

# Certificate



This is to certify that the paper entitled  
**Monitoring of Bidwaz dam during the construction and first filling**

*by*

**Amin Ekramifard, Ali Akhtarpour**

Has been accepted in the Second International conference on architecture civil  
and urban development at the beginning of the third millennium – Tehran .

The conference will be held on July , 2016 .

Level : Published In The Article Books

Vahid Ghobadian ( Prof/Dr )

Babak Ghoseiri ( -Dr )

Handwritten signatures of Vahid Ghobadian and Babak Ghoseiri in blue ink.





## رفتارنگاری سد بیدواز اسفراین در دوران ساخت و اولین آب‌گیری

امین اکرامی فرد<sup>۱\*</sup>، علی اخترپور<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، amin.ekramifard@stu.um.ac.ir  
۲- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، akhtarpour@um.ac.ir

### چکیده

سدهای خاکی سنگریزه‌ای از جمله سازه‌های عظیم محسوب می‌شوند که دارای اهمیت و حساسیت زیادی هستند. برای بررسی نحوه عملکرد سدها، رفتار آن‌ها در فواصل زمانی مناسب در طول ساخت و بهره‌برداری، با کمک ابزار دقیق نصب‌شده در بدنه و پی سد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سد خاکی سنگریزه‌ای بیدواز در ۲۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان اسفراین بر روی رودخانه‌ی بیدواز احداث شده است. با کمک ابزار دقیق نصب‌شده در این سد وضعیت هسته‌ی سد، عملکرد پرده‌ی آب‌بند پی و تراوش در تکیه‌گاه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که پرده‌ی آب‌بند به‌خوبی عمل می‌کند، تراوش در تکیه‌گاه راست برخلاف تکیه‌گاه چپ ناچیز بوده و هسته‌ی سد در مقطع اصلی سالم است.

**واژه‌های کلیدی:** سد بیدواز اسفراین، ابزار دقیق، رفتارنگاری، تنش کل، فشار پی‌زومتری

### ۱- مقدمه

سدهای خاکی از جمله سازه‌های عظیم محسوب می‌شوند که دارای اهمیت و حساسیت زیادی هستند. یکی از روش‌های ارزیابی ایمنی این‌گونه سازه‌ها رفتارنگاری آن‌ها است [۱]. به همین منظور رفتار سازه در فواصل زمانی مناسب در طول ساخت و بهره‌برداری، به‌وسیله‌ی ابزار دقیق ثبت شده و به‌این ترتیب عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا در صورت بروز هرگونه مشکل، اقدامات پیشگیری ضروری صورت بگیرد. طراحی ابزارگذاری سدها بر اساس ارتفاع، درجه‌ی اهمیت و نوع سد انجام می‌شود. طراحی ابزارگذاری شامل انتخاب ابزار دقیق مورد نیاز، محل نصب ابزار و بازه‌ی زمانی قرائت ابزار است [۲]. رفتارنگاری سازه‌ها با هدف کنترل صحت فرضیات طراحی، کنترل و بررسی رفتار در زمان ساخت و بهره‌برداری، پیش‌بینی پدیده‌های مخرب و اخذ اطلاعات درباره‌ی رفتار سازه جهت ارائه معیارهای دقیق‌تر برای طراحی‌های مشابه آتی انجام می‌گیرد [۳، ۴]. رفتارنگاری با ثبت داده‌های مربوط به فشار آب، تنش کل، تغییر شکل افقی و قائم، دما، لرزه‌نگاری، میزان نشت و غیره صورت می‌گیرد. رفتارسنجی سدها با کمک ابزار دقیق در چهار زمینه انجام می‌گردد [۵، ۶]: ۱. محیطی: تأثیر عوامل محیطی مانند هیدرولوژی منطقه، هواشناسی و زلزله بر عملکرد سد ارزیابی می‌گردد. ۲. ژئوتکنیکی: تغییرات عوامل فیزیکی (مانند فشار آب حفره‌ای، تنش کل و تراوش) و عوامل هندسی (مانند جابه‌جایی افقی و نشست) در طول عمر سد اندازه‌گیری می‌شود. ۳. ژئودتیک: جابه‌جایی‌های مجموعه نقاط سطحی نسبت به نقاط مرجع ثابت، با استفاده از تکنیک‌های موقعیت‌یابی زمینی و فضایی تعیین می‌گردد. ۴. معاینات بصری: عملکرد قسمت‌های مختلف سد، با بازدیدهای محلی تحت نظر قرار می‌گیرد.



رفتارنگاری سدها در مراحل مختلف ساخت [۷]، آبگیری اولیه [۸]، افت سریع آب مخزن، زمان وقوع زلزله و دوران بهره‌برداری انجام می‌شود.

