بررسی رفتار نگاری و عملکرد ابزار دقیق سد سنگریزه‌ای مارون

در یک دوره بهره‌برداری

آرش آذرآبادی، کارشناس بهره‌برداری از سد و شبکه

علیرضا علیزاده مجدی (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

alimajdii@yahoo.com

چکیده

اطمینان از رفتار مناسب سدهای خاک ریزه در شرایط مختلف دوران ساخت، آبگیری و بهره‌برداری با توجه به خطرات جدی ناشی از شکست سد ازیک‌طرف وجود عدم قطعیت‌های متعدد در مبانب، فرضیات و پارامترهای طراحی این سدها از طرف دیگر امری مهم و اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. رفتار نگاری سدها با کمک نتایج قرائت ابزار دقیق سدها به‌منظور نیل به این هدف می‌باشد. سد سنگریزه‌ای مارون در ۱۹ کیلومتری شهرستان بهبهان در استان خوزستان با ارتفاع از پی ۱۶۵ متر یکی از سدهای مرتفع ایران می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است در یک دوره بهره‌برداری از سد (انتهای سال پنجم بهره‌برداری) و با توجه به حجم زیاد داده‌های ابزار دقیق این سد و پس از ترسیم نمودارهای مربوط به تغییرات برخی از پارامترهای مهم از قبیل نشست، فشار منفذی و تنش کل، کرنش و نشت آب، به بررسی و ارزیابی رفتار سد پرداخته شود.

کلمات کلیدی: *سد سنگریزه‌ای، ابزار دقیق، رفتار نگاری، مارون.*

Study of Behavioral and Performance in Maroon Rockfill Dam with using Instrumentation in Operation Period

Arash Azar Abadi, Bs.c. of Irrigation and Drainage of Dam
Alireza Alizadeh Majdi (Corresponding author), Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
alimajdii@yahoo.com

Abstract

Ensuring proper behavior of rockfill dams in several conditions such as during construction, dewatering and operation with considering serious damages due to failure of the dam and existence of multiple uncertainities in basics, assumptions and design parameters of dam is important object and inevitable. Main idea of this paper is study of behavioral dams with using instrumentations. Maroon rockfill dam is located in 19 kilometers of behbahan city in Khuzestan province. This dam with 165 meter heigth is one of the high dams in Iran. In this research in five years of operation period behavioral of Maroon dam was performed. With considering numerous data of instrumentations in dam with design diagrams for important parameters such as settlement, pore water pressure, total stress, strain and water leakage behavior of dam was evaluated.

Keywords: *Rockfill Dam, Instrumentations, Behavioral, Maroon Dam.*

۱– مقدمه

سدهای خاک ریزه‌ای (خاکی- سنگریزه‌ای) مجموعه‌ای از عوامل زیر باعث بروز عدم قطعیت در فرضیات و مبانی اتخاذشده برای انجام تحلیل و طرح سد می‌گردند:

۱- عدم برآورد دقیق پارامترها و خصوصیات رفتاری مصالح به لحاظ تعدد عوامل مؤثر در آن

۲- کوچک بودن ابعاد نمونه‌های مورداستفاده در آزمایش در مقایسه با ابعاد واقعی دانه‌ها

۳- پیچیدگی رفتار سازه در شرایط مختلف بارگذاری (حین ساخت، آبگیری، افت سریع و شرایط تراوش پایدار)

۴- کمبود داده‌های آماری موردنیاز طراحی

۵- ضعف مدل‌های عددی و رفتاری رایج در تحلیل و طراحی مهندسی سازه‌های ژئوتکنیکی

اهمیت سازه سد به لحاظ تأمین هر چه بیشتر ایمنی آن و میزان ریسک‌پذیری بالای ناشی از شکست سد، لزوم کنترل مداوم رفتار این سازه‌ها را ایجاب می‌کند. این کنترل با اندازه‌گیری تغییرات پارامترهای رفتاری سد از قبیل نشست، فشار آب منفذی و تنش‌ها تحت اثر بارهای وارده واکنش سازه نسبت به آن صورت می‌گیرد. از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده این پارامترها با مقادیر پیش‌بینی‌شده منتج از تحلیل‌ها، واکنش رفتاری سد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. درصورتی‌که داده‌های حاصل از رفتار نگاری سد با نتایج پیش‌بینی‌شده تطابق داشته باشد می‌توان نتیجه گرفت که آنالیز انجام‌شده گویای رفتار واقعی سد بوده و نتایج حاصله را می‌توان در تعمیم اطلاعات مربوط به بخش‌هایی از بدنه که در آن‌ها ابزار دقیق وجود ندارد بکار برد. بدیهی است در صورت مغایرت نتایج قرائت با پیش‌بینی‌ها با انجام پایش روی پارامترهای مربوطه و اخذ اطلاعات تکمیلی لازم است به‌طورجدی به دنبال علت یا عوامل دخیل در موضوع بود. به‌طورکلی اهداف رفتار نگاری را در سه مورد زیر می‌توان خلاصه نمود:

