

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی

آنالیز پایداری سد خاکی براساس تحلیل عددی و نتایج ابزار دقیق
(مطالعه موردی سد دامغان)

نگارنده: احمد یحیائی نیا

استاد راهنما:

دکتر صمد امامقلی زاده

استاد مشاور:

دکتر مهدی دلقندی

بهمن ۱۳۹۹

شماره: ۱۹۹۲
تاریخ: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴

باسمه تعالی



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 یحیائی نیا با شماره دانشجویی ۹۶۱۵۹۵۴ رشته مهندسی آب گرایش سازه آبی تحت عنوان آنالیز پایداری سد خاکی براساس تحلیل عددی و نتایج ابزار دقیق (مطالعه موردی سد دامغان) که در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷ ☐
ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۵ ☒ د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۳ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر صمد امامقلی زاده	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور	دکتر مهدی دلفندی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر یاسر صفری	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر زهرا گنجی نوروزی	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر سید حسین حسینی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: 
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: 
تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در صورت مجوز مدیریت تحصیلات تکمیلی) بتواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم بہ :

ہمسر عزیزم، فرزند ان دلہندم و مادر مہربانم

شکر و قدردانی:

شکر فراوان دارم از جناب آقای دکتر امامعلی زاده استاد راهنمای بسیار فریخته و دلسوز و شگرمی
کنم از دکتر دلقندی استاد مشاور و همچنین تمامی اساتید گروه آب و خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه
صنعتی شاهرود بالاخص جناب آقای دکتر اژدری، دکتر حسینی و سرکار خانم دکتر کنجی

تعهدنامه

اینجناب احمد یحیائی نیا دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه آنالیز پایداری سد خاکی براساس تحلیل عددی و نتایج ابزار دقیق (مطالعه موردی سد دامغان) تحت راهنمایی دکتر صمد امامقلی زاده متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

سدهای خاکی از جمله مهمترین و پیچیده ترین سازه های مهندسی می باشند که هزینه های هنگفتی صرف مطالعه و اجرای این نوع پروژه ها می شود لذا پرداختن به مسائل مربوط به ایمنی آنها ضمن ساخت و نیز در دوران بهره برداری از اهمیت خاصی برخوردار است. جهت پیشگیری از گسیختگی سد در اثر عوامل مختلف، رفتار سنجی مستمر سد ضروری می باشد. به این منظور با استفاده از ابزار دقیق و نصب آنها در محل های مناسب و قرائت دوره ای داده ها به همراه تحلیل برگشتی آنها، می توان قریب به یقین ترین عامل ناپایداری را پیش بینی کرده و اقدامات لازم در جهت مقابل با آن را معمول داشت. از طرفی با استفاده از روش های عددی می توان مدل سد را در محیط نرم افزاری ایجاد نموده و پایداری سد در مقابل عوامل مختلف را برای حالات مختلف سد چه از نظر هندسی و چه از نظر خصوصیات مصالح بکار رفته در هسته و... برای سدهای اجرا شده و سدهای در حال طراحی بررسی نمود و به حالت بهینه ای دست یافت. تامین اطلاعات واقعی از رفتار حقیقی سد و مقایسه ی آن با پیش بینی های طراحی می تواند در ارزیابی میزان صحت تئوریها و فرضیات بکار رفته، بسیار مفید باشد. همچنین با استخراج مدلی که بیشترین همخوانی را با مدل واقعی دارد، به پیش بینی رفتار سدها در آینده پرداخت. در این تحقیق با استفاده از روش آنالیز استاتیکی (به کمک نرم افزار Geo Studio) که یک از دقیق ترین و به روزترین روش ها برای تحلیل سدهای خاکی است به بررسی پایداری سدهای خاکی در حالت تراوش پایدار، پایان ساخت سد و مخزن نیمه پر پرداخته شد. برای این منظور مقطع عرضی سد دامغان بصورت مطالعه موردی جهت انجام تحلیلها انتخاب شده و توسط نرم افزارهای SLOPE/W و SEEP/W از بسته نرم افزاری Geo Studio مدل گردید. سپس با انجام تحلیل برگشتی مدل عددی توسط اطلاعات ابزار دقیق کالیبره گردید و مورد تحلیل قرار گرفت.

حالات پایداری استاتیکی و شبه استاتیکی شیروانی بالادست و پایین دست کنترل و ضرایب اطمینان بدست آمده با استاندارد گروه مهندسين ارتش آمریکا (U.S.CORPS OF ENGS) مقایسه گردید

کلمات کلیدی: پایداری استاتیکی، سد خاکی، تراوش پایدار، SLOPE/W و SEEP/W

فهرست مطالب

فصل اول	۱
مقدمه و کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- ضرورت و اهمیت تحقیق	۴
۱-۳- روش انجام تحقیق	۵
۱-۴- اهداف تحقیق	۵
۱-۵- سیمای کلی تحقیق	۶
فصل دوم	۷
مروری بر سابقه موضوع و تحقیقات	۷
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- سدهای خاکریز	۸
۲-۲-۱- سدهای خاکی همگن و یا غیر همگن	۸
۲-۲-۲- سدهای سنگریزه ای	۹
۲-۳- علل ناپایدار کننده بدنه سد در شرایط بارگذاری های مختلف	۹
۲-۴- مراحل بحرانی در تحلیل سدهای خاکی	۱۰
۲-۵- مراحل بحرانی فشارهای منفذی در سد	۱۰
۲-۵-۱- فشارهای منفذی حین ساخت	۱۱
۲-۵-۲- فشارهای منفذی در حالت تراوش پایدار	۱۱
۲-۵-۳- فشارهای منفذی در حالت تخلیه سریع مخزن	۱۲
۲-۶- نحوه اختصاص پارامترهای مکانیکی به هر یک از مراحل مختلف تحلیل پایداری	۱۲
۲-۷- پیشینه تحقیق در سدهای خاکی	۱۳
فصل سوم	۱۷
مواد و روش ها	۱۷
۳-۱- مقدمه	۱۸
۳-۲- کمیت های مورد پایش	۱۸

۱۹	۳-۲-۱- نکات اساسی در خصوص پایش سدها
۲۰	۳-۲-۲- کمیت های اندازه گیری - فارغ از نوع سد
۲۲	۳-۳-معرفی سد مخزنی دامن
۲۲	۳-۳-۱- مشخصات عمومی سد
۲۴	۳-۳-۲- مشخصات زمین شناسی
۲۵	۳-۳-۳- ناحیه بندی ساختمان سد
۲۸	۳-۴-۱- مشخصات سیستم ابزار گذاری
۲۸	۳-۴-۱- کلیات سیستم ابزار گذاری
۲۸	۳-۴-۲- تجهیزات اندازه گیری
۲۸	۳-۴-۳- تجهیزات سنجش تراز مخزن
۲۹	۳-۴-۴- ابزار هواشناسی
۲۹	۳-۴-۵- ابزار لرزه نگاری
۲۹	۳-۴-۶- ابزار اندازه گیری فشار پیزومتری
۲۹	۳-۴-۷- ابزار اندازه گیری نشت
۳۰	۳-۴-۸- چاه های مشاهده ای
۳۰	۳-۴-۹- ابزار اندازه گیری تغییر شکل های داخلی بدنه سد
۳۰	۳-۴-۱۰- ابزار اندازه گیری تغییر شکل های سطحی بدنه سد
۳۱	۳-۵- وضعیت کلی ابزار های منصوبه در سد
۳۲	۳-۵-۱- موقعیت و مقاطع ابزار گذاری سد
۳۳	۳-۵-۲- مقاطع ابزار گذاری بدنه سد
۳۶	۳-۶- بررسی روش های آنالیز پایداری
۳۷	۳-۷- مبانی تحلیل پایداری شیروانی های خاکی
۳۷	۳-۷-۱- روش رایج
۳۸	۳-۷-۲- فاکتور اطمینان
۳۹	۳-۷-۳- تأثیر مقاومت جانبی در تحلیل پایداری شیروانی ها
۴۰	۳-۸- نرم افزار مورد استفاده برای آنالیز پایداری
۴۳	۳-۹- نرم افزار : SLOPE/W

۳-۱۰- هندسه و شبکه بندی	۴۴
۳-۱۰-۱- مصالح و مشخصات آن‌ها	۴۵
۳-۱۰-۲- مدل‌های رفتار خاک	۴۵
۳-۱۱- برنامه SLOPE/W	۴۶
۳-۱۱-۱- تحلیل پایداری تعادل حدی برنامه SLOPE/W	۴۶
۳-۱۱-۲- ضریب پایداری برنامه SLOPE/W	۴۸
۳-۱۲- فشارهای آب حفره ای ایجاد شده برنامه Seep/w برای تحلیل پایداری در برنامه Slope/w (نتایج برنامه Seep/w در برنامه Slope/w) :	۴۹
فصل چهارم	۵۱
نتایج و بحث	۵۱
۴-۱- مقدمه	۵۲
۴-۲- مدلسازی سد مورد مطالعه	۵۲
۴-۳- کالیبره کردن و صحت سنجی نرم افزار توسط اطلاعات ابزار دقیق	۵۳
۴-۴- تجزیه و تحلیل خروجی‌های مدل عددی	۵۶
۴-۴-۱- تحلیل تراوش پایدار از بدنه و پی سد (SEEP/W -Steady State)	۵۶
۴-۴-۲- مدلسازی تراوش سد به منظور بررسی پارامترها	۵۷
۴-۴-۳- تعیین وضعیت خط فریاتیک در بدنه سد	۵۷
۴-۴-۴- تعیین خطوط هم پتانسیل و خطوط جریان در بدنه و پی	۵۸
۴-۴-۵- محاسبه دبی خروجی از بدنه سد	۵۸
۴-۵- مقاطع عرضی بحرانی آنالیزهای پایداری شیب	۵۹
۴-۵-۱- پارامترهای مصالح	۶۰
۴-۵-۲- حالت بارگذاری و ضرایب اطمینان مجاز	۶۱
۴-۵-۳- نتایج آنالیز در بارگذاری استاتیکی	۶۲
۴-۵-۴- ضرایب اطمینان شیروانی بالادست در حالت مخزن نیمه پر و تراوش پایدار (SLOPE/W)	۶۴
۴-۵-۵- ضرایب اطمینان شیروانی پایین دست در حالت مخزن نیمه پر و تراوش پایدار (SLOPE/W)	۶۵
۴-۵-۶- ضریب اطمینان شیروانی پایین دست در حالت مخزن پر و تراوش پایدار (SLOPE/W)	۶۶
۴-۵-۷- ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در حالت مخزن پر و تراوش پایدار (SLOPE/W)	۶۷

۶۸-----	۴-۵-۸- ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در خاتمه ساخت سد (SLOPE/W)
۶۹-----	۴-۵-۹- ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در خاتمه ساخت سد (SLOPE/W)
۷۱ -----	فصل پنجم
۷۱ -----	نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۲ -----	۵-۱- مقدمه
۷۳ -----	۵-۲- نتیجه گیری
۷۴ -----	۵-۳- پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی
۷۵ -----	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۳-۱ موقعیت سد دامغان ----- ۲۳
- شکل ۳-۲ ناحیه بندی مقطع سد دامغان ----- ۲۷
- شکل ۳-۳ پلان بدنه و موقعیت نصب ابزار ----- ۳۲
- شکل ۳-۴ مقطع شماره ۶ سد دامغان ----- ۳۳
- شکل ۳-۵ مقطع شماره ۱۴ سد دامغان ----- ۳۴
- شکل ۳-۶ مقطع شماره ۱۹ سد دامغان ----- ۳۵
- شکل ۳-۷ شیب و سطح لغزش بالقوه (USACE, 2003) ----- ۳۸
- شکل ۳-۸ چگونگی روش شبکه و شعاع جهت مشخص نمودن سطح لغزش بحرانی ----- ۴۳
- شکل ۳-۹ چگونگی روش ورودی و خروجی جهت مشخص نمودن سطح لغزش بحرانی ----- ۴۴
- شکل ۴-۱ هندسه و مش بندی مدل ----- ۵۲
- شکل ۴-۲ موقعیت قرارگیری پیزومترهای مقطع ۱۴-۱۴ در داخل هسته ----- ۵۳
- شکل ۴-۳ نمودار تغییرات سطح تراز آب دریاچه سد دامغان در سال ۹۶ ----- ۵۴
- شکل ۴-۴ نحوه ورود ضریب هدایت هیدرولیکی مصالح به مدل ----- ۵۵
- شکل ۴-۵ نمودار سطح آب پیزومتر SP14-1 مدل عددی کالیبره شده با اطلاعات ابزار دقیق ----- ۵۵
- شکل ۴-۶ نمودار سطح آب پیزومتر SP14-2 مدل عددی کالیبره شده با اطلاعات ابزار دقیق ----- ۵۶
- شکل ۴-۷ موقعیت خط فریاتیک در بدنه و داخل هسته سد دامغان ----- ۵۷
- شکل ۴-۸ مسیرهای جریان و خطوط هم‌پتانسیل حاصل از آنالیز تراوش ----- ۵۸
- شکل ۴-۹ دبی خروجی از بدنه سد ----- ۵۹
- شکل ۴-۱۰ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالادست در حالت مخزن نیمه پر ----- ۶۴
- شکل ۴-۱۱ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالادست در حالت مخزن نیمه پر و وقوع زلزله ----- ۶۴
- شکل ۴-۱۲ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در حالت مخزن نیمه پر ----- ۶۵
- شکل ۴-۱۳ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در حالت مخزن نیمه پر و وقوع زلزله ----- ۶۵
- شکل ۴-۱۴ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در حالت تراوش دائم ----- ۶۶
- شکل ۴-۱۵ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در حالت تراوش دائم و وقوع زلزله ----- ۶۶
- شکل ۴-۱۶ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در حالت تراوش دائم ----- ۶۷

شکل ۴-۱۷ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در حالت تراوش دائم و وقوع زلزله ----- ۶۷

شکل ۴-۱۸ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در خاتمه ساخت سد ----- ۶۸

شکل ۴-۱۹ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در خاتمه ساخت سد و وقوع زلزله ----- ۶۸

شکل ۴-۲۰ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در خاتمه ساخت سد ----- ۶۹

شکل ۴-۲۱ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در خاتمه ساخت سد و وقوع زلزله ----- ۶۹

فهرست جداول

جدول ۱-۳	مشخصات ساختمانی سد دامغان	۲۴
جدول ۲-۳	وضعیت کلی ابزارهای منصوبه در سد دامغان	۳۱
جدول ۳-۳	لیست و مشخصات ابزار نصب شده در مقطع ۶	۳۴
جدول ۴-۳	لیست و مشخصات ابزار نصب شده در مقطع ۱۴	۳۵
جدول ۵-۳	لیست و مشخصات ابزار نصب شده در مقطع ۱۹	۳۶
جدول ۶-۳	روشهای تعادل حدی موجود در برنامه slope/w و معادلات استاتیک مربوطه	۴۸
جدول ۱-۴	پارامترهای مصالح در آنالیز پایداری شیب	۶۰
جدول ۲-۴	حالات بارگذاری و حداقل ضرایب اطمینان مورد نیاز	۶۱
جدول ۳-۴	نتایج حاصل از آنالیز پایداری با نرم افزار SLOPE/W	۶۳

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

سدها از نظر اقتصادی، اجتماعی و سیاسی دارای اهمیت بسیار زیادی می باشند. نقش سدها در توسعه کشاورزی، عمران مناطق روستایی و شهری، تامین آب شهری، کنترل و تنظیم شدت جریان آب در رودخانه ها و... قابل توجه است. به علت بالا بودن هزینه ساختمان سدها و نیز شدت وخامت عواقب ناشی از ناپایداری سدها، مسئله حفاظت و نگهداری و ارزیابی مستمر پایداری سدها از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. با توجه به این واقعیت که افزایش ضریب ایمنی در پروژه افزایش صعودی هزینه ها را در بر دارد، تضمین وضعیت پایداری سد در مراحل طراحی، اجرا و بهره برداری ضروری می باشد. به دلیل ماهیت خاص پروژه های سد سازی و عدم اطمینان کامل از درستی مشخصات و پارامترها ژئومکانیکی ارزیابی شده برای توده سنگ، تعیین دقیق ضریب ایمنی واقعی در این نوع پروژه ها امکان پذیر نمی باشد.

علیرغم پیشرفت قابل توجه علوم مهندسی و نقش تعیین کننده سدها در پیشبرد تمدن بشری و نیاز مبرم به این سازه بزرگ، ناهمگن و غیر قابل پیش بینی بودن کامل توده سنگ در طبیعت و اشتباهات یا عدم توجه کافی انسان در طراحی، اجرا و بهره برداری صحیح از سد، باعث بروز اتفاقات جانی و اقتصادی جبران ناپذیر می گردد.

آمار عملکرد سدها بیانگر این واقعیت است که ۱٪ از سدها ناپایدار بوده و بر اساس آمار کمیته بین المللی سدهای بزرگ، طی صد سال اخیر، تنها در اثر خرابی سدهای بزرگ حدود هجده هزار تلفات جانی و به همراه آن خسارات سنگین اقتصادی وارد آمده است. هر فاجعه با دلسردی عموم و تکاپوی گسترده مجامع رسمی جهت بررسی عوامل خرابی روبرو شده است. در حال حاضر، بسیاری از سدهای جهان در صورت خرابی عواقب فاجعه آمیز و غیر قابل جبران در پی خواهند داشت. بررسی ها نشان داده است که بیشتر این سازه ها آن طور که طراحی شده اجرا نگردیده اند. پیامدهای خرابی سد بتنی دو قوسی مالپاست فرانسه (۱۳۵۹) سد بتنی دو قوسی وایونت ایتالیا (۱۹۶۳) و سد خاکی تیتان آمریکا (۱۹۷۶) نمونه های بارزی از شدت وخامت عواقب ناشی

از شکست سدها می باشد. لازم به توضیح است که سدهای مالپاست و تیتان فاقد سیستم ابزار دقیق و رفتارسنجی بوده اند.

جهت پیشگیری از گسیختگی سد در اثر عوامل مختلف، رفتارسنجی مستمر سد ضروری می باشد. به این منظور با استفاده از نصب ابزار دقیق در محل های مناسب، قرائت دوره ای و تفسیر داده های رفتار سنجی به همراه تحلیل برگشتی داده ها، در صورت لزوم، می توان قریب به یقین ترین عامل ناپایداری را پیش بینی نمود و اقدامات لازم در جهت مقابله با آن را معمول داشت. به کمک نتایج رفتارسنجی و مطالعه روند تغییرات داده های ابزار دقیق در بسیاری از موارد می توان پدیده هایی را که در حال فرسایش، تضعیف و تخریب سد می باشند کشف و پیش بینی و پیش از وقوع آنها جلوگیری کرد یا تاثیر آنها را تقلیل داد و یا نهایتا در وقت کافی با انجام اقدامات لازم خسارات احتمالی وارده به اهالی و تاسیسات پایین دست سد را به حداقل ممکن رساند.

رفتارسنجی در سدهای بتنی تا اوایل قرن بیستم صرفا به نقشه برداری و توپوگرافیک و سنجش تغییر مکان ها در صفحه افقی خلاصه می شد لیکن هر قدر ارتفاع این سدها افزایش می یافت و از ضخامت آنها کاسته می شد الزاما تکنیک های رفتارسنجی نیز توسعه می یافت و به تدریج به عنوان یکی از ارکان اصلی طراحی پروژه و عامل اصلی ارزیابی پایداری به حساب می آمد. بنابراین تکنولوژی احداث سد های بزرگ و مرتفع زمینه های رفتار سنجی مفصل تر و دقیق تر و استفاده از ابزار دقیق متنوع و کامل تری را به همراه داشت.

ارزیابی رفتار و عملکرد سدهای خاکی با استفاده از قرائت و تحلیل اطلاعات ابزار دقیق سالم و نصب شده در یک چیدمان مناسب در مقاطع مختلف سد، مرجعی برای شناخت رفتار واقعی بدنه سد و تصحیح پارامترهای ژئوتکنیکی طراحی و ساخت سد ها خواهد بود. شناخت و بررسی درستی عملیات اجرایی و مفروضات طرح یک سد خاکی با گذشت زمان از ساخت سد امکان پذیر است و در صورت بروز اشکالاتی در نحوه اجرا و مفروضات طراحی ممکن است زمینه ناپایداری سد فراهم و فاجعه های عظیم رخ دهد. روش های حل عددی

شرایطی را فراهم می آورد که مقادیر تنش ها و تغییر شکل ها و فشارهای آب حفره ای یک سد خاکی را در زمان کم و نسبتاً دقیق برآورد کرد. مقایسه نتایج این گونه تحلیل ها با واقعیت که همان پارامترهای حاصل از ابزار دقیق است علاوه بر اعتبار بخشیدن به تحلیل عددی می تواند مبنای انجام تحلیل برگشتی برای تحصیل نتایج دقیق ژئوتکنیکی قرار گیرد.

۱-۲- ضرورت و اهمیت تحقیق

سدهای خاکی جزو پیچیده ترین و مهمترین سازه های مهندسی ساخته دست بشر می باشند که هزینه های بسیار زیادی صرف مطالعه و اجرای این نوع سازه ها می شود، لذا پرداختن به مسائل مربوط به ایمنی آنها در حین ساخت و نیز در مدت بهره برداری از اهمیت خاص و بالایی برخوردار است. آمار عملکرد سدها نشان از این واقعیت بوده که ۱٪ سدها غیر ایمن و ناپایدار بوده اند. در سدهای خاکی پس از شروع آبگیری و در زمان بهره برداری سد، جریان حالت آب در بدنه حالت پایدار داشته و تا زمانی که سطح مخزن در یک تراز ثابت بماند، مسیرهای جریان نیز ثابت بوده و در صورتی که تراز آب در مخزن سد به بالاترین مقدار خود برسد بیشترین دبی خروجی از بدنه سد، تکیه گاه ها و پی آن اتفاق خواهد افتاد. با توجه به این مسئله روش های مختلفی برای بررسی و تعیین میزان دبی نشت از پی و بدنه سدهای خاکی وجود دارد و مرسوم ترین روش، استفاده از نتایج آنالیز دو بعدی بزرگترین مقطع سد و استفاده از نتایج حاصل از آن جهت تعیین میزان دبی نشتی و مقادیر ضرایب اطمینان پایداری شیروانی ها می باشد.

