



رفتار سنجی و ارزیابی پایداری سد بتنی دو قوسی طرق در دوره بهره برداری

مجید نیکخواه¹، اسماعیل شکراللهی²

1- دانشجوی دکترا، دانشگاه تربیت مدرس - شرکت مهندسی مشاور طوس آب

2- جانشین مدیر دفتر بهره برداری و نگهداری تاسیسات آبی، شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

Madjid.nikkhah@gmail.com

خلاصه

طراحی و ساخت سازه های عظیمی چون سدها کاری دشوار بوده که با صرف وقت و زمان زیادی به بهره برداری می رسد، اما مراقبت و ارزیابی ایمنی و پایداری منظم رفتار این سازه ها نیز اهمیتی کمتر از مرحله ساخت ندارد. اهمیت این موضوع از آنجا آشکار می گردد که در صورت بروز هر گونه نقص و اشکالی که منجر به آسیب به این سازه و یا در حالت بحرانی شکستن آن گردد، علاوه بر از بین رفتن سرمایه هنگفت، ممکن است جان و مال انسان های بسیاری در معرض نابودی قرار گرفته و فاجعه و بحرانی عظیم بوقوع به پیوندد. از این منظر، پایداری و ایمنی یک سد نه تنها بستگی به طراحی و ساخت ایمن و مناسب آن را دارد، بلکه در این مقوله مراقبت و رفتار ایمن سد در حین دوره های اولین آنگیری و بهره برداری بر اساس داده های ابزارهای دقیق و بازرسیهای عینی نیز سهم بسزائی دارد. در مقاله حاضر مشخصات سد بتنی دو قوسی طرق و سیستم ابزار دقیق و رفتارنگاری آن توصیف گردیده و بر اساس داده های اندازه گیری چندین سال بهره برداری سد (از سال 1367)، رفتار و عملکرد سد و پی با استفاده از داده های ابزارهای دقیق حاصله چندین سال بهره برداری و بازرسیهای فنی انجام شده، مورد ارزیابی قرار می گیرد. سد بتنی قوسی طرق در استان خراسان رضوی بر روی رودخانه طرق و در 25 کیلومتری جنوب شهر مشهد احداث شده است. از اهداف اساسی و اصلی اجرای این سد تامین قسمتی از آب مورد نیاز شهر مشهد بوده و قسمتی از آب ذخیره شده نیز به منظور رفع نیازهای اراضی کشاورزی پایین دست اختصاص داده میشود.

35 mm

کلمات کلیدی: سد بتنی قوسی، ابزار دقیق، رفتارسنجی

1. مقدمه

در طراحی هر سازه ای نظیر یک سد بتنی قوسی علاوه بر در نظر گرفتن یکسری مفروضات و معیارها، برای بررسی و کنترل رفتار آن در زمان ساخت و بهره برداری اندازه گیری پارامترهایی که بتوان به کمک آنها مفروضات طراحی و همچنین عملکرد رفتاری آن را از نظر پایداری و ایمنی کنترل نمود از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین منظور با نصب ابزارها و تجهیزاتی بنام ابزار دقیق در سازه و سپس با اندازه گیریهای واقعی پارامترهای کنترلی سازه رفتارنگاری شده و رفتار آن ارزیابی می شود. پیامدها و خسارتهای بالای ناشی از خرابی سدها بیانگر اهمیت بالایی است که باید در ارزیابی و مراقبت ایمنی و پایداری به آنها اختصاص داده شود. بطور کلی بر کسی پوشیده نیست که، در صورت شکست و خرابی سد عواقب این مسئله کاملاً جدی بوده و نه تنها اقتصاد ملی را متحمل ضرر می کند بلکه ممکن است جان مردم را به خطر انداخته و منجر به خسارتهای جبران ناپذیر گردند.

امروزه کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران بر این امر واقف گردیده اند، که در صورت عدم وجود یک سیستم رفتارسنجی در سد، نه تنها رفع نقص های احتمالی در طراحی و اجرائی و یا خطرهای در حال شکل گیری در دوران بهره برداری ممکن نیست، بلکه ایمنی از سد و تاسیسات جنبی آن نیز میتواند در پرده ای از ابهام قرار گیرد. بنابراین بررسی عملکرد سد با استفاده از مشاهدات عینی و ابزارگذاری می تواند در ارزیابی پارامترها و فرضیات طراحی و کسب اطلاع به منظور تعیین رفتار و همچنین کنترل سد کمک شایانی نموده و بدین ترتیب امکان دریافت هشدارهایی در خصوص احتمال مشکل آفرینی در سد جهت انجام اقدامات ضروری و علاج بخشی فراهم گردد. در سدهای بتنی قوسی بخش عمده نیروهای هیدرو استاتیکی مخزن،



بصورت مولفه های افقی توسط عمل هندسی قوس سد به تکیه گاهها منتقل میگردد و بهمین دلیل در مقایسه با سدهای وزنی بدنه ظریفتری دارند و در حقیقت با بهره گیری از عمل قوس، صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مصرف بتن در اینگونه سدها حاصل میشود. در عوض این سدها در برابر تغییرات دمای هوا و آب مخزن، بسیار حساس بوده و خالی ماندن طولانی مدت مخزن و یا مانور مخزن در زیر تراز مجاز بهره برداری ممکن است با ریسکهای جدی در این سدها همراه باشد. این مقاله شامل ارزیابی پایداری و ایمنی سد طرق بر اساس مشاهدات عینی و با استفاده از داده های حاصل از اندازه گیریهای ابزارهای دقیق منصوبه در سد از سال 1386 می باشد.

