

بررسی پایداری سدهای استان گلستان با استفاده از داده های ابزار دقیق

مقدمه

حفاظت، نگهداری و کنترل رفتار سد نه تنها حفظ ثروت و سرمایه‌ی ملی و افزایش عمر آن را به همراه دارد، بلکه از لحاظ ایمنی و حفظ جان انسان‌ها و طبیعت نیز بسیار حائز اهمیت است. به طور کلی یکی از مسائل مهمی که بعد از ساخت و اجرای سازه‌های مهمی چون سدها مطرح می‌گردد، نگهداری، حفظ، سلامت و کارایی آن سازه است. بنابراین به دلیل صرف هزینه و زمان زیاد برای احداث سدها، اندازه‌گیری، کنترل رفتار، حفاظت و بهره‌برداری آنها لازم و ضروری است. برای ارزیابی رفتار یک سد در دوره‌ی ساخت، آبیگری و بهره‌برداری، اندازه‌گیری واقعی برخی پارامترها نظیر جابجایی، فشار آب منفذی، تراوش و ... که بتوان به کمک اندازه‌گیری آنها مفروضات طراحی، عملکرد رفتاری سد و در نهایت پایداری سد را کنترل نمود ضروری است. بدین منظور از ابزارها و تجهیزاتی استفاده می‌شود که اصطلاحاً ابزار دقیق نامیده می‌شوند.

مروری بر تحقیقات پیشین

شروع سیر تکاملی طراحی و ساخت سدها و سازه‌های نگهدارنده‌ی آب به قرن‌ها پیش بازمی‌گردد. بازرسی‌های چشمی و حضوری بخشی از روند اجرایی پروژه‌های اولیه یعنی از زمان اولین خاکریزی‌ها تا سال‌های پس از اجرا و بهره‌برداری بوده است [۱]. ابزار دقیق و سیستم‌های اندازه‌گیری بعدها به کار گرفته شد. برای نمونه می‌توان به قرائت‌های حاصل از تراز نقشه‌برداری شده که گفته می‌شود از تاج سد گروس بویس در فرانسه در سال ۱۸۵۳ به دست آمد اشاره نمود [۲]. این سد بین سال‌های ۱۸۳۰ و ۱۸۳۸ ساخته شد و قرائت‌هایی برای اندازه‌گیری میزان جابجایی تاج سد انجام گرفت. در سال‌های بعد اندازه‌گیری تراز به وسیله‌ی نقشه‌برداری از مهم ترین اقدامات برای رفتارنگاری چنین سدهایی بوده است. در اواخر قرن نوزدهم در هند از پیژومترهای لوله باز برای مطالعه‌ی جریانات آب نشی زیر سدهای مخصوص آبیاری که روی مناطق آبرفتی ساخته شده بودند استفاده شد [۳]. در سال ۱۹۰۷ این نوع ابزار دقیق از سوی مهندسان انگلیسی برای تعیین سطح آزاد سفره‌ی آب در سد خاکی به کار گرفته شد. در ایالت متحده‌ی امریکا چاه‌های مشاهده‌ای، قرائتگرهای تراز آب و قرائتگرهای تراز هیدرواستاتیکی برای اندازه‌گیری و ثبت سطح آب یا فشار آب منفذی اولین ابزارهای مورد استفاده در دفتر احیای سدهای خاکی بودند. همزمان با بکارگیری قرائتگرهای تراز آب، قرائتگرهای فشار هیدرواستاتیکی نیز طراحی و در چندین سد نصب شدند. نصب قرائتگرهای فشار هیدرواستاتیکی در سال‌های ۱۹۳۸ و ۱۹۳۹ برای سد کابالو در ایالت نیومکزیکو امریکا نمونه‌ای از نصب این نوع ابزارهای دقیق در زمان خود بود [۴]. همچنین در دهه‌ی ۳۳۰ ایالت متحده امریکا، دفتر بازسازی شروع به استفاده از اندازه‌گیری‌های کنترل شده برای هماهنگی کارکرد سازه‌های کامل شده‌ی سد با فرضیات طراحی و روش‌های ساخت کرد. این تلاش منجر به طراحی قرائتگرهای تراز آب و پیژومترهای هیدرولیکی دو لوله برای اندازه‌گیری فشار منفذی شد [۵].