مقاطع زمانی که انجام تحلیل پایداری ضروری است :

- اتمام مرحله ساخت بدنه سد خاکی قبل از شروع مرحله آبگیری
- کاهش سریع تراز آب مخزن
- تراوش پایدار از بدنه در حالت پر و نیمه پر مخزن
- اثر زلزله

۱-۳- روش انجام تحقیق

در این تحقیق سد دامغان واقع در شمال شهر دامغان به عنوان تحقیق موردی انتخاب شده و نتایج حاصل از ابزار دقیق آن بررسی و تحلیل شده است. سپس نتایج پایش یکی از مقاطع که بلندترین مقطع عرضی ابزارگذاری است برای تحلیل و مقایسه با مدل عددی انتخاب شده است. سد در حال بهره برداری بوده و تا این زمان وضعیت خاصی مانند زلزله و تخلیه سریع مخزن بوجود نیامده است. بنابراین مدل عددی در وضعیت استاتیک و برای شرایط واقعی دوران ساخت و آگیری ایجاد گردیده و تحلیل خواهد شد. برای مدل سازی از نرم افزار GEO-Studio استفاده خواهد گردید. در خاتمه باتوجه به تحلیلهای صورت گرفته می توان تعیین کرد که آیا پارامترهای ژئوتکنیکی بدست آمده از تحلیل برگشتی از دقت کافی برخوردار بوده و می تواند مبنای مناسبی برای تعیین صحت رفتارسنجی در دوران بهره برداری قرار گیرد یا خیر .

۱-۴- اهداف تحقیق

در این تحقیق مدلسازی سد دامغان با استفاده از نرم افزار GEO-SLOPE به منظور اهداف زیر انجام گردید:

- تعیین موقعیت خط فریاتیک در بدنه و هسته سد
- وضعیت قرارگیری خطوط هم پتانسیل و خطوط جریان در بدنه و پی
- تعیین میزان دبی خروجی از بدنه و پی
- محاسبه ضریب اطمینان پایداری شیروانی های پایین دست و بالادست در حالت استاتیک و شبه استاتیک (زلزله)
- مقایسه و ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل ریاضی با داده های اندازه گیری شده از ابزار دقیق تعبیه شده در سد

۱-۵-سیمای کلی تحقیق

فصل بندی تحقیق به صورت زیر ارائه می گردد:

فصل اول : مقدمه، ارائه کلیات موضوع، مقتضیات انجام این تحقیق و تشریح کلیات موضوع تحقیق است.

در فصل دوم پیشینه موضوع و روشهای تعیین ناپایداری شیروانی سدهای خاکی بررسی شده و توضیحاتی راجع به روشهای آنالیز پایداری شیروانی ارائه گردیده است.

در فصل سوم ابزار دقیق سدهای خاکی تشریح گردیده و در ادامه اطلاعاتی در خصوص سد مورد مطالعه یعنی سد دامغان و معرفی نرم افزار Geo studio و نحوه مدلسازی ارائه گردیده است .

در فصل چهارم به نتایج و بحث حاصل از اجرای مدل و همچنین تعیین میزان ضریب پایداری استاتیکی شیروانی های بالادست و پایین دست و کنترل آن با ضرایب اطمینان بدست آمده با استاندارد گروه مهندسين ارتش آمریکا (U.S.CORPS OF ENGS) پرداخته شده است.

در فصل پنجم نیز نتیجه گیری های کلی حاصل از این تحقیق و پیشنهادات آتی ارائه شده است.

فصل دوم

مروری بر سابقه موضوع و تحقیقات

۲-۱-مقدمه

سدها را معمولاً بر مبنای مصالح استفاده شده در بدنه و شکل مقاطع عرضی آنها دسته بندی می کنند همچون سدهای بتنی، سدهای خاکی ، لاستیکی و... که هر کدام دارای انواع مختلفی هستند.

سدهای خاکی به علت تحمل زیاد در مقابل زلزله و ارزان بودن و در دسترس بودن مصالح ساخت آن اهمیت ویژه ای دارند.

۲-۲-سدهای خاکریز

۲-۲-۱-سدهای خاکی همگن و یا غیر همگن

سدهای خاکی مصالحشان را از همان منطقه احداث و یا نواحی نزدیک تأمین می کنند ، و اصولاً دارای هسته رسی می باشند . رس بر اثر تماس با آب مانع نفوذ و انتقال آب و رطوبت می گردد و مانند نوعی عایق رطوبتی عمل می کند . اگر عمده مصالح تشکیل دهنده سد خاکی یکسان باشند ، سد را همگن می گویند و در غیر اینصورت ناهمگن. اگر کل سد خاکی از رس باشد سد خاکی همگن است ، اما اگر هسته مرکزی سد رس باشد و دور هسته مرکزی را با سنگهای دانه درشت پر کرده باشند ، سد غیر همگن محسوب می شود. از نظر تحلیل و آنالیز این نوع سدها بسیار حساس می باشند و در عین حال از نظر اجرا و پیاده سازی ساده تر می باشند. اجرای این سد در رودخانه های عریض ساده تر است. مصالح این سد اعم از ریز دانه و درشت دانه بایستی در دسترس باشد. این سدها برای زمینهایی نامناسب از نظر مقاومت مناسب ترین نوع سد می باشند.

بهترین مصالح برای استفاده در بدنه سدهای خاکی همگن به ترتیب GC، GM، SC و SM است. نفوذپذیری مصالح GC بسیار کم است که معمولاً آنها را می توان نفوذناپذیر در نظر گرفت، هر چند نفوذپذیری مصالح GM کم است اما نسبت به مصالح GC نفوذپذیری بیشتری را دارند. مقاومت برشی مصالح GM نسبت به مصالح GC بیشتر است .

در سد های غیر همگن برای مصالح پوسته، بهترین خاک ها به ترتیب GP، GW، GC و GM است. برای مصالح هسته نیز بهترین مصالح به ترتیب GC، SC، CL و GM است.

۲-۲-۲- سدهای سنگریزه ای

این سدها خودبخود غیر همگن می باشند و حتماً باید یک بافت آب بند در مرکز آن قرار گرفته باشد. شکل این سدها درست مانند سد ناهمگن خاکی با هسته رسی می باشد با این تفاوت که در مرکز سد به جای رس از سنگ ریزه نفوذ ناپذیر استفاده می شود و در دور تا دور سد سنگریزه های درشت تر ریخته می شود. در برخی موارد رویه سد را به جای سنگریزه با بتن می پوشانند که در آن صورت دیگر نیازی به هسته آب بند نمی باشد. اینگونه سدها اغلب از نوع بلند می باشند. این نوع سد در برابر زلزله بسیار مقاوم هستند. سنگهای ریخته شده برای سد بایستی خاصیت هایی از قبیل جذب کم آب، سایش کم، مقاومت فشاری بالا و در برابر سرد و گرم شدن مقاومت خوبی داشته باشند.

۲-۳- علل ناپایدار کننده بدنه سد در شرایط بارگذاری های مختلف

در زمان عملیات ساختمانی سد فاکتور هایی چون مقدار تنش در بدنه، میزان درصد رطوبت، وضعیت زهکشی و مدت زمان ساخت در حال تغییر است و این عوامل خصوصیات خاک را در بدنه و پی سد تغییر می دهند. چرا که مقدار تنش اعمال شده به پی و بدنه در مقایسه با زمان ساخت حداکثر و زمان لازم برای تحکیم تحت این میزان بار حداقل است. لذا از جمله مراحل که باید در پایداری سد بررسی شود، بلافاصله پس از اتمام ساختمان سد است.

بعد از شروع آبیگری مخزن سد و با پر شدن دریاچه، تراوش آب در داخل بدنه و هسته سد به حالت پایدار می رسد و نیروی تراوش از سمت بالا دست بدنه به سمت پایین دست جریان پیدا می کند. این نیرو برای شیروانی پایین دست عامل ناپایدار کننده ای است.

(منبع)هرگاه تراز آب دریاچه سدهای خاکی با سرعت حداقل ۱۵ سانتیمتر یا بیشتر در شبانه روز (۲۴ساعت) افت کند، سد ممکن است دچار پدیده تخلیه سریع شود. آنچه که این حالت را برای پایداری شیروانی بالادست سد بحرانی می کند عمدتاً دو نیرو است. اول کاهش نیروی پایداری فشار هیدرواستاتیک آب دریاچه که با افت سطح آب در دریاچه همراه است و دوم نیروی تراوش عمل کننده در جهت ناپایداری شیروانی بالادست است. در سدهای بلند، شرایط آنالیز سد در حالت مخزن نیمه پر نیز باید مورد بررسی قرار گیرد.

۲-۴- مراحل بحرانی در تحلیل سدهای خاکی

نیروهای واژگونی که تمایل دارند شیبهای سد خاکی را ناپایدار سازند عمدتاً نیروهای ثقل و نیروهای زهاب هستند. نیروی ثقل بجز در مواقع وجود نیروهای ناشی از تکان های هنگام زلزله که در آن اجزا نوسانی دینامیکی به نیروهای استاتیکی اضافه می گردند در سایر موارد نیروی ثابتی هستند. مراحل بحرانی برای شرایط استاتیکی، ناشی از نیروهای معکوس زهاب و در نتیجه فشارهای آب حفره ای بالا در مقطع سد می باشند. مقاومت برشی مصالح سد به میزان فشارهای منفذی بوجود آمده در بدنه آن بستگی دارند. بنابراین تعیین ضریب اطمینان قابل اتکا، به دقت در تعیین فشارهای منفذی و نحوه توزیع آنها بستگی کامل خواهد داشت. از آنجایی که محاسبات پایداری بر اساس تنش موثر انجام می شود دانستن فشارهای منفذی ضروری است.

۲-۵- مراحل بحرانی فشارهای منفذی در سد

الف) در حین عملیات ساختمانی سد و تحت اثر فشار وزن ناشی از افزایش ارتفاع خاکریز (که معمولاً فشارهای منفذی در حین ساخت نامیده می شوند) یا پایان ساخت سد.

ب) در زمانی که مخزن سد کاملاً پر شده و با گذشت زمان کافی حالت تراوش پایدار در بدنه سد بوجود آید.

ج) در حالتی که تراز آب مخزن در مواقع ضروری به سرعت کاهش یابد.

۲-۵-۱- فشارهای منفذی حین ساخت

یک خاکریز متراکم شده بوسیله غلطک معمولاً تا درجه اشباع ۸۰ تا ۹۰ درصد کوبیده می‌شود به عبارت دیگر ۸۰ تا ۹۰ درصد فضای بین دانه های خاک را آب اشغال نموده و در حال تعادل با حباب های هوا می‌باشد. فشرده شدن این مخلوط (آب و هوا) تحت اثر بارهای فزاینده خاکریز باعث افزایش فشارهای منفذی در خاک های ریزدانه می‌گردد. مقدار این فشار های منفذی به عوامل متعددی از جمله درصد رطوبت خاکریز، خاصیت فشرده‌گی و نفوذپذیری خاک، سرعت انجام عملیات ساختمانی و مسیرهای موجود برای زهکشی بستگی دارد. هرچه خاک قابلیت تراکم بیشتری داشته باشد (نرمتر باشد) فشارهای منفذی حین ساخت در آن بیشتر است و بر عکس. این شرایط هم برای شیب بالادست و هم برای شیب پایین دست می‌توانند بحرانی باشند. برآورد صحیح و دقیق فشارهای منفذی در طراحی به علت عدم اطمینان در برآورد بسیاری از پارامترهای موثر، امکان پذیر نیست. اغلب گسیختگی شیروانی ها در طول ساخت یا پایان ساخت سد اتفاق می‌افتد.

۲-۵-۲- فشارهای منفذی در حالت تراوش پایدار

مدتی پس از اتمام ساختمان سد و پر شدن مخزن، بدنه آن تحت تاثیر نیروی تراوش حاصل از جریان آب به درون سد واقع می‌شود. مدت زمان لازم برای اشباع شدن بخش پایین دست سد و ایجاد تراوش پایدار، به نفوذپذیری خاک بدنه و مدت زمانی که آب بطور ثابت تا آخرین حد پشت سد باقی می‌ماند بستگی دارد. در حالی که ممکن است برای مصالح نفوذپذیر بوجود آمدن حالت اشباع و خط جریان در سد یکسال طول بکشد برای مصالح تقریباً نفوذپذیر این مدت می‌تواند دو تا سه سال به طول بیانجامد. در بعضی از سدها بعد از چندین سال به علت تغییرات سطح آب در مخزن ممکن است هنوز این شرایط بوجود نیامده باشد. در شرایطی که حالت تراوش پایدار بوجود آید، معادله حاکم بر جریان، معادله لاپلاس است. این معادله راه حل

تئوریک عمومی نداشته و باید با توجه به شرایط مرزی خاص به صورت ترسیمی، عددی، آنالوگ حل گردد. در هر حال جریان نشت و در نتیجه نیروهای نشت مستقیماً در جهت شیب پایین دست عمل می‌کنند. نیروهای نشت نزدیک پایین دست بیشتر از فشارهای هیدرواستاتیکی هستند که بر روی شیب بالادست وارد می‌شوند و از این رو شرایط نشت بصورت پایدار برای شیب پایین دست حالت بحرانی به خود می‌گیرد. در این شرایط فرسایش داخلی خطرناک است. بخاطر اینکه می‌تواند در مدت زمان نسبتاً کوتاهی ایجاد و گسترش یابد و بطور جدی ایمنی سد را آسیب بزند.

شبکه جریان در شرایط نشت دائم، توزیع فشار منفذی در مقطع سد را به صورت واقعی و قابل اعتماد ارائه می‌دهد. در چنین شرایطی معمولاً در سراسر جهان از روش تنش موثر استفاده می‌شود.

۲-۵-۳- فشارهای منفذی در حالت تخلیه سریع مخزن

هنگامی که سطح آب در مخزن سد پایین بیاید، جهت نیروهای تراوش معکوس گردیده و جریانی از درون بدنه سد به سمت بالادست ایجاد می‌گردد. در مصالح با نفوذپذیری زیاد مانند شن و ماسه درشت دانه سطح آب درون مصالح همزمان با پایین آمدن آب در مخزن کاهش می‌یابد. لیکن در مصالح با نفوذپذیری کم به شرط آنکه تخلیه ناگهانی و سریع باشد، فرض منطقی آن است که در لحظه بلافاصله پس از تخلیه، خط جریان بالایی مربوط به تراوش پایدار، حالت اولیه خود را حفظ می‌کند. این شرایط برای شیب پایین دست در مقایسه با نشت دائم مغایرت کمتری دارد. شرایط افت سریع برای شیب بالادست دارای حالت بحرانی است.

۲-۶- نحوه اختصاص پارامترهای مکانیکی به هر یک از مراحل مختلف تحلیل پایداری

در سدهای خاکی نظیر سازه های دیگر، حالت های مختلف ممکن برای بارگذاری بررسی و کنترل پایداری برای هر یک از آنها صورت می‌گیرد و ضریب اطمینان لازم برای هر مرحله کنترل می‌گردد. شرایط

بارگذاری در سدهای خاکی به نحوه ساخت سد (برنامه زمانی عملیات ساخت)، عملکرد مخزن در بهره برداری و غیره بستگی دارد. بدین ترتیب شرایط زیر به عنوان حالات بحرانی در بررسی پایداری استاتیکی سدهای خاکی عنوان می‌شود:

-حین ساخت و پایان مرحله احداث سد

-تراوش پایدار

-تخلیه سریع

-تراوش پایدار با مخزن نیمه پر

در برخی از این حالات فقط یکی از دو شیب بالا دست و پایین دست بحرانی می‌شوند (USBR,1987)

۲-۷-پیشینه تحقیق در سدهای خاکی

روشنگر و همکاران (۲۰۱۵) به آنالیز پایداری شیروانی و تحلیل تراوش از بدنه سد خاکی گلفرج پرداخته‌است. سد گلفرج یک سد خاکی زون‌بندی شده می‌باشد که قسمت اصلی بدنه را پوسته سد که از مصالح آبرفتی درشت‌دانه پر شده، تشکیل یافته است. در این تحقیق آنالیز تراوش از بدنه و پایداری شیروانی‌های بالادست و پائین‌دست سد گلفرج برای حالت بعد از پایان عملیات ساخت، حالت تراوش پایدار، تخلیه سریع مخزن، با استفاده از نرم افزار Geo-Studio مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در این مدل فرض شده است که آب در بدنه سد، پی و تکیه‌گاهها از قانون داری تبعت می‌کند و نتایج نشان می‌دهد که استفاده از دیوار آب‌بند و یا پتوی بتنی در بالادست، میزان دبی تراوش به ترتیب ۹۵ و ۳۰/۲۰ درصد کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از آنالیز پایداری شیروانی خاکی از پایداری شیروانی در تمامی حالت‌ها و همگرایی روش‌های حالت تعادل حدی است.

لیو و لی (۲۰۱۳) با معرفی زمین لغزش بعنوان یکی از بلایای طبیعی که سالانه جان هزاران نفر در سراسر جهان را می گیرد، آب را بعنوان عامل اصلی زمین لغزش معرفی می کند. به نظر آن ها ژئولوژی سنگ بستر، مشخصات ژئو تکنیکی، آب باران، سطح آب زیرزمینی و مصارف زمین جز دیگر عوامل زمین لغزش می باشند که در میان آنها آب با داشتن ۹۰ درصد این سهم، مهم ترین پارامتر زمین لغزش می باشد. با این حال، رابطه ی تاثیر آب روی پایداری شیروانی ها رابطه ی پیچیده ای است. در حالات کلی تاثیر آب روی شیروانی ها بصورت راه های گوناگونی مانند کاهش مکش خاک، افزایش فشار آب منفذی، بالا آوردن سطح آب زیر زمینی، افزایش چگالی حجمی خاک و کاهش مقاومت برشی خاک می تواند ظاهر شود.

طاحونی (۱۳۵۷) با مقایسه ی روش های ساده شده ی بیشاپ، مورگنسترن-پرایس، اسپنسر، بیشاپ، جانبو و روش عمومی تعادل حدی، استفاده از روش مورگنسترن-پرایس و اسپنسر را بدلیل اینکه هردو تعادل گشتاور و نیرو ها را ارضا کرده و اثر تمامی نیروهای وارد بر قطعه ها اهم از نیرو های افقی (برشی) و قائم را در نظر می گیرند پیشنهاد می کند تا ضرایب اطمینان بدست آمده در شرایط واقعی نیز بتوانند براحتی پاسخگوی نیاز پایداری شیروانی باشند.

خوزه و همکاران (۲۰۱۷) معتقدند فرسایش خاک و زمین لغزش دو مشکل جهانی هستند و ممکن است در تمامی کشورها اتفاق بیفتد. آنها با مطالعه تاثیر همزمان انسان و طبیعت روی زمین لغزش، آب را مهم ترین فاکتور دانسته و سپس عواملی مانند کاشت زمین و شخم و برداشت را مهم ترین عامل انسانی معرفی می کنند. در نهایت زهکشی موثر به عنوان بهترین راهکار برای جلوگیری از زمین لغزش پیشنهاد داده می شود.

لیو و واردون (۲۰۱۶) با بررسی تاثیر غیرهمگنی بر روی ضریب پایداری شیروانی یک خاکریز با بیان اینکه پایداری اکثر شیروانی های خاکی وابسته به محتوای حجمی آب بوده و محتوای حجمی نیز رابطه مستقیمی با میزان فشار آب حفره ای و مکش خاک وجود دارد به این نتیجه دست یافتند که ضریب نفوذپذیری خاک در حالت اشباع (Ksat) نقش حاکم در پایداری شیروانی دارد. همچنین در شرایط خشک

شدن اولیه، میانگین ضرایب اطمینان و ۹۵٪ ضرایب اطمینان در حالت خاک غیرهمگن کمتر از خاک در حالت همگن می‌باشد. بنابراین غیرهمگن بودن را خطری برای پایداری شیروانی‌ها معرفی می‌کنند.

شمسایی و فرد مرادی‌نیا (۱۳۸۵) به بررسی در مورد کنترل تراوش سدهای خاکی برای مقاوم سازی لرزه‌های شیروانی‌های سد پرداخته‌اند. در بسیاری از سدها، تراوش به علت حرکت آب در ساختار خاک، از قسمت خاکریز سدها صورت می‌گیرد. سرعت حرکت آب در خاکریز بستگی به نوع خاک و چگونگی تراکم آن، آماده سازی پی و تکیه‌گاهها و مقدار و اندازه ترک‌ها و حفرات خاک در خاکریز بستگی دارد. اکثر مسائل مربوط به تراوش و شکست سدها، در اثر عدم دقت در مقیاس‌های کنترل تراوش یا آماده سازی ناقص پی‌ها و تکیه‌گاهها صورت می‌گیرد. تراوش می‌تواند منجر به پدیده جوشش در خاک، باتلاقی شدن و لغزش خاکریز شود، که هر دو باعث شکست سد می‌شوند. این پدیده هنگام وقوع زلزله می‌تواند پایداری در سد را با مشکلات جدی روبه رو نماید. از این رو مقاوم سازی کنترل تراوش مدیریت قبل از بحران می‌باشد. در این تحقیق ضمن روش‌های مقاوم سازی سدهای خاکی مطالعه موردی روی سد خاکی برنجستانک انجام شده است.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳-۱- مقدمه

اولین و مهمترین هدف در رفتارنگاری جمع آوری اطلاعات لازم از ابزار دقیق موجود در بدنه سد بمنظور اطمینان از عملکرد سازه بمنظور کنترل و ایمنی سد در حین عملیات ساخت، پرکردن مخزن (آبگیری) و دوران بهره برداری از مخزن می باشد.