با توسعه‌ی فناوری روش‌های جدیدی برای رفتارنگاری سدها، مانند استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش تصویر، استفاده از امواج الکترومغناطیس و امواج مکانیکی ابداع شده است. روش‌های جدید قادر به تعیین تغییر شکل کل بدنه‌ی سد با دقت زیاد می‌باشند. حتی در سدهای قدیمی که تعداد ابزار محدود با دقت پایین به کار رفته، روش‌های مذکور قابل استفاده هستند [۹-۱۱]. در سازه‌های حساس‌تر مانند سدهای باطله، می‌توان از سیستم رفتارنگاری خودکار استفاده نمود. در این سیستم کمیت‌های تراز مخزن، جابه‌جایی‌های داخلی بدنه‌ی سد، فشار آب منفذی داخل سد، خط تراوش، میزان جریان تراش و کدورت آب نشستی به‌صورت خودکار تحت نظارت قرار می‌گیرد و در صورت بروز هر گونه اتفاقی که ایمنی سد را به خطر بیندازد، سیستم اعلام هشدار می‌کند [۱۲]. تاکنون با کمک رفتارنگاری، نحوه‌ی عملکرد و ایمنی بسیاری از سدها مورد ارزیابی قرار گرفته است [۸، ۱۱، ۱۳].

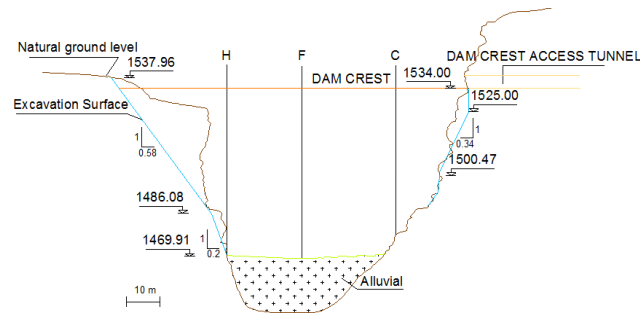
نتایج حاصل از ابزار دقیق وضعیت سد در نقاط محدود و به‌صورت گسسته نشان می‌دهد. برای بررسی وضعیت کل بدنه‌ی سد می‌توان از مدل‌سازی عددی استفاده نمود. با این روش وضعیت تنش، فشار آب و تغییر شکل در تمام نقاط بدنه‌ی سد تعیین می‌گردد. برای صحت سنجی مدل عددی از نتایج ابزار دقیق استفاده می‌شود. برای این منظور نتایج حاصل از مدل عددی در محل نصب ابزار و نتایج حاصل از ابزار دقیق مقایسه می‌شوند. در صورت تفاوت این دو مقدار، با تغییر پارامترهای ورودی مدل عددی مدل کالیبره می‌شود [۵].

در این پژوهش با کمک ابزار دقیق نصب‌شده در بدنه و پی سد بیدواز، نحوه‌ی عملکرد پرده‌ی آب‌بند پی، تراوش در تکیه-گاه‌ها و وضعیت بدنه‌ی سد مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- معرفی سد و ساختگاه

سد بیدواز با هدف کنترل سیلاب و تنظیم آبدهی رودخانه‌ی بیدواز، در ۲۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان اسفراین اجرا شده است. این سد از نوع خاکی سنگریزه‌ای با هسته‌ی رسی مایل نازک هست. سد بیدواز در دره‌ای تنگ و تقریباً U-شکل با ارتفاع دیوارهای بیش از ۱۰۰ متر و عرض متوسط ۴۵ متر در رقوم بستر رودخانه احداث شده است. شیب متوسط دیواره‌های تکیه‌گاه برابر ۶۰ درجه نسبت به افق است. در کف دره لایه‌ی آبرفتی درشت‌دانه‌ی بسیار متراکم به ضخامت حداکثر ۲۳ متر وجود دارد. توده‌ی سنگی محاط بر دره از کیفیت متوسط تا خوب برخوردار است. عملیات خاکریزی سد از ۲۵ اوت ۲۰۰۳ شروع شد و در ۵ سپتامبر ۲۰۰۴ به اتمام رسید. ارتفاع حداکثر سد ۶۶ متر (تراز حداکثر +۱۵۳۴)، طول تاج ۱۰۴ متر و عرض تاج ۱۱ متر است. سیستم انحرافی سد شامل تونل انحراف و فرازبند است. فرازبند از نوع خاکی با هسته‌ی رسی مایل به ارتفاع ۲۰/۸ متر است و به‌عنوان قسمتی از بدنه‌ی اصلی سد در نظر گرفته شده است. برای کنترل تراوش از پی دیواره‌ی آب‌بند بتن پلاستیک در زیر هسته‌ی رسی سد اجرا شده است. آبگیری اولیه‌ی سد ۳ ماه پس از پایان ساخت انجام گرفت.