- بررسی و ارزیابی روش‌های طراحی و تحلیل
- ایجاد امکان هشدار به‌منظور جلوگیری از شکست احتمالی سد و کاهش خسارت
- تأمین اطلاعات لازم جهت انجام تعمیرات و نگهداری سازه‌های سد در زمان بهره‌برداری

۲– مشخصات سد مارون

سد مارون از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی در استان خوزستان، ۲۲۰ کیلومتری اهواز و ۱۹ کیلومتری شمال شرقی شهرستان بهبهان در تنگ تکاب در کوه‌های زاگرس و یال شمالی طاقدیس خاویز بر روی رودخانه مارون احداث‌شده است. مطالعات این سد در طول سال‌های ۱۳۴۵ الی ۱۳۶۵، عملیات اجرایی آن در سال‌های ۱۳۶۶ الی ۱۳۷۸ انجام‌شده و آبگیری این سد در اردیبهشت‌ماه ۱۳۷۸ آغاز گردیده است. نمای کلی و موقعیت جغرافیایی سد در شکل شماره ۱ و اطلاعات کلی سازه‌ای آن در جدول ۱ ارائه‌شده است.[۱].

شکل (۱): *نمای کلی و موقعیت سد مارون*

جدول ۱: *مشخصات کلی سد مارون*

نوع سد	سنگریزه‌ای با هسته رسی	حجم مخزن	۱۲۰۰ mcm
ارتفاع از پی	۱۶۵ متر	تراز نرمال	۵۰۵ msl
ارتفاع از بستر	۱۵۱/۱ متر	تراز تاج سد	۵۱۵ msl
طول تاج	۳۴۵ متر	تراز حداکثر سیلاب	۵۱۴/۸۵ msl
عرض تاج	۱۵ متر	ظرفیت تخلیه عمقی	۵۰۰m^3/s
عرض در پی	۱۱۰ متر	ظرفیت سرریز	۱۰۸۰۰m^3/s
عرض در بستر	۶۲۰ متر	نوع سرریز	شوت دریچه دار

اهداف سد مارون عبارت‌اند از:

الف-تامین آب موردنیاز ۵۰۰۰۰ هکتار از اراضی دشت‌های بهبهان، جایزان، خلف آباد و شادگان

ب- مهار، کنترل سیلاب و تنظیم جریان‌های رودخانه مارون

ج- تولید ۳۸۰ گیگاوات ساعت انرژی سالیانه

۳– وضعیت زمین‌شناسی ساخت گاه سد

محدوده طرح مارون در جنوب غربی کوه‌های زاگرس واقع‌شده است. رسوبات اصلی این منطقه با برآورد ضخامت تا چندین هزار متر، به‌طور عمده شامل سنگ‌آهک، مارن، شیل، ژیپس، ماسه‌سنگ و کنگلومرا می‌باشد. محل سد در تنگه بالادست (تکاب) رودخانه مارون، جائیکه رودخانه سنگ‌های آهک آسماری تشکیل‌دهنده یال شمالی طاقدیس خاویز را قطع می‌کند، قرارگرفته است. در پایین‌دست تنگه محل سد به‌طرف محور طاقدیس، رسوبات رسی و مارنی قرارگرفته‌اند. سنگ‌های آهکی سازند آسماری که ضخامت آن در این بخش بالغبر ۳۷۰ متر تخمین زده می‌شود، پی سد و سازه‌های وابسته آن را تشکیل می‌دهد.

