmad Salim Adib Asl

Supervisor(s):

Dr Seyed Mahdi Hosseini

Dr Ahmad Ahmadi

September 2018