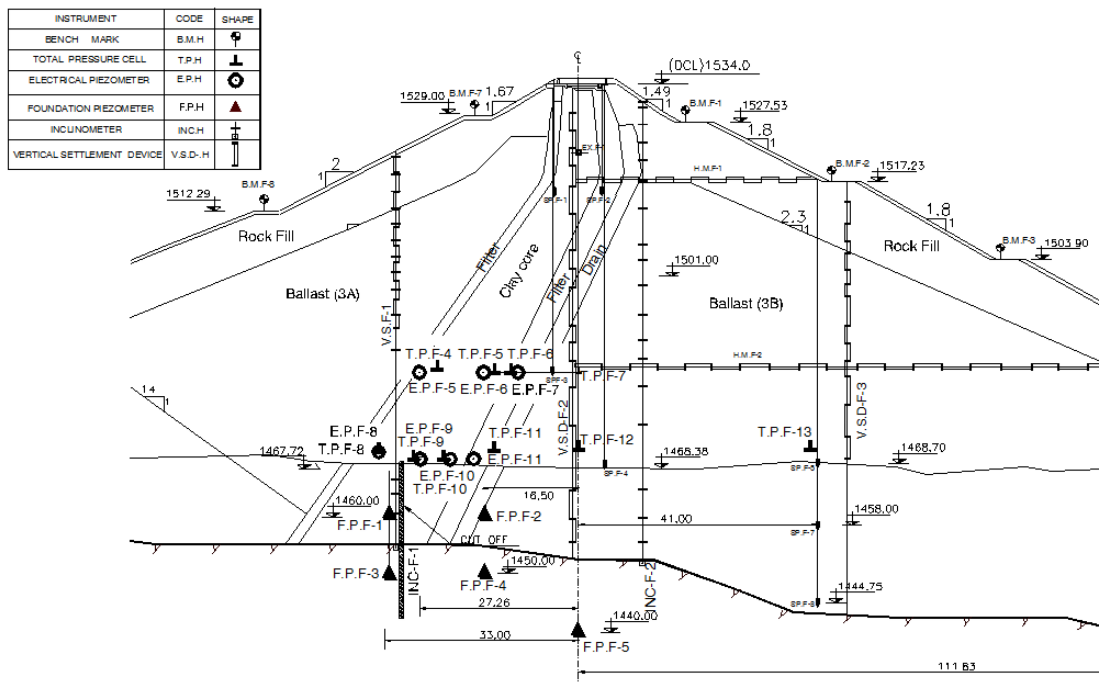
ابزار دقیق سد اسفراین مشتمل بر ابزارهای پیزومتر الکتریکی پی، پیزومتر الکتریکی خاکریز، پیزومتر کاساگرانده، سلول فشار کل، نقاط نقشه‌برداری میکروژئودزی، ترکیب انحراف سنج و اندازه‌گیری نشست، کشیدگی سنج خاکریز افقی و قائم است. عمدتاً دستگاه‌های رفتارنگاری سد در سه مقطع عرضی (H, F, C) در بدنه و پی سد جانمایی شده‌اند. از میان مقاطع مذکور، مقطع F مقطع میانی و بحرانی است. در شکل ۱ مقطع طولی گذرنده از محور سد و موقعیت مقاطع ابزارگذاری نشان داده شده است. در ادامه عملکرد سد با کمک نتایج حاصل از قرائت ابزار دقیق نصب‌شده در بدنه و پی سد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.



شکل ۱: مقطع طولی گذرنده از محور سد و موقعیت مقاطع عرضی ابزارگذاری

### ۳- ارزیابی وضعیت هسته‌ی سد بیدواز در مقطع اصلی

مقطع F-F، مقطع میانی سد است. در شکل ۲ مقطع عرضی F-F و نحوه‌ی آرایش ابزار دقیق سد در این مقطع نشان داده شده است. در جدول ۱ ابزار نصب شده در این مقطع آورده شده است. در شکل ۳ نمودار تغییرات تنش کل قائم، در شکل ۴ نمودار تغییرات فشار آب منفذی و در شکل ۵ نمودار تغییرات تنش مؤثر در هسته‌ی سد نشان داده شده است. در ابزار EPF-1 اولین قرائت تقریباً برابر ۱۵۳۰ متر بوده است. با توجه به این که تراز آب مخزن از تراز نصب ابزار کمتر است، می‌توان گفت که فشار آب اندازه‌گیری شده در این ابزار، ناشی از زمان ساخت است. فشار آب منفذی در این ابزار با گذشت زمان مستهلک می‌شود. وضعیت در ابزار EPF-13 کاملاً مشابه ابزار EPF-1 است. لذا هسته‌ی سد از زمان اجرا اشباع شده است.



شکل ۲: نحوه‌ی آرایش ابزار دقیق در مقطع اصلی



جدول ۱: ابزار نصب شده در مقطع اصلی هسته‌ی سد

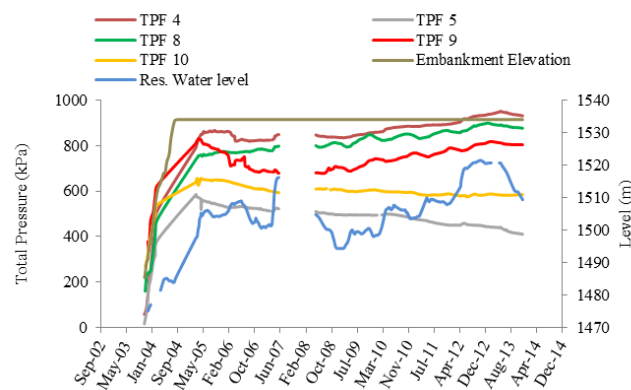
تراز	موقعیت	نام ابزار	نوع ابزار	تراز	موقعیت	نام ابزار	نوع ابزار
1485	بالادست هسته	TPF-4	سلول فشار کل	1515.9	بالادست هسته	EPF-1	پیزومتر خاکریز
1484.5	پایین دست هسته	TPF-5		1485	بالادست هسته	EPF-5	
1470.89	بالادست هسته	TPF-8		1484.5	پایین دست هسته	EPF-6	
1469.60	مرکز هسته	TPF-9		1470.89	بالادست هسته	EPF-8	
1485	پایین دست هسته	TPF-10		1469.60	مرکز هسته	EPF-9	
				1485	پایین دست هسته	EPF-10	
				1507	مرکز هسته	EPF-13	

در ابزار EPF-5 فشار آب منفذی در حال افزایش است که ناشی از نفوذ آب مخزن به این ناحیه از هسته است. در هر حال مقادیر فشار آب کمتر از فشار آب هیدرواستاتیک مخزن بوده و هسته در این ناحیه سالم و آب بند است. در ابزار TPF-4 با گذشت زمان تنش کل افزایش می‌یابد. به علت رفتار زهکشی نشده‌ی خاک هسته، نتایج ابزار با فاصله‌ی زمانی از تغییرات تراز آب مخزن متأثر می‌شود.

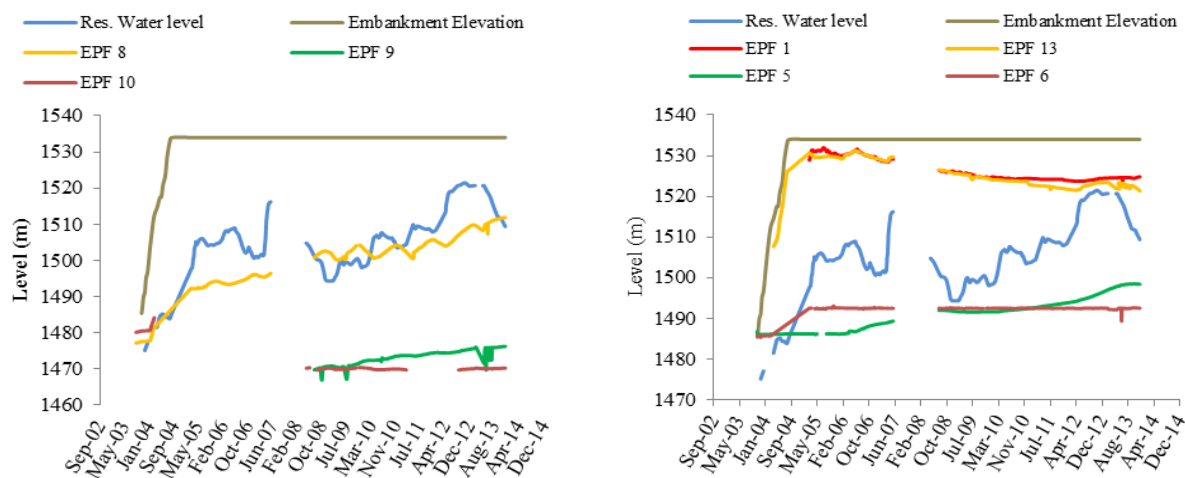
در ابزار EPF-6 فشار آب منفذی مقدار ثابتی قرائت شده و تغییری در فشار آب ایجاد نمی‌شود. آب‌بندی کامل هسته در این ناحیه را می‌توان علت عدم تأثیر آب مخزن بر روی نتایج ابزار دقیق تصور نمود. در ابزار TPF-5 تنش‌های کل با گذشت زمان کاهش می‌یابد که ناشی از اثرات تحکیم است.

در ابزار EPF-8 مقادیر فشار آب منفذی عمدتاً روند معکوس با تراز آب مخزن نشان می‌دهد که حاکی از سالم بودن هسته در این ناحیه است. سرعت استهلاک فشار آب در هسته ناشی از پدیده‌ی تحکیم، کمتر از سرعت افزایش فشار منفذی ناشی از کاهش تراز آب مخزن سالیانه بوده است و لذا روند کلی ابزار از اولین آگیری تاکنون افزایشی است. در ابزار TPF-8 تنش در حال افزایش است.