اهمیت رفتارنگاری و مراقبت از سدهای خاکی

رفتارنگاری سد دو مزیت عمده دارد: اولاً از آنجایی که رفتار سد در مرحله‌ی ساخت سد می‌تواند نشان دهنده‌ی چگونگی رفتار آن در آینده باشد، به این ترتیب فهم جنبه‌های بنیادی طراحی سد را راحت‌تر می‌کند. ثانیاً در طول دوره‌ی بهره‌برداری از سد، رفتارنگاری اطلاعات مورد نیاز جهت ایمنی سد و بهره‌برداری مؤثر را در اختیار کارفرمایان و اداره‌کنندگان، برای پوشش دادن رفتار سد قرار می‌دهد و با بررسی داده‌های اندازه‌گیری در طول بهره‌برداری می‌توان رفتار گذشته‌ی سد را نیز نشان داد. ایمنی سد، حفظ یکپارچگی و عملکرد سدها جهت اطمینان از عدم ایجاد خطر یا ریسک غیرقابل پذیرش برای جان افراد، دارایی‌ها و محیط زیست می‌باشد. با توجه به تخریب سدهای خاکی و مشکلات عمده‌ی حاصل از آن بررسی خرابی‌ها نشان داده است پدیده‌های ذیل ممکن است ایمنی آنها را تهدید کند [۶].

مواد و روش‌ها

ابزار دقیق

به مجموعه‌ای از تجهیزات که برای رفتارسنجی یا رفتارنگاری یک سازه به کار می‌رود ابزاردقیق می‌گویند. ابزاردقیق را می‌توان به دو دسته ابزار مکانیکی و ابزار الکتریکی تقسیم‌بندی کرد [۷]. ابزارهایی هستند که عمدتاً از عناصر مکانیکی تشکیل شده‌اند و سیستم قرائت آنها ممکن است دستی یا مکانیکی باشد. سیستم اصلی این ابزارها چنان است که ممکن است پدیده‌ها را مستقیماً اندازه‌گیری کند و احتمالاً نیازی به تبدیل قرائت به پارامتر مورد نظر نباشد. برای مثال سطح آب زیر زمینی به وسیله‌ی پیزومتر لوله قائم و سطح ایستابی آب از دهانه‌ی لوله‌ی پیزومتر اندازه‌گیری می‌شود. مقدار بدست آمده مستقیماً تراز آب زیر زمینی را بدست می‌دهد.

ابزاردقیق الکتریکی ابزارهایی‌اند که با جریان الکتریکی کار می‌کنند و عامل اصلی اندازه‌گیری آنها عمدتاً مقاومتی یا ارتعاشی است. امروزه کاربرد ابزار الکتریکی ازجمله سیستم تار مرتعش در دستگاه‌های اندازه‌گیری مزایای بسیاری دارد: ابزارهای الکتریکی در واقع پدیده‌ها را غیرمستقیم اندازه‌گیری می‌کنند و نتیجه‌ی قرائت آنها را باید با فرمول‌هایی به پارامترهای اصلی تبدیل کرد.

مشخصات عمومی و عمده‌ی سد بوستان

ساختمان سد بوستان در استان گلستان در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان گنبدکاووس و ۲۳ کیلومتری بالادست سد گلستان یک می‌باشد. این سد بر روی رودخانه‌ی گرگانرود و در محلی با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۵۵ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شکل زیر تصویر ماهواره‌ای از سد بوستان را نشان می‌دهد. مشخصات عمومی سد بوستان و سازه‌های وابسته آن در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است.