2. مشخصات عمده سد طرق

سد طرق یک سد دوقوسی با ضخامت متغیر است که رویه بالادست آن از یک سری سهمی و رویه پایین دست آن از مجموعه ای دیگر از سهمی های افقی تشکیل شده است. این سد مشتمل بر 23 بلوک است که در استان خراسان رضوی بر روی رودخانه طرق و در 25 کیلومتری جنوب شهر مشهد احداث شده است. از اهداف اساسی و اصلی اجرای سد طرق تأمین بخشی از آب مورد نیاز شهر مشهد می باشد. قسمتی از آب ذخیره شده نیز به منظور رفع نیازهای اراضی کشاورزی پایین دست اختصاص داده میشود. آبرگیری سد از مرداد ماه سال 1367 آغاز گردیده و در پایان سال 1370 مخزن سد پر شده است. شکل 1-نمایی از بالادست سد طرق را نشان میدهد. خلاصه ای از مشخصات عمده و اصلی سد طرق در جدول 1- آورده شده است:

جدول 1- مشخصات عمده و اصلی سد طرق

نوع سد	بتنی دو قوسی با قوس متقارن
حداکثر ارتفاع سد	70 متر
طول تاج	322 متر
رقوم تاج سد	1220 متر از سطح تراز دریا
نسبت طول به ارتفاع سد	4/6 متر
ضخامت تاج	4/8 متر
حجم کل مخزن در تراز تاج سد (تراز 1220)	41/54 میلیون متر مکعب
لیتولوژی تکیه گاهها	تکیه گاه چپ عمدتاً شامل سنگهای گرانیتی همراه بانوده های پگماتیسی و عدسیهایی از شیست می باشد. تکیه گاه راست از سنگهای شیستی حاوی رگه های پگماتیسی و کوارتزیتی تشکیل شده است.
لیتولوژی پی	عمدتاً از سنگهای گرانیتی به همراه شیست



شکل 1-نمایی از سد طرق

3. تجهیزات رفتارسنجی و ابزار دقیق سد

از آنجائیکه با استفاده از انتخاب، نوع و جابجایی صحیح ابزارهای دقیق و وجود یک برنامه رفتار سنجی منظم در یک سد می توان بروز پدیدهها و عوامل مخرب در آن را شناسایی کرد و لذا امروزه ابزارهای دقیق و تجهیزات رفتارنگاری بواسطه ارتقاء تکنولوژی ساخت آنها اهمیت ویژه ای در کنترل پایداری و ایمنی سدها پیدا نموده اند. عمده دستگاههای رفتارنگاری در پنج مقطع و در بلوکهای 6، 9، 12، 15 و 18 بدنه سد توزیع شده اند. مقطع میانی یا بلوک 12 مرتفع ترین بلوک سد را تشکیل می دهد. ابزارهای نصب شده در سد مشتمل بر ابزارهای دستگاه اندازه گیری خودکار تراز آب



مخزن، خط کش و اشل مقیاس، پاندولهای مستقیم و معکوس، شیب سنج، دماسنج های آب و بتن، مانومترهای اندازه گیری فشار آب برکش، درزسنج، نقاط شبکه میکروژنودزی و دستگاههای شتابنگار می باشد. در شکل - 2 نقشه ابزار گذاری سد طرق آورده شده است.



شکل 2- نقشه ابزار گذاری سد طرق

4. ارزیابی نتایج داده های ابزارهای دقیق

4.1. اندازه گیری تراز آب، دمای هوا و دمای آب

تراز آب مخزن یکی از مهمترین پارامترهای اندازه گیری در سدهاست که برای هر نوع سدی، معمولاً بطور روزانه و تحت هر شرایطی اندازه گیری میگردد، زیرا که عواملی نظیر بارندگی، رژیم و نحوه بهره برداری و نشست آب و یا بطور کلی هر تغییری در تراز آب مخزن بالتبع در پارامترهای اندازه گیری و کنترلی نظیر جابجائی، تراوش و غیره تاثیر گذار است. در بررسی های رفتارسنجی اندازه گیریها، محاسبات و ارزیابی عملکرد سدهای بتنی قوسی نسبت به درجه حرارت و تراز آب رسم و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند. از اینرو اندازه گیری تراز آب و درجه حرارت از اهمیت ویژه ای در این سدها برخوردار است. دو پارامتر اصلی و مهم که در مقدار تنشها و جابجائی های سدهای بتنی دو قوسی در حالت استاتیکی تاثیر گذارند تنشهای حرارتی و فشار هیدرواستاتیکی اعمال شده به سد می باشند. برخلاف سدهای بتنی وزنی که تراز آب مخزن بالاتر باعث افزایش حالت های بحرانی می شود، در سدهای بتنی قوسی ممکن است تنشهای کششی زیادی در رویه پایین دست در زمان تراز پایین مخزن بوجود آید. بنابراین در مطالعات بهره برداری باید مدت و زمان وضعیت مخزن توام با داده های حرارتی در نظر گرفته شود. بطوریکه این دو بارگذاری اغلب بطور همزمان به سازه وارد گردیده ولیکن اثرات آنها مخالف یکدیگر عمل می کنند، بدین ترتیب که در مواقعی که نتیجه اثرات این دو حالت بارگذاری در جهت یکدیگر باشند تغییر شکلهای حداکثر در سازه ای ایجاد خواهد شد. هنگامیکه تراز آب مخزن حداکثر باشد، حداکثر تغییر شکل به سمت پایین دست رخ می دهد و حال در صورتیکه درجه حرارت نیز حداقل باشد حداکثر تغییر شکل به سمت پایین دست اتفاق خواهد افتاد. بنابراین بدترین حالت های بارگذاری استاتیکی در سدهای قوسی با حداکثر وقوع تغییر شکلهای تاج بصورت ذیل می باشد.

