دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه های هیدرو لیکی

موضوع :

بررسی رفتاری سدهای خاکی با استفاده از نتایج ابزاردقیق سد و تحلیل برگشتی (مطالعه موردی : سد خاکی شهر چای)

اساتید راهنما:

دکتر محمد مناف پور **دکتر میرعلی محمدی**

تنظیم و نگارش :

کیوان کولانی مطلق

شهریور ۱۳۹۱

حق چاپ برای دانشگاه ارومیه محفوظ است

بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده :

فرآیند رفتارسنجی به معنی بررسی عملکرد یک سازه درطی دوران ساخت و بهره برداری و تطبیق آن با پیش بینی های زمان طراحی می باشد. رفتارنگاری در سازه های خاکی بدلیل امکان بروز پدیده هایی مانند لغزش شیروانیها، پدیده رگاب یا جوشش، ترک خوردگی یا گسیختگی هیدرولیکی و شستگی مصالح ریزدانه و ... از اهمیت خاصی برخوردار است . انجام فرآیند کنترل ایمنی و پایداری سدخاکی و پی آن معمولا از طریق بررسی اطلاعات موجود در آرشیو فنی، نتایج حاصله از قرائت ابزار دقیق و بازرسیهای میدانی و تحلیل عددی سد صورت می گیرد.

در این تحقیق ضمن تاکید بر اهمیت رفتار سنجی سد های در حال بهره برداری، با معرفی ابزاردقیق متداول در سدهای خاکی به مطالعه موردی سد خاکی شهر چای ارومیه و رفتار نگاری این سد به دو روش ، تحلیل اطلاعات قرائت شده از ابزار دقیق نصب شده در پی و بدنه سد و آنالیز عددی سد پرداخته شده است . در تحلیل عددی سد مورد مطالعه به منظور پیش بینی رفتار سد در موقعیتهای مختلف و شرایط متغیر بارگذاری یا شبیه سازی عددی سد ، مدل کامپیوتری از آن تهیه گردید . در این مدل که با استفاده از نرم افزار Geo Studio بصورت دو بعدی فراهم شد با انجام آنالیز برگشتی کلیه پارامترها و مشخصات مکانیکی مصالح متناسب با مدل واقعی کالیبره گردید.

نتایج حاصل از این مطالعه که با محاسبه پارامترهای مختلف از قبیل خط سطح آزاد جریان آب داخل بدنه سد (خط فراتیک)، میزان نشت آب از پی و بدنه، ضرایب پایداری شیبهای بالادست وپایین دست سد، میزان نشستهای آنی و تحکیمی سد ، جابجاییهای افقی داخل بدنه و همچنین انطباق آنها با مقادیر حاصل از قرائت ابزاردقیق، همراه بوده ، حاکی از رفتار صحیح بخشهای مختلف پی و بدنه سدخاکی شهرچای ، در حال حاضر می باشد با این حال جهت تامین ایمنی بیشتر ساکنین روستاهای پایین دست و شهر ارومیه که در ۱۲ کیلومتری پایین دست واقع شده ، تعمیر و راه اندازی ابزارهای معیوب و نگهداری و بهره برداری از ابزار دقیق موجود و رفتار سنجی دقیق و مستمر پی و بدنه سد توصیه می گردد..

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- فصل اول – مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- ضرورت و هدف تحقیق ۲

۲ فصل دوم - سابقه و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- تاریخچه مطالعات رفتار نگاری سد با استفاده از مشاهدات صحرایی و آنالیز عددی ۷