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای از سد بوستان و سازه‌های وابسته



شکل ۲- نمایی از دریاچه سد بوستان

جدول ۱- مشخصات عمومی و شناسنامه‌ی سد بوستان

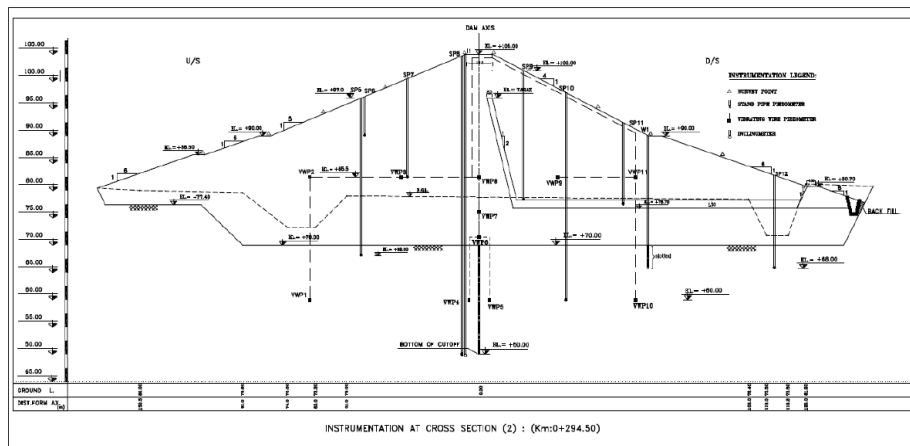
مشخصات بدنه		مشخصات مخزن		مشخصات سرریز		سیستم انحراف و تخلیه کننده‌ی تحتانی	
نوع سد	خاکی همگن	حجم مخزن در تراز تاج سرریز	۵ میلیون مترمکعب	نوع سرریز	آزاد	موقعیت	بدنه‌ی سد
ارتفاع از پی	۳۵ متر	حجم کنترل سیلاب	۱۸ میلیون مترمکعب	طول سرریز	۴۰ متر	تعداد	۲ لوله‌ی فلزی
ارتفاع از کف	۲۵ متر	وسعت در رقوم نرمال	۴,۱ کیلومتر مربع	تراز تاج سرریز	۱۰۰ متر	قطر لوله	۱۶۰۰ میلیمتر
تراز تاج سد	۱۰۵ متر	رقوم نرمال	۹۶ متر	سیلاب طراحی	PFM	طول لوله	۲۸۰ متر
طول تاج سد	۶۴۲ متر	حجم آب قابل تأمین کشاورزی	۲۸ میلیون مترمکعب در سال	موقعیت سرریز	تکیه‌گاه راست	طول کل سیستم	۲۹۶ متر

روش‌ها

ابزارهای نصب شده در سد بوستان شامل پیزومترهای کاساگرانده، پیزومترهای ارتعاشی، سلول فشار کل و نشست سنج- انحراف سنج می باشد. داده های این ابزارها به صورت ماهیانه قرائت می گردند. پس از بررسی و غربال نمودن داده ها، نمودارهایی جهت بررسی وضعیت پایداری و تراوش در سد ترسیم شده و تحلیل می گردند.

بررسی فشار آب منفذی و تغییرات آن در سدهای خاکی از اهمیت بسزایی برخوردار است، به طوری که افزایش فشار آب منفذی باعث کاهش مقاومت برشی و تنش مؤثر خاک گردیده و پایداری سد را به مخاطره می اندازد و لذا در سدهای

خاکی همواره تغییرات فشار آب منفذی مورد توجه قرار گرفته و با انجام تمهیدات لازم از افزایش بیش از حد آن جلوگیری به عمل می آید.