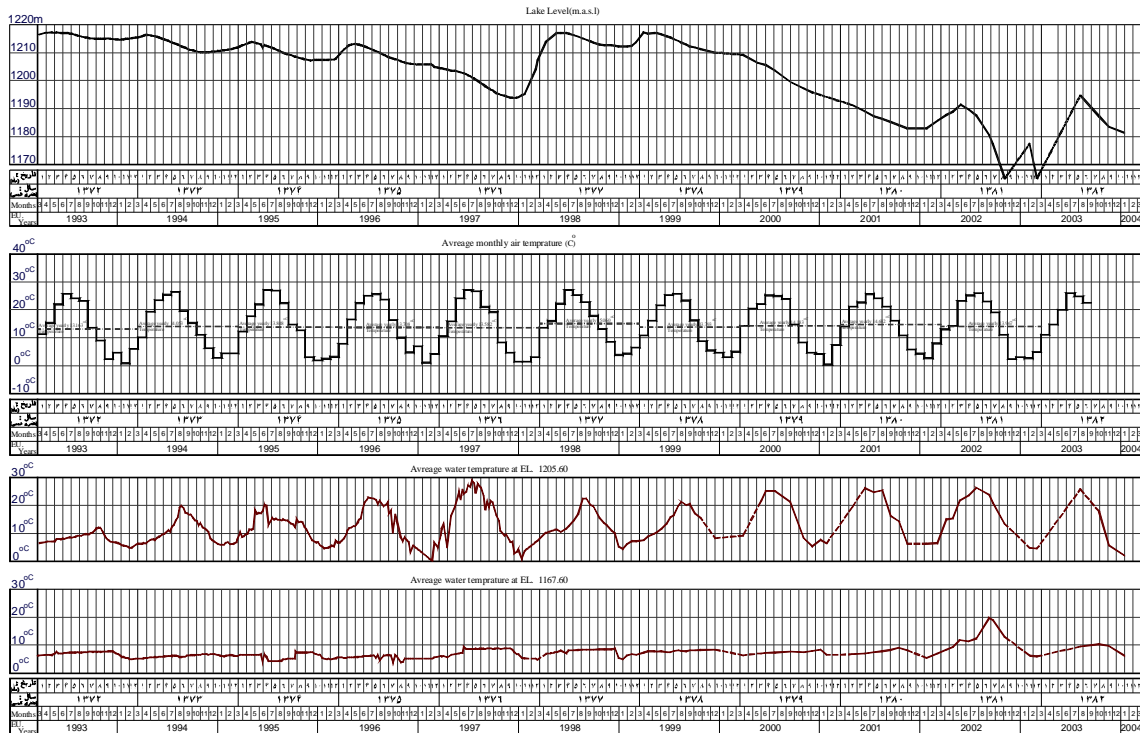
وزن سد + فشار تراز حداکثر آب مخزن + حداقل دما (زمستان)

وزن سد + فشار تراز حداقل آب مخزن + حداکثر دما (تابستان)

حالت 2 را در سالهای خشکسالی متوالی که تراز آب مخزن در حداقل قرار دارد در صورتیکه حداکثر دما نیز رخ دهد خواهیم داشت. بنابراین با توجه به خشکسالی های متوالی سالهای 1380 و 1381 در سد طرق، انتظار اینست که بیشترین جابجائی شعاعی در جهت بالادست در آن سالها اتفاق افتاده باشد. به منظور بررسی الگوی تغییرات سطح تراز آب دریاچه سد و بررسی مولفه های پاسخ سد ناشی از آن، نحوه تغییرات تراز آب دریاچه سد طرق بر حسب زمان در سالهای مختلف بهره برداری ترسیم شده است (شکل-3). طی سالهای 1380، 1381 و 1382 به دلیل خشکسالی های متوالی حداقل تراز دریاچه سد به میزان 1160 متر (یعنی با حجم مخزن حدود 15 درصد ارتفاع سد) پایین آمده است. در این دوران به علت پایین بودن تراز آب مخزن در یک بازه زمانی نسبتاً طولانی، سطح بیشتری از رویه های سد تحت تاثیر هوای محیط و تابش مستقیم خورشید قرار داشته و در نتیجه اختلاف فاز زمانی بین دمای داخلی بتن و دمای هوا کاهش خواهد یافت، لذا این پدیده می تواند تاثیر بسزایی بر رفتار سد داشته باشد. بر این اساس می توان تا اندازه ای انتظار داشت که سد در سالهای مذکور رفتاری نامنظم نشان دهد. در سال بهره برداری 1382 تراز آب دریاچه تا حداکثر ارتفاع 1187/3 متر بالا آمده و همانطوریکه از نمودار تغییرات تراز آب مخزن بر می آید تغییرات تراز آب مخزن در طول دوره بهره برداری نامنظم بوده است،



بنابراین ترکیب بارگذاری (تراز آب + دما) نیز در طول این دوره متفاوت و نامنظم خواهد بود. تغییرات دمای هوا در رویه بالادست و پایین دست سد تاثیرگذار بوده و از طرفی تغییرات دمای آب و بتن تابع تغییر دمای هوا می باشد. شکل - 3 تغییرات تراز آب مخزن، دمای آب و دمای هوا را برای چندین سال بهره برداری نشان می دهد. دمای آب مخزن نیز متأثر از دمای هوا و محیط بوده و این تاثیر در اعماق سطحی زیادتر از اعماق پایین می باشد و بدیهی است بر رویه بالادست سد اثر می گذارد. بطور کلی در تابستان دمای آب با افزایش عمق کاهش و در زمستان نیز حالت عکس دارد. دمای آب مخزن در سد طرق در دو تراز 1205/6 و 1167/6 با استفاده از دامسجهای الکتریکی اندازه گیری می شود. می توان گفت حداکثر و حداقل درجه حرارت بصورت میانگین به ترتیب در ماههای تیر و بهمن و حداکثر و حداقل تراز آب دریاچه نیز به ترتیب در ماههای اردیبهشت و آذر اندازه گیری شده است. در سال 1377 آخرین سال پر آب سد در طول دوران بهره برداری سد می باشد. گرمترین ماه مربوط به مرداد و سردترین ماه بهمن می باشد.



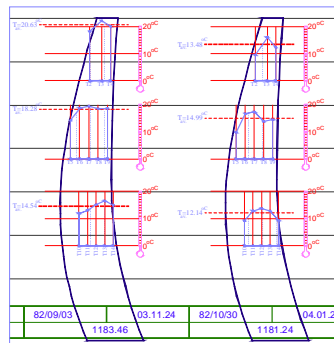
شکل 3- تغییرات تراز مخزن، دمای آب و دمای هوا در دوره بهره برداری

2.4. اندازه گیری و کنترل دمای بتن

تابش آفتاب در طول روز بر روی وجه بالادست سد موجب جذب آن و بالتبع افزایش دما در بدنه بتنی سد می گردد. دامنه تغییرات و مقدار دمای بتن به سطح تماس و میزان قرار گرفتن در معرض آب و هوا بستگی دارد. برای کنترل جابجایی های بتن به کنترل دما نیاز است که بطور معمول در طول ساخت توسط ترمومترهای نصب شده اندازه گیری میشود. واضح است، این اثر در فصل زمستان موجب کاهش بارهای حرارتی و در تابستان باعث افزایش دمای بتن می گردد. بار حرارتی ناشی از اختلاف بین دماهای انسداد درزهای بین بلوکی و بدنه بتنی سد در حین بهره برداری می باشد. دمای انسداد و تزریق درزهای اجرایی بعنوان مرجعی برای بارگذاری حرارتی در سد بوده و در صورت تجاوز دمای بتن از دمای انسداد، بارگذاری حرارتی مثبتی ایجاد میگردد که منجر به تغییر جابجایی به سمت مخزن در اثر تنشهای مثبت حاصله در قوس می گردد. از آنجائیکه درصد قابل توجهی از تغییر شکلهای سد دو قوسی ناشی از بارگذاری حرارتی می باشد و تغییرات حجمی حاصل از تغییرات حرارتی تاثیر قابل ملاحظه ای در عملکرد سدهای بتن بویژه سدهای بتنی قوسی دارد. از اینرو کنترل و اندازه گیری دمای بتن در رفتارنگاری این سدها دارای اهمیت خاصی است. چنانچه اشاره شد، سدهای قوسی اغلب سازه های نازک هستند که به آسانی تحت تاثیر نوسانات حرارتی قرار میگیرند. این نوسانات حرارتی گاهی به اندازه فشار هیدرواستاتیک مخزن و حتی ممکن است بیشتر، باعث تغییر شکل سد شوند. این تغییر شکلهای و همچنین تنشهای کششی موضعی ناشی از ماهیت رفتاری قوسها، باعث بروز ترکهای کششی میشوند.



بدین منظور برای بررسی الگوی تنش‌های حرارتی و تحلیل تغییر شکل‌های ناشی از تاثیر درجه حرارت و همچنین برای کنترل فرآیند سرد شدن در طی عملیات تزریق و تعیین دمای متوسط بتن از تعدادی ترمومتر الکتریکی در ترازها و فواصل مختلف در بدنه بتنی سد استفاده شده است. مجموعاً 28 عدد دماسنج در بدنه سد در بلوکهای 6، 9، 12، 15 و 18 نصب شده که کابل‌های آنها به جعبه ترمینالهای تعبیه شده در داخل گالری سد جهت قرائت هدایت گردیده‌اند و از آن طریق قرائت می‌شوند. نمودار توزیع گرادیان حرارتی ترمومترهای بتن بلوک میانی 12 بصورت ماهیانه در طول سالهای بهره‌برداری به‌مراه مقدار میانگین دمای بتن در هر تراز ترسیم شده است. در شکل 4- بطور نمونه توزیع گرادیان حرارتی برای دو ماه از سال 1382 آورده شده است. دمای مرکزی بتن در اواخر پاییز بیشترین و در اوایل تابستان کمترین مقدار را دارد که طبیعی است. باتوجه به نتایج اندازه‌گیری ترمومترها و نمودارهای بدست آمده ترکیب بارگذاری بحرانی در سال 1380 و 1381 دمای حداکثر + تراز آب حداقل مشاهده می‌شود. در خصوص توزیع حرارت در بدنه بتنی سد، دماهای اندازه‌گیری شده توسط ترمومترهای نزدیک رویه بالادست سد از دمای آب مخزن و رویه پایین دست نیز از دمای محیطی سریعاً واکنش نشان داده در حالیکه دماهای ترمومتر مرکزی نسبت به یک تراز و در ترازهای مختلف تغییرات کمی را نشان می‌دهند. باتوجه به اینکه سد طرق در رده سدهای حدفاصل نازک و ضخیم قرار می‌گیرد در اغلب موارد توزیع درجه حرارت بصورت خطی از بالادست به پایین دست می‌باشد. بطورکلی می‌توان گفت دماهای مرکز ضخامت بتنی سد در اوایل پاییز بیشترین و در اوایل فروردین ماه کمترین مقدار را نشان می‌دهند. در ماههای گرم بدلیل دمای بالای هوای محیط دماسنجهای نزدیک رویه پایین دست نسبت به دماسنج متناظر آن در بالادست که در داخل مخزن قرار دارد افزایش دما نشان می‌دهند و بر عکس در ماههای سرد اختلاف دما نسبت به دماسنجهای مرکزی کمتر است که این رفتار طبیعی بوده و با واقعیت مطابقت دارد.