۴– ابزار دقیق سد مارون

ابزار دقیق سد مارون از شرکت انگلیسی SOIL INSTRUMENT تأمین‌شده و زیر نظر این شرکت نصب و راه‌اندازی شده است. کلیه دستگاه‌های رفتار نگاری سد مارون در پنج مقطع عرضی بدنه و پی توزیع‌شده است. این مقاطع به ترتیب از تکیه‌گاه چپ به راست عبارت‌اند از ۲-۲، ۵-۵، ۹-۹، ۱۲-۱۲، ۱۵-۱۵. همچنین به‌منظور تعیین حرکات سطحی و ارتفاعی بدنه شبکه‌ای از نقاط نشانه‌روی بدنه ایجادشده است که با انجام عملیات دقیق نقشه‌برداری اندازه‌گیری مختصات نقاط نشانه صورت می‌گیرد. توزیع و نوع ابزارهای نصب‌شده در مقاطع مذکور در جدول شماره ۲ ارائه‌شده است. همچنین تعداد، وضعیت و نحوه قرائت کل ابزار نصب‌شده در جدول شماره ۳ ذکرشده است. در کل ۷۳ درصد از ابزار نصب‌شده سالم و قابل قرائت می‌باشند. هدف نصب ابزارهای مذکور به‌طور خلاصه تعیین مقادیر پارامترهای زیر می‌باشد:

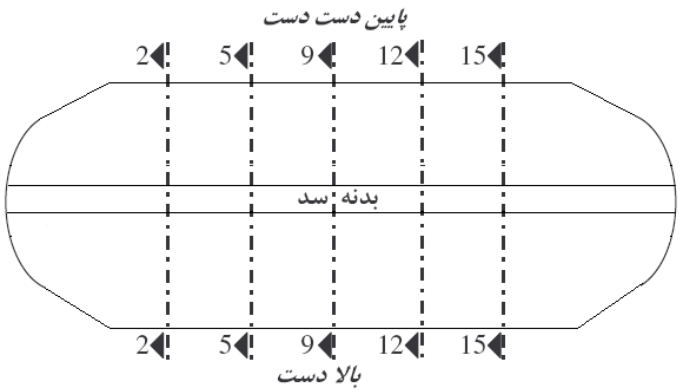
- تعیین فشار آب منفذی
- کرنش هسته
- اندازه گیری آب‌های نفوذی از پرده تزریق و تکیه‌گاه‌ها
- اندازه‌گیری حرکات جانبی و قائم گالری تزریق
- تعیین تنش کل
- میزان انحراف بدنه و نشست آن

جدول ۲: *توزیع ابزار منصوبه در مقاطع پنج‌گانه سد مارون*

شماره مقطع	فشارسنج	پیزومتر الکتریکی	پیزومتر SP	انحراف سنج
۲-۲	۲۵	۱۰	۶	۱
۵-۵	۳	۲۰	۷	۳
۹-۹	۳۶	۲۲	۴	۴
۱۲-۱۲	۳۵	۱۵	۴	۳
۱۵-۱۵	۲۵	۹	۸	۲
جمع	۱۲۴	۷۶	۲۹	۱۳

جدول ۳: *تعداد وضعیت کل ابزار دقیق سد مارون*

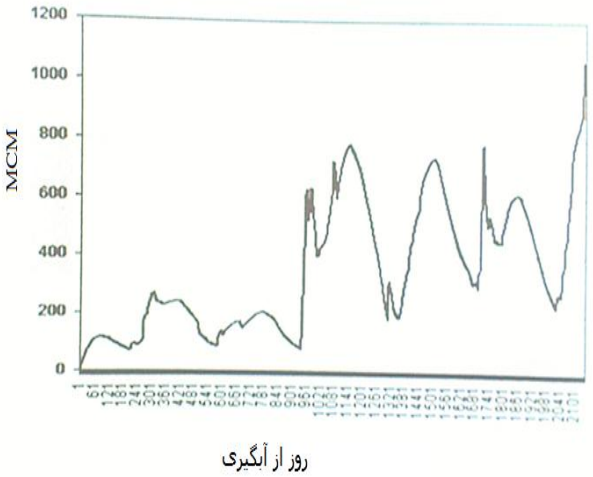
نام ابزار	تعداد	دوره قرائت	نام ابزار	تعداد	دوره قرائت
گمانه‌های هیدرولوژیکال	۱۱	یک‌بار در هفته	فشارسنج الکتریکی	۱۲۴	۲ بار در هفته
درز سنج	۲۳	یک‌بار در هفته	پیزومتر الکتریکی	۷۶	۲ بار در هفته
پیزومتر الکتریکی کنترلی	۹	۲ بار در هفته	پیزومتر سنگ پی	۱۰	۲ بار در هفته
ژئواسکن	۱	۲ بار در هفته	کرنش‌سنج	۵۸	۲ بار در هفته
اشل اندازه‌گیری رقوم دریاچه	۱	۲ بار در روز	پیزومتر قائم	۳۳	یک‌بار در هفته
دبی سنج گمانه‌های زهکش	۹	نصب نشده‌اند	انحراف سنج	۱۳	یک‌بار در هفته