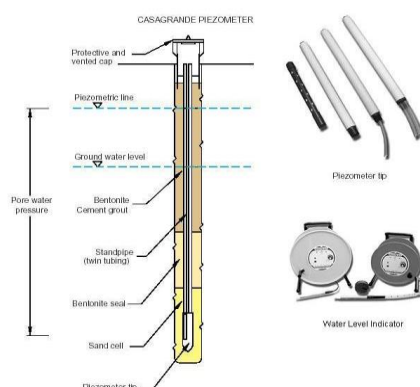


شکل ۳- نقشه‌ی ابزار دقیق سد بوستان در مقطع شماره‌ی ۲

پیزومتر ساده یا پیزومتر کاساگراندی وسیله‌ای ساده و اقتصادی برای اندازه‌گیری فشار آب است. این ابزار شامل یک سر لوله‌ی متخلخل پلاستیکی در پایین گمانه و یک لوله‌ی PVC برای قرائت سطح آب می‌باشد. قرائت تراز آب در لوله توسط یک دستگاه اندازه‌گیری عمق آب انجام می‌شود که شامل یک کابل مدرج که در یک میله‌ی اندازه‌گیر (Probe) است، می‌باشد. با فرو بردن میله‌ی اندازه‌گیر به داخل لوله و در هنگام تماس آن با سطح آب یک علامت صوتی ممتد تولید می‌شود. بدین ترتیب می‌توان عمق آب را قرائت نمود. تراز بالای سر لوله‌های پیزومترها در طول می‌بایست توسط عملیات نقشه‌برداری تعیین شده و بر پایه‌ی آن محاسبات تراز و ارتفاع آب (هد کل) انجام شود. منظور از بار آبی کل یا تراز

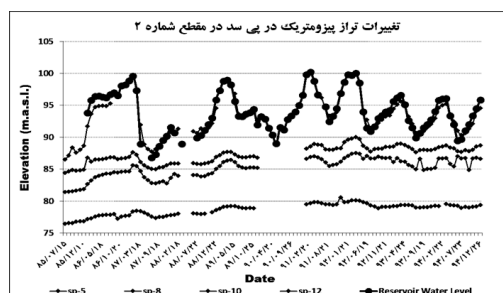
$$Z + \frac{u}{\gamma_w}$$

پیزومتریک عبارت γ_w می‌باشد که در آن Z تراز نصب پیزومتر، u فشار آب و h ارتفاع آب نشان داده شده در پیزومتر است. تصویر ذیل شکل شماتیک این ابزار را نشان می‌دهد.

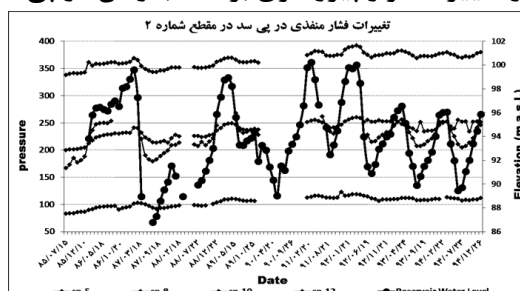


شکل ۴- شکل شماتیک پیزومتر کاساگراندی و فیلتر پیزومتر و دستگاه قرائت

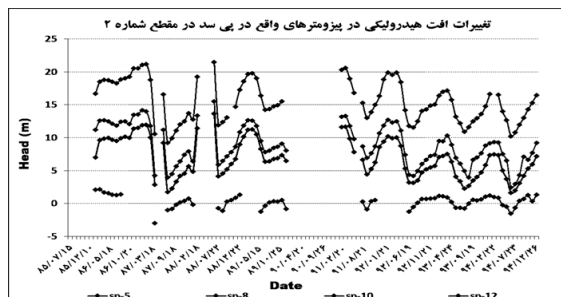
جهت بررسی تغییرات هریک از پارامترها و شرایط کنونی سد مقادیر تراز پیزومتریک (h) و فشار منفذی (U) بدست آمده و به صورت نمودار ترسیم می گردند. روند تغییرات در این نمودارها با توجه به زمان و همچنین نسبت به تغییرات تراز مخزن بررسی و تحلیل می گردند. در این رابطه باید در نظر داشت که به دلیل وجود دیوار آب بند در محور سد، انتظار می رود که در این محل افت قابل ملاحظه ای مشاهده شود. علاوه بر آن بهره گیری از داده های موجود مقادیر افت هیدرولیکی (میزان افت تراز پیزومتری نسبت به تراز مخزن) نیز محاسبه گردیده و نمودار آن ترسیم شده است. نمودارهای ترسیم شده برای مقطع شماره ۲ ابزارگذاری شده در سد بوستان در شکل های شماره ۵ الی ۷ ارائه شده است.