رفتار نگاری در حین اولین آبگیری اهمیت بسیار زیادی دارد چرا که این اطلاعات می تواند نشان دهنده رفتارهای نامتعارف یا غیرمنتظره در طول ساخت و یا آبگیری سد باشد. علاوه بر ارائه اطلاعات در خصوص سلامت سد، بررسی اطلاعات جمع آوری شده از ابزار دقیق می تواند در مقایسه رفتار سد و رفتار پیش بینی شده در طراحی کمک نماید. بدین طریق می توان مقادیر موجود را با مقادیر پیش بینی شده در طراحی ها (که از شبیه سازی های کامپیوتری یا شبیه سازی های تجربی بدست آمده است) مقایسه کرد. تدقیق و یا اصلاح روشهای محاسبات، شامل روش های طراحی، مشخصات مواد و مقادیر بارها و توسعه واقع گرایانه معیار های طراحی، کما اینکه با استفاده از نتایج چند پروژه این کار انجام شده است.

۳-۲- کمیت های مورد پایش

این کمیت ها بدو دسته تقسیم می شوند:

کمیت های عامل یا مسبب^۱: که همان تغییرات محیطی مثل تغییر تراز آب پشت سد یا تغییر درجه حرارت یا شتاب ناشی از زلزله می باشد.

کمیت های متأثر^۲: که همان پاسخ سازه (سد) به تغییرات محیطی می باشد. در این زمینه می توان به کمیت هایی چون:

- جابجایی ها
- نشست آب و بررسی مواد موجود در آب (در صورت وجود)

1- casual quantities

2- effect quantities

- تغییر شکل ها
- فشار برکنش^۳
- فشار آب حفره ای^۴ اشاره کرد

۳-۲-۱- نکات اساسی در خصوص پایش سدها

۱- هر سد یک کیس خاص است بدین معنی که دو سد با هندسه، نوع مصالح و تکنولوژی ساخت یکسان و همچنین شرایط توپوگرافی، زمین شناسی، هیدروژئولوژی و اقلیم مشابه وجود ندارند و هر سد منحصر بفرد است، باید توسط یک تیم مجرب پایش گردد. به همین دلیل تا کنون استاندارد مشخصی برای طراحی سیستم رفتگر نگاری که با شرایط سد های مختلف سازگاری داشته باشد ارائه نشده است.

۲- درجه ایمنی یک سد در زمان طراحی تعیین می گردد بنابراین سیستم پایش سد باید در این مرحله و با توجه به معیار های طراحی تعیین گردد.

۳- اتوماسیون پایش (ثبت اتوماتیک قرائت ها) امکان کار راحتتر با حجم زیادی از اطلاعات را فراهم میسازد.

۴- استنتاج از نتایج در خصوص ایمنی سد باید توسط یک تیم کارشناس خبره انجام شود.

۵- تکیه صرف به به ابزار دقیق اشتباه است. پایش بصری (بازرسی مستقیم سد توسط پرسنل بهره بردار) نباید فراموش گردد. خطرناکترین وقایع نظیر تغییر شکل های محلی ترک ها و جریان تراوش متمرکز و نقاط مرطوب توسط ابزار ها قابل کشف نیستند. بلکه این وقایع باید با مشاهدات عینی کشف شوند. پیدایش هرگونه چشمه یا سطح خیس در رویه و یا در پائین دست سد باید بی درنگ گزارش گردد.

۶- اغلب مشاهده می شود که طراح بر اساس اعتبار پیش بینی شده سیستم ابزار دقیق پروژه را طراحی نموده و در بیشتر موارد نوع و تعداد ابزارها را براساس کاتالوگ شرکت های سازنده ابزار دقیق یا نقشه های ابزارهای نصب شده در سدهای دیگر، بدون شناخت عملکرد آنها تعیین می نماید در این موارد طراح گمان میکند که هر قدر تعداد بیشتری از ابزار نصب گردد پاسخ بهتری را بدست خواهد آورد.

۷- ابزار مورد استفاده در سد باید دارای طراحی ساده، دارای کاربری ساده و در عین حال بادوام باشند و

3- uplift pressure

4- pore pressure

بتوان آنها را توسط افراد نیمه متخصص محلی مورد استفاده قرار داد.

۸- بایستی به پایش لرزه ای هم از نظر ثبت تغییرات و شدت حادثه زمین لرزه و هم از نظر یکپارچگی و خسارت های وارده، اهمیت خاصی داده شود.

۹- مشابه دقت فوق در پایش بینی سیل نیز اهمیت دارد. ابزار دقیق نباید در یک قسمت سد متمرکز گردد بلکه باید بطور مناسب در تمامی بدنه سد و پی آن توزیع گردد.

۱۰- برای سدهای با عمر بیشتر (سدهای پیر) با سن بیشتر از ۲۰ یا ۳۰ سال یا بیشتر از ساخت آن، توصیه میگردد که هر ۵ تا ۱۰ سال بازرسی های خاصی بمنظور برآورد دقیق وضعیت سد و خرابی های آن (در صورت وجود) و نیاز به بروز کردن ابزار انجام گردد.

۳-۲-۲- کمیت های اندازه گیری - فارغ از نوع سد

ثبت تراز مخزن که عامل عمده تغییرات در بدنه سد است.

علاوه بر این در نزدیکی هر سد ایستگاه هواشناسی نیز مستقر است که اطلاعات هواشناسی مثل بارندگی، درجه حرارت و سرعت باد و ... نیز ثبت میگردد. وجود ایستگاه های هواشناسی در حوضه آبریز نیز کمک مهمی در برآورد سیلاب و پایش بینی خروجی مناسب سد خواهد داشت.

کنترل مداوم میزان نشت ها نیز در تمامی سد ها لازم است. افزایش نشت در سد های خاکی موید فرسایش داخلی است.

وجود مواد معلق در آب: این امر نشاندهنده فرسایش داخلی است.

فشار های برکنش و فشار آب حفره ای در پی: با این پایش می توان از عملکرد صحیح پرده آب بند و یا زهکش اطمینان یافت.

حداقل سالی یکبار و بعد از بارانهای بسیار شدید و یا زلزله شیب های مشرف بر مخزن باید مورد بازدید قرار گیرد.

هرگونه تغییر و علی الخصوص هر علامتی دال بر یک زمین لغزه مهم باید مورد بررسی قرار گیرد. در نقاطی که استعداد زمین لغزه دارند اندازه گیری ژئودتیک باید بطور متناوب انجام گیرد.

کمیت های ضروری در اندازه گیری سدهای خاکی

فشار آب حفره ای: فشار آب حفره ای در بدنه و در پی سد باید مورد پایش باشد. نوع پیزومتر مناسب با توجه به موقعیت و مصالح محل اندازه گیری تعیین می گردد.

اندازه گیری مقدار تراوش از مقاطع مختلف سد. نشت ها باید جداگانه اندازه گیری شوند.

تغییر مکان های ارتفاعی در یک سد را بدو طریق اندازه گیری میکنند:

الف) نقاط نشانه ژئودزی در روی بدنه سد و یا داخل گالری ها (علی الخصوص گالری بازرسی سد)

ب) نشست سنج های موجود در داخل بدنه یا پی سد.

تغییر مکان های افقی بدو طریق اندازه گیری می شود:

الف) نقاط نشانه ژئودزی در روی بدنه سد

ب) انحراف سنج ها در داخل بدنه سد

تنش: اندازه گیری تنش بوسیله سلول های فشار انجام میشود. برای بدست آوردن تنش موثر در نزدیکی سلول فشار پیزومتر نیز نصب می گردد.

اندازه گیری فشار آب منفذی – پیزومترها

- پیزومتر لوله ایستا^۵
- پیزومتر هیدرولیکی^۶
- پیزومتر پنوماتیک^۷
- پیزومتر الکتریکی^۸
- تار مرتعش^۹
- مقاومتی^{۱۰}

۳-۳- معرفى سد مخزنى دامغان

۳-۳-۱- مشخصات عمومي سد

سد دامغان یک سد خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی است که به منظور کنترل سیلاب و ذخیره آب مازاد چشمه علی در فصول غیر کشت و تأمین آب مطمئن برای کشاورزی اراضی پایین‌دست سد احداث شده است. این سد بر روی رودخانه چشمه علی که حاصل تلاقی رودخانه‌های فرعی دامغان رود و آستانه می‌باشد، ساخته شده است. علاوه بر اهداف مذکور اخیراً تأمین آب شرب نیز به کاربری سد افزوده شده و یک خط انتقال آب را از پایین‌دست سد به تصفیه خانه شهر دامغان منتقل می‌نماید. این سد در شمال غربی شهر دامغان و در فاصله ۱۲ کیلومتری آن قرار گرفته است. شکل ۳-۱ موقعیت سد دامغان را نشان داده است.

5- Stand Pipe Piezometers

6- Hydraulic Piezometers

7- Pneumatic Piezometers

8- Electrical Piezometers

9- Vibrating Wire

10- Resistance



شکل ۳-۱ موقعیت سد دامغان

احداث سد دامغان در تابستان ۱۳۸۱ شروع شده و در اسفند ماه ۱۳۸۴ به اتمام رسیده است که بلافاصله آبیگری سد آغاز گردیده است. کارفرمای طرح در حین ساخت شرکت آب منطقه‌ای تهران بوده است. پس از تأسیس شرکت آب منطقه‌ای سمنان طرح سد دامغان به شرکت آب منطقه‌ای سمنان تحویل گردیده و در حال حاضر بهره‌برداری سد توسط شرکت آب منطقه‌ای سمنان به انجام می‌رسد. تجهیزات ابزار دقیق سد دامغان طی دو مرحله نصب شده‌اند. بخشی از تجهیزات همزمان با ساخت سد نصب شده و بخش دیگر با عنوان ابزارگذاری تکمیلی طی سال ۱۳۹۰ و در دوران بهره‌برداری نصب شده‌اند. حداکثر ارتفاع سد دامغان ۵۱/۵ متر از بستر رودخانه و حجم مخزن در تراز نرمال ۲۱ میلیون متر مکعب می‌باشد. تراز نرمال سد ۱۳۲۰/۵ متر است. جدول ۳-۱ مشخصات اصلی سد دامغان را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱ مشخصات ساختمانی سد دامغان

عنوان	مشخصات
ارتفاع از پی	۵۴/۵ متر
ارتفاع از بستر	۵۱/۵ متر
طول تاج	۴۴۵ متر
عرض تاج	۱۰ متر
تراز تاج سد	۱۳۲۴/۵ متر
رقوم آب در تراز نرمال	۱۳۲۰/۵ متر
تراز پی سد	۱۲۷۰ متر
حجم مخزن در تراز نرمال	۲۱ میلیون متر مکعب
حجم مفید مخزن	۱۲/۸ میلیون متر مکعب
وسعت دریاچه در تراز نرمال	۱/۵ کیلومتر مربع

۳-۳-۲- مشخصات زمین‌شناسی

گستره مورد نظر در منتهی الیه جنوبی زون ساختاری البرز جنوبی و تقریباً در مرز بین دو زون ساختاری البرز جنوبی و ایران مرکزی قرار دارد. بطوریکه سازندهای متعلق به پالوزوئیک آن شباهتهایی با سازند پالوزوئیک ایران مرکزی دارد. نهشته‌های مربوط به مزوزوئیک نیز به البرز بیشتر شباهت دارد. نهشته‌های ائوسن نیز که متشکل از توف، شیل، مارن و آهک می‌باشد، میتوان با سازند کرج در البرز مقایسه نمود. بنظر می‌رسد که میتوان در مجموع رخساره‌های موجود در محدوده طرح را بیشتر به زون ساختاری البرز جنوبی نسبت داد.

از نظر ریخت شناسی گستره مورد بحث در منطقه‌ای کوهستانی و مرتفع واقع شده و بخشهایی از آن دارای مرفولوژی تپه ماهوری می‌باشد ارتفاعات. تپه ماهوری عمدتاً از کنگلومرای نئوژن با سیمان رسی، شیلها و مارنهای ائوسن و رسوبات عهد حاضر می‌باشد که نهایتاً بصورت دشتی کم شیب و پوشیده از آبرفتها در آمده

و زمینهای کشاورزی و باغها و بیشه‌ها را تشکیل می‌دهد. کوهها عمدتاً شرق شمال شرق - غرب جنوب غرب می‌باشد.

از نظر چینه‌شناسی کهن‌ترین سنگهایی که در این گستره برونزد دارد مربوط به سازند باروت و جدیدترین آنها نیز آبرفت‌های کنونی می‌باشد.

تکیه گاه راست ساختگاه، از سازند الیکا مربوط به زمان پری‌تریاس می‌باشد که بطور هم‌شیب بر روی واحد آهک حجیم سازند سعادت آباد واقع شده است. بخش تحتانی این سازند از شیل‌های قرمز رنگ هوازده و مارنها و میان‌لایه‌های از آهک، آهک مارنی و دولومیت‌های نازک لایه تشکیل شده است و به سمت بخش فوقانی، تناوبی از آهک‌های خاکستری تیره، آهک دولومیتی و افق‌هایی از ماسه سنگ کواترنری و شیل‌ها به رنگ قرمز با میان‌لایه‌هایی از آهک مارنی تشکیل شده است. از لحاظ لایه بندی، مقدار شیب و جهت شیب لایه‌های سنگی تکیه گاه راست به ترتیب، ۶۰ و ۱۵ درجه می‌باشد. جناح چپ ساختگاه از رسوبات نئوژن و از کنگلومرا جسیم مقاوم و لایه‌ها و عدسیه‌ها از مارن و مارن‌های گچ دار به رنگ سبز متمایل به زرد و ماسه سنگ و کنگلومرا نسبتاً سست می‌باشد.

۳-۳-۳ ناحیه بندی ساختمان سد

چنان که اشاره شد سد دامغان از نوع خاکی سنگریزه‌ای می‌باشد. شکل (۲-۳) مقطع تیپ بدنه سد دامغان در بزرگترین مقطع سد یعنی مقطع ۱۴-۱۴ را نشان می‌دهد. سد شامل یک هسته رسی عریض می‌باشد که در بخش‌های بالایی بدنه سد از عرض آن کاسته شده است. بخش‌های اصلی بدنه به شرح زیر است:

- هسته ناتراوای فوقانی (ناحیه 1A)
- هسته ناتراوای تحتانی (ناحیه 1B)
- فیلتر ریزدانه پایین‌دست (ناحیه 2A)

- فیلتر ریزدانه بالادست (ناحیه 2B)
 - پوسته تراسی (ناحیه 4)
 - فیلتر درشت دانه بین نواحی انتقالی و سنگریز پایین دست (ناحیه 3)
 - سنگریز معمولی (ناحیه 5A)
 - پوشش محافظ شیروانی بالادست (ناحیه 5B)
 - سنگریز درشت پایین دست (ناحیه 5B)
- به منظور انحراف آب رودخانه چشمه علی در دوره ساخت سد از یک کالورت بتنی در محور رودخانه و فرازبند استفاده شده است. این فرازبند نهایتاً بخشی از بدنه سد را تشکیل داده است. به منظور آببندی پی نیز از پرده آببند در پی سد استفاده شده است.

۳-۴-مشخصات سیستم ابزار گذاری

۳-۴-۱- کلیات سیستم ابزار گذاری

به منظور رفتارنگاری سد دامغان در طی دوره ساخت و بهره‌برداری مجموعه‌ای از تجهیزات ابزار دقیق در محل سد مورد استفاده قرار گرفته است. تجهیزات اصلی عموماً ساخت کشور کانادا و از نوع ROCTEST بوده و توسط شرکت ابزار خاک نماینده رسمی شرکت تولید کننده در سد دامغان نصب شده است. در طی دوران بهره‌برداری نیز به منظور تکمیل سیستم رفتارنگاری، تعدادی پیزومتر و چاه مشاهده‌ای جدید طراحی و نصب شده است که این تجهیزات ساخت کشور انگلستان و از نوع SOIL می‌باشد. این تجهیزات نیز طی سال ۱۳۹۰ توسط شرکت پرس سانکو نماینده رسمی شرکت تولید کننده در سد دامغان نصب گردیده است.

۳-۴-۲- تجهیزات اندازه‌گیری

تجهیزات اندازه‌گیری سد دامغان شامل گروه‌های مختلفی از تجهیزات ابزار دقیق می‌باشد که با هدف تولید داده‌های پایه و سنجش رفتار سد طراحی گردیده است. در گروه داده‌های پایه تجهیزات سنجش تراز مخزن، تجهیزات هواشناسی و تجهیزات لرزه‌نگاری قرار دارند. در گروه داده‌های سنجش رفتار سد تجهیزات سنجش فشار پیزومتری، سنجش نشت، چاه‌های مشاهده‌ای، سنجش تغییر شکل‌های داخلی بدنه سد شامل نشست و انحراف و تجهیزات سنجش تغییر شکل‌های سطحی بدنه سد جای می‌گیرند.

۳-۴-۳- تجهیزات سنجش تراز مخزن

به منظور سنجش تراز مخزن سد یک اشل بر روی بدنه سد نصب شده است که با توجه به تغییر شکل‌های بدنه سد طی دوره بهره‌برداری قابلیت اتکا کمی دارد. علاوه بر اشل مذکور یک تراز سنج دیجیتالی نیز در تکیه‌گاه راست نصب شده است. این تراز سنج نیز در حال حاضر معیوب بوده و نیازمند کالیبراسیون می‌باشد. به منظور سنجش تراز مخزن در هنگام سرریز نیز یک اشل بر روی سرریز نصب شده است. در حال حاضر

قرائت تراز مخزن بر اساس سطح آب چاه مشاهده ای شماره ۵ واقع شده در تکیه‌گاه راست مخزن می‌باشد که دقت پایینی دارد.

۳-۴-۴- ابزار هواشناسی

به منظور اطلاع از پارامترهای هواشناسی در محل سد یک ایستگاه هواشناسی خودکار در پایین‌دست سد طراحی و تجهیز گردیده است. این ایستگاه مجهز به دماسنج، باران سنج، تشک تبخیر، فشار سنج، تشعشع سنج و باد سنج می‌باشد. در حال حاضر سیستم قرائت مرکزی ایستگاه معیوب بوده و نیازمند تعمیر می‌باشد.

۳-۴-۵- ابزار لرزه‌نگاری

به منظور پایش رفتار دینامیکی سد دامغان سه دستگاه شتابنگار در نقاط مختلف بدنه و پی سد نصب شده است. این تجهیزات از نوع GEOSIG بوده و ساخت کشور سوئیس می‌باشد. این تجهیزات در گزارش با علامت اختصاری A نشان داده شده‌اند.

۳-۴-۶- ابزار اندازه‌گیری فشار پیزومتری

به جهت سنجش فشار آب منفذی در پی و بدنه سد از پیزومترهای مکانیکی (کاساگراند) استفاده شده است. تجهیزات نصب شده در دوره ساخت سد، از نوع ROCTEST و تجهیزات نصب شده اخیر از نوع SOIL می‌باشد. در زمان ساخت ۲۰ پیزومتر در نقاط مختلف و در ابزارگذاری تکمیلی ۵ پیزومتر دیگر نصب گردیده است. این تجهیزات با علامت اختصاری SP شناخته می‌شوند. در هر قرائت عمق رسیدن به تراز آب داخل پیزومترها توسط سوند اندازه‌گیری شده و با استفاده از تراز سر لوله به تراز آب تبدیل می‌گردد.

۳-۴-۷- ابزار اندازه‌گیری نشت

به منظور بررسی میزان نشت در نقاط مختلف سد دامغان از روش‌های مختلفی استفاده شده است. نشت‌های کوچک موجود در تکیه‌گاه چپ به صورت حجمی اندازه‌گیری می‌شود. مقدار دبی چاه‌های کاهش فشار در

پایین دست سد با استفاده از مقطع احداث شده در انتهای کانال خروج آب اندازه گیری می شود. میزان نشت کل در پایین دست نیز با استفاده از مولینه اندازه گیری می شود.

۳-۴-۸-چاه های مشاهده ای

جهت اندازه گیری تراز آب در تکیه گاه ها و پایین دست سد، تعداد ۴ حلقه چاه مشاهده ای در طی دوره ساخت و تعداد ۱۲ حلقه چاه دیگر در ابزار گذاری تکمیلی حفاری و تجهیز شده است. به منظور قرائت این چاه ها از تجهیزات و روش مشابه پیزومترهای کاساگراند استفاده می شود.

۳-۴-۹-ابزار اندازه گیری تغییر شکل های داخلی بدنه سد

به منظور سنجش تغییر شکل های بدنه سد شامل نشست و تغییر شکل های جانبی (انحراف) از تجهیزات نشست سنجی و انحراف سنجی استفاده شده است. مجموعاً تعداد ۹ لوله انحراف سنجی و نشست سنجی در سه مقطع از سد نصب شده است. این تجهیزات از نوع ROCTEST می باشد. نشست سنج ها از نوع مغناطیسی بوده و جهت اندازه گیری از پروب مخصوص استفاده شده و عمق صفحات مغناطیسی تعیین می گردد. با مقایسه مقادیر قرائت دوره های مختلف با قرائت صفر، مقدار نشست هر صفحه قابل محاسبه خواهد بود. به منظور انحراف سنجی نیز از پروب انحراف سنجی استفاده می شود. این پروب مقدار انحراف در دو راستای عمود بر هم (راستای شیارهای لوله انحراف سنجی) را در گام های ۵/۰ متری اندازه گیری می نماید. با محاسبه انحراف های تجمعی در هر قرائت شکل لوله به دست آمده و با مقایسه آن با قرائت صفر امکان محاسبه انحراف حاصل خواهد شد. در این گزارش تجهیزات انحراف سنجی و نشست سنجی با علامت اختصاری IS نشان داده شده و برای نتایج انحراف سنجی علامت اختصاری I و برای نشست سنجی علامت اختصاری S به کار رفته است.