۲-۳- تئوری نشست آنی در سدهای خاکی ۱۰

۲-۴-تئوری تحلیل پایداری توده خاک ۱۳

۳ فصل سوم - ابزاردقیق بکار رفته در سدهای خاکی

۳-۱- تقسیم بندی ابزار دقیق بر اساس مکانیزم عملکرد آنها ۱۵

۳-۲- معرفی برخی از ابزار بکار رفته در سد های خاکی ۱۶

۳-۲-۱- ابزار اندازه گیری فشار آب منفذی ۱۷

۳-۲-۱-۱- پیزومترهای الکتریکی از نوع تار مرتعش (سیستم بسته) ۱۷

۳-۲-۱-۲- پیزومترهای هیدرولیکی (سیستم بسته) ۲۱

۳-۲-۱-۳- پیزومترهای پنوماتیکی (سیستم بسته) ۲۳

۳-۲-۱-۴- پیزومترهای لوله متخلخل (سیستم باز) ۲۴

عنوان **صفحه**

۳-۲-۱-۵- پیزومترهای لوله شیار دار (سیستم باز) ۲۵

۳-۲-۱-۶- چاهکهای مشاهده ای (سیستم باز) ۲۵

۳-۲-۱-۷- پیزومترهای کاساگرانده (سیستم باز) ۲۶

۳-۲-۱-۸- مقایسه برخی پیزمترها با یکدیگر ۲۸

۳ -۲-۲- دستگاه فشار سنج کل از نوع تار مرتعش (سلول فشار) ۳۰

۳-۲-۳-ابزار اندازه گیری شیب (شیب سنج) ۳۲

۳-۲-۴- نشست سنجها ۳۳

۳-۲-۴-۱- سیستم نشست سنج مغناطیسی ۳۳

۳ -۲-۴-۲- سیستم نشست سنج هیدرولیکی ۳۵

۳-۲-۴-۳- مجموعه انحراف سنج – نشست سنج (جابجایی سنج) ۳۶

۳-۲-۵- ابزاراندازه گیری سطح آب مخزن ۳۷

۳-۲-۵-۱- خط کش اندازه گیری سطح آب بصورت مکانیکی (اشل) ۳۷

۳-۲-۵-۲- خط کش الکتریکی جهت اندازه گیری سطح آب با دقت بالا ۳۸

۳-۲-۶- شتاب نگار ۳۹

۳-۲-۷- دبی سنج ۳۹

۳-۳ - تواتر قرائت ابزار دقیق ۴۱

۴ فصل چهار - روش کار و مواد بکار رفته

۴-۱ – مقدمه ۴۳

عنوان **صفحه**

۴ -۲- معرفی اجمالی سد شهر چای ارومیه ۴۴

۴- ۳- ابزار بندی سد شهر چای ۴۷

۴- ۴ - قرائت نتایج ابزار دقیق بکار رفته در سد شهرچای ارومیه ۴۹

۴-۵ - تهیه مدل عددی (آنالیز عددی) سد خاکی شهر چای ۵۱

۴-۵-۱ نرم افزار GEO-STUDIO ۵۱

۴-۵-۲ برنامهSIGMA/W ۵۲

۴-۵-۲-۱ مدل الاستیک خطی ۵۳

۴-۵-۲-۲ مدل الاستیک خطی ناهمسانگرد ۵۴

۴-۵-۲-۳ مدل الاستیک غیر خطی ۵۶

۴-۵-۲-۴ مدل الاستوپلاستیک (موهر کلمب یا ترسکا) ۵۸

۴-۵-۲-۵ مدل نرم شوندگی کرنش ۵۹

۴-۵-۲-۶ مدل Modified Cam- Clay و Cam- Clay ۶۱

۴-۵-۲-۷ مدل سطوح لغزش ۶۴

۴-۵-۳ تعیین المان‌های خاکریزی یا حفاری ۶۵

۴-۵-۴ برنامه SLOPE/W ۶۶

۴-۵-۴-۱ تحلیل پایداری تعادل حدی برنامه SLOPE/W ۶۶

۴-۵-۴-۲ روش تنش اجزاء محدود برنامه SIGMA/W ۶۶

۴-۵- ۵ ترکیب برنامه‌هایSEEP, SIGMA, SLOPEاز بسته نرم‌افزارهای GEO-STUDIOبرای تحلیل سدهای خاکی ۶۷

عنوان **صفحه**

۴-۵-۵-۱ استفاده از فشارهای آب حفره‌ای ایجاد شده در برنامه SEEP/W برای تحلیل پایداری در برنامه SLOPE/W ۶۷

۴-۵-۵-۲برنامهSIGMA/Wترکیب شده بابرنامه SEEP/W ۶۷

۴-۵-۵-۳فشارآب حفره‌ای برنامهSIGMA/Wدر برنامه SEEP/W ۶۸

۴-۵-۵-۴تنش‌های برنامهSIGMA/Wدر برنامه SLOPE/W ۶۸

۴-۵-۵-۵فشارآب حفره‌ای برنامهSIGMA/Wدر برنامه SLOPE/W ۶۸

۴ -۶ فرضیات بکار رفته در تحلیل عددی سد ۶۸

۵ فصل پنج - بررسی نتایج ابزاردقیق نصب شده بر روی سد شهرچای

۵ - ۱ – مقدمه ۷۱

۵-۲- نتایج حاصل از قرائت پیزومترهای کاساگرانده در سد (قرائت SP ها) ۷۱

۵-۳- نتایج حاصل از قرائت پیزومترهای ارتعاشی (قرائت V.W ها) ۷۵

۵-۴- نتایج حاصل از قرائت نشست سنجها (MS+Iها) ۷۸

۶ فصل شش - نتایج تحلیلی رفتار سد شهر چای

۶-۱ - مقدمه ۸۴

۶-۲- بررسی وضعیت نشت از بدنه (در زمان بهره برداری) با استفاده از آنالیز عددی ۸۴

۶-۳- بررسی پایداری شیب بالا دست در حالت جریان پایدار ۹۰

۶-۴ بررسی پایداری شیب پایین دست در حالت جریان پایدار ۹۲

۶-۵- بررسی وضعیت جابجایی قائم سد در پایان دوره ساخت ۹۲

۶-۶- بررسی وضعیت جابجایی قائم و افقی سد در دوران بهره برداری ۹۴

عنوان **صفحه**

۶ -۷- بررسی پایداری شیب بالا دست سد در وضعیت تخلیه سریع آب مخزن ۹۶

۷ فصل هفت - نتیجه گیری

۷-۱- نتیجه گیری ۹۸

۷-۲- پیشنهادات ۹۹

منابع و مواخذ ۱۰۰

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: منحنی نشست بدنه سد در مقطع محوری آن در هر مرحله از ساخت ۱۱

شکل ۲-۲: نمودار تغییرات محل وقوع حداکثر نشست در ارتفاع سد ۱۲

شکل ۳-۱: اجزأداخلی پیزومتر ارتعاشی ۱۷

شکل ۳- ۲: انواع پیزومترهای الکتریکی تار مرتعش ۱۸

شکل ۳- ۳: مراحل نصب پیزومتر در داخل گمانه ۱۹

شکل۳–۴: طریقه نصب سنسور پیزومتر ۱۹

شکل ۳-۵: مراحل نصب پیزومتر در داخل خاکریز ۲۰

شکل۳-۶: ترانشه ایجاد شده برای نصب ابزار ۲۰

شکل۳-۷: شکاف ایجاد شده برای قرار د ادن سنسور ۲۰

شکل۳-۸: نمائی از پوشاندن سنسور توسط خاک نرم ۲۰

شکل ۳-۹: مکانیزم پیزومتر هیدرولیکی ۲۱

شکل ۳-۱۰: مکانیزم داخلی پیزومتر پنیوماتیک ۲۳

شکل۳-۱۱: پیزومتر پنوماتیک ۲۴

شکل ۳-۱۲ : چاه مشاهده ۲۵

شکل ۳-۱۳ : پیزومتر کاساگرانده ۲۶

شکل ۳-۱۴: نمای کلی پیزومتر کاساگرانده ۲۷

شکل۳-۱۵: اشباع کردن فیلتر کاساگرانده ۲۸

شکل۳-۱۶: اتصال فیلتر به لوله کاساگرانده ۲۸

شکل ۳-۱۷: دستگاه فشار سنج نوع تار مرتعش ۳۰

شکل ۳-۱۸: موقعیت های استقرار دستگاه فشار سنج درون خاکریز ۳۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۳-۱۹ :- فشار سنج کل از نوع تار مرتعش ۳۱

شکل۳-۲۰ : طریقه نصب سلول فشار در خاکریز ۳۱

شکل ۳-۲۱ :- پروب اندازه گیری شیب سنج ۳۲

شکل ۳-۲۲: شیب سنج درجا - Inplace clinometers ۳۲

شکل۳-۲۳: سیستم نشست سنج مغناطیسی ۳۳

شکل۳-۲۴: نصب نشست سنج داخل خاکریز ۳۴

شکل۳-۲۵: نمائی از نشست سنجهای داخل گمانه ای و خاکریز ۳۴

شکل ۳-۲۶: سیستم نشست سنج هیدرولیکی ۳۵

شکل۳-۲۷: سیستم نشست سنج هیدرولیکی ۳۶

شکل۳-۲۸ : لوله‌های انحراف سنج همراه با درپوش ۳۷

شکل۳-۲۹ : دستگاه اندازه‌گیری نشست ۳۷

شکل۳- ۳۰: دستگاه اندازه گیری انحراف به همراه سوند و دستگاه قرائت دستی ۳۷

شکل۳-۳۱: خط کش اندازه گیر سطح آب ۳۸

شکل۳-۳۲: نحوه نصب اشل ۳۸

شکل۳-۳۳: دبی سنج v شکل ۳۹

شکل شماره ۳-۳۴: دبی سنج (V-notch) ۴۰

شکل ۴- ۱ : نقشه پلان جانمایی سد شهرچای ارومیه ۴۶

شکل ۴- ۲ : پلان موقعیت سد و اراضی زیر کشت پایین دست ۴۶

شکل ۴- ۳ : مقطع عرضی تیپ سد شهرچای ارومیه ۴۷

شکل ۴- ۴ : پلان جانمایی ابزار دقیق سد شهر چای ارومیه ۴۸

شکل ۴- ۵ : محل قرار گیری ابزار بکار رفته در مقطع ۰+۱۷۵ ..... ۵۰

شکل ۴-۶ : نمودار تنش کرنش مدل رفتاری الاستیک خطی ۵۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۷ : نمودار مدل رفتاری الاستیک ناهمسانگرد ۵۵

شکل ۴- ۸ : نمودار تنش کرنش مدل رفتاری الاستیک غیر خطی ۵۶

کل ۴-۹ : نمودار تنش کرنش مدل الاستیک- کاملاً پلاستیک ۵۸

شکل ۴- ۱۰ : نمودار تنش کرنش مدل نرم شوندگی کرنش ۶۰

شکل ۴- ۱۱ : نمودار تنش کرنش مدل Modified Cam- Clay و Cam- Clay ۶۱

شکل ۴- ۱۲: شباهت رفتار تنش کرنش و نمودار تحکیم در مدل‌های Cam-Clay ۶۲

شکل ۴- ۱۳ : نمودار تسلیم برای مدل Cam- Clay ۶۲

شکل ۴- ۱۴ : نمودار تسلیم برای مدل Modified Cam Clay ۶۳

شکل ۴- ۱۵ : المان سطح لغزش با گره در چهار گوشه ۶۴

شکل ۴ – ۱۶: نمای یک خاکریز مدل شده با سه مرحله خاکریزی ۶۵

شکل ۴- ۱۷: مقطع عرضی سد شهر چای در کیلومتر ۱۷۰ + ۰ ..... ۶۹

شکل ۵-۱ : نمودار تغییرات سطح آب دریاچه مخزن سد ۷۲

شکل ۵-۲ : نمودار نمایش تغییرات سطح آب کلیه پیزومترهای سد ومقایسه آن با تغییرات سطح آب دریاچه مخزن ۰۰ ۷۲

شکل ۵-۳ : نمودار نمایش تغییرات سطح آب پیزومترهای واقع در مقطع ۱۷۰ + ۰ ومقایسه آن با سطح آب دریاچه مخزن ۷۳

شکل ۵-۴ : مقادیر کلیه پیزومترهای ارتعاشی واقع در بدنه سد شهرچای در محدوده زمانی نیمه دوم سال ۱۳۸۸ ۰۰۰۰۰ ۷۵

شکل ۵-۵ : نمودار تغییرات پیزومترهای ارتعاشی مقطع ۱۷۵+۰ در نیمه دوم سال ۱۳۸۸ ..... ۷۶

شکل ۵-۶ : نمودار نشست نسبی هسته سد در حین ساخت ۷۸

شکل ۵-۷: نمودار نشست تحکیمی هسته سد شهر چای در مقطع ۱۷۵+۰ تا مهر ماه سال ۱۳۹۰- (MS+I)2 ..... ۸۰

شکل ۵-۸ : نمودار نشست تحکیمی هسته سد شهر چای در مقطع ۳۲۰+۰ تا مهر ماه سال ۱۳۹۰- (MS+I)1 ..... ۸۱

شکل ۵-۹ : نمودار نشست تحکیمی پوسته سد شهر چای در مقطع ۱۷۵+۰ تا مهر ماه سال ۱۳۹۰- (MS+I)4 ..... ۸۲

شکل ۶-۱: نمایش خط فراتیک حاصل از آنالیز نرم افزار در مقطع ۱۷۵+ ۰ ..... ۸۴

شکل ۶-۲ : موقعیت محل نصب پیزومترها در مقطع کیلومتر ۱۷۵+۰ سد شهر چای ۸۵

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۶-۳ : نمایش مقدار دبی آب نشتی از بدنه و فنداسیون سد شهرچای ارومیه در مقطع کیلومتر ۱۷۵+۰ ..... ۸۷

شکل ۶-۴: دیاگرام توزیع تنش کل ۸۷

شکل ۶- ۵ : دیاگرام توزیع تنش حفره ای ۸۸

شکل ۶-۶ : دیاگرام توزیع تنش موثر ۸۸

شکل ۶-۷ : نمودار توزیع تنش کل در امتدادمحور قائم عبوری از میان هسته ۸۹

شکل ۶-۸ : نمودار توزیع تنش حفره ای در امتدادمحور قائم عبوری از میان هسته ۸۹

شکل ۶-۹ : نمودار توزیع تنش موثر در امتدادمحور قائم عبوری از میان هسته ۸۹

شکل ۶-۱۰ : نمایش دایره لغزش بحرانی شیب بالا دست سد در حالت جریان پایدار ۹۰

شکل ۶-۱۱ : نمایش یکی از قطعات دایره لغزش در حالت تعادل حدی ۹۱

شکل ۶-۱۲ : نمایش دایره لغزش بحرانی شیب پایین دست سد در حالت جریان پایدار ۹۲

شکل ۶-۱۳ : دیاگرام توزیع جابجایی قائم در امتداد محورعبوری از هسته سد(در دوران ساخت) ۹۳

شکل ۶-۱۴ : دیاگرام توزیع جابجایی قائم در امتداد محور عبوری ار جنب بستر سد (در دوران ساخت) ۹۴

شکل ۶-۱۵: دیاگرام توزیع جابجایی نسبی در مقطع سد در دوران بهره برداری در مقطع ۱۷۵+۰ ..... ۹۴

شکل ۶-۱۶: دیاگرام توزیع جابجایی قائم در امتداد محورعبوری از هسته سد(در دوران ساخت) ۹۵

شکل ۶-۱۷: نمودار توزیع جابجاییهای افقی سد در دوران بهره برداری در مقطع ۱۷۵+۰ ..... ۹۵

شکل ۶-۱۸ : نمایش نحوه جابجایی قائم و افقی سد در دوره بهره برداری ۹۶

شکل ۶-۱۹: نمایش خط فراتیک در حالت تخلیه سریع ۹۷

شکل ۶-۲۰ : نمایش دایره لغزش بحرانی و خط فراتیک در حالت تخلیه سریع ۹۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱- مثالهایی از ارزیابی عملکرد اقدامات علاج بخشی برخی از سدهای جهان ۳

جدول ۳-۱ لیست ابزار بکار رفته در سد های خاکی ۱۶

جدول ۳- ۲مزایا و معایب پیزومترها ۲۹

جدول۳-۳- راهنمای قرائت دوره ای ابزارهای مختلف در سدهای خاکی ۴۲

جدول ۴-۱ لیست ابزار بکار رفته در سد شهر چای ۴۹

جدول ۴-۲ خصوصیات پارامترهای بکار رفته در مدل الاستیک خطی ۵۴

جدول ۴-۳ خصوصیات پارامترهای بکار رفته درمدل الاستیک ناهمسانگرد ۵۵

جدول ۴-۴ خصوصیات پارامترهای بکار رفته در مدل الاستیک غیر خطی ۵۷

جدول ۴-۵ خصوصیات پارامترهای بکار رفته در مدل الاستوپلاستیک ۵۹

جدول ۴- ۶ خصوصیات پارامترهای بکار رفته در مدل نرم شوندگی کرنش ۶۱

جدول ۴- ۷ خصوصیات پارامترهای بکار رفته در مدل Cam- Clay و Modified Cam Clay ۶۳

جدول ۴- ۸ خصوصیات پارامترهای بکار رفته در مدل سطح لغزش ۶۵

جدول ۴-۹ مقادیرنهایی مشخصات مصالح بدنه سد شهرچای حاصل از آنالیز برگشتی ۷۰

فصل ۱ - مقدمه :

۱- ۱ مقدمه

کشور ایران بلحاظ آب و هواشناسی جزء کشورهای خشک و نیمه خشک محسوب می شود لذا با توجه به آمار روز افزون افزایش جمعیت، برای جلوگیری از بحران کم آبی در آینده علاوه بر احداث سیستمهای عظیم ذخیره و توزیع آب، باید عملیات بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات مذکور نیز مورد توجه قرار بگیرد.[۱۹]

در این مبحث بصورت خاص به عملیات بهره‌برداری و نگهداری سدهای خاکی بعنوان یکی از ذخایر مهم آبی کشور پرداخته می شود.

رفتار سدها همانند رفتار موجودات زنده می باشد بطوریکه جهت ادامه بقا وحفظ پایداری خود ، باید توانایی سازگاری با عوامل متغیر محیط میزبان خود ، از جمله اشباع لایه های بدنه در زمان آبگیری مخزن ، را داشته باشند

بنابراین ایمنی سدهای موجود بایستی با دیده‌بانیها و تحلیل‌های منظم داده‌های رفتارنگاری بصورت موردی ارزیابی شود و در نتیجه با اصلاح کاستی‌ها ایمنی سد بهبود یابد. منظور از حفظ ایمنی سد ، در واقع انجام سلسله عملیاتی است که مانع شکست سد خواهد شد

بطور کلی شکست یک سد می‌تواند به دلایل ذیل و یا ترکیبی از آن‌ها باشد:

-) طراحی نامناسب

-) اجرای نامناسب

-) بهره‌برداری نامناسب

-) نگهداری نامناسب

در این میان نگهداری و بهره‌برداری نامناسب در اغلب موارد می‌تواند اثرات مخرب هر یک از عوامل فوق را به گونه‌ای تشدید نماید که در نهایت منجر به شکست سد گردد و بر عکس با نگهداری و بهره‌برداری مناسب و در نتیجه اقدامات علاج بخش بموقع می‌توان حاشیه ایمنی سدی با طراحی و اجرای نامناسب را تا حد زیادی حفظ نمود.[۲۰]

۱- ۲ - ضرورت و هدف از تحقیق

در واقع نمی توان روند کهولت یک سد را متوقف نمود ولی می‌توان با علت‌های زوال پذیری مبارزه کرد و اثرات مخرب کهولت را کاهش داد. اغلب موارد متعددی از رفتارهای ناهنجار و خرابی‌های قابل جبران در دوران بهره‌برداری پیش می‌آید که بصورت موردی و قطعی و متاثر از تغییر شرایط بارگذاری می باشد که شناخت آن‌ها از طریق بررسی‌های عینی، کنترهای صحرایی و یا به کمک سیستم رفتارنگاری ممکن می‌باشد.

توجه به آمار ذیل در خصوص تاریخچه دلایل شکست سدهای خاکی اهمیت پرداختن به نحوه رفتارنگاری سدها و در پی آن تعداد ، نوع و محل های ابزار دقیق را دو چندان می کند .

در سال ۱۹۷۶ سد خاکی تیتان در آمریکا با ارتفاع ۹۲ متر و طول تاج ۵۵۰ متر در حال آبگیری اولیه در شرایط مخزن پر گسیخت که علت شکست آن بر اساس گزارش USBR فرسایش داخلی هسته سد و شسته شدن ذرات خاک شناخته شد. در این سد هیچگونه ابزار دقیق نصب نگردیده بود.[۱۹]

در سال ۱۹۷۹ سد خاکی ماچوهوی در هندوستان بدلیل سر ریز از تاج سد فروریخت، علت آن باز نشدن دریچه قطاعی سد بدلیل قطع برق و عدم وجود مولدهای اضطراری اعلام گردید.[۱۹]

در سال ۱۹۵۹ سد مالپاسه بدلیل نشت غیر عادی آب از تکیه گاه راست فرو می‌ریزد. علت بروز حادثه عدم نصب دستگاه‌های رفتار سنجی اعلام گردید. در این سد هیچگونه ابزار رفتارسنجی نصب نشده بود و فقط سالی یکبار با استفاده از نقاط نشانه تاج برداشت ژئودتیک از آن انجام می گرفت.[۱۹]

سد زوری در سوئیس مجهز به ابزار دقیق کنترل رفتار سد می باشد.بدلیل عملیات ساختمانی و حفر تونل در عمق ۴۰۰ متری نزدیک سد ناگهان دچار تغییر مکان و در نهایت بروز ترک در بدنه می گردد که شبکه ابزار دقیق این وضعیت را به وضوح نشان می دهندبه همین دلیل مخزن سد سریعاً تخلیه شد و پس از طی مراحل ترمیم و بازسازی مجدداً مورد بهره‌برداری قرار گرفت در صورت عدم وجود شبکه ابزار دقیق این سد نیز دچار فاجعه می گردید.[۱۹]

جدول شماره ۱-۱ مثالهایی از ارزیابی عملکرد اقدامات علاج بخشی برخی از سدهای جهان را نشان میدهد که در اثر قرائت نتایج حاصل از ابزار دقیق می باشد :

جدول۱-۱- مثالهایی از ارزیابی عملکرد اقدامات علاج بخشی برخی از سدهای جهان

سد	محل	سال پایان عملیات اجرایی	ابزاری که اهمیت زیادی در تحلیل مشکلات موجود داشته اند	مساله ارزیابی شده
توین بیوتس	تکزاس	۱۹۶۳	پیزومترها	فرار آب از پرده تزریق
سن لوئیس	کالیفرنیا	۱۹۶۷	پیزومترهای تار مرتعش ، شیب سنج ها و نقاط اندازه گیری سطحی	جابجایی برم بالا دست و عدم وجود پایداری در برم
استارویشن	یوتا	۱۹۷۰	پیزومترها	نشت آب از تکیه گاه سد
سولجر کریک	یوتا	۱۹۷۴	پیزومترها	نشت آب از تکیه گاهها
ماونت البرت	کلرادو	۱۹۸۱	پیزومترها	عملکرد صحیح آب بندی دیوارهای مخزن .
هلینا ولی	مونتانا	۱۹۵۸	پیزومترها	نشان داد که آب بندی دیواره های مخزن و عملیات تزریق ترمیمی به تنهایی رضایت بخش نبوده.

گواهاتاکا	پورتوریکو	۱۹۲۶	شیب سنج	وجود جابجایی و تغییر مکان در تکیه گاهها .

یکی از مهم‌ترین مراحل سدسازی پس از طراحی و احداث آن‌ها ، مدیریت بهره‌برداری و نگهداری چنین پروژه‌هایی است. برای این‌کار از نتایج حاصل از ابزارنگاری سدها و در پی آن تحلیل‌های برگشتی بهره گرفته می شود [۲۱]که یکی از اهداف مهم این تحقیق بیان اهمیت این مرحله بوده و همچنین با بررسی نتایج حاصل از ابزارنگاری یک سد خاکی ، بصورت عملی بخشی از پروسه مدیریت بهره برداری و نگهداری سد را ارائه نموده است .

دقت رفتارنگاری سدها در درجه اول به دقت و عملکرد ابزار مورد استفاده در آنها بستگی دارد لذا در ابتدا به معرفی مختصر ابزار بکار رفته در سدها پرداخته شده است لذا برای درک صحیح از چگونگی کارکرد این دستگاه ها به دسته بندی آنها می پردازیم . دستگاه-های رفتارسنجی جهت رفتارنگاری سدها با توجه به نوع سدها عمدتاً به سه دسته ذیل تقسیم می شوند:

۱- دستگاه‌های مشترک که در انواع سدهای خاکی و بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل:

-) دستگاه‌های اندازه‌گیری تراز آب مخزن

-) ایستگاه‌های هواشناسی

-) ایستگاه‌های هیدرومتری

-) پیلارها و نقاط نقشه‌برداری

-) دستگاه‌های لرزه‌نگاری و شتاب سنجی

-) پیزومترهای کاساگرانده

-) ابزاراندازه‌گیری دبی آب نشتی و نفوذی نظیر ظروف مدرج و کرونومتر،سرریزهای مثلثی

۲- دستگاه‌های رفتارسنجی سدهای بتنی شامل:

-) پاندول‌های مستقیم و معکوس

-) شیب سنج‌های ثابت

-) ترمومترها

-) تنش سنج‌ها

-) مانومترها

-) درزو ترک سنج‌ها

۳- دستگاه‌های رفتارسنجی سدهای خاکی شامل:

-) نشت سنج‌ها

-) شیب سنج‌ها

-) پیزومترهای مدفون

-) دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار کلی و فشار آب منفذی

فصل ۲ سابقه و پیشینه تحقیق :

۲-۱ مقدمه

پیش بینی رفتارسدهای خاکی ازنظرپایداری وایمنی درمراحل مختلف دارای اهمیت بسیاری می باشد . با استفاده از نتایج حاصله از قرائت ابزاز دقیق بکار رفته در بدنه سد و باتحلیل و پیش بینی رفتارسدهادرمراحل ساخت وبهره برداری، میتوان بااتخاذاقدامات لازم ازوقوع مشکلات جدید درحین بهره برداری ازسد، به عنوان یکی ازگرانترین ساخته های دست بشرجلوگیری به عمل آورد.

با مراجعه به مراجع منتشر شده (USBR) [۲۲] ظاهراً تاریخچه استفاده از ابزار دقیق در سدهای خاکی از سال ۱۹۰۷ به بعد و در سدهای بتنی از سال ۱۹۱۰ به بعد می باشد . نوع و ساختار این ابزار به تدریج با پیشرفت دانش در شاخه های اپتیک ، مکانیک ، هیدرولیک ، الکترونیک ، ژئودزیک و کامپیوتر ، همگام با پیشرفت صنعت سد سازی و با توجه به نیازههای متخصصین تکمیل گردیده است به طور مثال ابزارسنجش ارتعاشات برای اولین بار در دهه ۱۹۳۰ ابداع گردید اما بیشترین تحول و تکامل این ابزار در دهه های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ صورت گرفت . (دکتر وفائیان ۱۳۸۵)

در اغلب موارد ، معلوم نیست که در طراحی و ساخت یک سد قدیمی نکات ایمنی به روز منتشر شده توسط (ICOLD) رعایت شده است یا نه ؟ (دکتر مهدویان ۱۳۸۱) لذا با استفاده ازروش شبیه سازی کامپیوتری این امکان برای متخصصان امر فراهم می گردد که بدون صرف هزینه های گزاف به پیش بینی رفتار سد در شرایط بحرانی احتمالی و بررسی وضعیت پایداری این قبیل سدها و همچنین کنترل نکات ایمنی مذکور بپردازند . بدین منظور لازم است فرضیات بکار رفته در مدل کامپیوتری و شرایط مرزی اعمال

شده کاملا با شرایط واقعی همخوانی داشته باشد . استفاده از نتایج حاصل از قرائت ابزار دقیق روشی مطمئن جهت کنترل صحت فرضیات مدل کامپیوتری و در نتیجه اعطای اعتبار هرچه بیشتر به نتایج حاصل از پیش بینی رفتار سد می باشد.

۲-۲ تاریخچه مطالعات رفتار نگاری سد با استفاده از مشاهدات صحرایی و آنالیز عددی

تحلیل عددی سدها با روش اجزاء محدود تقریبا در دهه ۱۹۶۰ میلادی آغاز گردید. سدخاکی اسکاموند از اولین سدهای خاکی نسبتا بزرگ در انگلستان بود که در اواخر ۱۹۶۰ توسط پنمن و همکارانش مورد تحلیل عددی براساس اجزاء محدود قرار گرفت.اندکی بعد از احداث سد اسکاموند ، سد خاکی للین بریان نیز توسط پنمن و چارلز به روش تحلیل عددی و با استفاده از اجزاء محدود مورد مطالعه قرار گرفت. سد خاکی اروویل در سال ۱۹۷۲ در زمان اولین آبگیری توسط نوبری و دانکن به روش اجزاء محدود مورد بررسی قرار گرفت . سد ایل این فیرنیلو در مکزیک یکی از اولین سازه های خاکی سنگریزه ای می باشد که نتایج حاصل از اندازه گیری ابزار دقیق با مقادیر نتایج حاصل از تحلیل عددی به روش اجزاء محدود مقایسه گردیده است .کلاف و وودوارد نیز در سال ۱۹۶۷ میلادی برای تحلیل یک سد مرتفع از روش اجزائ محدود استفاده کرده اند .

ماکسیموویک (Maksimovic M) در سال ۱۹۷۳ با استفاده از روش المانهای محدود به بررسی پدیده قوس زدگی در هسته سدهای خاکی پرداخت . در این تحقیق با استفاده از مدلهای عددی مختلف و نرم افزار کامپیوتری و با روش سعی و خطا ، نتیجه گیری شد که با افزایش نسبت مدول الاستیسیته پوسته به هسته درجه قوس زدگی افزایش می یابد.

سزوستاک (Szostak) و همکارانش در سال ۲۰۰۱ تحقیقاتی بر روی مجموعه سدهای عظیم دیاموند واقع در جنوب شرقی لس آنجلس بعمل آوردند . تطابق بین مقادیر جابجایهای حاصل از تحلیل عددی با مقادیر حاصل از مشاهدات ژئودتیک در نقاط نشانه واقع بر روی تاج سد ، موید صحت فرضیات ایشان درانتخاب پارامترهای ژئوتکنیکی و ضرایب یانگ بکار رفته در تحلیل عددی و همچنین