شکل ۵- نمودار تغییرات تراز پیزومتری بر حسب زمان در پی سد در مقطع ۲



شکل ۶- نمودار تغییرات فشار منفذی بر حسب زمان در پی سد در مقطع ۲



شکل ۷- نمودار تغییرات افت هیدرولیکی بر حسب زمان در پی سد در مقطع ۲

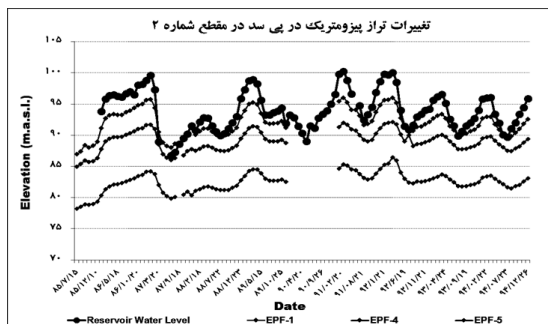
تجزیه و تحلیل

با توجه به نقشه ابزارگذاری در این مقطع ۴ پیزومتر کاساگرانده در پی نصب شده است. از این تعداد ۲ پیزومتر SP5 و SP8 در بالا دست و ۲ پیزومتر SP10 و SP12 در پایین دست المان آببند قرار دارند.

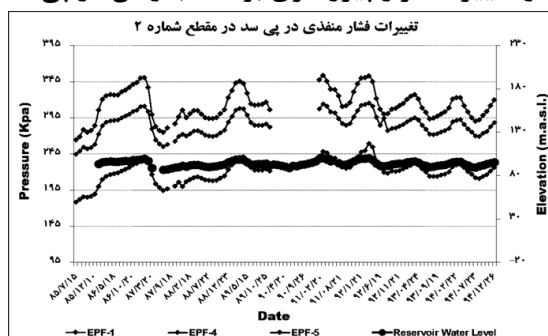
بررسی کلی روند تغییرات تراز پیزومتریک، نشان دهنده کاهش این پارامتر در اثر عبور از لایه های پی می باشد.

با توجه به شکل تغییرات تراز پیزومتریک در SP5 با تغییرات تراز آب مخزن تطابق بسیار نزدیکی داشته و کاملاً تحت تأثیر تراز آب مخزن واقع می شود که با توجه به جانمایی آن (قرارگیری در تراز ۶۹.۵ متر، در بالادست سد) منطقی است. از

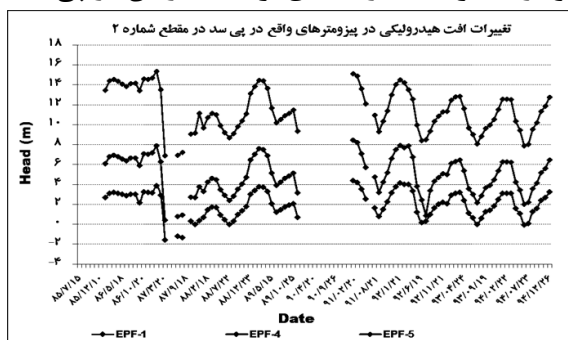
آنجا که تراز بالای لوله ی این پیزومتر ۹۷ متر است، در مواقعی که تراز مخزن به بالاتر از ۹۷ متر می‌رسد، این پیزومتر به زیر آب رفته و قابل قرائت نمی‌باشد.



شکل ۹- نمودار تغییرات تراز پیزومتری بر حسب زمان در پی سد در مقطع ۲



شکل ۱۰- نمودار تغییرات فشار منفذی بر حسب زمان در پی سد در مقطع ۲



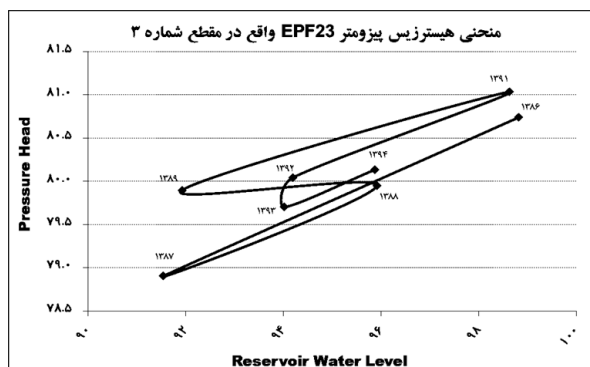
شکل ۱۱- نمودار تغییرات افت هیدرولیکی بر حسب زمان در پی سد در مقطع ۲