۳-۴-۱۰-ابزار اندازه گیری تغییر شکل های سطحی بدنه سد

به منظور سنجش تغییر شکل های سطحی بدنه سد از نقاط نشانه میکروژئودزی استفاده شده است. در مجموع تعداد ۱۰ پیلار میکروژئودزی بر روی بدنه سد و ۱۱ پیلار میکروژئودزی در نقاط خارج از سد نصب شده و به

صورت دوره‌ای توسط شرکت‌های صاحب صلاحیت نقشه‌برداری قرائت و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. نتایج مطالعات میکروژئودزی مختصات دقیق نقاط نشانه را تعیین و مقادیر مطلق جابجایی آنها را با دقت بسیار زیاد محاسبه می‌نماید.

۳-۵- وضعیت کلی ابزارهای منصوبه در سد

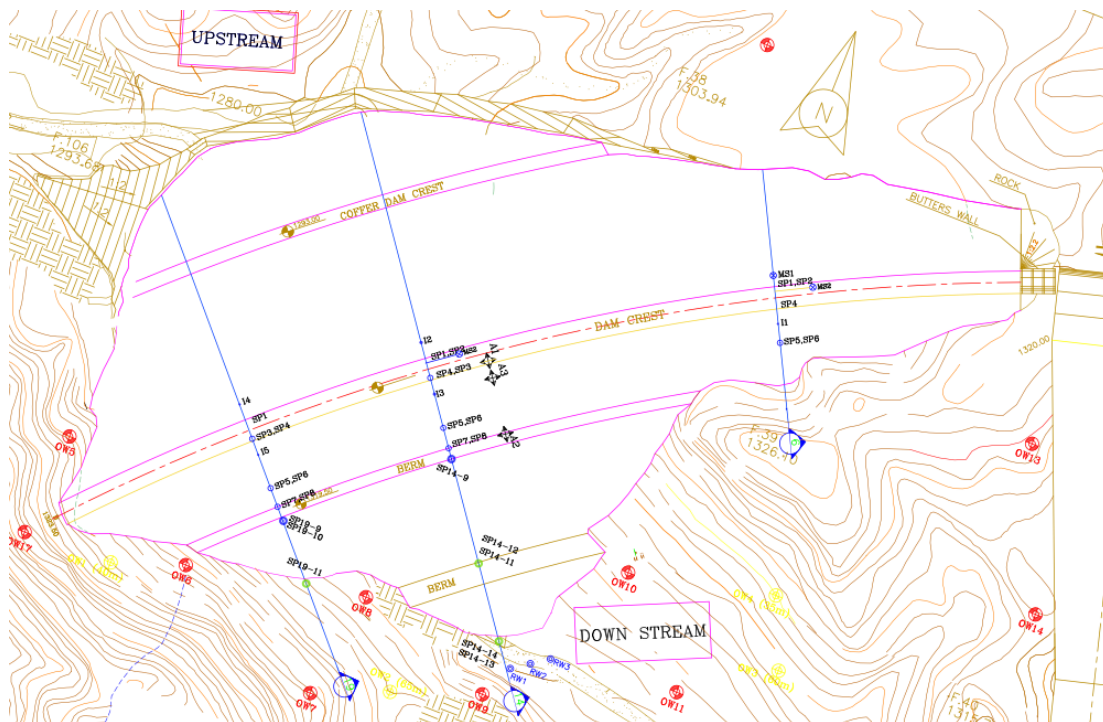
وضعیت کلی ابزار منصوبه در سد مطابق جدول ۳-۲ می‌باشد. چنان که دیده می‌شود، در سد دامغان مجموعاً ۱۱ گونه ابزار نصب شده است.

جدول ۳-۲ وضعیت کلی ابزارهای منصوبه در سد دامغان

نوع ابزار	علامت اختصاری	کارخانه سازنده	تعداد طراحی	تعداد نصب شده
اشل مخزن	-	-	۱	۱
تراز سنج دیجیتالی	-	-	۱	۱
ایستگاه هواشناسی	-	-	۱	۱
شتابنگار	A	GEOSIG	۳	۳
پیزومتر کاساگراند	SP	ROCTET/ SOIL	۲۵	۲۵
مانومتر	M	-	۷	۷
چاه مشاهده‌ای	OW	ROCTEST/ SOIL	۱۶	۱۶
انحراف سنج نشست سنج	IS	ROCTEST	۹	۹
پیلار میکروژئودزی	-	-	۲۱	۲۱

۳-۵-۱ موقعیت و مقاطع ابزارگذاری سد

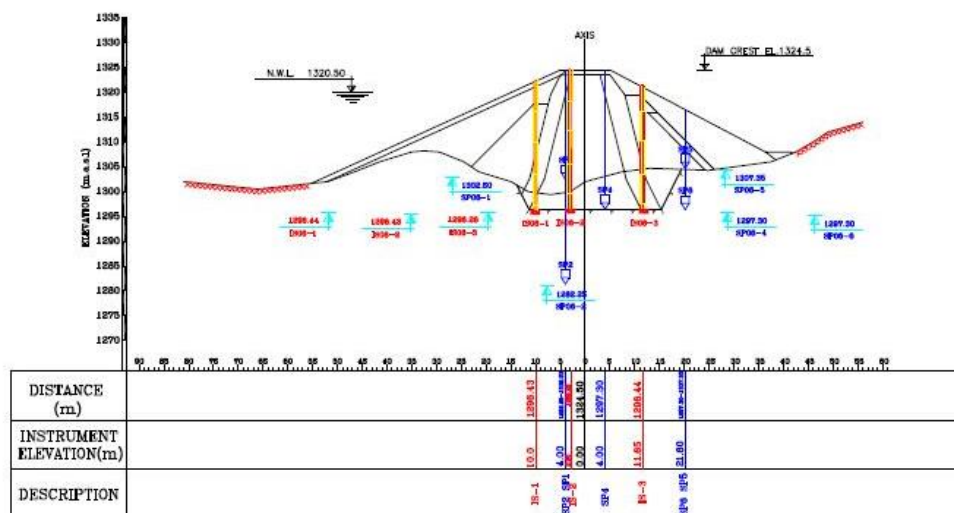
ابزارگذاری بدنه سد دامغان بر روی سه مقطع سد به انجام رسیده است. تصویر شماره ۳-۳ موقعیت مقاطع ابزارگذاری شده را بر روی پلان نشان داده است. این مقاطع به ترتیب از شرق به غرب شامل مقطع ۶، مقطع ۱۴ و مقطع ۱۹ می‌باشند. مقطع ۱۴ مقطع میانی سد بوده و مقاطع ۶ و ۱۹ به ترتیب در سمت چپ و راست واقع گردیده‌اند. در نقشه مورد اشاره همچنین موقعیت پیلارهای میکروژئودزی روی بدنه سد و شتابنگارها نیز ارائه شده است. شتابنگار A1 و A2 بر روی بدنه سد و شتابنگار A3 در انتهای کالورت انحراف قرار گرفته است. موقعیت ایستگاه هواشناسی در پایین‌دست سد و به فاصله تقریبی حدود ۸۰۰ متری آن می‌باشد.



شکل ۳-۳ پلان بدنه و موقعیت نصب ابزار

۳-۵-۲- مقاطع ابزارگذاری بدنه سد

در تصویر شماره ۴ تجهیزات نصب شده در مقطع ابزارگذاری ۶ را نشان داده شده است. جدول ۳-۳ نیز جزئیات ابزار منصوبه در مقطع ۶ را نشان می‌دهد. مقطع ۶ مجموعاً دارای ۵ پیزومتر مکانیکی و ۳ لوله انحراف / نشست سنجی می‌باشد. کلیه پیزومترهای مکانیکی در این مقطع به صورت مرتب اندازه‌گیری شده و داده‌های آن در دسترس می‌باشد. پیزومتر SP4 این مقطع از سال ۱۳۸۵ در تراز تقریبی ۱۳۰۰ متر دارای گرفتگی بوده و امکان ارسال سوند اندازه‌گیری به پایین‌تر از این تراز وجود ندارد. با این حال در صورت عدم شکستگی لوله پیزومتر، با توجه به این که در حال حاضر تراز آب این پیزومتر بالاتر از مقدار ذکر شده است، داده‌های اندازه‌گیری شده قابل استناد هستند.

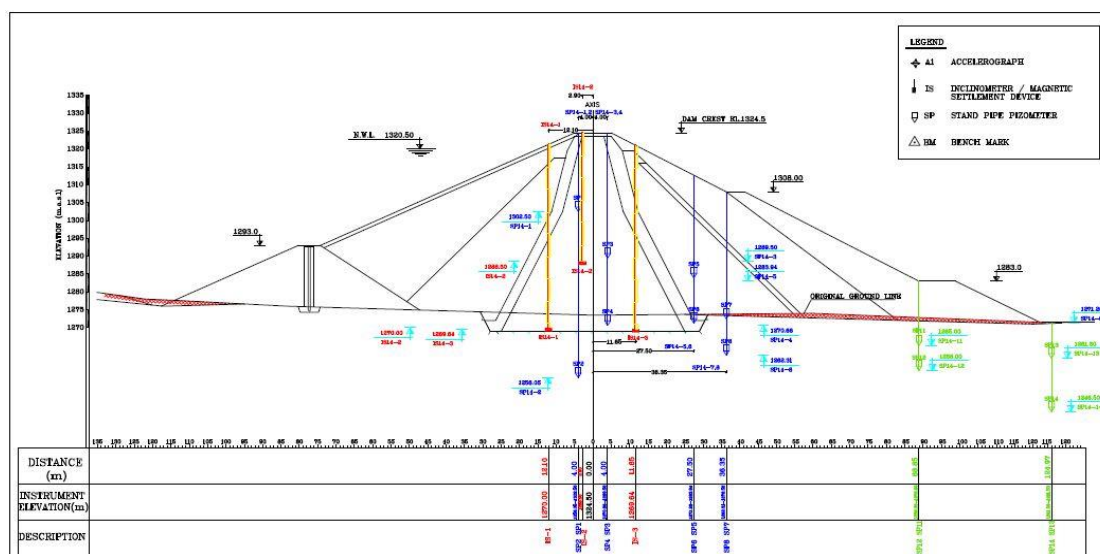


شکل ۳-۴ مقطع شماره ۶ سد دامغان

جدول ۳-۳ لیست و مشخصات ابزار نصب شده در مقطع ۶

شناسه	فاصله از محور	تراز ابتدا	تراز انتهای	تاریخ نصب
SP ₁	4.00U	1302.50	1324.719	1383
SP ₂	4.00U	1282.25	1324.720	1383
SP ₄	4.00D	1297.30	1324.708	1383
SP ₅	21.60D	1307.35	1315.986	1383
SP ₆	21.60D	1297.30	1315.976	1383
IS ₁	11.65D	1296.44	1320.127	1383
IS ₂	10.00U	1296.43	1322.310	1383
IS ₃	2.90U	1296.26	1324.652	1383

تصویر شماره (۳-۵) تجهیزات نصب شده در مقطع ابزارگذاری ۱۴ را نشان داده است. جدول (۳-۴) نیز جزئیات ابزار منصوبه در مقطع ۱۴ را نشان می‌دهد. مقطع ۱۴ مجموعاً دارای ۱۲ پیزومتر مکانیکی و ۳ لوله انحراف / نشست سنجی می‌باشد. ۴ پیزومتر مکانیکی در ابزارگذاری تکمیلی نصب شده‌اند.

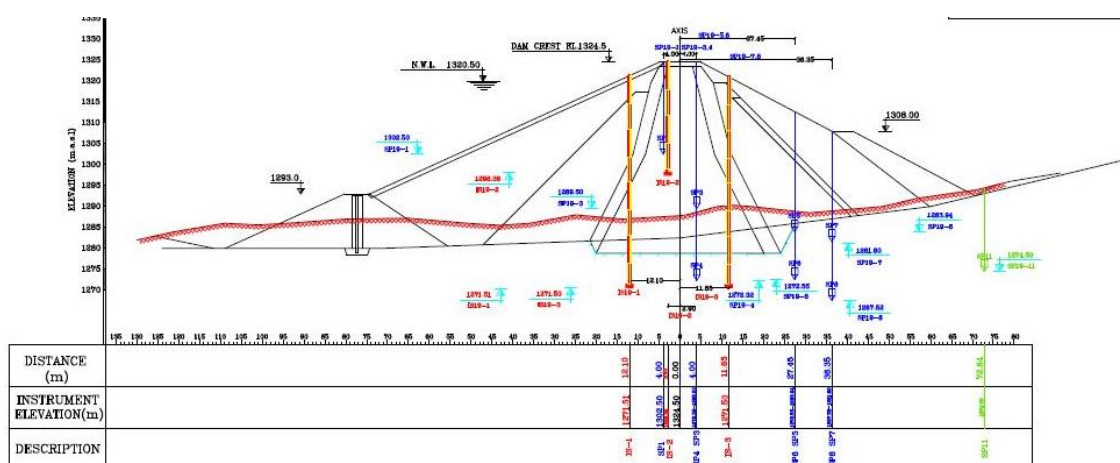


شکل ۳-۵ مقطع شماره ۱۴ سد دامغان

جدول ۳-۴ لیست و مشخصات ابزار نصب شده در مقطع ۱۴

شناسه	فاصله از محور	تراز ابتدا	تراز انتها	تاریخ نصب
SP ₁	4.00U	1302.50	1325.015	1383
SP ₂	4.00U	1256.05	1325.016	1383
SP ₃	4.00D	1289.50	1325.015	1383
SP ₄	4.00D	1270.66	1325.009	1383
SP ₅	27.50D	1283.94	1312.811	1383
SP ₆	27.50D	1271.26	1312.808	1383
SP ₇	36.35D	1272.52	1308.149	1383
SP ₈	36.35D	1262.31	1308.161	1383
SP ₁₁	88.85D	1265.00	1283.000	1390
SP ₁₂	88.85D	1258.00	1283.000	1390
SP ₁₃	124.97D	1261.50	1271.500	1390
SP ₁₄	124.97D	1246.50	1271.500	1390
IS ₁	12.10U	1270.00	1321.526	1383
IS ₂	2.90U	1288.50	1324.954	1383
IS ₃	11.65D	1269.64	1319.679	1383

تصویر شماره (۳-۶) تجهیزات نصب شده در مقطع ابزار گذاری ۱۹ را نشان داده است. جدول (۳-۵) نیز جزئیات ابزار منصوبه در مقطع ۱۹ را نشان می‌دهد. مقطع ۱۹ مجموعاً دارای ۸ پیزومتر مکانیکی و ۳ لوله انحراف / نشست سنجی می‌باشد. ۱ پیزومتر مکانیکی در ابزار گذاری تکمیلی نصب شده است.



شکل ۳-۶ مقطع شماره ۱۹ سد دامغان

جدول ۳-۵ لیست و مشخصات ابزار نصب شده در مقطع ۱۹

شناسه	فاصله از محور	تراز ابتدا	تراز انتهای	تاریخ نصب
SP1	4.00U	1302.50	1324.977	1383
SP3	4.00D	1289.50	1324.984	1383
SP4	4.00D	1272.32	1324.978	1383
SP5	27.50D	1283.94	1312.914	1383
SP6	27.45D	1272.55	1312.918	1383
SP7	36.35D	1281.60	1308.206	1383
SP8	36.35D	1267.52	1308.224	1383
SP11	72.84D	1274.50	1294.500	1390
IS1	12.10U	1271.51	1321.525	1383
IS2	2.90U	1298.36	1324.926	1383
IS3	11.65D	1271.50	1319.760	1383

۳-۶- بررسی روش‌های آنالیز پایداری

آنالیز کامپیوتری پایداری شیروانی در صورت مشخص بودن ابعاد شیروانی و مشخصات خاک، کاری آسان برای مهندسین می‌باشد. با اینحال انتخاب متد مناسب برای تحلیل پایداری کار سختی بوده و باید اطلاعات مربوط به شرایط صحرایی و مشاهدات گسیختگی جمع آوری گردد تا درکی صحیح از مکانیزم گسیختگی بدست آمده و در نهایت روش پایداری شیروانی مناسبی که باید در تحلیل استفاده شود تعیین گردد. از این رو برای آنالیز صحیح گسیختگی شیروانی و ارزیابی قابلیت اعتماد نتایج آنالیز، باید پیش زمینه تئوریکی هر نوع متد پایداری شیروانی مورد بررسی قرار گیرد.

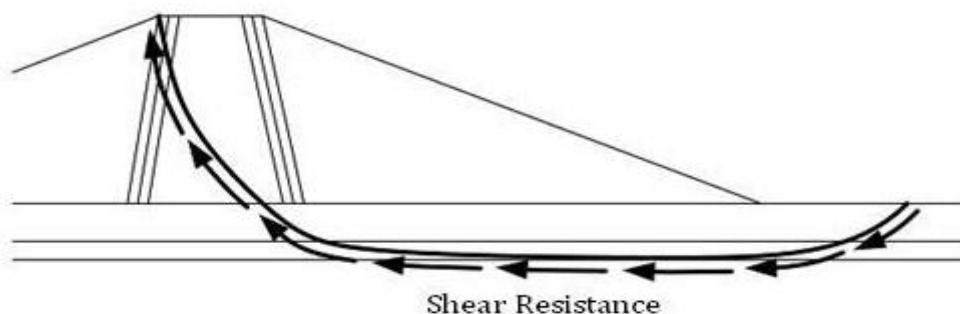
روشهای پایداری شیروانی دو بعدی به خاطر سادگی آنها معمولترین روشهایی می‌باشند که توسط مهندسین استفاده می‌شوند. با این حال این روشها بر اساس مفروضات ساده سازی می‌باشند که مسائل سه بعدی را تبدیل به مسائل دوبعدی می‌کنند. از این رو میزان صحت نتایج آنالیز روشهای مختلف تفاوت دارد.

همانطور که قبلاً اشاره شد روش‌های پایداری شیروانی دو بعدی که از تکنیک تعادل حدی استفاده می‌کنند را می‌توان به روش‌های قطعات و روش توده تقسیم بندی کرد. روش قطعات بر اساس آنالیز پایداری توده در حال لغزش می‌باشد که تعادل استاتیکی تک تک قطعات و تعادل کلی توده لغزش را در نظر می‌گیرد. تعادل استاتیکی قطعات را می‌توان با فرضیات مختلف بدست آورد که از آن جمله می‌توان به صرف نظر کردن و یا در نظر گرفتن نیروهای بین قطعه‌ای و تعادل لنگر قطعات اشاره کرد.

۷-۳- مبانی تحلیل پایداری شیروانی های خاکی

۷-۳-۱- روش رایج

روش رایج تحلیل پایداری شیروانی، تعادل توده خاک محصور بین سطوح لغزش بالقوه مفروض و سطح شیروانی را مورد بررسی قرار می‌دهد. نیروها و لنگرهایی که گرایش به ایجاد ناپایداری توده خاک را دارند با آنهایی که تمایل به مقاومت در مقابل لغزش دارند مقایسه می‌شوند. اغلب روش‌ها یک مقطع دو بعدی و شرایط کرنش مسطح را برای تحلیل فرض می‌کنند. مفروضات دیگر مربوط به سطح لغزش بالقوه نیز انجام می‌گیرند تا اینکه بحرانی‌ترین سطح (حداقل ضریب اطمینان) بدست آید. شکل ۷-۳ یک توده لغزش بالقوه را با سطح لغزش مربوطه نشان می‌دهد. 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 می‌باشد. 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.



شکل ۳-۷ شیب و سطح لغزش بالقوه (USACE, 2003)

۳-۷-۲- فاکتور اطمینان

روش‌های تحلیل معمول، پایداری شیروانی را با محاسبه یک ضریب اطمینان تعریف می‌کنند. ضریب اطمینان با لحاظ مقاومت برشی خاک به صورت نسبت مقاومت برشی موجود (S) به نیروی برشی مورد نیاز برای تعادل ($\square$) تعریف می‌شود.

$$F = \text{تنش برشی وارده} / \text{مقاومت برشی خاک} \quad (۳-۱)$$

تعریف فاکتور اطمینان به عنوان ضریبی از مقاومت برشی منطقی است زیرا مقاومت برشی اغلب به عنوان پارامتری مطرح است که میزان دقت مهندسی در مورد آن کم است. یک فرض قابل توجه در تحلیل پایداری شیروانی‌ها این است که رفتار تنش- کرنش خاک به صورت نرم شونده است، یعنی خاک یک منحنی تنش - کرنش مستقیم ندارد چون مقاومت برشی پس از رسیدن به حد ماکزیمم افت می‌کند. این محدودیت از این حقیقت ناشی می‌شود که روش‌های مزبور هیچ اطلاعاتی در مورد اندازه و نحوه تغییرات کرنش در سطح لغزش نمی‌دهند. در نتیجه اگر مقاومت برشی خاک در تحلیل را برای محدوده وسیعی از کرنش در نظر بگیریم هیچ تضمینی نیست که مقاومت ماکزیمم در تمام طول سطح لغزش ایجاد شود.

تعداد معادلات به کار رفته برای برقراری تعادل کمتر از تعداد مجهولات خواهد بود. در نتیجه از یک سری فرض‌های ساده کننده در تحلیل‌ها استفاده خواهد شد که به تجربه ثابت شده این فرضیات تأثیر زیادی بر مقادیر واقعی ضریب اطمینان ندارند. در حالتی که از فاکتور اطمینان نیروها استفاده شود مقدار آن تحت تأثیر جهت نیروهای بین قطعه‌ای خواهد بود که قاعداً این روشها از دقت کمتری برخوردار خواهد بود.