شکل 4- توزیع نمادین گرادیان حرارتی ترمومترهای بتن بلوک میانی 12 برای دو ماه از سال 1382

3,4. اندازه‌گیری و کنترل تغییر شکل‌های سد با استفاده از ابزار پاندول

جابجایی از مهمترین و ملموس ترین پارامترهایی است که در کنترل پایداری سدها مورد ارزیابی و کنترل قرار می‌گیرد. به منظور اندازه‌گیری میزان تغییر شکل‌ها و حرکات بدنه و پی سد، پنج دستگاه پاندول در پنج بلوک 6، 9، 12، 15 و 18 نصب شده است. بطوریکه بلوکهای مذکور شامل یک پاندول مستقیم که در تراز تاج سیم معلق آن آویزان گردیده و یک پاندول معکوس که در عمق پی سنگی گیردار شده می‌باشند. نمودار تغییرات شکل‌های شعاعی و مماسی پاندولها در بلوکهای مختلف در ماههای مختلف ترسیم و مورد ارزیابی واقع شده است. شکل 5- بطور نمونه تغییرات جابجایی مماسی و شعاعی در پاندولهای 9، 12 و 15 را برای ماههای مختلف سال 1381 را نشان می‌دهد.

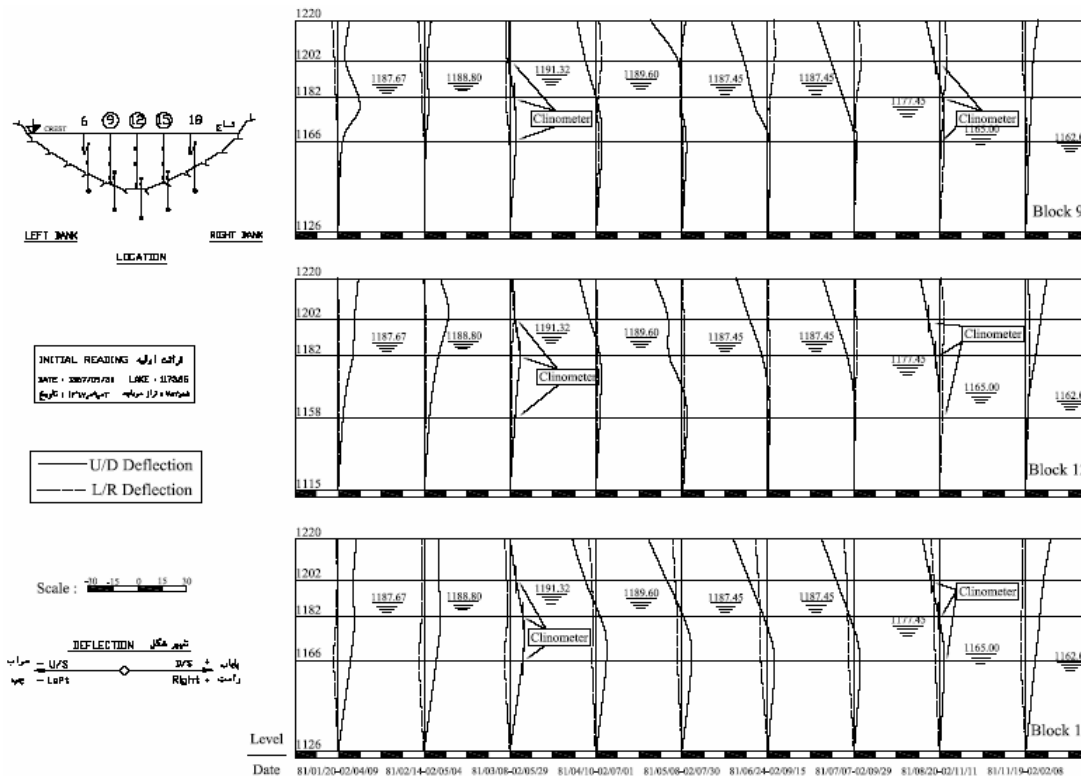
باتوجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیریها و چنانچه انتظار می‌رود حداکثر تغییر شکل شعاعی در بلوک میانی 12 اتفاقی افتاده که کاملاً طبیعی و قابل قبول است. تغییر شکل‌های شعاعی بلوکهای 15 و 18 نیز در مقایسه با بلوکهای متناظر آنها (بلوکهای 6 و 9) در تکیه‌گاه راست تا اندازه‌ای بیشتر بوده که می‌تواند ناشی از تفاوت ارتفاع بلوک و شرایط پی سنگی سد باشد. عمده تغییر شکل‌های شعاعی پی و بدنه سد در سال 1373 بدلیل بالا بودن تراز آب مخزن به التبع افزایش فشار بار هیدرواستاتیک به طرف پایین دست می‌باشد و در ماه‌های گرم نیز در اثر افزایش درجه حرارت محیط، تمایل جابجایی، به بالادست کاملاً مشهود است. حال با مقایسه نمودارهای سال مذکور با تغییر شکل‌های سال 1381 که ارتفاع آب مخزن به حدود 50 متر کمتر از سال 1373 کاهش یافته است، روند تغییر شکل‌های شعاعی به سمت بالادست تغییر یافته است که حاکی از تغییرات حجمی بدنه سد در اثر تاثیرات درجه حرارت و بارگذاری حرارتی می‌باشد، بعبارت دیگر در این سالها اثر درجه حرارت نسبت به فشار هیدرواستاتیک به دلیل کاهش تراز آب مخزن طی چندین سال خشکسالی متوالی حاکم گردیده است. همچنین حرکت پی سنگی که از پاندولهای معکوس اندازه‌گیری شده در سال 1373 بدلیل بالا بودن تراز آب مخزن نسبت به سال 1381 در جهت پایین دست بیشتر بدست آمده است. روند حرکت مماسی نیز در بلوکهای 15 و 18 به سمت تکیه‌گاه راست و بلوک 6 و 9 به سمت تکیه‌گاه چپ می‌باشد و همانگونه که تصور میشود تغییر شکل مماسی بلوک میانی 12 نسبت به بلوکهای تکیه‌گاه چپ و



راست کمتر بدست آمده که کاملاً منطقی و قابل قبول می باشد. همچنین همانند تغییر شکل های شعاعی به دلیل تقارن نسبی و عملکرد قوسی سد تغییر شکل های مماسی بلوک های متناظر تکیه گاه چپ و راست تقریباً خلاف جهات یکدیگر حدوداً مقادیر حداکثر یکسانی را نشان می دهند. به عنوان نمونه پوش عملکردی دوره های تغییرات تغییر شکل شعاعی و مماسی تاج سد در پاندول مقطع میانی در شکل 6- نشان داده شده است. در این شکل محور عمودی تراز آب مخزن و محور افقی بیانگر تغییر شکل های شعاعی و مماسی می باشد. پوش جابجایی برای بازه زمانی 81-1372 (10 سال) و منحنی جابجایی سال 1385 جهت مقایسه بر روی یک نمودار ترسیم و آورده شده است. بدین ترتیب می توان محدوده تغییرات جابجایی های شعاعی و مماسی را طی سالیان بهره برداری بدست آورد. لازم به ذکر است پهنای این پوشها بیانگر اثر عوامل دیگری غیر از تراز آب که عمدتاً تغییرات دماست می باشد. بطور کلی تغییر مکانها در داخل محدوده تغییر مکانهای دوره های 81-1372 قرار گرفته در حالیکه داخل پوش واقع نمی شوند. در این خصوص اختلاف ناشی از تاثیر غالب تغییرات درجه حرارت در اثر کاهش تراز آب مخزن می باشد. بنابراین می توان گفت رفتار سد دارای روند منطقی و مطابق با تغییر مکانهای صورت گرفته در طول بهره برداری می باشد.

4.4. اندازه گیری و کنترل تغییر شکل های سد با استفاده از ابزار شیب سنج

اندازه گیری میزان کج شدگی، چرخش و تغییرات شیب بدنه سد طرق بوسیله دستگاه های شیب سنج انجام می شود. بدین منظور نقاط مبنا و اندازه گیری شیب سنجی در بلوک های ابزارگذاری 6، 9، 12، 15 و 18 در گالری های فوقانی تحتانی و سراسری محلهای اتاقک اندازه گیری پاندولها نصب شده است. بطور معمول در تراز حداقل آب مخزن زاویه شیب و انحراف به سمت بالادست بیشتر و در تراز حداکثر بر عکس می باشد البته تاثیر درجه حرارت را نیز باید در نظر داشت. نتایج حاصل از اندازه گیری شیب سنجها نشان می دهد که در اکثر ترازها رفتار شیب سنجها طبیعی بوده و با منحنی جابجایی پاندولها (مماس بر منحنی تغییر شکل) و درز سنجها توافقی و سازگاری دارد و اختلافی که در مواردی مشاهده می شود میتواند در اثر عدم دقت در اندازه گیری و قرانت ابزارهای شیب سنج و یا تاثیر عامل دما و تعادل حرارتی دستگاه قرانت با محیط باشد.



شکل 5- تغییرات جابجایی مماسی و شعاعی در پاندولهای 9، 12 و 15 سال 1381

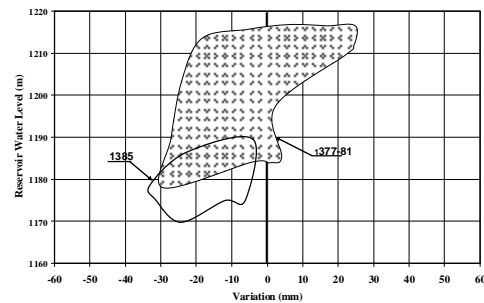
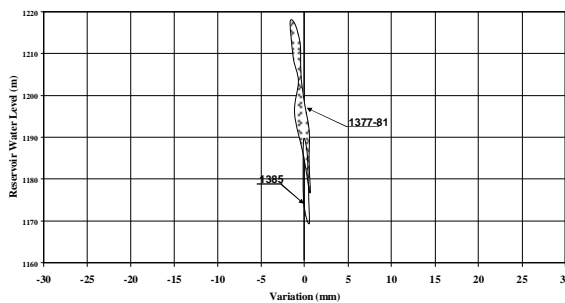
حداکثر مقادیر شیب سنجها در کلیه نمودارها بویژه در سالهای خشکسالی و در فصل گرما اتفاق افتاده و تغییرات وابستگی ناچیزی به تغییرات تراز آب مخزن دارد. در این سالها میزان انحراف در ترازهای بالاتر بیشتر بوده و در ترازهای پائینتر نیز بدلیل تغییرات تبادل حرارتی کمتر محدوده تغییرات مقادیر



کمتر است. در شکل 5- تطابق شیب بدست آمده از ابزار شیب سنج به طور نمونه برای دو ماه از سال 1381 در سه بلوک ابزار گذاری 9، 12 و 15 نشان داده شده است.

5.4. اندازه گیری و کنترل تغییر شکل سد با استفاده از ابزار درز سنج

در سد طرق میزان بازشدگی و جابجانیهای درز بین بلوکها به منظور بررسی حرکات نسبی بین آنها توسط ابزار درزسنج اندازه گیری می شوند. تغییرات جابجائی در جهت عمود بر امتداد درز بوسیله دستگاه درز سنج با قرارگیری بر روی نقاط و تکیه گاههای ثابت تعبیه شده در طرفین درز سنجیده می شود. اندازه گیری درزسنجها در 46 نقطه در رویه پایین دست از طریق گذرگاههای پایین دست و در گالریهای بازرسی در ترازهای 1180، 1200 و گالری پی انجام می شود. حرکت درز بین بلوکها در سال 1373 در جهت منفی یعنی بسته شدن درز و در سالهای 1381 و 1382 بدلیل کاهش چشمگیر تراز آب مخزن و تاثیر غالب درجه حرارت بر تغییر شکلهای سد، در جهت بازشدگی درزا می باشد و بطور معمول روند بازشدگی در ترازهای بالاتر بیشتر است. بازشدگی درزها عموماً در ماههای گرم سال به حداکثر مقدار خود رسیده سپس با روند ملایمی کاهش می یابد. تغییرات ایجاد شده جابجائی ها بویژه در سالهای کم آبی غالباً تابع تغییرات دمای هوا بوده بطوریکه همانطوریکه نتایج ابزارهای پاندول و شیب سنج نیز نشان می دهند سد به سمت بالادست حرکت کرده است، بنابراین تحت این شرایط درزها در قسمت پایین دست فشرده شده و بالا دست به حالت کشش خواهد افتاد. حداکثر بازشدگی درزها در طول دوران بهره برداری در درز بین بلوکهای 7-8 در تراز فوقانی 1200 اندازه گیری شده است. با افزایش تراز آب مخزن و بالتبع افزایش فشار هیدرواستاتیک در سدهای بتنی قوسی درزهای بلوکهای رویه پایین دست بسته خواهند شد و این پدیده در نتایج اغلب اندازه گیریهای درزسنجهای سال 72 و 73 مشاهده شده است.



شکل 6- پوش عملکردی دوره ای تغییرات تغییر شکلهای شعاعی و مماسی تاج سد در پاندول مقطع میانی سال 1385 و 1372 تا 1381

6.4. بررسی و کنترل فشار برگش پی و عملکرد پرده آب بند

اگر چه فشار برگش یک مسئله بحرانی در تحلیل تنش در سدهای قوسی مطرح نیست، ولیکن در تحلیل پایداری پی حائز اهمیت بوده و بعنوان بخشی از برنامه کلی ابزار گذاری و کنترل پایداری و ایمنی سد در نظر گرفته می شود. با این وجود، اندازه گیری فشارهای آب در پی های سنگی که محیط با پیوسته هستند براحتی امکان پذیر نیست زیرا که می تواند در فاصله کوتاهی بواسطه درزه داری و شکستگی موجود در پی سنگی تغییر یابد. توزیع فشار برگش در طول بستر و پی سنگی سد به کارائی زهکشها و پرده تزریق، ویژگیهای توده سنگ نظیر نفوذپذیری، درزه داری و شکستگیهای آن دارد. عملکرد پرده آب بند سد طرق بر اساس بازرسیهای صحرائی، بررسی بر روی نتایج اندازه گیری فشار پیژومترها و مقایسه آنها با تغییرات سطح آب مخزن و مقادیر دبی حاصل از چال های زهکش مورد ارزیابی قرار گرفته است. افزایش غیرعادی و دور از انتظار فشار برگش می تواند نشان دهنده کاهش راندمان و کارایی چالهای زهکشی در پایین دست پرده تزریق و همچنین دلیلی بر بسته شدن تدریجی خلل و فرج توده سنگ توسط رسوبات و یا فشار ناشی از وزن بدنه سد باشد. از طرف دیگر می تواند نشانه عملکرد نامناسب پرده آب بند نیز باشد.

سیستم اندازه گیری فشار برگش در سد طرق از 30 گمانه تشکیل یافته که بوسیله لوله های فلزی در محل گالری سراسری به فشارسنج ثابت متصل شده اند. پیژومترها در شش محل ورود بلوکهای 7، 9، 11، 13، 16 و 18 نصب و فشار در آنها اندازه گیری می شود. در هر بلوک 5 پیژومتر وجود دارد که به ترتیب از بالادست به پایین دست با حروف A، B، C، D، E نامگذاری شده و همگی در پایین دست پرده تزریق واقع شده اند. پیژومتر اول قائم و مابقی 10 تا 16 درجه نسبت به هم و به سمت پایین دست متمایل می باشند. به منظور رفتارسنجی پی، مقادیر تغییرات فشار آب اندازه گیری شده و آب مخزن بر حسب زمان ترسیم و با قیاس از نظر مقدار و تطبیق زمان تاخیر نسبت به هم ارزیابی انجام شده است.

همچنین فاکتور فشار برگش به عنوان درصدی از ارتفاع بار آب مخزن بعنوان یک معیار کنترلی جهت ارزیابی وضعیت توزیع و مقادیر فشار برگش در پی سد مورد بررسی واقع شده است. به طور کلی میزان فشار برگش با توجه به تراز آب مخزن سد ارزیابی می شود. عبارت دیگر فشار



برکنش به ارتفاع آب (Head) متناظر، پارامتر مهمی است که تاثیر مستقیم بر پی سد دارد. در این ارتباط مبنای قضاوت و کنترل فشار برکنش مجاز بر اساس توزیع و مقادیر تنش ناشی از بارگذاری سد، وضعیت و خواص توده سنگ پی و نوع سد بوده که بر این اساس مقدار فاکتور فشار برکنش مجاز برابر 25 تا 50 درصد برای پی سد طرق در نظر گرفته شده است. با عنایت به نتایج حاصل از اندازه گیری های پیزومترها و چالهای زهکش عموماً آندسته از پیزومترهایی که در آنها طی سالهای بهره برداری دارای مقادیر بالایی بوده اند در چالهای زهکش که به منظور کاهش و پائین نگهداشتن فشاربرکنش در آن بلوکها نصب شده اند نیز دبی تخلیه کمی مشاهده میگردد. بنابراین میتوان انسداد چالهای زهکش توسط رسوبات را بسیار محتمل دانست بطوریکه این امر باعث اندازه گیری فشارهای برکنشی با مقادیر بالا شده است. از آنجائیکه احتمال ایجاد فشار پیزومتریک بیش از هر ارتفاع آب (Head) مخزن در شرایط عادی بدون ارتباط با یک مخزن تغذیه بسیار بعید است، در نتیجه مقادیر فاکتور فشار برکنش بدست آمده بیش از 100 درصد غیر ممکن است. این موارد می تواند دلیلی بر معیوب بودن دستگاه قرائت اندازه گیری فشار برکنش نیز (مانومترها) باشد. همچنین از نتایج حاصل از اندازه گیریهای فشار آب توسط مانومتر نیز اینچنین بر می آید که در برخی موارد فشارهای اندازه گیری شده در زمانیکه تراز آب مخزن بالاتر از قرائت بعدی آن است فشاری گزارش نشده در حالیکه در قرائت بعدی فشار آب اندازه گیری شده است. بنابر آنچه گفته شد، نمی توان در خصوص میزان فشار برکنش و نحوه توزیع آن اظهار نظر قطعی نمود ولیکن عملکرد پرده آب بند با توجه به شواهد و زمان تأخیر تراز پیزومتریک نسبت به تغییرات آب مخزن قابل قبول بوده و در عین حال توصیه می گردد پس از شستشوی زهکش ها یا حفاری مجدد آنها و یا حفر گمانه های جدید و کالیبره کردن مانومترها یا بعبارت دیگر پس از تایید صحت عملکرد زهکش ها و مانومترها موضع کارایی پرده آب بند مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه کارایی سیستم زهکشی و پیزومترهای نوع بسته (Closed) به مرور زمان کاهش می یابد و با توجه به دبی های اندازه گیری شده زهکش ها در طول دوران بهره برداری که اکثراً خشک بوده و یا نشت جزئی همراه با رسوبات در آنها دیده می شود، پیشنهاد می گردد چالهای زهکش با استفاده از آب تحت فشار شستشو گردند و در صورت عدم حصول نتیجه مطلوب حفاری مجدد زهکشها و یا حفر گمانه های جدید زهکش انجام پذیرد. پیشنهاد می گردد پس از هر قرائت فشار مانومتر، فاکتور فشار برکنش در اسرع وقت محاسبه گردد. چنانچه اختلاف فاحشی بین فاکتور فشار برکنش محاسبه شده با مقدار فاکتور فشار برکنش در قرائت قبلی مشاهده شد و از طرفی تراز آب مخزن تغییرات چشمگیری نداشت، قرائت مجدداً انجام پذیرد.

5. نتیجه گیری

براساس نتایج حاصل از ارزیابیهای انجام شده می توان موارد زیر را در خصوص وضعیت ایمنی و پایداری سد و تجهیزات رفتارنگاری سد طرق نتیجه گیری نمود:

1- بطور کلی بجز موارد اندکی که احتمالاً ناشی از خطای انسانی و ابزاری است روند تغییرات جابجائی های حاصل از اندازه گیریهای ابزار پاندولها منطقی بوده و اغلب جابجائی های شعاعی تاج سد با عنایت به شرایط خشکسالی سالهای اخیر (تا 1384) به سمت بالادست تمایل داشته اند که حاکی از تغییرات حجمی بدنه سد در اثر تاثیر درجه حرارت می باشد. بعبارت دیگر در این حالت بارگذاری تنشهای حرارتی نسبت به بار هیدرواستاتیک غالب می باشد.

2- در اغلب موارد تغییر مکانهای شعاعی و مماسی تقریباً در داخل محدوده تغییر مکانهای دوره های 81-1372 قرار گرفته در حالیکه داخل پوش بازه های زمانی 10 ساله واقع نمی شوند، علت این امر اختلاف ناشی از تاثیر غالب تغییرات درجه حرارت در اثر کاهش تراز آب مخزن می باشد. با این وجود می توان گفت رفتار سد دارای روند منطقی و مطابق با تغییر مکانهای صورت گرفته در طول بهره برداری می باشد و ناهنجاری در رفتار سد مشاهده نمیشود.

3- با توجه به اینکه کارایی سیستم چالهای زهکش و پیزومترهای نوع بسته (Closed) که به مرور زمان کاهش می یابد و با توجه به دبی های اندازه گیری شده زهکش ها در طول دوران بهره برداری که اکثراً خشک بوده و یا نشت جزئی همراه با رسوبات در آنها دیده می شود پیشنهاد می گردد چالهای زهکش با استفاده از آب گرم تحت فشار شستشو گردند و در صورت عدم حصول نتیجه مطلوب حفاری مجدد زهکشها و یا حفر گمانه های جدید زهکش انجام پذیرد.

6. مراجع

1. U.S. Army Corps of Engineering, (1994), "Arch Dam Design", EM1110-2-2201
2. Federal Energy Regulatory Commission, (1999), "Arch Dams, Chapter 11", Division Dam Safety and Inspections
3. شرکت مهندسی مشاور طوس آب، (1384)، "گزارش رفتارسنجی سد طرق، مطالعات کنترل پایداری، رفتارسنجی و مدیریت ایمنی سدهای بتنی شیروان، طرق و کارده"