١١٩١٤

۸۷۱۱۰۹۹۴۴
۸۸/۱۱/۱۸

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی مهندسی

بخش مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد عمران-خاک و پی

بررسی تنش-کرنش سدهای خاکی و مقایسه آن با نتایج ابزار دقیق

استاد راهنما:

دکتر سید مرتضی مرندی

مولف:

مسعود کیوانی پور

۱۳۸۷/۱۲/۲۷

شهریور ماه ۱۳۸۶

۱۱۰۹۱۳

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی عمران
دانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: مسعود کیوانی پور

استاد راهنما: دکتر سید مرتضی مرندی

داور ۱: دکتر محمد حسین باقری پور

داور ۲: دکتر جواد سلاجقه

داور ۳:

معاونت پژوهشی و نماینده تحصیلات تکمیلی با نماینده دانشکده: دکتر علی اکبر مقصودی

حق چاپ محفوظ و مخصوص دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق

حال که به لطف پروردگار این پروژه به انجام رسیده است، بایسته می دانم از تمام عزیزانی که مرا در این راه یاری نمودند و تمامی آنهایی که مرا علم آموختند، سپاسگذاری نمایم. از جناب آقای دکتر مرندی که با سعه صدر و رهنمودهای خود مرا مورد لطف قرار دادند تشکر ویژه نموده و امیدوارم ایشان همواره در صحت و سلامت به کار خویش ادامه دهند. صمیمانه ترین سپاسها را به حضور دوستان عزیزم مهندس غفوریان و مهندس آوایی که همواره از هیچ تلاشی در کمک به اینجانب دریغ ننمودند، تقدیم می دارم. امیدوارم که همواره تشنگان وادی علم و حقیقت از وجود این عزیزان بهره برده و سیراب گردند.

مسعود کیوانی پور

تقدیم به:

دو همراه همیشگی ام؛

پدر و مادرم

که با ایثار و گذشتشان همواره مرا یار و یاور بودند

*****

و تقدیم به:

فرشته زندگی ام؛

همسر عزیزم

که با مهربانی در ارائه این پروژه مرا همراهی نمود.

چکیده:

سد خاکی سیرجان با حدود ۷۱ متر ارتفاع، برای پایش رفتار درونی سد و بویژه تنش ها و نشستهای سد ابزاربندی شده است. ابزارگذاری شامل تعدادی سلول فشارسنج کل (TPC) و پیزومتر و صفحات نشست سنج می باشد. نتایج داده شده بدین دلیل انتخاب شده اند که اطلاعات عددی در مورد عملکرد سد و ابزار دقیق ارائه نمایند.

اندازه گیریهای صحرایی از مقادیر جابجایی، تنش های خاک و فشار آب منفذی با نتایج تحلیل مقایسه شده اند. در این تحقیق سد با استفاده از نرم افزار PLAXIS مدلسازی شده است. مدل های موهر- کولومب و سخت شونده برای بیان رفتار غیر خطی تنش – کرنش در مصالح سد استفاده شده است. همچنین تحلیل برای نتایج حاصل از تحکیم برای این سد انجام شده است.

مطالب	صفحه
فصل اول- مقدمه	
۱-۱ مقدمه	۲
فصل دوم- ضرورت ابزار بندی سدها	
۲-۱ مقدمه	۵
۲-۲ کارهای انجام شده و نتایج رفتار نگاری برخی سدها	۵
فصل سوم - مشخصات عمومی در سدهای خاکی	
۳-۱ مقدمه	۱۰
۳-۲ مقطع تیپ سدهای خاکی	۱۰
۳-۳ طبقه‌بندی سدهای خاکی	۱۲
۳-۳-۱ سدهای خاکی همگن	۱۲
۳-۳-۲ سدهای خاکی ناحیه بندی شده	۱۳
۳-۳-۲-۱ سدهای خاکی با هسته مرکزی قائم	۱۴
۳-۳-۲-۲ سدهای خاکی غیر همگن با هسته شیبدار	۱۴
۳-۳-۳ سدهای خاکی غشائی	۱۵
۳-۴ معیارهای طراحی	۱۶
۳-۴-۱ کنترل تراوش	۱۷
۳-۴-۲ فشارهای منفذی	۱۸
۳-۴-۲-۱ فشار آب منفذی ناشی از ساخت	۱۸
۳-۴-۳ محافظت در برابر فرسایش	۱۸

۳-۵ طراحی مقطع سد ۱۸

۳-۵-۱ پایداری استاتیکی ۱۹

۳-۵-۲ تراوش و نشت از بدنه سد ۱۹

۳-۵-۳ ناحیه بندی ۲۰

فصل چهارم - رفتارنگاری در سدهای خاکی

۴-۱ مقدمه ۲۲

۴-۲ اهداف رفتارنگاری ۲۲

۴-۲-۱ رفتارنگاری حین ساختمان سد و اولین آبگیری ۲۲

۴-۲-۲ اندازه‌گیریهای در زمان بهره‌برداری ۲۳

۴-۲-۳ رفتارنگاری برای مقاصد علمی- فنی ۲۳

۴-۳ انواع اندازه‌گیرای ها ۲۳

۴-۴ ابزارهای اندازه گیری ۲۴

فصل پنجم – مدلهای رفتاری حاکم برخاکها

۵-۱ مقدمه ۳۲

۵-۲ رفتار حقیقی خاکها ۳۲

۵-۲-۱ رفتار خاکهای رسی ۳۲

۵-۲-۱-۱ اثرات فشار تک محوری ۳۲

۵-۲-۱-۲ رفتار هنگام اعمال برش ۳۲

۵-۲-۱-۳ تأثیر جهت اعمال مسیر تنش ۳۴

۵-۲-۲ رفتار خاکهای ماسه‌ای ۳۵

۵-۲-۲-۱ اثرات فشار تک محوری	۳۵
۵-۲-۲-۲ رفتار هنگام اعمال برش	۳۶
۵-۲-۳ رفتار خاکهای شامل ماسه و رس	۳۷
۵-۳ مدل‌سازی رفتار مکانیکی خاکها	۳۹
۵-۳-۱ مدلهای رفتاری خاک	۴۰
۵-۳-۱-۱ مدلهای حاکم کشسان	۴۰
۵-۳-۱-۱-۱ کشسان همسانگرد خطی	۴۰
۵-۳-۱-۱-۲ کشسان ناهمسانگرد خطی	۴۰
۵-۳-۱-۱-۳ کشسان غیر خطی	۴۲
۵-۳-۱-۱-۴ مدل دو خطی	۴۲
۵-۳-۱-۱-۵ مدل K-G	۴۳
۵-۳-۱-۱-۶ مدل هذلولی	۴۴
۵-۳-۱-۱-۷ مدل برلند و پارزن	۴۵
۵-۴ رفتار مصالح در حالت کشسان ـ مومسان	۴۷
۵-۴-۱ اصول کلی مدل نمودن رفتار کشسان ـ مومسان	۴۸
۵-۴-۲ فرمول‌بندی ماتریس حاکم کشسان ـ مومسان	۵۰
۵-۴-۳ مدلهای حاکم کشسان ـ مومسان	۵۱
۵-۴-۳-۱ مدل ترسکا	۵۱
۵-۴-۳-۲ مدل ون میزز	۵۳
۵-۴-۳-۳ مدل مور ـ کولمب	۵۴

۵ـ۴ـ۳ـ۴ مدل ـ دراکر ـ پراگر ۵۶

فصل ششم - روش های اجزاء محدود سختی مماسی و نیوتن –

رافسن بهبود یافته در طراحی سدهای خاکی

۶ـ۱ مقدمه ۵۸

۶ـ۲ مراحل حل یک مساله به روش اجزا محدود ۵۸

۶ـ۳ ملاحظات ژئوتکنیکی ۶۲

۶ـ۳ـ۱ تحلیل اجزای محدود با استفاده از تنش کل ۶۲

۶ـ۳ـ۲ محاسبه فشار آب منفذی ۶۳

۶ـ۳ـ۳ ساخت مرحله‌ای ۶۶

۶ـ۴ تئوری اجزای محدود برای مصالح غیرخطی ۶۶

۶ـ۴ـ۱ کلیات ۶۶

۶ـ۴ـ۲ روش سختی مماسی ۶۷

۶ـ۴ـ۳ روش نیوتن ـ رافسن بهبود یافته ۷۰

۶ـ۵ تراوش دائم ۷۱

فصل هفتم - مشخصات کلی سدهای سیرجان، نهرین، و بار

۷-۱ معرفی سد سیرجان ۷۶

۷-۲ معرفی سد نهرین ۷۸

۷-۳ معرفی سد بار ۸۱

فصل هشتم – تجزیه و تحلیل نتایج مدلسازی سدهای سیرجان،

نهرین، و بار

۸-۱ مقدمه ۸۴

۸-۲ مشخصات مصالح ورودی به برنامه ۸۴

۸-۳ روش مدلسازی ۸۷

۸-۳-۱ شرایط زهکشی مصالح ۸۷

۸-۳-۲ مدلهای رفتاری در نظر گرفته شده ۸۷

۸-۴ انتخاب مقطع مناسب جهت بررسی ۸۷

۸-۵ ابزارهای انتخاب شده برای بررسی ۸۸

۸-۶ بررسی نتایج حاصل از تحلیل و مقایسه آنها با نتایج ابزار دقیق در سد سیرجان ۹۲

۸-۷ تنش های اصلی با استفاده از تنش های قائم و افقی ۱۰۰

۸-۸ تحلیل تحکیم سد سیرجان ۱۰۴

۸-۸-۱ تحلیل تحکیم با روش اجزای محدود و با کمک نرم افزار Plaxis ۱۰۴

۸-۸-۲ تحلیل تحکیم هسته سد سیرجان ۱۰۵

۸-۹ تحلیل سد نهرین طبس و مقایسه آن با نتایج ابزار دقیق ۱۱۰

۸-۹-۱ بررسی نتایج حاصل از تحلیل و مقایسه آنها با نتایج ابزار دقیق ۱۱۰

۸-۹-۱-۱ بررسی تنشها ۱۱۰

۸-۹-۱-۲ تنش های اصلی با استفاده از تنش های قائم و افقی و ۴۵ درجه ۱۱۴

۸-۱۰ تحلیل سد بار و مقایسه آن با نتایج ابزار دقیق ۱۱۸

۸-۱۱ نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۳

پیوست یک

پیوست دو- معرفی برنامه اجزائ محدود PLAXIS

۱ مقدمه ۱۹

۲ مراحل مختلف برنامه ۱۹

۲-۱ بلوکهای شبکه ۲۰

۲-۲ تعریف هندسه هر بلوک شبکه ۲۱

۲-۳ تعیین خصوصیات مصالح ۲۱

۲-۴ تعیین وضعیت سطح آب زیرزمینی ۲۲

۳ قسمت محاسبات ۲۲

فصل اول

مقدمه

مقدمه

از آنجا که سد ها از نظر اقتصادی، اجتماعی و سیاسی دارای اهمیت بسزایی هستند و بخش بزرگی از سرمایه گذاری مرتبط با تسهیلات زیربنایی اساسی را تشکیل می دهند کنترل و پایش مستمر آنها از اهمیت بسزایی برخوردار است.

ایمنی و عملکرد یک سد باید در حین ساخت، اولین آبگیری و در مدت زمان بهره برداری کنترل گردد. به طور کلی پذیرفته شده که ایمنی سد تنها به طراحی و ساخت آن بر نمی گردد، بلکه به رفتار نگاری کاملی از عملکرد آن در سالهای اولیه بهره برداری و همچنین به سرویس دهی منظم در تمام طول عمر سد وابسته است. بدین منظور سد، پی و محیط اطراف آن باید به وسایلی جهت اندازه گیری و کنترل مجهز باشد. به مجموعه این وسایل و امکانات، ابزارهای دقیق گفته می شود. نتایج حاصل از ابزارهای دقیق را می توان به طور پیوسته و یا یک سری دوره های مشخص با استفاده از بازرسی ها بدست آورد. بازرسی ها از یک برنامه زمانی پیروی می کنند (برنامه زمانی رفتارنگاری) که فراوانی بازرسی، قرائت دستگاهها و سایر کنترل ها را مشخص می سازد.

فراوانی تمامی اندازه گیری های کنترلی از زمان ساخت و اولین آبگیری مخزن تا به هنگام عملکرد دراز مدت سد کاهش می یابد. هر چند اندازه گیری های کنترلی باید در تمام عمر سازه دارای یک دوره بازگشت از پیش تعریف شده باشند، ولی جدا از برنامه طراحی شده برای بازرسی ها، هنگام بروز حوادث غیر مترقبه از قبیل سیل، زلزله، طوفانهای شدید تولید کننده امواج در سطح دریاچه و نظیر آن باید از بازرسی های ویژه و با فراوانی بالاتر استفاده شود [کمیته ملی سدهای بزرگ ایران،۱۳۷۵].

گرچه تعداد موارد شکست در سدها کم می باشد، در سدهای خاکی ۱/۲٪ و در سدهای بتنی ۰/۷٪ [کمیسیون بین المللی سدهای بزرگ،شماره۶۰] ولی نادیده گرفتن آنها با توجه به وسعت حوادث احتمالی غیر معقول می باشد. امروزه انجام نظارت و رفتار نگاری دقیق بر روی سدها موجب شده است که موارد آسیب بر سد در ابتدای امر شناسایی گردند و تمهیدات لازم جهت جلوگیری از پیشرفت آسیب و رفع خسارت در حداقل زمان ممکن انجام پذیرد. در ایران سدهای بزرگی اجرا شده و یا در دست اجرا می باشند که دارای اهمیت ویژه ای هستند. به منظور بهره برداری هر چه بهتر و ایمن تر از این سدها وجود برنامه زمانی رفتارنگاری دقیق برای هر سد خاص لازم می باشد.

اهداف رفتارنگاری عبارتند از:

۱) ارزیابی فرضیات طراحی ۲) پیش بینی عملکرد سد در حین ساخت، اولین آبگیری و دوران بهره برداری ۳) آگاهی از گسترش مواد غیر ایمن در رفتار سد در فاز بهره برداری و در مدت زمان عمر مفید

سد و ۴) به منظور توسعه و شناخت رفتار مصالح و مهندسی سد می توان با بهبود اندازه گیری های مشخص، داده های مورد لزوم را فراهم کرد. [US ARMY CORPS, 1995]

در این پایان نامه سعی شده است با توجه به نتایج ابزار دقیق موجود سد سیرجان مقایسه ای با نتایج تحلیل سد صورت پذیرد. در این تحلیل مدل های رفتاری مختلفی استفاده شده و با فرض صحیح بودن نتایج ابزار دقیق کوشش شده به مدل مناسبی برای تحلیل سد دست یافت. این پایان نامه مشتمل بر ۹ فصل می باشد. در فصل دوم سعی شده است ضرورت ابزار گذاری در سدها بیان گردد. علاوه بر آن نگاهی اجمالی به کارهای انجام پذیرفته قبلی در این رابطه نیز شده است.

فصل سوم به بررسی کلیات و مشخصات سدهای خاکی به صورت مختصر پرداخته شده است.در این فصل مشخصات، هندسه و طبقه بندی سدهای خاکی بیان شده است.

در فصل چهارم رفتارنگاری، ابزاربندی سدهای خاکی، اهداف و دستگاههای مختلف مورد استفاده در این زمینه بیان شده است. در فصل پنجم تحت عنوان رفتار حاکم بر خاکها به مدلهای رفتارهای گوناگون اشاره شده و مبانی نظری این مدلها به بحث و بررسی گذاشته شده است. هدف از بیان این فصل انتخاب مدل رفتاری مناسب برای تحلیل اجزای محدود سد و انتخاب گزینه مناسب از بین مدلهای رفتاری بیان شده می باشد.

در فصل ششم پایان نامه به مبانی نظری اجزای محدود در تحلیل سدهای خاکی پرداخته شده و مدل ریاضی بکار رفته در نرم افزار PLAXIS را بیان کرده است.

فصل هفتم پایان نامه به معرفی سدهایی که به عنوان نمونه کاربردی مسائل نظری گفته شده در فصول پیشین به کار رفته اند اختصاص یافته است. در این فصل پس از معرفی مشخصات و موقعیت کلی این سد به بیان یکی از مقاطع ابزار گذاری شده سدها و نوع ابزار بکار رفته پرداخته شده است.

با توجه به استفاده از نرم افزار PLAXIS به عنوان یک نرم افزار مدلسازی به روش اجزای محدود، در فصل هشتم این نرم افزار به صورت اجمالی معرفی شده است.

فصل نهم پایان نامه به آنالیز دی‌تا های بدست آمده و بررسی نتایج حاصل از مدلسازی به روش اجزای محدود با استفاده از نرم افزار PLAXIS و همچنین مقایسه این نتایج با گزارش های برداشت شده از و ارقام مربوط به ابزار بندی این سد اختصاص یافته است و در نهایت به نتیجه گیری از این مقایسه پرداخته شده است.

فصل دوم

ضرورت ابزار بندی سدها

۲-۱ مقدمه

سدها از نظر اقتصادی، اجتماعی و سیاسی دارای اهمیت بسیار زیادی می باشند، نقش آنها در توسعه کشاورزی و عمران مناطق روستایی و شهری، تأمین آب آشامیدنی، تولید انرژی هیدروالکتریک، کنترل و تنظیم شدت جریان آب در رودخانه ها و ... قابل توجه است.

به علت بالا بودن هزینه ساختمان سدها و نیز شدت وخامت ناشی از ناپایداری سدها، مسأله حفاظت و نگهداری و ارزیابی مستمر پایداری سدها از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. به دلیل اهمیت خاص پروژه های ژئومکانیکی در کلیه مراحل طراحی، اجرا و بهره برداری بررسی مستمر آنها ضرورت پیدا می کند. بسیاری از سد ها در بالا دست آبادی ها و یا شهرهای پرجمعیت بنا شده که عدم ایمنی آنها منجر به خطرات و تلفات جبران نا پذیر خواهد شد.

آمار عملکرد سدها بیانگر این واقعیت است که حدود ۱٪ سدها ناپایدار بوده اند. بر اساس آمار کمیته بین المللی سدهای بزرگ[۱]، طی صد سال گذشته، تنها در اثر خرابی سدهای بزرگ حدود هجده هزار تلفات جانی و خسارات سنگین اقتصادی وارد آمده است[نجم،۱۳۸۳]. پیامد خرابی سد بتنی دو قوسی مالپلست (۱۹۵۹)، سد بتنی دو قوسی وایونت (۱۹۶۳) و سد خاکی تیتان (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 رفتار سنجی بوده اند [Pillai et al, 2004].

به همین منظور امروزه در بیشتر سدهای ساخته شده از سیستم ابزار دقیق برای پایش رفتار سد و کنترل ناپایداری آنها بهره می جویند.

۲-۲ کارهای انجام شده و نتایج رفتار نگاری برخی سدها

به کمک نتایج رفتارسنجی و مطالعه روند تغیرات داده های ابزار دقیق، در بسیاری از موارد می تواند پدیده هایی را که احتمالاً در حال فرسایش، تضعیف و تخریب سد می باشد کشف و پیش از وقوع از آنها اجتناب کرد، یا تأثیر آنها را تقلیل داد و یا نهایتاً در وقت کافی، با انجام اقدامات لازم، خسارات احتمالی وارده به اهالی و تأسیسات پایین دست را به حداقل رساند.

برای نمونه، در مورد سد وایونت سابقه سنگ لغزش در دامنه های جناح راست مخزن وجود داشته و دست اندرکاران سد از این موضوع با خبر بوده اند. در صورتی که با دانستن این سابقه و انجام مطالعات لازم، احتمال وقوع چنین سنگ لغزشی جدی تلقی می شد و با روشهای مختلف رفتارسنجی، از جمله استفاده از ابزار دقیق عمقی و سطحی و برداشت های نقشه برداری ژئودتیک، جابجایی توده سنگ شیب مخزن زیر نظر گرفته می شد، امکان اجتناب از شکست سد می توانست

۱- ICOLD(International Committee of Large Dams)

وجود داشته باشد. دیگر اینکه در صورت وجود ابزار فرصت کافی جهت تخلیه ساکنین مناطق پایین دست سد وجود می داشت و بدین ترتیب خسارات ناشی از این شکست می توانست بسیار پایین تر از آنچه بوده باشد[نجم،۱۳۸۳].

در اکثر موارد نتایج ابزار دقیق با آنچه از مدلسازی های تئوریک بدست می آیند، مقایسه می گردد. آنچه در بیشتر گزارش های ارایه شده آمده است بر پایه فرضیه هایی استوار می باشد که به صورت زیر می باشند:

- در بیشتر مدلسازی ها حالت کرنش به صورت صفحه ای فرض شده است[نجم،۱۳۸۳] و [ابراهیم نژاد و همکاران،۱۳۸۳] و [پلاسی و همکاران،۱۳۸۳].
- بار مرده مربوط به هر لایه ریزی به عنوان سربار در نظر گرفته شده و از تغییر شکل های ایجاد شده در لایه جدید صرفنظر می گردد[پلاسی و همکاران،۱۳۸۳].
- در بیشتر مدل ها برای ضریب نفوذپذیری هسته در جهات افقی و عمودی خواص غیر ایزوتروپیک را در نظر می گیرند که با توجه به روش خاکریزی و کوبیدن لایه به لایه، این نسبت ضریب نفوذپذیری در جهات افقی و عمودی حدود ده می باشد[پلاسی و همکاران،۱۳۸۳].
- طی ساخت سد یا خاکریز به علت تغییرات تنش کل، فشار حفره ای و اثرات ثانویه زمان (خزش) و سایر عوامل از قبیل حرکات پی، توزیع و انتقال بار و غیره تغییر شکل های داخلی تحت تاثیر قرار می گیرند. مقدار، جهت و آهنگ حرکات در یک نقطه در داخل یا روی تاج سد در طی مراحل مختلف ساخت و بهره برداری از مخزن ممکن است تغیر کند. به منظور رفتارسنجی، اندازه گیری جابجایی ها در سه جهت قائم (نشست)، پایین دست و بالا دست (حرکات عمود بر محور سد) و در امتداد دره (حرکات موازی با محور سد) انجام می گیرد[Bechtel co, 1960] [Fell et al, 1992].

اولین و مهم ترین عامل سنجش تغیر شکل های سد ارزیابی ایمنی آن می باشد. دومین عامل نیازی است که به درک بهتر مفروضات اساسی طراحی، پارامترهای مقاومتی و رفتاری (تنش-تغیر شکل) سدهای خاکی و سنگریزه ای احساس می گردد. این عامل اگر چه در کوتاه مدت برای خود سد حساسیت کمتری دارد، لیکن از لحاظ پیشرفت دانش مهندسی از اهمیت فوق العاده و بسزایی برخوردار است[Fell et al, 1992] و [Colling, 1962]. شکست سد های خاکی به جز شکست های ناشی از حوادث غیر مترقبه از قبیل زلزله، سر ریز نمودن آب از روی تاج سد در اثر وقوع سیلاب های بزرگ تقریباً همواره با هشدارهای نگران کننده ای از قبیل افزایش روند تغیر شکل ها، عدم پیوستگی کرنش ها، ترک خوردگی ها، نشست ها و افزایش فشار حفره ای همراه بوده است [Fell et al, 1992] و [Sundaraiya et al, 1996].

پایداری و تغییر شکل سد های خاکی در حین اولین آبگیری بسیار مهم می باشد. نواحی پوسته در سدهای سنگریزه ای بیشتر به صورت خشک کوبیده می شود. در زمان اولین آبگیری حضور آب سبب کاهش مقاومت میان سنگدانه ها، شکست در نقاط اتصال و نهایتاً لغزش و جابجایی دانه ها در پوسته بالا دست خواهد شد[صدر کریمی،۱۳۸۳]. قسمت اعظم نشست های قائم در حین عملیات ساخت و تا قبل از رسیدن به تراز تاج می باشد و از این رو تأثیر نشست های قائم بدنه بر تراز تمام شده و نهایی سد و نیز از ارتفاع آزاد مورد نیاز بسیار کم می باشد[ابراهیم نژاد و همکاران،۱۳۸۳]. پس از اتمام عملیات ساخت سد، افزایش میزان نشست در تراز های مختلف هسته همچنان ادامه می یابد ولی سرعت این افزایش در تراز های مختلف متفاوت است. لایه های زیرین بخش اعظم نشست خود را انجام داده و بدین ترتیب به لایه ای سخت و تراکم ناپذیر نسبت به لایه های فوقانی خاکریز تبدیل شده اند[ابراهیم نژاد و همکاران،۱۳۸۳].

در مطالعات مربوط به سد کرخه مقدار نشست هسته در دوران ساخت را حدود ۱٪ ارتفاع سد گزارش نموده اند. در مورد سد علویان آنچه گزارش شده، مقدار نشست اندازه گیری شده را با یک همبستگی بسیار خوب متناسب با توان دوم ارتفاع خاکریز گزارش نموده اند. در همین سد نشست تاج سد را پس از زمان ساخت با ضریب همبستگی خوبی تابعی لگاریتمی از زمان دانسته اند[نیرومند و همکاران،۱۳۸۳].