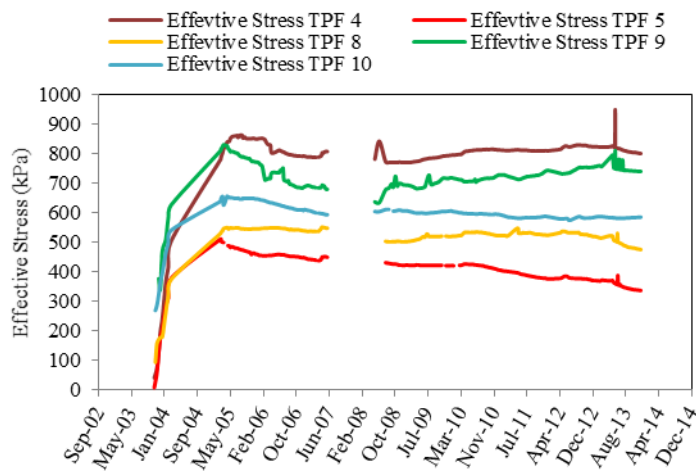
در ابزار EPF-9 به علت اشباع نبودن هسته، در ابتدا اعداد منفی قرائت شده است. اما با نفوذ آب به داخل هسته و اشباع شدن آن مقدار فشار پیزومتری افزایش می‌یابد. در ابزار TPF-9 با افزایش تراز آب تنش کل به علت غوطه‌وری کاهش می‌یابد و با کاهش تراز آب تنش کل افزایش می‌یابد. تغییرات در ابزار TPF-10 و EPF-10 مشابه ابزار TPF-5 و EPF-6 است.



شکل ۳: نمودار تغییرات تنش کل قایم هسته



شکل ۴: نمودار تغییرات فشار آب منفذی هسته



شکل ۵: نمودار تغییرات تنش مؤثر هسته

#### ۴- ارزیابی عملکرد پردهی آب بند پی

برای بررسی شرایط تراوش از طریق پی و ارزیابی عملکرد پردهی آب بند، از پیزومترهای الکتریکی پی استفاده می شود. در هر مقطع عرضی ۵ دستگاه پیزومتر الکتریکی نصب شده است. در جدول ۲ ابزارهای نصب شده در پی سد آورده شده است.

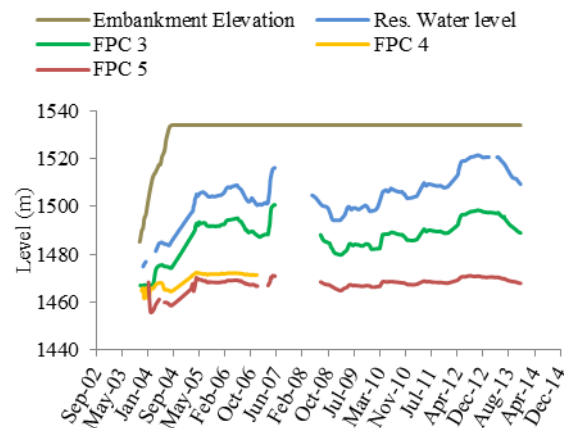
جدول ۲: ابزارهای نصب شده در پی سد

مقطع	نام ابزار	موقعیت	تراز	مقطع	نام ابزار	موقعیت	تراز	مقطع	نام ابزار	موقعیت	تراز
	FPC-1	بالادست دیوار	1469		FPF-1	بالادست دیوار	1460		FPH-1	بالادست دیوار	1460
	FPC-2	پایین دست دیوار	1469		FPF-2	پایین دست دیوار	1460		FPH-2	پایین دست دیوار	1460
C-C	FPC-3	بالادست دیوار	1459	F-F	FPF-3	بالادست دیوار	1450	H-H	FPH-3	بالادست دیوار	1450
	FPC-4	پایین دست دیوار	1459		FPF-4	پایین دست دیوار	1450		FPH-4	پایین دست دیوار	1450
	FPC-5	پایین دست دیوار	1449		FPF-5	پایین دست دیوار	1440		FPH-5	پایین دست دیوار	1440



## ۴-۱- مقطع راست C-C

در شکل ۶ نمودار تغییرات تراز پیزومتری ابزار پی در مقطع C-C بر اساس داده‌های پیزومتر الکتریکی رسم شده است. تغییرات تراز پیزومتری در ابزار FPC-3 مشابه با تغییرات تراز آب مخزن است. میان نتایج ابزار و تراز آب مخزن حدود ۱۰ متر اختلاف وجود دارد که به علت افت هد بر اثر تراوش آب در خاک پی آبرفتی است. با افزایش تراز آب مخزن این اختلاف نیز افزایش می‌یابد. داده‌های ابزار FPF-4 فقط تا شهریور ۸۶ ثبت شده است. بر اساس نتایج ابزار FPC-4 و FPC-5 تراز پیزومتری به علت عملکرد مناسب دیوار آب‌بند، با اختلاف زیادی از تغییرات تراز آب مخزن پیروی می‌کند. تراز پیزومتری کل در این ابزار تقریباً برابر ۱۴۶۸ متر، یعنی تراز بالای پی آبرفتی است.



شکل ۶ نمودار تغییرات تراز پیزومتری ابزار پی در مقطع راست

## ۴-۲- مقطع اصلی F-F

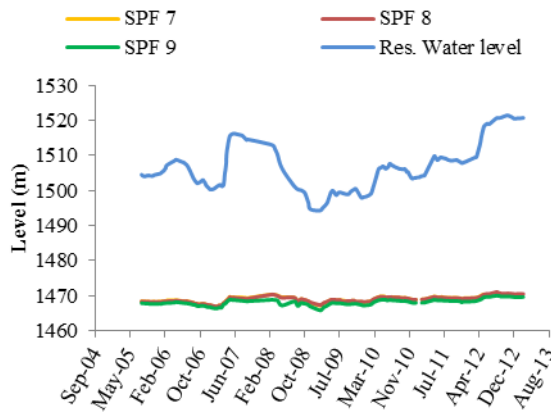
در شکل ۷ نمودار تغییرات تراز پیزومتری ابزار پی در مقطع F-F بر اساس داده‌های پیزومتر الکتریکی رسم شده است. تغییرات تراز پیزومتری در ابزار FPF-1 مشابه با تغییرات تراز آب مخزن است. میان نتایج ابزار و تراز آب مخزن حدود ۴ متر اختلاف وجود دارد که به علت افت هد بر اثر تراوش آب در خاک پی آبرفتی است. مشاهده می‌شود که با افزایش تراز آب مخزن این اختلاف نیز افزایش می‌یابد.

در مقطع F-F به عنوان مقطع اصلی، سه پیزومتر لوله ایستا در پی تعبیه شده است. در جدول ۳ مشخصات این ابزار آورده شده و در شکل ۸ نمودار تغییرات تراز پیزومتری در پی بر اساس داده‌های پیزومتر لوله ایستا رسم شده است. بر اساس نتایج این ابزار مشاهده می‌شود که تراز پیزومتری در سه ابزار SPF-7، SPF-8 و SPF-9 تقریباً ثابت و برابر ۱۴۶۸ متر است. این مقدار معادل تراز بالای پی آبرفتی پایین دست سد است. این ابزارها نیز عملکرد مناسب دیوار آب‌بند را نشان می‌دهند.

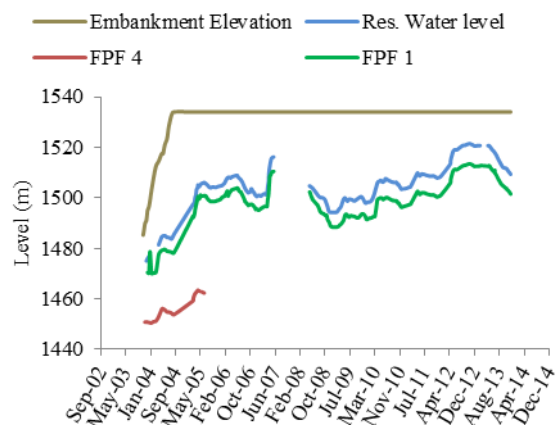
جدول ۳: پیزومترهای لوله ایستای نصب شده در پی

نام ابزار	موقعیت	تراز	وضعیت
SPF-7	پی پایین دست	1458	سالم
SPF-8	پی پایین دست	1444.75	سالم
SPF-9	پی پایین دست	1440	سالم

تهران - تیرماه ۱۳۹۵



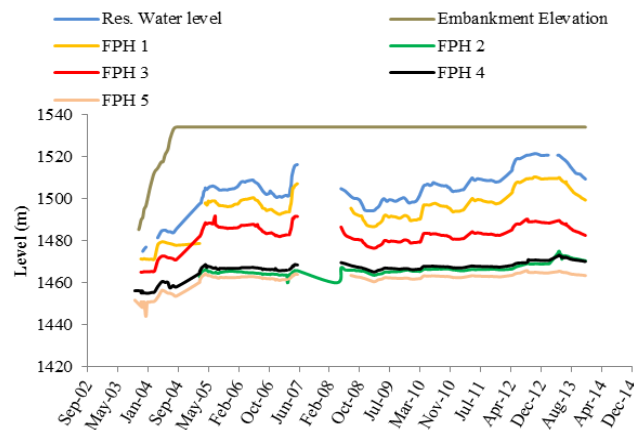
شکل ۸: نمودار تغییرات تراز پیزومتر در بی بر اساس داده‌های پیزومتر لوله ایستا