در حالیکه در بسیاری از روش‌های تحلیل شیب مقدار ضریب اطمینان ثابت فرض می‌شود. اما باید توجه کرد که در بسیاری از روش‌های تحلیل میانگین ضریب اطمینان در طول سطح متغیر فرض می‌شود. میزان صحت فاکتور اطمینان بستگی به دقت پارامترهای مساله دارد و حد پایین آن برای مسائل مختلف به نوع مساله، تجربه، پارامترها و مسائلی مانند میزان خسارت احتمالی ناشی از خرابی بستگی دارد.

۳-۷-۳- تأثیر مقاومت جانبی در تحلیل پایداری شیروانی‌ها

مهم‌ترین ویژگی روشهای تعادل حدی دو بعدی فرض شرایط کرنش مسطح و در نتیجه فرض سطح لغزش نامحدود می‌باشد. این فرض از آن نقطه نظر مهم می‌باشد که باعث کاهش مجهولات درگیر در آنالیز مثل برخی از نیروهای جانبی می‌شود و در نتیجه به طور چشمگیری باعث کاهش زمان آنالیز می‌شود. با این حال از آنجایی که تمام شیروانی‌های موجود در طبیعت دارای عرضی محدود می‌باشند انجام این ساده سازی با صرف نظر کردن از عرض توده لغزش نتایج آنالیز را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در عمل آنالیز دو بعدی شیروانی قابل قبول تر می‌باشد زیرا با صرف نظر کردن از برخی تأثیرات جانبی توده‌های لغزش سه بعدی در روش‌های تعادل حدی، منجر به فاکتور اطمینان کوچکتری می‌شود (Stark, et al., 1998) که این برای هریک از مراحل طراحی قابل قبول می‌باشد زیرا می‌تواند منتج به طرح‌های محافظه کارانه‌تری شود. البته باید توجه داشت که این محافظه کاری منجر به طرح‌های غیر اقتصادی نشود.

۳-۸- نرم افزار مورد استفاده برای آنالیز پایداری

امروزه آنالیزهای پایداری شیروانی را می‌توان با استفاده از نرم افزارهای متعدد ژئوتکنیکی کامپیوتری انجام داد. نرم افزارهایی که از فرمول‌های تعادل حدی استفاده می‌کنند برای سال‌های زیادی استفاده شده‌اند. یک معرفی خلاصه‌وار از ضوابط کار با این نرم افزارها که در این تحقیق نیز استفاده شده‌اند در ادامه ارائه می‌شود.

آنالیزهای پایداری شیروانی برای بدنه سد دامغان براساس تئوری عمومی تعادل حدی و به روش قطعات انجام شده است. در این فرمولاسیون ۴ معادله استاتیک به شرح زیر برای بدست آوردن ضریب اطمینان در مقابل لغزش استفاده می‌شود:

- جمع جبری نیروهای قائم در هر قطعه برای بدست آوردن نیروی نرمال در کف قطعه با نام N استفاده می‌شود.
- جمع جبری نیروهای افقی در هر قطعه برای بدست آوردن نیروی بین قطعه ای با نام E استفاده می‌شود.
- از لنگر گیری این نیروها حول یک نقطه برای تمام قطعات ضریب اطمینان تعادل لنگری، F_m بدست می‌آید.
- از تعادل این نیروهای در جهت افقی برای تمام قطعات ضریب اطمینان تعادل نیرو، F_f بدست می‌آید.

البته از حل همزمان مجموع این معادلات نمی‌توان به ضریب اطمینان رسید. فرض آخر، جهت نیروی بین قطعه‌ای E می‌باشد. بسته به فرضیات مختلف جهت نیروی بین قطعه ای، روشهای مختلف حل ایجاد شده است. با این فرض در واقع رابطه میان مولفه های نیروی بین قطعه ای تعریف می‌شود. برای مثال زمانی که برابر صفر است (نیروی برشی بین قطعات وجود ندارد) تعادل لنگرها ضریب اطمینان بروش بیشاپ ساده شده، Bishop Simplified method را بدست می‌دهد در حالیکه با همین فرض تعادل نیروها ضریب اطمینان بروش جانبو ساده شده، janbu Simplified method را بدست می‌دهد.

آنالیزهای تعادل حدی برای محاسبه ضرایب اطمینان در برابر لغزش با استفاده از نرمافزار SOLPE/W برای شیبهای شیروانی سد دامغان انجام شده است. این نرمافزار که توسط شرکت GEO-SLOPE International واقع در شهر کلگری ایالت آلبرتا در کشور کانادا تدوین شده و به طور گستره ای در سطح جهانی به کار گرفته شده است، قادر است مسایل پایداری شیب دو بعدی را به روش قطعات (قاچ ها) تجزیه و تحلیل نماید. برنامه حداقل ضریب اطمینان پایداری برای سطوح لغزش دایره ای و گوه ای و هم چنین سطوح لغزش نامنظم را به انتخاب کاربر به روشهای زیر محاسبه و گزارش می نماید :

» روش معمولی یا روش فلینیوس^{۱۱}

» روش بیشاپ ساده شده^{۱۲}

» روش جانبو ساده شده^{۱۳}

» روش اسپنسر^{۱۴}

» روش مورگنسترن - پرایس^{۱۵}

» روش مهندسين ارتش آمريكا^{۱۶}

» روش لو- کارافیات^{۱۷}

» روش تعادل حدی کلی شده^{۱۸}

» روش تنش اجزا محدود^{۱۹}

بسته به نوع آنالیز و انتخاب کاربر نیروهای در نظر گرفته شده در هر قطعه و سطح لغزش عبارتند از :

- وزن کل قطعه
- فشار کل قائم در کف قطعه
- مقاومت برشی خاک در کف قطعه
- نیروی افقی فشاری بین قطعه ای
- نیروی قائم برشی بین قطعه ای

- نیروی زلزله افقی در مرکز ثقل قطعه

- فشار آب خارجی روی قطعه

- نیروهای خارجی خطی در سطوح جانبی قطعه

مقاومت برشی خاک در کف قطعه با استفاده از فشار موثر خاک و معیار گسیختگی موهر-کلمب محاسبه می شود. نیروی زلزله با معرفی ضرایب افقی و قائم و جهت اعمال آن در محاسبات منظور می شود. امکان تاثیر دادن نیروی زلزله در محاسبه مقاومت برشی خاک در کف قطعه با استفاده از فشار موثر خاک وجود دارد.

فشار آب منفذی به سه شکل مختلف در برنامه امکان تعریف دارد :

فشار آب حفره ای متناظر با سطح پیزومتریک آب

فشار منفذی معلوم در نقاط

فشار آب منفذی اضافی به صورت کسری از فشار کل روبار $(\Delta u = r_u \cdot \gamma \cdot h)$ که در آن γ دانسیته کل خاک، h عمق نقطه مورد نظر و r_u ضریب فشار منفذی اضافی می باشد. برنامه قادر است هر سه حالت فوق را به صورت هم زمان یا انتخابی در نظر بگیرد.

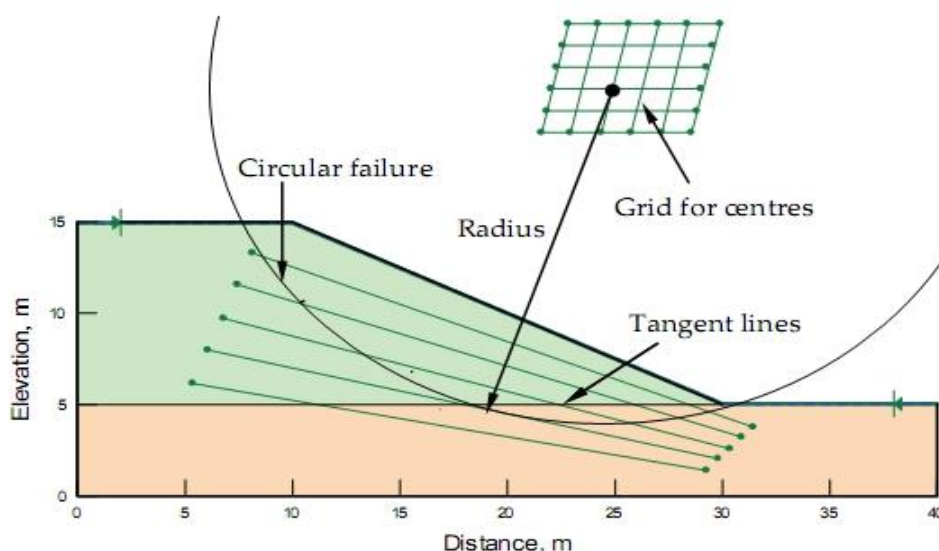
با قراردادن فشار آب حفره ای برابر با صفر و در نظر گرفتن پارامترهای مقاومت برشی برحسب تنش کل می توان تحلیل را در هریک از نواحی مصالح تشکیل دهنده مدل برحسب تنش کل انجام داد. برنامه دارای الگوریتم جامع برای محاسبه ضریب اطمینان برای سطوح لغزش مختلف و یافتن سطح لغزش با کمترین ضریب اطمینان می باشد.

11- Ordinary (or Fellenius) method 12- Bishop Simplified method 13- Janbu Simplified method
14- Spencer method 15- Morgenstern-Price method 16- Corps of Engineers method
17- Lowe-Karafiath method 18- Generalized Limit Equilibrium method 19- Finite Element Stress

۳-۹- نرم افزار : SLOPE/W

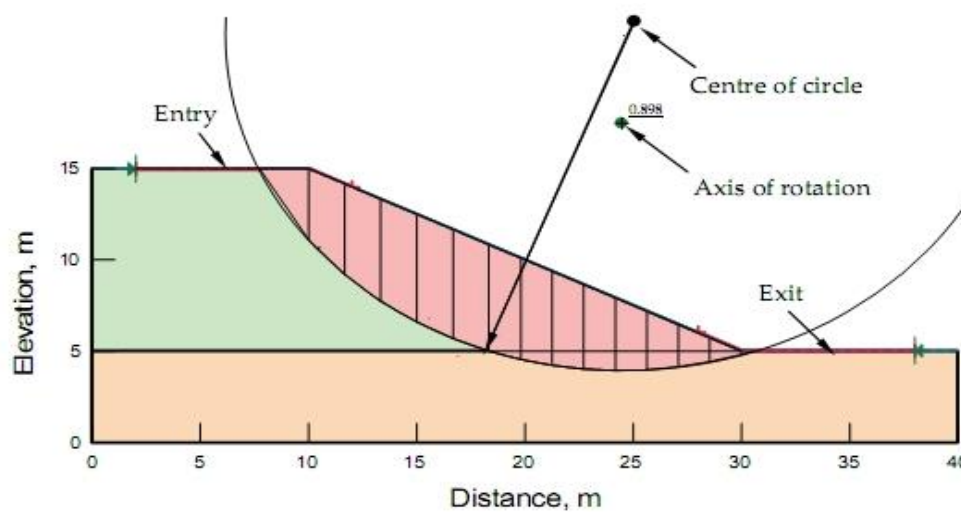
نرم افزار SLOPE/W توسط موسسه بین المللی GEO-SLOPE international, Ltd کشورکانادا ساخته شده و برای آنالیز پایداری شیب استفاده می‌شود. این نرم افزار بر پایه ضوابط و تئوری روش های تعادل حدی می‌باشد. این نرم افزار ضریب اطمینان را برای انواع سطوح لغزش اعم از دایروی، غیر دایروی و سطوح تعریف شده محاسبه می‌کند. روشهای محاسبه شبکه و شعاعی و ورودی و خروجی در ادامه بیان شده است.

گزیننه شبکه و شعاع: در این روش باید دو شبکه از نقاط مشخص شود. سطح لغزش در این حالت از سه قطعه خط تشکیل می‌شود. خط میانی سطح لغزش، از یکی از نقاط یک شبکه شروع می‌شود و به یکی از نقاط شبکه دیگر منتهی می‌شود، دو خط دیگر نیز با زاویه ای مشخص به سطح زمین می‌رسند. (شکل ۳-۸)



شکل ۳-۸ چگونگی روش شبکه و شعاع جهت مشخص نمودن سطح لغزش بحرانی

گزینه ورودی و خروجی: همانطور که در شکل (۳-۹) نشان داده شده است در این روش محل شروع و پایان سطح لغزش به نرم افزار معرفی می شود تا نرم افزار از بین سطوح لغزش محتمل، بحرانی ترین را انتخاب کند. بر خلاف روش شبکه و شعاع در این حالت مرکز دایره و نقطه تعادل لنگر یکسان نیستند.



شکل ۳-۹ چگونگی روش ورودی و خروجی جهت مشخص نمودن سطح لغزش بحرانی

۳-۱۰ هندسه و شبکه بندی

روش عددی اجزاء بدین نحو است که یک ساختار پیوسته به اجزای کوچکتر تقسیم شده و تعیین رفتار و یا عملکرد منحصر به فرد اجزاء بررسی و در نهایت با متصل کردن دوباره اجزاء به هم رفتار کلی جسم بیان می گردد. به این فرآیند تقسیم بندی اجسام به قسمت‌های کوچکتر، شبکه بندی (مش بندی) می‌گویند.

الگوهای المان بندی اجزاء محدود در نرم افزار Geostudio 2012

None: در صورت انتخاب این گزینه هیچ گونه المان بندی برای نواحی مختلف اعمال نمی شود. این گزینه به صورت پیش فرض برای Slope/w استفاده می شود چرا که زیرمجموعه Slope/w بر پایه تعادل حدی است و چون بر پایه اجزا محدود نمی باشد، بنابراین نیازی به المان بندی ندارد.

Quads & Triangles : در این حالت ابتدا المان های چهار ضلعی توسط نرم افزار ایجاد می شود سپس هر جا که ضرورت داشته باشد نرم افزار از المان بندی مثلثی برای دقت بیشتر استفاده می کند. از این نوع المان بندی برای نواحی مختلف با هر شکلی قابل استفاده است. نوع المان استفاده شده در این حالت، المان غیرساختار یافته است.

Triangles only : در این حالت از المان بندی غیر ساختار یافته مثلثی استفاده می شود، این نوع المان بندی برای نواحی مختلف با هر شکلی قابل استفاده است.

Rectangular Grid of Quads : در این حالت از المان های چهار ضلعی ساختار یافته استفاده می شود.

Triangular Grid of Quads/Triangles : این نوع ناحیه بندی بیشتر برای نواحی مثلثی شکل استفاده می شود. در این نوع المان بندی در بیشتر قسمت های ناحیه مثلثی شکل، از المان های چهارضلعی ساختار یافته استفاده می شود و در نواحی مجاور اضلاع مثلث، از المان بندی مثلثی استفاده می شود.

۳-۱۰-۱- مصالح و مشخصات آن ها

مشخصات خاک می تواند در حل معادلات اجزاء محدود و به دست آوردن جواب صحیح مهم می باشد. چه مواقعی حدس زدن تابع هدایت هیدرولیکی کافی است و در چه مواقعی می بایست به طور دقیق تابع معرفی کرد، این قسمت به این موارد می پردازد.

۳-۱۰-۲- مدل های رفتار خاک

مدل های مختلفی برای چهار مدل مختلف خاک در نرم افزار SEEP/W گنجانده شده است. خلاصه ای از این مدل ها و مشخصات مورد نیاز خاک در آن ها در زیر داده شده است.

تحلیل پایدار (ماندگار) Steady State Analysis

این نوع تحلیل به زمان وابسته نمی باشد و زمانی حاکم است که آبیگری مخزن سد به صورت کامل انجام شده و زمان کافی برای ایجاد تراوش پایدار از بدنه و پی سد وجود داشته باشد.

تحلیل بحرانی (غیر ماندگار) Transient Analysis

این نوع تحلیل به زمان وابسته می باشد و زمانی در سدهای خاکی انجام می شود که بخواهیم تراوش از بدنه سد را در حالتی بررسی کنیم که سد در حال آبیگری باشد و یا اینکه آبیگری مخزن به صورت کامل انجام شده و بخواهیم تراوش از بدنه سد را به هنگام تخلیه سریع مخزن سد، بررسی نماییم.

تحلیل انتقال گرما - Convective Heat Transfer (TEMP/W and SEEP/W)

این نوع تحلیل زمانی کاربرد دارد که بخواهیم از نتایج SEEP/W برای تحلیل انتقال گرما در TEMP/W استفاده کنیم.

تحلیل وابسته به چگالی - Density-Dependent Analysis (CTRAN/W and SEEP/W)

این نوع تحلیل زمانی کاربرد دارد که بخواهیم به صورت مشترک از SEEP/W و TEMP/W برای مسائل مربوط به انتقال آلودگی که به چگالی وابسته می باشند استفاده نماییم.

۱۱-۳- برنامه SLOPE/W

۱۱-۳-۱- تحلیل پایداری تعادل حدی برنامه SLOPE/W

تحلیل پایداری سازه های خاکی قدیمی ترین نوع تحلیل عددی در مهندسی ژئوتکنیک است. ایده تقسیم بندی توده لغزنده به تعدادی قطعات در ابتدا قرن بیستم مطرح شد که در آن سطح لغزنده بصورت دایره ای در نظر گرفته شد و توده لغزنده به تعدادی قطعات تقسیم شد. با ورود رایانه های الکترونیکی در سال ۱۹۶۰ این مکان بوجود آمد که خیلی ساده تر روش های تکرار بکار گرفته شوند

یکی از علت هایی که باعث شده روش تعادل حدی با میل بیشتر پذیرفته شود این است که حل ها می توانند توسط محاسبات دستی هم بدست آیند. فرضیات ساده کننده ای می بایست برای بدست آوردن حل ها پذیرفته شوند. اما مفهوم تقسیم عددی حجم بزرگ تر به قطعات کوچکتر برای اهداف تحلیل در آن زمان نسبتاً جدید بود. حتی تا به امروز تحلیل پایداری به مراتب معمول ترین نوع تحلیل عددی در مهندسی ژئوتکنیک است. به همین خاطر بدیهی است که پایداری، یک موضوع کلیدی در هر پروژه ای است.

تکنیک های حل خیلی متفاوتی از روش قطعات در سالهای گذشته توسعه یافته اند. اساساً همه آنها خیلی ساده اند، اختلاف بین روشها این است که چه معادلاتی از استاتیک و نیروهای بین قطعات در نظر گرفته و ارضا می شوند و اینکه روابط بین نیروی برشی و نرمال بین قطعات چقدر فرض می شوند.

بعد ها رایانه ها این امکان را ایجاد کردند که روش های تکرار را خیلی باسانی بطور ماندگار در روش های تعادل حدی بکار گیرند و این خود به فرمول بندی های خیلی سخت ریاضی منجر شد که در آن تمامی نیروهای بین قطعات در نظر گرفته می شد و تمامی معادلات استاتیک ارضا می شدند. جدول ۳-۶ روش های تعادل حدی موجود در برنامه SLOPE/W را ارائه می کند و نشان می دهد که چه معادلاتی از استاتیک برای هر یک از این روشها ارضا می شوند.

جدول ۳-۶ روشهای تعادل حدی موجود در برنامه slope/w و معادلات استاتیک مربوطه

Method	Moment Equilibrium	Force Equilibrium
Ordinary or Fellenius	Yes	No
Bishop's Simplified	Yes	No
Janbu's Simplified	No	Yes
Spencer	Yes	Yes
Morgenstern-Price	Yes	Yes
Corps of Engineers – 1	No	Yes
Corps of Engineers – 2	No	Yes
Lowe-Karafiath	No	Yes
Janbu Generalized	Yes (by slice)	Yes
Sarma – vertical slices	Yes	Yes

۳-۱۱-۲- ضریب پایداری برنامه SLOPE/W

ضریب اطمینان بدست آمده به کمک روش های تعادل حدی همان طور که تعریف شد، ضریبی است که مقاومت برشی خاک می بایست کاهش یابد تا اینکه توده خاک را به درون حالت حدی در امتداد سطح لغزنده انتخاب شده بیاورد. از این گذشته بخاطر ماهیت روش دو فرضیه زیر نسبت به ضریب اطمینان ایجاد می شود:

- ضریب اطمینان بخش چسبنده و بخش اصطکاکی مقاومت در همه جای توده خاک لغزنده یکسان است.

- ضریب اطمینان برای تمامی قطعات یکسان است.

۳-۱۲- فشار های آب حفره ای ایجاد شده برنامه Seep/w برای تحلیل پایداری در برنامه

Slope/w (نتایج برنامه Seep/w در برنامه Slope/w) :

هدف از این ترکیب چگونگی استفاده از نتایج فشار آب حفره ای روش اجزاء محدود برای تحلیل پایداری است . استفاده از برنامه اجزاء محدود Seep/w فشارهای آب منفذی را تخمین می‌زند و به برنامه Slope/w کمک می‌کند که شرایط اشباع و نیمه اشباع نامنظم و یا شرایط فشار آب حفره ای ناپایدار را برای آنالیز پایداری بررسی کند. از تحلیل حالت ناپایدار و گذرا، شرایط فشار آب حفره در نقاط مختلف و در هر زمانی بدست می‌آید. با استفاده از نتایج فشار آب حفره ای در زمان های مختلف، برای برنامه Slope/w امکانی ایجاد می‌شود که تغییرات در پایداری را باگذشت زمان بررسی کند.