یکی از مسائل مهم در سد های خاکی پدیده قوس زدگی[۱] می باشد. این پدیده عبارتست از آویزان شدن هسته ازپوسته که سبب کاهش فشار قائم در هسته می گردد. در حقیقت اختلاف نشست شدید در طول هسته بین المان های واقع در یک تراز مشخص، عامل اصلی پدیده قوس زدگی است که از پیامدهای مخرب پس از آن ایجاد ترک های عرضی می باشد. این امر به خاطر تفاوت تراکم پذیری مصالح پوسته و هسته اتفاق می افتد، چون نشست های هسته بیشتر از پوسته می باشد، هسته در اثر تغییر شکل زیاد به پوسته تکیه می کند. بیشترین قوس زدگی معمولاً در نزدیکی های فیلتر به وقوع پیوسته و مقدار قوس زدگی در وسط هسته کاهش می یابد. اگر پدیده قوس زدگی خیلی زیاد باشد سبب کاهش تنش در هسته شده و احتمال گسیختگی هیدرواستاتیکی در زمان آب گیری وجود خواهد داشت. مقدار ضریب قوس زدگی در داخل هسته را می توان از رابطه زیربدست آورد: [نیرومند و همکاران،۱۳۸۳]

$$\text{ضریب قوس زدگی} = \frac{\sigma_V}{\gamma h} \qquad ۱-۲$$

σ_v: فشار کل قائم در داخل هسته

۱- Arching

γ: وزن مخصوص مصالح هسته

h: ارتفاع خاکریزی

این ضریب هر چه کوچکتر باشد قوس زدگی اتفاق افتاده داخل هسته بیشتر خواهد بود. قوس زدگی اتفاق افتاده در سدهای بزرگ دنیا مانند سد اسواتوان(با ارتفاع ۱۳۰ متر در نروژ) و سد واتنواکوانت با ۱۲۵ متر ارتفاع بترتیب برابر ۰/۳۲ الی ۰/۹ و ۰/۳۵ الی ۰/۶۳ بوده است همچنین در مورد سد کرخه بر طبق گزارشات بدست آمده از نتایج ابزار دقیق برابر ۰/۴۵ تا ۰/۶۵ بوده است که مقادیر قوس زدگی بدست آمده از نتیجه تحلیل و نتایج ابزار دقیق در زمانی که ارتفاع سد کم بوده است، تفاوت زیادی با هم داشته و با افزایش تراز خاکریزی این مقادیر به هم نزدیک شده اند[نیرومند و همکاران،۱۳۸۳].

یکی از مهمترین مراحل ابزاربندی سد، طراحی شبکه منطقی و سیستماتیک ابزار دقیق می باشد. تردیدی وجود ندارد که در حال حاضر تکنولوژی ساخت ابزار دقیق به مراتب جلو تر از سطح دانش و عملکرد مهندسین ابزر دقیق پروژه ها می باشد. به همین دلیل، اکثر مشکلاتی که در عملکرد ابزار دقیق نصب شده در پروژه ها پیش می آید، اشکال های ناشی از مسایل مربوط به استفاده کننده بوده و به مراتب بیش از موارد نقص ابزار دقیق می باشد.

اخیراً، تمایل زیادی به اندازه گیری اتوماتیک و از راه دور ابزار دقیق وجود دارد، علیرغم امتیازاتی که سیستم های قرائت خودکار دارند، محدودیت های آنها همواره باید مورد توجه قرار گیرند. هیچ سیستم خودکار و هوشمندی قادر به جایگزینی قضاوت مهندسی متخصص ابزار دقیق نمی باشد. به هنگام استفاده از سیستم قرائت خودکار ابزار دقیق، به احتمال خیلی زیاد، مراجعه به محل نصب ابزار و مشاهده عینی، ثبت و منظور کردن پارامتر های مؤثر در تغییرات پارامتر های اندازه گیری شده در آن محل صورت نمی گیرد. به این دلیل، در بسیاری از موارد، علت یابی برخی از تغییرات و اتفاقات ممکن نخواهد شد. مهندسین ابزار دقیق می باید، علیرغم حداکثر استفاده از قابلیت های سیستم ثبت و پردازش خودکار داده های ابزار دقیق، نقش غیر قابل انکار و غیر قابل جایگزین قضاوت مهندسی در پروژه های ژئومکانیک را همواره مورد توجه قرار دهند.

ما در این پایان نامه از داده های ابزار دقیق سه سد سیرجان، نهرین، و بار که شامل تنش سنجها، کرنش سنجها و پیزومترها می باشد استفاده نموده یم و این داده ها را با نتایج بدست آمده در مدلسازی ها در فصل هشتم مقایسه نموده ایم.