شکل (۲): پلان شماتیک موقعیت مقاطع ابزاربندی سد

۵- بررسی نمودارها و رفتار نگاری سد در پایان سال پنجم بهره‌برداری

قبل از پرداختن به تغییرات برخی از پارامترهای مهم رفتار نگاری، لازم است به وضعیت تغییرات تراز و حجم مخزن سد در دوره موردبررسی توجه گردد. تغییرات حجم در شکل ۳ ارائه‌شده است. چنانچه ملاحظه می‌گردد حداکثر حجم مخزن در این دوره ۱۰۶۸/۵۷ میلیون مترمکعب، متوسط آن ۳۴۹/۳۹ میلیون مترمکعب و حداکثر تراز آب مخزن ۴۹۹/۴۵ متر از سطح دریا و متوسط آن ۴۵۱/۲ متر از سطح دریا بوده است.



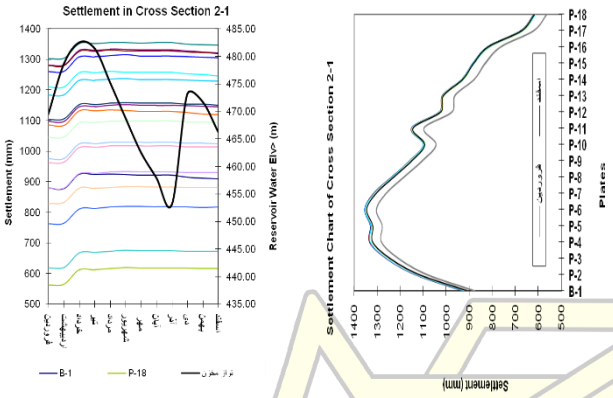
***شکل (۳):** تغییرات حجم آب مخزن*

۵-۱- جابجایی‌های قائم بدنه سد

جابجایی‌های قائم (نشست و احیاناً" تورم) در هر نقطه از هسته رسی با کمک نصب صفحات مغناطیسی در آن نقطه قابل‌تعیین می‌باشد. بدین ترتیب که تراز نصب هریک از صفحات مغناطیسی نشست سنج در هنگام نصب توسط عملیات دقیق نقشه‌برداری قرائت می‌گردد. این صفحات در فاصله ۳ الی ۵ متری در امتداد لوله قرائت و در ارتفاع کل هسته در مقاطع موردنظر ابزاربندی اجرا گردیده‌اند. در لحظه قرائت موقعیت جدید هر صفحه که متناسب با جابجایی آن نقطه تغییر نموده توسط دستگاه نشست سنج تعیین گردیده و با به دست آمدن تراز صفحه و مقایسه با تراز قبلی آن جابجایی نقطه نصب صفحه به دست می‌آید. اطلاعات هر نشست سنج به‌صورت دو سری نمودار رسم گردید. در سری اول نمودارها، تغییرات نشست صفحات در طول لوله قرائت (ارتفاع هسته) در زمان‌های مختلف ترسیم و مورد ارزیابی قرار گرفت.

به‌عنوان نمونه نمودار مربوط به نشست سنج شماره ۱ مقطع ۲ در شکل ۳ ارائه‌شده است. سری دوم نمودارها بر اساس تغییرات نشست یک صفحه نسبت به زمان و در مقایسه با تغییرات تراز آب مخزن رسم گردید. به‌عنوان نمونه در شکل ۴ نتایج مربوط به نشست سنج شماره ۱ در مقطع ۲

ابزاربندی را نشان می‌دهد. با توجه به حجم زیاد داده‌ها و نمودارهای حاصله، مقادیر حداکثر نشست صفحات به همراه تراز و عمق قرارگیری و حداکثر نشست پیش‌بینی‌شده در مقطع مربوطه در جدول ۴ جمع‌بندی و ارائه‌شده است. چنانچه ملاحظه می‌گردد بیشترین نشست مربوط به صفحات واقع در بخش میانی ارتفاع هسته می‌باشد که با مبانی تئوری رفتار نشست تحکیم در داخل هسته مطابقت دارد. همچنین روند تغییرات نشست هر صفحه نسبت به زمان کاهشی بوده و به‌مرورزمان به حالت پایدارتری می‌رسد.



***شکل (۴)**: تغییرات مقادیر نشست هسته رسی بر اساس نتایج صفحات نشست سنج الف) تغییرات نشست نسبت به عمق هسته ب) تغییرات نشست نسبت به زمان و تغییرات تراز مخزن*

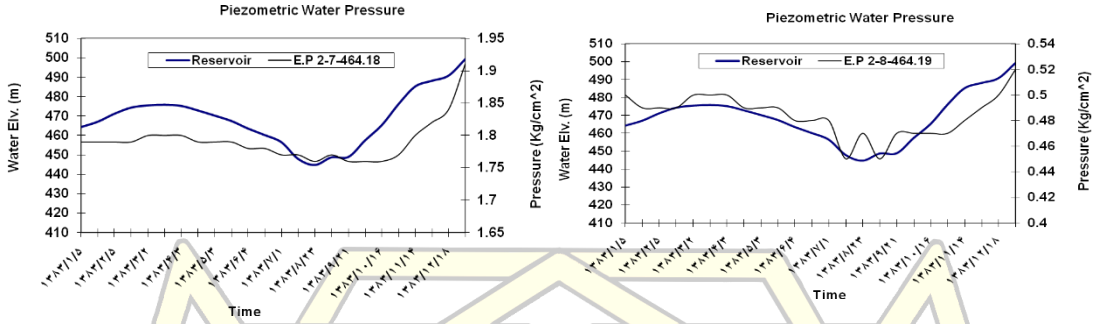
***جدول ۴**: خلاصه بیشترین نتایج نشست سنج‌ها*

تراز masl	عمق صفحه (متر)	مقدار نشست حداکثر (متر)	مقدار نشست پیش‌بینی حداکثر (متر)	شماره ابزار	شماره مقطع
۴۷۴	۴۱	۱/۳۶۴	۱/۳۴۶	S(۲-۱)	۲-۲
۴۷۱	۴۴	۲/۲۳۱	۲/۲۲۴	S(۵-۲)	۵-۵
۴۳۲	۸۳	۲/۳۲۰	۲/۲۹۹	S(۹-۲)	۹-۹
۴۵۰	۶۵	۰/۹۹۴	۰/۹۳۰	S(۱۲-۳)	۱۲-۱۲
۴۷۵	۴۰	۱/۲۱۵	۱/۱۸۵	S(۱۵-۱)	۱۵-۱۵

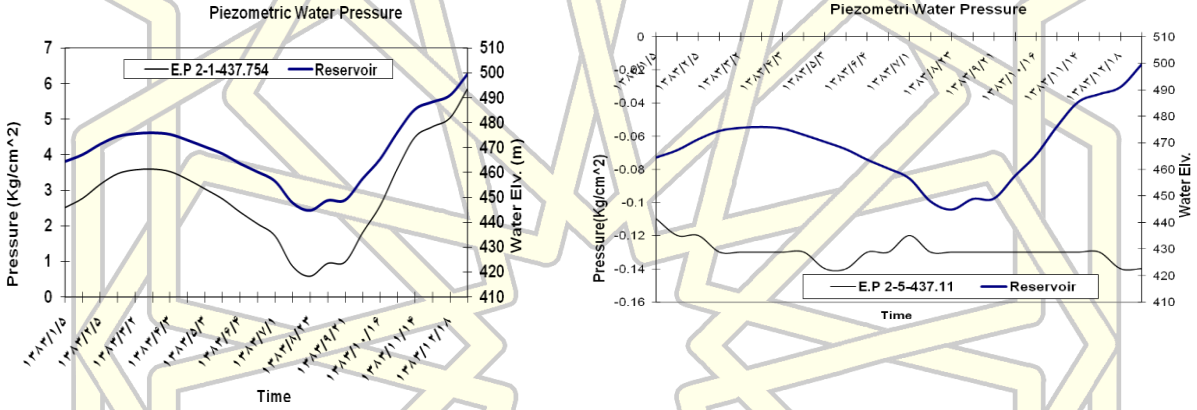
۵-۲- نتایج فشار آب حفره‌ای

تغییرات فشار آب حفره قرائت‌شده توسط پیزومترهای الکتریک نسبت به زمان و به همراه تغییرات تراز آب مخزن ترسیم گردید. از بررسی نمودارهای رسم شده به‌طور خلاصه نتایج زیر را می‌توان به دست آورد:

۱- کاهش مقادیر فشار آب منفذی در داخل هسته در جهت حرکت به سمت پایین‌دست که با توجه به روند کاهش گرادیان جریان با مبانی تئوری تطابق داشته و عملکرد صحیح پیزومترها نشان می‌دهد (شکل ۵) تغییرات فشار آب منفذی پیزومترهای داخل فیلتر بالادست تقریباً" با افت کمی از تغییرات تراز مخزن تبعیت می‌کند درحالی‌که این تغییرات در پیزومترهای منصوبه در داخل فیلتر پایین‌دست تقریباً" صفر می‌باشد که حاکی از عملکرد مناسب فیلتر می‌باشد (شکل ۶). پس از رسم نمودار تغییرات نتایج فشارسنج‌های نصب‌شده در مجاورت پیزومترهای الکتریکی و محاسبه نسبت فشار آب منفذی R_u ملاحظه می‌گردد مقادیر نسبت‌ها پایین بوده که نشانگر اطمینان کافی سد در مقابل گسیختگی هیدرولیکی می‌باشد. نتایج مربوط به تراز حدود ۴۳۷ در مقطع ۲ و دو نمودار نتایج فشارسنج به‌عنوان نمونه در جدول ۵ و شکل‌های ۶ و ۷ ارائه‌شده است.



شکل (۵): *تغییرات مقادیر فشار آب منفذی داخل هسته رسی مقطع ۲ تراز ۴۶۴/۱۹ لف) پایین‌دست هسته ب) بالادست هسته*

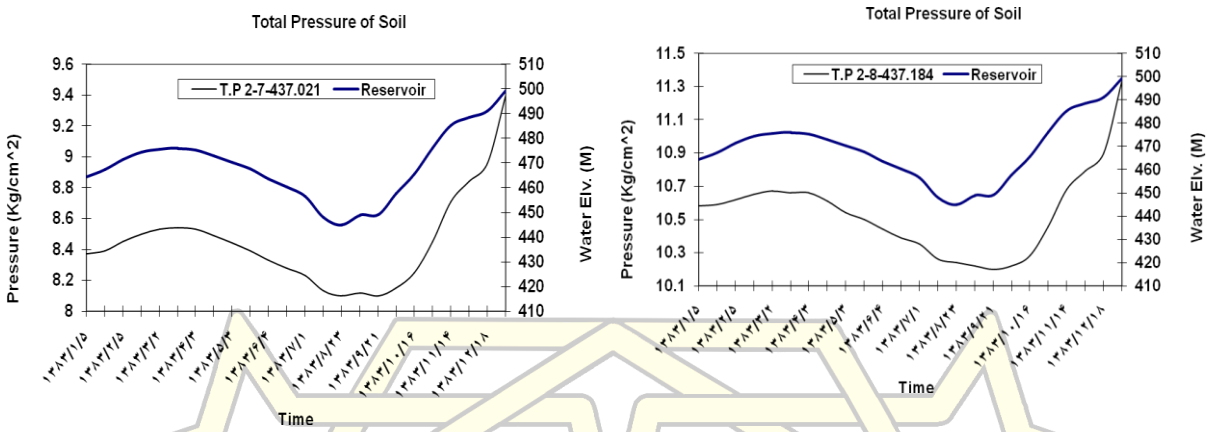


الف) مقطع ۲ تراز ۴۳۷/۱۱ پایین‌دست هسته ب) مقطع ۲ تراز ۴۳۷/۷۵۴ بالادست هسته

شکل (۶): *تغییرات مقادیر فشار آب منفذی داخل فیلتر هسته رسی*

جدول شماره ۴: *مقادیر نسبت فشار آب منفذی در دوره موردبررسی (حداقل و حداکثر تراز مخزن ۴۵۰ و ۵۰۰)*