فصل چہارم

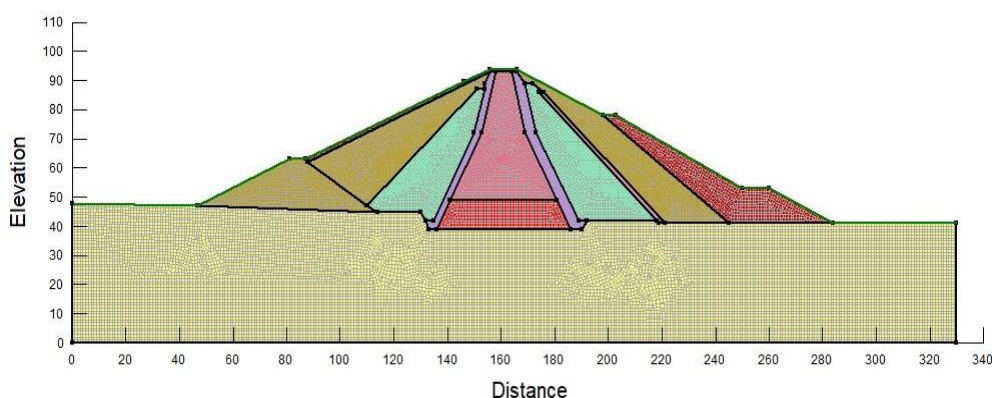
نتائج و بحث

۴-۱- مقدمه

امروزه روش مدلسازی عددی به علت دقت بالای آن در اکثر علوم به طور گسترده به کار می‌رود. در این روش محقق سعی بر این دارد تا مطالعات خود را با استفاده از نرم افزارهای شبیه ساز و با کاربری از کامپیوتر تحت کنترل قرار دهد. مدلسازی عددی به محقق اجازه می‌دهد تا تکامل پدیده‌هایی که در طبیعت نیازمند صرف زمانی طولانی است و کنترل آن از دست انسان خارج می‌باشد را با استفاده از نرم افزارهای مدلساز مطالعه نماید و در نتیجه تا اندازه قابل ملاحظه‌ای در صرف وقت و هزینه‌ها صرفه جویی خواهد شد و نتایج دقت بیشتری خواهند داشت.

۴-۲- مدلسازی سد مورد مطالعه

همانطور که قبلاً نیز ذکر شد هدف از این تحقیق بررسی مساله تخلیه سریع با مطالعه موردی سد دامغان می‌باشد. برای انجام این امر ابتدا هندسه سد دامغان با مشخصات ارائه شده توسط سازمان آب در محیط نرم افزار Geo-Studio مدلسازی گردید و مورد تحلیل قرار گرفت. سد مدلسازی شده و مش بندی انجام شده در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

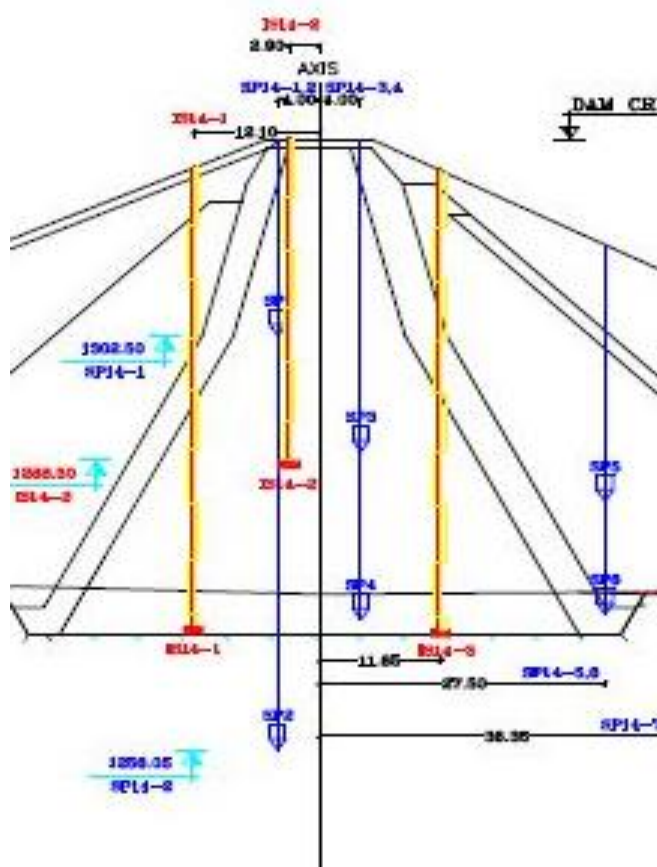


شکل ۴-۱ هندسه و مش بندی مدل

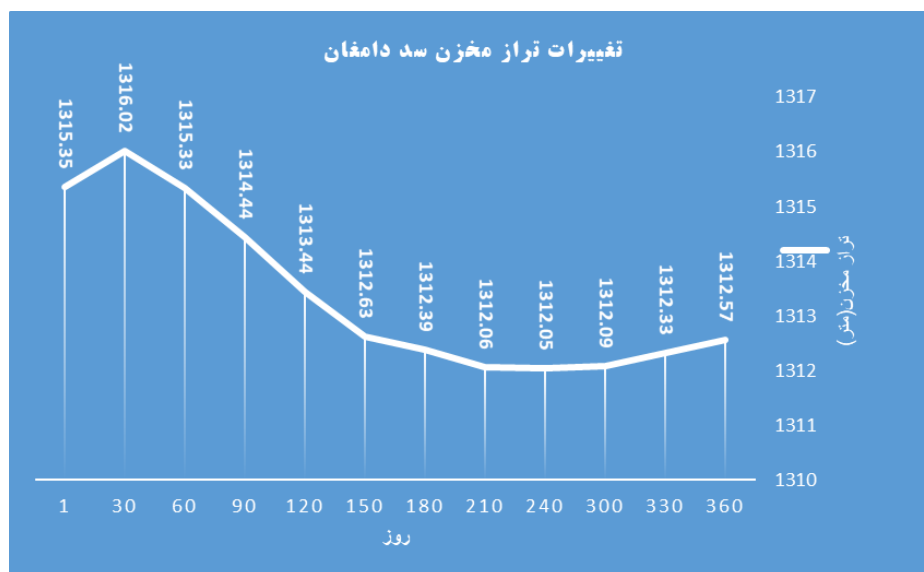
با مقایسه خروجی‌های نرم افزار با اطلاعات ابزار دقیق تفاوت بسیار جزئی بین مدل عددی و ابزار دقیق مشاهده گردید که برای ایجاد یک مدل واقعی، از روش تحلیل برگشتی استفاده شد و مدل عددی توسط اطلاعات ابزار دقیق کالیبره گردید.

۴-۳- کالیبره کردن و صحت سنجی نرم افزار توسط اطلاعات ابزار دقیق

جهت کالیبره کردن مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط پیزومترهای لوله ایستاده SP1, SP2 (شکل ۴-۲) نصب شده در مقطع ۱۴ سد استفاده گردیده است. بیشترین تغییرات این پیزومترها در سال ۹۶ بوده که در آن سال مخزن با سرعت نسبتاً بالا تخلیه شده است، شکل ۴-۳ تغییرات سطح آب مخزن را در آن سال نشان می‌دهد که از اواخر اردیبهشت ماه تا اوایل آذر ماه تراز مخزن به میزان ۴ متر در طی ۱۸۰ روز افت نموده است که بطور متوسط حدود ۲/۳ سانتیمتر در هر روز افت سطح آب مخزن بوده است.

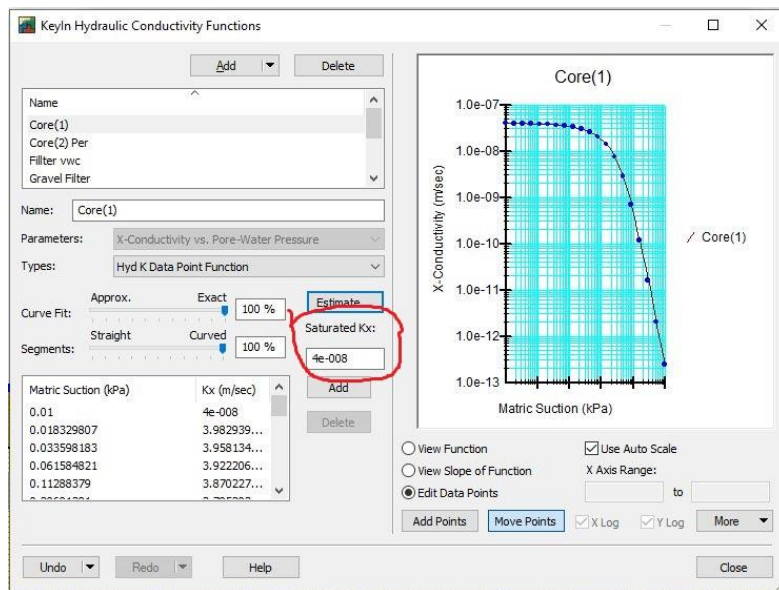


شکل ۴-۲ موقعیت قرارگیری پیزومترهای مقطع ۱۴-۱۴ در داخل هسته

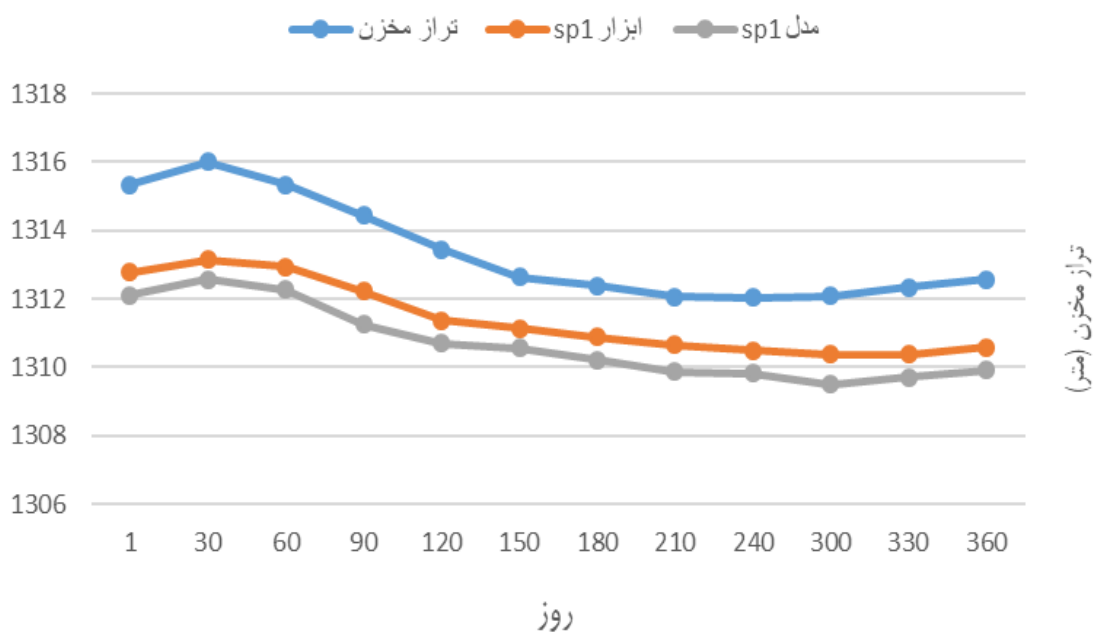


شکل ۴-۳ نمودار تغییرات سطح تراز آب دریاچه سد دامغان در سال ۹۶

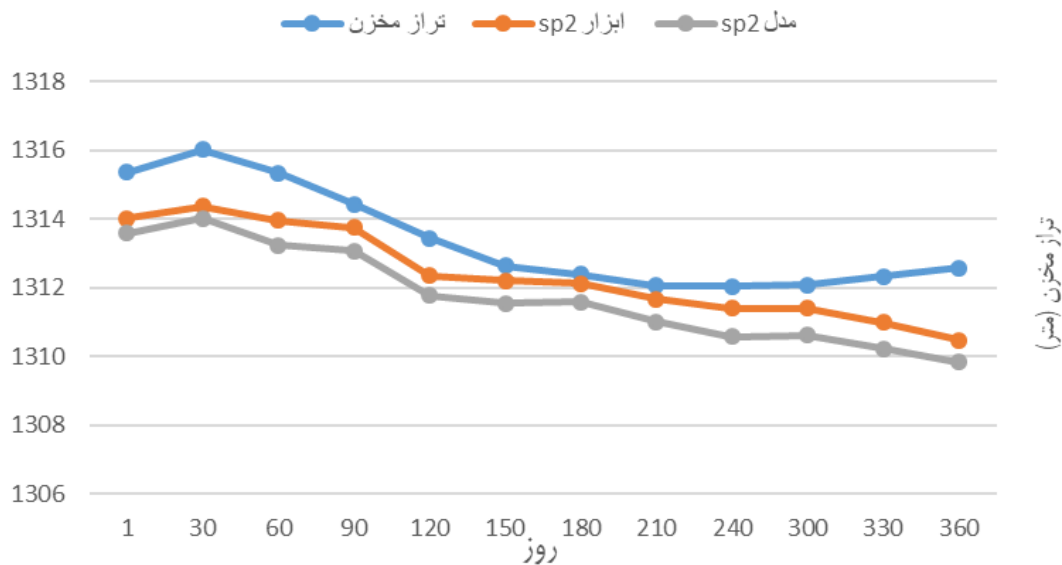
در این تحلیل به منظور کاهش اختلاف نتایج ابزار دقیق و مدل عددی پارامتر هدایت هیدرولیکی هسته رسی در محدوده 1×10^{-8} تا 1×10^{-9} تغییر داده شد تا در نهایت مدل توانست به خوبی سطح آب را در پیزومترهای SP1, SP2 با ضریب 4×10^{-8} مدلسازی کند. شکل ۴-۳ نحوه ورود ضریب هدایت هیدرولیکی مصالح به مدل را در نرم افزار seep/w نشان می دهد. نتایج بدست آمده از تراز آب در پیزومترهای SP1, SP2 و نتایج حاصل از نرم افزار پس از کالیبره شدن نسبت به تغییرات تراز مخزن در شکل های ۴-۵ و ۴-۶ ارائه شده است .



شکل ۴-۴ نحوه ورود ضریب هدایت هیدرولیکی مصالح به مدل



شکل ۴-۵ نمودار سطح آب پیزومتر SP14-1 مدل عددی کالیبره شده با اطلاعات ابزار دقیق



شکل ۴-۶ نمودار سطح آب پیژومتر SP14-2 مدل عددی کالیبره شده با اطلاعات ابزار دقیق

۴-۴- تجزیه و تحلیل خروجی‌های مدل عددی

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد مدلسازی انجام گرفت و مدل بدست آمده تحت بارگذاری‌های مختلف هیدرولیکی و حالات متفاوت توسط نرم افزار Geostudio، نسخه ۲۰۱۲ مورد تحلیل قرار گرفت که در ادامه این فصل تحلیل کاملی بر روی خروجی‌های حاصله انجام می‌گیرد.

۴-۴-۱- تحلیل تراوش پایدار از بدنه و پی سد (SEEP/W -Steady State)

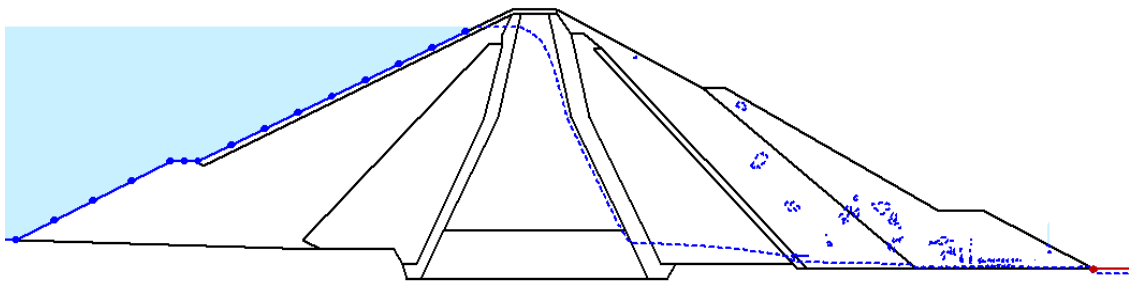
در سدهای خاکی بعد از آبیگری و در طول بهره برداری سد مسیرهای جریان حالت پایدار (Steady State) پیدا می نمایند و تا وقتی که سطح مخزن در یک تراز ثابت بماند مسیرهای جریان نیز ثابت خواهند بود. در صورتیکه تراز آب در مخزن سد به حداکثر مقدار خود برسد بیشترین دبی خروجی از بدنه سد و پی آن وجود خواهد داشت. آنچه که در تراوش آب از بدنه سد و پی آن حائز اهمیت است دبی خروجی از بدنه و پی سد و گرا دیان‌های هیدرولیکی ایجاد شده در هسته و پی سد می باشد که بمنظور پیش بینی این موارد در سد از آنالیزهای المان محدود استفاده شده است.

۴-۴-۲- مدلسازی تراوش سد به منظور بررسی پارامترهای زیر انجام شد که نتایج آن در ادامه آمده است:

- تعیین وضعیت خط فریاتیک در بدنه سد
- تعیین خطوط هم پتانسیل و خطوط جریان در بدنه و پی
- محاسبه دبی خروجی از بدنه
- محاسبه ضریب اطمینان پایداری شیروانی های پایین دست و بالادست در حالت استاتیک و شبه استاتیک (زلزله)

۴-۴-۳- تعیین وضعیت خط فریاتیک در بدنه سد

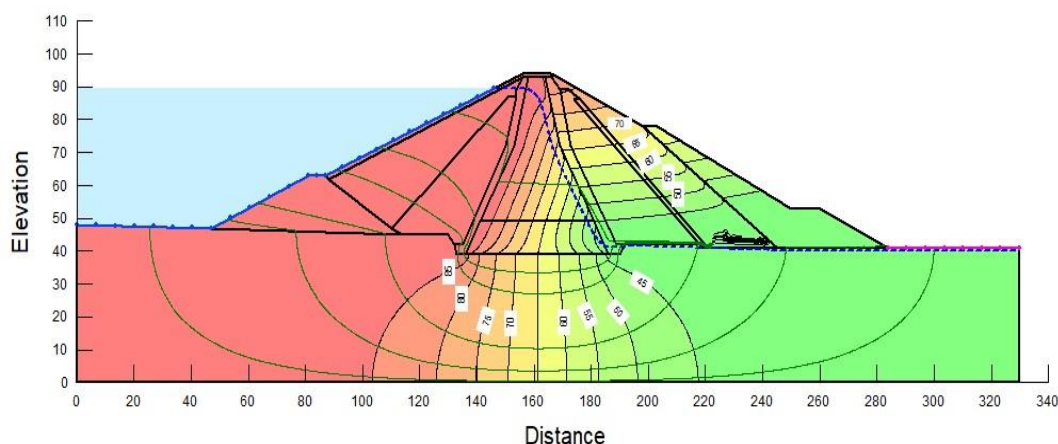
مسیر زه آزاد یا سطح فریاتیک سطحی است که در زیر این سطح فشار آب مثبت است و بالای این سطح، منطقه آب موئینگی و با فشار منفذی منفی قرار دارد. این مسیر بالاترین مسیر جریان در بدنه سد خاکی می باشد. در شکل ۴-۷ موقعیت خط فریاتیک در بدنه سد با احتساب تراز نرمال آب مخزن، توسط نرم افزار محاسبه گردیده است. همانطور که در شکل ۴-۷ ملاحظه می شود خط فریاتیک بلافاصله پس از عبور از هسته به فیلتر پایین دست رسیده است که علت این امر نیز بالا بودن تراز آب مخزن می باشد، همچنین چون در قسمت بالای هسته، عرض هسته کم می باشد در نتیجه امکان افت قابل توجه برای خط فریاتیک فراهم نیست.



شکل ۴-۷ موقعیت خط فریاتیک در بدنه و داخل هسته سد دامغان

۴-۴-۴- تعیین خطوط هم پتانسیل و خطوط جریان در بدنه و پی

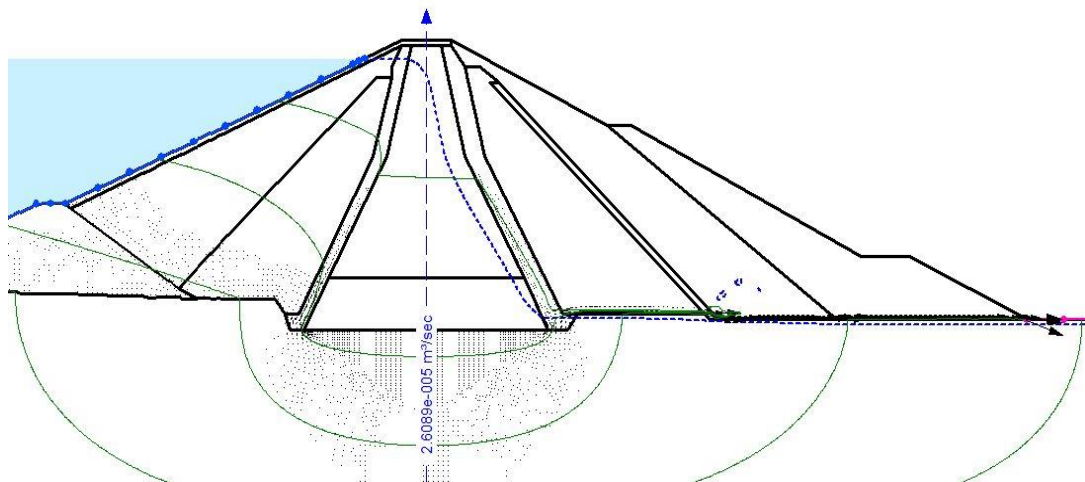
مسیرهای جریان و خطوط هم پتانسیل حاصل از آنالیز تراوش نیز در شکل ۸-۴ آمده است که طبق معمول عمود بر هم می باشند.



شکل ۸-۴ مسیرهای جریان و خطوط هم پتانسیل حاصل از آنالیز تراوش

۴-۴-۵- محاسبه دبی خروجی از بدنه سد

خروجی آب از بدنه سد در شکل آمده است و همانطور که ملاحظه می شود مجموع کل خروجی جریان از بدنه سد در مقطع ۱۴-۱۴ به ارتفاع ۵۴ متر 0.026 لیتر بر ثانیه خواهد بود. عبارت دیگر دبی کل نشت از بدنه سد به مقدار $6/5$ لیتر بر ثانیه برآورد شده است. همچنین همانگونه که در شکل ۹-۴ مشخص است اندازه پیکان های نشانگر اندازه جریان عبوری از خاک در قسمت زهکش بسیار بزرگتر از بقیه قسمت های سد می باشد که عملکرد صحیح زهکش را بیان می کند و جریان اصلی به داخل زهکش هدایت می شود.



شکل ۴-۹ دبی خروجی از بدنه سد

۴-۵- مقاطع عرضی بحرانی آنالیزهای پایداری شیب

آنالیزهای پایداری شیروانی برای بدنه سد دامغان براساس تئوری عمومی تعادل حدی و به روش قطعات انجام شده است. در انتخاب مقطع یا مقاطع بحرانی معیارهای مشخصی وجود دارد که بر اساس تجربیات حاصل از لغزش شیروانیهای مختلف و آنالیزهای عددی متناظر آنها تعیین شده اند که از آن جمله می توان به معیارهای زیر اشاره کرد:

- مقطعی از سد که در آن مقاطع ، ارتفاع سد بیشترین مقدار است.
- مقطعی از سد که روی پی های ضعیف تر قرار دارند.

بدیهی است تک تک عوامل فوق نقش تعیین کننده ای در نتایج تحلیلهای پایداری شیب شیروانیها و مقدار ضرایب اطمینان متناظر دارد و به تبع آن تعیین کننده مقدار شیب پایدار بدنه سد و لزوم یا عدم لزوم استفاده از برمه های پایدار کننده و همچنین ترکیب نواحی مختلف بدنه سد می باشد.

بر پایه عوامل فوق، جهت کنترل پایداری شیب شیروانی های بدنه سد دامغان، مقطع شماره ۱۴ بدنه سد که در بین مقاطع نصب ابزار دقیق دارای بیشترین ارتفاع بدنه بوده و از سوی دیگر دارای اطلاعات سطح آب بیشتری از نتایج ابزار دقیق می باشد انتخاب شده و مورد تحلیل قرار می گیرد.

۴-۵-۱- پارامترهای مصالح

پارامترهای دانسیته و مقاومت برشی مصالح که در آنالیزهای پایداری شیب به کار رفته است در جدول شماره (۴-۱) ملاحظه می گردد. مقادیر این پارامترها از گزارش طراحی بدنه سد در مطالعات مرحله دوم مهندسین مشاور لار استخراج شده است.

جدول ۴-۱ پارامترهای مصالح در آنالیز پایداری شیب

شماره ناحیه	نوع مصالح	دانسیته مرطوب (kN/m ³)	دانسیته اشباع (kN/m ³)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	چسبندگی (kPa)
۱	هسته فوقانی	۲۰	۲۱	۲۶	۳۰
۲	هسته تحتانی	۱۹	۲۰	۲۲	۱۰
۳	فیلترها	۱۹	۲۰	۳۵	۰
۴	پوسته تراسی	۲۱	۲۲	۳۷	۰
۵A	پوسته سنگریز معمولی d<10 m	۲۰	۲۲	۴۵	۰
۵B	پوسته سنگریز معمولی d>10 m	۲۰	۲۲	۴۳	۰
۶	پوسته سنگریز درشت دانه	۱۸	۲۲	۴۵	۰
۷	پی کنگلومرای	۲۳	۲۴	۳۵	۰

۴-۵-۲- حالت بارگذاری و ضرایب اطمینان مجاز

آنالیزهای پایداری شیب بدنه سد دامغان با توجه به شرایط موجود، بر اساس مقادیر پارامترهای دوران های مختلف انجام و وضعیت ایمنی پایداری ، بر مبنای حداقل ضریب اطمینان پایداری مطابق با جدول شماره (۲-۴) مورد ارزیابی واقع شده است.

برای بارگذاری استاتیکی از ضرایب اطمینان مجاز پیشنهادی توسط US Army Corps of engineers, 1970 ، USBR,1987 استفاده شده است.

جدول ۲-۴ حالات بارگذاری و حداقل ضرایب اطمینان مورد نیاز

ردیف	حالات بارگذاری	شیب مورد تحلیل	حداقل ضریب اطمینان مورد نیاز
۱	خاتمه ساخت	بالادست و پایین دست	۱.۳ ، ۱.۴*
۲	تخلیه سریع مخزن	بالادست	۱.۲
۳	مخزن نیمه پر با تراوش پایدار	بالادست	۱.۵
۴	مخزن پر و تراوش پایدار	پایین دست	۱.۵
۵	وقوع زمین لرزه برای حالات ۱،۳،۴	بالادست و پایین دست	۱.۰**

* برای سد بر روی پی ضعیف

** بین ۱/۱ تا ۱/۱۵ در صورتیکه افت مقاومت مصالح حین زمین لرزه در اثر ایجاد فشار منفذی اضافی در نظر گرفته شود .

در این آنالیزها پایداری سد در شرایط وقوع زمین‌لرزه به روش شبه استاتیکی بررسی گردیده است. در این راستا آنالیز پایداری شیب به روش تعادل حدی انجام گردیده و اثر زلزله توسط نیروی افقی که بر مرکز ثقل هر قطعه (قاچ) وارد می‌آید شبیه‌سازی می‌شود. این نیروی افقی با اعمال ضریب زلزله بر وزن کل قطعه محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر در تحلیل کسری از شتاب ثقل بعنوان نیروی اینرسی معادل زلزله در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که حین زلزله جابجایی شیب‌های یک سد خاکی تا حدی قابل قبول می‌باشد، اعمال ضریب زلزله معادل با زلزله ورودی منجر به طراحی شیبی خواهد شد که حین زلزله هیچ حرکت و تغییر مکانی نخواهد داشت که امری غیرضروری و بسیار محافظه‌کارانه است. لذا در این عمل می‌توان مقداری حرکت شیب و در نتیجه جابجایی و تغییر مکان در بدنه سد را قابل قبول دانست و متناسب با آن ضریب زلزله را کاهش داد. انتخاب ضریب زلزله مؤثر با توجه به بزرگی و شتاب حداکثر زمین‌لرزه قابل انتظار در ساختگاه سد صورت می‌پذیرد. در بسیاری از کشورها برای انتخاب ضریب زلزله در طراحی سدها، نقشه‌های پهنه‌بندی و مقادیر آئین‌نامه‌ای توصیه شده است.

با توجه به نتایج گزارش لرزه‌خیزی طرح و بر طبق توصیه‌های گروه مهندسين ارتش آمریکا، از ضریب زلزله افقی $0/2$ در آنالیزهای شبه استاتیکی استفاده شده و به دلیل اثر کم ضریب زلزله قائم از اعمال آن صرف نظر شده است. کلیه آنالیزهای پایداری با فرض پارامترهای مقاومت برشی یکسان با حالت استاتیکی متناظر انجام شده است. سطح پیرومتریک در بدنه سد مشابه با حالات استاتیکی در نظر گرفته شده است.

۴-۵-۳- نتایج آنالیز در بارگذاری استاتیکی

طی بهره برداری سالیانه از مخزن، سطح آب مخزن بین رقوم نرمال و رقوم حداقل تغییر می‌کند. در صورتیکه مخزن مدت قابل توجهی در هر یک از رقومها باقی بماند شرایط تراوش پایدار در رقوم مورد نظر فراهم خواهد شد. به ازای رقوم خاصی از مخزن نیروهای محرک (عمدتاً وزن خاک) حداکثر گردیده و نیروهای مقاوم (مقاومت برشی و فشار آب بر شیروانی بالادست سد) در مقایسه با نیروهای محرک حداقل می‌گردند. در این شرایط شیب بالادست دارای حداقل ضریب اطمینان خواهد بود. به منظور تعیین حداقل ضریب اطمینان پایداری شیب بالادست آنالیز با فرض تراوش پایدار از رقوم‌های مختلف مخزن انجام شده است.

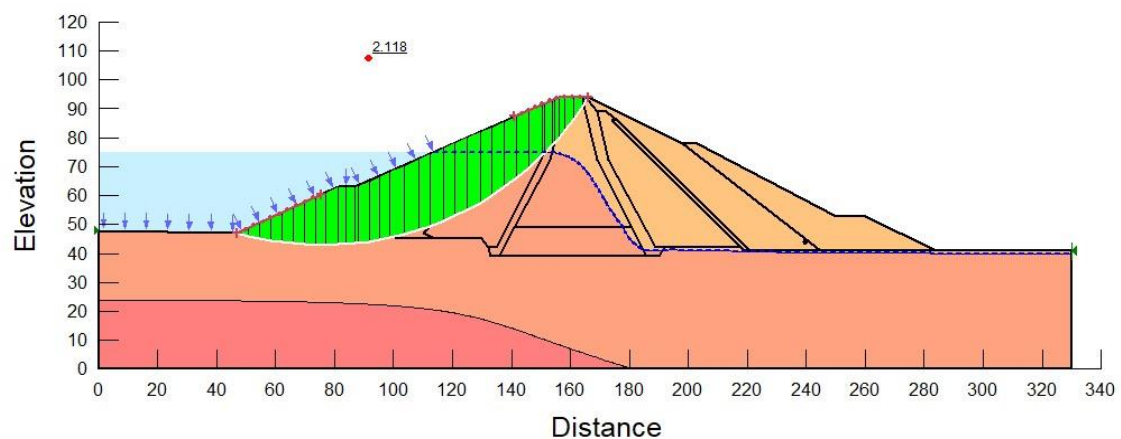
آنالیزهای پایداری شیروانی ها با در نظر گرفتن صفحات دایره ای در مقاطع مختلف و برای سطوح متفاوت آب با استفاده از نرم افزار SLOPE/W در مخزن انجام یافته و ضرایب اطمینان بدست آمده طبق جدول شماره ۳-۴ می باشد.

جدول ۳-۴ نتایج حاصل از آنالیز پایداری با نرم افزار SLOPE/W

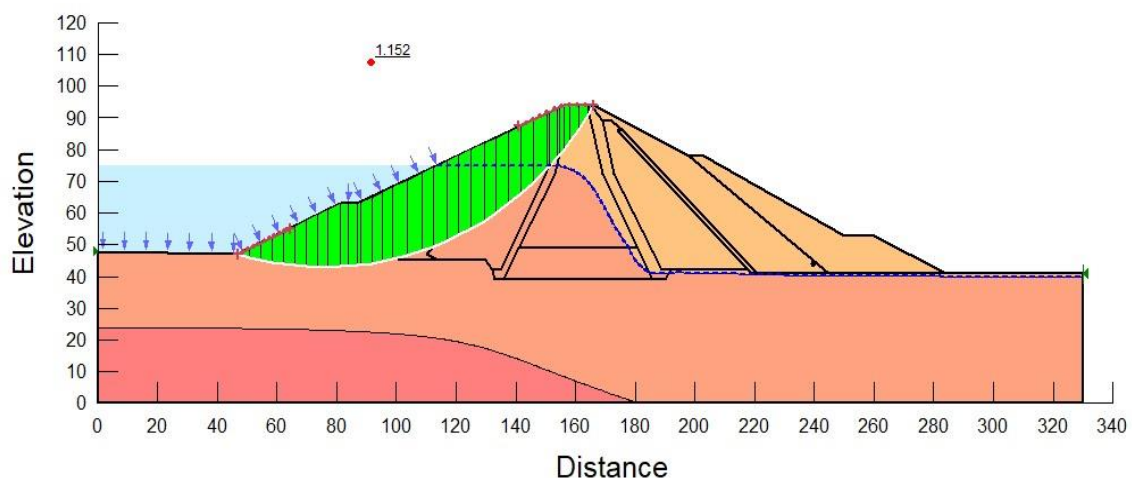
شیب مورد آنالیز	شرایط آنالیز	خاتمه ساخت	تخلیه سریع	مخزن نیمه پر و تراوش پایدار	مخزن پر و تراوش پایدار
بالا دست	استاتیک	۲/۳۱۴	--	۲/۱۱۸	۲/۳۲۳
	شبه استاتیک	۱/۴۳۸	--	۱/۱۵۲	۱/۰۶۵
پایین دست	استاتیک	۲/۱۱۵	--	۲/۱۳۶	۲/۱۱۲
	شبه استاتیک	۱/۳۴۷	--	۱/۳۷۸	۱/۳۶۵

۴-۵-۴- ضرایب اطمینان شیروانی بالادست در حالت مخزن نیمه پر و تراوش پایدار (SLOPE/W)

در حالت مخزن نیمه پر و تراوش پایدار گروه مهندسین ارتش آمریکا (U.S. CORPS OF ENGS) حداقل ضریب اطمینان لازم را برابر $F=1/5$ ارائه نموده است. آنالیزهای پایداری ضریب اطمینان را برای بالادست حالت استاتیک برابر $F=2/11$ مطابق شکل ۴-۱۰ و برای حالت شبه استاتیک برابر $F=1/15$ ارائه مطابق شکل ۴-۱۱ محاسبه نموده است. مقایسه نتایج حاصله و حداقل ضریب اطمینان مورد نیاز نشانگر تامین پایداری شیب بالادست در حالت مخزن نیمه پر می باشد.



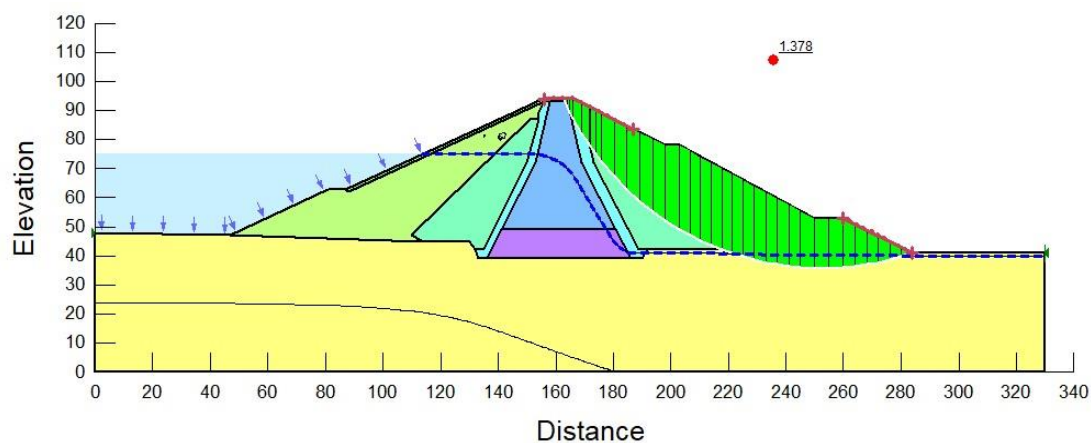
شکل ۴-۱۰ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالادست در حالت مخزن نیمه پر



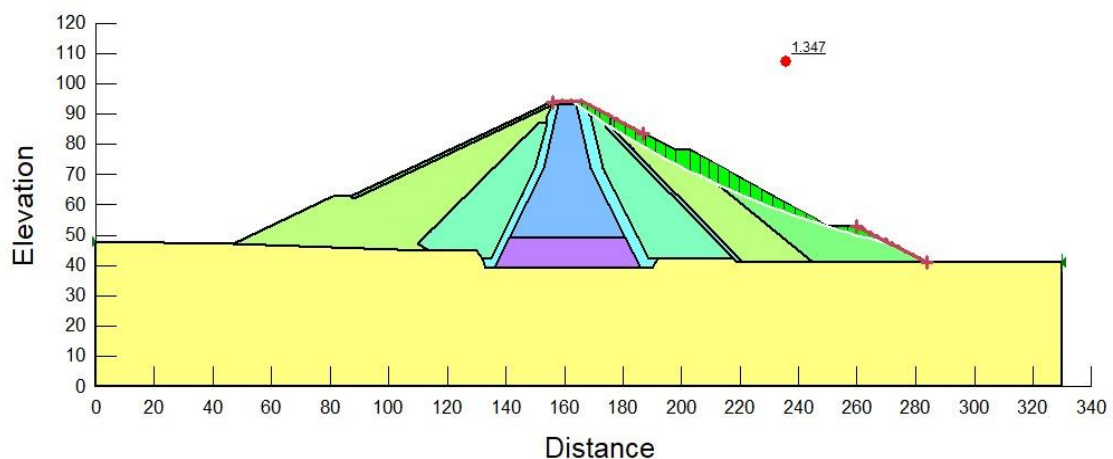
شکل ۴-۱۱ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالادست در حالت مخزن نیمه پر و وقوع زلزله

۴-۵-۵- ضرایب اطمینان شیروانی پایین دست در حالت مخزن نیمه پر و تراوش پایدار (SLOPE/W)

در حالت مخزن نیمه پر و تراوش پایدار گروه مهندسی ارتش آمریکا (U.S. CORPS OF ENGS) حداقل ضریب اطمینان لازم را برابر $F=1/5$ ارائه نموده است. آنالیزهای پایداری ضریب اطمینان را برای پایین دست در حالت استاتیک برابر $F=2/13$ مطابق شکل ۴-۱۲ و برای حالت شبه استاتیک برابر $F=1/34$ ارائه مطابق شکل ۴-۱۳ محاسبه نموده است. مقایسه نتایج حاصله و حداقل ضریب اطمینان مورد نیاز نشانگر تامین پایداری شیب پایین دست در حالت مخزن نیمه پر می باشد.



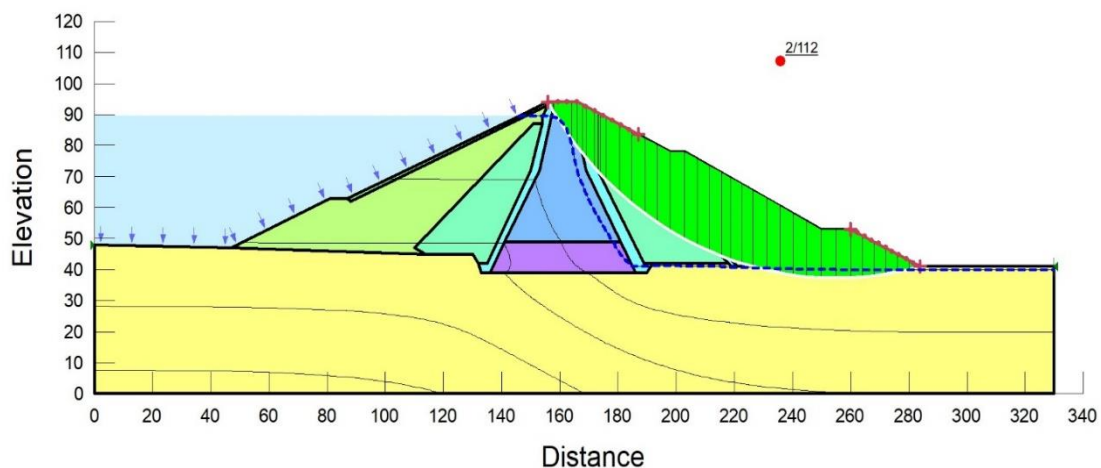
شکل ۴-۱۲ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در حالت مخزن نیمه پر



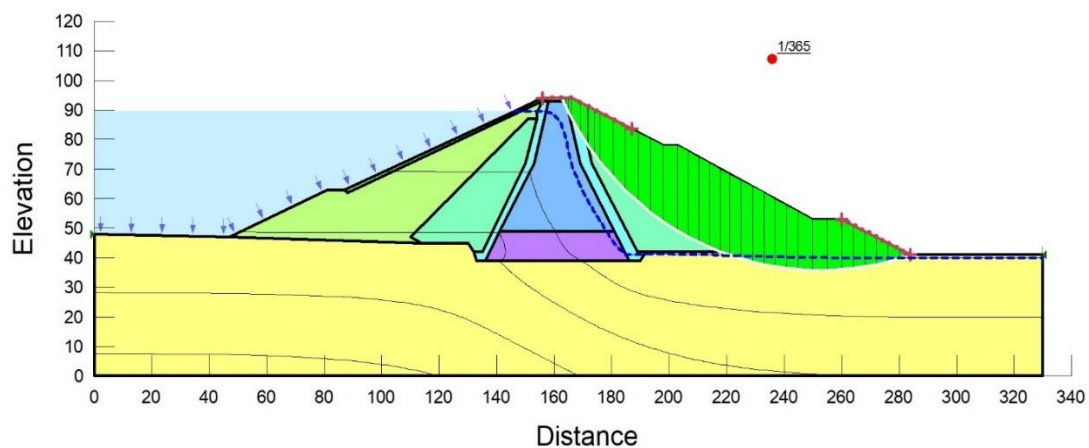
شکل ۴-۱۳ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در حالت مخزن نیمه پر و وقوع زلزله

۴-۵-۶- ضریب اطمینان شیروانی پایین دست در حالت مخزن پر و تراوش پایدار (SLOPE/W)

در حالت مخزن پر و تراوش پایدار گروه مهندسین ارتش آمریکا (U.S. CORPS OF ENGS) حداقل ضریب اطمینان لازم را برابر $F=1/5$ ارائه نموده است. آنالیزهای پایداری ضریب اطمینان را برای پایین دست در حالت استاتیک برابر $F=2/11$ مطابق شکل ۴-۱۴ و برای حالت شبه استاتیک برابر $F=1/36$ مطابق شکل ۴-۱۵ محاسبه نموده است. مقایسه نتایج حاصله و حداقل ضریب اطمینان مورد نیاز نشانگر تامین پایداری شیب پایین دست در حالت مخزن پر و تراوش پایدار می باشد.