تجزیه و تحلیل

چنانچه از نمودار تغییرات تراز پیزومتریک در این پیزومترها برمی‌آید، این پارامتر در بالادست از تغییرات تراز آب مخزن تبعیت می‌نماید. با توجه به این نمودار تراز پیزومتریک در پیزومترهای EPF1 و EPF4 به تراز مخزن نزدیک بوده و متأثر از آن است. ضمناً به دلیل بالا بودن تراز آب زیرزمینی زمانی که تراز مخزن از ۹۵ متر فراتر می‌رود، تراز پیزومتری تحت تأثیر آن تغییر می‌کند. در پیزومترهای الکتریکی نیز این مسئله مشابه نتایج پیزومترهای کاساگرانده مشاهده می‌شود. با توجه به شکل شماره ۱۱ میزان افت هد آب در پیزومترها با فاصله گرفتن از مخزن و عبور از المان آب بند افزایش

می‌یابد. لازم به ذکر است که پیزومتر EPF10 از مدار رفتارنگاری سد خارج شده است. از این پیزومتر از سال ۸۶ تا کنون عددی قرائت و ثبت نشده است.

در این نمودارها مقادیر تراز پیزومتریک در تراز مخزن با ارتفاع مشخص بررسی می‌شود. به عنوان مثال در تراز ۹۱,۵ متر، تراز پیزومتریک EPF23 در سال ۸۸، ۷۹,۳۳ و در سال ۹۳، ۷۹,۸۲ متر بوده که مقادیر بدست آمده نزدیک به هم و قابل قبول هستند. علاوه بر آن منحنی ترسیم شده تقریباً یک مسیر رفت و برگشتی را طی می‌کند که نشان دهنده ی عدم آب شستگی ذرات پی در این محل می باشد. بنابراین کارایی المان آب بند در این مقطع تأیید می گردد



شکل ۱۲- نمودار هیستریزیس پیزومتر EPF23

نتیجه گیری

ارزیابی انجام شده بر روی داده‌های ثبت شده از ابزارهای دقیق سد نشان می‌دهد که سد بوستان پس از گذشت حدود ۱۰ سال از زمان بهره‌برداری آن در وضعیت نسبتاً مناسبی قرار دارد. هرچند کنترل بیشتر سد می‌بایست مدنظر قرار گیرد. ضمناً پیشنهاد می‌گردد برداشت نقشه برداری برای تعیین وضعیت سد و تراز سر لوله ی پیزومترها حتماً انجام گیرد.

منابع:

- 1 Mituaki, M., Toshio, H., 2014, "Instrumentation and monitoring of dams and reservoirs", Water Storage, Trasport and Distribution.
- 2 Mauriya, Vinod Kumar, 2010, "Geotechnical Instrumentation in Earth and Rock-Fill Dams", Indian Geotechnical Conference.
- 3 P. R. Bamane, Dr.S. S. Valunjkar, 2014, "Dam Safety Instrumentation", American Journal of Engineering Research, 3(6), 58-62.
- 4 EM 1110-2, 1908, "INSTRUMENTATION OF EMBANKMENT DAMS AND LEVEES", U.S. Army Corps of Engineers.
- 5 Cody Cockroft, 2013, "Dam Safety Monitoring Program for Earthen Dams", National Hydrologic Warning Council.
- 6 M. Derakhshandi, H. R. Pourbagherian, M. H. Baziar, N. Shariatmadari, A. H. Sadeghpour, 2014, "Numerical analysis and monitoring of a rockfill dam at the



end of construction (case study: Vanyar dam)", International Journal of Civil Engineering, 2(4).

- 7 USSD-12, 2008, "Why Include Instrumentation in Dam Monitoring Programs?", United States Society on Dams.
- 8 Dorsa Elmi, Ali Asghar Mirghasemi, 2013, "Effects of Arching on Measurement of Embedded Pressure Cell in Embankment Dam", International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering.