
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش آبهای زیر زمینی

ابزار بندی و رفتار نگاری سدهای خاکی با هدف بررسی الگوی نفوذ آب از تکیه گاه، بدنه

و فونداسیون

نگارنده:

جواد بیرامی

اساتید راهنما:

دکتر غلامعباس کاظمی

دکتر ناصر حافظی مقدس

تابستان ۱۳۸۶

تقدیم به

پدر فداکار

،

مادر دلسوز

و

همسر عزیزم

من اکنون بیش از هر وقت رنج آن روح طوفانی و دربند که می گفت... صبر کردم صبر کسی که فار
در چشم و استفوان در گلو دارد. احساس می کنم رنج او را دارم بی آنکه عظمت و قدرت آن روح
را داشته باشم، شرح مال عجیبی است!

در این دنیا جزء واقعیت، فوبی و زیبایی چیز دیگر به جستجو نمی ارزد. نخستین با اندیشیدن علم،
دومین با اخلاق، مذهب و سومین با هنر و عشق.

دکتر علی شریعتی

بشر خود را می‌سازد. بشر نفست موجود سافته و پرداخته ای نیست؛ بلکه با انتخاب اخلاق خود، فویشن را می‌سازد، و اقتضای کار چنان است که نمی‌تواند هیچ اخلاقی را انتخاب نکند.

اگزستانسیالیسم معتقد است که بشر بدون هیچ اتکا و دستاویزی، بدون هیچ گونه مددی، ممکن است که در هر لحظه، بشریت را بسازد.

«پونژ» در مقالهٔ جالبی می‌گوید: «بشر، آینده بشر است.» این جمله چنین معنی می‌شود که بشر به هر گونه که بوجود آید، آینده ای دارد که خود باید بسازد و آینده ای بکر در انتظار اوست.

ژان پل سارتر

تعقیب هدفهای برتر، یعنی فراتر رفتن جلودانهٔ بشر از مد فویش.

خورفه لوئیس بورفس

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس فراوان ایزد منان را که به من توفیق آموختن پرتویی از دانش هستی و آشنایی با گوشه ای از حقایق زمین عطا فرمود.

گر چه نمی توان با هیچ قلمی، حق زحمات و مساعده های اساتید گرانقدر و دوستان گرامی را بجا آورد اما وظیفه خود می دانم از همه این عزیزان در حد توان تشکر و قدردانی نمایم.

از اساتید محترم آقای دکتر غلامعباس کاظمی و دکتر ناصر حافظی مقدس (اساتید راهنما) که با شکیبایی و احساس مسئولیت من را در انجام این رساله یاری داده اند و با راهنماییهای ارزنده نقش مهمی در به ثمر رسیدن این تحقیق داشته اند، سپاسگزارم.

از آقایان دکتر کرمی و دکتر ساغروانی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل گردیدند، کمال تشکر را دارم.

از کلیه اساتید دانشکده زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود بویژه آقای دکتر طاهری رئیس بخش زمین شناسی، دکتر فردوست، دکتر امیدی، دکتر مهدیزاده، دکتر قاسمی، دکتر صادقیان، دکتر رضائی و خانم دکتر دهرآزما و همچنین دکتر دولتی عضو هیئت علمی دانشکده معدن سپاسگزارم.

از کارشناسان بخش زمین شناسی آقای شاه حسینی کارشناس آموزشی بخش زمین شناسی و خانم سعیدی کارشناس امور دفتری، بخاطر زحمات زیادی که کشیده اند، سپاسگزارم.

از تمامی دوستان و کارشناسان عزیز آقایان مهندس صابر باقری، محمد حسینی، احسان حیدرزاده، مسلم حکیمیان، بهزاد جمشیدی، کریم جمیری، علی جعفری، علی محمدی، میلاد توللی، افطسی، کهندل، فاطمی، یزدان بخش، اسفندی، نوظهوری و بخصوص خانم مهندس هما عطار شریفی که کمکهای زیادی در پیشبرد این پایان نامه داشتند خالصانه تشکر و قدر دانی می کنم.

تشکر و قدر دانی از کارکنان شرکت های سدافزار، پرس سانکو، ملی ساختمان، سکو، آبان پژوه و ... را دارم.

در پایان از خانواده ام بویژه پدر دلسوز و مادر مهربانم که همواره پشتیبان و مشوق اصلی بنده در تمامی مراحل زندگی بوده و هستند بی نهایت متشکرم.

چکیده

سد مخزنی و نیروگاه ملاصدرا در استان فارس در منطقه ای بنام تنگ براق و در ۲۰۰ کیلومتری شمال غرب شیراز بر روی شاخه اصلی رودخانه کر احداث است. تنگه براق با ۶۰ کیلومتر فاصله، در بالا دست سد درودزن و در نزدیکی شهر اقلید قرار دارد. هدف از احداث این سد دستیابی به آب زراعی، کنترل سیلابهای رودخانه فراهم شدن امکانات تفریحی و سیاحتی، پرورش ماهی، بهبود شرایط زیست محیطی منطقه و مهمتر از همه راه اندازی نیروگاه برق آبی ملاصدرا برای تولید ۱۰۰ مگا وات برق مورد نیاز استان فارس می باشد. منطقه مورد نظر از نظر زمین شناسی در پهنه زاگرس مرتفع قرار دارد. جنس سنگ کف تکیه گاهها از آهک مارنی، سنگ آهک و شیل و ماسه تشکیل شده است. سد از نوع خاکی با هسته رسی (GC)، ارتفاع سد ۷۲ متر، طول تاج ۶۳۰ متر، عرض سد در کف ۳۰۰ متر و در تاج ۱۰ متر می باشد. محدوده سد فاقد سفره آبی مشخصی بوده. و گرادیان هیدرولیکی در تکیه گاههای سد حدود یک درصد و سطح آب زیر زمینی در جناحین بین ۲ تا ۵ متر بالاتر از بستر رودخانه می باشد. بنابراین رودخانه تکیه گاهها را زهکش می نماید. جهت ابزارنگاری سد فوق از انواع پیزومترها نظیر (پیزومترهای الکتریکی تار مرتعش، پیزومترهای سلول فشار کل، پیزومتر الکتریکی اندازه گیر سطح مخزن)، پیزومترهای کاساگرانده و پیزومترهای چاهکهای مشاهده ای، نشست سنجها، انحراف سنجها، دبی سنجها، خط کش اندازه گیز سطح مخزن (اشل)، و شتابنگارها استفاده شده است که در مجموع در این سد ۹۰ عدد پیزومتر الکتریکی، ۲۰ عدد پیزومتر کاساگرانده، ۱۳ عدد چاهک مشاهده ای، ۸ عدد انحراف سنج و نشست سنج، ۳ عدد دبی سنج، ۷۰ متر اشل و ۳ عدد شتابنگار وجود دارد که در مقاطع مختلف نصب شده است.

در مطالعه حاضر نتایج بدست آمده از ابزارهای مختلف در حین ساخت سد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که بر اساس آن توصیه های لازم جهت اصلاح نقشه اجرایی ارائه شده و همچنین در نهایت مدل حرکتی آب در درون و در زیر سد بررسی شده است. که از جمله از این اصلاحات می توان به اجرای دیوار آب بند در جناح راست (بخاطر نشت آب از این منطقه) اشاره کرد.

کلمات کلیدی: سد مخزنی، نیروگاه، بالادست، سفره آبی، شیب هیدرولیکی، تکیه گاه، پیزومتر، ابزار نگاری، نشت



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

MSc thesis, Hydrogeology

***Instrumentation and Monitoring of Earth Fill Dams to
Evaluate Seepage Pattern from the Abutments,
Foundation and Main Body.***

By:

Javad Beyrami

A Thesis submitted for the Achievement of the Degree of Master of Science

Supervisors:

Dr. Gholamabbas Kazemi

Dr. Nasser Hafezi Moghadas

Summer 2007

« فهرست مطالب »

صفحه	عنوان
خ	فهرست شکلها.....
ر	فهرست جداول.....
فصل اول : کلیات	
۱-۱-۱	مقدمه.....
۲-۱	تاریخچه و آمار سدهای خاکی ساخته شده در ایران و جهان.....
۳-۱	نقش و اهمیت ابزاربندی و رفتار نگاری.....
۴-۱	زمین شناسی عمومی منطقه.....

- ۵-۱- اهمیت مطالعات هیدروژئولوژی در طراحی سیستم ایزارنگاری ۵
- ۶-۱- هیدروژئولوژی منطقه ۶
- ۷-۱- معرفی سد ملاصدرا ۱۰
- ۸-۱- هدف و روش کار در مطالعه حاضر ۱۱

فصل دوم: مشکلات ناشی از نشت آب، و روشهای کنترل آن در سدهای خاکی

- ۱-۲- مقدمه ۱۲
- ۲-۲- تراوش کنترل نشده و افزایش فشار منفذی ۱۳
- ۳-۲- خرابی بر اثر فرسایش داخلی (رگاب) ۱۳
- ۴-۲- کنترل تراوش در سدهای خاکی ۱۷
- ۵-۲- انواع روشهای کاهش تراوش (آب بندی) در سدها ۱۸
- ۱-۵-۲- دیوار آب بند ۱۸
- ۲-۵-۲- پرده تزریق ۱۹
- ۳-۵-۲- ترانشه رسی ۲۱
- ۴-۵-۲- آب بندی ناقص ۲۳
- ۵-۵-۲- سپر فولادی ۲۳
- ۶-۵-۲- پوشش نفوذناپذیر بالادست ۲۳
- ۶-۲- روشهای کنترل نشت آب ۲۵
- ۱-۶-۲- چاهکهای کاهنده فشار ۲۵

صفحه

عنوان

- ۲-۶-۲- فیلترهای وزنی ۲۶

- ۲۷..... ۲-۶-۳- زهکشا
- ۲۸..... ۲-۷- طبقه بندی زهکشا
- ۳۰..... ۲-۸- طراحی زهکشا
- ۳۱..... ۲-۹- روشهای اندازه گیری دبی نشت آب
- ۳۲..... الف) اندازه گیری تراز سطح آب در یک سرریز مثلثی
- ۳۳..... ب) به کمک پیزومترها
- ۳۳..... ۲-۱۰- عملیاتهای تعمیر و ترمیم سدهای خاکی دارای نشت آب بیش از حد

فصل سوم : ابزارهای مورد استفاده در رفتارنگاری سدها

- ۴۰..... ۳-۱- مقدمه
- ۴۰..... ۳-۲- ابزارهای کنترل فشار آب
- ۴۱..... ۳-۲-۱- پیزومترهای از نوع سیستم بسته
- ۴۱..... ۳-۲-۱-۱- پیزومترهای الکتریکی از نوع تار مرتعش
- ۴۴..... ۳-۲-۱-۲- پیزومترهای هیدرولیکی
- ۴۷..... ۳-۲-۱-۳- پیزومترهای پنوماتیکی
- ۴۹..... ۳-۲-۲- پیزومتر از نوع سیستم باز
- ۴۹..... ۳-۲-۲-۱- پیزومترهای لوله متخلخل
- ۴۹..... ۳-۲-۲-۲- پیزومترهای لوله شیار دار
- ۴۹..... ۳-۲-۲-۳- چاهک های مشاهده ای
- ۵۰..... ۳-۲-۲-۴- پیزومتر کاساگرانده مدل (P1010040)
- ۵۲..... ۳-۳- شیب سنجها
- ۵۲..... ۳-۳-۱- میله اندازه گیری شیب سنج
- ۵۳..... ۳-۳-۲- لوله های شیب سنج از نوع ABS

۵۳.....	۳-۳-۳- نشیب سنج درجا
۵۳.....	۳-۳-۴- نشیب سنج سطحی
۵۴.....	۳-۴-۴- نشست سنجها
۵۴.....	۳-۴-۱- سیستم نشست سنج مغناطیسی
۵۵.....	۳-۴-۲- سیستم نشست سنج هیدرولیکی DSM
۵۶.....	۳-۴-۳- سیستم اندازه گیری نشست دو مایع
صفحه	عنوان

۵۸.....	۳-۵-۵- ترک سنجها
۵۹.....	۳-۵-۱- ترک سنج مکانیکی تک محوره مدل D3101D30
۵۹.....	۳-۵-۲- ترک سنج مکانیکی سه محوره مدل D310- D30
۵۹.....	۳-۵-۳- ترک سنج الکتریکی مدفون تک محوره مدل D314CSE1
۵۹.....	۳-۶- دستگاه اندازه گیری فشار بالا برنده
۶۰.....	۳-۷-۱- انبساط سنجها
۶۰.....	۳-۷-۱- انبساط سنجهای یک و چند نقطه ای گمانه ای
۶۱.....	۳-۷-۲- انبساط سنجهای خاکی
۶۲.....	۳-۸- دستگاه فشار سنج کل از نوع تار مرتعش (سلول فشار)
۶۳.....	۳-۹- پاندول
۶۴.....	۳-۱۰- کرنش سنج الکتریکی تار مرتعش
۶۵.....	۳-۱۱- دما سنجهای مدل T111PT10
۶۵.....	۳-۱۲- دبی سنج (V- Notch)
۶۷.....	۳-۱۳-۱- خط کش اندازه گیر سطح آب
۶۷.....	۳-۱۳-۱- خط کش اندازه گیر سطح آب بصورت مکانیکی (اشل)

۶۸.....	۳-۱۳-۲- دستگاه الکتریکی اندازه گیری سطح آب مخزن بادقت بالا
۶۹.....	۳-۱۴- دستگاه اندازه گیری انحراف
۷۰.....	۳-۱۵- سیستم ترکیبی اندازه گیری نشست و انحراف (عمودی و افقی)
۷۱.....	۳-۱۶- دستگاههای قرائت ابزار
۷۲.....	۳-۱۶-۱- دستگاه قرائت کننده دستی مدل C6004
۷۲.....	۳-۱۶-۲- دستگاه قرائت مرکزی مدل ADK-10
۷۳.....	۳-۱۶-۳- دستگاه قرائت دستی تار مرتعش مدل C6004VW
۷۳.....	۳-۱۶-۴- دستگاه قرائت دستی (ثبات) تار مرتعش مدل C800VW
۷۴.....	۳-۱۶-۵- دستگاه قرائت چشمی پاندول مستقیم
۷۵.....	۳-۱۷- قرائت ادواری ابزار

فصل چهارم : رفتارنگاری سد مخزنی و نیروگاه ملا صدرای شیراز

۷۷.....	۴-۱- مقدمه
۷۸.....	۴-۲- بدنه سد
۷۸.....	۴-۳- سرریز

صفحه

عنوان

۷۹.....	۴-۴- تونل انحراف
۸۲.....	۴-۵- ابزارهای مورد استفاده در مقطع (4-4)
۸۵.....	۴-۵-۱- پیزومتر کاساگرانده (SPP20)
۸۵.....	۴-۵-۲- پیزومترهای پی (EPF)
۸۵.....	۴-۵-۳- پیزومتر خاکریز تراز 2103 (EPC)
۸۵.....	۴-۵-۴- نشست سنج INC-8

۸۶.....	۶-۴- ابزارهای مورد استفاده در مقطع (27-27)
۸۸.....	۴-۶-۱- پیزومترهای پی (EPF)
۸۸.....	۴-۶-۲- پیزومترهای خاکریز نزدیک پی تراز 2097 (EPC)
۹۰.....	۴-۶-۳- پیزومترهای کاساگرانده
۹۰.....	۴-۶-۴- تغییر شکل انحراف سنج INC-5
۹۰.....	۴-۶-۵- نشست سنج مغناطیسی
۹۲.....	۴-۷- ابزارهای مورد استفاده در مقطع (9-9)
۹۳.....	۴-۷-۱- پیزومترهای پی
۹۳.....	۴-۷-۲- ابزارهای تراز 2050
۹۳.....	۴-۷-۲-۱- پیزومترهای الکتریکی
۹۵.....	۴-۷-۲-۲- فشار سنج ها
۹۶.....	۴-۷-۲-۳- نسبت تنش های افقی به قائم
۹۷.....	۴-۷-۲-۴- نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی (Ru)
۹۷.....	۴-۷-۳- ابزارهای تراز 2075
۹۷.....	۴-۷-۳-۱- پیزومترهای الکتریکی
۹۹.....	۴-۷-۳-۲- فشار سنج ها
۹۹.....	۴-۷-۳-۳- تغییرات ضریب فشار منفذی
۱۰۰.....	۴-۷-۴- ابزارهای تراز 2097
۱۰۰.....	۴-۷-۴-۱- فشار سنج ها
۱۰۱.....	۴-۷-۴-۲- پیزومترهای خاکریز
۱۰۱.....	۴-۷-۵- نشست سنج ها
۱۰۲.....	۴-۷-۶- انحراف سنج ها
۱۰۵.....	۴-۷-۷- پیزومترهای کاساگرانده

۱۰۵ ۲-۷-۷-۴ - پیزومترهای کاساگرانده تراز 2075

۱۰۶ ۸-۴ - ابزارهای مورد استفاده در مقطع (20-20)

۱۰۷ ۱-۸-۴ - ابزارهای تراز 2050.5

۱۰۸ ۲-۸-۴ - ابزارهای تراز 2062.5

۱۰۸ ۱-۲-۸-۴ - پیزومترهای خاکریز

۱۰۹ ۲-۲-۸-۴ - فشار سنج های کل

۱۰۹ ۳-۲-۸-۴ - نسبت تنش های افقی به قائم

۱۱۰ ۴-۲-۸-۴ - نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی

۱۱۰ ۳-۸-۴ - ابزارهای تراز 2075

۱۱۰ ۱-۳-۸-۴ - پیزومترها

۱۱۰ ۲-۳-۸-۴ - فشار سنج های کل

۱۱۱ ۳-۳-۸-۴ - نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی

۱۱۱ ۴-۸-۴ - ابزارهای تراز 2097

۱۱۱ ۱-۴-۸-۴ - فشار سنج ها ی کل

۱۱۱ ۲-۴-۸-۴ - پیزومترهای خاکریز

۱۱۲ ۵-۸-۴ - نشست سنج های مغناطیسی

۱۱۲ ۶-۸-۴ - پیزومترهای کاساگرانده

۱۱۵ ۷-۸-۴ - انحراف سنج ها

۱۱۵ ۹-۴ - ابزارهای مورد استفاده در مقطع کالورت

۱۱۶ ۱-۹-۴ - ابزارهای تراز 2062.5

۱۱۶	 ۴-۹-۱-۱ - پیزومترهای الکتریکی
۱۱۷	 ۴-۹-۱-۲ - فشار سنج ها
۱۱۷	 ۴-۹-۱-۳ - نسبت تنش های افقی به قائم
۱۱۷	 ۴-۹-۱-۴ - تغییرات ضریب فشار منفذی
۱۱۷	 ۴-۹-۲ - ابزارهای تراز 2062.5
۱۱۷	 ۴-۹-۲-۱ - تغییرات ضریب فشار منفذی
۱۱۸	 ۴-۹-۲-۲ - تغییرات فشار کل
۱۱۸	 ۴-۹-۲-۳ - نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی
۱۱۸	 ۴-۹-۳ - ابزارهای تراز 2097
۱۱۸	 ۴-۹-۳-۱ - فشار سنج ها

صفحه

عنوان

۱۱۹	 ۴-۹-۲-۳ - پیزومترهای خاکریز
۱۱۹	 ۴-۹-۴ - نشست سنج ها
۱۲۲	 ۴-۹-۵ - انحراف سنج ها
۱۲۲	 ۴-۹-۶ - پیزومتر کاساگرانده
۱۲۲	 ۴-۱۰ - ابزارهای مورد استفاده در مقطع ۳۱-۳۱
۱۲۳	 ۴-۱۱ - نمودار تغییرات مقدار آب چاههای مشاهده ای (OW)
۱۲۴	 ۴-۱۱-۱ - OW3
۱۲۴	 ۴-۱۱-۲ - OW4
۱۲۴	 ۴-۱۱-۳ - OW5
۱۲۴	 ۴-۱۱-۴ - OW6
۱۲۵	 ۴-۱۱-۵ - OW8

۱۲۵	OW10 -۶ -۱۱-۴
۱۲۵	OW11 -۷ -۱۱-۴
۱۲۵	OW12 -۸ -۱۱-۴
۱۲۶	OW13 -۹ -۱۱-۴
۱۲۷	۱۲-۴- اجرای دیوار آببند (Cut off wall)
۱۳-۴	برآورد میزان دبی خروجی از پی و بدنه سد با استفاده از نرم افزار SEEP-W و فرمولهای تجربی
۱۲۸	

فصل پنجم : جمع بندی و نتیجه گیری

۱۳۰	۱-۵- مقدمه
۱۳۲	۲-۵- نتیجه گیری
۱۳۳	۳-۵- پیشنهادات
۱۳۴	منابع و مراجع
۱۳۸	ضمائم

« فهرست شکلها »

صفحه	عنوان
------	-------

فصل اول

۷	شکل ۱-۱- نقشه زمین شناسی منطقه
---------	--------------------------------

شکل ۱-۲- موقعیت عمومی منطقه طرح در بالا دست سد درودزن..... ۸

شکل ۱-۳- مقطع ساده شده ژئوتکنیکی دره در محل محور ۱..... ۹

شکل ۱-۴- روابط ممکن بین آب زیرزمینی و آب سطحی..... ۱۰

فصل دوم

شکل ۲-۱- مقطع شکست سد زیزون از پایین دست..... ۱۷

فصل سوم

شکل ۳-۱- پیزومتر الکتریکی از نوع تار مرتعش..... ۴۸

شکل ۳-۲- طریقه نصب پیزومترهای الکتریکی در گمانه..... ۴۸

شکل ۳-۳- ترانشه ایجاد شده برای نصب ابزار..... ۴۸

شکل ۳-۴- شکاف ایجاد شده برای قرار دادن سنسور..... ۴۸

شکل ۳-۵- نمائی از پوشاندن سنسور توسط خاک نرم..... ۴۸

شکل ۳-۶- پیزومتر پنوماتیک..... ۴۸

شکل ۳-۷- پیزومتر کاساگرانده (P1010040)..... ۵۱

شکل ۳-۸- اشباع کردن فیلتر کاساگرانده..... ۵۲

شکل ۳-۹- اتصال فیلتر به لوله کاساگرانده..... ۵۲

شکل ۳-۱۰- پروب اندازه گیری شیب سنج..... ۵۳

شکل ۳-۱۱- لوله های شیب سنج از نوع ABS..... ۵۳

شکل ۳-۱۲- نشیب سنج درجا (Inplace clinometer)..... ۵۴

شکل ۳-۱۳- نشیب سنج سطحی..... ۵۴

شکل ۳-۱۴- سیستم نشست سنج مغناطیسی..... ۵۸

شکل ۳-۱۵- نصب نشست سنج داخل خاکریز..... ۵۸

شکل ۳-۱۶- نمائی از نشست سنجهای داخل گمانه ای و خاکریز.....	۵۸
شکل ۳-۱۷- سیستم نشست سنج هیدرولیکی	۵۸
شکل ۳-۱۸- ترک سنج مکانیکی تک محور ره	۶۰
شکل ۳-۱۹- ترک سنج مکانیکی سه محوره	۶۰
عنوان	صفحه

شکل ۳-۲۰- ترک سنج الکتریکی مدفون تک محوره	۶۰
شکل ۳-۲۱- دستگاه اندازه گیری فشار بالا برنده	۶۰
شکل ۳-۲۲- انبساط سنجهای یک و چند نقطه ای گمانه ای	۶۱
شکل ۳-۲۳- انبساط سنجهای خاکی	۶۱
شکل ۳-۲۴- فشار سنج کل از نوع تار مرتعش	۶۳
شکل ۳-۲۵- طریقه نصب سلول فشار در خاکریز	۶۳
شکل ۳-۲۶- پاندول	۶۴
شکل ۳-۲۷- کرنش سنج الکتریکی تار مرتعش	۶۴
شکل ۳-۲۸- دماسنجهای مدل T111PT10	۶۸
شکل ۳-۲۹- دبی سنج ۷ شکل	۶۸
شکل ۳-۳۰- خط کش اندازه گیر سطح آب	۶۸
شکل ۳-۳۱- دبی سنج (V-notch)	۶۹
شکل ۳-۳۲- نصب اشل	۶۹
شکل ۳-۳۳- دستگاه قرائت کننده مدل C6004	۷۳
شکل ۳-۳۴- دستگاه قرائت مرکزی مدل ADK-10	۷۳
شکل ۳-۳۵- دستگاه قرائت دستی تار مرتعش مدل C6004VW	۷۴
شکل ۳-۳۶- دستگاه قرائت دستی مدل C800V	۷۴

شکل ۳-۳۷- دستگاه قرائت چشمی پاندول مستقیم..... ۷۴

فصل چهارم

شکل ۴-۱- خروجی کالورت..... ۸۱

شکل ۴-۲- خروجی کالورت..... ۸۱

شکل ۴-۳- سرریز..... ۸۱

شکل ۴-۴- نمائی از تاج سد..... ۸۱

شکل ۴-۵- نمائی از تاج سد و سرریز..... ۸۱

شکل ۴-۶- پلان ابزار بندی سد ملاصدرا..... ۸۳

شکل ۴-۷- مقطع طولی سد ملاصدرا..... ۸۴

شکل ۴-۸- مقطع عرضی ۴-۴..... ۸۲

شکل ۴-۹- نمودار تغییرات فشار پیزومتر های الکتریکی فونداسیون مقطع ۴-۴..... ۸۶

شکل ۴-۱۰- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی (۸- INC)..... ۸۷

عنوان صفحه

شکل ۴-۱۱- مقطع عرضی ۲۷-۲۷..... ۸۸

شکل ۴-۱۲- نمودار تغییرات فشار پیزومتر های الکتریکی فونداسیون مقطع ۲۷-۲۷..... ۸۹

شکل ۴-۱۳- نمودار تغییرات فشار منفذی ابزار EPC26 و EPC27..... ۸۹

شکل ۴-۱۴- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی ابزار ۵- INC..... ۹۱

شکل ۴-۱۵- مقطع عرضی ۹-۹..... ۹۲

شکل ۴-۱۶- تغییرات فشار پیزومترهای الکتریکی فونداسیون مقطع ۹-۹..... ۹۳

شکل ۴-۱۷- تغییرات فشار منفذی مقطع ۹-۹ در تراز ۲۰۵۰..... ۹۴

شکل ۴-۱۸- تغییرات تنش کل در تراز ۲۰۵۰ در مقطع ۹-۹..... ۹۵

- شکل ۴-۱۹- تغییرات نسبت تنش کل افقی به تنش قائم در تراز 2050 در مقطع 9-9 ۹۶
- شکل ۴-۲۰- تغییرات نسبت تنش کل افقی به تنش قائم در تراز 2050 در مقطع 9-9 ۹۷
- شکل ۴-۲۱- تغییرات ضریب فشار منفذی (R_u) در مقطع 9-9 در تراز 2050 ۹۸
- شکل ۴-۲۲- تغییرات ضریب فشار منفذی (R_u) مقطع 9-9 در تراز 2075 ۹۸
- شکل ۴-۲۳- تغییرات تنش کل در تراز 2075 در مقطع 9-9 ۹۹
- شکل ۴-۲۴- تغییرات ضریب فشار منفذی (R_u) مقطع 9-9 در تراز 2075 ۱۰۰
- شکل ۴-۲۵- تغییرات تنش کل در تراز 2097 در مقطع 9-9 ۱۰۱
- شکل ۴-۲۶- تغییرات فشار منفذی مقطع 9-9 در تراز 2097 ۱۰۲
- شکل ۴-۲۷- تغییرات نشست سنج مغناطیسی 6- INC با فرض ثابت نبودن تراز مگنت مبنا ۱۰۳
- شکل ۴-۲۸- تغییرات نشست سنج مغناطیسی 7- INC با فرض ثابت نبودن تراز مگنت مبنا ۱۰۴
- شکل ۴-۲۹- مقطع عرضی 20-2 ۱۰۶
- شکل ۴-۳۰- نمودار تغییرات پیزومترهای الکتریکی فونداسیون مقطع 20-20 ۱۰۷
- شکل ۴-۳۱- تغییرات نشست سنج مغناطیسی 3- INC با فرض ثابت نبودن تراز مگنت مبنا ۱۱۳
- شکل ۴-۳۲- تغییرات نشست سنج مغناطیسی 4- INC با فرض ثابت نبودن تراز مگنت مبنا ۱۱۴
- شکل ۴-۳۳- مقطع عرضی (CULVERT) ۱۱۶
- شکل ۴-۳۴- تغییرات نشست سنج مغناطیسی 1- INC با فرض ثابت نبودن تراز مگنت مبنا ۱۲۰
- شکل ۴-۳۵- تغییرات نشست سنج مغناطیسی 2- INC با فرض ثابت نبودن تراز مگنت مبنا ۱۲۱
- شکل ۴-۳۶- مقطع عرضی (31-31) ۱۲۳
- شکل ۴-۳۷- تغییرات ارتفاع و تراز آب در چاهک مشاهده ای OW12 ۱۲۶
- شکل ۴-۳۸- تغییرات ارتفاع و تراز آب در چاهک مشاهده ای OW13 ۱۲۶
- شکل ۴-۳۹- محاسبه دبی در بدنه سد ۱۲۸

شکل ۴-۴۰- محاسبه دبی در پی سد ۱۲۹

شکل ۴-۴۱- ترکیبی از محاسبه دبی در پی و بدنه سد ۱۲۹

« فهرست جداول »

صفحه

عنوان

فصل دوم

جدول ۱-۲- ارزیابی عملکرد اقدامات علاج بخشی برخی از سدهای جهان ۳۹

فصل سوم

جدول ۱-۳- راهنمای قرائت دوره ای ابزارهای مختلف در سدهای خاکی ۷۶

فصل چهارم

جدول ۱-۴- مشخصات سد ملا صدرا ۸۰

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

سد خاکی^۱ یکی از قدیمی ترین تاسیسات هیدرولیکی یا آبی است که انسان به دلیل نیازهای اولیه اش در زمینه عملیات کشاورزی و تامین آب مشروب مبادرت به ایجاد آن کرده است. به طور کلی، می توان گفت سد خاکی، ساختمان یا تاسیساتی است که بر روی رودخانه یا مسیل بمنظور ذخیره و بالا آوردن سطح آب در پشت آن، ساخته می شود. به عبارت دیگر، یک سد خاکی نیز مانند یک سد بتنی هم باید بتواند سطح آب را در پشت خود بالا بیاورد و در مقابل فشار آب مقاومت کند و هم باید قادر به ذخیره آب باشد، یعنی در مقابل آب غیر قابل نفوذ باشد. بدنه اصلی سدهای خاکی معمولاً از مصالح بدون ملات نظیر لاشه سنگ، قلوه سنگ، شن، ماسه، لای و رس بطور مخلوط یا مجزا و به صورت همگن یا منطقه بندی شده ساخته می شوند. چنانکه بحث شد وظیفه اصلی یک سطح مخزنی در درجه اول ذخیره آب و جلوگیری از نفوذ آن از بدنه و در درجه دوم پایداری در مقابل نیروهای وارده است. بنابراین سد خاکی به ناچار باید به صورت وزنی و با مقطع دوزنقه ای

¹ Earth Dam

شکل ساخته شود. اما از نظر نفوذ آب، چون بدنه سد از مصالح خاکی یعنی ذرات جدا از هم و بدون ملات ساخته می‌شود، از این رو در مقابل آب نفوذ پذیر خواهد بود. در سدهای خاکی برای جلوگیری از نشت آب، معمولاً از یک لایه غیر قابل نفوذ که ممکن است بتنی، آسفالتی، لاستیکی، پلاستیکی، فولادی و یا چوبی یا از خاکهای ریزدانه نفوذناپذیر مانند رس و رس-لای ساخته شده باشد، استفاده می‌شود. این لایه غیر قابل نفوذ ممکن است به صورت یک لایه مغزی (هسته)^۲ در قسمت میانی بدنه اصلی سد یا به صورت یک پوشش در سطح بالا دست آن اجرا گردد. نشت آب از شالوده و بدنه سد، دلیل عمده تخریب سدهای خاکی در گذشته بوده است (رحیمی، ۱۳۸۲). بنابراین اهمیت مطالعه و نقش ابزاربندی مهم به نظر می‌رسد. در این پایان نامه ابزار بندی^۳ و رفتار نگاری سدهای خاکی و بررسی الگوی نفوذ آب از تکیه گاه، بدنه و فونداسیون سد مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. ابزار بندی و رفتار نگاری جزء یکی از اصول مهم در طراحی، اجرا و تحلیل پایداری و نگهداری سازه های بزرگ میباشد که امروزه به طور چشمگیری استفاده از آن در حال افزایش می باشد. در مطالعه حاضر ابتدا انواع متداول ابزارهای مورد استفاده در سدهای خاکی معرفی شده و سپس دلایل انتخاب انواع ابزارهای مورد استفاده در سد ملاصدرا و نتایج ارائه شده است.

۱-۲- تاریخچه و آمار سدهای خاکی ساخته شده در ایران و جهان

تاریخچه ساخت اولین سدهای خاکی در جهان به دوران تمدن اولیه و به زمانی می‌رسد که بشر کشاورزی را به عنوان روش اصلی تولید برگزید. از جمله اولین نمونه های سد های باستانی می توان به سد خاکی EL-Katara اشاره کرد که در حدود ۴۸۰۰ سال پیش در مصر ساخته شد. تاریخچه ساخت اولین سدهای خاکی جدید و با استفاده از ماشین آلات سنگین و وسایل تراکم خاک به اوایل نیمه دوم قرن نوزدهم برمیگردد^۴ (ICOLD, 1998).

چون کشور ایران در اقلیم نیمه خشک قرار دارد از لحاظ منابع آبی نسبتاً فقیر می باشد و با توجه به نیاز روز افزون به این مایع حیاتی، لازم است از منابع آبی استفاده حداکثر شود. از جمله اینکه با احداث سد نسبت به مهار آبهای سطحی اقدام شود و مانع از هدر رفتن آب شود. در ایران سابقه ساخت سدهای خاکی به شکلها و ابعاد مختلف، به گذشته دور بر میگردد. از جمله برای نمونه به آثار بندهای خاکی منطقه آبشینه همدان، سد

^۲ Core

^۳ Instrumentation

^۴ International Commission on Large Dams

خاکی قدیمی گرگان (گرکز)، بندسارهای مازندران و غیره می توان اشاره کرد. اولین سد خاکی مدرن ساخته شده در ایران، سد گلپایگان به ارتفاع نهایی ۵۴ متر است که ساخت آن از سال ۱۳۲۶ شروع و در سال ۱۳۲۹ خاتمه یافت (انتشارات کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، ۱۳۷۲).

۱-۳- نقش و اهمیت ابزاربندی و رفتار نگاری

داده های رفتار نگاری از یک سد باعث می شود که متخصصین درک بهتری از پیچیدگی نیرو های متعددی، که معمولاً به طور مستقل از یکدیگر به سد وارد می شوند، داشته باشند. اینگونه بررسی ها اطلاعات قابل توصیفی را برای استفاده در طراحی های آتی فراهم می سازند و باعث پیشرفت هایی در روشهای اجرایی و بهبود اصول طراحی گردیده است.

پژوهشگران، به منظور کسب داده ها و عملکرد دراز مدت سد، تلاش وافر ی جهت تهیه دستگاههای قوی، با دوام و عاری از خطا معطوف نموده که کار کردن با آنها تا حد امکان آسان بوده و داده های حاصل از آنها علاوه بر قابل اطمینان بودن به آسانی قابل درک باشند. با این حال، این یک فرآیند تکاملی و در بعضی اوقات بر اساس خطا بوده است. با توجه به هزینه گزاف تهیه و نصب سیستم ابزار بندی و وقتگیر بودن قرائت دستگاه ها لازم است تعداد و نوع دستگاه های مورد استفاده و نیز تواتر قرائتها بهینه شود. هیچ قانون ساده ای برای پاسخ به اینکه این اندازه گیری ها در چند نوبت و در کجا باید صورت گیرد، وجود ندارد. تشخیص صحت این شرایط خاص، به میزان تخصص و تجربه فرد مسئول بستگی دارد.

ابزارهای رفتار سنجی را می توان در سطح و یا در درون یک سازه خاکی، به منظور کسب شاخصی از عملکرد آن در حین اجرا و بهره برداری، تعبیه نمود. نکته حائز اهمیت در اینجا این است که باید هدف خاصی از تعبیه دستگاه های رفتار سنجی دنبال شود. حتی اگر این کار صرفاً به منظور اثبات عدم وقوع یک فرآیند خاص باشد. بعضی اوقات به این داده ها، اطلاعات منفی اطلاق می شود. بدین معنی که اندازه گیری بی هدف معنی ندارد (شرکت مشاور پویاب، ۱۳۸۲).

۱-۴- زمین شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ایران در پهنه زاگرس مرتفع قرار دارد. این زون به نامهای دیگری چون زون خرد شده و زون راندگی هم معروف است. مرز شمالی و خاوری پهنه زاگرس مرتفع گسله های راستگرد زاگرس و میناب هستند که آنها از دیگر واحدها جدا می کند، در پهنه های زاگرس بلند بر خلاف زاگرس چین خورده سنگهای افیولیتی وجود دارد، وجود سازندهای مقاوم (آهک، دولومیت و آهکهای دولومیتی) با ضخامتهای زیاد، صخره های بلند و پرتگاههای بسیار ژرفی ایجاد نموده اند (درویش زاده، ۱۳۷۰). منطقه مورد مطالعه دارای طول جغرافیایی $52^{\circ}00'$ تا $52^{\circ}15'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ}30'$ تا $36^{\circ}42'$ می باشد. در شکل ۱-۱ نقشه شرایط زمین شناسی منطقه بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور آمده است. رخنمونهای سنگی شامل آهک و آهکهای دولومیتی و آهک مارنی می باشد. رودخانه کر که محل احداث سد می باشد از بهم پیوستن دو شاخه بنام آب بالنگان و رود سفید تشکیل میشود. از دیدگاه زمین شناسی گر چه سرچشمه های رود های آب بالنگان و رود سفید از کوههای بلند و برف گیر است، ولی این دو رود (به ویژه آب بالنگان) در قسمت عمده ای از مسیر خود (به ویژه در محدوده مخزن) تا پیوستن به یکدیگر و رسیدن به تنگ براق از دشتهای نسبتاً پهن و هموار میگذرد، ولی در ابتدای ورود به تنگ براق به دلیل وجود سنگهای آهکی و آهکی - دولومیتی توده ای، کرتاسه بالایی (سازند سورمه) رود تنگ براق (کر) با فرسایش ژرف خود دره های تنگ ۷ شکل بوجود آورده که در مواردی بیش از ۱۵۰ متر ژرفا دارد و طرفین آن را صخره ها و پرتگاههای بلند تشکیل داده اند. موقعیت عمومی منطقه طرح در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است (شرکت سکو، ۱۳۷۹).

- تکتونیک منطقه

روند کوههای منطقه همانند روند کلی کوههای زاگرس شمال باختری - جنوب خاوری می باشد. از جمله ساختارها، طاقس تنگه براق است که روند محور آن تقریباً عمود بر مسیر رودخانه تنگه براق می باشد. گسلها و راندگی مهم دیده نمی شود ولی چند گسل محلی با روند های متفاوت که بعضی از آنها دارای اهمیت ویژه ای است از جمله گسل تنگه براق و گسلهای شمال تنگه براق. در منطقه وجود دارد.

از نظر سیستم درز و شکاف محدوده مطالعاتی را به دو بخش می توان تقسیم کرد. یک قسمتی است که محل توسعه سنگهای سخت شده، از ابتدای تنگه اصلی تنگه براق تا انتهای آن می باشد و سازند سروک با لیتولوژی آهک و آهکهای دولومیتی و آهک مارنی در آن حضور دارند، به دلیل مقاوم بودن سنگهای مزبور هنگام چین خوردگی درز و شکافدار شده اند. قسمت دیگر سیستم درز و شکاف در بالا دست گزین ۱، در دریاچه است

که محل گسترش نهشته های جوان شامل سازند گنکومرائی - مارنی زمان پلیوستوسن و نهشته های آبرفتی و پادگانه های جوان می باشد که بعلت عدم چین خوردگی و سخت شدگی درزه شکافدار نیستند (آقانباتی، ۱۳۸۳).

- زمین شناسی مهندسی

رودخانه تنگه براق با حفر بستر خود دره ای تنگ و عمیق بوجود آورده است، دیواره های دو طرف رودخانه قائم بوده و صخره های آهکی در آن حاکمیت دارند فرسایش غالب از نوع هوازدگی مکانیکی میباشد. شیبهای دو طرف دارای ناپایداری ویژه ای است که باعث افتادن بلوکهای سنگی میشود. دارای تنوع لیتولوژی چندانی نبوده و فقط از انواع سنگهای رسوبی می باشد سنگ کف در مخزن سد از آهکهای مارنی تشکیل شده است که در قسمت بالای آن بیشتر ریز دانه و سیاهرنگ میباشد با توجه به ترکیب و بافت سنگ و لایه بندی، از پتانسیل نفوذ پذیری بسیار کمی از طریق درزه ها و شکافها ممکن است برخوردار باشد و در اعماق پائین تر عملاً نفوذ پذیری بشدت تقلیل خواهد یافت. لیتولوژی حاکم بر دیواره مخزن (تناوب کنگلومرا و مارن) گرچه از سازند های سخت نشده منطقه هستند، ولی وجود لایه های مارنی برای جلوگیری از آبگذری و فرار آب از دریاچه نقش مهمی خواهد داشت (شرکت سکو، ۱۳۷۹).

بررسیهای صحرایی داده های حاصل از مطالعه عکسهای هوایی با مقیاس مناسب منتج به تمرکز مطالعات در دو محور جهت احداث سد در محدوده های مورد مطالعه گردید، یکی محور بالا دست بنام محور ۱ و دیگری محور پایین دست بنام محور ۲ نامگذاری شده است. هر دو محور مکان مناسبی برای احداث انتخاب شده است، ولی بنابه دلایلی بهترین مکان برای احداث سد محور ۱ میباشد. شکل ۱-۳ مقطع عرضی مشخصات سنگ شناسی محور سد که بر اساس گمانه های اکتشافی تهیه شده، نشان داده شده است.

۱-۵- اهمیت مطالعات هیدروژئولوژی در طراحی سیستم ابزارنگاری

انتخاب نوع و موقعیت ابزارها بخصوص پیزومترها باید بر اساس اطلاعات هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی تکیه گاهها و مخزن سد باشد. به عنوان مثال در شرایطی که ساخت سد باعث بالا آمدن سطح آب در دامنه های حاشیه مخزن و دامنه های مشرف بر تکیه گاه سد شود لازم است تغییرات سطح آب در این مناطق بررسی گردد. و در شرایطی که پدیده کارستی شدن و خطر فرار آب از طریق مجاری کارستی وجود دارد لازم است با

تعبیر ابزارهای مناسب، اندازه گیری تراز آب و درجه حرارت آب در بخشهای مختلف توده سنگی اطراف سد، این پدیده مورد بررسی قرار گیرد.

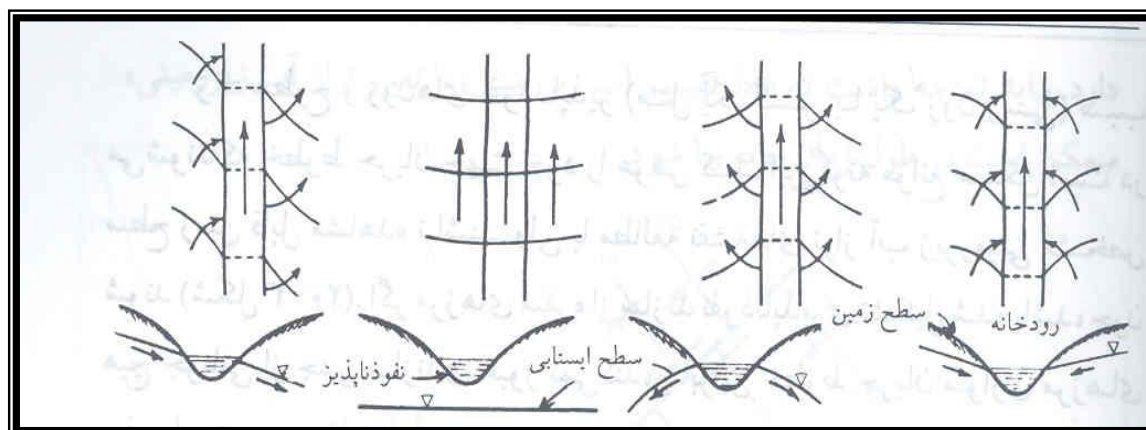
۱-۶- هیدروژئولوژی منطقه

در مورد آبهای زیر زمینی منطقه باید یادآوری نمود که به علت کوهستانی بودن منطقه سفره آبی که مشخص منطقه باشد وجود ندارد، در قسمت جنوبی احتمالاً آبهای موجود، از شکافها نفوذ کرده و سپس از برخورد با این شیلها به صورت چشمه های کنتاکتی ظاهر می شود، از این نوع چشمه های کوچک فصلی در قسمت های شمالی دریاچه نیز ظاهر می شود. بر مبنای اندازه گیری سطح آب زیرزمینی در گمانه های اکتشافی در جناحین و مقاطع زمین شناسی و ژئوتکنیکی تهیه شده از تکیه- گاهها و محور سد و سازه های جنبی، گرادیان هیدرولیکی هر دو تکیه گاه قابل ارزیابی است. گرادیان هیدرولیکی در تکیه گاههای سد حدود یک درصد می باشد و سطح آب زیر زمینی در جناحین بین ۵-۲ متر بالاتر از بستر رودخانه می باشد (شرکت آبان پژوه، ۱۳۸۲). بنابراین رودخانه تکیه گاهها را زهکش می نماید، یا در اصطلاح هیدروژئولوژیستها رودخانه گیرنده (زاینده) و تکیه گاهها دهنده است همانطور که از شکل ۱-۴ مشخص است (اولین شکل از سمت راست) نمایانگر همین حالت ذکر شده می باشد. لذا در تکیه گاهها و دامنه های دو جناحین نیازی به نصب ابزار نمی باشد، ولی اگر سطح آبهای زیر زمینی تکیه گاهها پایینتر از سطح آب رودخانه می بود در این صورت رودخانه دامنه ها را تغذیه و در نتیجه فرار آب از دامنه ها وجود داشت، که بایستی در این موقع ابزار پیزومترها در دامنه ها هم نصب شود. در طول مسیر رودخانه در بالادست و انتهای مخزن تا محدوده محل سد، بخشی از دبی رودخانه ناشی از تغذیه آن توسط آب زیر زمینی است. نمونه بارز آن وجود چشمه های کارستیک در محدوده روستای سده و چشمه های پراکنده دیگر در طول تاقدیس های موجود در مجاورت دریاچه سد می باشد. در این خصوص وجود لایه های آهکی با توجه به ضخامت آنها نقش مهم و تعیین کننده ای در ایجاد جریان های مهم هیدرولیکی زیر سطحی دارند. چشمه هایی که از لایه های آهکی خارج می شوند نیز به همین دلیل شکل گرفته اند. (شرکت آبان پژوه، ۱۳۸۲).

A3

A3

با توجه به این نتایج حاصل از داده های ژئوفیزیک میتوان نتیجه گرفت که در محور پیشنهادی ۱، وجود ناهنجاری ناشی از وجود شیل‌های بیتومن دار بوده و هیچ گونه آثار پدیده های کارستی که عامل فرار آب باشد مشاهده نشده است، اما در محل پیشنهادی ۲ در اعماق تکیه گاه راست مناطق کارستی ردیابی شده اند که با توجه به گسل‌های مشخص شده در این محدوده احتمال فرار آب وجود دارد (شرکت سکو- پاراب فارس، ۱۳۷۹).



شکل ۱-۴- روابط ممکن بین آب زیرزمینی و آب سطحی، از راست به چپ ۱- رودخانه لایه آبدار را زهکشی می کند (رود زاینده)، ۲- رودخانه لایه آبدار را تغذیه می کند (رود دهنده)، ۳- رودخانه و لایه آبدار ارتباط هیدرولیکی مستقیمی ندارند، ۴- رودخانه از یک طرف لایه آبدار را زهکشی و از طرف دیگر آنرا تغذیه می کند (صداقت، ۱۳۸۲).

۷-۱- معرفی سد ملاصدرا

سد مخزنی و نیروگاه ملامصدرا در استان فارس در منطقه ای به نام تنگه براق و در ۲۰۰ کیلومتری شمال غرب شیراز بر روی شاخه اصلی رودخانه کر احداث شده است. تنگه براق با ۶۰ کیلومتر فاصله، در بالا دست سد درودزن و در نزدیکی شهرستان اقلید قرار دارد. سد از نوع خاکی با هسته نفوذناپذیر، ارتفاع سد ۷۲ متر، طول تاج ۶۳۰ متر، حجم کل مخزن ۴۴۰ میلیون متر مکعب، می باشد. با پایان یافتن خاکریزی فرازبند که در سال ۸۳ انجام گرفت و بعد از آن خاکریزی بدنه سد آغاز گردید و در نهایت در شهریور ۱۳۸۵ خاکریزی بدنه به پایان رسید.

هدف از احداث این سد جهت دستیابی به آب زراعی، فراهم شدن امکانات تفریحی و سیاحتی، پرورش ماهی، بهبود شرایط زیست محیطی منطقه و مهمتر از همه راه اندازی نیروگاه برقآبی ملامصدرا برای تولید ۱۰۰ مگا وات برق مورد نیاز استان فارس می باشد (شرکت ملی ساختمان، ۱۳۸۵).

۸-۱- هدف و روش کار در مطالعه حاضر

هدف تخمین میزان نشت غیر مجاز آب و بررسی میزان فشار منفذی بیش از حد داخل بدنه، پی به منظور جلوگیری از عمل رگاب^۵ و فرسوده شدن خاک می باشد. که با کمک ابزاربندی و رفتارنگاری میتوان به اطلاعات ذکر شده پی برد. بنابراین اهداف سیستم های ابزار بندی را میتوان به شرح زیر طبقه بندی کرد (Bartholomew & et al, 1987).

- پیش بینی و هشدار خطرات بالقوه
 - تجزیه و تحلیل خطر پذیری
 - اطمینان از قابل پذیرش بودن رفتار سد
 - ارزیابی عملیات اجرایی
 - ارائه معیارهای دقیق تر برای طراحی های عادی
- سیستم ابزار بندی به ۵ گروه کلی تقسیم می شود.
- وسایل اندازه گیری فشار
 - وسایل اندازه گیری حرکات داخلی
 - وسایل اندازه گیری حرکات سطحی

⁵ Piping

- وسایل اندازه گیری ارتعاشات
- وسایل اندازه گیری مقدار نشت

فصل دوم

مشکلات ناشی از نشت آب و روشهای کنترل آن در

سدهای خاکی

۲-۱- مقدمه

نشت آب از شالوده و بدنه سد حدود ۳۰٪ خرابیهای سدهای خاکی را موجب شده است (رحیمی، ۱۳۸۲). در سدهای خاکی نشت آب غیر قابل اجتناب است، اگر شرایط مناسبی برای فرسایش خاک وجود داشته باشد موجب شسته شدن آن در نقاط مساعد گردیده و چنانچه در ابتدای بروز فرسایش از آن جلوگیری نشود به تخریب سد منجر می گردد. نشت آب از دو دیدگاه اقتصادی و ایمن سازی مورد بررسی قرار می گیرد. اگر نشت آب در سد وجود داشته باشد سطح آب مخزن به هیچ وجه به سطح واقعی طراحی شده نخواهد رسید و این مسئله از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. از نظر ایمن سازی دو نکته قابل بحث است: ۱- تراوش

کنترل نشده و افزایش فشار منفذی. ۲- خرابی بر اثر فرسایش داخلی. در ادامه این فصل موارد فوق با ذکر مثالهایی از نقاط مختلف دنیا تشریح شده است (Cedergren, Harry.r, John Wiley & Sons. Inc 1970).

۲-۲- تراوش کنترل نشده و افزایش فشار منفذی

چنانچه زهکشی مناسب در پایین دست سد پیش بینی نشده باشد یا زهکشهای درون سد کارائی خود را از دست بدهند یا به علت وجود لایه های بسیار نفوذپذیر و گاهی به علت تراکم ناقص، بخش وسیعی از دامنه پایین دست در اثر نشت آب اشباع شده و به طور پیش بینی نشده ای خروج زه آب از این بخش صورت گیرد. در این صورت در اثر اشباع خاک و فشار زه آب، بخش اندکی از پنجه دامنه سد همراه حرکت آب رها می شود و از سد جدا می گردد، در تعقیب آن (که در همین حال شیب دامنه سد در این بخش افزایش می یابد) باریکه دیگری شسته میشود و با پیشروی این پدیده باریکه های متعدد شسته شده و شیب دامنه افزایش می یابد تا اینکه پایداری دامنه به طور کامل از بین رفته و سد تخریب می گردد، لازم به ذکر است این پدیده در سدهای خاکی همگن بیشتر محتمل است.

از جمله مثالهای تاریخی در این مورد سد سینکرکرک^۶ در آیداهو می باشد. که در سال ۱۹۱۰ شروع به ساخت گردید و در سال ۱۹۱۸ ساخت آن با ارتفاع ۲۴ متر تکمیل گردید. این سد بعد از ۲۵ سال و در سال ۱۹۴۳ به علت پوسته ای شدن و شسته شدن دامنه پایین دست تخریب گردید. از زمان مشاهده پدیده پوسته ای شدن تا زمان تخریب کامل آن فقط ۸ ساعت به طول انجامید (محمدی، ۱۳۸۰)

۲-۳- خرابی بر اثر فرسایش داخلی

^۶Senkerkeric

پدیده رگاب^۷ (Piping) یک فرایند فرسایشی پیشرونده است که امکان وقوع آن در بدنه سد و در شالوده و یا در هر دو وجود دارد. شروع رگاب از نقطه ای است که نشت آب در آنجا متمرکز شده و شیب هیدرولیکی نسبی برای شستن خاک مناسب است، یعنی در آن نقطه نیروی مقاوم خاک در برابر فرسایش (نیروی چسبندگی دانه ها، اثرات قفل شدگی دانه ها، وزن آنها و تاثیرات فیلتر حفاظتی خاک) کمتر از تاثیر نیروی مخرب نشت آب در آن نقطه می باشد و در نتیجه ذرات می توانند جدا شده و همراه تراوش جا به جا شوند. در این شرایط حفره و مجرای به وجود می آید که بتدریج در امتداد جریان و در جهت شیب هیدرولیکی بزرگتر گسترش یافته تا نهایتاً به مخزن سد برسد. هنگامی که این مجرا به نزدیکی های مخزن برسد، جریان شدید آب با سرعت زیاد ایجاد شده و فرصت هر گونه تصمیم گیری را سلب میکند و در زمان کوتاهی این مجرا بزرگتر شده و به تخریب سد منجر میگردد. این پدیده عامل خرابی بسیاری از سدها در جهان شده است از جمله این موارد سد استوک تن کریک^۸ در کالیفرنیا می باشد که در فاصله کمی پس از ساخته شدن آن در سال ۱۹۵۰ تخریب شد. کارشناسان دلایل تخریب سد فوق را به علت پدیده رگاب در شکافی که وجود آمده عنوان نموده اند. بدنه سد از رسهای برجا (حاصل از هوازدگی شیستهای آمفیبولیت) و بطور همگن با ارتفاع ۲۴/۵ متر ساخته شده و تراکم آن در لایه های ۱۵ سانتیمتری انجام گردیده بود. در نوامبر ۱۹۵۰، شش ماه بعد از تکمیل و پس از اینکه برای مرتبه اول مخزن پر می شود، آب مخزن از شکافی در بدنه جاری شده و با گسترش شکاف کانالی به عمق ۱۲ متر و عرض ۹ متر ایجاد گردید.

فرسایش داخلی و توسعه سینک هولها (یکی از عارضه های مهم پدیده کارستی که به شکل حفرات مخروطی در مناطق کارستی تشکیل می شود) و دیگر شکستگیهای حاصل از رگاب، یکی از دلایل اصلی شکست سدهای خاکی است. روشهای فیزیکی عواملی هستند برای پیدا کردن فرسایش داخلی و نشت غیر عادی، قبل از اینکه ایمنی و سلامتی سد به خطر بیفتد. در سد (Washington) بعثت کمی اطلاعات درباره مسیر جریان نشت در بدنه سد، روش تزریق دوغاب موثر نبود. برای تفسیر داده ها سه حالت نسبتاً مشابه مقاومت ویژه شناسایی شد. حالت اول ارزش مقاومت ویژه متوسط (۵۰-۱۵۰) اهم که نشانگر خاک سطحی غیر اشباع با ضخامت (۱-۲۵) متر می باشد. حالت دوم مقاومت ویژه با ارزش مقاومت (۵-۵۰) اهم و ضخامت (۱۰-۳/۵) متر که نشانگر لایه رسی سیلتی با درصد رطوبت بالا میباشد. حالت سوم با مقاومت بالا (۴۵۰۰-۳۰۰) اهم که نشانه

^۷ Piping

^۸ Stockten crik

سنگ بستر دولومیتی می باشد. زونهای با مقاومت نسبتاً پایین بدون سنگ بستر هستند و نشان میدهند شکستگیهایی برای جریان نشت وجود دارد (Gamal Z. Abdel Aal, & et al., 2004).

عواملی که در ایجاد پدیده رگاب نقش دارند عبارتند از:

الف) وجود لایه ها یا عدسیهای شنی و ماسه ای نفوذپذیر، و یا وجود درزه ها، شکافها، گسلها، وجود مجاری و آبراهها در شالوده.

ب) محیط اطراف مجاری، کانالها و تونلهای خروجی آب از سد، که ممکن است این محیط به مقدار کافی متراکم نشده باشد، یعنی تراکم آن نسبت به بقیه نقاط به طور نسبی کمتر و نفوذپذیری نسبی آن بیشتر باشد. در نتیجه نشت آب در این بخش متمرکز شده و شیب هیدرولیکی افزایش یافته و دانه ها جابه جا می شوند. به علت شکستن موضعی مجاری خروج آب در اثر نشستهای نامساوی، یا در اثر زلزله، یا در اثر اجرای نامناسب نیز امکان نشت آب و پیدایش رگاب وجود دارد.

ج) پدیده رگاب ممکن است از زهکش پنجه شروع شده و پیشروی کند. در این حالت در نزدیکیهای زهکش پنجه مجرای ایجاد شده و به سمت مخزن توسعه می یابد.

د) ضعیف بودن اتصال تراکمی بین بدنه و شالوده، یا در فصل مشترک لایه های کوبیده شده، که در این موارد نیز وضعیت مساعدی برای تمرکز زه پدیدار میگردد.

ه) شکسته شدن بخشهایی از بدنه سد به علت نشست نامساوی و یا به علت زلزله، که در این مورد نیز چنانچه پیش بینی التیام شکستگیها و ترکهای محتمل الوقوع نشده باشد، وضعیت مساعدی برای تخریب پیش می آید.

و) ریشه گیاهان در دامنه پایین دست و تاثیر سوراخهایی که توسط بعضی از حیوانات در سد ایجاد میگردد، در مواردی خالی از خطر نیست و چه بسا منجر به تخریب گردد (ICOLD, 1998).

نشست باعث کجی سد نیز می شود در فرایند کجی سد نیروی نشست شبیه نیروی گرانشی عمل می کند

(Xiang Song Lia & Haiyan Ming, 2004).

در ادامه به عنوان مثال تخریب سد زیزون سوریه که حاصل از نشست غیر مجاز میباشد مورد بررسی قرار می گیرد. سد زیزون در روز چهارم ژوئن ۲۰۰۲ مطابق با ۱۴ خرداد ۱۳۸۱ دچار شکست گردید. در مدت یک

ساعت کل حجم آب مخزن به سمت پایین دست جاری شد. حجم کل مخزن در زمان شکست ۷۰ میلیون متر مکعب بوده است، که در اثر شکست سد ۴۰۰ واحد مسکونی تخریب و تعدادی از مردم کشته شدند. شکست سد تقریباً در محدوده میانی سد که دارای بلندترین ارتفاع می باشد اتفاق افتاد. در اثر شکست سد دهانه ای به طول حدود ۲۰۰ متر در بدنه ایجاد شد. زون های اطراف محدوده شکست نیز تغییر شکل داده به طوری که در جناح چپ حدود ۱۲ متر چرخش محور در حوالی زون شکست بوجود آمد.

به طور کلی ساختگاه سد زیزون از سه نوع سنگ به شرح زیر تشکیل یافته است:

- جناح راست ساختگاه از جنس توده سنگهای بازالتی و درزه دار می باشد.
- جناح چپ ساختگاه از جنس سنگهای رسی و آهکی می باشد.
- محدوده میانی از سنگ های هوازی بازالتی متخلخل و نیز سنگ های رسی تشکیل شده است، این زون در حقیقت حد واسط توده سنگهای جناح راست و چپ می باشد.
- با توجه به جنس و ویژگیهای توده سنگ ها و به منظور آب بندی پی و طولانی نمودن مسیر تراوش، تنها ترانشه رسی در زیر هسته رسی به شکل دوزنقه ای و به عمق حدود ۶ متر و عرض ناچیز، ۴ متر اجرا شده است، ولی تزریقات تحکیمی و یا پرده تزریق در پی سد انجام نشده است. مصالح مصرفی در بدنه سد بر اساس مشاهدات و نیز اطلاعات موجود از زمان مطالعات به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است:
- مصالحی که به عنوان فیلتر مورد استفاده قرار گرفته نامرغوب بوده و دارای دانه بندی مناسب نمیباشد. به طوری که در این مصالح قطعات درشت سنگی یافت می شود و لذا شرایط عملکرد این مصالح به عنوان فیلتر را با سؤال مواجه می سازد.
- اطلاعات کلی ارائه شده نشان می دهند که تغییرات بسیار زیادی در خواص فیزیکی مصالح رسی دیده می شود. این تفاوت در دانه بندی و حدود اتربرگ و دیگر مشخصات، دارای تغییرات وسیعی است، به عبارت دیگر مصالح مصرفی در هسته بسیار ناهمگون بوده است.
- همچنین وجود قطعات سنگی و درشت دانه با ابعاد حدود ۵ اینچ که به طور اتفاقی در آن وجود دارد حاکی از ناهمگنی هسته رسی می باشد.

با توجه به اطلاعات فوق شسته شدن هسته و ایجاد پدیده رگاب بصورت زیر اتفاق افتاده است:

به دلیل ناهمگون بودن هسته و نیز ناهمگون بودن پی سنگی ساختگاه و ایجاد نشست های نامتقارن، امکان ترک در هسته سد بسیار محتمل بوده و با توجه به کیفیت نامناسب فیلتر مصرفی، هسته رسی (هسته سد) دچار آب شستگی شده است. به علت درشت دانه بودن بیش از حد فیلتر پایین دست سد، مصالح ریز دانه هسته به راحتی میتواند از خلل و فرج فیلتر عبور نمایند. و رگاب بوجود آید. در شکل ۱-۲ نمائی از مقطع شکست سد زیرون از پایین دست نشان داده شده است (ICOLD, 1998).



شکل ۱-۲- مقطع شکست سد زیرون از پایین دست

۲-۴- کنترل تراوش در سدهای خاکی

روشهای مختلفی جهت کنترل تراوش و آب بندی در سدها وجود دارد. استفاده از هر یک از این روشها به عواملی از قبیل: نوع جنس مصالح پی و بدنه سد، موقعیت سد، خاکریزی و قابل دسترسی بودن مصالح و امکانات لازم اجرایی از قبیل ماشین آلات و نیروی انسانی و ملاحظات اقتصادی بستگی دارد. در بعضی از پروژه ها آب بند نمودن با روشهای مختلف صورت می گیرد، ولی مطمئن ترین روش آب بندی استفاده از مصالح نفوذ ناپذیر می باشد، که معمولاً با ایجاد یک ترانشه در زیر هسته سد و پر نمودن ترانشه با این مصالح می باشد. نقش آب بندها در سدها، جلوگیری از جریان کامل آب و حداقل طولانی کردن مسیر و کاهش شیب هیدرولیکی جریان می باشد، که در این مورد از فشار تخریب تراوش کاسته می شود و از مسائلی چون رگاب که در پائین دست سد اتفاق می افتد و به سمت بالا پیشروی می کند جلوگیری میکند، همانطور که ذکر شد یکی از عوامل شکست سدها رگاب می باشد که جهت جلوگیری از فرسایش داخلی خاک در پایین دست سد،

بکارگیری یک روش مطمئن و مناسب، آب بندی سد میباشد. نقش دیگر آب بندی در سدها، جلوگیری از هدر رفت آب است، که با ایجاد یک دیواره آببند مناسب میتوان از اتلاف آب در سدها، جلوگیری به عمل آورد. اگر جریان آب زیر زمینی در نزدیکی مخزن از لحاظ ابعادی همگن و همسان و دارای خواص فیزیکی مشابه با فضای متخلخل باشد در نتیجه نشت در نزدیکی مخزن نمی باشد مثل سد (Kafrein) که معلوم شد مقدار زیادی نشت از محلی به فاصله یک کیلومتری از نقطه مشاهده و در بالا دست گسل موجود می باشد (1999, Mohanned Al-Sheriadeh, & et al).

۲-۵- انواع روشهای کاهش تراوش (آب بندی) در سدها

روشهای متعددی جهت آب بندی سدها وجود دارد ولی در این پایان نامه به روشهای که بیشتر اجرایی بوده و از اهمیت خاصی برخوردار هستند پرداخته شده است. این روشها عبارتند از:

۱- دیوار آب بند بتنی و بتن پلاستیک ۲- تزریق ۳- ترانشه رسی ۴- آب بند ناقص ۵- سپر فولادی ۶- پوشش نفوذناپذیر بالادست ۷- برداشت آبرفت

روشهای فوق همگی براساس اصول کلی زیر می باشند:

الف) قطع و کاهش شبکه جریان زه آب

ب) کاهش مقدار تراوش با ایجاد یک پرده آب بند نیمه نفوذی قائم و یا استفاده از پوشش غیر قابل نفوذ بالادست

ج) کنترل تراوش در پایین دست بدون کاهش دادن مقدار تراوش، اغلب در پی نفوذپذیر سدهای بزرگ، دیواره آب بند کامل برای تامین ایمنی ایجاد می نمایند (رحیمی، ۱۳۸۲).

پرده آب بند کامل، مناسبترین روش می باشد. ولی بدلیل هزینه زیاد، غیراقتصادی بوده و در صورتی که روشهای دیگر کنترل تراوش مؤثر واقع نشود با صرف نظر از توجیه اقتصادی می توان از روش پرده آب بند کامل بهره جست. در سالهای اخیر روشهای کنترل تراوش توسعه بیشتری یافته و با اصلاح بستر توسط روشهای مدرن و تزریق مواد سیمانی، در سطح دنیا سدهای کاملاً مطمئنی بدون استفاده از پرده های آب بند، روی بسترهای با نفوذپذیری بیش از $10-2 \text{ cm/s}$ ساخته شده اند (ارزنده، ۱۳۷۵).

۲-۵-۱- دیوار آب بند

دو غاب سیمان یکی از جمله مصالحی است که برای آبنند، به روشهای مختلف مورد استفاده قرار میگیرد. هدف عمده استفاده از این مصالح در دیوار آب بند تامین نفوذپذیری پایین دیوار آب بند و تحمل شیبهای بالای هیدرولیکی ناشی از تراوش تحت الارضی می باشد. این نوع دیوار آب بند به دو صورت دیوار آب بند کامل و دیوار آبنند نیمه نفوذی بکار می رود. آبنند کامل، بطور قابل قبولی باعث تامین نفوذناپذیری کامل در پی سد می گردند. بتن معمولاً دارای ضریب ارتجاعی بالائی بوده و شکل پذیری و پلاستیسیته آن نسبت به خاکهای اطراف خویش کمتر می باشد. این مسئله در مناطق زلزله خیز سؤال برانگیز بوده و مشکلاتی را به همراه خواهد داشت که از جمله می توان به شکننده بودن دیوار آب بند بتن تحت تاثیر تنشهای دینامیکی اشاره کرد. شکنندگی بتن یک ویژگی محدود کننده در استفاده از آن به عنوان مصالح دیوار آب بند در مناطق با فعالیت زیاد زلزله میباشد. جهت بر طرف نمودن این مشکل در استفاده از بتن معمولی، تلاش زیادی برای کاهش ضریب ارتجاعی بتن صورت گرفته است که شامل افزودن خاک رس و کاستن از درصد سیمان است که باعث کاهش مقاومت فشاری و همچنین کاهش ضریب ارتجاعی میشود (Harkauli, 1968).

نوع دیگری از دیوارهای آب بند بتنی، عبارت از شمعهای بتنی لب به لب در یک ردیف پیوسته است که با سیستم های پیشرفته حفاری در محل مورد نظر اجرا می شوند. این روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و بیشتر در ایجاد دیوار آب بند در تاسیسات ساحلی و در محیطهای آبی نظیر بستر دریاها مورد استفاده قرار می گیرد. روش حفاری با گل حفاری جهت اینگونه دیوارهای آب بند، متداول بوده و پایداری ترانشه حفر شده توسط گل روان تامین می گردد.

در مناطق دارای قابلیت لرزه خیزی بالا و همچنین در پروژه های سد سازی در زمینهای با خاک ضعیف، استفاده از دیوار آب بند بتن پلاستیک استفاده می شود. آب بندهای بتن پلاستیک به علت کارایی مناسب و شکل پذیری و نفوذ ناپذیری مطلوب از اهمیت ویژه ای برخوردارند. اینگونه آبنندها با تغییر مکانهای سد هماهنگی نشان داده و ترکهای کمی در آن می دهد (Hanjal and etal, 1984).

۲-۵-۲- پرده تزریق

بطور کلی تزریق عبارت از هدایت مواد سیمانی و ریز دانه به فضای خالی میان ذرات خاک درشت دانه و یا سنگ بستر ترک خورده بوده می باشد این روش در بسیاری از موارد به عنوان یک روش مناسب جهت کاهش و یا از بین بردن نفوذپذیری به کار می رود. اساساً هدف از تزریق پر کردن درزه های بین سنگها با سیمان یا مصالح دیگر جهت کاهش تراوش نامطلوب است. بنابراین، موقعیت بهینه گمانه های تزریقی این است که تقریباً به بحرانی ترین صفحات تراوش عمود باشد و تقاطع کافی با صفحات دیگر داشته باشد. مانند سد (Kalecik) در ترکیه که عمل کارستی در فونداسیون جناح راست توسعه پیدا کرده و افزایش ضخامت آن در تکیه گاه راست باعث نشت آب به طرف پایین دست از طریق چشمه هایی که در آهک بوجود آمده اند شد. در این محل عمل تزریق به طول ۲۰۰ متر و عمق ۶۰ متر اجرا شده است. بعد از آگیری چشمه های جدید مشاهده شد بنابراین بعد از ساخت سد به پرده تزریق علاج بخش در سه مرحله نیاز بود. مرحله اول پرده تزریق اصلی برای آبند کردن شکستگیها و غارهای کارستی بود. عمق این پرده مثل پرده سابق بود. مرحله دوم عملیات اضافی شامل تزریق جدید با عمق بیشتری بود. گمانه هایی هم در امتداد با تزریق اصلی برای تعیین محل نشت حفاری گردید که ارتفاع این گمانه ها ۴۴۲ متر بود. مرحله آخر اندازه گیری تزریق بین سرریز و بدنه سد در قسمت زیرین سرریز بود. در نتیجه تخلیه در چشمه های واقع در پایین دست سد خاکی کاهش یافت (Sedat, T, 2002).

مزایای تزریق از دو دیدگاه فنی و اقتصادی قابل بررسی می باشد. از دیدگاه اقتصادی با بزرگتر شدن پروژه، روش تزریق مزیت دارد زیرا هزینه اجرایی با توجه به هزینه کل پروژه اقتصادی، توجیه پذیر می باشد. مزایای اقتصادی سبب توجه قابل ملاحظه به این تکنیک در مقایسه با سایر تکنیکها شده است. همچنین تزریق از دیدگاه فنی در موارد زیر راه حلی مناسبی می باشد:

- هنگامی که پی سازی در زیر سطح آب زیر زمینی قرار دارد و برای اجرای آن نیاز به زهکشی است و پی دارای ارتفاع بیشتری می باشد. و زمان طولانی تری برای ساخت آن لازم است در نتیجه مزایای تزریق نسبت به آبکشی بیشتر می شود.

- هنگامی که دسترسی به عمق پی مشکل باشد مانند محلهایی که رسیدن به سنگ بستر برای احداث سد مقدور نباشد و یا لایه ناتراوا یا سنگ بستر در عمق زیاد باشد.

- وقتی که ابعاد هندسی محل فونداسیون خیلی پیچیده باشد و شرایط مرزی و لایه های مختلفی از لحاظ جنس و از نظر زمین شناسی وجود داشته باشد.

- وقتی که وجود سازه هایی در مجاور فونداسیون جدید، اجازه و امکان خاکبرداری در عمقهای خیلی پایین را ندهد (چرا که احتمال حرکت و جابجایی و شاید هم ریزش فونداسیون موجود را موجب شود) (Ischy, & Glossop, 1962)

از تزریق می توان برای موارد ذیل استفاده کرد:

۱- نفوذ ناپذیر کردن یک منطقه در زیر یا اطراف یک سازه به منظور دستیابی به اهداف زیر:

- بدست آوردن یک دیوار آب بند^۹ دائمی با کیفیت متوسط در عمق های زیاد، باکیفیت خوب در عمقهای کم.
- احداث یک دیوار آبند موقت در یک دوره ساخت از یک سازه، به عنوان مثال در دوران ساختن یک سد بر روی یک رودخانه بزرگ که ممکن است در این حالت یک آب بندی متوسط همراه با پمپاژ آب اقتصادی تر از یک آب بندی کامل باشد.

۲- تحکیم فونداسیون زمین به تنهایی و یا همراه با جلوگیری از تراوش آب، با این عمل مقاومت خاک به منظور امکان حفاری تونلها، افزایش می یابد و یا قدرت محل (ظرفیت باربری) خاک زیاد شده و در نتیجه فونداسیون ساخته شده بر روی آن بیش از اندازه نشست نخواهد داشت (King, 1961).

معایب تزریق در مقایسه با راه حلهای دیگر جهت جلوگیری از تراوش، این است که در اغلب موارد تزریق وقت گیرتر است و به علت تعداد نفرات و ماشین آلاتی که برای اجرای آن لازم است ممکن است گرانتر از راه حلهای دیگر تمام شود. همچنین به علت اینکه روش تزریق به نوع کار و خصوصیات محل وابستگی زیادی دارد، لذا امکان تهیه و مشخصات استاندارد طراح و اجرای آن توسط افراد غیر متخصص و مجرب مقدور نیست و لازم است در حین اجرای تزریق دائماً طراح، کنترل و تصحیح گردد (سیما فر، ۱۳۷۰).

۲-۵-۳- ترانشه رسی

^۹ Cut off wall

این نوع سیستم آب بند، برای پی های با نفوذ پذیری زیاد و ضخامت کم مناسب بوده و موقعیت آن در سدهای خاکی در زیر هسته نفوذ ناپذیر میباشد. برای ایجاد اینگونه سیستم آب بند، ابتدا ترانشه ای با دیوارهای شیب دار به موازات محور سد در زیر هسته نفوذناپذیر حفر شده و به موازات حفاری ترانشه، عملیات خشکانیدن با پمپاژ آب زیر زمینی و پایین نگهداشتن سطح سفره در مجاورت ترانشه، صورت می گیرد. پس از اتمام حفاری، خاک با نفوذپذیری اندک (خاک رس) در لایه هایی به ضخامت معین پخش و توسط غلطکهای پاجه بزی متراکم می شود. برای تهیه یک ضخامت کافی از مواد نفوذ ناپذیر و برای تامین اتصال کافی با سنگ بستر یا لایه نفوذ ناپذیر دیگر، پهنای کف ترانشه آب بند باید متناسب با ارتفاع افزایش یابد. معمولاً فیلتری روی سطح پایین دست ترانشه آب بند برای جلوگیری از مهاجرت ریز دانه در درشت دانه پی تهیه می شود. مصالح دانه ای و دارای منافذ کوچک فیلتر به اندازه کافی باید نفوذپذیر باشد. تا نسبت به جریان عبوری از آن ممانعت ناچیزی ایجاد کند.

آببندی در محل اتصال ترانشه رسی و سنگ بستر باید به شیوه قابل قبولی انجام گیرد. معمولاً بعد از برداشت کامل آبرفت و رسیدن به سنگ بستر لایه نفوذ ناپذیر آن را به خوبی تمیز میکنند، که معمولاً جهت تمیز کردن سنگ بستر از جت آب استفاده می شود. بعد از تمیز کردن سنگ بستر، قسمتهای هوازده و سست را با دستگاه برش، برداشته تا به سنگ بستر سالم و تمیز برسند. حال جهت اینکه اتصال کافی و مطمئن در محل اتصال ریشه و سنگ بستر انجام گیرد، حدود ۶۰-۱۰۰ سانتی متر از سنگ سالم بستر را حفاری و برداشت می کنند سپس رس را با رطوبت بالای ۲٪ می کوبند این کار بمنظور چسبندگی بیشتر و شکل پذیری بیشتر انجام می گیرد. چنانچه سنگ بستر یا لایه نفوذ ناپذیر دارای درز و ترک نباشد نیازی به تزریق سنگ بستر نیست و در صورت وجود درز و ترک در سنگ بستر معمولاً در بالا دست و پایین دست ریشه رسی از چند ردیف پرده تزریق استفاده می شود.

بطور کلی در پایین دست هسته رسی از فیلتر و زهکش استفاده می کنند ولی در بالادست آن نیازی به اجرای فیلتر و زهکش نیست، زیرا در قسمت بالا دست، افت سریع مخزن و عوامل دیگر تاثیری در جهت جریان تراوشی ندارند ولی در پایین دست هسته رسی به دلیل عبور جریان تراوشی امکان شسته شدن مصالح ریزدانه (رس) به پایین دست وجود دارد. بنابراین جهت جلوگیری از شسته شدن مصالح هسته رسی اجرای فیلتر در پایین دست آن الزامی است. همانطور که می دانیم فیلتر دارای منافذی کوچک است که از حرکت ذرات و دانه های خاک جلوگیری به عمل می آورد، و البته به اندازه کافی نیز نفوذپذیر است تا نسبت به جریان عبوری

از آن ممانعت ناچیزی ایجاد کند. انتخاب مصالح فیلتر بسیار مهم است، مصالح فیلتر با دقت و با توجه به خاکی که باید از آن محافظت گردد انتخاب می گردند. (افشار و نیک صفت، ۱۳۶۷)

۲-۵-۴- آب بندی ناقص

آببندی ناقص به آب بندی گفته می شود که شالوده را به طور کامل آب بندی نمی کند و عمل اصلی آن قطع کلی تراوش نیست، بلکه در محدود نمودن آن و در افزایش طول مسیر تراوش، مؤثر است آببندهای ناقص در شالوده هایی که در طبقات عمیق تر نفوذ ناپذیر می باشند بسیار مؤثرند، اما در شالوده هایی که تا اعماق زیاد نفوذپذیری قابل توجه دارند، بطوریکه اگر تا ۸۰٪ عمق کلی لایه نفوذپذیر آب بند شود، راندمان کاهش تراوش از آن فقط تا ۵۰٪ میرسد. از این رو از آب بند ناقص میتوان نتیجه رضایتبخش گرفت. راندمان آب بندهای ناقص کم است (رحیمی، ۱۳۸۲).

۲-۵-۵- سپر فولادی

سپر فولادی عموماً به وسیله سپر کوبی در لایه نفوذپذیر در پی سدها ایجاد می شود و مورد استفاده قرار میگیرد. این روش به دلیل هزینه بسیار بالا و همچنین نشت آب از میان قفل و بستهای بین سپر ها و انحراف پروفیلها و غیره که هیچکدام کنترل پذیر نیستند قابل بررسی و تامل بوده و امروزه کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. ممکن است برای اصلاح این نقیصه روشهای نظیر ایجاد لرزش هنگام کوبیدن سپرها جهت خارج نشدن سپر از محل اتصال و یا استفاده از بتونیت جهت بستن درزها بکار رود. سپر فولادی از نظر دوام در مقابل خوردگی و عدم امکان نفوذ آنها به سنگ کف زیر لایه نفوذپذیر با مشکلاتی مواجه بوده و باعث محدودیتهای در استفاده از این دیوار آب بند شده است. از مزایای سپر فولادی ایجاد آنها تا اعماق زیاد می باشد. کارایی آب بند های سپر فولادی بستگی به نفوذ مناسب به داخل لایه غیر قابل نفوذ و همچنین شرایط المانهای آهن کوبی بعد از رانده شدن دارد. وقتی که مواد پی غلیظ باشد یا شامل تخته سنگ باشد که می

تواند باعث پاره شدن صفحه یا صدمه دیدن اتصالات آن شود که در آن صورت کارایی کمی خواهد داشت (رحیمی، ۱۳۸۲).

۲-۵-۶- پوشش نفوذناپذیر بالادست

یکی دیگر از روشهای آب بندی یا کنترل تراوش در پی سدها استفاده از پوشش نفوذناپذیر بالادست است. وقتی که احداث یک آببند کامل تا لایه نفوذ ناپذیر واقع در زیر سد، پرهزینه است و اندکی تراوش مجاز باشد و یا وقتی که عمق لایه نفوذپذیر واقع در زیر سد زیاد باشد و اجرای آب بند عملی نباشد و نفوذپذیری پی بطور متوسط بالا باشد در این صورت ممکن است جهت کاهش تراوش، از پوشش نفوذناپذیر استفاده شود. اگر نفوذپذیری پوشش نسبت به خاک بستر بطور قابل ملاحظه ای پایینتر باشد در این صورت کاهش مقدار تراوش و فشار حفره ای در پایین دست سد رابطه مستقیم با طول پوشش نفوذناپذیر خواهد داشت.

نفوذپذیری پوشش بالا دست در افزایش زه آب تحت الارضی تاثیر بیشتری از افزایش طول پوشش بالا در کاهش زه آب خواهد داشت، روش مناسب برای عملکرد بهتر پوشش جهت کنترل نشت مستلزم ایجاد پوشش نفوذ ناپذیر با خاکهای نفوذ ناپذیری خواهد بود که بطور مشابه در هسته نفوذناپذیر سد بکار برده شده است. از نقطه نظر اجراء پوشش نفوذناپذیر در قسمت بالادست سد و در کف مخزن با ضخامت معین اجراء شده و از قسمت تحتانی هسته به آن متصل می گردد. طول و ضخامت لازم برای پوشش نفوذ ناپذیر بالا دست بستگی مستقیم به نفوذپذیری مصالح آن، لایه بندی و ضخامت قشر پی نفوذپذیر، عمق مخزن و میزان تراوش در پایین دست خواهد داشت. کارایی پوشش بالادست تا حد زیادی بستگی به نسبت ضرائب نفوذپذیری در امتداد افقی و عمودی در زمین شالوده دارد، گر چه نسبت این ضرائب تقریباً هیچگاه به طور دقیق مشخص نیست، ولی ممکن است در مواردی رقمی نسبتاً بزرگ باشد. به هر حال اگر بر اساس مساوی بودن ضرائب نفوذپذیری شالوده، در امتداد افقی و عمودی مقدار تراوش محاسبه گردد و ضریب نفوذپذیری هر دو امتداد برابر ضریب نفوذپذیری افقی در نظر گرفته شود مقدار محاسبه شده تراوش حد بالایی را نشان می دهد. در مواردی شرایط طبیعی مناسب به کارایی بیشتر پوشش نفوذناپذیر بالادست کمک می کند، زیرا بتدریج رسوبات سیلتی و رسی در بستر مخزن تجمع می یابند و خود بر ضخامت و آببندی این پوشش می افزاید.

در تصمیم گیری استفاده از پوشش نفوذناپذیر بالادست وجود مصالح نفوذناپذیر در محل خیلی مهم است. معمولاً مصالح نفوذناپذیر پوشش بالادست عبارتند از: رس و بتن و بتن آسفالتی و در اغلب مواقع جهت جلوگیری از فرسایش و حرکت مصالح ریزدانه پوشش بالا دست (در صورت استفاده از رس) به داخل پی از فیلتر استفاده می کنند که این فیلتر ها در قسمت زیرین پوشش نفوذ ناپذیر کار گذاشته می شوند (حائری، ۱۳۶۳)

۲-۶- روشهای کنترل نشت آب

کنترل نشت آب در سدهای خاکی به روشهای مختلفی انجام می گیرد که عبارتند از: الف) چاهکهای کاهنده فشار ب) فیلترهای وزنی ج) زهکشها

۲-۶-۱- چاهکهای کاهنده فشار

چاهکهای کاهنده فشار عموماً برای کاهش فشار بالابرنده بکار می رود تا از بوجود آمدن فشار هیدرواستاتیکی اضافی در قسمت پایین دست سد جلوگیری نماید، زیرا افزایش این زیر فشار بالاخره آب شستگی پی و لغزش بدنه را بدنبال خواهد داشت. بعلاوه این کار میزان دبی کنترل نشده ای که در پایین دست جریان می یابد را کاهش داده و از بوجود آمدن چشمه های غیر عادی در نقاط نامناسب جلوگیری می نماید. بطور کلی سدهائی که روی پی های لایه لایه با نفوذپذیری زیاد ساخته می شوند اگر قرار باشد در مقابل فشار منفذی، جوشش تراوش و فرسایش سالم باقی بمانند باید دارای یک نوع زهکش عمیق باشند. بدین منظور چاهکهای کاهنده فشار یکی از بهترین انواع زهکش برای کنترل نشت میباشد. در بعضی حالات نیز دیواره سپری از نوع سیمان و گل و لای و یا سایر انواع دیواره ها ممکن است بهترین و اقتصادی ترین راه حل باشد.

از محلهای قرضه برای ساختمان سد، بعضی مواقع جهت کاهش فشار منفذی (بجای چاه) استفاده می شود، لذا توصیه می شود که محلهای قرضه حتی الامکان از پایین دست محل سد انتخاب شود. و نباید در بالادست انتخاب شود، زیرا روکش طبیعی غیر قابل نفوذ موجود را تخریب می نمایند. البته کاربرد آنها معایبی نیز دارد که از جمله آنها:

- احتیاج به نگهداری و مراقبت داشته و ممکن است در طول عمر سد نیاز به تعویض داشته باشند.

- طول مسیر نشت را کاهش داده و موجب افزایش مقدار آن می شود. در نزدیکی های چاهک فشار، آب نشتی کاهش یافته و تقریباً به حد ارتفاع لبه چاهک می رسد (فشار هیدرواستاتیکی).

تجربه نشان داده است که برای بدست آوردن راندمان مناسب بایستی چاههایی با حداقل قطر داخلی ۶ اینچ و به صورت عمیق حفر شوند. چاهها باید طوری طراحی و حفر شوند که میزان فشار مورد نظر را کاهش داده و درصد مناسبی از ظرفیت انتقال لایه خاک پی را کم نماید بطوریکه در تغییرات سطح ارتفاع آب مخزن در مواقع مینیمم و ماکزیمم نیازی به پمپ کردن آب نباشد.

در صورت امکان چاهکها را بایستی تا انتهای لایه نفوذ پذیر حفر نمود. این کار برای بعضی از خاکهایی که ساختمان آنها غیر منظم بوده و الگوی نشت را در آنها بسادگی نمی توان پیش بینی نمود حائز اهمیت است. تستهای آزمایشگاهی بر روی مدل‌های مختلف نشان داده است که حتی برای پی های همگن و نفوذپذیر، چنانچه عمق چاهها کمتر از ۵۰٪ ضخامت لایه باشد میزان آبدهی آنها به مقدار زیادی کاهش می یابد. چنانچه عمق چاهها کمتر از ۲۵٪ باشد حفر چاهکها تاثیر چندانی نداشته و میزان دبی ناچیز خواهد بود. اگر عمق چاه طوری باشد که تمام ضخامت لایه پی را طی ننماید و قسمت پائینی لایه، نفوذپذیری بیشتری نسبت به قسمت بالائی آن داشته باشد باز چاهها اثر چندانی در کاهش فشار منفذی و خارج نمودن آب نشتی ندارند (Sherad, 1967).

۲-۶-۲- فیلترهای وزنی

فیلترهای وزنی برای جلوگیری از آب شستگی و متورم شدن لایه های خاک استفاده میشود. این فیلترها بایستی طوری طراحی شوند که از آب شستگی و جوشش جلوگیری نمایند. در واقع در بخشهای حساس پائین دست سد، خاک موجود با فیلترهای سنگینتر جایگزین می شود تا وزن بیشتری را به زمین وارد کند و مانع از تورم خاک شود. ضریب اطمینان از نظر متورم شدن خاک بوسیله رابطه زیر محاسبه می شود.

$$G_s = V / U$$

(رابطه ۲-۱)

در اینجا G_s ضریب اطمینان و V جمع تنشهای عمودی در هر نقطه از ستون خاک و U میزان فشار حفره ای (فشار آب)، در همان نقطه است. مثلاً اگر بار پیژومتری در عمق ۱۰ فوتی از سطح خاک در یک نقطه در پایین

دست سد در یک پی نفوذپذیر ۱۰ فوت بالاتر از سطح زمین باشد کل تنش عمودی در همان نقطه برابر با وزن مخصوص خاک اشباع ضربدر عمق است. اگر وزن مخصوص خاک اشباع برابر با ۱۱۵ پوند در هر فوت مکعب فرض شود جمع کل تنشها برابر با ۱۱۵۰ پوند در هر فوت مربع خواهد شد. فشار حفره ای برابر است با وزن مخصوص آب ضربدر بار پیرومتری یا ۱۲۵۰ پوند در هر فوت مربع.

برای مثال میزان تنش عمودی در جهت بالا که خنثی نشده است (از اصطکاک صرف نظر شده) برابر است با $100 - 1150 = 1250$ پوند بر فوت مربع و اگر این یکصد پوند بر فوت مربع تنش خنثی نشده با کارگذاری فیلتر وزنی با ضخامت مناسب خنثی نشود، جوشش و متورم شدن لایه های خاک اتفاق خواهد افتاد. وقتی فیلترهای وزنی بکار برده شود ضریب اطمینان افزایش می یابد، چون کل تنش افزایش می یابد، در حالیکه مقدار فشار حفره ای ثابت مانده است. ضخامت فیلتر وزنی بایستی به اندازه ای باشد که حداقل ضریب اطمینان را از نظر فروریختگی و تخریب فراهم نماید. این ضریب اطمینان بایستی حداقل ۱/۵ باشد تا در صورت افزایش بار پیرومتری در بعضی نقاط بحرانی، اطمینان لازم حاصل شده باشد (Alvarez, et al. 1982).

۲-۶-۳- زهکشها

زهکش یکی از قسمتهای مهم سد خاکی می باشد. زهکشها برای کنترل خط جریان در بدنه سدهای خاکی و جمع آوری آب تراوش یافته از بدنه سد مورد استفاده قرار می گیرد. نتیجتاً از هرگونه تغییر فرم ناشی از نفوذ آب ناشی جلوگیری می نمایند. در بعضی مواقع زهکشها برای کاهش فشار حفره ای که در اثر تحکیم یا بارهای دینامیکی زلزله بوجود می آید به کار می روند.

زهکشهایی که در ناحیه پاشنه یا پی سد خاکی به کار می روند برای اینست که فشار حفره ای لایه های نفوذپذیر زیر پی سد که با لایه های با نفوذپذیری کم پوشیده شده اند را کاهش دهد. روش زهکشی بستگی به این دارد که وضعیت نشت در داخل برش عرضی سد چگونه باشد. بدین جهت لازم است برای زهکشها از فیلتر استفاده نمود تا از آب شستگی جلوگیری شود، ضمناً زهکشها باید بدون افت بار زیاد، تراوش را به راحتی انتقال دهند. برای اینکه فیلتر از خاک اطراف خود نفوذپذیرتر باشد مشخصات زیر بایستی رعایت شود:

$$5 < \frac{\text{خاک اطراف فیلتر } (D_{15})}{\text{فیلتر } (D_{15})}$$

ویا:

(خاک اطراف فیلتر D_{85}) / (فیلتر D_{15}) < 4

در اینجا منظور از خاک اطراف فیلتر لایه های خاک بدنه یا پی سد می باشد که در مجاورت زهکش قرار می گیرند. اگر اندازه D_{15} یک فیلتر ۴ یا ۵ برابر اندازه D_{15} خاک اطراف زهکش باشد، ضریب آبگذری فیلتر معمولاً حداقل حدود ۱۰ تا ۲۰ برابر ضریب آبگذری خاک اطراف زهکش خواهد بود. این اطمینان می دهد که افت بار در فیلتر زیاد نیست. فرمول فوق مشخص می کند که آبگذری مناسب در زهکش در صورتی فراهم است که جهت جریان آب ورودی عمود بر راستای زهکش باشد و تراوش پس از خروج از خاک به داخل فیلتر زهکش، براحتی جریان می یابد. زهکش باید بعنوان یک مجرای هیدرولیکی طراحی گردد تا قادر باشد که حداقل چند برابر تراوش پیش بینی شده را از خود عبور دهد. وقتی زهکش با یک ظرفیت متناسب طراحی و ساخته شود خط جریان به بالاتر از خط انتهائی بدنه زهکش نخواهد رسید (Cedergren, 1989).

۲-۷- طبقه بندی زهکشها

زهکش از دو قسمت کانال انتقال و فیلتر، تشکیل می شود. که فیلتر در بیشتر موارد از ۲ تا ۳ لایه تشکیل شده است. به فیلتری که در زهکشها بکار می رود معمولاً صافی محافظ یا صافی معکوس گویند. به زهکشهایی که در سدهای سنگی و خاکی بکار می روند به خاطر ظرفیت زیادی که دارند اصطلاحاً محیط رابط گویند. زهکشها به دو نوع تقسیم می شوند که عبارتند از: ۱- زهکش از نوع درونی ۲- زهکش از نوع بیرونی.

زهکشهای بیرونی بندرت به تنهایی به کار می روند و اغلب با زهکشهای نوع درونی باهم، مورد استفاده قرار می گیرد که به شکل یک زهکش مختلط عمل می نمایند. همانطور که از نامشان معلوم است در خارج از بدنه سد کار گذاشته می شوند لذا نقش کوتاه کردن مسیر نشت را دارد.

معمولاً یک مقطع خاکی همگن در سدهای خاکی با مسئله نشت و نفوذ آب در بدنه روبروست و برای اینکه در مقابل آب شستگی مقاومت نموده و پایدار باشند لازمست مقطع بزرگی از توده خاک برای آنها در نظر گرفته شود، لذا در مقاطع همگن همیشه یک زهکش در نظر می گیرند که زهکش درونی می نامند. چنین زهکش درونی که بطور افقی کار گذارده می شود خط جریان در فشار اتمسفری را در داخل بدنه، با شیب

زیادی پائین انداخته در نتیجه برای احداث سد به مقطع کوچکتری نیاز خواهد بود. زهکشهای درونی در بیشتر سدهای خاکی استعمال می گردد. این زهکشها بصورتهای مختلفی، مانند زهکش عمودی داخل (بدنه و پی) و زهکش سنگ چین پایاب، بکار می رود.

- زهکش عمودی داخل بدنه

این زهکشها در سدهای همگن تاثیر زیادی در کاهش فشار حفره ای دارند. اگر این زهکش ها در راستای شیب بالادست باشند تاثیر آنها مانند آنست که یک هسته مرکزی متمایل در بالادست کار گذاشته شده باشد. در سدهای خاکی همگن از نظر تئوری می توان با کار گذاری زهکش های عمودی در داخل بدنه سد میزان فشار حفره ای داخل شیب بالادست در مواقع پائین رفتن سطح آب مخزن را به میزان قابل ملاحظه ای پائین انداخت. بصورتی که جریان آب ذخیره شده در حفره ها بجای اینکه بطرف شیب بالادست باشد از آن دور می شود.

- زهکش عمودی در داخل پی سد

در سدهای سنگی و خاکی، زهکشهای عمودی نیز در داخل پی ایجاد می شود که بصورت یک چاهک برای قطع جریان نشت در زیر پی سد عمل می نمایند تا با کاهش فشار از آب شستگی (زه آب) پی جلوگیری شود. وقتی این زهکشها در لایه های رسوبی کار گذارده می شود بایستی حتماً با فیلترگذاری همراه باشند. انواع فیلترهائی که در این حالت به کار می روند از شن و ماسه، فلز، بتن، سرامیک و امثال آن میباشند , (Sherard, et al.1963).

- زهکش سنگ چین پایاب

سنگ چین پایاب معمولاً از سنگهایی با قطر ۱۵ تا ۲۰ سانتی متری ساخته می شود که بصورت محیط رابط بین قسمت همگن بدنه خاکی و سنگ چین اصلی عمل می نمایند. فیلتر پایاب معمولاً شامل سه لایه ماسه، شن و سنگ ریزه است. ارتفاع سنگ چین پایاب معمولاً بین ۲۵ تا ۳۵

درصد ارتفاع سطح آب مخزن ساخته می شود. انتهای سنگ چین باید از سطح آب در پائین دست بالاتر باشد. زهکشهای سنگ چین پایاب در بعضی مواقع که جنس پی ناهمگن است چندان تاثیری ندارند زیرا فقط فشار منفذی اولین لایه نفوذپذیر را کاهش خواهند داد. در این گونه موارد علاوه بر کارگذاری این زهکشها، از چاهکهای کاهنده فشار نیز استفاده می شود (Sherard, et al., 1963).

۲-۸- طراحی زهکشها

کل میزان نشتی که از یک سد باید خارج گردد از طریق رسم شبکه جریان قابل محاسبه است. در این محاسبه فرض می شود که زهکش بدنه سد دارای ضریب آبگذری بی نهایت است، برای زهکشهای افقی طراحی بایستی در نظر داشته باشد که خط آزاد جریان آب داخل زهکش از سطح بالای زهکش بالاتر قرار نگیرد. با استفاده از رابطه ۲-۲ که برای حالت جریان آرام و بر اساس قانون دارسی بدست می آید میتوان ضخامت زهکش (H) را با دانستن ضریب آبگذری فیلتر محاسبه کرد.

(رابطه ۲-۲)

$$Q = K H^2 / 2L$$

K = ضریب نفوذپذیری (متر در ثانیه)

L = طول مسیر جریان (متر)

Q = میزان دبی در واحد عرض (مترمربع در ثانیه)

H = ضخامت زهکش که برابر است با میزان بار (متر)

اگر در یک زهکش جریان به حالت نا آرام یا نیم آرام (جریانی که در مسیر مستقیم نباشد) برسد، میزان دبی کمتر از مقداری است که بر اساس قانون دارسی محاسبه می شود و بایستی ضخامت زهکش بزرگتر از مقدار محاسبه شده از طریق فرمول در نظر گرفته شود در صورتی که حدود دبی جریانی را که بایستی از یک زهکش حائل عبور نماید در دسترس باشد می توان بوسیله قانون دارسی، حداقل ضریب آبگذری آنرا با یک دقت منطقی تخمین زد (Singh. and. Varshney, 1995)

$$Q = K I A \quad (\text{رابطه ۲-۳})$$

پس از جابجایی در فرمول.

$$K = Q / I A$$

$$I = h / l$$

در زهکشهای نسبتاً عمودی، می توان (h/l) را تقریباً برابر یک گرفت و حداقل ضریب آبگذری برابر می شود با (پازوش، ۱۳۷۴).

$$K = Q / A$$

برای بررسی خصوصیات مانند نشت آب، فرض هم جهت بودن ضریب آبگذری خاک بدنه در بیشتر موارد خیلی دور از واقعیت نیست اما در بعضی موارد لازم است مسئله غیر هم جهت بودن این ضریب را در نظر گرفت. اگر خاکی که برای کاهش نشت بکار می رود در ترکیب ذرات خود خیلی غیر یکنواخت باشد در نتیجه نفوذ پذیری در یک لایه خاکریز در جهات مختلف ۵ تا ۷ و گاهی تا ۱۰ برابر با هم تفاوت خواهد داشت.

در سدهائی که در آنها پیژومتر نصب شده است نسبت ضریب آبگذری را می توان با قرائت پیژومترها و محاسبه توزیع تئوری فشار تخمین زد. در چند مورد که بدین طریق بررسی شده نشان می دهد که اگر بدنه سد با خاک نرم و یکنواخت ساخته شده باشد نسبت ضریب آبگذری افقی به عمودی از ۴ تجاوز نخواهد کرد (کمیتة ملی سدهای بزرگ، ۱۳۷۷).

اگر خاکریز سد دارای ضریب آبگذری K' و مواد پی آن دارای ضریب آبگذری K'' باشد در صورتی که نسبت K' به K'' بیشتر از ۱۰۰ باشد می توان پی را به عنوان یک لایه غیرقابل نفوذ در نظر گرفت. (البته در بیشتر موارد نسبت بین ۲۵ تا ۳۰ هم برای تحقق این شرط کافی است). در غیر این صورت نمی توان پی را یک لایه غیرقابل نفوذ محسوب نمود و برای تعیین ناحیه نشتی باید پی و بدنه را با هم در نظر گرفته شوند (کمیتة ملی سدهای بزرگ، ۱۳۷۷).

اگر پی به صورت غیر قابل نفوذ در نظر گرفته شود میزان نشت در مقایسه با نشت حاصله از بدنه قابل اغماض بوده و تنها میزان نشت حاصله از اجزاء بدنه محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار میگیرد. اگر نسبت ضریب آبگذری خاکریز بدنه به پی کوچکتر از یک صدم باشد (در عمل اغلب در نظر گرفتن کسر یک بیست و پنجم تا یک سی ام کافی است) میزان افت بار در این خاکها (خاک با ضریب آبگذری K')، برخلاف آنچه که انتظار میروید کم خواهد بود (کمیتة ملی سدهای بزرگ، ۱۳۷۷).

۲-۹- روشهای اندازه گیری دبی نشت آب

روشهای مختلفی برای اندازه گیری دبی نشت آب در سدها وجود دارد.

الف- اندازه گیری تراز سطح آب در یک سرریز مثلثی

هنگامی که دبی زهکشها از ۵ لیتر در دقیقه تجاوز نکند اندازه گیری آبگذری توسط سرریزهای مثلثی تامسون (Thomson) انجام می گیرد. در سرریز تامسون ارتفاع آب روی تیغه سرریز اندازه گیری میگردد، این ارتفاع بطور مستقیم اندازه گیری نمی شود بلکه با استفاده از اشل و نشانه ثابت آب روی تیغه بدست می آید. اکنون با استفاده از رابطه زیر مقدار دبی جریان محاسبه می شود.

$$Q (L/S) = 1420 \times h^{2.5} \quad (\text{رابطه ۲-۴})$$

$$Q (L/min) = 85200 \times h^{2.5} \quad (\text{رابطه ۲-۵})$$

h - ارتفاع آب روی سرریز بر حسب متر

سرریزهای مثلثی باید محکم، بدون هر گونه کجی و یا بریدگی باشد و عاری از هر نوع رسوب و سفیدک باشد و در نقطه ای اقدام به اندازه گیری شود که ارتفاع آب حداقل ۱۰ برابر ارتفاع تیغه آب روی سرریز باشد. اندازه گیری دبی نشت آب عموماً بر اساس لیتر بر دقیقه می باشد و اندازه گیریها بر اساس حجم ظرف و زمان پر

شدن می باشد و آنچه مهم است داشتن مجموع دبی نشت آب در کل سد می باشد، تواتر اندازه گیری دبی نشت در تمام دوره های عمر سد و در تمام انواع سدها انجام می گیرد و از آنجایی که کل دبی نشت در آن مشخص است یکی از سیستم های هشداردهنده در سدها می باشد (شرکت مشاور پویاب، ۱۳۸۲).

قانون مشخصی وجود ندارد که چه میزان دبی نشت را به عنوان یک دبی نرمال در نظر بگیریم،

ولی مقدار دبی خروجی به عوامل زیر بستگی دارد:

- وضعیت زمین و کیفیت عملیات ترمیم و اصلاح پی

- کیفیت کارهای بتنی سازه ای (کیفیت قالب بندی، بدنه بتنی، درزه های اجرایی، نحوه تزریق سیمان در درزه ها و نحوه ترمیم های انجام شده).

- ارتفاع تراز آب

دبی نشت در سالهای اول عمر سد بیشتر است زیرا با گذشت ۱۰ الی ۲۰ سال نشتها کامل شده و زمین اطراف نیز اشباع می گردد در نتیجه کل دبی نشت در یک سد در طول زمان کاهش می یابد. مقدار دبی نشت نسبت به زمان و ارتفاع آب مخزن (H) رسم می گردد. آنچه در منحنی دبی-ارتفاع و یا دبی-زمان مهم است تغییرات ناگهانی است، چه به صورت کاهش یا چه به صورت افزایش دبی باشد. افزایش غیر عادی ممکن است ناشی از بالا آمدن سریع آب مخزن و یا ایجاد یک حفره در تکیه گاه و یا سد باشد و کاهش بیش از حد انتظار نیز در اثر گرفتگی زهکش ها و یا تجمع ناگهانی رسوب در سد می باشد. برخلاف تصور، مقدار دبی در هر سال عامل تعیین کننده ای نمی باشد، بلکه دبی غیر عادی وقتی مشخص می شود که در یک تراز ثابت آب افزایش غیر معمول در میزان نشت آب رخ می دهد (شرکت مشاور پویاب، ۱۳۸۲).

ب- اندازه گیری به کمک پیزومترها

فشار حفره ای در سدها بایستی در طول زمان احداث سد و بعد از آن به طور مرتب اندازه گیری شده تا اطمینان حاصل شود از فشار حفره ای خطری برای کاهش تنش موثر خاک وجود ندارد. وجود آب در زیر پی سد بایستی به طریقی اندازه گیری شود، تا بتوان دقتهای لازم در ساختمان شالوده و پی نمود به طوریکه قادر باشند در مقابل فشار آب مقاومت نمایند. هدف اصلی از نصب پیزومتر این است که با ارائه اطلاعات از وضع

فشار منفذی، اطمینان دهد که فشار بالابرنده از مقدار فرض شده توسط طراح بالاتر نرفته است. کاربرد دیگر این اطلاعات این است که چنانچه در حین عمل و دوران بهره برداری نقائصی در سد بوجود آید، به بررسی و تجزیه و تحلیل نقائص کمک می نماید. سومین و مهمترین خاصیت اطلاعات بدست آمده از پیزومترها به خصوص در سدهای با ارتفاع زیاد و سد هایی که از بعضی جوانب مدرن به حساب می آیند کمک به افراد حرفه ای و طراحان سدها میباشد (شرکت مشاور پویاب، ۱۳۸۲).

۲-۱۰- عملیاته‌ای تعمیر و ترمیم سدهای خاکی دارای نشت آب بیش از حد

شناسائی و تعیین مسیر نشت آب های خطرناک کار بسیار مشکلی است. نشت آب اعم از آنکه قابل مشاهده باشد یا نباشد، در کلیه سدهای خاکی رخ می دهد. جمع آوری و اندازه گیری مقادیر کل نشت آب در بسیاری از ساختگاههای سدها کار مشکلی است چون بخش اعظم آن از طریق غارهای زیرزمینی یا مصالح تراوای پی، که دارای جریان سطحی ناچیز یا به طور کلی فاقد جریان سطحی اند تخلیه می شود.

- اقدامات برای ترمیم و تعمیر مشکل نشت آب از پی و بدنه سدها

ممکن است نشت آب هایی که ذرات ریز مصالح خاکریز یا پی را حمل می کنند، بدون ایجاد هیچگونه تاثیر قابل رویتی در سد، تا زمانی که مقدار کافی از مصالح برای ایجاد یک غار در بخش بالادست کنده شده باشد، ادامه یابد. این غار امکان دسترسی به مخزن را که تحت تاثیر بار آبی مخزن پر، با جریان آزاد به کانال فرسایش یافته فراهم نموده، باعث افزایش دبی آب در درون کانال مذکور گردیده و احتمالاً چشمه بزرگی را در قسمت پایین دست سد بوجود می آورد. این دبی افزایش یافته، کندن مصالح را از داخل بدنه سد و پی تسریع نموده و می تواند منجر به خرابی (شکست) بسیار سریع خاکریز نظیر آنچه که برای سد تتون اتفاق افتاد، گردد.

وظیفه پرسنل رفتارنگاری، شناسایی نشت آب خطرناک پیش از توسعه و تبدیل به حالت خرابی غیر قابل ترمیم می باشد. با این حال پس از آگیری مخزن، آب به دنبال آسانترین مسیر به طرف پایین دست سد می باشد. در صورتی که این گونه نواقص و نارسایی ها در خاکریز و پی وجود داشته باشد، آب مسیری را که از آن طریق به آسانترین وجهی به طرف رقوم های پایین تر جریان می یابد پیدا می کند. بنابراین پرسنل رفتارنگاری با همکاری طراحان باید شرایط زمین شناسی محل، عملیات تزریق پی، طراحی خاکریز و یادداشتهای عملیات

اجرایی را مورد بازبینی قرار دهند تا از این طریق مشخص شود که آیا شرایط موجود برای وقوع رگاب مساعد است یا خیر؟ لازم است مطالعات و بررسی گسترده ای (که شامل موارد ذیل بوده ولی محدود به آنها نمی باشد) صورت گیرد:

۱- اندازه گیری دبی و رسوبات معلق در کلیه چشمه های پایین دست و جریانهای زیر زمینی از داخل درزه های سنگ.

۲- انجام بررسی ها و مشاهدات صحرایی در بخش پایین دست سد و نیز از طریق نقشه برداری هوایی به منظور کسب اطلاع از گسترش احتمالی محدوده چشمه ها و خیس شدگیها

۳- بازرسی محلی جهت اطلاع از وقوع احتمالی نشست ها یا غارهای زیرزمینی

۴- رسم خطوط هم پتانسیل داده های پیزومتری برای کسب اطلاع از احتمال گسترده شدن فشار پیزومتری نسبتاً زیاد به قسمت پایین دست سد، این شرایط می تواند نمایانگر ایجاد یک گذرگاه عریض از داخل یا از زیر محل گود برداری هسته باشد.

۵- ترسیم خطوط هم تراز دما با استفاده از نتایج اندازه گیری های دمای آب پیزومترها برای کسب اطلاع از راهیابی آب سردتر عمیق ترین قسمت های مخزن به داخل پیزومترها

۶- انجام آزمایشات ردیابی^{۱۰} برای کنترل مسیر و سرعت جریانهای تراوش از مخزن به طرف پیزومترها و چشمه های پایین دست.

۷- حفاری نقاط مشکوک به منظور کشف نقایص یا نارسایی احتمالی.

اگر تشخیص داده شود که رگاب، در حال وقوع می باشد، شرایط حاکم تعیین می کند که مخزن، به منظور جلوگیری از بروز یک وضعیت غیر منتظره نیاز به تخلیه و یا عملیات علاج بخشی کامل دارد یا خیر. در صورتی که مسیر زه آب از داخل سنگ پی (کف دره یا تکیه گاه) گذر نماید، اقداماتی به شرح ذیل را می توان انجام داد:

۱- تزریق: (سیمان، مواد شیمیایی یا آسفالت)

¹⁰ Dye

۲- دیوار آب بند: دیواره ساخته شده با اجزاء بتنی نظیر آنچه که در سد ولف کریک تعبیه شده یا دیواره ساخته شده با استفاده از قطعات پیش ساخته بتنی مانند آنچه که در سد والتراف. جورج (Walter. F. George) اجرا شده است.

۳- برداشتن بخشی از خاکریز و تزریق سنگ به منظور آب بندی دائمی منافذ موجود در سنگ، مانند آنچه که در حوزه آبریز کونه وانگو کریک انجام گردید.

تزریق تنها می تواند یک راه حل موقتی باشد. دوغاب سیمان تنها منافذ موجود در درزه های سنگ را پر می کند. در اکثر مواقع دوغاب ممکن است توسط خاک یا سنگ هوازده احاطه شده باشد که در این صورت امکان شسته شدن و از میان رفتن آن با گذشت زمان توسط تراوش وجود دارد.

در شرایطی که مسیر تراوش از میان مصالح روبار در قسمت زیرین خاکریز گذر کرده و ناشی از نارسایی سنگ پی نباشد، آنگاه توصیه های ذیل را می توان بکار بست:

۱- تعبیه چاههای فشارشکن در قسمت پاشنه پایین دست به منظور کاهش فشار و جمع آوری تراوش به طور کنترل شده

۲- فیلترهای معکوس دانه بندی شده با هدف جلوگیری از بروز رگاب و نیز جلوگیری از تورم پی از طریق افزودن به وزن آنها.

۳- تعبیه دیوار آب بند در قسمت میانی خاکریز و همچنین از میان لایه های نشت آب و اتصال آن به یک لایه ضخیم نفوذناپذیر یا به سنگ پی

۴- تزریق دوغاب سیمان و مواد شیمیایی که بسته به اندازه منافذ و نوع مصالح پی دارد.

در بسیاری موارد از فیلترهای معکوس برای پر کردن نقاط پست، جایی که نشت آب جریان دارد استفاده می شود. علاوه بر این از چاههای فشارشکن به منظور کاهش فشارهای ایجاد شده در عمق استفاده می شود.

در سدهای خاکی بنا شده بر روی رسوبات رودخانه ای نفوذ پذیر ضخیم، اغلب آبرگیری مخزن باعث بالا آمدن سطح آب زیر زمینی در بخش پایین دست و یا رسیدن تراز آن به سطح زمین می شود. این وضعیت، خصوصاً در کانال تخلیه سازه های خروجی، اغلب منجر به بروز نشت آب های متمرکز میگردد. نشت آب ها را می توان از طریق پوشاندن قسمت کف و شیبهای جانبی کانال با لایه ای از فیلتر با دانه بندی مناسب در قسمت زیرین

و نیز یک لایه محافظ سنگی (ریپ رپ) بر روی لایه فیلتر (به منظور جلوگیری از انتقال ذرات ریزدانه پی) کنترل نمود. به منظور تخلیه آب درون تکیه‌گاهها میتوان از زهکش‌های افقی برای جمع‌آوری نشت آب در قسمت انتهایی رویه استفاده نمود.

– سابقه عملیات ترمیم سدهای دارای مشکل نشت آب از پی و بدنه

گردان مهندسین ارتش آمریکا در ناحیه (Huntington) از یک لایه شبکه ای فولادی در پی خاکریز به منظور ایجاد مقاومت لازم برای تکمیل خاکریز ۷/۵ متری استفاده نمود. عملیات اجرایی خاکریز اصلی در ارتفاع ۲/۴ متر به دلیل بروز خرابی‌های مکرر قبل از دسترسی به ارتفاع طراحی متوقف گردید. بررسی‌ها و آنالیزهای اخیر نشان داده که وقوع خرابی‌ها اصولاً به دلایل پی ضعیف متشکل از تورب و رس نرم بوده است (کمیته ملی سدهای بزرگ، ۱۳۷۷).

برای تعیین مناسب‌ترین مصالح تسلیح^{۱۱} و پیش‌بینی نوع دستگاه‌های لازم برای رفتارنگاری در زمان اجرا انجام گردید. به جای ورق‌های صافی از جنس پولیستر، فیبر، شیشه، از شبکه سیمی فولادی به عنوان مصالح مسلح‌کننده استفاده گردیده. شبکه فولادی دارای تنها مصالحی بود که مقاومت لازم را در تنها یک لایه منفرد فراهم می‌نمود. بعلاوه در صورت استفاده از شبکه فولادی، خاکریز و پی تغییر مکان‌های بسیار کمتری را در مقایسه با انواع مصالح دیگر متحمل میشوند.

یک ترانشه پوشیده شده با غشاء محافظ، بمنظور جلوگیری از نشت آب از پی، در قسمت بالادست و از میان تورب و به داخل رس نرم ایجاد گردید. پتوی زهکش افقی پایاب به منظور قطع کردن هر مسیر زه‌آبی که دیوار آب‌بند را میان بر می‌زند، به یک لوله جمع‌آوری کننده نشت آب مجهز گردیده است. ایجاد ترانشه (دیوار) آب‌بند به دلیل نشت آب قابل ملاحظه از سد در حین سیل سال ۱۹۶۹، لازم تشخیص داده شد.

به منظور کاهش خوردگی، سیم فولادی با آهک پوشانده شد. آنالیزهای پایداری دراز مدت نشان می‌دهد که پس از گذشت ده سال که تحکیم خاک پی باعث افزایش مقاومت برشی به حد کافی و ایجاد پایداری لازم، نیازی به وجود شبکه فولادی نخواهد بود (کمیته ملی سدهای بزرگ، ۱۳۷۷)

¹¹ Reinforcing

– اقدامات برای ترمیم و تعمیر مشکل نشت آب از مخزن سدها

اجتناب و جلوگیری از تراوش آب از مخازن چنانکه در مراحل برنامه ریزی و احداث سد عملی گردد به مراتب سهل تر از مرحله بهره برداری از مخازن است. با پر شدن مخزن دسترسی به آن جهت بازرسی و اعمال اقدامات ترمیمی و اصلاحی عملاً مشکلتر گردیده و با برنامه بهره برداری از آن نیز تداخل پیدا می کند. یک اشتباه مشترک که در بسیاری از پروژه های گذشته ملحوظ است، متمرکز نمودن بررسیها صرفاً به جایگاه سد و توجه شتاب زده و عجولانه به نواحی مخزن می باشد، بسیاری از مخازن واقع در نواحی مطلوب توپوگرافیکی متعاقب پر شدن مخزن با مسئله نشت مواجه گردیده اند. تهیه و تدارک نقشه های زمین شناسی کف مخزن و محیط آن، به طریق مطلوب و جامع و با مقیاس مناسب، بمنظور تعیین مسیر نشت آب از اولویت زیادی در برنامه بررسی محل سد برخوردار است.

بررسیهای اولیه زمین شناسی شرایطی را جستجو نموده یا مشخص می کند که منجر به پیش بینی نشت، محتمل ترین مسیر جریان آب و نواحی دچار خسارت می گردد. اگر پیش بینی ها در این مرحله انجام شود، کنترل امکانپذیر می باشد، محل مخزن و سد مردود اعلام می گردد یا مطالعات دقیق تر جهت تخمین دبی تراوش مخزن، و پیش بینی بازتاب آن و یا بررسی این نکته که آیا مسائل پیش بینی شده را می توان با اقدامات عملی کنترل نمود صورت می پذیرد. این مرحله از بررسی معمولاً مستلزم کاربرد تکنیکها و روشهای است که در این راستا یک هیدرولوژیست آبهای زیرزمینی مجرب می تواند به نحو شایسته ای تکنیکهای فوق را پیاده نموده و یا رهبری نماید. کاربرد روش پیشنهادی در ذیل غالباً روشن می سازد که آیا نشت از مخزن صورت می پذیرد و یا در شرائط وقوع تا چه حد نشت آب جدی تلقی شود.

۱- تراوش از مخازن واقع در سازندهای قابلیت نفوذپذیری زیاد ممکن است کاسته شود مشروط بر آنکه سطح آب زیرزمینی بخاطر فصول خشک پایین باشد. تحت این شرایط آب زیرزمینی به حرکت خود به سمت مخزن ادامه داده و در نتیجه در حواشی مخزن به سمت خارج تراوش نخواهد نمود.

بسیاری از این مطالعات و بررسیها مستلزم جمع آوری اطلاعات صحرائی بمنظور تعیین موقعیت چاههای آب موجود در مجاورت حاشیه مخزن و گردآوری اطلاعات حاصل از چاه و سطح آب زیرزمینی از منابع محلی است. در صورت لزوم و فقدان اطلاعات حاصل از پیژومترها ضروریست، به استناد این اطلاعات مسیرهای

پتانسیل نشت تعیین و حدود آن مشخص میگردد و اندازه گیری به منظور توجیه سطوح پیزومتری صورت می پذیرد. ارزیابی پتانسیل تراوش مخزن بر مبنای آنالیز اطلاعات فوق عملی می گردد.

۲- در نواحی که آبراهه ها از مخزن عبور می کنند، نشانه عدم دخول آب را می توان از طریق ثبت دبی آب تراوش شده به درون رودخانه تعیین نمود. سازندهائی که دیواره و کف مخزن را تشکیل میدهند در زیر رودخانه واقع شده اند.

۳- چنانکه مخزن از ته نشستهای رسوبی واجد خواص یکسان در جهات گوناگون تشکیل شده باشد، تهیه شبکه های جریان امکانپذیر خواهد بود که بدین طریق میزان نشت را می توان تخمین زد. پتانسیل نشت از طریق درزه ها یا کانالهای حاصل از حل مواد متشکله، در حاشیه های دست نخورده مخزن را، بوسیله آزمایشهای فشار یا قابلیت نفوذ پذیری می توان تعیین نمود که این آزمایشها در سوراخهای محفوره عملی می گردد.

۴- در شرایط بهره برداری از مخزن، میزان خروجی آب و تغییرات در میزان آب ذخیره شده حاصل از نشت را می توان با استفاده از معادله هیدرولوژیک تراوش و موازنه مقادیر آب ورودی محاسبه نمود.

ترمیم مخازنی که دچار نشت ناحیه ای گردیده اند معمولاً به طریق نصب پرده های تزریق دیواره های آب بند مثبت، فرشهای بالادست یا نصب فیلترهای حفاظتی وزنی در خروجی پایاب عملی میگردد. در مواردی که تمهیدات فوق منجر به جلوگیری از تراوش نگردیده و یا از دیدگاه اقتصادی قابل توجیه نباشد، سطح آب مخزن پایین تر از محل نشت نگهداری می گردد. قابل ذکر است که برخی از مخازن به سبب شرایط بحرانی متروکه اعلام گردیده اند. در جدول ۱-۲ مثالهایی از ارزیابی عملکرد اقدامات علاج بخشی برخی از سدها ی جهان آورده شده است (کمیته ملی سدهای بزرگ، ۱۳۷۷).

جدول ۱-۲- مثالهایی از ارزیابی عملکرد اقدامات علاج بخشی برخی از سدها ی جهان

سد	محل	سال پایان عملیات اجرایی	ابزاری که اهمیت زیادی در تحلیل مشکلات موجود داشته اند	مساله ارزیابی شده
توین بیوتس	تکزاس	1963	پیزومترها و نشت آب	اندازه گیری و کنترل نتایج نشان داد که اجرای عملیات تزریق کاملاً موفقیت آمیز نبوده است.

سن لوئیس	کالیفرنیا	1967	پیزومترهای تار مرتعش ، شیب سنج ها و نقاط اندازه گیری سطحی	عملکرد رضایت بخش عملیات علاج بخشی برم بالا دست به صورت موثری کنترل گردید.
استارویشن	یوتا	1970	سنجش رفتار پیزومترها و آب های نشتی	ثابت کرد که عملیات تزریق ترمیمی موثر واقع شده است.
سولجر کریک	یوتا	1974	سنجش رفتار پیزومترها و آب های نشتی	نشان داد که برای کمک به کنترل نشت آب نیاز به تعبیه زهکش علاج دهنده در تکیه گاه می باشد
ماونت البرت	کلرادو	1981	پیزومترها و شیب سنج ها	از این طریق زهکشی شیب های کناره و عملیات آب بندی دیواره های مخزن به گونه ای موثر انجام شد.
هلینا ولی	مونتانا	1958	سنجش رفتار پیزومترها و آب های نشتی	نشان داد که چاه های فشار شکن، آب بندی دیواره های مخزن و عملیات تزریق ترمیمی به تنهایی رضایت بخش نبوده و ایجاد یک سکو لازم است. کارایی تعبیه سکو را متعاقبا به اثبات رساند.
گواها تا کا	پورتوریکو	1926	شیب سنج	نشان داد که عملکرد سکوی علاج دهنده در جلوگیری از بروز تغییر مکان های تکیه گاه ها رضایت بخش و موثر بوده است.

فصل سوم

ابزارهای مورد استفاده در

رفتارنگاری سدها

3-1- مقدمه

بطور کلی ابزارهای مورد استفاده در سدها به چند گروه شامل ابزارهای کنترل فشار، شیب سنج، انبساط سنج، دبی سنج، ترک سنج، نشست سنج، دماسنج، کرنش سنج، پاندول، دستگاه اندازه گیر سطح آب مخزن، انحراف سنج، شتا بنگار، ایستگاه هواشناسی و ... تقسیم می شوند. در این فصل برخی از ابزارهای مورد استفاده در رفتار نگاری سدهای خاکی و بتنی معرفی شده و موارد استفاده و دلیل انتخاب این ابزارها مورد بررسی قرار می گیرد.

3-2- ابزارهای کنترل فشار آب

از انواع پیزومتر ها به منظور اندازه گیری فشار آب استفاده می شود. کارکرد آنها به شرح زیر است:

1 - اندازه گیری فشارهای ناشی از بار گذاری در نقاط مختلف خاکریز و پی، که به دلیل تاثیر فشار منفذی در پایداری، دارای اهمیت زیادی در حین اجرا می باشد. **2-** اندازه گیری فشار و سطح ایستایی اصلی ناشی از نشست آب در خاکریز و پی که به دلیل احتمال بروز رگاب و سایر ناپایداریهای ناشی از نشست آب از اندازه گیری های بسیار مهمی در بهره برداری از سد محسوب می گردد (وفانیان، 1382).

پیزومترهای فشار سنج به دو دسته عمومی پیزومترهای سیستم بسته و سیستم باز تقسیم می شوند.

3-2-1- پیزومترهای از نوع سیستم بسته

پیزومترهای از نوع سیستم بسته عبارتند از: **1-** پیزومتر الکتریکی از نوع تار مرتعش **2-** پیزومترهای

هیدرولیکی **3-** پیزومترهای پنوماتیکی

3-2-1-1- پیزومترهای الکتریکی از نوع تار مرتعش

این نوع پیزومترها برای اندازه گیری ارتفاع و فشار آب درون گمانه استفاده می شود. موارد استفاده از این ابزار شامل کنترل فشارهای بیش از حد مجاز در خاکهای رسی و گلی، اندازه گیری

خودکار ارتفاع آب، اندازه گیری و کنترل نفوذپذیری و اندازه گیری فشارهای بالا رونده و شیب هیدرولیکی در سدها و شیبهای طبیعی و مصنوعی می باشد و فیلتر های با روزه های متفاوت جهت کاربردهای مختلف می باشد (Soil, 2006).

بدنه مبدل به صورت سرتاسری از فولاد ضد زنگ تشکیل شده که شامل یک بدنه استوانه‌ای صلب میباشد که در یک انتها بسته و در انتهای دیگر آن یک دیافراگم الاستیک و حساس در برابر تغییرات فشار وجود دارد. یک تار فولادی تحت کشش اولیه از یک طرف به انتهای ثابت استوانه و از طرف دیگر به دیافراگم فوق متصل شده است. در درون محفظه مبدل تار مرتعش در بالای وسط تار فولادی یک سیم پیچ مغناطیسی وجود دارد که با القای مغناطیسی باعث ارتعاش تار فولادی در فرکانس طبیعی آن (که وابسته به کشش تار است) میگردد. فشار آب حفره‌ای که بر سطح دیافراگم وارد می شود باعث تغییر شکل دیافراگم و در نتیجه تغییر میزان کشش تار و در نهایت تغییر فرکانس ارتعاش آن میگردد. بدنه استوانه‌ای دیافراگم و سیم پیچ مغناطیسی همگی توسط محافظ ولتاژ در برابر ولتاژهای شدید حین وقوع صاعقه محافظت می شود.

دستگاه قرائت تار مرتعش با فرستادن پالس های الکتریکی به مجموعه سیم پیچ درون سیستم تار مرتعش باعث می شود که تار فولادی به صورت لحظه‌ای کشیده و رها شده و در فرکانس طبیعی خود نوسان کند. و به خاطر این نوسانات تار فولادی در میدان مغناطیسی موجود، جریان متناوبی در سیم پیچ ایجاد می شود که میزان آن توسط دستگاه قرائت ثبت می شود. دستگاه قرائت، ولتاژ سینوسی را به موج مربعی شکل تبدیل می کند که با استفاده از آن، پریود نوسان تار مرتعش با دقت خوبی اندازه گیری می شود (شکل 3-1).

مشخصات یک تار پیزومتر تار مرتعش مناسب بصورت زیر می باشد.

- 1- از نظر دوام قابل قبول و مورد تائید باشد. 2- از جنس فولاد ضد زنگ باشد. 3- محدوده کاری: 1100kpa ، 500 ، 300 (30 ، 50 و 110 متر آب) 4- دقت¹²: $\pm 0/1\%$ 5- دمای کاری : 30- الی 70 درجه سانتیگراد 6- ظرفیت تحمل اضافه بار: 100 % محدوده کاری 7- کلیه اجزاء دستگاه بایستی تا سه برابر فشار قابل تحمل، آب بند باشند. 8- لازم است شرکت سازنده برگه های کالیبراسیون برای هر دستگاه شامل ضریبهای اصلاحی¹³: را با توجه به تغییرات حرارتی همراه با دستگاه ها ارائه نماید. 9- مجهز به محافظ تغییرات ناگهانی شدت جریان و محافظ صاعقه باشد (Geonor Manufacturing, 2000).

- اثر درجه حرارت و فشار بر روی پیزومترهای الکتریکی

¹² Accuracy

¹³ Correction Factor

- تغییرات دما

مصالح بکار رفته در ساخت مبدل های الکتریکی به گونه ای انتخاب شده است که اثر تغییرات دمای پیرامون بر سلول را به حداقل میرساند. علاوه بر آن حین آب بندی محفظه تار مرتعش، هوای داخل آن تخلیه می شود تا با بالا رفتن دمای پیژومتر از اعمال فشار درونی به دیافراگم پیش گیری شود. اهمیت تغییرات دما مربوط به تفاوت آن در قرائت صفر و قرائت های بعدی می باشد. اثر تغییرات دما در مورد پیژومترهای با ظرفیت های فشاری پایین (100، 50، 30 متر فشار آب) شدیدتر می باشد چرا که در این نوع پیژومترها برای سیستم تار مرتعش از یک دیافراگم نازکتر استفاده شده است. با توجه به اینکه دقت کار مبدل الکتریکی $\pm 0/1\%$ و حساسیت در برابر تغییرات دما $0/02\%$ کل ظرفیت فشاری است، بنابراین در صورتیکه تغییرات دما کمتر از 10 درجه باشد، نیاز به اثر دادن دما نیست. در صورتیکه احتمال تغییرات حرارتی زیاد وجود داشته باشد بایستی درجه حرارت محیط با استفاده از ترمیستور داخل پیژومتر و یا یک ترمیستور جداگانه اندازه گیری شود، دمای اندازه گیری شده با استفاده از ضرایب تصحیح به نتایج اعمال میشود. هنگامی که تغییرات سریع درجه حرارت در محیط پیرامون پیژومتر باعث ایجاد یک شیب حرارتی در جسم پیژومتر شود خطاهای بزرگی در آن ایجاد میشود، به همین خاطر برای ثبت قرائت اولیه پیژومتر بایستی به اندازه کافی صبر کرد تا درجه حرارت ابزار با محیط پیرامون آن به تعادل برسد. برای اینکار بهتر است قبل از نصب، پیژومترها را مدتی در داخل گمانه با آب کم عمق مستغرق نمود. در مورد فشارسنج های تنش کل نیز آنها را با سایه اندازی از تابش مستقیم نور آفتاب باید دور نگه داشت تا مقدار عدد نمایش داده شده در دستگاه قرائت به یک مقدار ثابت برسد.

- تغییرات فشار جو

همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد فشار خارجی اعمال شده بر دیافراگم مبدل، باعث تغییر شکل در تار فولادی و فرکانس طبیعی ارتعاش آن میگردد که از روی آن مقدار تغییرات فشار اعمال شده اندازه گیری میشود. از آنجایی که هنگام ساخت ابزار و آبندی آن در کارخانه، هوای داخل محفظه تار مرتعش تخلیه می شود لذا در حین استفاده از ابزار در عمل فشار جو باعث اعمال یک فشار اضافی بر سطح دیافراگم میگردد. این مسئله در مورد سیستم های مبدل تار مرتعش با دیافراگم های نازک بیشتر دیده می شود. به عنوان مثال در یک پیژومتر الکتریکی با ظرفیت فشاری 50 متر آب، تغییر فشار جوی به اندازه ± 10 millibar باعث ثبت فشار آب حفره ای به اندازه 100 میلیمتر بیشتر میشود. در مواردی که میزان تغییرات فشارهای کوچک مورد توجه باشد، بایستی فشار جوی محل قبل از نصب حین قرائت اولیه و نیز فشار جو در قرائت های بعدی در دست باشد. تفاضل این دو فشار جوی مستقیماً با فشار اندازه گیری شده جمع بسته میشود (Hanna, 1985).

- طریقه نصب پیزومترهای الکتریکی در گمانه

پیزومتر های الکتریکی از دو قسمت کابل های چهار رشته و سنسور فلزی (که خود سنسور دارای فیلتری برای نفوذ آب می باشد). تشکیل شده است. برای نصب این ابزار ابتدا فیلتر پیزومتر را 24 ساعت قبل از نصب در آب اشباع می کنند، بعد از اشباع کامل فیلتر، آن را روی سنسور بسته، سپس سنسور را داخل کیسه ژئوتکستال قرار داده بعد داخل کیسه را با ماسه شسته شده مرطوب پر میکنند، قبل از وارد کردن کیسه حاوی سنسور پیزومتر داخل گمانه، ته گمانه را 0/5 الی 1 متر با ماسه شسته شده پر می کنند و بعد پیزومتر را وارد گمانه کرده وقتی به ته گمانه رسید دوباره 0/5 الی 1 متر ماسه شسته شده می ریزند سپس به اندازه یک متر قرص بنتونیت میریزند، اگر گمانه دارای آب باشد نیازی به ریختن آب نیست ولی اگر گمانه خشک باشد بعد از ریختن قرص بنتونیت، به گمانه آب اضاف می کنند تا گمانه توسط قرص بنتونیت آب بند شود، بعد از 24 ساعت بقیه عمق گمانه را با مخلوطی از دو غاب سیمان و بنتونیت (طبق دستورالعمل) دو غاب می کنند (شکل 3-2).

- طریقه نصب پیزومترهای الکتریکی در خاکریز

برای این منظور ابتدا ترانشه ای به عمق و عرض نیم الی یک متر در محلی که برای ابزار طراحی شده است، ایجاد میکنند (شکل 3-3)، بعد یک شکاف به اندازه سنسور پیزومتر در پای ترانشه حفر میکنند (شکل 3-4)، در پیزومترهای خاکریز نیازی به ژئوتکستال نیست سنسور را در این شکاف ایجاد شده بصورت افقی قرار می دهند و سنسور را داخل خاک مرطوب از جنس مصالح خود ترانشه قرار میدهند بعد روی سنسور را با خاک نرم می پوشانند و با دستگاه تراکم دستی عمل تحکیم را انجام می دهند که در شکل 3-5 نشان داده شده است (سدافزار، 1385).

3-2-1-2-3- پیزومترهای هیدرولیکی

پیزومترهای هیدرولیکی (دلوله ای)، فشارهای آب منفذی موجود در سدهای خاکی و پی های آنها را با استفاده از صفحات نمایانگر تعبیه شده در چاه های انتهایی، واقع در پاشنه پایین دست سد، اندازه گیری می کنند. فشار از طریق دو لوله مملو از آب، که از کف پیزومتر ادامه یافته و به صفحات نمایانگر فشار منتقل می گردد، اندازه گیری می شود. پیزومتر هیدرولیکی از اجزاء مختلفی تشکیل شده است که شامل المان فیلتر متخلخل متصل به دو شیلنگ پلاستیکی، همراه با گیج اندازه گیری فشار در انتهای هر یک از شیلنگ ها می باشد. تراز پیزومتری با افزودن متوسط قرانت گیج ها به تراز گیج های فشار بدست می آید. برای تهیه آب، هوازداپی شده¹⁴ و به یک واحد هوازداپی نیاز

¹⁴ De – aired water

می‌باشد برای تامین فشار لازم نیز باید از پمپ استفاده شود. اجزا مختلف این سیستم شامل سر پیزومتر، شلنگها، مایع داخل شلینگ و تجهیزات هوازدايي می‌باشد.

سر پیزومتر باید از نوع استوانه با سرگرد باشد، در این نوع پیزومتر، دو سر آن در پوش ندارد و فقط يك سر داراي درپوش است، که دو لوله فلزي به آن متصل می‌باشد. سر دیگر آن را همان فیلتر تشکیل می‌دهد که بصورت نیم کره ای یکپارچه در ادامه بخش استوانه ای فیلتر است. این فیلتر باید فیلتر سرامیکی با ارزش هوا گذاري بالا و قطر حفرايي در حدود يك ميكرون، باشد. جنس درپوش و اتصاليهاي فشاري مربوط به آن باید از فولاد و ضد زنگ باشد. و اشر در پوش نیز باید از جنس نئوپرن باشد. باید به این نکته مهم توجه شود که قطر مجرای آب در طول اتصال هاي فشاري و درپوش نباید کمتر از قطر داخلي شلنگها باشد چون در غیر این صورت باعث گرفتگی می‌شود.

شلنگها باید از جنس نایلون نرم نشده¹⁵، با يك پوشش پلي اتیلن باشد. عدم وجود نرم کننده، بسیار مهم است، چون این افزودنی منجر به تشکیل يك لایه کریستالي در داخل شلینگ شده و نهایتاً باعث گرفتگی آن می‌شود. نایلون باید با رنگ طبیعی باشد و شلینگ باید در مقابل يك فشار تركيدگي زودگذر بیش از 350 متر آب، مقاوم باشد. همچنین باید برای عملکرد در دمایی صفر تا 50 درجه سانتی گراد مناسب باشد. باید بتوان در دمایی صفر درجه سانتیگراد بدون پارگی یا شکستگی آن را دور يك لوله به قطر 10 سانتیمتر، 360 درجه خم کرد. مقاومت کششی شلینگ نباید کمتر از 50Mpa در 20 درجه سانتیگراد بوده و باید بتوان بدون پارگی در مقابل 10% کرنش کششی مقاوم باشد. قطر داخلي شلینگ نایلونی 3/8 میلیمتر و قطر خارجي آن 6/4 میلیمتر باشد. مایع داخل شلینگ باید آب مقطر فیلتر شده باشد که از تقطیر بخار بدست آمده و برای کاهش درصد گازهاي حل شده به زیر 1ppm، هوازدايي شده باشد. تجهیزات هوازدايي از يك واحد نیمه اتوماتيك هوازدايي و دستگاه آب جوش الکتریکی تشکیل شده است این واحد باید قادر باشد حداقل محدوده فشاري را بین صفر تا 50 متر آب تامین کرده و داراي پمپ الکتریکی باشد که با برق 220 ولت کار کند. (مهندسین مشاور پویاب، 1382). طریقه نصب پیزومترهاي هیدروليكي (DSM)¹⁶ بر دو نوع است گمانه ای و خاکریزی.

- طریقه نصب در گمانه

گمانه ای به قطر بالای 96 میلیمتر تا تراز نصب مورد نظر نقشه حفاری می‌شود. سپس پایین گمانه را مقدار 50 سانتیمتر بتن با مصالح ریز دانه ریخته، بعد سنسور پیزومتر را در داخل گمانه روی بتن قرار داده و به ارتفاع سنسور در داخل گمانه از بتن قبلي ریخته و بقیه گمانه را با دوغاب سیمان و بنتونیت که طبق نتیجه آزمایشگاه و مشاور، مورد تایید قرار گرفته، پر می‌کنند سپس کابل آن را بوسیله لوله انعطاف پذیر و مقاوم به محل نصب مخزن مرجع انتقال داده می‌شود.

¹⁵ Unplasticized

¹⁶ Differential Settlement Monitoring

- طریقه نصب در خاکریز

در روش نصب در خاکریز ترانشه ای به ابعاد یک در یک حفر کرده و با استفاده از نقشه های پروژه یک سکوی 40×40 بتنی به ارتفاع 15 الی 20 سانتیمتر ساخته و سنسور را روی آن قرار داده و سپس از مصالح ریزه شده برای زیر ابزار استفاده کرده که این مصالح قبل از نصب باید کاملاً متراکم شود و بعد به ضخامت 5 الی 10 سانتیمتر خاک روی ابزار ریخته و روی ابزار باید طوری متراکم شود که آسیبی به ابزار نرسد، نکته قابل توجه این است که در هر دو نوع نصب (گمانه ای - خاکریز)، باید ابزار را قبل از نصب شیلنگ مایع، قرائت صفر انجام دهیم و سپس شیلنگ را بوسیله پمپ و مخزن مخصوص از مایع تعریف شده شرکت سازنده پر نموده به طوری که در داخل شیلنگ هیچ نوع حباب هوا وجود نداشته باشد و قرائت قبل از نصب در این مرحله انجام می شود.

3-1-2-3- پیزومترهای پنوماتیکی

این نوع پیزومترها جهت اندازه گیری فشار آب در خاکریز و گمانه استفاده می گردد. این نوع سیستم شامل اجزا الکتریکی در زیر زمین نمی باشد لذا قابل اطمینان، بادوام، ضد یخ، ارزان، مقاوم در برابر صاعقه و قابلیت اندازه گیری تغییرات سریع در فشار آب می باشد. کارکرد پیزومتر نیاز به یک منبع گاز تحت فشار در حالت سکون میباشد. فشار آب با استفاده از فشار گاز داخل سیلندر توسط دستگاه قرائت تنظیم می گردد و روی صفحه نمایشگر دستگاه قابل مشاهده است. فشار آب وارده به القا کننده از میان فیلتر عبور نموده و با وارد آوردن فشار به دیافراگم قابل انعطاف باعث پیچش دیافراگم و بسته شدن لوله می گردد. سپس فشار پنوماتیکی از طریق یک لوله، که القاء کننده را به واحد قرائت چند شاخه ای متصل می کند، وارد میشود. فشار پنوماتیکی لازم برای راندن دیافراگم به موقعیت اولیه خود نمایانگر فشار آب وارده به القاء کننده بوده و کلیه فشارهای اضافی از طریق یک لوله تخلیه هوا به محیط خارج منتقل می شود. نحوه نصب و طراحی پیزومترهای پنوماتیکی تقریباً مشابه پیزومترهای هیدرولیکی می باشد. تنها فرق بین این دو نوع پیزومتر این است که در سیستم لوله کشی دستگاه های پنوماتیکی گاز جریان دارد. سازندگان این دستگاه ها تلاشهای فراوانی در جهت افزایش درجه اعتماد و دوام آنها نموده اند. دفتر USBR از آنها به جای پیزومترهای هیدرولیکی استفاده کرده است. پانزده سال پیش، دوام پیزومترهای پنوماتیکی و الکتریکی به اندازه ای نبود که بتوان مسایل تعمیرات آنها را بررسی و تجربه نمود. ولی در حال حاضر وضعیت فرق کرده است. دفتر USBR از سال 1978 به بعد، موفقیت های شایان توجهی در استفاده از پیزومترهای پنوماتیکی تار مرتعش کسب نموده است.

این پیزومتر از فشار گاز برای اندازه گیری فشار آب استفاده می کند که در شکل 3-6 پیزومتر پنوماتیکی نشان داده شده است (Geonor Manufacturing, 2000).



شکل 3-1- پیزومتر الکتریکی از نوع تار مرتعش

شکل 3-2- طریقه نصب پیزومترهای الکتریکی در گمانه



شکل 3-3- ترانشه ایجاد شده برای نصب ابزار



شکل 3-4- شکاف ایجاد شده برای قرار دادن سنسور



شکل 3-6- پیزومتر پنوماتیک



شکل 3-5- نمایی از پوشاندن سنسور توسط خاک نرم

3-2-2- پیزومتر از نوع سیستم باز

پیزومترهای از نوع سیستم باز عبارتند از 1- پیزومترهای لوله متخلخل 2- پیزومترهای لوله شیار دار 3- چاهک های مشاهده ای 4- پیزومتر کاساگرانده مدل P1010040

3-2-2-1- پیزومترهای لوله متخلخل

از پیزومترهای لوله متخلخل به منظور اندازه گیری تراز آب پیزومتری در خاکریزها، پی ها یا تکیه-گاهها استفاده می شود، پیزومترهای لوله متخلخل را می توان در حین عملیات اجرایی در داخل گمانه

هاي حفاري يا در خاكريز نصب نمود. اين پيزومتر ها كه از يك مجموعه لوله متخلخل همراه با يك لوله قائم پلاستيكي تشكيل مي شود، از كف به حالت عمود تا سطح زمين به حالت عمود ادامه پيدا مي كند، مجموعه لوله متخلخل را مصالح تراوا (نفوذ پذير) احاطه نموده و آب بندي آن از طريق تزريق بنتونيت يا دوغاب به داخل توده خاص مورد نظر در داخل سد، تكيه گاه يا پي صورت مي گيرد. آب وارد لوله متخلخل شده و تا سطحي كه در لوله قائم نمايانگر تراز پيزومتری مي باشد، بالا مي رود (Sherard, 1981).

3-2-2-2- پيزومترهاي لوله شيار دار

پيزومترهاي لوله شيار دار همانند پيزومترهاي لوله متخلخل تراز آب پيزومتری را اندازه گيري مي كند، تنها تفاوت موجود اين است كه براي ورود آب به پيزومتر به جاي يك لوله متخلخل، از يك لوله شياردار، استفاده شده است. معمولاً انتخاب پيزومتر لوله متخلخل به جاي پيزومتر لوله شيار دار بر اساس قطر ذرات مصالح موجود در تراز اندازه گيري ناحيه تأثير صورت مي گيرد. لازم به ذكر است كه مصالح ريز دانه قادرند از ميان شيار وارد لوله شده و باعث گرفتگي آن گردند (شرکت مشاور پوياب، 1382).

3-2-2-3- چاهك هاي مشاهده اي

چاههاي مشاهده اي مشابه پيزومترهاي لوله شياردار مي باشند، تنها تفاوت موجود اين است كه چاههاي مشاهده اي ميانگين تراز آب را در توده هاي مختلف مصالح موجود يا در گمانه هاي حفاري اندازه گيري مي نمايند. چاه هاي مشاهده اي امكان عبور آب را از ميان لوله شيار دار يا بالا رفتن از كف يك لوله روباز را فراهم مي كنند. بنابر اين، تراز ميانگين يك پيزومتر به اين صورت اندازه گيري ميشود. چاهكهاي مشاهده اي را مي توان در نقاطي تعبيه نمود كه تراز پيزومتری يك توده خاص مورد نياز نباشد. علاوه بر اين مي توان از آنها در اندازه گيري تراز ميانگين آب زير زميني در تكيه گاهها و بخش پايين دست پي استفاده نمود (Racktest, 2006).

طريقه نصب چاهك مشاهده اي

وقتي گمانه براي نصب آماده شد يك الي چند شاخه لوله سه متری مشبك چاهك مشاهده اي، كه به ته آن يك درپوش تحتاني بسته شده، به ته گمانه فرستاده ميشود، سپس لوله هاي سه متری ديگر، به قسمت مشبك اضافه مي شود، تا موقعي كه اولين لوله ارسالي به ته گمانه برسد و آخرين لوله نيز از سر گمانه مشخص باشد، بعد از اينكه تمام لوله ها به داخل گمانه فرستاده شدند، مصالح دانه متوسط داخل گمانه مي ريزند، اين مصالح را تا 5-6 متری سر گمانه ميريزند و مابقي گمانه را با

دو غاب سیمان غلیظ آبد می شود و در آخر یک درپوش فوقانی به سر لوله آخر اضافه می شود تا از ورود مواد خارجی جلوگیری شود.

3-2-2-4- پیرومتر کاساگرانده مدل P1010040

پیرومتر کاساگرانده جهت اندازه گیری فشار منفذی آب درون گمانه می باشد (شکل 3-7).

اجزاء تشکیل دهنده این سیستم عبارتند از :

1- فیلتر (از جنس P.V.C و یا سرامیک، طول: حداقل 330 میلیمتر، میانگین قطر منافذ 60 میکرون نفوذپذیری: 3×10^{-3} متر بر ثانیه) 2- لوله و اتصالات (جنس P.V.C، قطر داخلی لوله 19 میلیمتر قطر خارجی 25 میلیمتر، طول هر شاخه 3 متر و 1/5 متر) 3- دستگاه قرائت: اندازه گیری و قرائت این سیستم در محل و با استفاده از سوند انجام می پذیرد. کابل نواری مدرج به طول 80 متر بایستی به فواصل یک متری و همچنین یک سانتیمتری علامت گذاری شده است. اندازه قرقره بایستی متناسب با طول کابل در نظر گرفته شود. میله حساس بایستی در هنگام برخورد با آب یک سیگنال الکتریکی و یک سیگنال صوتی ارسال کند. این میله باید در مقابل خوردگی در آب سنگین مقاوم باشد و از هر نظر آبد می باشد. حساسیت سنسور بایستی قابل تنظیم باشد.

طریقه نصب پیرومترهای کاساگرانده

24 ساعت قبل از نصب، فیلتر پیرومتر کاساگرانده را در آب بصورت اشباع در می آورند (شکل 3-8). بعد فیلتر اشباع شده را به انتهای یک شاخه لوله می بندند. قبل از نصب، نیم متر ته گمانه را، ماسه شسته شده میریزند، بعد لوله را همراه با فیلتر به ته گمانه می فرستند (شکل 3-9)، سپس شاخه های سه متری بعدی به لوله اولی بسته می شود، بعد از فرستادن تمام لوله ها به ته گمانه، دوباره یک متر ماسه شسته شده می ریزند. سپس حدود یک متر قرص بنتونیت برای آبد کردن گمانه میریزند، اگر گمانه دارای آب باشد نیازی به ریختن آب نیست ولی اگر خشک باشد به گمانه آب اضافه می کنند تا قرص بنتونیت متورم شده، و گمانه آبد می شود. بعد از 24 ساعت مابقی گمانه را مخلوطی از دو غاب سیمان و بنتونیت (طبق دستورالعمل) پر می کنند و در آخر یک درپوش به سر لوله می بندند تا از ورود هر گونه مواد خارجی به داخل آن، جلوگیری شود (Sisgeo, 2006).



شکل 3-7- پیزومتر کاساگرانده P1010040



شکل 3-9- اتصال فیلتر به لوله کاساگرانده



شکل 3-8- اشباع کردن فیلتر کاساگرانده

3-3- شیب سنجها

انواع شیب سنجها عبارتند از: 1- میله¹⁷ اندازه گیری شیب سنج 2- لوله های شیب سنج از نوع ABS 3- نشیب سنج افقی 4- نشیب سنج سطحی

3-3-1- میله اندازه گیری شیب سنج

این دستگاه جهت اندازه گیری و پایداری حرکات افقی-پهلویی در شیبهای لغزشی و سدهای سنگریزه ای، تغییر حالت در دیوارهای تونلها، حفاریها، دیوارهای حائل و شمعهای باربر میباشد. میله شیب-سنج شامل اثر در چرخدار مجهز به سنسورهای تراز می باشد. مدل S200SV از کارایی بهتری برخوردار است. در این مدل از سنسور شتاب سنج خودکار¹⁸ استفاده شده که اطلاعات دقیقتری از اندازه و محل جابجاییهای افقی زمین ارائه می دهد. این میله در لوله هایی با سایزهای مختلف با قطر داخلی 35 الی 84 میلیمتر قابل استفاده می باشد. مدل S200PV دارای اثرهای مشابه، لکن سنسورهای ارزانهتری می باشد. مدل S200SH، انحراف سنج خودکار¹⁹ میله در دو نوع تک محوری و دو محوری قابل ارائه می باشد، که قابلیت اندازه گیری افقی لوله های شیب سنج را دارا میباشد (شکل 3-10).

3-3-2- لوله های شیب سنج از نوع ABS

این لوله ها جهت اندازه گیری تغییر شکل های افقی در خاک، سنگ، سازه استفاده می گردد. همچنین بصورت دو منظوره جهت اندازه گیری شیب، و نشست در خاکهای نرم نیز می توان از آن استفاده کرد. لوله های شیب سنج هم سطح، یک لوله از جنس ABS شیاردار خاص می باشد (شکل 3-11).

3-3-3- نشیب سنج درجا

نشیب سنج درجا²⁰ جهت اندازه گیری جابجائیهای افقی و مایل طراحی شده و بکار برده می شود (شکل 3-12).

3-3-4- نشیب سنج سطحی

دستگاه مدل S500 نشیب سنج سطحی²¹ (شکل 3-13) جهت اندازه گیری جابجائیهای سطحی (دیواره ای) استفاده می گردد. این دستگاه تغییر زاویه سنسور تعبیه شده را نسبت به نقطه مبنا عمود اندازه گیری می نماید. سنسور از نوع مقاومت مغناطیسی²² و یا شتاب سنج خودکار می باشد میباشد (Geonor Manufacturing., 2000).

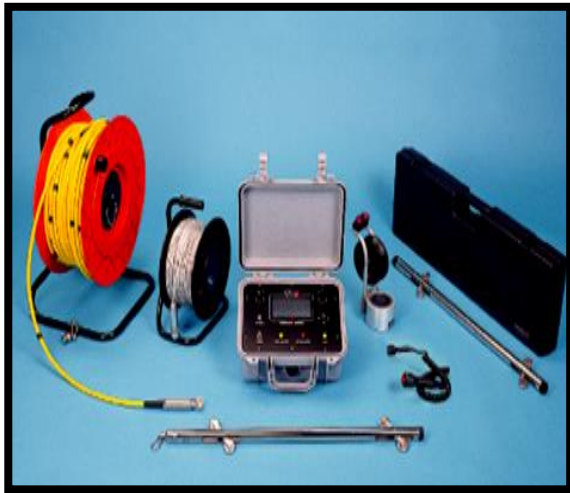
¹⁸ Servo accelerometer

¹⁹ Servo inclinometer

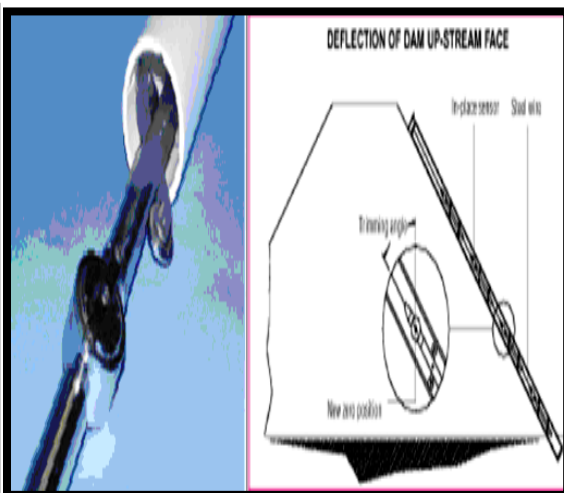
²⁰ Inplace clinometer

²¹ Surface clinometer

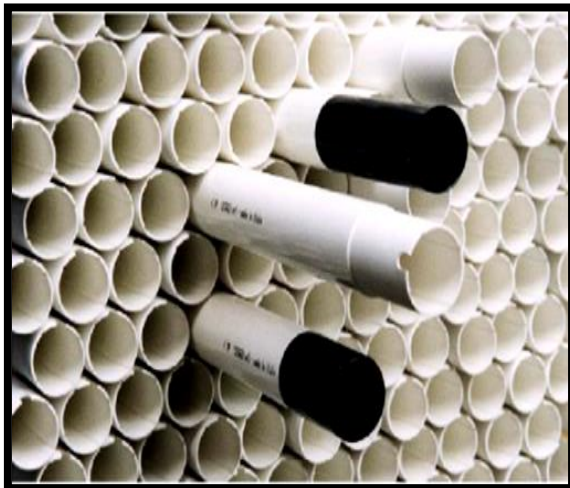
²² Magnetic resistive



شکل 3-11- لوله های شیب سنج از نوع ABS



شکل 3-10- پروب اندازه گیری شیب سنج



شکل 3-13- نشیب سنج سطحی



شکل 3-12- نشیب سنج درجا (Inplace clinometer)

4-3- نشست سنجها

انواع نشست سنجها عبارتند از 1- سیستم نشست سنج مغناطیسی 2- سیستم نشست سنج هیدرولیکی DSM 3- سیستم اندازه گیری نشست دو مایع

3-4-1- سیستم نشست سنج مغناطیسی

کشیدگی سنج مغناطیسی (شکل 3-14) شامل یک لوله با رویه محافظ دندانه دار بوده که بصورت عمودی و افقی نصب می گردد. بشقابکهای مغناطیسی در نقاطی که نیاز به رفتارنگاری دارند قرار گرفته و لوله از بین آن میگذرد و بدین ترتیب بشقابک با حرکت زمین در محور لوله جابجا می گردد.

میله مغناطیسی را وارد لوله کرده و با برخورد میدان مغناطیسی محل بشقابک به دفعات در طول زمان ثبت و بدینوسیله هر گونه جابجایی اندازه گیری می گردد (Sisgeo, 2006).

قطر میله حسگر مغناطیسی بایستی با قطر لوله تناسب داشته باشند. محل اتصال میله به کابل مدرج و همچنین خود میله بایستی کاملاً آب بند باشند. و بایستی در مقابل خوردگی و زنگ زدگی مقاوم باشد. طول کابل مدرج باید حداقل 110 متر بوده و هر متر، سانتیمتر و میلیمتر آن علامت گذاری شده باشد. دقت اندازه گیری نشست $\pm 1\text{mm}$ ، نوار مدرج باید دارای دو سیم رسانا باشد که در سرتاسر طول نوار به آن چسبیده باشند. (سیم و نوار نباید از هم جدا باشند) و کابل مدرج باید کابل نوازی با پوشش نایلون باشد (U.S.B.R, 1980).

- نصب نشست سنجهای داخل خاکریز

وقتی لوله نشست سنج نصب شد، بطور قراردادی 60 سانتیمتر آخر هر لوله را یک عدد صفحه مغناطیسی قرار می دهند بعد با بالا آمدن خاکریز یک لوله سه متری دیگر به لوله قبلی اضافه می شود این بار هم یک صفحه به 60 سانتیمتر آخر این لوله وصل می شود، کار صفحه مغناطیسی در خاکریز همانند ابزار عنکبوتی در نشست سنجهای گمانه ای است، قبل از جاگذاری صفحه ابتدا زیر آن را مصالح نرم میریزند بعد متراکم می کنند سپس صفحه را قرار می دهند و توسط تراز، آن را تراز میکنند، بعد بوسیله نقشه برداری محورهای x ، y ، z صفحه نصب شده را اندازه گرفته که برای تفسیر داده ها بکار می آید، سپس روی صفحه را با خاک نرم پوشانده، دوباره عمل تحکیم را انجام می دهند (شکل 3-15).

- نصب نشست سنجهای داخل گمانه ای

لوله های نشست سنج را بصورت سه متری بهم متصل می کنند، بعد به داخل گمانه می فرستند و ابزاری بنام عنکبوتی²³ دور این لوله ها وصل می شود این عنکبوتی ها بصورت قراردادی به نیم الی یک متر آخر هر لوله نصب می شوند، عنکبوتی ها حلقه های مغناطیسی هستند که وقتی سوند مخصوص نشست سنجها وارد این لوله ها می شود به محض رسیدن به داخل آنها شروع به بوق زدن میکند (شکل 3-16).

3-4-2- سیستم نشست سنج هیدرولیکی DSM

این سیستم جهت اندازه گیری جابجائیهای نسبی و ثبات سازه در حین ساخت استفاده می شود. این سیستم قابلیت نسب در خاکریز و گمانه را دارا میباشد. هر دو نوع سیستم جهت اندازه گیری اتوماتیک

²³ Spider

و دقیق نسبی طراحی گردیده اند. با توجه به نحوه استفاده از این سیستم گنجهای نشست در ترکیبهای مختلف نصب و توسط یک لوله هیدرولیکی به یک نقطه مرجع (گیج) اتصال داده میشود. نحوه عملکرد این سیستم بر اساس تغییرات در فشار ناشی از تغییرات در ارتفاع مایع طراحی گردیده است، بنابراین تغییرات ارتفاع بین گیج مرجع و نقاط مورد نظر اندازه گیری شده بصورت تغییر فشار نمایان میگردد. اندازه گیری نشست توسط یک مبدل با دقت سانتیمتری اندازه گیری شده و با سطح مایع در نقطه مرجع مقایسه می گردد. تغییرات فشار ناشی از جابجایی گیج نشست توسط یک سیگنال الکتریکی خروجی نشان داده میشود.

این سلول نشست از یک مبدل تار مرتعش همراه با یک محفظه یکپارچه آب تشکیل شده است. یک جفت شیلنگ از جنس نایلون همراه با یک کابل مسلح از سلول تا ترمینال قرائت ادامه می یابد. شیلنگهای نایلونی با آب پر شده و از یک طرف به مخزن مینا (در ترمینال) و از طرف دیگر به محفظه مبدل وصل می شوند. کابل، مبدل را به تابلوی خروجی متصل می کند. جابجایی نسبی قائم سلول نسبت به موقعیت خروجی باعث تغییر فشار مایع در محفظه می گردد. مقدار تغییر فشار توسط واحد قرائت اندازه گیری شده و از روی آن مقدار نشست نسبی بدست می آید (شکل 3-17).

این دستگاه باید حداقل دارای مشخصات زیر باشد.

- 1- جنس محفظه: فولاد ضد زنگ و مقاوم در مقابل خوردگی، 2- محدوده کاری: 7 متر، 3- قابلیت تحمل اضافه فشار 5% محدوده کاری، 4- مجهز به دماسنج باشد. 5- دمای کارکرد: 30- تا 70 درجه سانتیگراد 6- آب بند بودن کلیه اجزاء تا سه برابر فشار وارده 7- مجهز به محافظ تغییرات ناگهانی شدت جریان و محافظ صاعقه (مهندسین مشاور پویاب، 1382)

3-4-3- سیستم اندازه گیری نشست دو مایع²⁴

این سیستم از یک شیلنگ با قطر داخلی کوچک تشکیل شده که بصورت پیوسته در محل های مورد نظر قرار داده می شود و یک حلقه افقی پیوسته را تشکیل می دهد، دو سر شیلنگ در نقطه قرائت به هم رسیده و از زیر پی یا خاکریز خارج می شوند. قبل از قرائت شیلنگ ها از آب پر می شوند. در طول قرائت جیوه با نرخ ثابتی به داخل شیلنگ پمپ می شود و یک فصل مشترک آب - جیوه تشکیل میشود. با اندازه گیری اختلاف ارتفاع هیدرولیکی تولید شده در تراز فصل مشترک آب - جیوه، قرائت پیوسته ای از ارتفاع نسبی فصل مشترک بدست می آید. موقعیت فصل مشترک نیز از مقدار آب بیرون ریخته شده از انتهای شیلنگ (و یا با کمک تماس الکتریکی در داخل شلنگ) مشخص میشود. بعد از اتمام قرائت، جیوه از داخل شلنگ خارج شده و آب جایگزین آن می گردد. داده ها بصورت ارتفاع نسبی

²⁴ Double Fluid Settlement Gauge

پیوسته در مقابل فاصله ثبت می شوند و بدین ترتیب پروفیل پیوسته ای از مقادیر نشست به دست خواهد آمد. این سیستم باید اتوماتیک باشد.

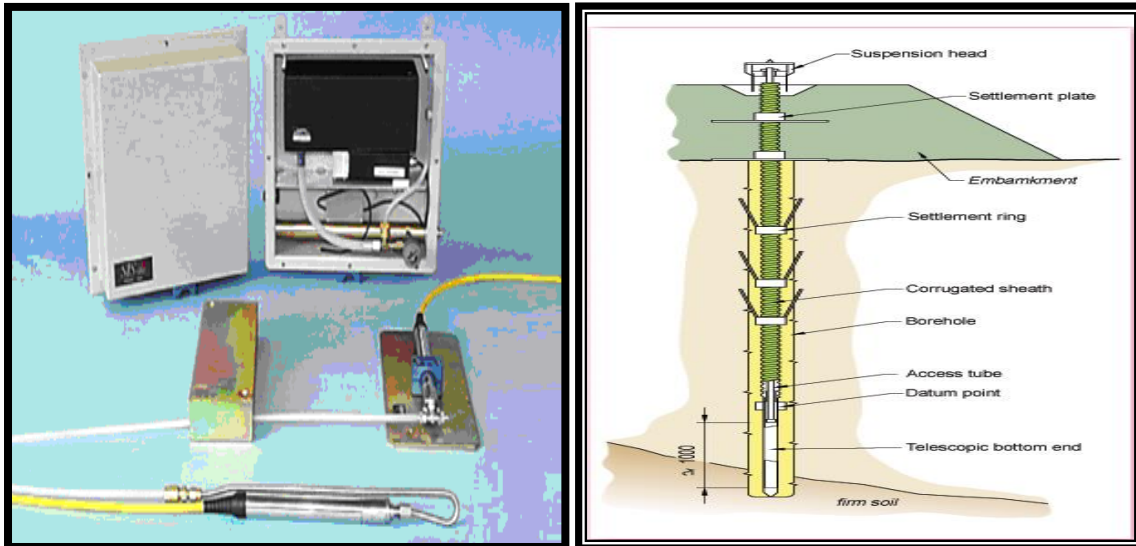
این سیستم از اجزاء مختلف زیر تشکیل شده است:

1- شیلنگ های نشست و اتصالات مربوطه: مشخصات این شیلنگ ها همان مشخصات مربوط به شیلنگ های پیزومتر هیدرولیکی می باشد که در بخش مربوطه به طور مفصل توضیح داده شده است. شیلنگ ها باید کاملاً بصورت پیوسته باشند. در صورت لزوم، اتصالات مورد نیاز باید از جنس فولاد ضد زنگ باشد. همچنین جیوه مورد نیاز نیز باید تامین گردد. **2- تجهیزات اتاق خروجی ابزار 3- جعبه خروجی:** دارای محافظ فولادی پوشیده شده با اپوکسی، شامل تمامی مخازن، گجها، سیستم پس فشار، شیرهای هیدرولیکی، لوله ها، منبع تغذیه الکتریکی، سیم کشی ها و خروجی های لازم برای اتصال به پمپ جیوه-آب، دستی و واحد قرائت، این دستگاه باید قابلیت کار با برق 220 ولت را داشته باشد. **4- واحد پمپ آب - جیوه مرکب:** شامل سیستم پمپ هیدرولیکی دوگانه با لوله ها، شیرها، کنترل کننده های جریان، دستگاه افت فشار، مخزن ها، مبدل های فشار الکتریکی و سیم کشی های لازم، که تمامی اینها در یک چهار چوب فلزی پوشش دار نصب شده اند. این دستگاه نیز باید با برق 220 ولت کار کند. **5- واحد کنترل و قرائت نشست سنج دو مایع اتوماتیک:** این واحد شامل تمامی مدارهای لازم برای کنترل سیستم و نمایش فاصله های اندازه گیری شده و ارتفاع مربوطه، روی نمایشگرهای کریستال مایع می باشد و انرژی خود را از جعبه خروجی میگیرد. این واحد باید قابلیت ذخیره اطلاعات برای حداقل 1000 متر شیلنگ نصب شده را داشته باشد و اطلاعات آن قابل انتقال به کامپیوترهای سازگار با سیستم IBM باشند. این مجموعه باید در محفظه ای جای داده شود که مقاوم بوده و در برابر نفوذ گرد و خاک و آب محافظت شده باشد (شرکت مشاور پویاب، 1382).

شکل 3-14- سیستم نشست سنج مغناطیسی



شکل 3-15- نصب نشست سنج داخل خاکریز



شکل 3-16- نمایی از نشست سنجهای داخل گمانه ای و خاکریز
شکل 3-17- سیستم نشست سنج هیدرولیکی

3-5- ترک سنجها

بر سه نوع است 1- ترک سنج مکانیکی تک محوره 2- ترک سنج مکانیکی سه محوره 3- ترک سنج الکتریکی مدفون تک محوره

3-5-1- ترک سنج مکانیکی تک محوره مدل D3101D30

این نوع ترک سنجها جهت اندازه گیری حرکات نسبی حول یک محور بین دو نقطه به فاصله 500 میلیمتر استفاده می گردد. یک میله از جنس فولاد ضد زنگ بین دو مهار سوار میگردد و حرکات نسبی بین این دو مهار توسط قرائت سنج مکانیکی اندازه گیری می شود (شکل 3-18).

3-5-2- ترک سنج مکانیکی سه محوره مدل D310- D30

این نوع ترک سنجها جهت اندازه گیری حرکات نسبی بین دو نقطه مهار در سه سطح متقاطع (عمود بر یکدیگر) استفاده می گردد (شکل 3-19).

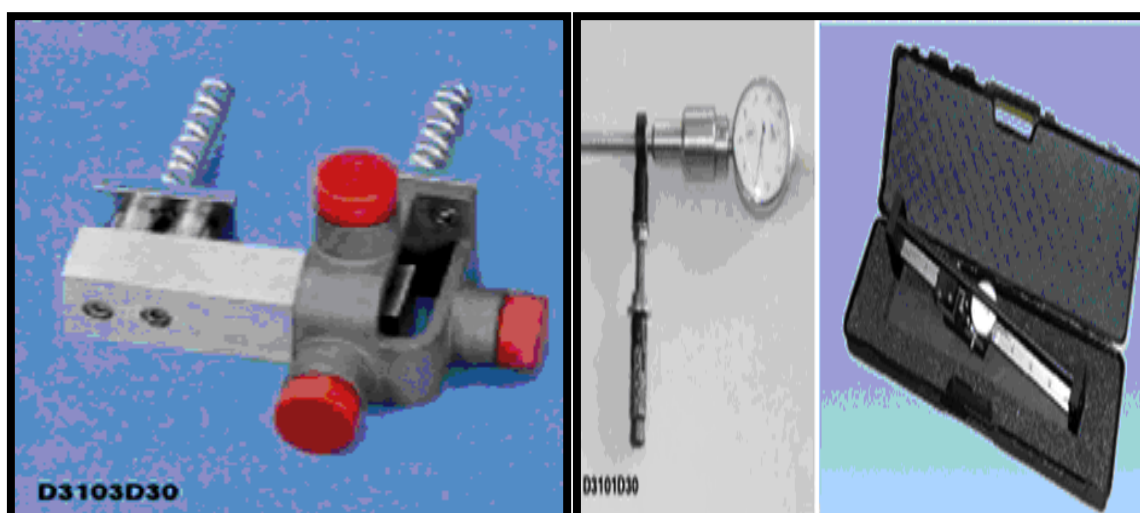
3-5-3- ترک سنج الکتریکی مدفون تک محوره مدل D314CSE1

ترک سنجهای مدفون (شکل 3-20) جهت اندازه گیری جابجایی در محل درزه های ساختمانی در بتن طراحی شده اند، این ترک سنجها در درون بتن و مابین دو قسمت مختلف نصب می گردد و میزان جابجایی درزه های ساختمانی و حرکات بلوکهای مختلف را بر اثر تغییر دما، حرکت سازه و اندازه میگیرند (Bartholomw, . and et al, 1987).

3-6- دستگاه اندازه گیری فشار بالا برنده

دستگاه اندازه گیری فشار بالا برنده²⁵ (شکل 3-21) جهت اندازه گیری فشارهای وارده به سازه استفاده میگردد. دستگاه مذکور شامل مانومتر، شیر دو راه، هواگیر، لوله PVC و فیلتر پیزومتر کاساگرانده میباشد، این فیلتر ها جهت اندازه گیری فشار منفذی آب درون گمانه می باشد (Sisgeo,).

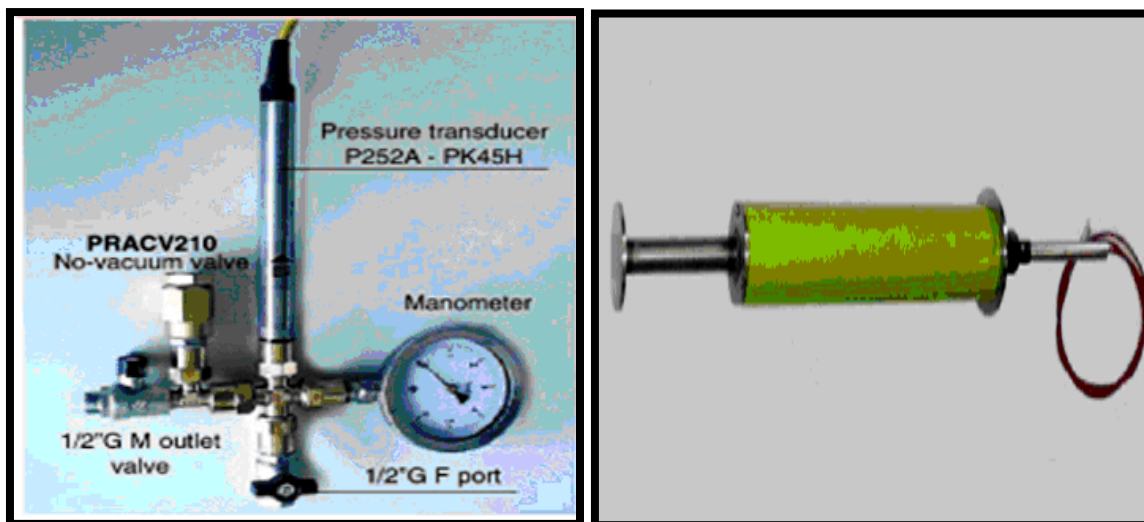
2006



شکل 3-19- ترک سنج مکانیکی سه محوره

شکل 3-18- ترک سنج مکانیکی تک محوره

° Uplift Measurment



شکل 3-20- ترک سنج الکتریکی مدفون تک محوره 3-21- دستگاه اندازه گیری فشار بالا برنده

7-3- انبساط سنجها

بر دو نوع است 1- انبساط سنجهاي يك و چند نقطه اي گمانه اي 2- انبساط سنجهاي خاكي

3-7-1- انبساط سنجهاي يك و چند نقطه اي گمانه اي

اين انبساط سنجها با استفاده از ميله هاي خاص قادر به اندازه گيري جابجائيهاي درون گمانه در طولهاي (عمقهاي) گوناگون مي باشد. يك قطعه ميله با طول از پيش تعيين شده با قرار گرفتن درون يك لوله از جنس نايلون به يك مهار فولادي متصل ميگردد. هدف از بكار گيري لوله نايلوني کاهش اصطكاك با سطح خاك مي باشد. اين ميله ها به درون گمانه گذاشته شده و كل اين مجموعه توسط لوله ارائه شده با دوغاب تزريق گرديده و مهارها به خاك و يا سنگ متصل مي گردد. حرركات ميله هاي مذكور با حرركات نسبي مهارها توسط قرانت سنج (دستي) و يا مبدل (اتوماتيك) قابل اندازه گيري مي باشد (شكل 3-22).

3-7-2- انبساط سنجهاي خاكي

اين ابزار جهت اندازه گيري كششهاي افقي در رو و يا زيرزمين، خاكريز هاي سنگي، سدها، حرركات پي، كنترل شيبهاي طبيعي يا ساخت بشر، معادن، حفاريها و جابجائيهاي ديوار حائل، پايه هاي پل و شانه ها استفاده مي گردد. اين انبساط سنجها كششهاي افقي داخل خاك را در زمان احداث خاكريز

اندازه گيري مي نمايد. انبساط سنجهاي خاكي شامل تعدادی مهار بشقابكي هستند كه بوسيله ميله-هاي انبساطي اتصال، به يكدیگر متصل مي گردد. اجزاء اندازه گيري شامل يك لوله تلسكوبي متصل به يك مبدل الكتريكي مي باشد، و فواصل جابجايي بين مهارهای بشقابي را اندازه مي گيرد. اندازه استاندارد لوله هاي تلسكوپ 3، 6 و 9 متر بين مهارها مي باشد. تعدادي از اين اجزاء ميتوانند بصورت زنجيره اي متصل به يكدیگر حرکات در طول محور خاصي را اندازه گيري نمايد. در شکل 3-23 نوعی از انبساط سنج خاکی نمایش داده شده است (سدافزار، 1385).



شکل 3-23- انبساط سنجهاي خاكي

شکل 3-22- انبساط سنجهاي يك و چند نقطه اي گمانه اي

3-8- دستگاه فشار سنج کل از نوع تار مرتعش (سلول فشار)

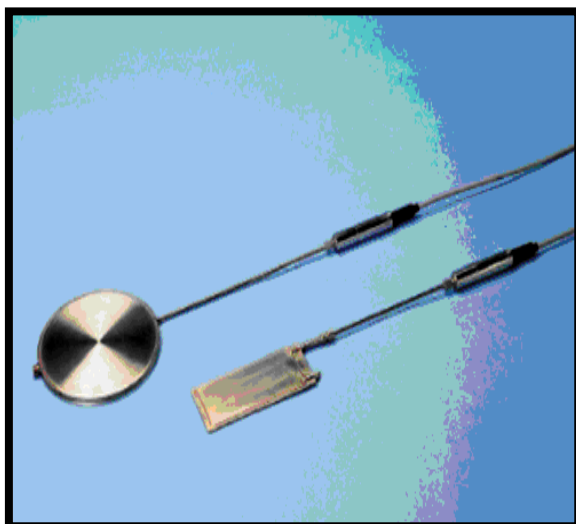
اين دستگاه جهت اندازه گيري فشارهاي کل در سدها، و زير فونداسيون و شمعها استفاده مي گردد. يك عدد دماسنج و سيستم تخلیه گاز جهت اندازه گيري دما و جلوگیری از نوسانات ولتاژ هاي بالا در آن تعبیه گردیده است، اين دستگاه بين سطح تماس خاک با سازه قرار و يا درون خاکريز قرار ميگردد. مدل L143 اين دستگاه از دو دیسک فولادي بسيار محکم تشکیل شده كه در طول محيطشان به هم جوش شده اند و فضاي داخلي دستگاه توسط مایع غير قابل تراكم پر شده و توسط لوله اي به يك مبدل فشار تار مرتعش متصل شده است. فشار وارده بر روي صفحه فلزي به مایع منتقل و سپس به ديافرآگم مبدل منتقل مي شود. بدليل کاربرد مایع در اين سلول به آن سلول هيدروليكي مي گويند. اين سلول هيدروليكي بايد داراي رويه فعال²⁶ ضخيم باشد معمولاً براي افزايش انعطاف دور آن شياردار شده و داراي لايه نازكي از مایع است. اين دستگاه بايد حداقل داراي مشخصات زير باشد (شکل 3-24):

1- جنس صفحات : فولاد ضد زنگ²⁷ 2- محدوده کاري: (600 ، 800 ، 1000 kpa)، 3- قطر سلول: 300 میلیمتر، ضخامت: حداقل 10 میلیمتر 4- مجهز به دماسنج²⁸ 5- دماي کارکرد: 20- الي 65 درجه سانتیگراد 6- آب بند بودن کلیه اجزاء، تا سه برابر فشار وارد شده 7- لازم است کارخانه سازنده برگه هاي کالیبراسیون براي هر دستگاه شامل ضریبهاي اصلاحي براي تغییرات حرارت را همراه با دستگاهها ارائه نماید (Geonor Manufacturing., 2000).

کلیه دستگاههاي سیستم تار مرتعش بایستی مجهز به محافظ تغییر ناگهاني شدت جریان و محافظ صاعقه²⁹ باشند. سلولهاي فشاري باید بصورت افقي و قائم نصب گردند.

طریقه نصب سلول فشار در خاکریز

سلول فشار از دو قسمت تشکیل شده است 1- کابلهاي چهار رشته اي سلول فشار 2- دیسک فلزي که داخل آن حاوي مایع است. روش کار بدین ترتیب است که دیسک فلزي را طبق دستور کار، داخل ترانشه کنده شده قرار داده، سپس زیر دیسک فلزي را خاک نرم و الک شده مي ریزند بعد با تراز دیسک فلزي را تراز مي کنند و خاک نرم و الک شده روي دیسک میریزند بعد به آرامي عمل تراکم را انجام میدهند (شکل 3-25).



شکل 3-25- طریقه نصب سلول فشار در خاکریز

شکل 3-24- فشار سنج کل از نوع تار مرتعش

9-3- پاندول

²⁷ Stainless Steel
²⁸ Thermistor
²⁹ Lightning

پاندولها جهت اندازه گيري جابجانيهاي افقي در بدنه، پي، جناحين سدها و پلها طراحي شده‌اند. پاندول مستقيم شامل سيم فولادي ضد زنگ که از یک سو در محل تاج سد به انکر و از سوي ديگر به وزنه هاي کششي که درون یک تانک حاوي مایع مي باشد، متصل مي باشد و بطور آزادانه حرکت مينمايد، و داراي قسمتهاي زير مي باشد (شکل 3-26).

- مخزن: مخزن از یک سيلندر از جنس فولاد ضد زنگ به ابعاد 410×390 (ميلي متر) ساخته شده است. اين مخزن از مایعي از نوع روغن معدني پر شده که نوسانات سيم پاندول را کنترل مي کند. در پوش اين مخزن مخروطي شکل و از جنس فولاد ضد زنگ مي باشد واحد کنترل نوسانات از سيم پاندول آویزان و درون مخزن حاوي مایع قرار مي گيرد.

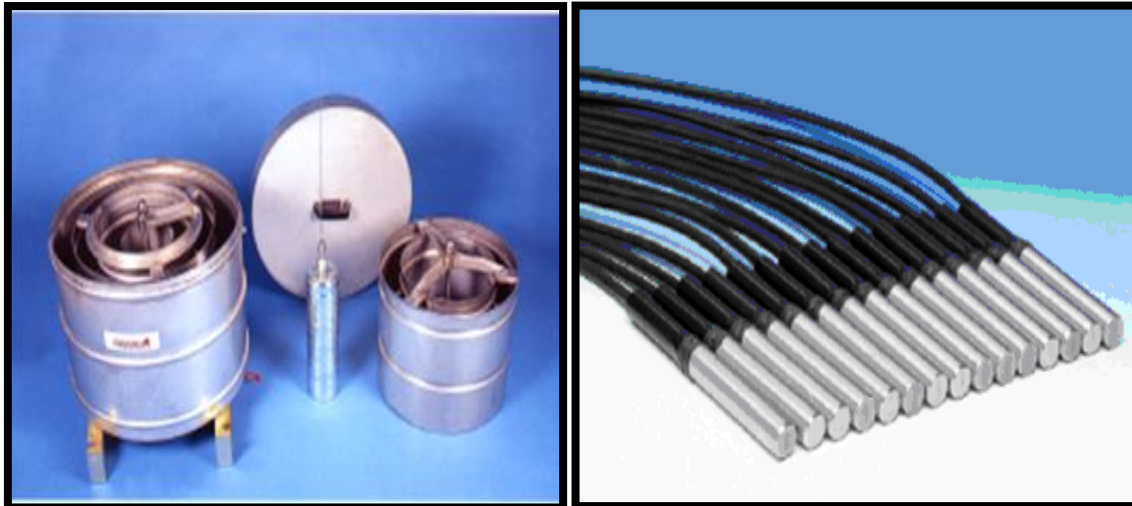
- وزنه های کششی: از یک لوله از جنس فولاد ضدزنگ محتوي سرب به وزن 30 کيلوگرم تشکيل شده است که به انتهاي سيم پاندول نصب ميگردد. با استفاده از یک سيستم تنظيم ارتفاع ميتوان موقعيت عمودي آن را با محدوده 100 ميلي متر تعيين نمود.

- واحد مهار و سيستم تنظيم: شامل یک نشيمنگاه با روکش از جنس روي با دو پيچ و مهره مي باشد. واحد تنظيم در قسمت فوقاني سيم پاندول جهت تنظيم کشش نصب مي شود. نشيمنگاه به یک تکیه گاه با روکش روي به بدنه مهار ميشود.

- سيم پاندول: از جنس فولاد ضد زنگ مي باشد که با اتصالات مربوطه ارائه مي گردد. قطر سيم مذکور 2 ميلي متر مي باشد (پرس سانکو، 1385).

3-10- کرنش سنج الکتریکی تار مرتعش

کرنش سنجهاي تار مرتعش (شکل 3-27) جهت اندازه گيري بلند مدت کرنشهاي سازه هاي بتني و فولادي طراحي شده است اين دستگاهها قابليت نصب در داخل بتن و يا بصورت جوش شده بر روي سازه هاي بتني را دارد (سدافزار، 1385).

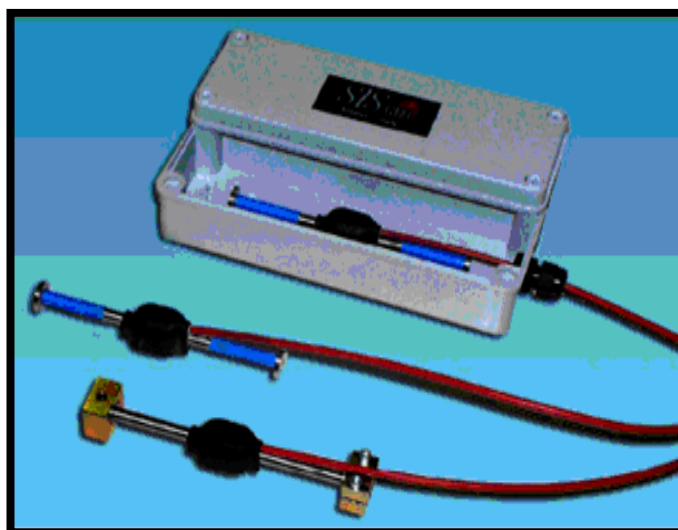


شکل 3-26- پاندول

شکل 3-27- کرنش سنج الکتریکی تار مرتعش

3-11- دما سنجهای مدل T111PT10

این دما سنجهای (شکل 3-28) قابلیت اندازه گیری دمای بتن، آب و هوا را دارد لکن هنگام استفاده جهت اندازه گیری دمای هوا از یک صفحه محافظ جهت حفاظت از پرتو مستقیم آفتاب استفاده میگردد (Sisgeo, 2006).



شکل 3-28- دماسنجهای مدل T111PT10

3-12- دبی سنج

دبي سنج³⁰ به منظور اندازه گيري دبي آب در كانالهاي گالري مطابق محلهايي كه در نقشه مشخص است، ايجاد مي گردد، و شامل صفحه فولاد ضد زنگ با قطر 8 ميلي متر به شكل V و يا دوزننه اي (طبق در خواست)، اين صفحه طبق دستورالعمل ارائه شده نصب مي گردد اين سيستم، كه بايد مجهز به مبدل ارسال علائم از راه دور باشد، از قسمتهاي زير تشكيل شده است: (شكل 3-31 و 3-29).

الف) بند كنترل

- سرريز مثلي جهت اندازه گيري زه آب خروجي از سد بايد از جنس فايبرگلاس قوي و يا آلومينيوم، كالبره شده و مدرج باشد.

- ديواره و كف اين بند طبق جزئيات مندرج در نقشه با استفاده از بتن ساخته خواهد شد.

- خط كش اندازه گيري سطح آب حوضچه از جنس فولاد ضد زنگ و مدرج شده در هر سانتيمتر و ميليمتر.

ب) سيستم اندازه گيري دقيق تراز آب و ارسال علائم از راه دور (ايستگاه اتوماتيك) براي اندازه گيري سطح آب در حوضچه:

اين سيستم از يك مبدل نيروي تار مرتعش با روشي پايدار و حساس، تراز آب را نمايش مي دهد. جزء اصلي اين سيستم يك وزنه استوانه اي شكل غوطه ور در آب مي باشد كه از مبدل نيروي تار مرتعش آويزان شده است. بخشي از استوانه در آبي كه سطح آن اندازه گيري مي شود غوطه ور مي شود. با تغيير ارتفاع آب، تغيير نيروي ارشميدس وارد بر استوانه مستقيماً بر مبدل تار مرتعش تاثير گذاشته و كاهش آن و در نتيجه فرکانس ارتعاش آنرا تغيير مي دهد. فرکانس آن از طريق كابل به واحد قرانت منتقل ميشود. مبدل تار مرتعش بايد ضد آب و ضد خوردگي باشد (Bartholomw, and et al, 1987).

مشخصات دبي سنج

دبي جريان عبوري از تيغه دبي سنج V شكل تابعي از بارآبي بالادست، اندازه و شكل تيغه ميباشد. همچنين ضرايب تجريبي، دربرگيرنده مشخصات هندسي تيغه، كانال و نيز مشخصات ديناميكي آب در آن موثر مي باشد. تجهيزات لازم براي نصب شامل 1- تيغه V شكل ضد زنگ و ملحقات آن 2- سپر موج گير (فولادي با روکش روي)، همراه با ملحقات آن 3- نوار مدرج بر حسب سانتيمتر و ميليمتر

طريقه نصب

جریان عبوری از تیغه با تغییر مشخصات هندسی تیغه و کانال به شدت تغییر می‌کند. لازم به ذکر است که عملکرد تیغه دبی سنج به نحوه نصب و روش نگهداری آن نیز وابسته است تیغه دبی سنج بایستی به صورت عمود بر دیواره کانال نصب شود و در ضمن محل تقاطع لبه تیغه با دیواره کانال گیردار و آب بند گردد. بایستی دقت شود که نقطه صفر نوار مدرج با نوک تیغه دبی سنج هم سطح باشد. برای این منظور سطح کانال پشت سر تیغه بایستی به گونه ای مسطح اجرا شود که موقع ریختن آب به داخل آن نوک تیغه و نقطه صفر نوار مدرج به طور همزمان به آب برسند. در شکل 30-3 نمایی از دبی سنج نمایش داده شده است (پرس سانکو، 1385).

13-3- خط کش اندازه گیر سطح آب: بر دو نوع است 1- مکانیکی 2- الکتریکی

13-3-1- خط کش اندازه گیر سطح آب بصورت مکانیکی

خط کش کنترل سطح آب (اشل) دارای اجزاء: زیر می باشد.

1- جایگاه‌های بتنی پله ای برای نصب خط کش ها 2- پلکان دسترسی برای قرائت خط کش 3- قطعات فلزی به طول لازم برای نصب خط کشها بر روی جایگاه‌های پله ای 4- خط کشهای آلومینیومی (یا پلاستیک شیشه ای مسلح) بطول 100 cm که به سانتیمتر و دسیمتر مدرج شده باشد همراه با پلاک‌هایی که نشان دهنده تراز مخزن بوده و در هر متر نصب می شوند و با پیچ دو طرفه محکم می شود. مشخصات فنی ترازنمای مورد نظر بشرح ذیل میباشد:

جنس خط کش از فلز گالوانیزه، طول هر قطعه 1 متر، مقاومت در برابر خوردگی دارد، قابلیت دید از راه دور 10 متر، درجه بندی سانتیمتر و متر، دقت سانتیمتر و همچنین این خط کش در جنس‌های فولاد ضد زنگ و فلز لعابدار قابل ارائه می باشد (شکل 30-3).

طریقه نصب خط کش اندازه گیر سطح آب یا اشل

ترازنمای سطح آب بصورت خط کش ضد زنگ در رویه بالا دست و در مکان‌های مشخص شده نقشه های پروژه نصب می گردد، نصب بدین صورت است که نقشه بردار محل دقیق نصب را مشخص میکند، نکته قابل توجه این است که در نصب اشل‌های بعدی نقشه بردار باید محل نصب را طوری تعیین کند که بالاترین نقطه اشل قبلی با پایین ترین نقطه اشل در حال نصب دارای تراز مشترکی باشند (شکل 32-3).

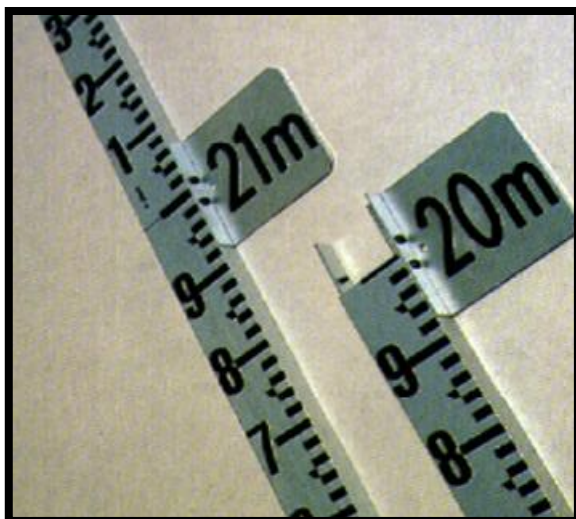
3-13-2- دستگاه الکتریکی اندازه گیری سطح آب مخزن با دقت بالا

این دستگاه از یک مبدل بسیار دقیق و حساس اندازه گیری ارتفاع آب تشکیل شده که در تراز مشخصی در پوسته بالادست و در مخزن نصب خواهد شد. اجزاء تشکیل دهنده باید حداقل مشخصات زیر را دارا باشد: 1- محدوده کاری: از صفر تا 50 متر آب 2- تحمل اضافه فشار: (200%) 3- دمای کاری: 20 - تا 60 + درجه 4- باید دارای دماسنج باشد.

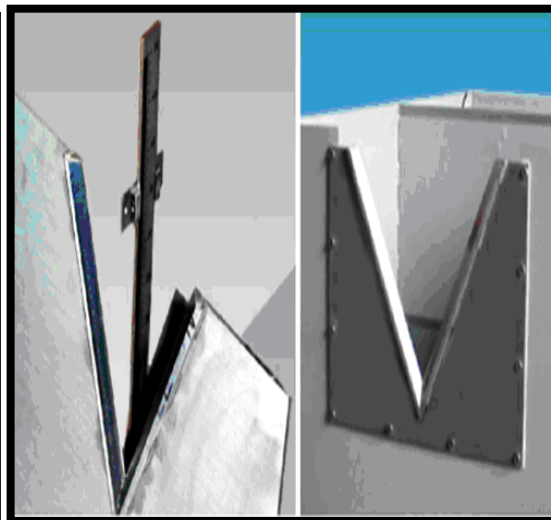
کابل و دستگاه قرائت این دستگاه بایستی قابلیت اتصال به سیستم قرائت مرکزی را داشته باشد.

طریقه نصب پیزومتر اندازه گیری سطح مخزن

فیلتر پیزومتر اندازه گیر سطح مخزن³¹ قبل از نصب در انبار، توسط دستگاه اشباع کننده، اشباع شده و بمدت 24 ساعت در داخل آب تمیز قرار داده شده، قبل از آبیگری مخزن سد، فیلتر مورد نظر به انتهای پیزومتر بسته شده و پیزومتر را داخل محفظه سکوی نصب قرارداده و به سکوی نصب فیکس میگردد. جهت محافظت از کابل ابزار، آنرا از لوله فشار قوی پلی اتیلن عبور داده و از طریق ترانشه به اتاق بهره برداری یا ترمینال باکس هدایت می نمایند و بعد زیر و روی لوله با مصالح ریزدانه فیلتر پر و متراکم شده و باقیمانده ترانشه با مصالح موجود پر میگردد (سدافزار، 1385).



شکل 3-30- خط کش اندازه گیر سطح آب



شکل 3-29- دبی سنج v شکل

³¹ Water level meter



شکل 3-31- دبی سنج (V-notch)



(شکل 3-32- نصب اشل)

3-14- دستگاه اندازه گیری انحراف

این دستگاه شامل قطعات مشروحه زیر می باشد:

اژدر:

اژدر بایستی از نوع دو محوره³² ضد آب و ضد خوردگی بوده و ضمناً دارای قابلیت اندازه گیری و انتقال سریع اطلاعات باشد. مشخصات اژدر بصورت زیر میباشد.

1- محدوده کلی: 90 - درجه تا 90 + درجه نسبت به عمود 2- دمای کاری: (20- الی 70+) 3- مقاوم در برابر ضربه 4- حداکثر قطر اژدر 30 میلیمتر باشد. 5- طول اژدر نبایستی از 75 سانتیمتر تجاوز نماید. 6- اژدر مورد نظر باید حداقل تاثیر پذیری را در برابر نوسانات درجه حرارت داشته باشد. 7- قابلیت عبور از خم لوله با شعاع حداقل 3/5 متر را دارا باشد. 8- اتصال اژدر به کابل حداقل تا فشار 200 متر ارتفاع ستون آب آبیند شود.

کابل اتصال:

1- طول کابل بایستی حداقل 110 متر بوده بصورت یکپارچه (بدون اتصال) مورد استفاده قرار گیرد.
2- کابل باید دارای هسته فولادی ضد زنگ باشد. 3- کابل بایستی هر 0/5 متر و یک متر با علائم فولادی ضد زنگ درجه بندی شده باشد. 4- پوشش خارجی کابل بایستی سالم و بدون سوراخ شدگی بوده و مقاومت کافی در مقابل نفوذ آب و سایش داشته باشد. اندازه قرقره نگهدارنده کابل بایستی با طول کابل متناسب باشد.

دستگاه برداشت قرائت:

از این وسیله به منظور ثبت تغییر مکانهای افقی در عمقهای مختلف بدنه سد استفاده می شود. دستگاه برداشت قرائت انحراف سنج بایستی سبک، مقاوم در برابر شرایط مختلف جوی، ضد آب و قابل استفاده با باتری باشد. مشخصات کلی دستگاه برداشت و ثبت قرائتها به شرح زیر می باشد:

1- محدوده اندازه گیری: (500 mm $\pm$) 2- دارای قابلیت تجزیه و تحلیل قرائتها باشد. 3- قابلیت ارائه نتایج به صورت زاویه انحراف، سینوس زاویه انحراف و یا تغییر مکان افقی را دارا باشد. 4- توانایی ثبت حداقل 25000 قرائت را داشته باشد. 5- دارای قابلیت تبدل اطلاعات (بصورت خام و یا تحلیل شده) به کامپیوتر سازگار با IBM باشد.

3-15- سیستم ترکیبی اندازه گیری نشست و انحراف یا تغییر مکانهای عمودی و افقی

به منظور اندازه گیری تغییر مکانهای عمودی و افقی در بدنه سد (پوسته پایین دست) و پی از سیستم ترکیبی انحراف سنج - نشست سنج استفاده می شود. اجزاء تشکیل دهنده این سیستم به شرح و مشخصات زیر می باشد:

لوله ها بایستی از جنس ABS باشد. مشخصات این لوله ها و اتصالات به شرح ذیل است:

- 1- لوله ها بایستی دارای 4 شیار سرتاسری که دو به دو بصورت عمود بر هم قرار گرفته اند، باشند (هر کدام با زاویه 90 درجه نسبت به دیگری). 2- قطر خارجی: 70 میلیمتر 3- طول: قطعات 3 متری و 1/5 متری 4- مقاوم و انعطاف پذیر 5- استفاده از مواد بازیافت شده در تولید لوله ABS مجاز نمی باشد. 6- کلیه اتصالات و قطعات تلسکوپي باید با در نظر گرفتن حداقل 3 % نشست از طرف فروشنده ارائه گردد. 7- درپوشه‌های ایمنی باید به قفل مجهز شده باشند. 8- جنس اتصالات³³ و قطعات تلسکوپ³⁴ بایستی با جنس لوله ها مطابقت داشته باشند. 9- در برابر پیچش مقاوم باشد.

حلقه مغناطیسی مبنا و صفحه مغناطیسی

قطر داخلی این حلقه ها و یا صفحات بایستی به نحوی تعیین شوند که لوله انحراف سنج - نشست سنج به راحتی از آن عبور کرده و امکان متصل کردن (چسباندن و یا پرچ کردن) آن به لوله وجود داشته باشد. که دارای مشخصات زیر می باشد.

- 1- مغناطیسها باید کاملاً ضد زنگ باشد. 2- مغناطیس هایی که داخل گمانه نصب می شوند باید از نوع فئردار³⁵ باشد. 3- قطر خارجی صفحات مغناطیسی که در خاکریز نصب میشود 300 میلیمتر باشد. 4- حلقه ها یا صفحات مغناطیسی باید در هر سه متر از طول لوله انحراف سنج - نشست سنج نصب شوند.

3-16- دستگاههای قرائت ابزار

- واحد قرائت کننده دستی:

دستگاه قرائت کننده دستی فقط در حین ساخت و یا در مواقع اضطراری برای قرائت دستگاههای تار مرتعش (پیزومتر خاك، سنگ، سلولهای فشاری و یا دستگاه اندازه گیری نشست) استفاده می شود. این دستگاه بایستی حتی الامکان سبك بوده و قابلیت قرائت دماسنج را نیز داشته باشد. ویژگیهای دستگاه قرائت کننده دستی به شرح زیر می باشد:

- 1- دقت: (0/001% F.S) 2- دمای کاری: 5- الی 50 درجه سانتیگراد 3- قابلیت ثبت اطلاعات: حداقل 2000 قرائت 4- قابلیت تبادل اطلاعات با کامپیوترهای سازگار با IBM

³³ Couplings
³⁴ Telescoping Section
³⁵ Spider Magnet

- واحد قرائت مرکزي:

. ویژگیهای دستگاه قرائت مرکزي بایستی به شرح زیر باشد:

1- قابلیت برنامه ریزی به منظور تعریف نحوه برداشت و تواتر قرائت دستگاههای تار مرتعش. **2-** تطابق با کامپیوترهای سازگار با IBM و امکان تبادل اطلاعات **3-** قابلیت پردازش اطلاعات **4-** مقاوم در برابر شرایط جوی نامساعد **5-** قابل استفاده در دمای بین **20-** تا **70 +** درجه سانتیگراد **6-** قابلیت ثبت فرمولهای مشخص در حافظه **7-** محاسبه مقادیر بر حسب پارامترهای فیزیکی و پردازش قرائتها **8-** امکان مقایسه مقادیر بدست آمده با مقادیر اولیه **9-** قابلیت کاربرد دوگانه (برق یا باتری) **10-** مجهز به سیستم محافظ شدت جریان برق و محافظ صاعقه. در ضمن شرکت سازنده موظف به ارائه کلیه سیم های رابط، فیشهای اتصال و جعبه های ترمینال میباشد. دستگاه قرائت مرکزي بایستی به نحوی طراحی و ساخته شود که در صورت نیاز، امکان برداشت قرائت بصورت دستی وجود داشته باشد.

3-16-1- دستگاه قرائت کننده دستی مدل C6004

این دستگاه قابلیت قرائت دما را دارد و دارای دو کانال می باشد. این دستگاه سیگنالهای دریافت شده را به واحدهای مهندسی تبدیل مینماید (شکل 3-33).

3-16-2- دستگاه قرائت مرکزي مدل ADK-10

این دستگاه متناسب با کاربر های گسترده در زمینه ژئوتکنیک، هیدرولوژی، هواشناسی، و جهت قرائتهای اتوماتیک از راه دور دارای سنسورهای متفاوت می باشد. این دستگاه از نوع ثبات بسیار قوی و چند منظوره می باشد، این دستگاه یک میکرو کامپیوتر، ساعت، مالتی متر، کالیبراتور می باشد. یک سیستم چند منظوره اجازه انجام همزمان عملیات ارتباطی و اندازه گیری را می دهد. جعبه های ترمینال جهت ارتقاء سیستم قابل تعبیه می باشد. این دستگاه قابل برنامه ریزی جهت قرائتهای مورد نظر می باشد (شکل 3-34).

3-16-3- دستگاه قرائت دستی تار مرتعش مدل C6004VW

این دستگاه جهت اندازه گیری تمامی سنسورهای تار مرتعش و دماسنجهای تعبیه شده از نوع NTC توسط شرکت SISGEO طراحی و ساخته شده است. این مدل دستگاه قرائت از نوع دیجیتال خطی میباشد که مستقیماً سیگنال دریافت شده را به واحدهای مهندسی تبدیل می نماید (شکل 3-35).

3-16-4- دستگاه قرائت دستی تار مرتعش مدل C800VW

این دستگاه جهت اندازه گیری تمام سنسورهای تار مرتعش و دماسنجهای تعبیه شده از نوع NTC توسط شرکت SISGEO طراحی و ساخته شده است این مدل دستگاه قرائت دارای میکرو پروسور جهت پردازش قرائتها و هر قرائت از شماره 1 تا 256 با ذکر تاریخ زمان و دما قابل شناسایی میباشد. این دستگاه قابلیت اتصال به کامپیوتر توسط پرت RS232 و انتقال داده ها را دارد (شکل 3-36).



شکل 3-34- دستگاه قرائت مرکزی مدل ADK-10



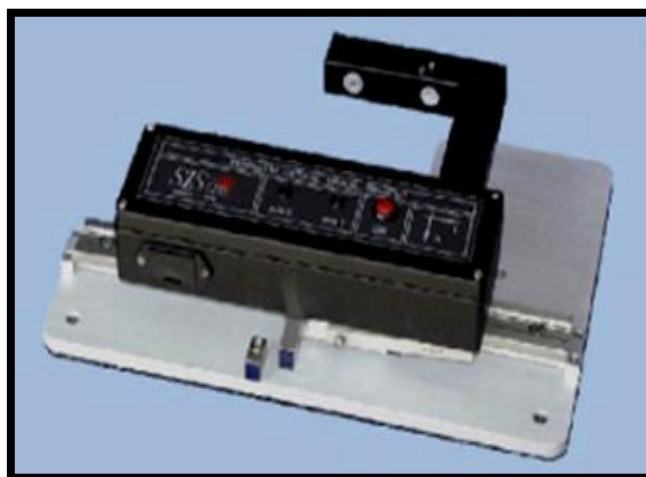
شکل 3-33- دستگاه قرائت کننده مدل C6004



شکل 3-35- دستگاه قرائت دستی تار مرتعش مدل C6004VW شکل 3-36- دستگاه قرائت دستی مدل C800V

3-16-5- دستگاه قرائت چشمی پاندول مستقیم

دستگاه قرائت چشمی مدل S9RTB150 شامل یک قاب آلومینیومی می باشد که به بدنه سازه بر روی سکوهایی اسقرار ارائه شده نصب میگردد. از خصوصیات این دستگاه میتوان ریزبینی بالا و امکان قرائتهای همزمان سیمهای متعدد را نام برد. مختصات محور X و Y سیم فولاد ضد زنگ پاندول توسط دو زوج فوتوسل که به صورت کشویی حرکت می نماید قابل اندازه گیری می باشد و برای هر قرائت، اشعه حاصل از فوتوسل سیم فولادی را قطع نموده و مکان آن توسط یک گیج دیجیتالی با دقت بالا قابل اندازه گیری می باشد. این دستگاه قابلیت حمل و یا استقرار بر روی سکوهایی فولادی گالوانیزه را دارد (شکل 3-37).



شکل 3-37- دستگاه قرائت چشمی پاندول مستقیم

3-17- قرائت ادواری ابزار

در مورد تواتر فوق الذکر توجه به نکات زیر الزامی است:

- 1- تواترهای فوق الذکر حداقل لازم در شرایط عادی می باشد. 2- در صورت نیاز تعداد قرائت ها با نظر دستگاه نظارت به مقدار مناسب افزایش خواهد یافت. 3- ایستگاه هواشناسی می بایستی در اولین زمان ممکن نصب گردد. 4- کلیه دستگاهها بایستی پس از آگیری و مستمراً در زمانی بهره برداری طبق نظر دستگاه نظارت توسط اکیپ بهره برداری قرائت شود. 5- در صورت وقوع زمین لرزه کلیه ایستگاه ها باید قرائت شوند. 6- نقاط ثابت نقشه برداری در مراحل اولیه ساخت بدنه باید نصب شوند تا قرائت های نقاط نشانه بدنه در طول ساخت ممکن باشد. 7- در صورت بروز سیل،

افزایش و کاهش ناگهانی در تراز مخزن تواتر قرانت های ادواری باید مطابق دوره اولین آبیگری باشد.

برنامه زمان بندی قرائتها درجدول 1-3 آمده است.

جدول 1-3- راهنمای قرانت دوره ای ابزارهای مختلف در سدهای خاکی (رحیمی 1382)

نوع ابزار		فصلیات سدها			در حین بهره برداری	
		در حال اجرا	در حال توقف	آبیگری	سال اول	سال های بعد
پیرومتر پنوماتیک	پیرومتر سیم مرتعش	دو بار در ماه	ماهانه	دو بار در هفته	ماهانه	ماهانه
سنجش فشار منفذی (نوع کارلسون)	فشارسنج کل (انواع مختلف)	دو بار در ماه	ماهانه	هفتگی	ماهانه	ماهانه
پیرومتر نوع لوله متخلخل	پیرومتر نوع لوله شکافدار	دو بار در ماه	ماهانه	دو بار در هفته	ماهانه	ماهانه
چاه مشاهداتی		دو بار در ماه	ماهانه	دو بار در هفته	ماهانه	ماهانه

۴-۱- مقدمه

ابتدا به خصوصیات سد ملاصدرا پرداخته و سپس به بررسی رفتار و عملکرد این سازه در حین ساخت و در دوران آگیری و بهره برداری، در مقاطع ابزار گذاری شده می پردازیم. ابزارهای بکار رفته در سد مزبور شامل: پیزومترهای الکتریکی تار مرتعش پی (EPF)^{۳۶}، پیزومترهای الکتریکی تار مرتعش خاکریز (EPC)^{۳۷}، سلول فشارکل (TPC)^{۳۸}، چاهکهای مشاهده ای (OW)^{۳۹}، پیزومترهای کاساگرانده (SPP)^{۴۰}، نشست سنجها، انحراف سنجها (INC)^{۴۱}، اندازه گیر تراز آب سطح مخزن بصورت الکتریکی (WLM)^{۴۲}، اندازه گیری تراز آب سطح مخزن بصورت مکانیکی (اشل)^{۴۳}، دبی سنج^{۴۴}، شتابنگار، دستگاههای قرائت مرکزی و ایستگاه هواشناسی می باشد. که در مجموع در این سد ۹۰ عدد پیزومتر الکتریکی، ۲۰ عدد پیزومتر کاساگرانده، ۱۳ عدد چاهک مشاهده ای، ۸ عدد انحراف سنج و نشست سنج، ۳ عدد دبی سنج، ۷۰ متر اشل و ۳ عدد شتابنگار وجود دارد که در مقاطع مختلف نصب شده است.

۴-۲- بدنه سد

بدنه سد از نوع خاکی با هسته رسی نفوذ ناپذیر می باشد، مصالح هسته آن «از نوع شن رس دار (GC) بوده و با استفاده از غلطک های پاچه بزی و صاف لرزشی متراکم می گردد.

³⁶ Electricl Piezometer Fondation

³⁷ Electricl Piezometer Cell

³⁸ Total Pressure Cell

³⁹ Observation Well

⁴⁰ Stand Pipe Piezometer

⁴¹ Inclimeters

⁴² Water Level Meter

⁴³ Gauge

⁴⁴ V-notch

حفاری بدنه سد در دوره های قبلی به اتمام رسیده است. با پایان یافتن خاکریزی فرازبند به حجم کل ۳۱۳۲۱۹ متر مکعب در تاریخ ۸۳/۰۸/۱۸، خاکریزی بدنه سد در دستور کار کارگاه قرار گرفته شد و حجم محدودی از پوسته بالا دست و پایین دست در زمستان ۸۳ انجام و قسمت اعظم عملیات شامل GC، فیلتر زهکش و پوسته به ۸۴ موکول شد، در شهریور ۱۳۸۵ تقریباً خاکریزی بدنه به پایان رسیده است.

۴-۳- سرریز

سازه سرریز سد ملا صدرا که در جناح چپ بدنه سد واقع شده مشتمل بر دو قسمت اصلی، اوجی و شوت سرریز است. عملیات حفاری و سنگ برداری از دی ماه ۸۱ توسط شرکتهای پیمانکاری آغاز شد. سرریز یک میلیون و دویست هزار متر مکعب حجم حفاری داشت. سازه سرریز بشکل آزاد نعل اسبی از نوع اوجی در جناح چپ بدنه است و دارای سه قسمت است:

۱- اوجی سرریز با ارتفاع ۱۰ متر قرار دارد.

۲- شوت سرریز بطول تقریبی ۵۱۷ متر و ارتفاع متوسط دیواره ۷ متر

۳- پرتاب کننده جامی شکل.

برای مشخصات فنی سرریز سد ملاصدرا به این قسمتها میتوان اشاره کرد.

۱- ظرفیت عبوری ۳۴۰۰ متر مکعب در ثانیه ۲- تراز حداکثر آب ۲۱۲۱ متر از سطح دریا

عرض سرریز در محل اوجی ۸۸ متر ۳- طول شوت ۵۱۷ متر ۴- سیستم استهلاک انرژی حوضچه استقرار ۵-

سیلاب طراحی حوضچه استقرار ۱۰۰۰ سال

در سیستم تخلیه سیلاب سد ملاصدرا موارد زیر لحاظ گردیده است.

۱- امکان تخلیه حداکثر سیلاب بدون خطر لبریز شدن آب از روی تاج سد. ۲- ظرفیت سیستم تخلیه سیلاب

به نحوی انتخاب گردیده که هنگام وقوع سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله بعلاوه وقوع همزمان وزش باد با دوره بازگشت

۱۰ ساله حداکثر رقوم سطح آب با در نظر گرفتن ارتفاع موج و ارتفاع خیزش بالاتر از رقوم تاج سد قرار نگیرد.

۳- ظرفیت سیستم تخلیه سیلاب به نحوی انتخاب شده است که به هنگام وقوع سیلاب ۱۰۰۰ ساله با وقوع همزمان وزش باد با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حداکثر رقوم سطح آب بعلاوه ارتفاع موج و ارتفاع خیزش حداقل ۱/۵ متر پایین تر از رقوم تاج سد باشد.

۴-۴- تونل انحراف

سد ملاصدرا دارای یک تخلیه تحتانی است که یک میلیون و ششصد هزار متر مکعب حجم حفاری و سنگ برداری طی ۱۲ ماه انجام پذیرفته است که بنام کالورت معروف است و ارتفاعش ۲۸ متر میباشد، که دارای سه بخش برج آبگیر، سیستم انحراف، و حوضچه آرامش می باشد.

در سیستم انحراف آب سد یک سازه بتنی دو دهانه که در مجاورت یکدیگر قرار دارند در عرضهای ۲/۵ و ۳ متر ساخته شده است. در زمان بهره برداری این سازه دهانه ۲/۵ متر بسته شده و دهانه ۳ متری به عنوان تخلیه کننده تحتانی برای جریان آب مورد استفاده قرار میگیرد. مشخصات فنی تخلیه تحتانی به این شرح است:

- ۱- دریچه سرویس از نوع کشویی با ابعاد $3 \times 1/8$ متر ۲- دریچه اضطراری از نوع کشویی با ابعاد $3/2 \times 1/8$ متر
- ۳- مجرا با ابعاد $300 \times 5 \times 3$ متر ۴- اطاق دریچه با ابعاد $17 \times 8 \times 4$ متر ۵- ظرفیت ۱۹۹ متر مکعب
- در ثانیه ۶- رقوم آبگیر تخلیه کننده تحتانی، تراز از سطح دریا ۲۰۷۰ متر ۷- طول گالری انحراف ۴۲۶ متر
- ۸- سازه بتونی دو دهانه به ترتیب ۲/۵ و ۳ متر ۹- ظرفیت تخلیه سیلاب ۵۰ ساله

۲۹۹ متر مکعب در ثانیه (شرکت ملی ساختمان، ۱۳۸۵). در ادامه جدول ۴-۱ مربوط به مشخصات سد ملاصدرا و شکل‌های ۴-۱ الی ۴-۵ نمایی از قسمتهای مختلف سد را نشان می دهد.

سد ملاصدرا از ۳۱ مقطع تشکیل شده است که تمرکز ابزارها در ۶ مقطع بنامهای مقاطع (4-4)، (9-9)، (20-20)، (27-27)، (31-31) و مقطع کالورت (Culvert) می باشد. در این فصل نوع ابزارهای بکار رفته در هر یک از مقاطع فوق تشریح شده است. در اشکال ۴-۷ و ۴-۸ - پلان ابزار بندی و مقطع طولی سد ملاصدرا نشان داده شده است.

جدول ۴-۱- مشخصات سد ملا صدرا

عنوان	طراحی (فاز ۱) توسط شرکت سکو	طراحی (فاز ۲) توسط شرکت ملی ساختمان (آبان پژوه)
نوع سد	خاکی با هسته نفوذ ناپذیر	خاکی با هسته نفوذ ناپذیر
ارتفاع سد	۷۲ متر	۷۲ متر
طول تاج	۶۳۰ متر	۶۳۰ متر
حجم کل مخزن	۴۴۰ میلیون متر مکعب	۴۴۰ میلیون متر مکعب
حجم مفید مخزن	۴۱۱ میلیون متر مکعب	۴۱۱ میلیون متر مکعب
حجم ورودی سالیانه مخزن	۴۱۵ میلیون متر مکعب	۴۱۵ میلیون متر مکعب
سرریز	آزاد نعل اسبی از نوع اوجی با ظرفیت تخلیه ۳۴۰۰m ³ /s	شوت آزاد با ظرفیت تخلیه ۳۴۰۰m ³ /s
کالورت انحراف	باکسی دو طبقه با ظرفیت تخلیه ۲۹۹m ³ /s	باکسی دودهنه مجاور هم با ظرفیت تخلیه ۲۹۹m ³ /s
تونل انتقال آب	به طول ۳۵ کیلومتر در ساحل چپ	به طول ۳۵ کیلومتر در ساحل چپ
ظرفیت نیروگاه	۱۰۰ مگاوات	۱۰۰ مگاوات



شکل ۴-۱ و ۴-۲- خروجی کالورت



شکل ۴-۳- سرریز

شکل ۴-۴- نمائی از تاج سد



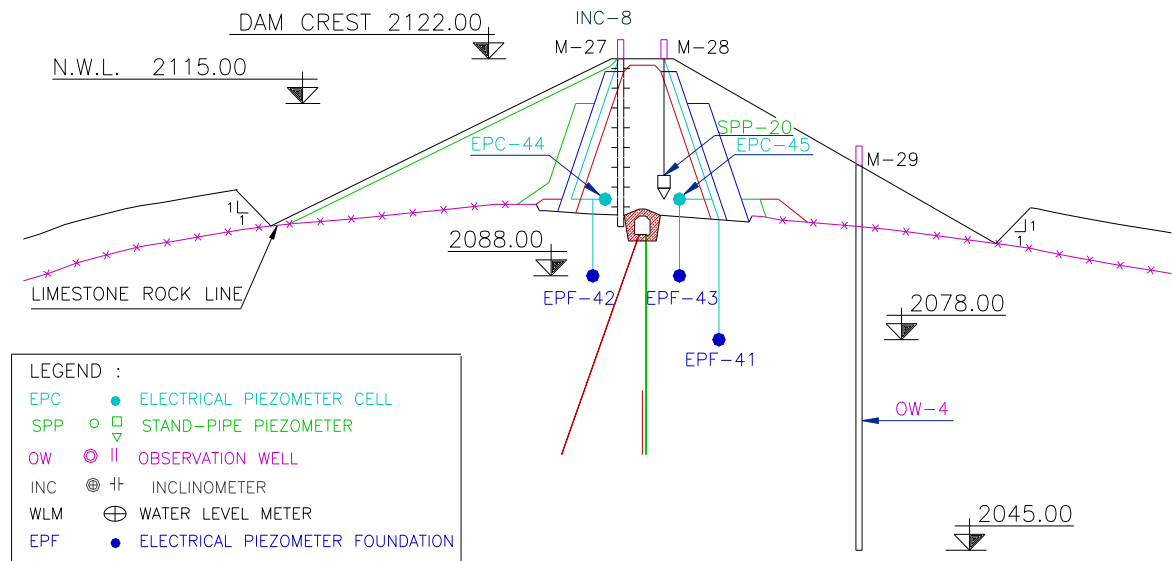
شکل ۴-۵- نمائی از تاج سد و سرریز

۴-۵- ابزارهای مورد استفاده در مقطع (4-4)

این مقطع دارای ابزارهای زیر می باشد.

سه پیزومتر الکتریکی پی (EPF28- EPF41- EPF43)، دو پیزومتر الکتریکی خاکریز (EPC44 و EPC45)، یک چاهک مشاهده ای (OW4)، یک پیزومتر کاساگرانده (SPP20)، یک ابزار انحراف سنج (INC8) و یک نشست سنج (شکل ۴-۶).

EPF28 و EPC44 در بدنه بالا دست و EPF41 ، EPF43 و EPC45 در بدنه پایین دست سد واقع اند. OW4 در بدنه پایین دست، SPP20 در پایین دست روی تاج سد، INC8 و نشست سنج در بالا دست و روی تاج سد قرار دارد.



شکل ۴-۶- مقطع عرضی ۴ - ۴

شکل ۴- ۷ - پلان ابزار بندی سد ملاصدرا

شکل ۴-۸ - مقطع طولی سد ملاصدرا

۴-۵-۱- پیزومتر کاساگرانده (SPP20)

در این مقطع یک عدد پیزومتر لوله ای کاساگرانده با کد SPP-20 در تراز 2103 نصب شده است که تا آخرین قرائت (۸۵/۰۸/۰۷) خشک بوده است.

۴-۵-۲- پیزومترهای پی (EPF)

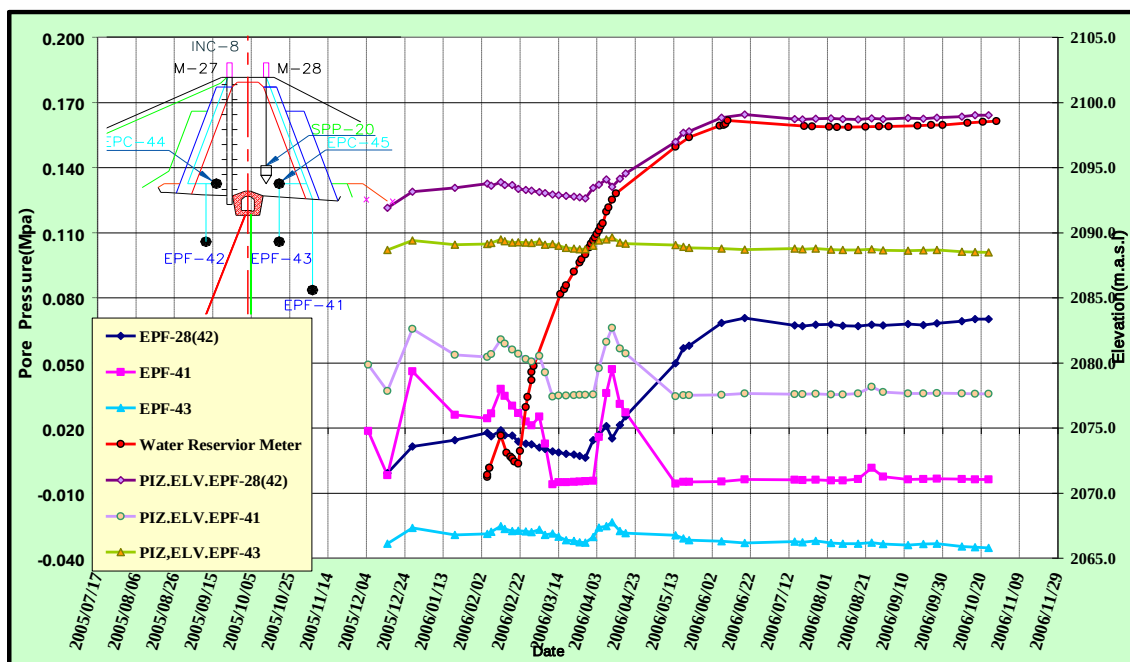
در این مقطع سه عدد پیزومتر پی نصب شده که EPF 28 (EPF42) در بالا دست پرده آب بند بوده و EPF41 و EPF 43 در پائین دست می باشد. پس از رسیدن آب به تراز نصب پیزومتر بالادست EPF 28 تا تاریخ ۸۵/۰۵/۱۸ حدود ۸ متر فشار آب گرفته است، و لیکن پیزومترهای پائین دست پرده آب بند فشار خاصی را نشان نداده و هیچ آنومالی در آنها مشاهده نمی شود. در ضمیمه ۱ داده های مربوط به پیزومتر پی (EPF28) و در شکل ۴-۹ نمودار پیزومتر مذکور آمده است.

۴-۵-۳- پیزومتر خاکریز تراز 2103 (EPC)

در مقطع (4-4) دو عدد پیزومتر خاکریز در محل هسته و نزدیک پی بنامهای (EPC44) در بالا دست (EPC45) در پایین دست نصب شده است و تا آخرین قرائت (۸۵/۰۸/۰۲) فشار مثبت خاصی را نشان نمی دهند. لازم به ذکر می باشد تراز آب مخزن تا این تاریخ حدود ۵۳ متر می باشد. در حالیکه تراز واقعی آب مخزن ۶۹ متر می باشد.

۴-۵-۴- نشست سنج INC-8

در این مقطع انحراف سنج همراه با نشست سنج های مغناطیسی نصب شده اند که نمودار تغییرات آنها در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. با توجه به قرائتهای اخیر وجود نشست حداکثری در حدود 20cm در تراز 2111 تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۶ مشاهده می شود. در ضمیمه ۲ داده های مربوط به نشست- سنج مذکور آمده است.



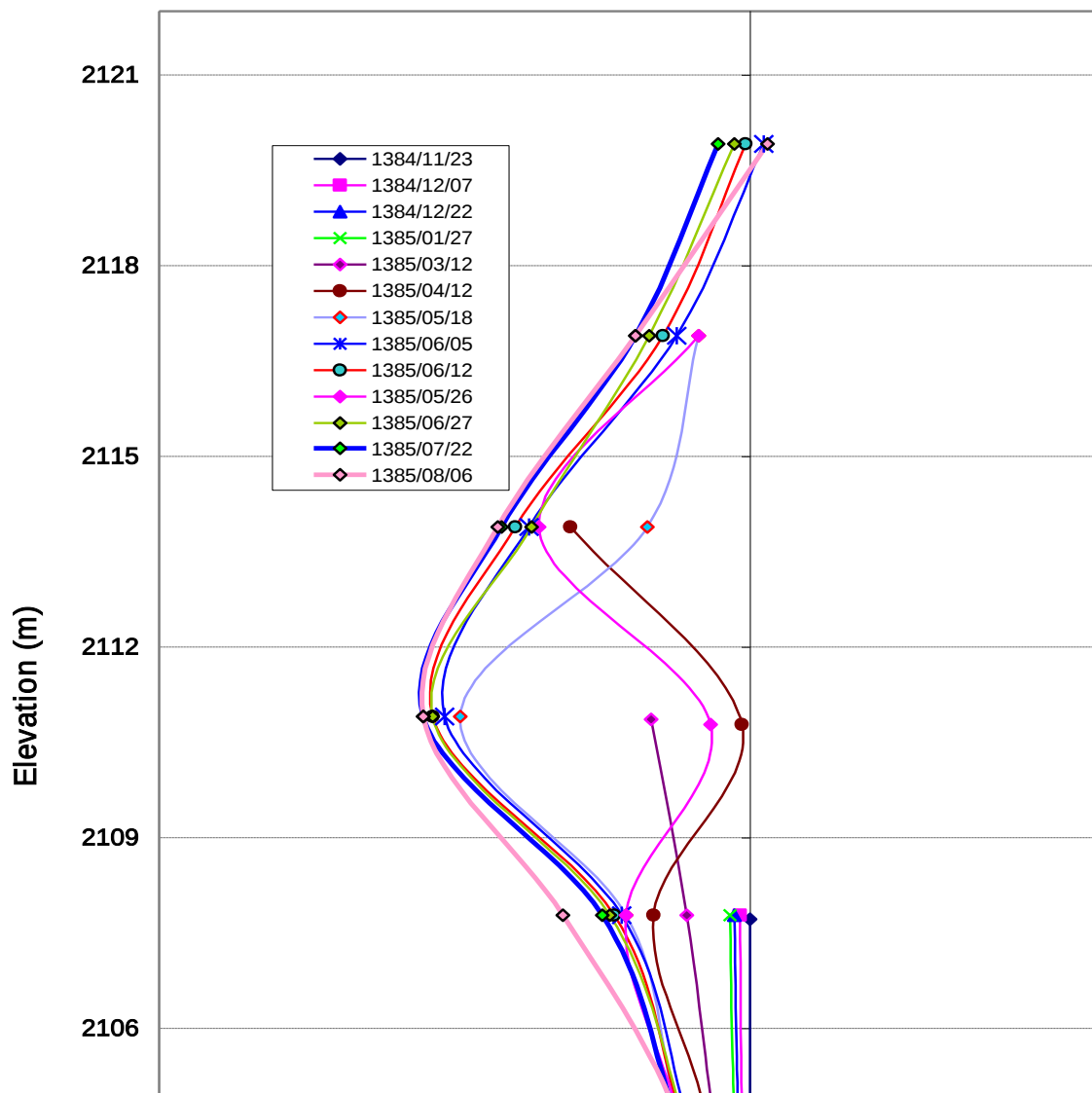
شکل ۴-۹- نمودار تغییرات فشار پیزومتر های الکتریکی فونداسیون مقطع ۴-۴

۴-۶- ابزارهای مورد استفاده در مقطع (27-27)

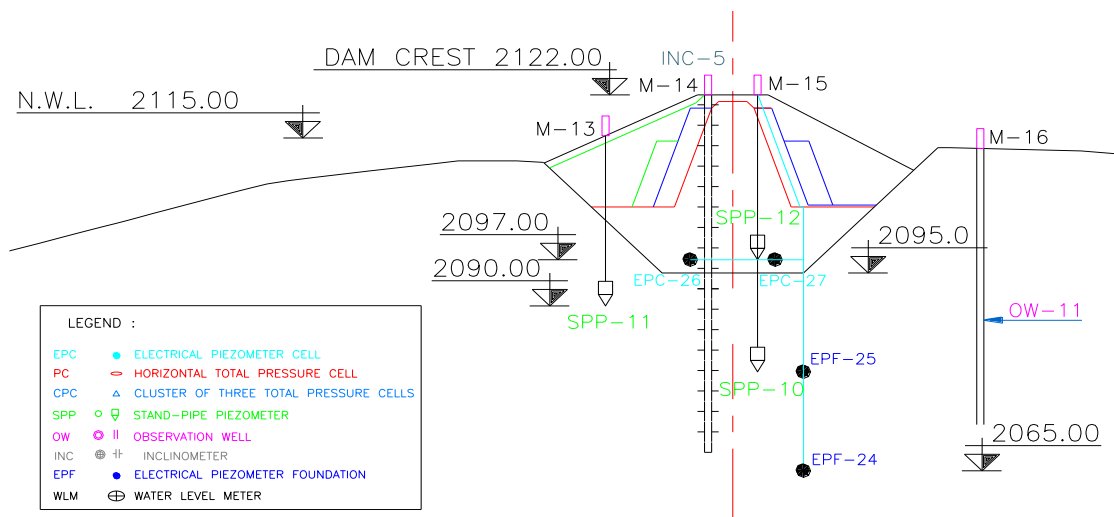
این مقطع دارای ابزارهای زیر می باشد.

دو پیزومتر الکتریکی پی به نامهای (EPF24-EPF25)، دو پیزومتر الکتریکی خاکریز (EPC26 و EPC27)، یک چاهک مشاهده ای (OW11)، سه پیزومتر کاساگرانده (SPP10، SPP11 و SPP12)، یک ابزار انحراف سنج (INC5) و یک نشست سنج (شکل ۴-۱۱).

EPF24، EPF25 و EPC27 در پایین دست و EPC26 در بالا دست سد واقعند، OW11 در پایین دست روی بدنه قرار دارد، SPP10 و SPP12 پایین دست روی تاج سد و SPP11 بالادست روی بدنه قرار دارد INC8 و نشست سنج در بالا دست و روی تاج سد قرار دارد.



شکل ۴-۱۰- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی (INC-8) با فرض ثابت بودن تراز مگنت مبنا



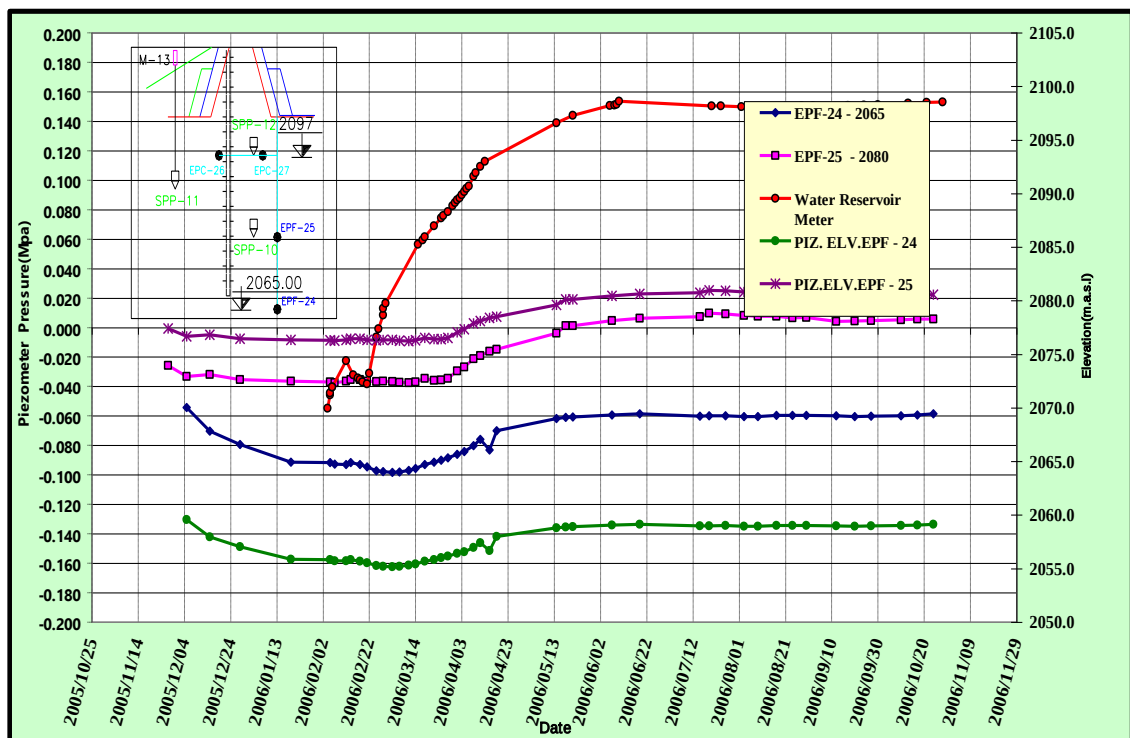
شکل ۴-۱۱- مقطع عرضی ۲۷-۲۷

۴-۶-۱- پیزومترهای پی (EPF)

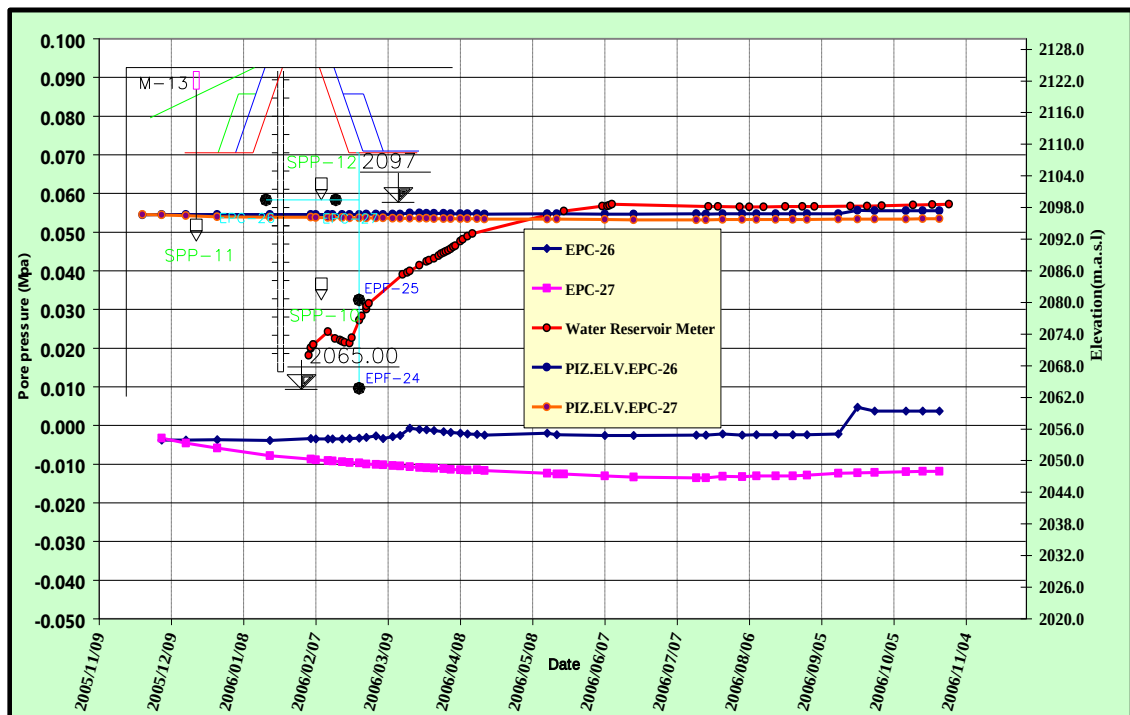
در این مقطع دو عدد پیزومتر پی به کدهای EPF-25 در تراز 2080 m و EPF-24 در تراز 2065 (پائین دست) نصب شده اند که هنوز روند صعودی فشار نشان نمی دهند. فشار منفی در قرائتهای اولیه بخاطر باز کردن دریچه خروجی سد می باشد که مجدداً با بستن دریچه افزایش فشار جزئی مشاهده می شود. در شکل ۴-۱۲ نمودار تغییرات این پیزومترها آمده است.

۴-۶-۲- پیزومترهای خاکریز نزدیک پی تراز 2097 (EPC)

همانطوریکه از نمودار تغییرات آنها می توان مشاهده نمود با گذشت زمان و شاید نفوذ آب به تراز نصب این ابزارها، پیزومتر بالادست EPC-26 در حدود 0.5m آب فشار گرفته در صورتیکه پیزومتر پائین دست هنوز فشار خاصی را ثبت نکرده است که در شکل ۴-۱۳ نمودار مربوط به این پیزومترها آمده است.



شکل ۴-۱۲- نمودار تغییرات فشار پیزومتر های الکتریکی فونداسیون مقطع ۲۷-۲۷



شکل ۴-۱۳- تغییرات فشار منفذی ابزار EPC26 و EPC27 و تراز خاکریز بر حسب زمان در مقطع ۲۷-۲۷

۴-۶-۳- پیزومترهای کاساگرانده

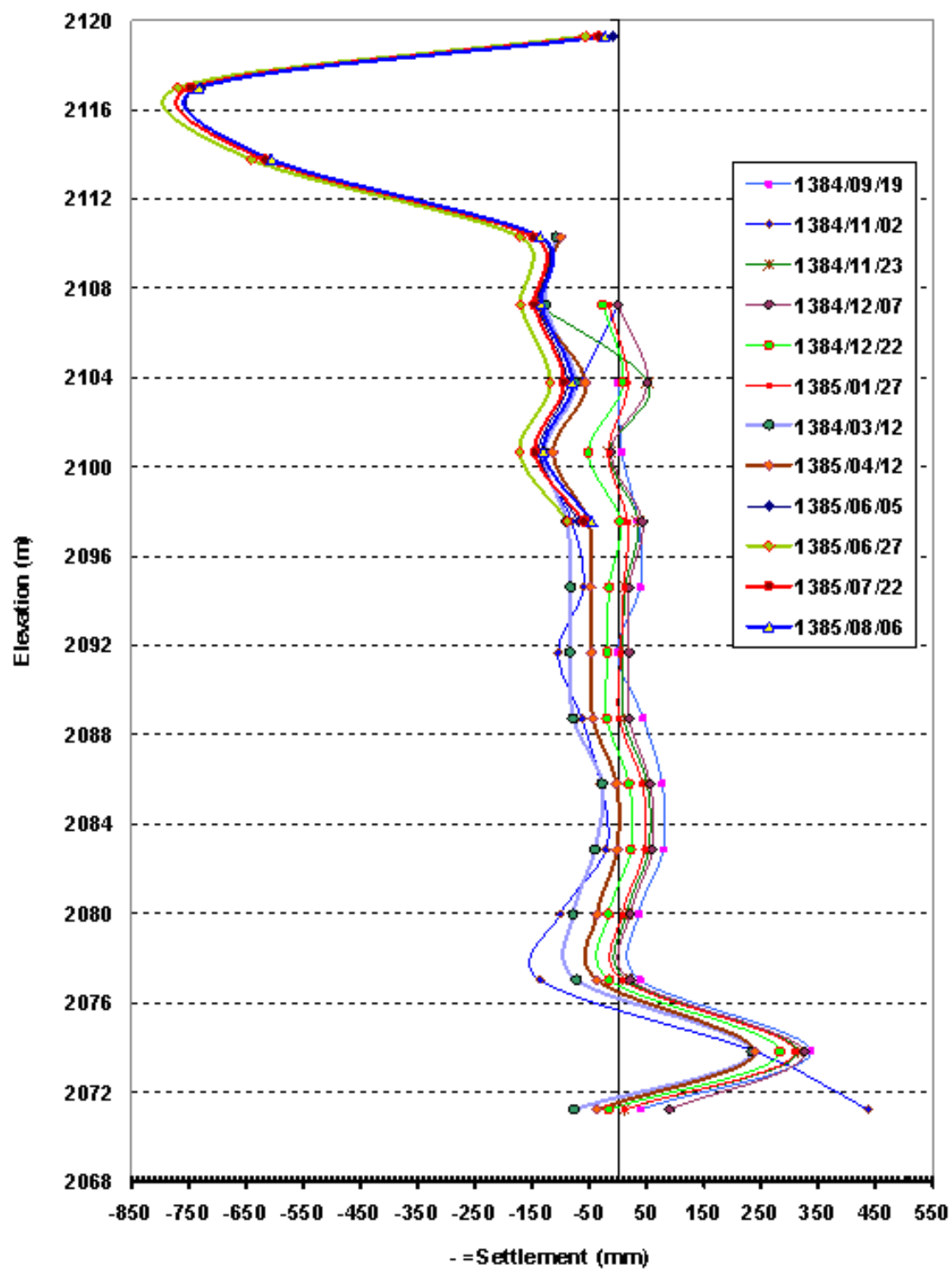
پیزومتر D/S)SPP-10 که در تراز 2080 نصب شده و تا مورخ ۸۵/۰۳/۲۰ حدود ۱۲ متر آب داشته و در قرائت های بعدی تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۷ خشک گزارش شده است علت این امر احتمالا گرفتگی لوله در تراز 2097 می باشد. که با افزایش سطح آب مخزن پیزومتر مذکور فشار نشان خواهد داد. پیزومتر D/S)SPP-12 که در تراز 2097 نصب شده است خشک می باشد و پیزومتر U/S)SPP-11 که در تراز 2090 نصب شده است تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۷ دارای حدود ۸ متر آب می باشد.

۴-۶-۴- تغییر شکل انحراف سنج INC-5

قرائت مبنای این نمودارها قبل از آگیری یعنی ۱۱۳۸۴/۱۰/۳۰ بوده است. به نظر میرسد جابجایی های حاصل شده با گذشت زمان از روند منطقی برخوردار بوده و از عمق ۲۶ متری مقدار جابجاییها افزایش قابل ملاحظه ای پیدا کرده و حداکثر به ۵۰ سانتیمتر در عمق ۱۰ متری میرسد و در تراز فوقانی به ۴۰ سانتیمتر کاهش می یابد.

۴-۶-۵- نشست سنج مغناطیسی

در این مقطع یک عدد نشست سنج بنام INC-5 در هسته نصب شده است همانطوریکه از نمودار مشاهده می شود در تراز پائین بالا آمدگی بخاطر نیروی فشار آب می باشد که صفحه های مغناطیسی را به سمت بالا می راند و در ترازهای فوقانی (2113 و 2116) حداکثر نشست اتفاق افتاده و مقدار آن به حدود ۷۶ سانتیمتر می رسد که دلیل آن احتمالا بدلیل تراکم نامطلوب و یا ایجاد شرایط اشباع کامل می باشد. لازم به ذکر می باشد که از تاریخ ۱۳۸۵/۰۶/۰۵ سوند قرائت نشست سنج از تراز حدود 2097 (عمق حدود ۲۶ متری) پائین تر نرفته و فقط مگنتهای بالاتر از این تراز قرائت میگردد. که در شکل ۴-۱۴ نمودار مربوطه آمده است.

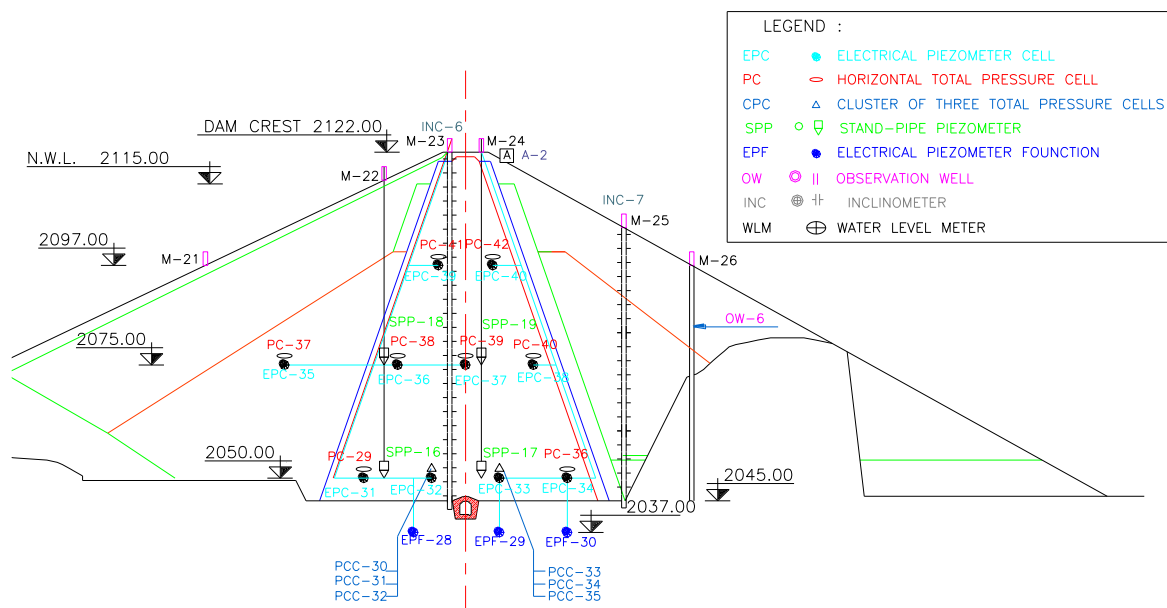


شکل ۴-۱۴- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی ابزار 5- INC با انتقال تراز از سر لوله با فرض ثابت نبودن

تراز مگنت مبنا

۴-۷- ابزارهای مورد استفاده در مقطع (9-9)

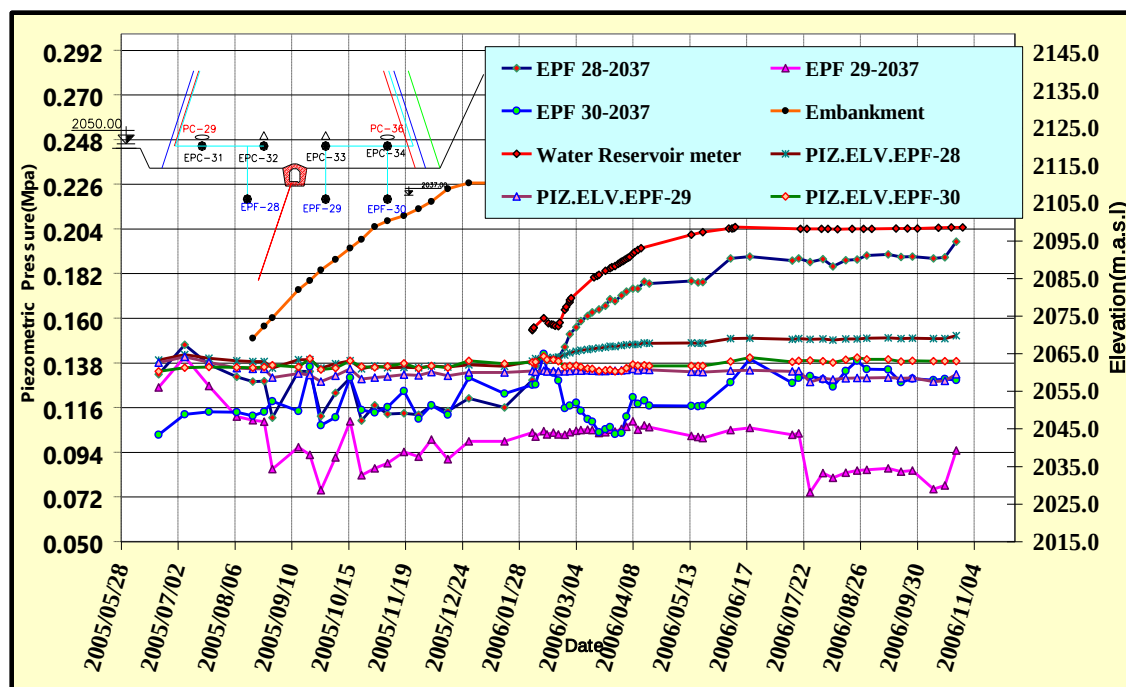
در این مقطع در سه تراز 2050, 2075 و 2097 فشار سنج ها و پیزومترهای مربوطه نصب شده است. کل ابزار نصب شده در این مقطع عبارتند از ۲۷ پیزومتر تار مرتعش شامل (پیزومتر الکتریکی پی، پیزومتر الکتریکی بدنه و سلول فشار کل)، دو تا انحراف سنج و نشست سنج INC6 (روی تاج و طرف بالا دست واقع است) و INC7 (روی بدنه و طرف پایین دست واقع است)، چهار پیزومتر کاساگرانده (SPP16 و SPP18 در بدنه بالا دست) و (SPP17 و SPP19 طرف پایین دست و روی تاج) قرار دارند، دبی سنج در قسمت پایین دست سد و روی پاشنه سد واقع است. که تا مورخ ۱۳۸۶/۳/۳۰ نصب نشده است (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴-۱۵- مقطع عرضی ۹-۹

۴-۷-۱- پیزومترهای پی

در طرفین پرده آب بند در تراز حدود ۲۰۳۷ پیزومترهای الکتریکی با کدهای EPF-28(U/S)، EPF-29(D/S) و EPF-30(D/S) نصب شده اند. همانطوریکه از نمودار آنها مشخص می‌باشد، (شکل ۴-۱۶) بعد از گذشت زمان و پیشرفت آگیری تا تاریخ ۲۰۰۶/۱۰/۲۴ پیزومتر بالادست روند صعودی متناسب با افزایش تراز آب مخزن گرفته و لیکن دو پیزومتر پائین دست از روند نزولی برخوردار شده اند که نشان از موثر بودن عملیات آب بندی می‌باشد.



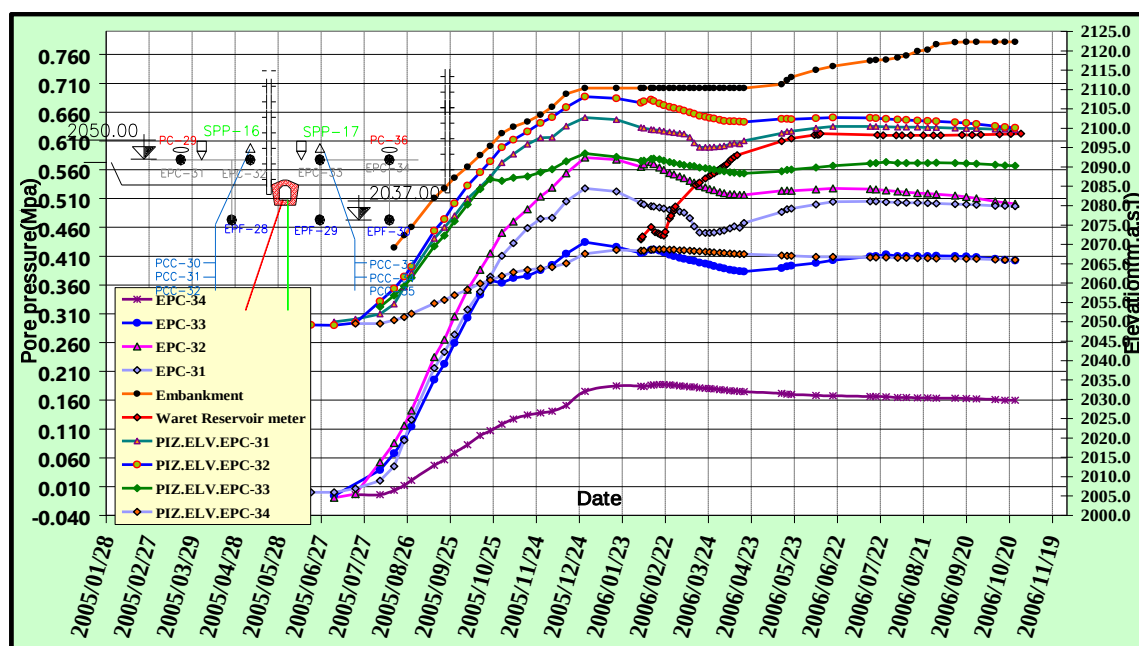
شکل ۴-۱۶- تغییرات فشار پیزومترهای الکتریکی فونداسیون مقطع ۹-۹ و تراز خاکریز بر حسب زمان

۴-۷-۲- ابزارهای تراز ۲۰۵۰

۴-۷-۲-۱- پیزومترهای الکتریکی

همانطوریکه از نمودار تغییرات آنها (شکل ۴-۱۷) مشخص می‌باشد پیزومترهای این مقطع قبل از آبیگری با افزایش تراز خاکریز و گذشت زمان، بطور هماهنگی فشار ثبت کرده اند. با گذشت زمان و افزایش تراز آب مخزن، پیزومترهای بالادست EPC-31 و همچنین پیزومتر میانی بالادست EPC-32 تا تاریخ 2006/10/24 تراز پیزومتریکی معادل 2100 و 2102 نشان می‌دهد که با توجه به محاسبات تعیین تراز آب مخزن توسط سنسور مربوطه (WLM)، حدود ۲ تا ۴ متر آب بیشتر از تراز آب مخزن بوده علت این امر را می‌توان در محدوده دقت پیزومتر (که حدود 0.5% محدوده کاری سنسور بوده و معادل 80cm آب می‌باشد) و همچنین در تعیین تراز نصب سنسورها و تغییر وزن واحد حجم مخلوط آب و خاک جستجو نمود. تا 2006/10/24 پیزومتر میانی پائین دست EPC-33 دارای تراز پیزومتریکی 2090.9 و پیزومتر EPC-34 که در نزدیک فیلتر پایین دست می‌باشد، دارای ۱۶ متر فشار آب بوده است. روند پیزومترهای این تراز تقریباً افقی بوده و در حال حاضر تغییرات خاصی مشاهده نمی‌شود. نکته قابل توجه در این ابزارها روند تغییرات فشار پیزومترها نسبت به آبیگری و افزایش

تراز آب مخزن می باشد به طوریکه در این تراز قبل از آبدگیری فشار منفذی به حداکثر رسیده (به لحاظ زمانی حدود یک ماه و نیم قبل از آبدگیری) که متناظر با حداکثر رشد خاکریزی بوده سپس با ثابت بودن تراز خاکریز و گذشت زمان و با شروع آبدگیری و قبل از آن، روند ثبت تغییرات نزولی شده و با افزایش تراز آب مخزن، افزایش فشار منفذی ثبت نشده است که می تواند نشان از عدم نفوذ آب در آن محدوده باشد.



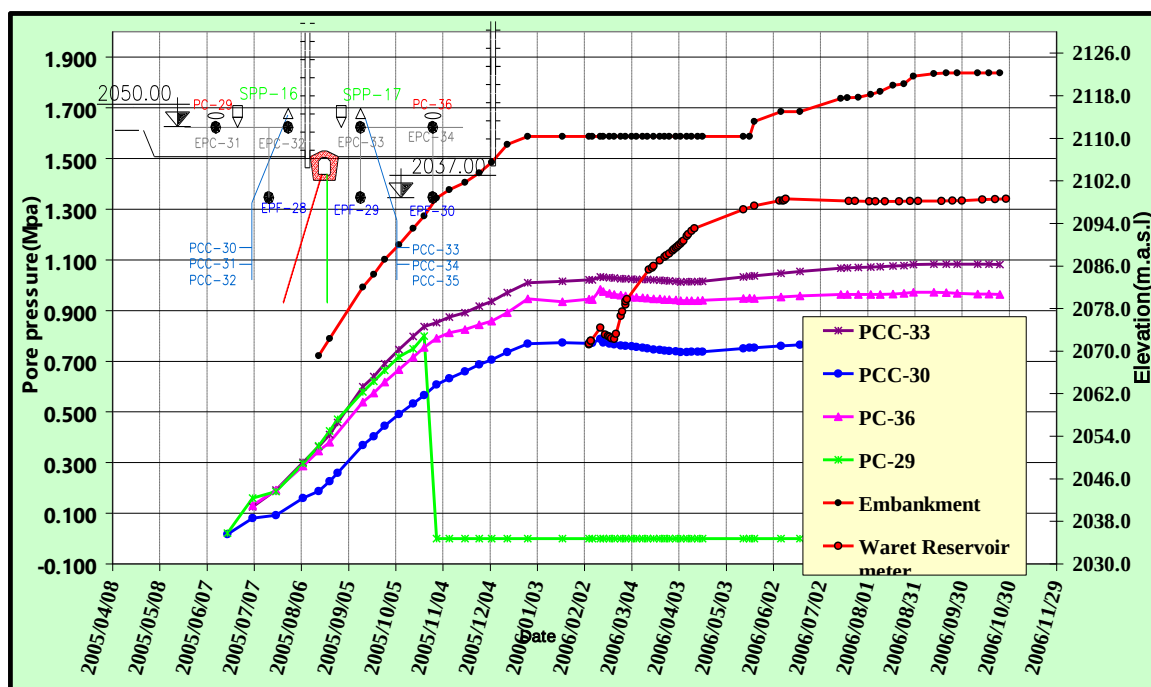
شکل ۴-۱۷- نمودار تغییرات فشار منفذی ابزار EPC31 - EPC32 - EPC33 - EPC34 و تراز خاکریز بر حسب زمان در نزدیکی پی و

خاکریز مقطع ۹-۹ در تراز ۲۰۵۰

۴-۷-۲- فشار سنج ها

در این مقطع دو مجموعه فشار سنج سه تایی و دو عدد فشار سنج افقی به همراه پیزومترهای مربوطه نصب شده است، همانطوریکه از نمودار آنها مشخص است فشار سنج های این مقطع همراه با رشد خاکریزی، متناسب با فشار روباره، فشار گرفته اند و از روند خیلی خوبی برخوردار بوده اند، بعد از آبدگیری متناسب با افزایش تراز آب و حجم بارش های منطقه فشار سنج های پائین دست فشار نسبی ماکزیممی را ثبت کرده سپس کاهش

نسبی داشته اند و مجدداً با گذشت زمان افزایش نسبی ثبت کرده اند که بایستی با قرائت های آتی به دقت بررسی گردد. به نظر می رسد هنوز انتقال بار و نفوذ آب به این مقطع صورت نگرفته است و بدین دلیل واکنش قابل ملاحظه ای در فشار سنج ها رخ نداده است. تا تاریخ 2006/10/24 متناسب با رشد و افزایش خاکریزی فشار سنج ها شیب صعودی کمی را بخود گرفته اند. که در شکل ۴-۱۸ نمودار تغییرات آنها آمده است.

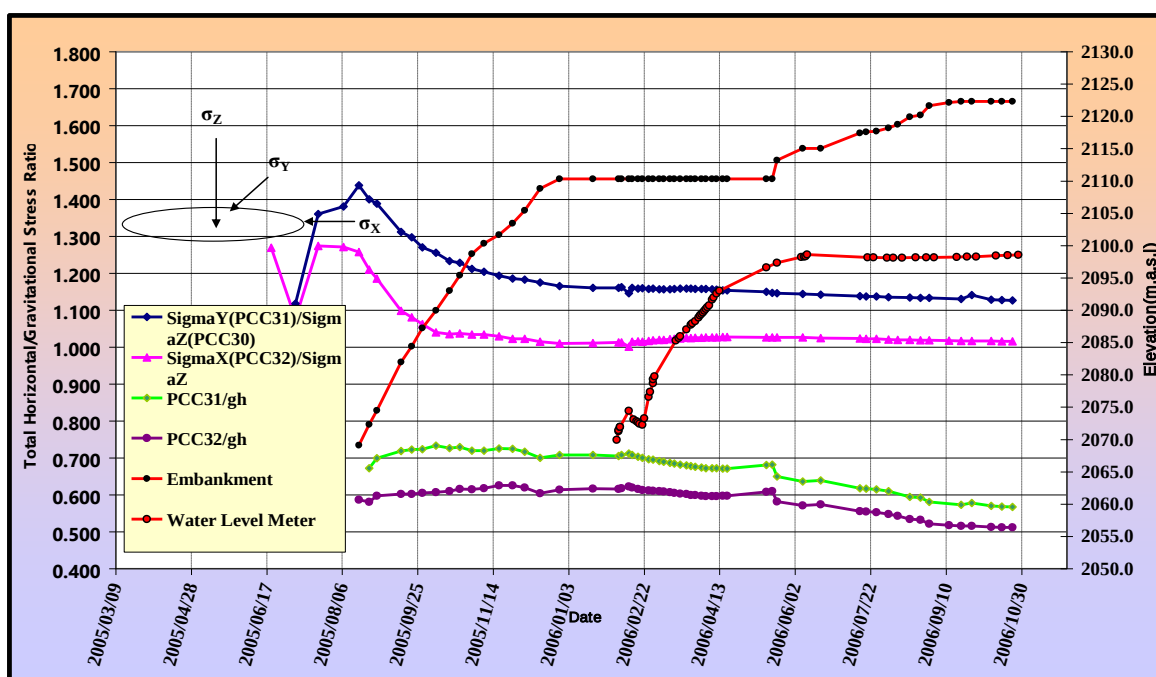


شکل ۴-۱۸- نمودار تغییرات تنش کل ابزارهای PCC-30, PC-29, PC-36, PCC-33 نصب شده در تراز ۲۰۵۰ در مقطع ۹-۹ و افزایش تراز خاکریز بر حسب زمان

۴-۷-۲-۳- نسبت تنش های افقی به قائم

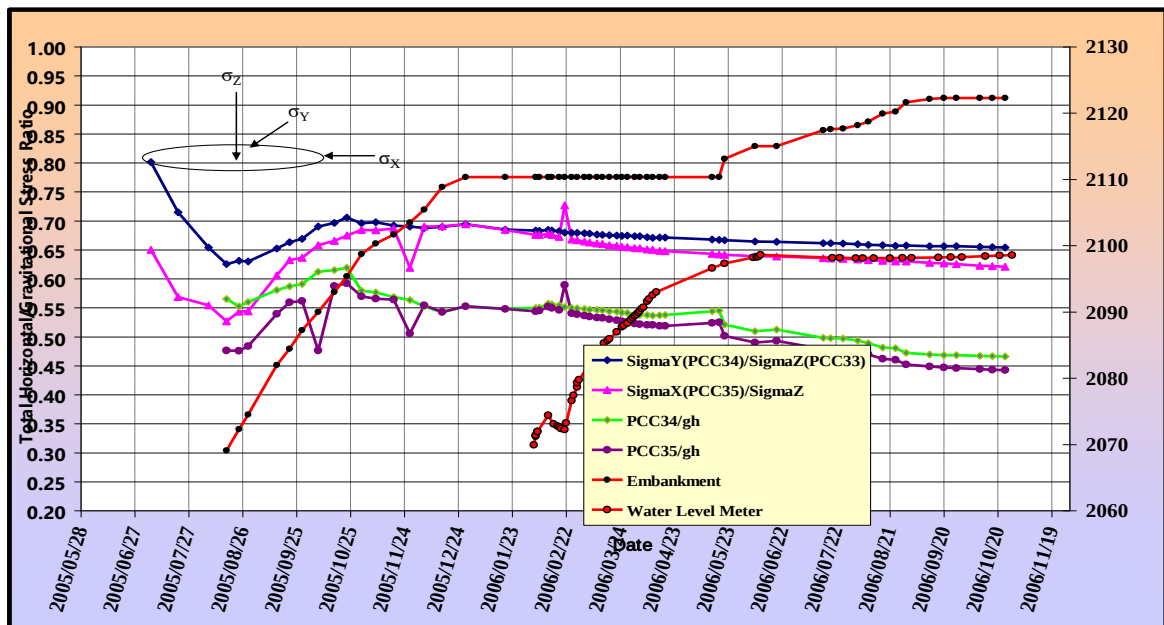
با توجه به داده های جمع آوری شده از قرائت فشار سنج های سه تایی (خوشه ای) می توان نسبت تنش های افقی به قائم (با در نظر گرفتن تنش اصلی در جهت قائم) را محاسبه نمود، که یک عامل مهم در آنالیز پایداری و ارزیابی ایمنی سازه می باشد. برای محاسبه نسبت تنش ها ابتدا نسبت حاصل از تنش های ثبت شده توسط فشار سنج محاسبه گردیده است. همچنین نسبت حاصل از فشار افقی اندازه گیری شده توسط سلولها به وزن

روباره (γh) نیز محاسبه و ارائه شده است. نکته قابل ملاحظه کاهش این نسبت ها با افزایش تراز آب مخزن میباشد. همچنین مطابق محاسبات و اندازه گیری سنسورها نسبت تنش افقی به وزن روباره (γh) در اواسط آبگیری به حدود 0.55 رسیده و در حال حاضر حدود 0.48 میباشد. این شرایط برای سلولهای فشار میانی پائین دست میباشد. حداکثر این نسبت برای بالادست 0.7 و تا تاریخ (2006/10/24) حدود 0.51 می باشد. در ضمن نسبت فشارهای اندازه گیری شده افقی به قائم حدود 0.9 تا 1.1 می باشد که تا این نمودار آن افقی شده است (شکل ۴-۱۹ و شکل ۴-۲۰)



شکل ۴-۱۹- نمودار تغییرات تنش کل افقی به تنش قائم اندازه گیری شده ابزارهای PCC-32, PCC-31, PCC-30 و افزایش تراز خاکریز بر

حسب زمان



شکل ۴-۲۰- نمودار تغییرات تنش کل افقی به تنش قائم اندازه گیری شده ابزارهای PCC-35, PCC-34, PCC-33 و افزایش تراز خاکریز بر حسب زمان

۴-۲-۷-۴- نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی

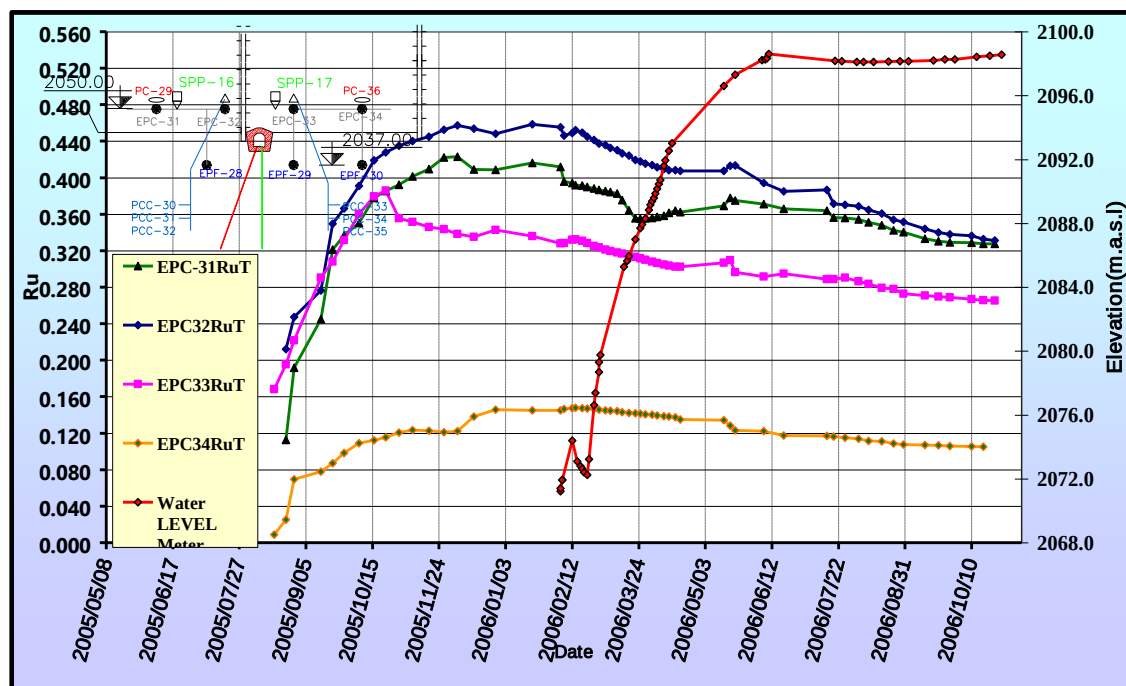
همانطوریکه از نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی (RU) مشخص است قبل از آبدگیری با افزایش تراز خاکریزی و گذشت زمان همانند تغییرات فشار منفذی، ضریب فشار منفذی نیز افزایش یافته و با گذشت زمان آهنگ تغییرات آن کمتر شده است. در این مقطع حداکثر RU محاسبه شده حدود 0.45 قبل از آبدگیری بوده که به مقدار 0.36 بعد از آبدگیری کاهش یافته است (شکل ۴-۲۱).

۴-۷-۳- ابزارهای تراز 2075

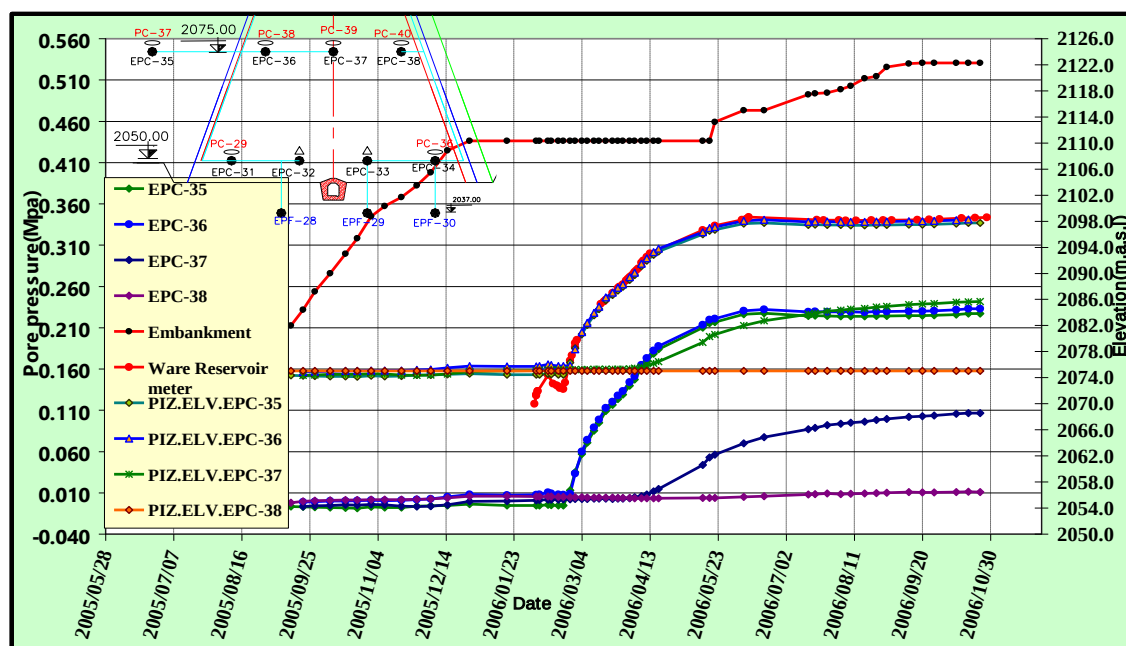
۴-۷-۳-۱- پیزومترهای الکتریکی

بعد از گذشت زمان و رسیدن تراز آب مخزن در تاریخ 2006/02/25 به نصب ابزارهای تراز 2076، پیزومترهای بالا دست EPC-35 و EPC-36 هر دو افزایش شدید فشار را ثبت کرده اند که روند تغییرات آنها کاملاً منطبق بر تغییرات آب مخزن بوده که نشان از نفوذ آب در آن محدوده می باشد. نکته قابل ملاحظه عدم وجود افت فشار در پیزومتر هسته EPC-36 می باشد که شاید به دلیل اجرای نامناسب خاکریزی در آن محدوده باشد. پیزومتر

میانی EPC-37 حدود ۱۱ متر آب و EPC-38 حدود ۱ متر فشار آب ثبت کرده‌اند. که در شکل ۴-۲۲ نمودار پیزومتر های مذکور آمده است.



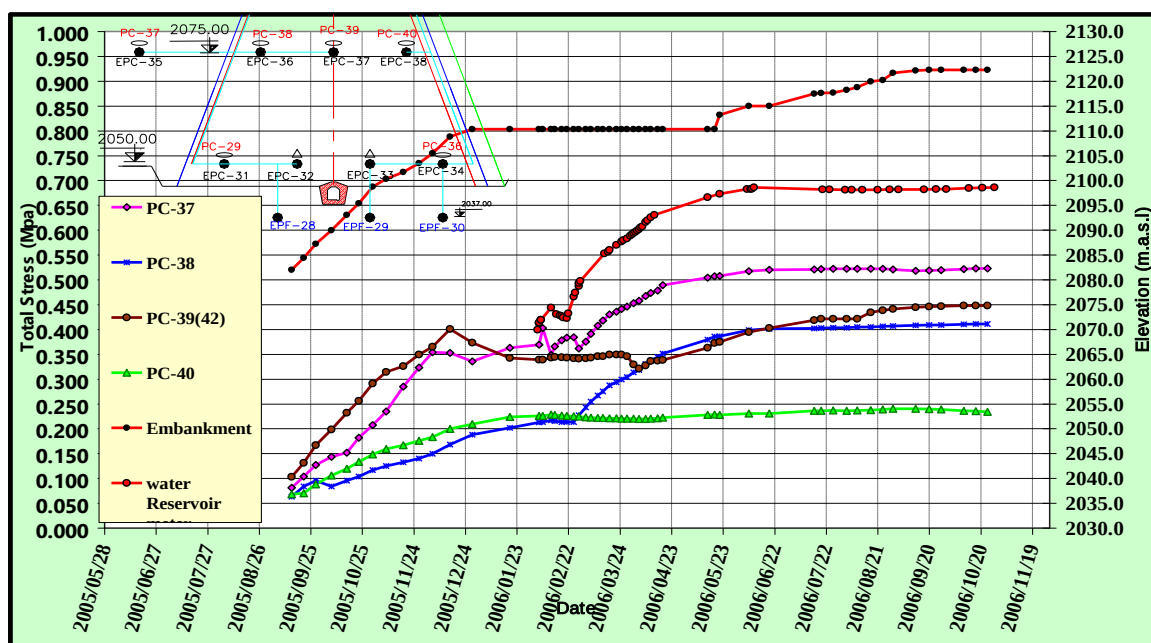
شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی (Ru) و تراز سطح آب مخزن برحسب زمان



شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی (Ru) بر حسب زمان

۴-۷-۳-۲- فشار سنج ها

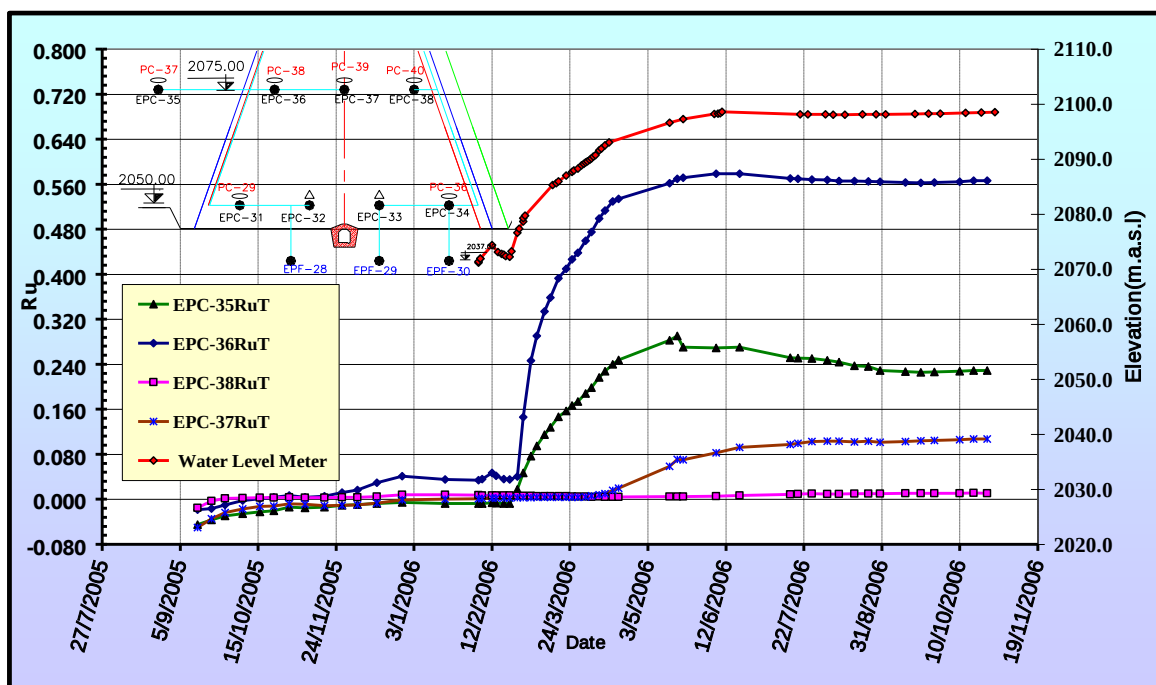
همگام با افزایش تراز خاکریزی در این مقطع، فشار سنج های نصب شده نیز با آهنگی متناسب روند صعودی نشان داده اند. بعد از آگیری با نزدیک شدن تراز آب به ۲۰۷۵ ابتدا فشار ابزار PC-37 بالا رفته سپس کاهش داشته و سپس افزایش فشار ثبت شده است. بعد از تاریخ (۲۰۰۶/۰۲/۲۵) که تراز آب حدود ۲۰۷۶ بوده آهنگ افزایش فشار ابزار های PC-37 و PC-38 هر دو یکسان گشته است. آنچه به وضوح در این نمودارها قابل مشاهده می باشد همخوانی و تطابق کامل نمودار افزایش تراز آب مخزن و نمودار PC-37 و PC-38 می باشد که در خصوص PC-37 به دلیل نصب آن در مصالح پوسته دور از انتظار نبوده و لیکن بدلیل نصب PC-38 در مصالح هسته واکنش سریع این ابزار به تراز آب حداقل در فاصله زمانی کوتاه انتظار نمی رود (شکل ۴-۲۳).



شکل ۴-۲۳- نمودار تغییرات تنش کل ابزارهای PC-37, PC-38, PC-39, PC-40 و افزایش تراز خاکریز بر حسب زمان

۴-۷-۳-۳- تغییرات ضریب فشار منفذی

همانطوریکه در شکل ۴-۲۴ ملاحظه می‌گردد پس از رسیدن آب به تراز نصب، پیزومتر EPC-36 به شدت افزایش Ru داشته و حداکثر به 0.58 رسیده است بعد از گذشت زمان این روند حالت کم شیب و افقی به خود گرفته است.



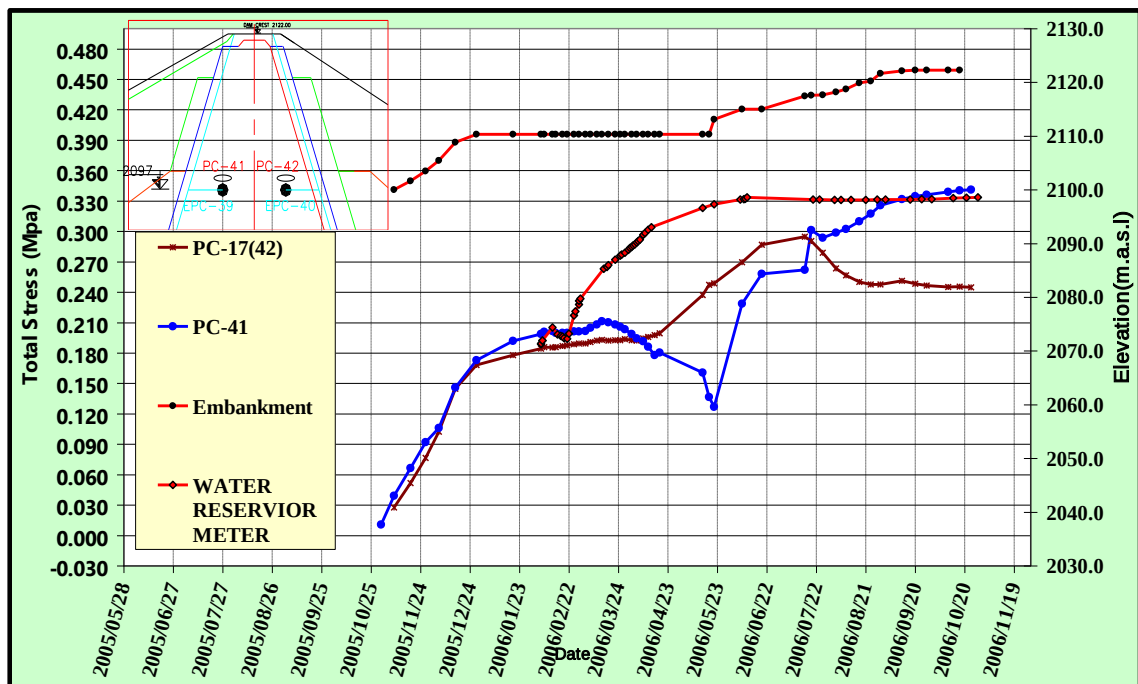
شکل ۴-۲۴- نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی (Ru) برحسب زمان

۴-۷-۴- ابزارهای تراز ۲۰۹۷

۴-۷-۴-۱- فشار سنج ها

در این مقطع دو عدد فشار سنج و پیزومترهای مربوطه نصب شده اند. همانطوریکه از شکل ۴-۲۵ مشخص می‌باشد قبل از آبیگری با ازدیاد ارتفاع خاکریزی، فشار مربوطه را نشان داده اند. سپس با توقف خاکریزی، توزیع و پخش تنش در توده خاکریز اتفاق افتاده به طوریکه فشار سنج بالادست PC-41 روند کم و بیش نزولی داشته در صورتیکه فشارسنج پائین دست روند نسبی صعودی در این دوران توقف، داشته‌اند، سپس همزمان با شروع خاکریزی که مقارن با رسیدن آب به تراز نصب این سنسورها بوده، روند صعودی هر دو فشارسنج شروع شده سپس با گذشت زمانی در حدود دو ماه در حالیکه تراز آب مخزن افزایش خاصی نداشته و لیکن خاکریزی در این مقطع انجام می‌شده، فشارسنج پائین دست سیر نزولی پیدا کرده و حدود 60KPa کاهش

پیدا کرده در حالیکه سلول فشار بالادست کاملاً هماهنگ با خاکریزی افزایش تنش را ثبت کرده است. که تا تاریخ 2006/08/09 تراز خاکریز و آب مخزن روند افقی دارند، ابزارهای فوق نیز از روند افقی برخوردار شده اند.



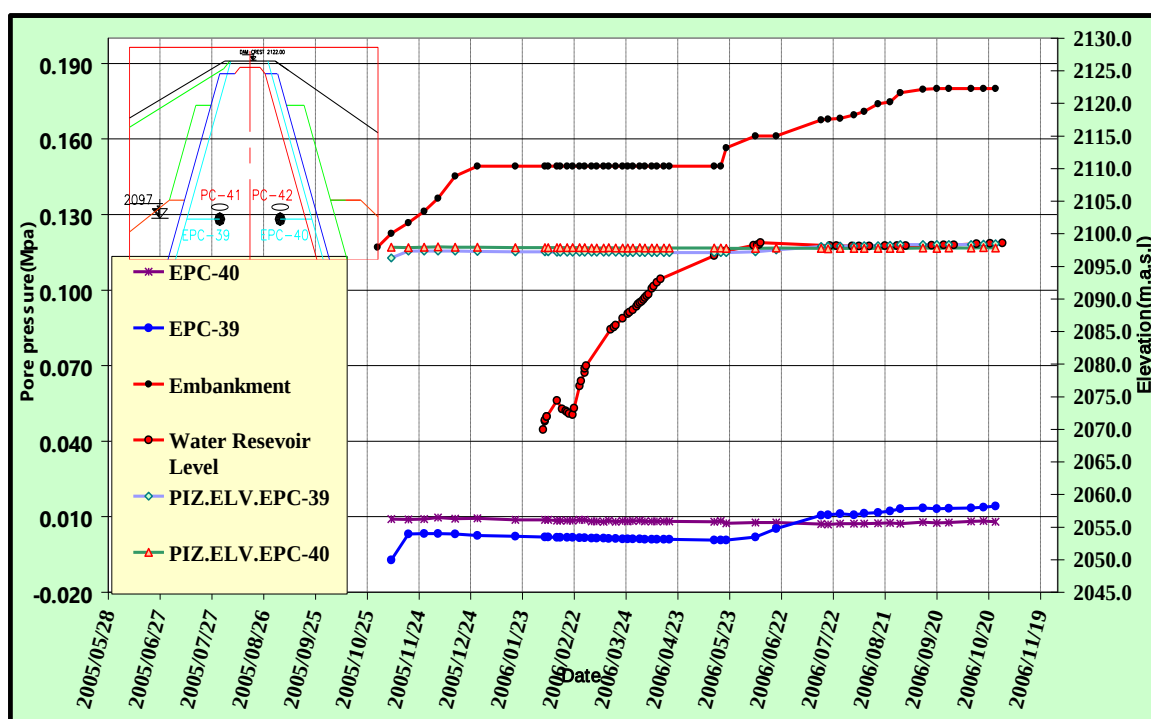
شکل ۴-۲۵- نمودار تغییرات تنش کل ابزارهای PC-41 و PC-42 و افزایش تراز خاکریز بر حسب زمان

۴-۷-۲- پیزومترهای خاکریز

این پیزومترها همانطوریکه از نمودار آنها مشخص می باشد قبل از رسیدن تراز آب مخزن به تراز نصب دارای روند ثابتی بوده اند که با توجه به رسیدن تراز آب به تراز نصب پیزومتر بالادست روند صعودی به خود گرفته است و تا تاریخ 2006/08/09 تراز آب مخزن حدود 2098.7 بوده و از روند افقی برخوردار می باشد، هر دو پیزومتر دارای روند ثابتی می باشند. نمودار تغییرات آنها در شکل ۴-۲۶ نشان داده شده است.

۴-۷-۵- نشست سنج ها

در این مقطع دو عدد نشست سنج با کدهای INC-6 در هسته و INC-7 در قسمت پوسته پایین دست نصب شده اند. همانطوریکه از نمودارهای مربوطه مشخص است (شکل ۴-۲۷ و ۴-۲۸). حداکثر نشست و با غیر ثابت فرض کردن مگنت پایه حدود 75cm و بعد از حذف خطای نقشه برداری و ثابت فرض کردن مگنت پایه در مصالح هسته حدود 65cm تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۶ می باشد. در مصالح پوسته اطراف INC-7 حدود 95-105 سانتیمتر در بین ترازهای 2096 تا 2099 می باشد. نشست زیاد ما بین دو قرائت در مگنت های نصب شده در تراز بالا در INC-7 احتمالاً به دلیل تراکم نامطلوب و یا ایجاد شرایط اشباع کامل و باشد.

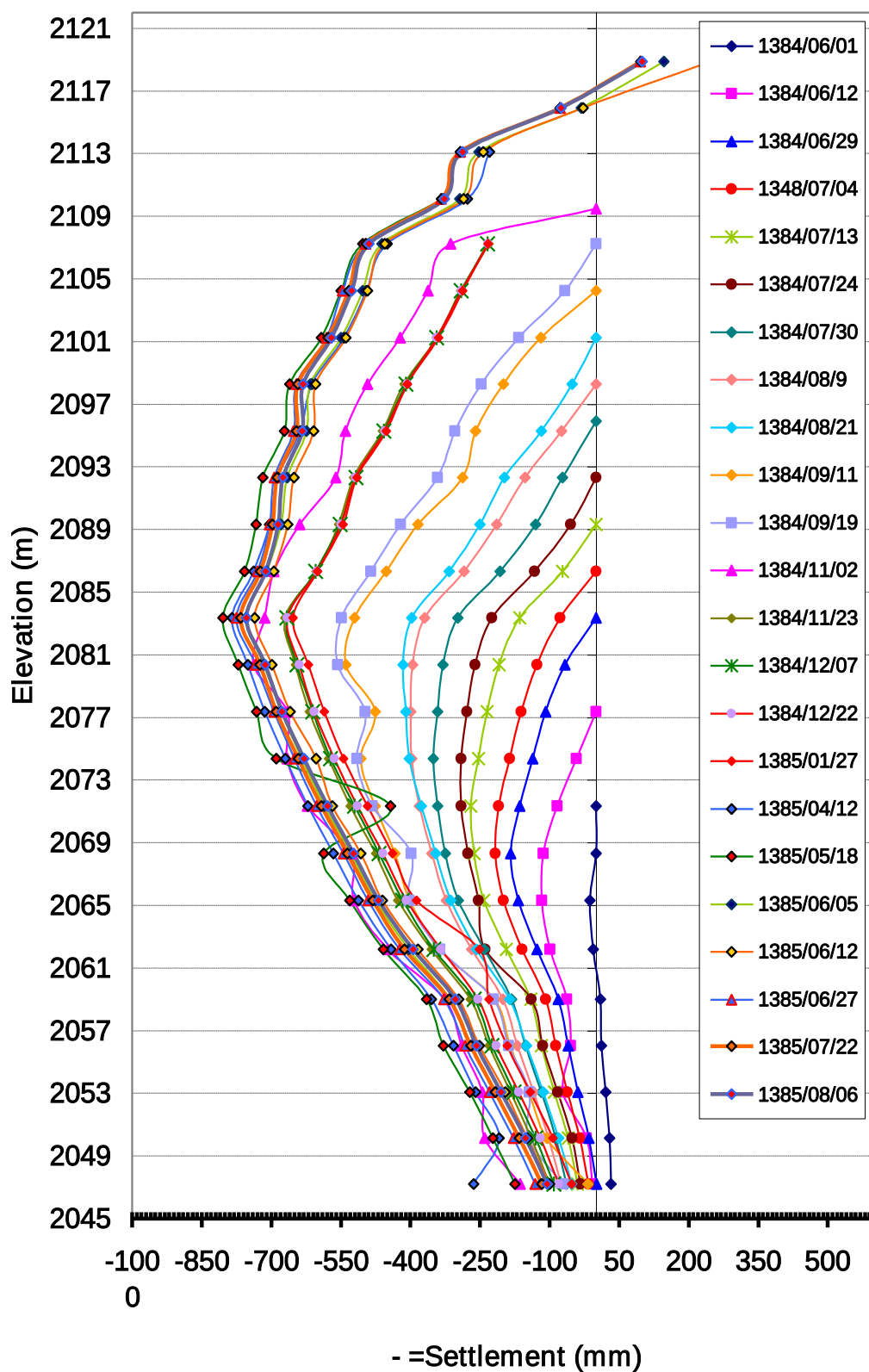


شکل ۴-۲۶- نمودار تغییرات فشار منفذی ابزار EPC39 - EPC40 و تراز خاکریز بر حسب زمان

۴-۷-۶- انحراف سنج ها

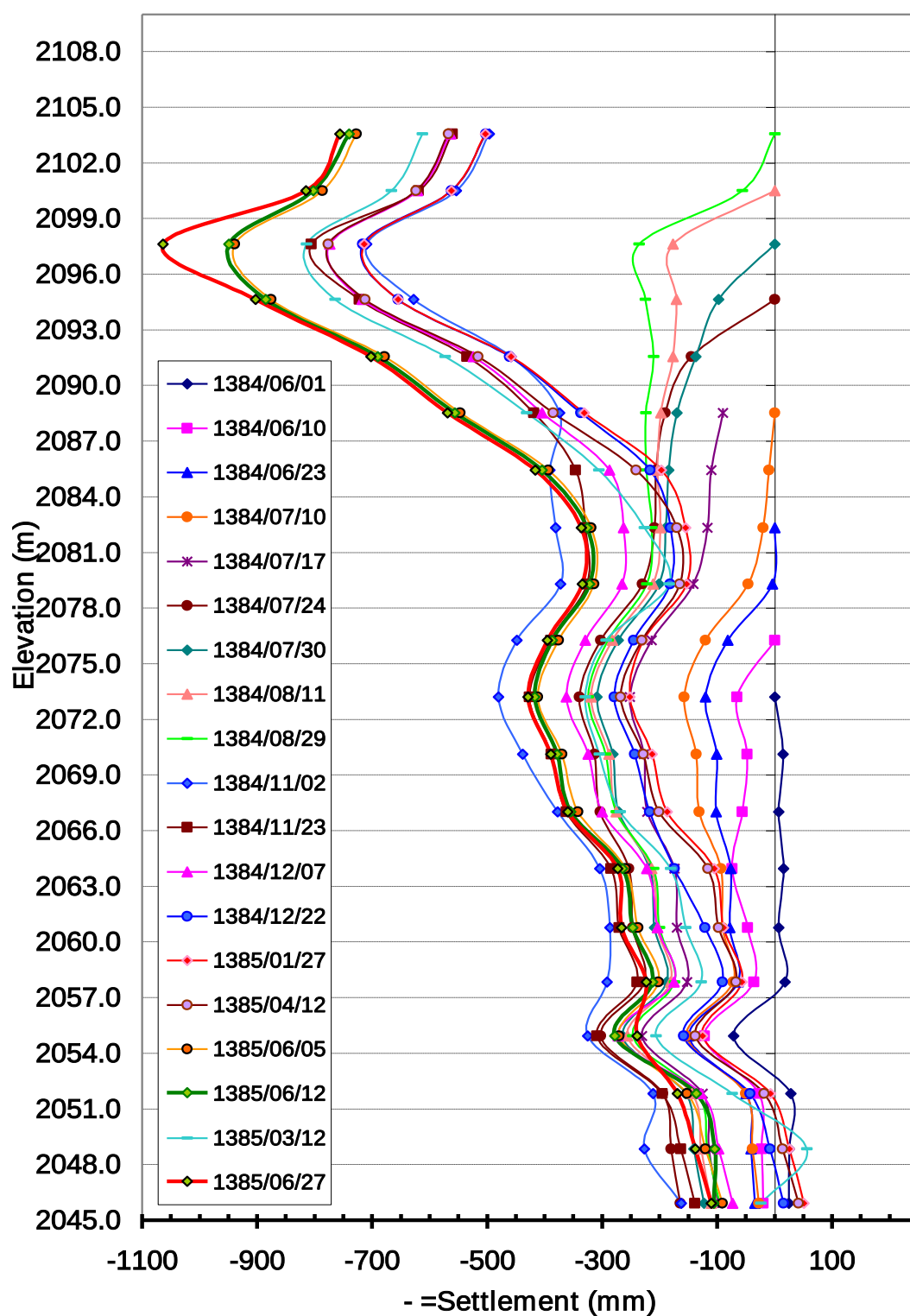
قرائت مبنای INC6 قبل از آبیگری یعنی ۱۳۸۴/۱۰/۳۰ بوده است. در آخرین قرائت پردازش شده جابجایی حداکثر در عمق حدود ۵۸ متری به مقدار ۴ سانتیمتر ایجاد شده و در عمق ۳۶ متری مجدداً مقدار آن به حدود ۲ سانتیمتر رسیده است. قرائت های اخیر انجام شده در ماه های ۵ و ۱۰ میلادی متأسفانه از روند منطقی برخوردار نبوده و از تحلیل ها حذف شده است. (بدلیل اینکه جابجایی در حدود ۳ متر در تراز فوقانی

نشان می دهند که از عمق حدود ۳۸ متری شروع می شود و در سطح زمین به حداکثر می رسد. در صورت وجود چنین تغییرشکلی بایستی آثار آن به صورت ترک و شکاف در سطح نمایان گردد). ولی قرائت مبنای INC7 قبل از آبگیری یعنی ۱۳۸۴/۱۱/۱۳ بوده است.



شکل ۴-۲۷- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی ابزار INC - 6 با انتقال تراز از سر لوله با فرض ثابت نبودن

تراز مگنت مبنا



شکل ۴-۲۸- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی ابزار INC - 7 با انتقال تراز از سر لوله با فرض ثابت نبودن

تراز مگنت مینا

۴-۷-۷- پیزومترهای کاساگرانده

۴-۷-۷-۱- پیزومترهای کاساگرانده تراز 2050

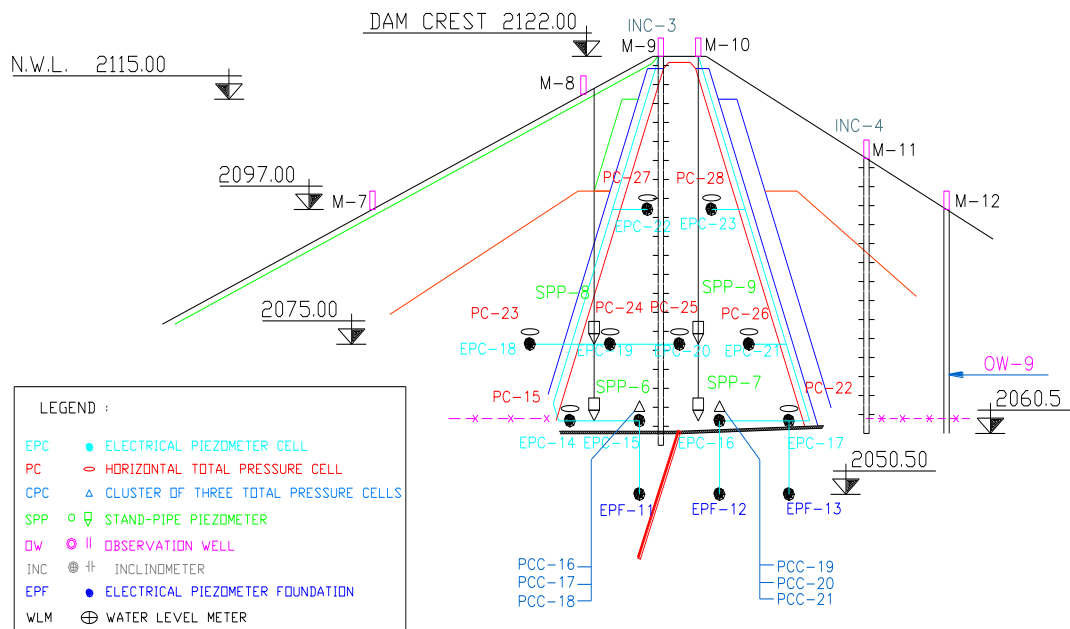
در این تراز دو عدد پیزومتر با کدهای SPP-16(U/S) و SPP-17(D/S) نصب شده اند که این ابزارها بعد از نصب افزایش فشار ثبت کرده اند به طوریکه با گذشت زمانی در حدود ۳ تا ۵ ماه (۸۴/۰۹/۰۹ و ۸۴/۱۱/۱۶)، حداکثر مقدار آب در لوله ها ثبت شده است. (SPP-17(53.6m) و SPP-16(52.3m) بعد از این زمان داده های ثبت شده نشان دهنده روند نسبتاً نزولی بوده سپس در خرداد ماه ۱۳۸۵ مجدداً افزایش تراز آب در پیزومترها مشاهده شده است. روند کنونی ابزار SPP-16 تقریباً به حالت افقی و ثابت رسیده است. نکته قابل ملاحظه در خصوص پیزومتر SPP-17 این است که در تاریخ ۸۵/۰۳/۲۰ دارای حدود 39.3 متر آب بوده است.

۴-۷-۷-۲- پیزومترهای کاساگرانده تراز 2075

در این تراز پیزومتر SPP-18 در بالا دست و SPP-19 در پائین دست نصب شده اند که هر دو ابزار قبل از آگیری خشک بوده و هیچگونه گرفتگی در آنها اعلام نشده است. پیزومتر SPP-18 از تاریخ ۸۴/۱۲/۲۴ دارای آب شده و با روند نسبتاً شدیدی افزایش داشته و در حال حاضر از روند افقی برخوردار می باشد و در آخرین قرائت (۸۵/۰۸/۰۷) در حدود ۲۴ متر آب دارد. SPP-19 با توجه به اینکه تقریباً در وسط هسته نصب شده تا تاریخ ۸۵/۰۱/۲۳ بدون آب و خشک بوده است. در تاریخ ۸۵/۰۲/۲۳ دارای ۱۹ متر آب شده و سپس در ۸۵/۰۳/۲۰ این مقدار به ۱۴/۲ متر رسیده و در قرائت بعدی (که به فاصله زمانی دو ماه می باشد) در تاریخ ۸۵/۰۵/۲۱، نتایج قرائت حاکی از خشک بودن این ابزار می باشد و این موضوع تا تاریخ ۸۵/۰۶/۲۹ ادامه داشته سپس در تاریخ ۸۵/۰۷/۰۶ (یک هفته بعد) دارای 17.8 متر آب شده است و در حال حاضر نیز حدود 18 متر آب دارد.

۴-۸- ابزارهای مورد استفاده در مقطع (20-20)

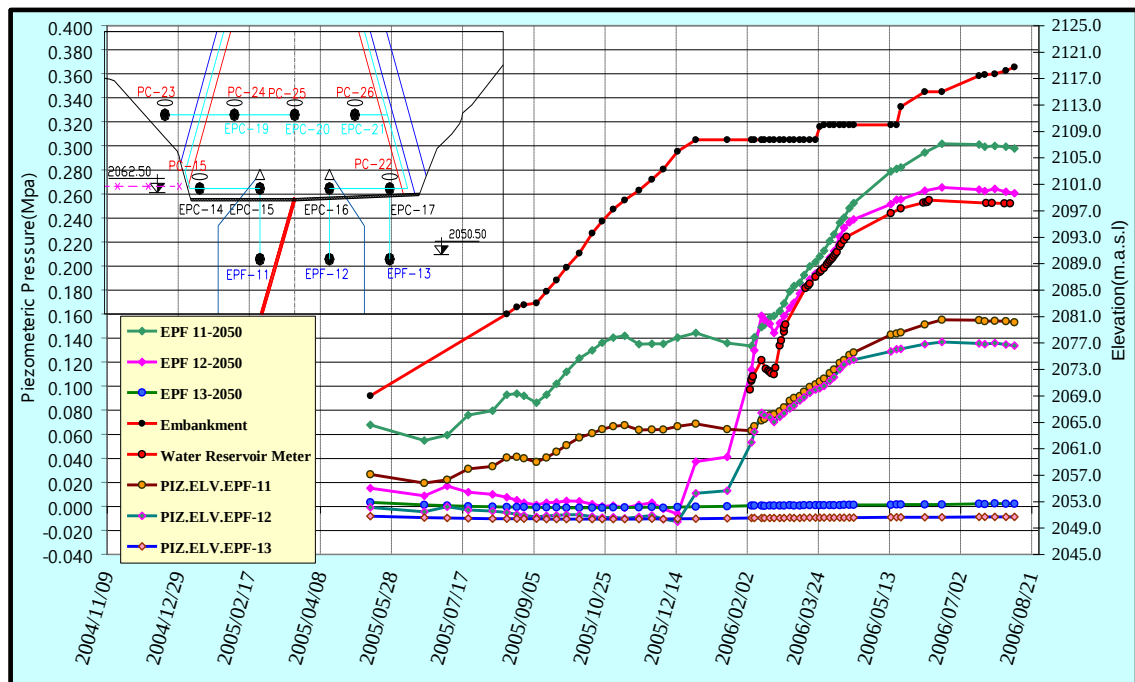
در این مقطع در چهار تراز 2050.50، 2062.50، 2075 و 2097 در خاکریز بدنه ابزارهای فشارسنج کل، پیزومترهای الکتریکی و پیزومترهای کاساگرانده نصب شده اند. همچنین در تراز 2050 فونداسیون در طرفین پرده آب بند پیزومترهای الکتریکی نصب شده است که چگونگی تغییرات آنها در ادامه ارائه می گردد. کل ابزار نصب شده در این مقطع عبارتند از ۲۷ پیزومتر تار مرتعش شامل (پیزومتر الکتریکی پی، پیزومتر الکتریکی بدنه و سلول فشار کل)، دو انحراف سنج و نشست سنج به نامهای INC3 (روی تاج و طرف بالا دست واقع است) و INC4 (روی بدنه و طرف پوسته پایین دست واقع است)، ۴ پیزومتر کاساگرانده بنامهای SPP6 و SPP8 در بدنه بالا دست) و (SPP7 و SPP9 طرف پایین دست و روی تاج) واقع است (شکل ۴-۲۹). در این مقطع به دلیل محدودیت حجم پایان نامه از آوردن برخی از داده ها و گرافها صرف نظر شده است.



شکل ۴-۲۹- مقطع عرضی 20-20

پیزومترهای پی

در این تراز سه پیزومتر الکتریکی پی نصب شده است که پیزومتر EPF-11 در بالا دست پرده آب بند بوده و نسبت به پیزومترهای پائین دست پرده آب بند دارای روند صعودی فشار می‌باشد که قبل از آگیری دارای روندی کم و بیش ثابت بوده است. آنچه که در گزارش اخیر مورد توجه است تطابق فشار پیزومترهای EPF-11 و EPF-12 بوده که یکی در بالا دست و دیگری در پایین دست پرده آب بند نصب شده اند و هر دو بعد از گذشت زمان و پیشرفت آگیری تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۲ بطور هماهنگ با آگیری مخزن فشار فزاینده ای ثبت کرده اند. لازم بذکر می‌باشد که پیزومتر EPF-13 که به فاصله حدود ۱۰ متر از EPF-12 نصب شده تا کنون فشار خاصی را نشان نداده است (حدود 0.2m آب فشار گرفته است). بالا بودن فشار پیزومتر میانی پایین دست پرده آب بند (EPF-12) قابل تأمل بوده و شاید به دلیل عملکرد نا مناسب و غیر موثر المان آب بند در آن منطقه باشد بررسی علت جامع و کامل این رفتار مستلزم مطالعه دقیق گزارشات ژئوتکنیک مهندسی ساختگاه و همچنین جزئیات پرده آب بند اجرا شده می‌باشد (شکل ۴-۳۰).



شکل ۴-۳۰- نمودار تغییرات پیزومترهای الکتریکی فونداسیون و تراز آب مخزن بر حسب زمان

۴-۸-۲- ابزارهای تراز 2062.5

۴-۸-۲-۱- پیزومترهای خاکریز

در این مقطع چهار پیزومتر و فشار سنج های مربوطه نصب شده اند، پیزومتر نزدیک فیلتر بالادست (EPC-14) متناسب با آبگیری مخزن شروع به فشار گیری کرده و نمودار تغییرات آن دقیقاً منطبق بر تغییرات تراز مخزن بوده است، همچنین پیزومتر EPC-15 نیز روند افزایش فشار داشته به طوریکه فشار آن با پیزومتر EPC-14 یکسان شده است. لازم به ذکر می باشد که این دو پیزومتر تراز فشاری را نشان می دهند که حدود 3-4 متر بیشتر از تراز پیزومتریک محاسبه شده توسط سنسور تعیین سطح تراز دریاچه می باشد. علت این امر را می توان در محدوده دقت پیزومتر (که حدود 0.5% محدوده کاری سنسور بوده و معادل 80cm آب می باشد) و همچنین خطا در تراز نصب سنسورها می باشد. همچنین پیزومتر EPC-16 دارای تراز پیزومتریک معادل 2076 (تاریخ ۸۵/۰۵/۱۵) بوده در صورتیکه سنسور سطح دریاچه دارای تراز پیزومتریک 2098 می باشد (معادل 49.7% فشار هیدرواستاتیک دریاچه می باشد). همچنین چنانچه تراز نصب 2062 را برای این پیزومترها در نظر بگیریم معادل 38.8% ستون آب روی این مقطع را نشان می دهد. پیزومتر EPC17 که در سمت پایین دست نصب شده است نسبت به پیزومترهای دیگر این مقطع فشار قابل ملاحظه ای را نشان نداده است. شایان ذکر میباشد پس از رسیدن آب به تراز نصب این سنسورها واکنش پیزومتر بالا دست EPC 14 و پیزومتر میانی خاکریز EPC-15 تقریباً همزمان بوده و لیکن در خصوص پیزومتر میانی پائین دست هسته EPC-16 این روند هم با تأخیر زمانی مواجه بوده و هم با آهنگ کم صورت پذیرفته بطوریکه افت فشار به وضوح در این پیزومتر مشاهده می شود. نکته قابل توجه در بررسی نسبت تنش های افقی در این دو پیزومتر میانی می باشد. نسبت تنش های اندازه گیری شده افقی (در جهت بالادست، پائین دست و تکیه گاه ها) به قائم در محل پیزومتر EPC-15 حدود ۰/۹ و در محل پیزومتر EPC-16 حدود ۰/۵ می باشد.

۴-۸-۲- فشار سنج های کل

قبل از آبیگری همزمان با پیشرفت و رشد تراز خاکریز تمام فشار سنج ها افزایش فشار متناسب با خاکریزی را نشان می دهند. در بین فشار سنج های این تراز، فشار سنج PC-15 روند متمایزی از دیگر فشار سنج ها دارد. که با توجه به بررسیهای به عمل آمده این فشار سنج در ابتدای نصب و قرائت دارای ضریب قوس زدگی 1.4 بوده که در قرائت آخر آن (۸۵/۰۸/۰۲) به مقدار 0.98 کاهش یافته است روند تغییرات این فشار سنج منطقی بوده و لیکن دیگر فشارسنج های این تراز فشار روباره خود را کمی کمتر از آنچه که می باشد نشان می دهند. بعد از آبیگری، فشار سنج های نصب شده در بالادست افزایش فشار به خاطر وزن آب دریاچه را تا حدودی ثبت نموده اند که این موضوع در فشار سنج PC-17 به طور خیلی واضح دیده می شود. به هر حال این روند بایستی با قرائت های آتی بدقت بررسی گردد. نکته قابل توجه کاهش اولیه فشار، در فشار سنج های بالادست می باشد که در فشار سنج PC-15 که در نزدیکی فیلتر بالادست می باشد به خوبی مشاهده می شود. افزایش اولیه فشار در این سلول و کاهش آن در یک برهه زمانی و افزایش مجدد فشار آن شاید بر اثر تحکیم اولیه و سپس اشباع کامل (غرقاب شدن مصالح) و از بین رفتن یا کاهش نیروی کاهنده غوطه وری آب باشد.

۴-۸-۲-۳- نسبت تنش های افقی به قائم

با توجه به داده های جمع آوری شده از قرائت فشار سنج های سه تایی (خوشه ای) می توان نسبت تنش های افقی به قائم (با در نظر گرفتن تنش اصلی در جهت قائم) را محاسبه نمود که این پارامتر عامل مهمی در آنالیز پایداری و ارزیابی ایمنی سازه می باشد. برای محاسبه نسبت تنش ها ابتدا نسبت حاصل از تنش های ثبت شده توسط فشار سنج محاسبه گردیده است. همچنین نسبت حاصل از فشار افقی اندازه گیری شده توسط سلولها به وزن روباره (vh) نیز محاسبه و ارائه شده است با شروع آبیگری این نسبتها روند افزایشی گرفته اند. مخصوصاً در سلولهای نزدیک بالادست این موضوع بیشتر مشاهده می شود. وجود فشار هیدرواستاتیکی آب دریاچه می تواند یکی از عوامل اصلی این افزایش باشد.

۴-۸-۲-۴- نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی

بعد از آبیگری متناسب با تغییرات فشار منفذی در پیزومترهای بالادست با افزایش RU مواجه هستیم که بایستی این روند با قرائت های بعدی بدقت بررسی گردد. حداکثر RU ثبت شده در این مقطع حدود 0.37 بوده

که مربوط به پیزومتر EPC-15 می‌باشد. تا تاریخ ۸۵/۵/۱۸ روند تغییرات این پارامتر تقریباً ثابت و افقی می‌باشد.

۴-۸-۳- ابزارهای تراز 2075

۴-۸-۳-۱- پیزومترها

در این تراز چهار پیزومتر الکتریکی نصب شده است. بعد از آبیگری فشار در پیزومتر EPC-18 و EPC-19 همانند تراز آب دریاچه افزایش پیدا کرده است (بدون افت پتانسیل قابل ملاحظه). بدلیل نصب EPC-18 در مواد راندم فیل این پدیده دور از انتظار نمی‌باشد. ولیکن در خصوص سنسور EPC-19 که در هسته (GC) نصب شده است این پدیده حداقل در این فاصله زمانی کوتاه مورد انتظار نبوده است (البته در این خصوص طراحان محترم دلایل مستندتری می‌توانند ارائه دهند).

۴-۸-۳-۲- فشار سنج های کل

در این تراز چهار عدد ابزار اندازه گیری تنش کل نصب شده است که تا قبل از آبیگری با یک روند بسیار هماهنگ و مورد انتظار در حال فشارگیری بوده اند. همزمان و بلافاصله پس از آبیگری و رسیدن آب دریاچه به تراز 2075، ابزار PC-23 از روند صعودی شدیدی برخوردار شده است (حدود 200 Kpa افزایش ثبت شده) در حالیکه فشار سنج PC-24 که در هسته نصب شده است کاهش فشار نشان داده است. در کل از زمان رسیدن آب به تراز نصب 2075 تغییرات حاصل در شرایط پیزومتریک و فشارهای ثبت شده حدود سه هفته به لحاظ زمانی طول کشیده است، سپس روند نسبتاً یکنواختی به خود گرفته اند. شاید این موضوع در اثر بارگذاری وزن آب بالادست و سپس اشباع و غرقاب شدن محیط بالادست (پوسته) باشد. البته اثر انتقال بار به پوسته را نبایستی نادیده گرفت.

۴-۸-۳-۳- نمودار تغییرات ضریب فشار منفذی (Ru)

همزمان با رشد فشار منفذی بعد از آبیگری مقدار Ru برای پیزومترهای این تراز تغییر کرده و حداکثر حدود 0.3 بوده که مربوط به EPC-18 در پوسته بالادست و EPC-19 در هسته می باشد. در مورد پیزومتر EPC-20 که در مرکز هسته نصب شده است Ru آن حدود 0.2 ثبت شده و تا تاریخ (۸۵/۰۸/۰۲) کلیه پیزومترها از روند تقریباً ثابت و افقی برخوردار شده اند.

۴-۸-۴- ابزارهای تراز 2097

۴-۸-۴-۱- فشار سنج های کل

در این مقطع دو عدد فشار سنج و پیزومترهای مربوطه نصب شده اند. نکته قابل ملاحظه کاهش نسبی فشار در سلول PC-27 و افزایش مجدد آن میباشد. این موضوع که در دیگر مقاطع و در همین تراز مشاهده می شود همزمان با شرایطی بوده است که تراز آب به تراز نصب سنسورها نزدیک شده که در این حالت کاهش فشاری در سلول بالادست رخ داده که این تغییرات حدود 0.04 مگا پاسکال می شود. سپس با رسیدن به تراز آب به 2097 و غرقاب شدن سنسورها (پیزومترهای مربوطه این موضوع را تأیید می کنند) افزایش فشار در سلولها رخ داده است. البته مجدداً روند کاهش و افزایشی در سلول PC-28 که پائین دست نصب شده نیز وجود دارد که مقدار آن حدود 0.03 مگاپاسکال بوده و با فاصله زمانی حدود یک ماه اتفاق افتاده است که درست منطبق بر رسیدن تراز آب مخزن به تراز نصب (2097) می باشد.

۴-۸-۴-۲- پیزومترهای خاکریز

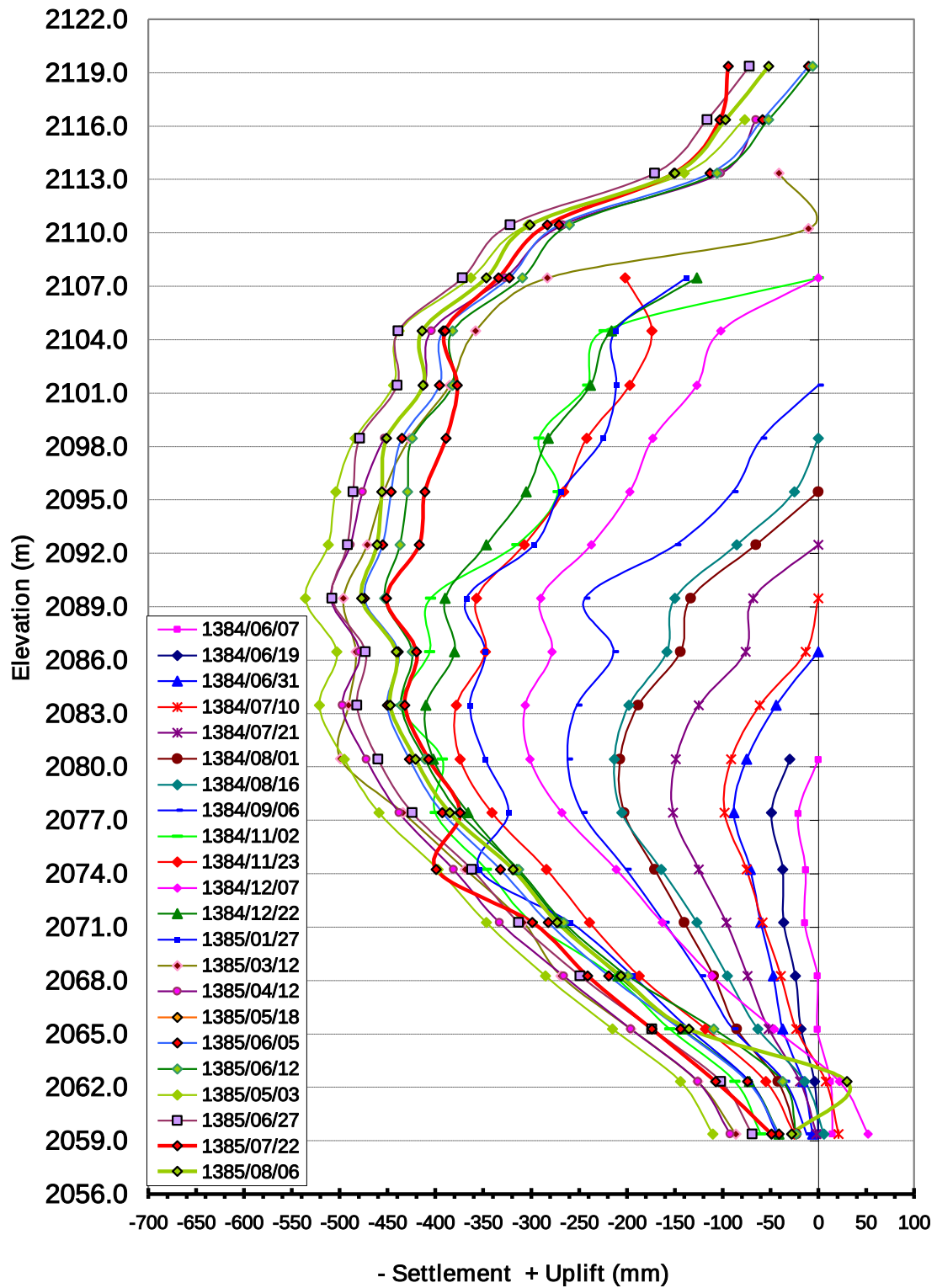
این پیزومترها در اثر خاکریزی و تراکم محیط اطراف خود فشار خاصی را نشان نداده اند و لیکن در دوره اخیر با توجه به بالا آمدن تراز آب مخزن (2098.8) پیزومتر EPC-22 که در بالا دست نصب شده است افزایش شدید (ناگهانی) فشار نشان می دهد که حدود ۱ متر آب می باشد. پیزومتر پائین دست هنوز فشار خاصی را ثبت نکرده است.

۴-۸-۵- نشست سنج های مغناطیسی

در این مقطع دو عدد انحراف سنج و نشست سنج های مغناطیسی مربوطه با کدهای INC-3 در هسته و INC-4 در پوسته پایین دست نصب شده است. که در نمودارهای مربوطه میزان تغییرات و نشست ثبت شده در اعماق مختلف خاکریز نشان داده شده است (شکل ۴-۳۱ و ۴-۳۲). با توجه به اینکه جابجائی مگنت پایه با وجود سنگ بستر در مقایسه با نشست خاکریز ناچیز بوده و همچنین به علت وجود خطا در تعیین تراز سر لوله، محاسبات نشست با دو فرض ثابت و غیر ثابت بودن مگنت مرجع انجام و ارائه شده است. تا تاریخ (۸۵/۰۸/۰۶) نشست حداکثر در هسته حدود ۴۶ سانتیمتر اندازه گیری شده است، و نشست در پوسته پائین دست حدود ۷۵ سانتیمتر می باشد که در تراز فوقانی اتفاق افتاده است. لازم به ذکر می باشد با توجه به خطرات متعدد پرتاب سنگ های پوسته پائین دست در هنگام قرائت ابزارهای منصوبه تا تامین ایمنی مکان های مربوطه قرائت ابزارهای پوسته پائین دست انجام نمی گردد. به هر حال نشست در ترازهای بالا و در نزدیکی سطح خاکریز انحراف سنج INC-4 بدلیل تغییر مصالح، در صد تراکم، اشباع و می تواند باشد. بعد از آبدگیری نشست قابل ملاحظه ای در مگنت ها مشاهده نمی گردد. این موضوع می تواند به خاطر توقف خاکریزی در فصل بارش و همچنین نشست های زمان ساخت باشد.

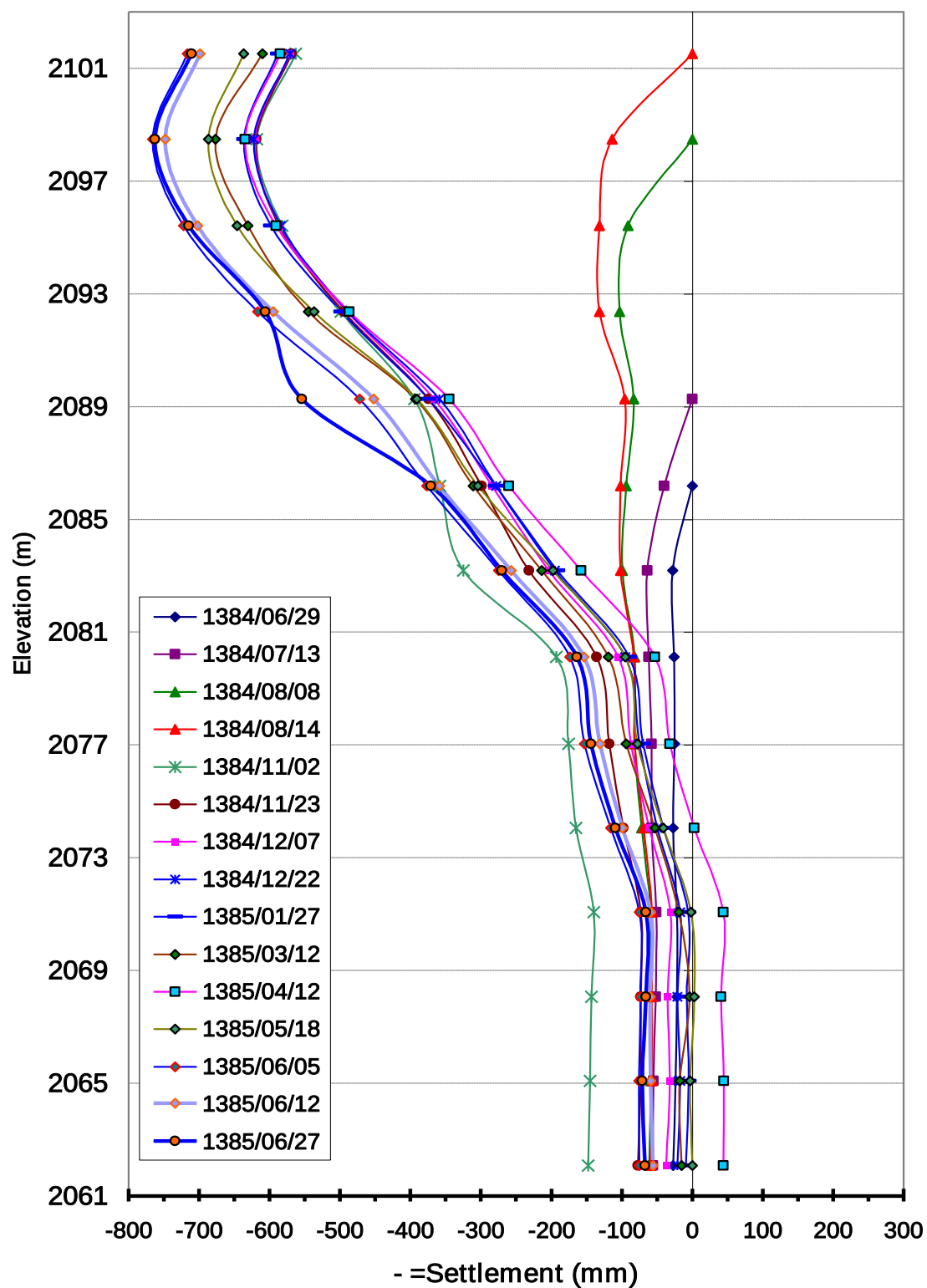
۴-۸-۶- پیزومترهای کاساگرانده

از دو عدد پیزومتر کاساگرانده نصب شده در تراز SPP-7 (D/S) 2062 و SPP-6 (U/S) هر دو دارای آب بوده و تا آخرین قرائت انجام شده (۸۵/۰۸/۰۷) پیزومتر SPP-6 که در سمت بالا دست می باشد، حدود 36.5 متر آب داشته و پیزومتر SPP-7 تا تاریخ (۸۵/۰۸/۰۴) دارای 28.72 متر آب می باشد. همچنین در تراز 2075 دو عدد پیزومتر کاساگرانده با کدهای SPP-9 (D/S) و SPP-8 (U/S) نصب شده که SPP-9 دارای 15.2 متر و SPP-8، 24 متر آب دارند.



شکل ۴-۳۱- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی ابزار INC-3 با انتقال تراز از سر لوله با فرض ثابت نبودن

تراز مگنت مبنا



شکل ۴-۳۲- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی ابزار INC - 4 با انتقال تراز از سر لوله با فرض ثابت نبودن

تراز مگنت مبنا

۴-۸-۷- انحراف سنج ها

در این مقطع دو عدد انحراف سنج با کدهای INC-3 در هسته و INC-4 در پوسته پایین دست نصب شده است که قبل از آگیری و بعد از آن قرائت های انحراف سنجی آنها بطور کامل انجام شده است.

- تغییر شکل INC-3

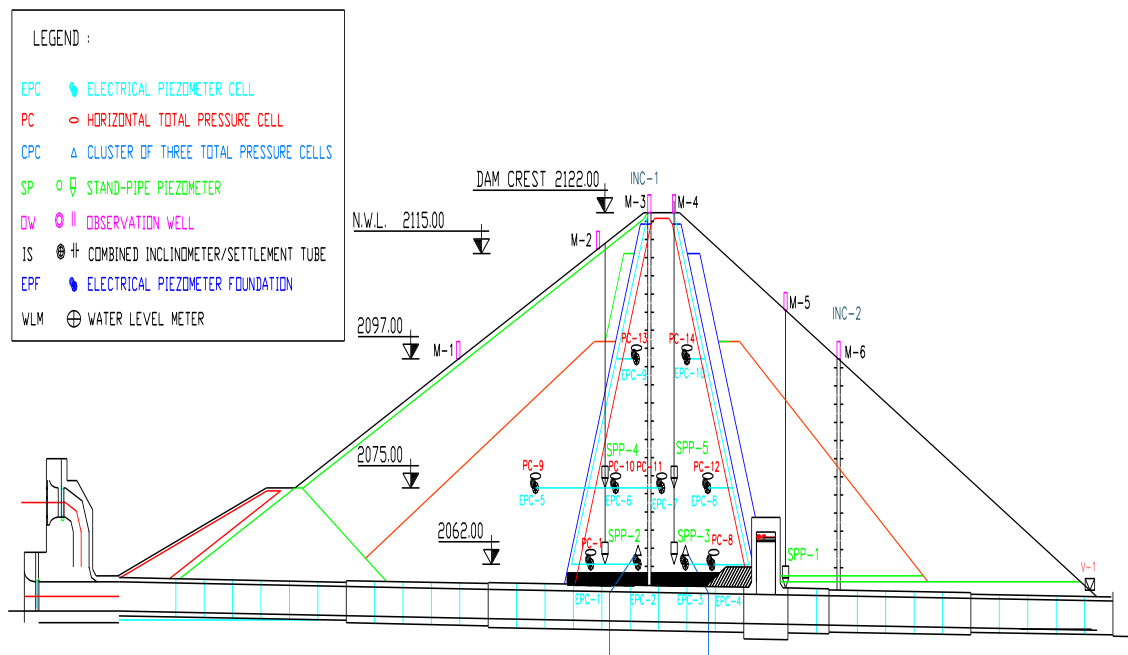
قرائت مبنای این نمودارها قبل از آگیری یعنی 20/01/2006 بوده است. جابجایی های حاصل شده با گذشت زمان از روند منطقی برخوردار بوده و نشان دهنده وجود حداکثر تغییر شکل ها در دو عمق مختلف به شرح زیر می باشد: حدود ۷۰ سانتیمتر در عمق ۲۶ متری در جهت شرق و حدود ۸۰ سانتیمتر در عمق ۱۰ متری در جهت شمال، روند تغییرشکلها با قرائت های آتی و افزایش آنها مشخص تر خواهد بود. آنچه نمایان است افزایش میزان جابجایی در سطح می باشد (از عمق به سطح جابجایی افزایش یافته است).

- تغییر شکل INC-4

قرائت مبنای این نمودارها قبل از آگیری یعنی 20/01/2006 بوده است. مطابق نمودار حاصله مقدار جابجایی از عمق ۱۵ متری افزایش چشمگیری داشته و در تراز فوقانی حداکثر به ۱۷ سانتیمتر میرسد.

۴-۹- ابزارهای مورد استفاده در مقطع کالورت

در این مقطع در سه تراز 2062.5، 2075 و 2097 ابزارهای لازم جهت بررسی و رفتارنگاری سازه نصب شده اند، کل ابزار نصب شده در این مقطع عبارتند از ۲۴ پیزومتر تار مرتعش شامل (پیزومتر الکتریکی پی، پیزومتر الکتریکی بدنه و سلول فشار کل)، دو انحراف سنج و نشست سنج بنامهای INC1 (روی تاج و طرف بالا دست واقع است) و INC2 (روی بدنه و طرف پایین دست واقع است)، پنج پیزومتر کاساگرانده بنامهای SPP1، SPP3 و SPP5 در پایین دست و SPP2 و spp4 طرف بالا دست و روی بدنه واقع است (شکل ۴-۳۳)، که در ادامه چگونگی تغییرات آنها ارائه می گردد.



شکل ۴-۳- مقطع عرضی کالورت

۴-۹-۱- ابزارهای تراز 2062.5

۴-۹-۱-۱- پیزومترهای الکتریکی

همزمان با شروع آبدگیری پیزومترهای این تراز خصوصاً پیزومتر EPC-1 که به فیلتر بالادست نزدیکتر می‌باشد واکنش همزمانی با روند آبدگیری مخزن داشته است. بطوریکه با توجه به اطلاعات گردآوری شده در تاریخ ۸۵/۰۸/۰۲ تراز آب مخزن 2098.8 بوده و تراز پیزومتریک سنسور EPC-1 معادل 2098.9 بوده است که تقریباً می‌توان بیان کرد که بطور یکسان به افزایش تراز آب مخزن واکنش نشان داده است (بدون افت پتانسیل خاصی). EPC-2 شرایط مشابه EPC-1 دارد. EPC-3 دارای روند افزایش شدیدی بوده و هم اکنون تراز پیزومتریک معادل 2108 نشان می‌دهد که حدود ۹ متر بیشتر از تراز آب مخزن بوده و علت این امر کاملاً مشخص نمی‌باشد. البته بخشی از آن مربوط به تراز نصب و دقت سنسور می‌باشد، لازم به ذکر می‌باشد که قبل از آبدگیری نیز این پیزومتر دارای فشار منفذی حداکثر بوده است. پیزومتر EPC-4 که در پائین دست قرار دارد تا کنون حدود ۱۰ متر آب (تراز پیزومتریک 2072.3) فشار را ثبت کرده است.

۴-۹-۲- فشار سنج ها

فشار سنج های این تراز در ابتدای آبیگری دچار کاهش نسبی فشار شده اند خصوصاً سلول فشار PC-1 و PCC-2 سپس با گذشت زمان و انجام تحکیمات و نشست های اولیه و توزیع مجدد تنش و از بین رفتن اثر نیروی غرقابی، افزایش فشار نشان داده اند این موضوع با رشد تراز خاکریز از آهنگ بیشتری برخوردار شده است. و لیکن اثر وزن روباره بر PC-1 کمتر بوده است.

۴-۹-۱-۳- نسبت تنش های افقی به قائم

روند افزایش نسبت تنش ها در اولین آبیگری به طور واضح مشخص می باشد. نسبت تنش افقی به h در بالادست حداکثر به 0.52 و در پائین دست به 0.45 می رسد. تا تاریخ ۸۵/۰۸/۲ نسبت تنش ها به وزن روباره در هر دو پوسته حدود 0.41 بوده که می تواند نشان دهنده یکسان بودن شرایط تنش ها در این ناحیه باشد.

۴-۹-۱-۴- تغییرات ضریب فشار منفذی

در این مقطع تغییرات نسبت فشار حفره ای متأثر از فشار آب منفذی تغییر کرده و با شروع آبیگری Ru روند صعودی گرفته و در حدود ۴ ماه پس از آبیگری به حداکثر رسیده سپس با افقی شدن روند افزایش تراز آب مخزن تغییرات Ru نیز سیر افقی به خود گرفته است. حداکثر Ru در این مقطع مربوط به پیزومتر EPC-1 بوده که حدود 0.34 می باشد.

۴-۹-۲- ابزارهای تراز 2075

۴-۹-۲-۱- تغییرات فشار منفذی

در پیزومتر های نصب شده این تراز، نکته قابل ملاحظه ای قبل از آبیگری مشاهده نشده است و لیکن بعد از رسیدن تراز آب مخزن به تراز نصب این ابزارها روند صعودی توسط آنها ثبت شده است بطوریکه در تاریخ ۸۵/۰۸/۰۲ تراز پیزومتریک ابزارهای EPC-5 و EPC-6 با تراز مخزن یکسان است (حدود 0.7m با هم تفاوت دارند) که نشان دهنده نفوذ آب به آن منطقه می باشد. واکنش EPC-5 بدلیل نصب در مصالح پوسته دور از

انتظار نمی‌باشد و لیکن پیزومتر EPC-6 در هسته بوده و انتظار می‌رود دارای افت پتانسیل و تأخیر زمانی قابل ملاحظه‌ای نسبت به تراز سطح دریاچه باشد. از دو پیزومتر دیگر فشار EPC-7 دارای تراز پیزومتریک 2091.8 بوده و EPC-8 در پائین دست فقط دارای فشاری معادل ۲ متر آب می‌باشد.

۴-۹-۲- تغییرات فشار کل

در این تراز سلولهای فشار سنج متناسب با افزایش تراز خاکریز فشار گرفته‌اند. نکته قابل ملاحظه افزایش فشار بیش از حد فشارسنج PC-12 می‌باشد. و احتمالاً این موضوع بدلیل عدم تراکم مناسب مصالح اطراف آن و یا دوران و چرخش صفحه آن و یا وجود مصالح دانه‌ای در تماس با صفحه آن باشد. به هر حال با گذشت زمان و قرائت‌های آتی می‌توان به صحت و سقم فرضیه‌های بالا پی برد. در ابتدای آبدای آبدای فشار سلولها کم شده سپس با گذشت زمان و انجام تحکیم و نشست اولیه و از بین رفتن اثر نیروی بالابری آب، این فشار روند صعودی گرفته است که می‌تواند به دلیل وزن آب دریاچه توأم با وزن روباره باشد.

۴-۹-۳- تغییرات ضریب فشار منفذی

بعد از آبدای پیزومتر EPC-5 و EPC-6 که در مصالح دانه‌ای پوسته و هسته نصب شده‌اند متناسب با افزایش تراز آب مخزن، از روند صعودی برخوردار شده و حداکثر به 0.3 رسیده و سپس روند نسبتاً نزولی گرفته است و در تاریخ (۸۵/۰۸/۰۲) دارای روند افقی می‌باشند.

۴-۹-۳- ابزارهای تراز 2097

۴-۹-۳-۱- فشار سنج ها

در این تراز دو عدد فشار سنج و پیزومترهای مربوطه نصب شده‌اند، در این تراز در دوران توقف خاکریزی فشارسنج پائین دست PC-14 روند نزولی داشته در حالیکه فشارسنج بالادست تقریباً روند صعودی گرفته سپس با شروع خاکریزی و رسیدن آب به تراز نصب این ابزارها روند صعودی در هر دو سنسور ثبت شده است. نکته قابل توجه افزایش ناگهانی در نمودار فشارسنج PC-13 می‌باشد که در ابتدای خاکریزی صورت گرفته و حدود

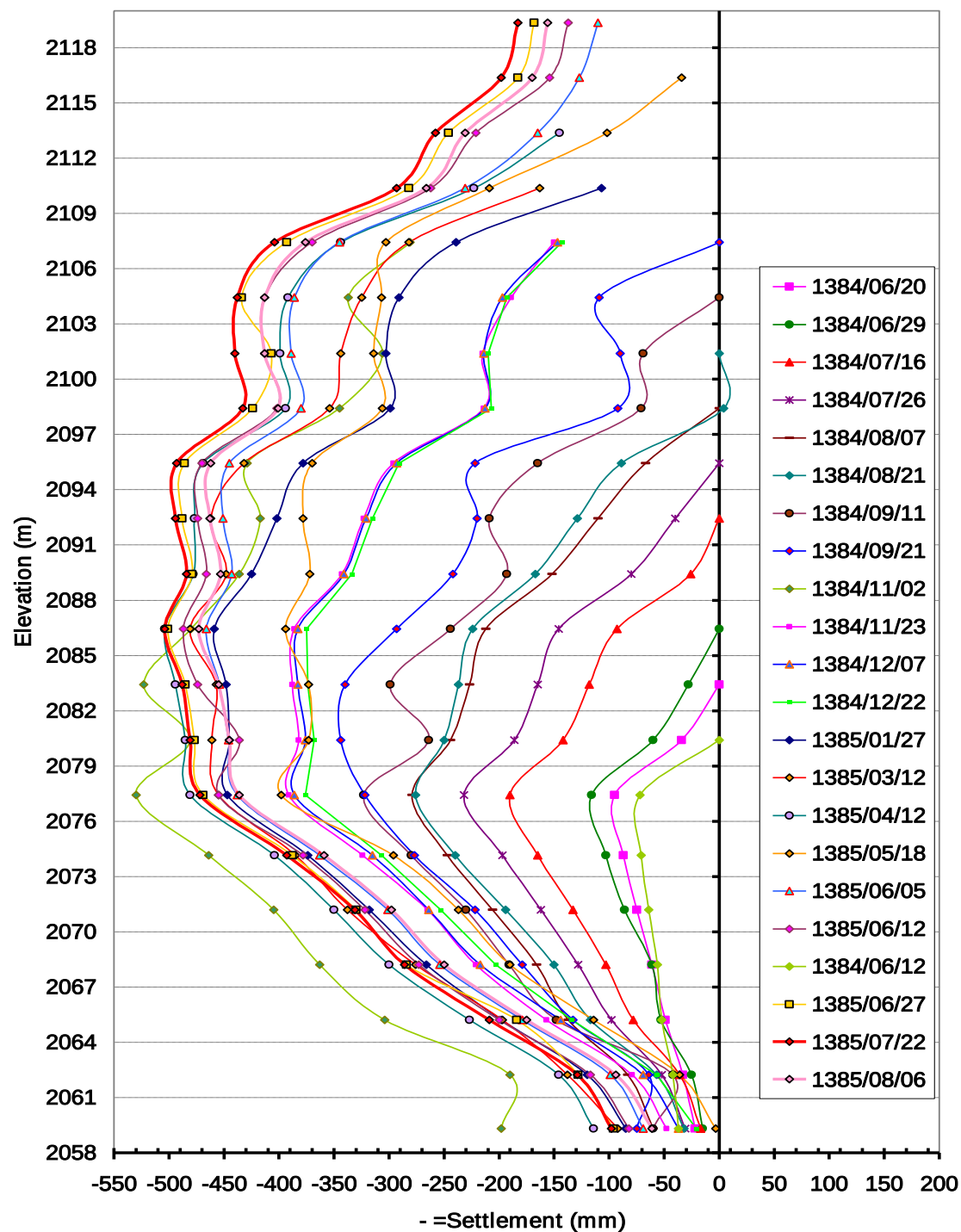
150KPa می باشد که علت آن هنوز مشخص نمی باشد. تا تاریخ (۸۵/۰۸/۰۲)، با اتمام خاکریزی و افقی شدن روند افزایش تراز آب مخزن، هنوز سیر صعودی در هر دو سنسور دیده می شود که با قرائت های آتی این موضوع پیگیری و بررسی خواهد شد. به نظر می رسد هنوز توزیع تنش نهایی در این تراز صورت نگرفته است.

۴-۹-۳-۲- پیزومترهای خاکریز

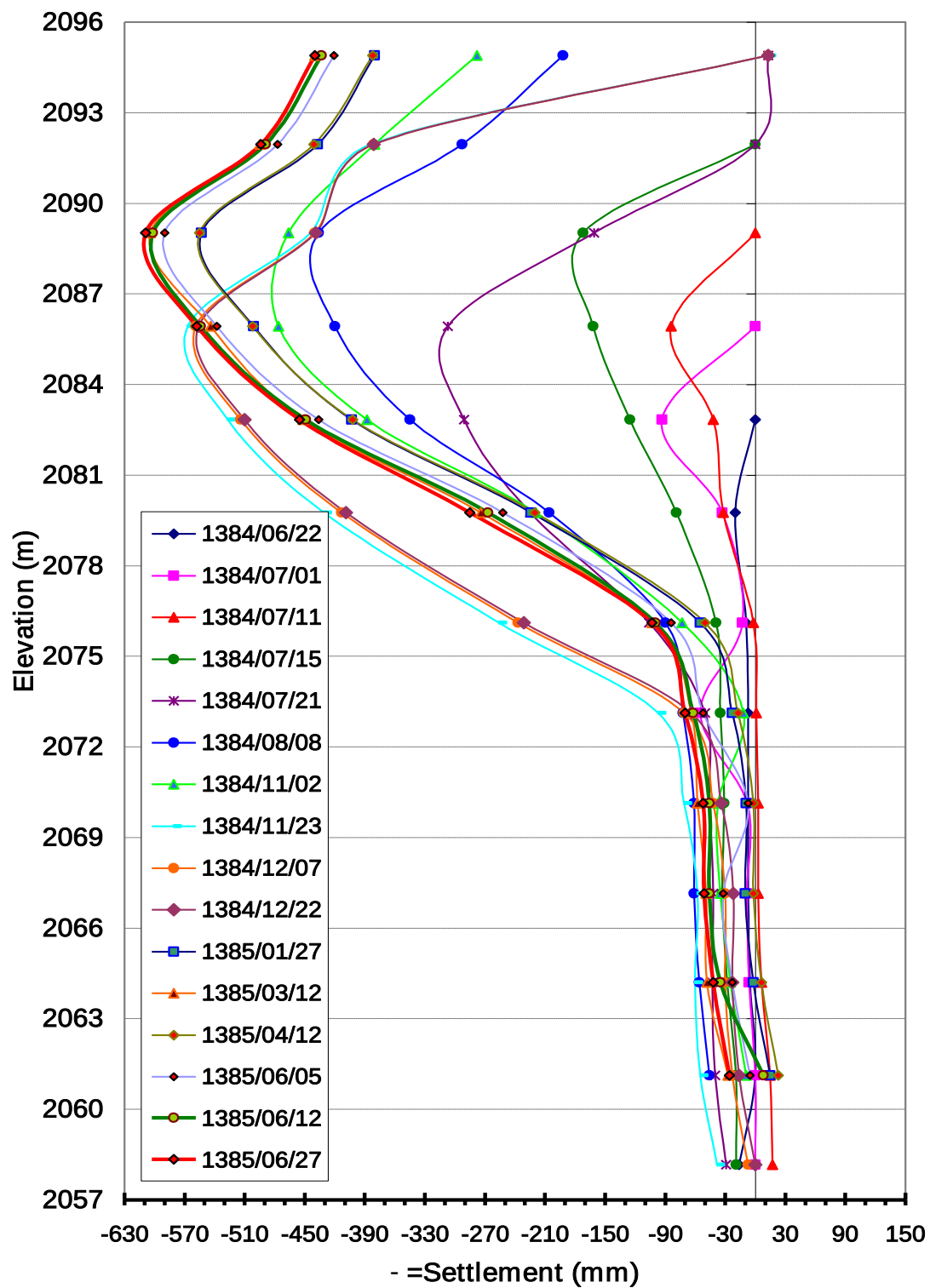
در این تراز دو عدد پیزومتر خاکریز با کدهای EPC-9 در بالادست و EPC-10 در پائین دست محور سد در هسته نصب شده اند که قبل از آبیگری و رسیدن آب به تراز نصب آنها فشار خاصی را نشان نداده اند و لیکن با رسیدن آب مخزن به تراز نصب تغییر روند در این ابزارها مشاهده می شود و در (۸۵/۰۸/۰۲) پیزومتر بالادست حدود ۲ متر فشار آب دارد.

۴-۹-۴- نشست سنج ها

در این مقطع دو عدد نشست سنج با کدهای INC-1 در هسته و INC-2 در پوسته پایین دست نصب شده اند که نشست های ثبت شده توسط بشقابک های مغناطیسی در هر دو نشست سنج در نمودارهای مربوطه نشان داده شده است (شکل ۴-۳۴ و ۴-۳۵). نکته قابل ملاحظه این است که نشست در مصالح اطراف انحراف سنج INC-2 که در پوسته نصب شده است به نسبت بیشتر از نشست در هسته می باشد. که این موضوع شاید بدلیل عدم تراکم مناسب مصالح اطراف این انحراف سنج می باشد. تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۶ حداکثر نشست ثبت شده در هسته حدود ۴۰ سانتیمتر بوده که در تراز 2079 تا 2095 اتفاق افتاده و حداکثر نشست پوسته حدود ۶۰ سانتیمتر می باشد که در تراز 2088 ثبت شده است.



شکل ۴-۳- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی ابزار 1- INC با انتقال تراز از سر لوله با فرض ثابت نبودن تراز مگنت مبنا



شکل ۴-۳۵- نمودار تغییرات نشست سنج مغناطیسی ابزار INC-2 با انتقال تراز از سر لوله با فرض ثابت نبودن

تراز مگنت مبنا

۴-۹-۵- انحراف سنج ها

- تغییر شکل INC-1

قرائت مبنای این نمودارها قبل از آبدگیری یعنی ۱۳۸۴/۱۱/۰۱ بوده است. روند جابجاییها و تغییر شکل های حاصل نشان دهنده افزایش جابجایی از عمق به سطح می باشد (جابجایی حداکثر در تراز فوقانی حدود ۱۵ سانتیمتر می باشد).

- تغییر شکل INC-2

قرائت مبنای این نمودارها قبل از آبدگیری یعنی ۱۳۸۴/۰۹/۲۴ بوده است. مقدار جابجایی از عمق ۲۱ متری افزایش چشمگیری داشته و در تراز فوقانی حداکثر به حدود ۱۳ سانتیمتر می رسد.

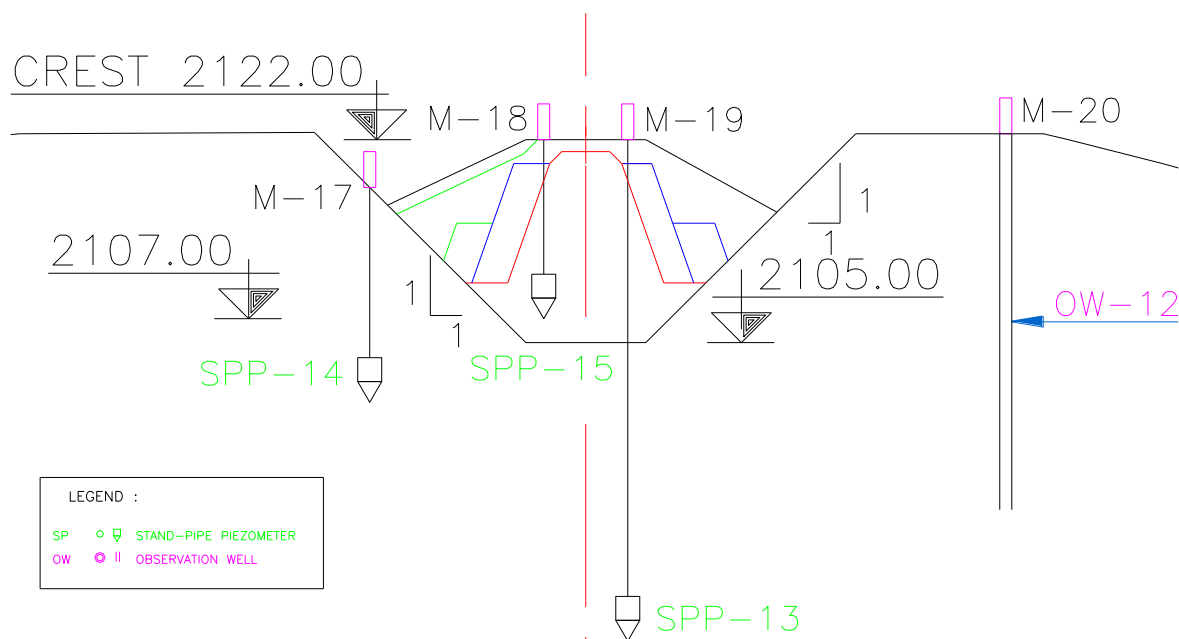
۴-۹-۶- پیزومتر کاساگرانده

پیزومتر کاساگرانده SPP-2(U/S) و SPP-3(D/S) در تراز 2062 نصب شده اند که در تاریخ ۸۵/۰۲/۲۳ SPP-2 دارای حدود ۳۵ متر آب بوده و این مقدار تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۷ با یک روند صعودی نسبتاً یکنواخت به ۳۷ متر رسیده است. همچنین SPP-3 از تاریخ ۸۵/۰۵/۱۵ حدود ۳۲ متر آب گرفته و تا تاریخ (۸۵/۰۸/۰۷) تغییر چشمگیری در ارتفاع آب داخل پیزومتر مشاهده نشده و همچنان حدود ۳۲ متر آب دارد. SPP-1 که در زهکش افقی نصب شده است تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۷ بدون آب میباشد. پیزومترهای SPP-4(U/S) و SPP-5(D/S) در تراز 2075 نصب شده اند که SPP-4 در تاریخ ۸۵/۰۲/۲۳ دارای ۲۲ متر آب شده و تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۷ با یک آهنگ صعودی کم به ۲۴ متر رسیده است. SPP-5 بدون آب می باشد.

۴-۱۰- مقطع ۳۱-۳۱

در این مقطع فقط ابزار SPP نصب شده است و ابزار دیگری وجود ندارد، SPP14 طرف بالا دست و روی پوسته و SPP13 طرف پائین دست روی تاج سد واقع است، شایان ذکر است که SPP15 در طرف بالادست و در هسته طراحی شده بود که بنابه دلایل اجرائی محل این پیزومتر تغییر کرده و به طرف پائین دست روی پوسته منتقل شد. که تا تاریخ ۸۵/۰۸/۱۵ گمانه ای برای نصب آن حفاری نشده بود (شکل ۴-۳۶).

پیزومتر های مذکور در ترازهای 2080 (SPP13) و 2100 (SPP14) نصب شده اند که SPP13 تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۷ دارای حدود ۱۸/۳ متر آب بوده که از زمان نصب (۱۳۸۵/۰۵/۱۵) تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۷ تغییر قابل ملاحظه ای نداشته است. پیزومتر SPP14 نیز دارای حدود ۹ متر آب بوده که در این پیزومتر نیز تغییرات چشمگیری ملاحظه نمی شود.



شکل ۴-۳- مقطع عرضی 31-31

۴-۱۱- نمودار تغییرات مقدار آب چاههای مشاهده ای (OW)

در مجموع ۱۳ عدد چاهک مشاهده ای طراحی شده است که تا تاریخ ۸۵/۰۸/۱۵ ۹ عدد چاهک مشاهده ای به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیر زمینی در مقاطع مختلف نصب شده است که در ادامه توضیح تغییرات سطح آب تمام چاهکهای نصب شده آمده است ولی در این پایان نامه فقط به داده ها و گرافهای دو چاهک (OW12 و OW13) بسنده می شود.

OW3 - ۱-۱۱-۴

این چاهک در تراز 2055 و در پائین دست، نصب شده است و از تاریخ ۸۵/۰۵/۳۰ قرائت شده و دارای حدود ۲۰ متر آب بوده سپس روند نزولی بخود گرفته و لیکن در مورخ ۱۳۸۵/۰۶/۱۱ یک افزایش ناگهانی داشته (بنظر خطاء در قرائت رخ داده) سپس روند نزولی ادامه پیدا کرده و در (۸۵/۰۸/۰۶) تقریباً دارای ۱۳ متر آب می باشد.

OW4 - ۲-۱۱-۴

این ابزار در مقطع 4-4 در تراز 2057.7 و در پائین دست محور سد نصب شده است که از تاریخ ۸۴/۱۱/۰۳ قرائت شده و دارای حدود ۲۰ متر آب بوده پس از آن روند نزولی گرفته و لیکن از تاریخ ۱۳۸۴/۱۲/۷ تا تاریخ ۱۳۸۵/۰۱/۰۶ با کاهش ۱۲ متر آب مواجه شده سپس از تاریخ ۱۳۸۵/۰۱/۱۰ روند افزایشی شروع شده و مدام دارای نوسانات 0.5 متری بوده و در تاریخ ۱۳۸۵/۰۱/۰۶ دارای تقریباً ۸ متر آب می باشد.

OW5 - ۳-۱۱-۴

این ابزار در مقطع 7-7، در تراز 2036.5 و در پائین دست محور سد نصب شده است. از تاریخ ۸۵/۰۶/۰۶ قرائت آن شروع شده که در ابتدا حدود ۲۲ متر آب داشته سپس در تاریخ ۸۵/۰۶/۱۱ دچار کاهش ناگهانی سطح آب (حدود ۵ متر) شده و در مورخ ۸۵/۰۶/۲۰ افزایش شدید (حدود ۶ متر) ثبت گردیده و پس از آن به صورت نوسانی روند نزولی شده و در تاریخ ۱۳۸۵/۰۱/۰۶ دارای تقریباً ۱۵/۷ متر آب می باشد.

OW6 - ۴-۱۱-۴

این ابزار در تراز 2045 و در پائین دست محور سد نصب شده و از ۸۴/۰۶/۳۰ قرائت آن شروع شده که در ابتدا دارای ۳ متر آب بوده و با آگیری دارای روند نسبتاً صعودی بوده و در تاریخ ۸۵/۰۵/۳۰ به مقدار ۹ متر رسیده

است. از این تاریخ به بعد به علت وجود مواد نفتی در درون ابزار فوق که باعث آسیب دیدگی سوند قرائت می گردد امکان قرائت این ابزار وجود ندارد.

OW8 - ۵-۱۱-۴

این ابزار در تراز 2027.96 و در پائین دست محور سد نصب شده و از تاریخ ۸۵/۰۱/۲۰ قرائت آن شروع شده که در ابتدا دارای ۲۷ متر آب بوده و پس از آن نیز دارای روند نسبتاً یکنواختی بوده است. و در تاریخ ۱۳۸۵/۰۱/۰۶ دارای ۲۶/۷ متر آب میباشد.

OW10 - ۶-۱۱-۴

این ابزار در تراز 2065 و در پائین دست محور سد نصب شده و از ۸۵/۰۱/۰۶ قرائت آن شروع شده است که در ابتدا حدود 29.3 متر آب داشته و تغییرات قابل ملاحظه ای در آن رخ نداده سپس در تاریخ ۸۵/۰۴/۲۹ (پس از گذشت ۳ ماه) دچار کاهش ۵ متری تراز آب شده و پس از گذشت زمانی در حدود یک ماه در مورخ ۱۳۸۵/۰۵/۳۰ با آهنگ شدیدی سطح آب حدود 16 متر کاهش داشته و پس از آن دارای روند نزولی نسبتاً یکنواخت شده و در تاریخ ۱۳۸۵/۰۱/۰۶ تقریباً دارای 9 متر آب می باشد.

OW11 - ۷-۱۱-۴

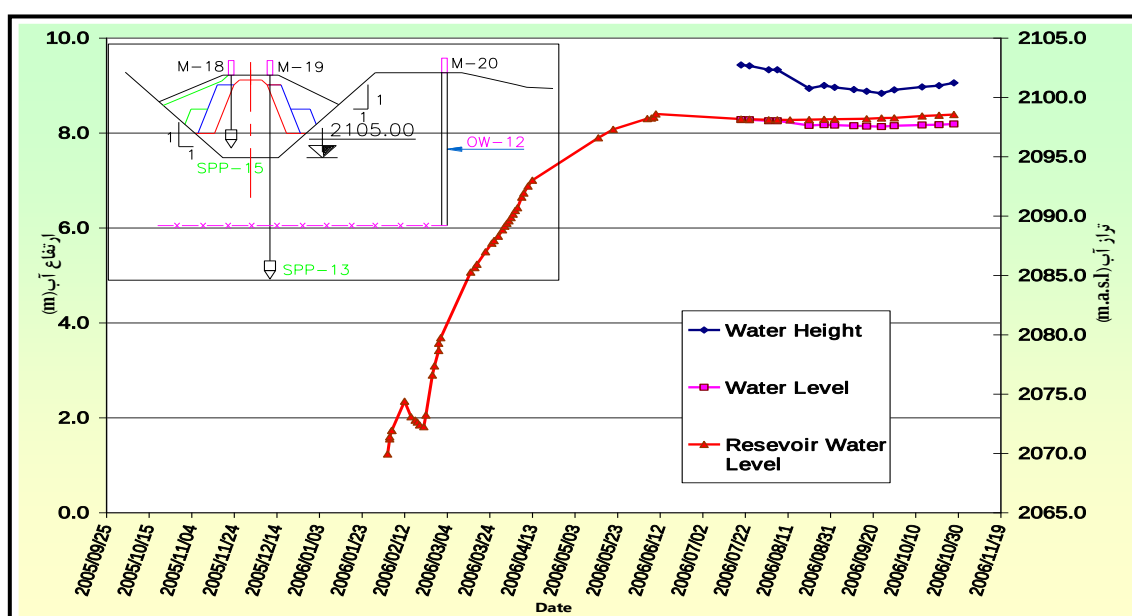
این ابزار در تراز 2074 و در پائین دست محور سد نصب شده و از تاریخ ۸۴/۱۱/۱۲ قرائت آن شروع شده که در ابتدا دارای 20.5 متر آب بوده و پس از آن ارتفاع آب در این پیزومتر بصورت نوسانی سیر نزولی داشته و در تاریخ ۱۳۸۵/۰۱/۰۶ دارای 17.5 متر آب می باشد.

OW12 - ۸-۱۱-۴

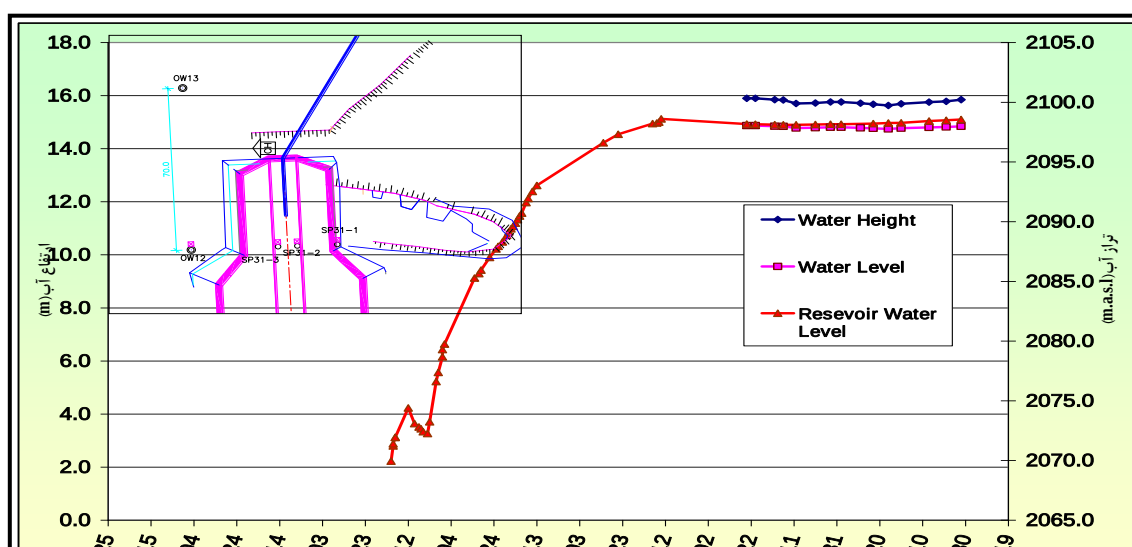
این ابزار در تراز 2088.7 و در پائین دست محور سد نصب شده و از تاریخ ۸۵/۰۴/۲۹ قرائت آن شروع شده است که در ابتدا دارای حدود 9.5 متر آب بوده و پس از آن نیز ارتفاع آب در این پیزومتر دارای روندی یکنواخت می باشد. در ضمیمه ۳ جدول داده های (OW12) و نمودار پیزومتر مذکور (شکل ۴-۳۷) آمده است.

OW13 - ۹-۱۱-۴

این ابزار در تراز 2082.14 و در پائین دست محور سد نصب شده و از تاریخ ۸۵/۰۴/۲۹ قرائت آن شروع شده است که در ابتدا دارای حدود 16 متر آب بوده و پس از آن نیز تغییر چندانی نداشته و ارتفاع آب در این پیزومتر تقریباً از روندی یکنواخت برخوردار می باشد. در ضمیمه ۴ جدول داده های (OW13) و نمودار (شکل ۴-۳۸) مربوطه آمده است.



شکل ۴-۳۷- نمودار تغییرات ارتفاع و تراز آب در چاهک مشاهده ای OW12



شکل ۴-۳۸- تغییرات ارتفاع و تراز آب در ابزار چاه مشاهده ای OW-13

۴-۱۲- اجرای دیوار آب بند

به منظور کنترل نشت آب در قسمت فوقانی پی جناح راست سد، دیواره آب بندی به ارتفاع ۱۷ متر و به طول ۱۷۰ متر و به ضخامت ۶۰ سانتیمتر از مصالح بتن پلاستیک در انتهای جناح راست سد در طراحی در نظر گرفته شده است. دلیل اجرای این دیواره، وجود آبرفت ریز دانه در این منطقه بوده و آب به مرور زمان باعث شستشوی این قسمت می شود، که دلیل محکم برای این امر هم تراز بودن چاهک مشاهده ای OW13 با سطح آب دریاچه می باشد و با افزایش تراز در سطح مخزن دریاچه، تراز OW13 نیز همزمان افزایش می یابد که دلیل بر ارتباط مستقیم بین دریاچه و چاهک می باشد که دیواره آب بند مانع از این امر خواهد شد. همچنین در این منطقه به خاطر نفوذپذیری بالا، فشار منفذی بیشتری مشاهده می شود که نمونه بارز آن در پیژومتر کاساگرانده (SPP14) می باشد که ۸ الی ۱۰ متر فشار منفذی بالاتری را نشان می دهد، دلیل اینکه از دیواره آب بند استفاده شده و از پرده آب بند استفاده نمی شود این است که چون جنس مصالح آبرفتی در این منطقه از کنگلومرا ئی تشکیل شده است که نفوذپذیر بوده ولی تزریق ناپذیر می باشد.

دیواره آب بند در طول حداقل ۸ متر در هسته سد نفوذ نموده و همچنین حداقل ۱ متر در کنگلومرای سیمانته زیرین نفوذ خواهد داشت به نحوی که اتصال نسبتاً آب بندی بین دیواره ، هسته سد و کنگلومرای بستر تامین گردد. در بخشهایی که به تشخیص دستگاه نظارت کنگلومرای بستر قاعد استحکام لازم جهت آب بندی محل اتصال آن با دیواره آب بند می باشد با نظر دستگاه نظارت عمق نفوذ دیواره در آن افزایش می

یابد، با کار گذاری لوله فولادی در بتن دیواره امکان تزریق محل اتصال دیواره با کنگلومرای بستر و همچنین اجرای پرده آب بند در زیر دیواره آب بند (در صورت نیاز) فراهم خواهد شد.

مصلح لازم برای اجرای دیواره آب بند بتونیت، سیمان، سنگدانه ها (شن و ماسه) و آب می باشد. حداکثر اندازه سنگدانه ها نباید از ۱۹ میلیمتر تجاوز کند، ماشین آلات مورد نیاز برای حفاری، شامل کلامش^{۴۵} و دستگاه حفاری ضربه ای می باشد. بتن ریزی دیواره آب بند با بتن پلاستیک و با استفاده از لوله ترمی از پائین به بالا در پانلهای مجزا انجام می شود.

۴-۱۳- برآورد میزان دبی خروجی از پی و بدنه سد با استفاده از نرم افزار SEEP-W و فرمول تجربی

با توجه به اینکه تا تاریخ ۱۳۸۶/۴/۲۰ هنوز دبی سنجهای سد ملا صدرا نصب نشده است تا حالت مقایسه ای بین میزان آب خروجی دبی سنجها، فرمول تجربی و نرم افزار Seep-w داشته باشیم . پس فقط به فرمول تجربی و نرم افزار Seep-w بسنده می شود.

فرمول تجربی زیر برای محاسبه میزان دبی بکار می رود.

$$Q = KHL(NF/NE) \quad \text{(رابطه ۴-۱)}$$

$$Q = \text{میزان دبی} \quad H = \text{اختلاف هد آب} \quad L = \text{عرض مسیر نشت}$$

$$K = \text{میزان نفوذپذیری} \quad NF = \text{تعداد شبکه جریان} \quad NE = \text{تعداد شبکه پتانسیل}$$

ابتدا دبی بدنه سد و دبی پی را محاسبه سپس باهم جمع بسته می شود.

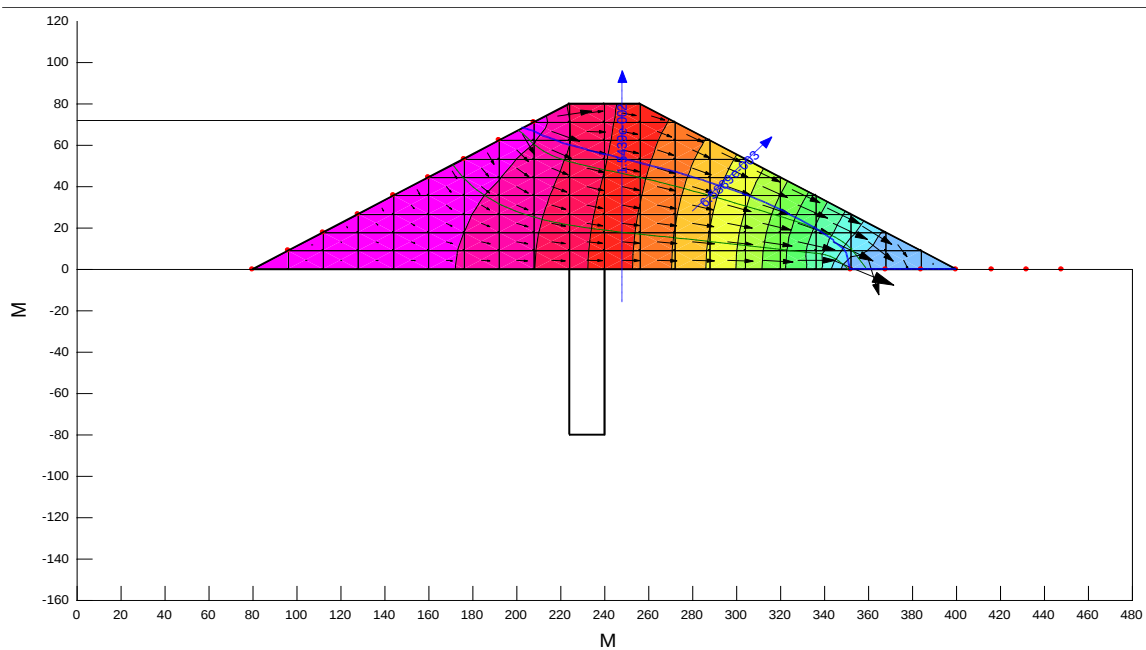
$$Q_1 = KHL(NF/NE) \quad Q_1 = 1.37 * 10^{-2} \text{ m}^3/\text{day}$$

$$Q_2 = KHL(NF/NE) \quad Q_2 = 7.5 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{day}$$

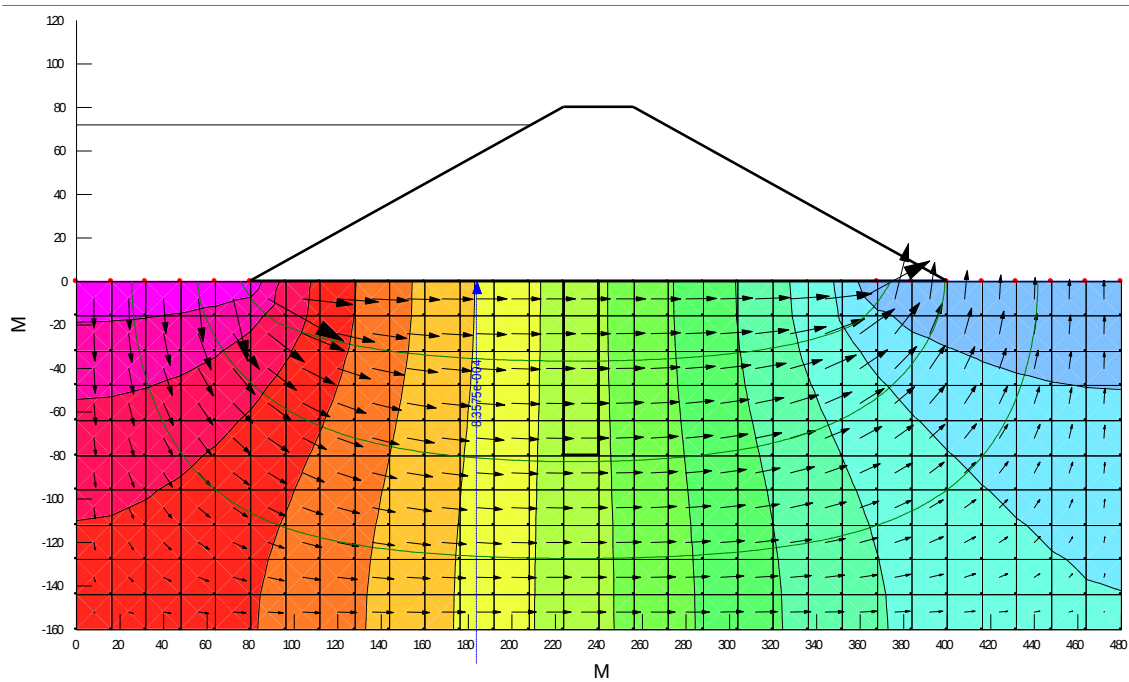
$$Q_t = Q_1 + Q_2 \quad Q_t = (1.37 * 10^{-2}) + (7.5 * 10^{-4}) \quad Q_t = 1.38 * 10^{-1} \text{ m}^3/\text{day}$$

دبی های هر دو روش حدوداً مثل هم هستند و اختلاف زیادی نشان نمی دهند. و در شکلهای ۴-۳۹ الی ۴-۴۱ محاسبه دبی با استفاده از نرم افزار Seep-w نشان داده شده است.

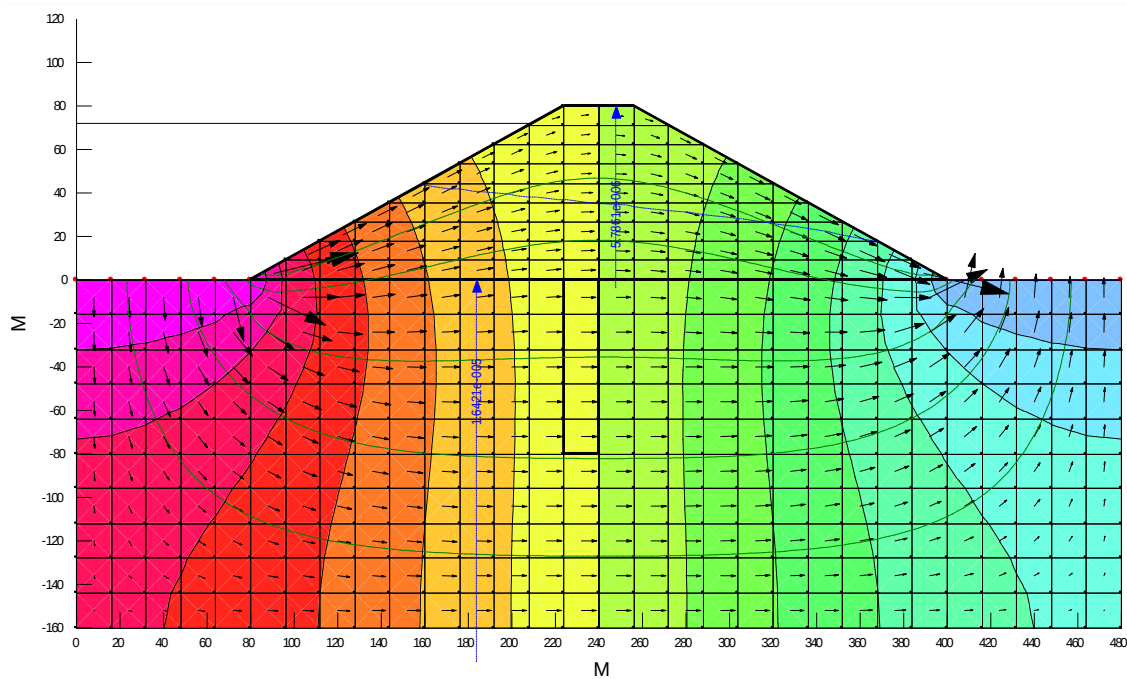
⁴⁵ clam shell



شکل ۴-۳۹- محاسبه دبی در بدنه سد



شکل ۴-۴۰- محاسبه دبی در پی سد



شکل ۴-۴- ترکیبی از محاسبه دبی در پی و بدنه سد

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

کنترل نشت آب به داخل سد ها همیشه مسئله ای بوده است که با تجربه ترین طراحان نیز با آن درگیر بوده اند. زیرا آب همیشه برای عبور خود مسیرهایی را انتخاب می نماید که دارای کمترین مقاومت است. همیشه سعی می کند در حرکت خود کمترین انرژی را مصرف نماید.

ابزاربندی و رفتار نگاری از یک سد باعث می شود که متخصصین درک بهتری از پیچیدگی نیرو های متعددی، که معمولاً به طور مستقل از یکدیگر به سد وارد می شوند، داشته باشند. ضمناً اینگونه بررسی ها اطلاعات قابل توصیفی را برای استفاده در طراحی های آتی فراهم می سازند. وجود چنین برنامه های تحقیقاتی باعث پیشرفت هایی در روشهای اجرایی، بهبود اصول طراحی بهتر و ابداع گرایانه و نیز درک بهتر مکانیزم گسیختگی گردیده است. هدف تخمین میزان نشت غیر مجاز آب و بررسی میزان فشار منفذی بیش از حد داخل بدنه، پی بمنظور جلوگیری از عمل رگاب^{۴۶} و فرسوده شدن خاک می باشد. که با کمک ابزاربندی و رفتارنگاری میتوان به اطلاعات ذکر شده پی برد. که میتواند اهداف زیر را به دنبال داشته باشد.

۱- پیش بینی و هشدار خطرات بالقوه ۲- تجزیه و تحلیل خطر پذیری ۳- ارزیابی عملیات اجرایی ۴- ارائه معیارهای دقیق تر برای طراحی های عادی

در نظر گرفتن وسائل اندازه گیری کافی، برای بررسی و مشاهده و اصلاح هرگونه شرائط نامطمئن که بعد از اتمام سدهای خاکی بوجود می آید یکی از قسمتهای مهم مراحل طراحی می باشد. بطور کلی در سدهای خاکی سیستمهای ابزار بندی زیر وجود دارد.

- وسایل اندازه گیری فشار
- وسایل اندازه گیری حرکات داخلی
- وسایل اندازه گیری حرکات سطحی
- وسایل اندازه گیری ارتعاشات
- وسایل اندازه گیری مقدار نشت

نیاز برای تجهیز وسائل اندازه گیری و مشاهدات دقیق در سدهای خاکی و سایر تاسیسات آبی مشابه، باعث شده است که بطور وسیعی این موارد توصیه شود و به مرحله اجرا در آید. تقریباً هر سد مهمی در نقاط مختلف جهان با سیستم های فشرده و دقیق پیزومترها مجهز و به بررسی میزان نشت آب می پردازند. بر

⁴⁶ Piping

اساس ابزارهای رفتارنگاری در حین اجرا، در صورت مواجهه با شرایط غیر عادی نظیر نشست غیر مجاز یا افزایش فشار منفذی لازم است اقدامات به موقع انجام گیرد.

خاکریزهای ساخته شده از مصالح قابل انعطاف و بنا شده بر روی رسوبات نرم در مقایسه با خاکریزهای شکننده بنا شده بر روی پی های سخت می توانند تغییر مکانهای بیشتری را (بدون خرابی) متحمل گردند. عامل مهم در این زمینه آن است که آیا تغییر مکانها حالت عادی داشته یا اینکه روند افزایشی مستمر یا تسریع شده (پیش رونده ای) را ممکن است منجر به خرابی (شکست) سد گردد، دنبال می نماید.

سد ملا صدرا با ارتفاع ۷۲ متر از نوع خاکی با هسته نفوذ ناپذیر می باشد که سنگ پی آن از آهکهای مارنی، سنگ آهک و شیل و ماسه سنگ می باشد و ابزار نصب شده در این سد شامل پیزومترهای کنترل فشار منفذی، پیزومترهای سنجش فشار کل، نشست سنجها، انحراف سنجها، دبی سنجها و شتابنگارها می باشد.

۵-۲- نتیجه گیری

۱- رفتار اکثر پیزومترهای الکتریکی تار مرتعش نصب شده بصورت نرمال می باشد. نکته قابل ملاحظه وجود فشار بالا در پیزومتر هسته مقطع ۹ (EPC-36) می باشد که شاید به دلیل اجرای نامناسب خاکریزی در آن محدوده باشد. و همچنین تطابق فشار پیزومترهای EPF-11 و EPF12 (مقطع ۲۰) بوده که یکی بالادست پرده آببند و دیگری در پایین دست پرده آببند نصب شده اند و هر دو بعد از گذشت زمان و پیشرفت آگیری تا تاریخ ۸۵/۰۸/۰۲ بطور هماهنگ فشار فزاینده ای ثبت کرده اند که لازم به ذکر است بالا بودن فشار پیزومتر میانی پایین دست پرده آب بند (EPF-12) قابل تأمل بوده و شاید به دلیل عملکرد نامناسب و غیر موثر المان آب بند در آن منطقه باشد بررسی علت جامع و کامل این رفتار مستلزم مطالعه دقیق گزارشات ژئوتکنیک مهندسی ساختگاه و همچنین جزئیات پرده آب بند اجرا شده می باشد.

۲- تمام انحراف سنجها حالت نرمالی نشان می دهند بجزء INC3 که انحرافی حدود ۷۰ سانتیمتر نشان می دهد. نکته جالب در مورد انحراف سنجها این است که همه آنها با نزدیک شدن به سطح انحراف بیشتری نشان می دهند.

۳- تمام نشست سنجها تقریبا حالات عادی نشان می دهند بجزء نشست سنجهای شماره ۵ و ۷ (INC5) و INC7 که نشستی در حدود ۷۵ سانتیمتر نشان می دهند که احتمالا بدلیل تراکم نامطلوب یا شرایط اشباع کامل می باشد.

۴- رفتار تمام پیزومترهای فشار سنج کل عادی است قابل ذکر است که تمام فشارسنجها با افزایش خاکریزی داری فشار بوده ولی با افزایش آب مخزن به حالت اشباع رسیده و کاهش فشار از خود نشان می دهند.

۵- همه پیزومترهای کاساگرانده حالت عادی نشان می دهند بجزء پیزومتر کاساگرانده شماره ۱۴ (SPP14) که ۱۰ متر فشار منفذی بیشتری نسبت به پیزومترهای اطراف نشان می دهد. که به دلیل وجود مصالح کنگلومرانی و نفوذ پذیر می باشد.

۶- تمام چاهکهای مشاهده ای عادی بوده و نوسانات بیش از حد تراز آب در چاهکهای مشاهده ای (OW3) و OW5 ناشی از حفاری گمانه های مذکور در مصالح آبرفتی و درز و شکافدار است. بنابراین این چاهکها در رفتارنگای از ارزش کمتری برخوردار است. و همچنین چاهک مشاهده ای (OW13) که در پایین دست جناح راست همزمان با افزایش سطح دریاچه به همان نسبت در حال افزایش است که دلیل بر نفوذپذیری شدید در این منطقه است.

۷- بالا بودن فشار آب در پیزومتر کاساگرانده (SPP14) و افزایش تراز آب در چاهک مشاهده ای (OW13) همزمان به سطح مخزن در جناح راست دلیل بر فرار آب در این منطقه است بنابراین برای جلوگیری از نشت آب از این منطقه، هم اکنون دیوار آب بندی در این محل در دست اجر می باشد..

۵-۳- پیشنهادات

۱- در جناح چپ سد سه تا چاهک مشاهده ای وجود دارد که بخاطر حفاری در سنگهای درز و شکافدار دارای نوسانات سطح آب زیادی می باشند که رفتار نگاری را با مشکل مواجه می کنند. برای اینکه رفتار سنجی جناح چپ بخوبی انجام شود توصیه می شود در جناح چپ چاهکهای مشاهده ای دیگری حفاری و نصب شود.

۲- با توجه به اینکه آبگیری سد به اتمام رسیده است و مخزن پر شده است توصیه می شود که دبی سنجهای سد و چاهکهای مشاهده ای و ایستگاه قرائت مرکزی هر چه سریعتر نصب و راه اندازی شود.

۳- با توجه به اینکه چند ماهی است مخزن پر شده است و آبگیری سد تمام شده است و هنوز هیچ نشتی از بدنه سد مشاهده نشده است که این امر می تواند خطری برای سد محسوب شود. زیرا کاهش بیش از حد انتظار در اثر گرفتگی زهکشها و یا تجمع ناگهانی رسوب در سد می باشد و افزایش غیر عادی ممکن است ناشی از بالا آمدن سریع آب مخزن یا ایجاد یک حفره در تکیه گاه و یا سد باشد. که این مسئله باید در سد ملا صدرا پیگیری شود.