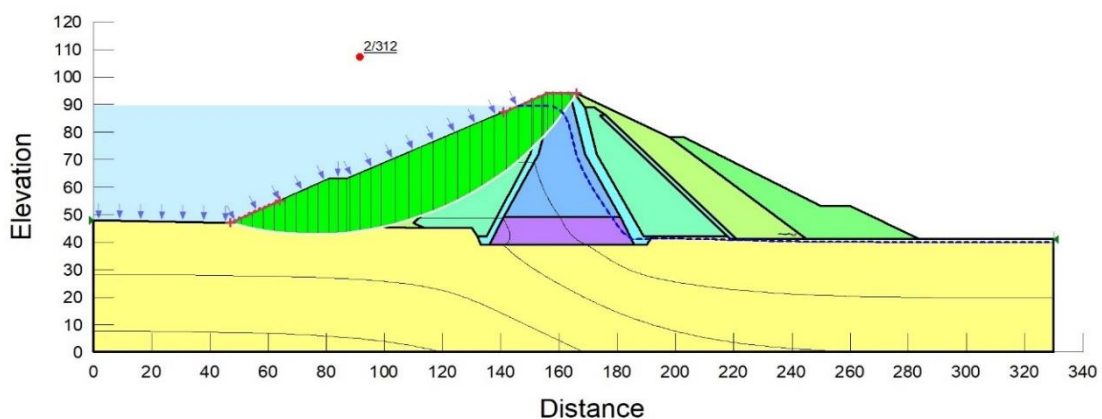
شکل ۴-۱۴ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در حالت تراوش دائم



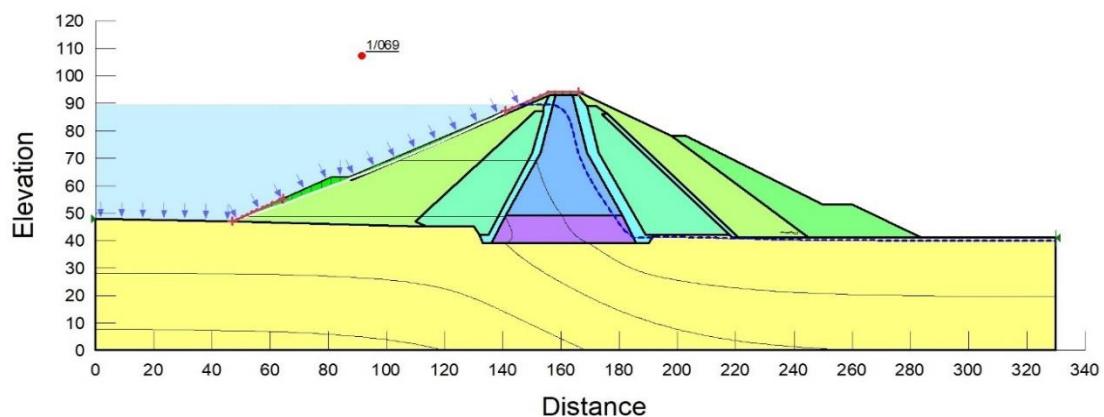
شکل ۴-۱۵ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در حالت تراوش دائم و وقوع زلزله

۴-۵-۷- ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در حالت مخزن پر و تراوش پایدار (SLOPE/W)

در حالت مخزن پر و تراوش پایدار گروه مهندسين ارتش آمريكا (U.S. CORPS OF ENGS) حداقل ضریب اطمینان لازم را برابر $F=1/5$ ارائه نموده است. آنالیزهای پایداری ضریب اطمینان را برای بالادست حالت استاتیک برابر $F=2/32$ مطابق شکل ۴-۱۶ و برای حالت شبه استاتیک برابر $F=1/06$ مطابق شکل ۴-۱۷ محاسبه نموده است. مقایسه نتایج حاصله و حداقل ضریب اطمینان مورد نیاز نشانگر تامین پایداری شیب بالادست در حالت مخزن پر می باشد.



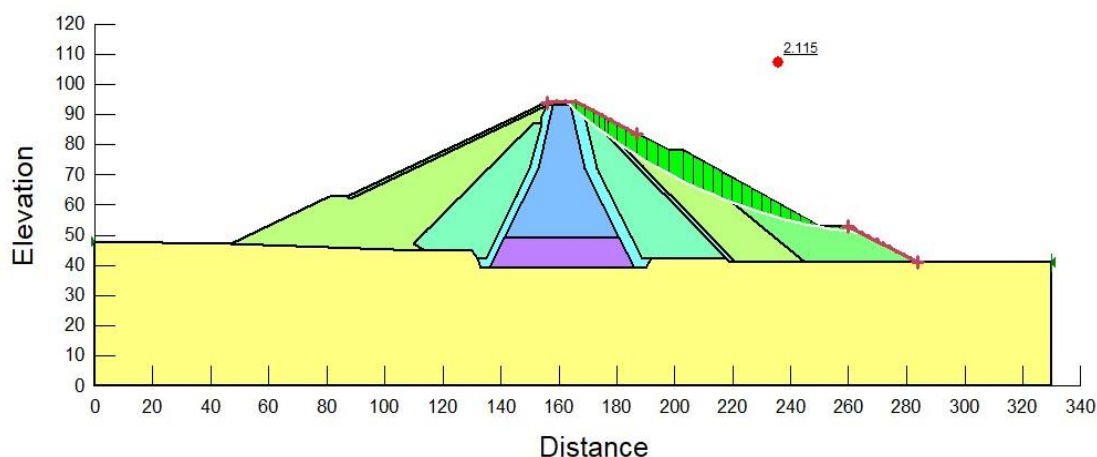
شکل ۴-۱۶ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در حالت تراوش دائم



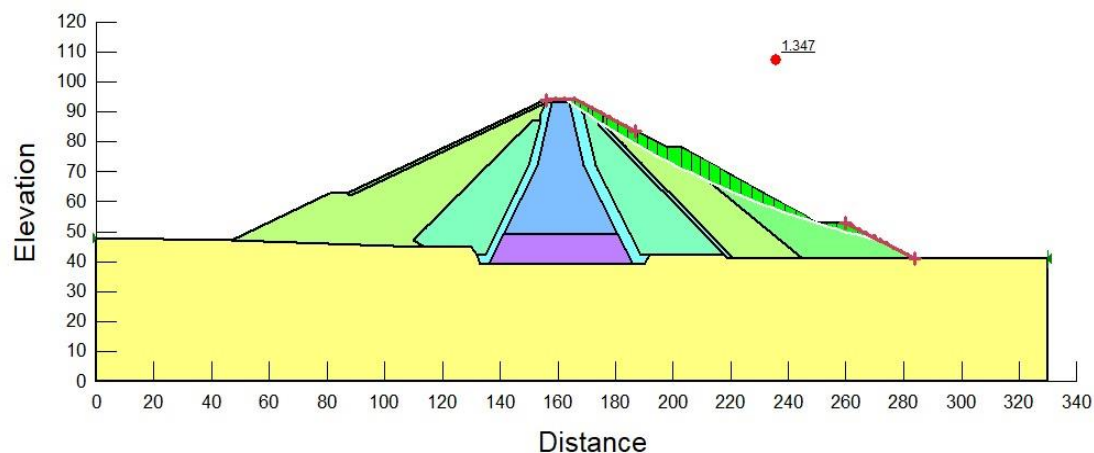
شکل ۴-۱۷ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در حالت تراوش دائم و وقوع زلزله

۴-۵-۸- ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در خاتمه ساخت سد (SLOPE/W)

در خاتمه ساخت سد گروه مهندسین ارتش آمریکا (U.S. CORPS OF ENGS) حداقل ضریب اطمینان لازم را برابر $F=1/4$ ارائه نموده است. آنالیزهای پایداری ضریب اطمینان را برای پایین دست در حالت استاتیک برابر $F=2/11$ مطابق شکل ۴-۱۸ و برای حالت شبه استاتیک برابر $F=1/34$ مطابق شکل ۴-۱۹ محاسبه نموده است. مقایسه نتایج حاصله و حداقل ضریب اطمینان مورد نیاز نشانگر تامین پایداری شیب پایین دست در خاتمه ساخت سد می باشد.



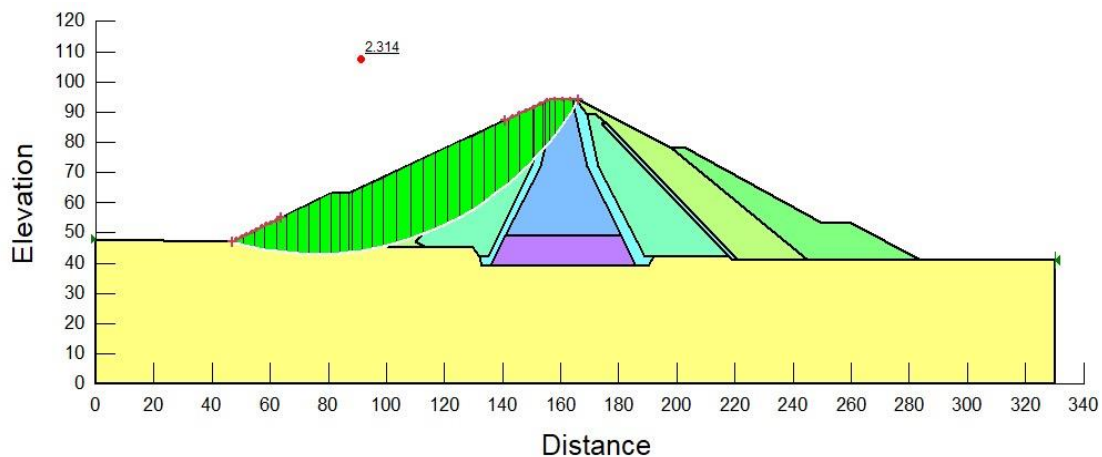
شکل ۴-۱۸ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در خاتمه ساخت سد



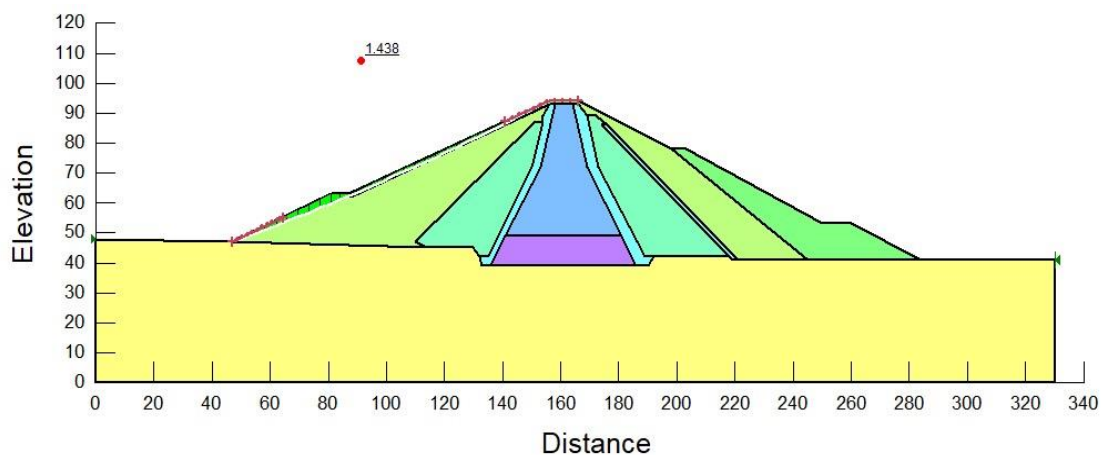
شکل ۴-۱۹ ضریب اطمینان پایداری شیروانی پایین دست در خاتمه ساخت سد و وقوع زلزله

۴-۵-۹- ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در خاتمه ساخت سد (SLOPE/W)

در خاتمه ساخت سد گروه مهندسین ارتش آمریکا (U.S. CORPS OF ENGS) حداقل ضریب اطمینان لازم را برابر $F=1/3$ ارائه نموده است. آنالیزهای پایداری ضریب اطمینان را برای بالادست حالت استاتیک برابر $F=2/31$ مطابق شکل ۴-۲۰ و برای حالت شبه استاتیک برابر $F=1/43$ ارائه مطابق شکل ۴-۲۱ محاسبه نموده است. مقایسه نتایج حاصله و حداقل ضریب اطمینان مورد نیاز نشانگر تامین پایداری شیب بالادست در خاتمه ساخت سد می باشد.



شکل ۴-۲۰ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در خاتمه ساخت سد



شکل ۴-۲۱ ضریب اطمینان پایداری شیروانی بالا دست در خاتمه ساخت سد و وقوع زلزله

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادات

۵-۱- مقدمه

ارزیابی رفتار سدهای خاکی با استفاده از تجزیه و تحلیل داده های ابزار دقیق سالم و نصب شده در یک چیدمان مناسب در بدنه آنها، مرجعی برای شناخت رفتار واقعی سازه و تصحیح پارامترهای ژئوتکنیکی طراحی بکار می رود. شناخت و بررسی درستی اجرا و فرضیات طراحی یک سد خاکی با مرور زمان و گذشت مدت زمانی از ساخت سد امکان پذیر است و در صورت اشکالی در اجرا و فرضیات طراحی ممکن است موجبات ناپایداری سد فراهم آید و فاجعه های انسانی رخ دهد. روش های حل عددی این امکان را فراهم می آورد که مقادیر تنش ها و تغییر شکل های یک سد خاکی را در زمان کم و نسبتاً دقیق پیش بینی کرد. مقایسه نتایج این گونه تحلیل ها با واقعیت که همان نتایج ابزار دقیق است علاوه بر اعتبار بخشی به تحلیل عددی مبنای انجام تحلیل برگشتی برای حصول به پارامتر های دقیق ژئوتکنیکی است. در این تحقیق سد دامغان واقع در شمال شهر دامغان به عنوان مطالعه موردی انتخاب و نتایج ابزار دقیق آن پردازش و تحلیل شده است. سپس نتایج پایش یکی از مقاطع که بلند ترین مقطع عرض ابزار گذاری است برای تحلیل و مقایسه با مدل عددی انتخاب شده است. حین انجام این تحقیق سد در حال بهره برداری بوده و تا آن زمان پدیده خاصی مانند زلزله و تخلیه سریع مخزن اتفاق نیفتاده است. بنابراین مدل در حالت استاتیکی و برای شرایط واقعی دوران ساخت و آبرگیری ایجاد و تحلیل شده است. برای این مدل سازی از بسته نرم افزار GEO-SLOPE و ماژول های $seep/w$ و $slope/w$ آن استفاده شده است. در پایان باتوجه به بررسی بعمل آمده می توان گفت که پارامترهای ژئوتکنیکی بدست آمده از تحلیل بازگشتی تاحد زیادی دقیق بوده و مبنای مناسبی برای رفتارسنجی در دوران بهره برداری است.

۵-۲- نتیجه گیری

بر پایه تحلیل های صورت گرفته روی بدنه سد دماغان، حداقل ضرایب اطمینان پایداری شیب های بالادست و پایین دست بدنه در شرایط مخزن نیمه پر و در بارگذاری استاتیکی به ترتیب ۲/۱۱ و ۲/۱۳ بدست آمده که بالاتر از حداقل ضریب اطمینان مجاز ۱/۵ می باشد.

در شرایط بارگذاری شبه استاتیکی هم، حداقل ضریب اطمینان شیب بالادست ۱/۰۶۵ بدست آمده است. در آنالیز شیب پائین دست با فرض محافظه کارانه سطح آب در بدنه سد، حداقل ضریب اطمینان ۱/۳۶۵ حاصل شده است. کلیه ضرایب اطمینان حاصله در حد ضریب اطمینان مجاز ($F_s = 1.0$) یا بالاتر از آن بوده، لذا پایداری گزینه سد سنگریزه ای با هسته رسی در شرایط وقوع زلزله تأمین می باشد.

با توجه به نتایج حاصله، مقادیر ضریب اطمینان پایداری شیب های سد سنگریزه ای با هسته رسی در کلیه حالات بارگذاری استاتیکی و دینامیکی بیش از حد مجاز بوده و وضعیت پایایی بدنه در شرایط سطح ایستابی موجود در بدنه، مطلوب ارزیابی می گردد.

با شروع تخلیه مخزن از مقدار ضریب اطمینان بالادست کاسته می شود و بعد از مدتی با خروج کامل آب از داخل هسته دوباره ضریب اطمینان افزایش می یابد.

۵-۳- پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی

- الف - بعنوان طرحهای تحقیقاتی آتی می توان بررسی اثر تخلیه سریع مخزن در پایداری شیب بالادست سد، بررسی و نتیجه با آن با سایر نرم افزار های موجود مانند PLAXIS نیز مقایسه گردد .
- ب - تحلیل عددی سایر مقاطع سد دامغان و مقایسه با نتایج ابزار دقیق
- ج - بررسی تغییرمکان های بدنه اعم از نشست یا تغییرمکان های افقی و عمودی حاصل از قرائت ابزار انحراف سنج و نشست سنج و قرائت های میکروژئودزی با نتایج حاصل از مدل با استفاده از ماژول SIGMA/W در بدنه سد دامغان .

منابع

- طاحونی، ش.، اصول مهندسی ژئوتکنیک، انتشارات غزال، تهران، جلد اول، مکانیک خاک، ۱۳۵۷
- جعفرزاده، ف.، شفیع پور، ر.، تحلیل تراوش در پی سد با در نظر گرفتن اثرات شکل دره، سومین همایش بین المللی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، ۱۳۸۱.
- شمسایی، ا.، فرد مرادی نیا، س.، به بررسی در مورد کنترل تراوش سدهای خاکی برای مقاوم سازی لرزه ای شیروانی های سد، اولین همایش بین المللی مقاوم لرزه ای، ۱۳۸۵.
- سیدی، ح.، کرمی مقدم، م.، آذری دهکردی، م.، کنترل سه بعدی نشت در سد اعلی دوست (استان فارس) با استفاده از روش عددی اجزاء محدود، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.
- مهدوی احسان، عطرچیان محمد رضا، بررسی روش های تعیین ضریب اطمینان پایداری شیروانی خاکی در نرم افزار ژئواسلپ، اولین همایش ملی سازه - زلزله - ژئوتکنیک، ۱۳۸۹.
- صفا منصور، دلشاد محسن، بررسی پایداری شیروانی به روش المان مجزا و مقایسه با روش تعادل حدی، چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، ۱۳۸۹.
- شریف نژاد، ا.، تابع بردار، ع.، زمانی، ش.، روش بهینه کاهش نشت از پی نفوذپذیر سد خاکی گلوجه اردبیل (مطالعه موردی: سد گلوجه اردبیل)، سمینار ملی مسائل ژئوتکنیکی شبکه های آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۹۱.

Rakhshanderoo, G., Bagherieh, A., Three Dimensional Analysis of Seepage in 15- Khordad Dam After Impoundment, Iranian Journal of Science Technology ,Transaction B,Engineering, Vol.30, No. B1 printed in the Islamic Republic of iran, Shiraz University,2006.

Pakbaz, M. S., Dardaei, A., Salahshoor, J., Evaluation of Performance of Plastic Concreate Cut off Wall in karkhe Dam using 3-D Seepage Analysis Actual Measurement. Journal of Applied Sciences, 9(4):724 -730, 2009.

Noori, B., Ismaeel, K., Evaluation of Seepage and stability of Duhok Dam, college of Engineering University of Duhok, 2010.

Liu, Q., Li, J., Effects of water seepage on the stability of soil-slopes, IUTAM Symposium on the Dynamics of Extreme Events Influenced by Climate Change, p.29-39.,2013

Roshangar, K., Sedaghati, T., Rouhparvar, B., Analysis of effective alternatives in the seepage and slope stability of Golfaraj earth fill dam using Geo-studio model, 10th International Congress on Civil Engineering, p.1-8, , 5-7 May 2015

Liu, K., Vardon, P.J., Combined effect of hysteresis and heterogeneity on the stability of an embankment under transient seepage, Engineering Geology Journal, 18 November 2016

Jose, A., Augustine, M., Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review, Pedosphere Journal, Volume 27, Issue 1, Pages 27–41, February 2017

Abstract

Earth dams are one of the most important and complex engineering structures that cost a lot of money to study and implement these projects, so addressing their safety issues while constructing and also during the utilization period is of particular importance. Continuous behavior assessment of dam is necessary to prevent dam collapse due to various factors. For this purpose, by using instrumentation and installing them in appropriate places and periodic reading of data along with their reversal analysis, one can predict the most certain factor of inevitability and take the necessary measures in order to deal with it. On the other hand, using numerical methods, the dam model can be created in the software environment and the stability of the dam against different factors for different conditions of the dam, both in terms of hands and in terms of the characteristics of the materials used in the core and ... For the dams implemented and the dams being designed were investigated and achieved an optimal state. Providing real information about the actual behavior of the dam and comparing it with design predictions can be very useful in evaluating the accuracy of the theories and assumptions used. Also, by extracting the model that is most consistent with the actual model, it predicted the behavior of dams in the future. In this research, using quatrain analysis (using Geo Studio software), which is one of the most accurate and up-to-date methods for analyzing earth dams, the stability of earth dams in stable oozing state, the end of dam construction and semi-filled reservoir was investigated. For this purpose, the cross section of Damghan Dam was selected as a case study for analysis and modeled by SLOPE/W and SEEP/W software from Geo Studio software package. Then, the numerical model was confirmed by instrumentation data and analyzed.

Static and quasi-static stability of upstream and stable milk and control and reliability coefficients obtained were compared with the U.S.S.CORPS of ENGS standards.

Key words: Static Stability, Earth Dam, Stable seepage, SLOPE/W and SEEP/W



Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Water Structures Engineering

**Soil Dam Stability Analysis Based on Numerical Analysis and
Instrumentation Results (Case Study: Damghan Dam)**

By: Ahmad Yahyaeinia

Supervisor:

Dr. Samad Emamgholizadeh

Advisor:

Dr. Mehdi Delghandi

February 2021