شکل ۷: نمودار تغییرات تراز پیزومتر ابزار پی در مقطع اصلی

### ۳-۴ مقطع چپ H-H

در شکل ۹ نمودار تغییرات تراز پیزومتری ابزار پی در مقطع H-H بر اساس داده‌های پیزومتر الکتریکی رسم شده است. تغییرات تراز پیزومتری در ابزار FPH-3 و FPH-1 مشابه با تغییرات تراز آب مخزن است. میان نتایج ابزار FPH-3 و FPH-1 با تراز آب مخزن به ترتیب حدود ۷ و ۱۶ متر اختلاف وجود دارد که به علت افت هد بر اثر تراوش آب در خاک است. در ابزار FPH-3 میزان افت هد بیشتر است زیرا این ابزار در تراز پایین‌تری قرار دارد. اما تغییرات تراز پیزومتری در ابزار FPH-2، FPH-4 و FPH-5 به علت عملکرد مناسب دیوار آب‌بند، با اختلاف زیادی از تغییرات تراز آب مخزن پیروی می‌کنند. تراز پیزومتری کل در این ابزارها تقریباً برابر ۱۴۶۸ متر، یعنی تراز پی آبرفتی است.



شکل ۹: نمودار تغییرات تراز پیزومتری ابزار پی در مقطع چپ

### ۵- تعیین وضعیت تراوش از تکیه‌گاهها

ساده‌ترین روش برای بررسی تأثیر تراز آب مخزن بر وضعیت تراز سطح آب زیرزمینی در تکیه‌گاهها و تعیین وضعیت تراوش در تکیه‌گاهها، حفر چاه‌های مشاهده‌ای است. به این منظور تعداد ۹ چاه مشاهده‌ای در تکیه‌گاه راست و چپ در پایین‌دست سد اسفرااین حفر شده است.



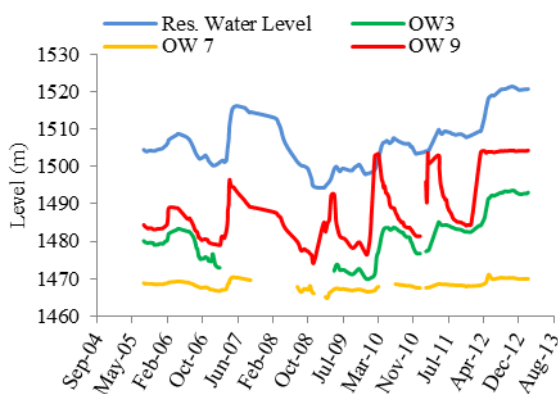


تهران - تیرماه ۱۳۹۵

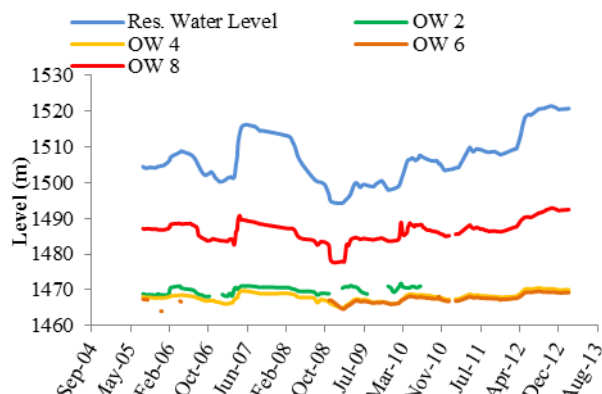
## در آغاز هزاره سوم

چاه‌های مشاهده‌ای OW-2، OW-4، OW-6 و OW-8 در تکیه‌گاه راست سد قرار گرفته‌اند. در شکل ۱۰ نمودار تغییرات تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای تکیه‌گاه سمت راست نشان داده شده است. تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای OW-2، OW-4 و OW-6 همواره دارای مقدار ثابت ۱۴۶۸ متر آب است. البته چاه مشاهده‌ای OW-6 به علت قرار گرفتن در مسیر جاده‌ی دسترسی و پوشیده شدن آن تا اواسط سال ۸۷ غیرقابل قرائت بوده و پس از آن قرائت شروع شده است. نتایج این ابزار نشان می‌دهد که تغییرات تراز آب مخزن بر روی سطح آب زیرزمینی در تکیه‌گاه راست تأثیر ندارد. این بدان معناست که تکیه‌گاه راست در محدوده‌ی چاه‌های مشاهده‌ای مذکور به خوبی آب‌بند شده است. نزدیک‌ترین گمانه به دیوار آب‌بند در تکیه‌گاه راست، چاه مشاهده‌ای OW-8 است. تراز پیژومتری در این گمانه از تغییرات تراز آب مخزن متأثر می‌شود. به نظر می‌رسد که آب مخزن به این قسمت از تکیه‌گاه نفوذ کرده است.

چاه‌های مشاهده‌ای OW-1، OW-3، OW-5، OW-7 و OW-9 در تکیه‌گاه چپ سد قرار گرفته‌اند. در شکل ۱۱ نمودار تغییرات تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای تکیه‌گاه سمت چپ نشان داده شده است. تغییرات تراز آب در چاه مشاهده‌ای OW-3 از تغییرات تراز آب مخزن پیروی می‌کند. در واقع آب مخزن به این ناحیه از تکیه‌گاه نفوذ کرده است. چاه مشاهده‌ای OW-5 مسدود شده است و قابل استفاده نیست. تراز آب در چاه مشاهده‌ای OW-7 همواره مقدار ثابت ۱۴۶۸ متر است. تغییرات تراز آب مخزن بر نتایج این ابزار تأثیری ندارد. می‌توان گفت که آب مخزن به این قسمت از تکیه‌گاه نفوذ نکرده است. تراز آب در چاه مشاهده‌ای OW-9، متأثر از تغییرات تراز آب مخزن است. تغییرات در این گمانه بسیار شدید و آبی است. بر اساس نتایج حاصله از چاه‌های مشاهده‌ای و موقعیت آن‌ها نسبت به یکدیگر، می‌توان بیان کرد که تکیه‌گاه راست سد آب‌بند بوده، ولی در تکیه‌گاه چپ به نظر می‌رسد در محل چاه مشاهده‌ای OW-3 تخلیه‌ی آب صورت می‌گیرد.



شکل ۱۱: نمودار تغییرات تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای تکیه‌گاه سمت چپ



شکل ۱۰: نمودار تغییرات تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای تکیه‌گاه سمت راست

## ۶- نتیجه‌گیری

۱. هسته‌ی سد در مقطع میانی سالم و آب‌بند است.
۲. قسمت پایین هسته به علت تراکم با رطوبت کمتر از بهینه، دارای درصد رطوبت پایین است. در پیژومترهای هسته اغلب مقادیر منفی قرائت می‌شود که به معنای غیراشباع بودن محیط است. با گذشت زمان و شروع آبیگری، هسته اشباع می‌شود. قسمت بالای هسته به علت تراکم با رطوبت بیشتر از بهینه، دارای درصد رطوبت بالا است. نتایج ابزار این ناحیه از هسته را اشباع نشان می‌دهد.



۳. پیزومترهای نصب شده در پایین دست دیوار آب بند از تغییرات تراز آب مخزن متأثر نمی شوند. تراز پیزومتری در این ابزار مقدار ثابت ۱۴۶۸ متر (تراز بالای پی آبرفتی) اندازه گیری شده است که نشان می دهد دیوار آب بند در پی سد به خوبی عمل می کند.
۴. بر اساس رفتار چاه های مشاهده ای می توان گفت که تراوش از تکیه گاه راست سد نسبت به تکیه گاه چپ ناچیز است.

## مراجع

- [1] González-Aguilera, D., J. Gómez-Lahoz, and J. Sánchez, A new approach for structural monitoring of large dams with a three-dimensional laser scanner. *Sensors*, 2008. 8(9): p. 5866-5883.
- [2] Pinto, A.V., Monitoring and Safety Evaluation of Rockfill Dams, in *Advances in Rockfill Structures*. 1991, Springer. p. 471-522.
- [3] Bamane, P. and S. Valunjkar, Dam Safety Instrumentation. *American Journal of Engineering Research*, 2014. 3(6): p. 58-62.
- [4] Yang, L.Q., R. Gao, and Y. Wang. Uncertainty Analysis and Monitoring of Earth Dam. in *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Switzerland: Trans Tech Publications.
- [5] Derakhshandi, M., et al., Numerical analysis and monitoring of a rockfill dam at the end of construction (case study: Vanyar dam). *International Journal of Civil Engineering*, 2014. 12(4).
- [6] Dunicliff, J., Geotechnical monitoring programs for embankment dams. *International Water Power and Dam Construction*, 1989. 41(11): p. 12-16.
- [7] Scott, M., R. Lo, and T. Thavaraj. Use of instrumentation to safeguard stability of a tailings dam. in *FMGM 2007@ sField Measurements in Geomechanics*. 2007. ASCE.
- [۸] رسولی، ر. و ج. طوسی، رفتارنگاری سد البرز مازندران پس از آبرگیری با استفاده از نتایج ابزار دقیق. در ششمین کنگره ملی مهندسی عمران. ۱۳۹۰، دانشگاه سمنان: سمنان.
- [9] Hui, L. and M. Haitao, Application of Ground Penetrating Radar in Dam Body Detection. *Procedia Engineering*, 2011. 26: p. 1820-1826.
- [10] Loperte, A., et al., Ground penetrating radar in dam monitoring: the test case of Acerenza (Southern Italy). *International Journal of Geophysics*, 2011. 2011.
- [11] Nico, G., et al., Use of an Advanced SAR Monitoring Technique to Monitor Old Embankment Dams, in *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 6*. 2015, Springer: Switzerland. p. 731-737.
- [12] YU, G.-m., et al., Applications of online monitoring technology for tailings dam on digital mine. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2011. 21: p. s604-s609.
- [13] Kalkan, Y., Geodetic deformation monitoring of Ataturk dam in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 2014. 7(1): p. 397-405.