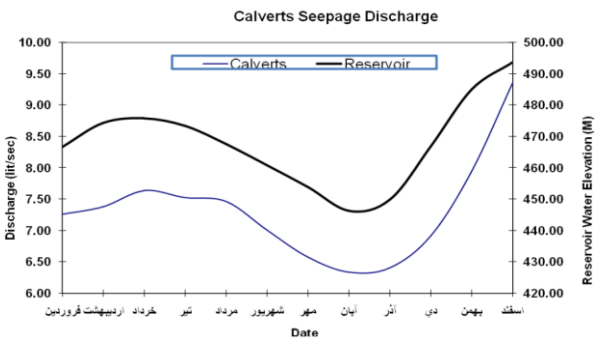
ابزار	حداقل مقدار kg/cm^2	حداکثر مقدار kg/cm^2	حداقل	حداکثر
پیزومتر EP2-2 437.15	۴/۳	۵/۱۵		
فشارسنج TP2-6 437.201	۵/۸	۶/۷	۰/۷۴	۰/۷۷
فشارسنجTP2-7 437.021	۸/۱	۹/۳	۰/۵۳	۰/۵۵
فشارسنجTP2-8 437.184	۱۰/۲	۱۱/۳	۰/۴۲	۰/۴۶



شکل (۷): *تغییرات تنش کل داخل هسته رسی بر اساس نتایج فشارسنج‌ها*

۵-۳- رفتار نگاری آب نشتی

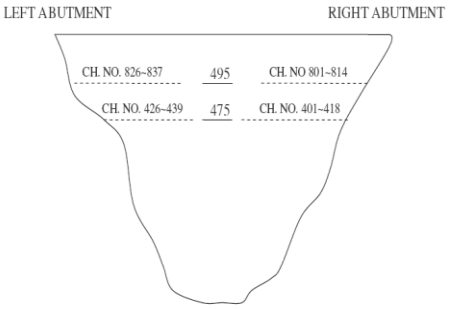
آب‌های نشتی از بدنه سد به همراه نشت آب از تکیه‌گاه‌ها و پی از طریق زهکش افقی پوسته پایین‌دست جمع‌آوری‌شده و با استفاده از گمانه‌های زهکش پشت پرده تزریق و درنهایت سه رشته کالورت از بدنه سد خارج‌شده و اندازه‌گیری می‌شود. میزان حداکثر نشت مجاز طبق گزارشات طراحی مشاور مربوط به تراز حداکثر ۱۰ الب ۲۰ لیتر در ثانیه برآورد شده است. با توجه به نتایج اندازه‌گیری نشت مربوطه طبق شکل ۸ رسم گردید که حداکثر مقدار نشت در دوره موردبررسی به حدود ۱۰ لیتر بر ثانیه می‌رسد که با مقادیر پیش‌بینی تطابق دارد.



شکل (۸): *تغییرات نشت آب کل*

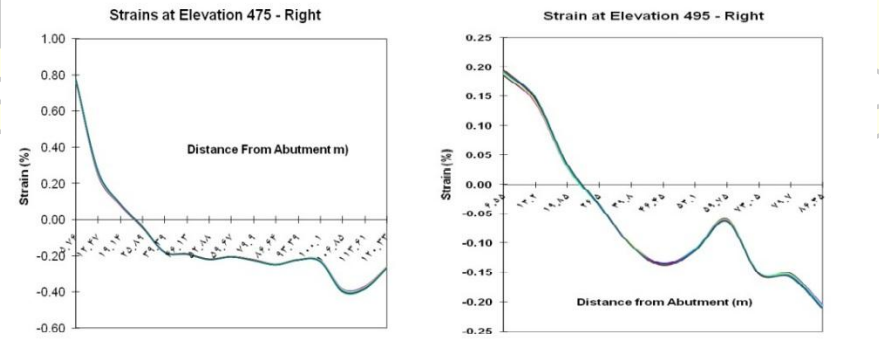
۵-۴- رفتار نگاری کرنش‌سنج‌ها

با توجه به عرض کم دره در محور سد مارون (طول تاج ۳۴۵ متر) و شیب نسبتاً" تند تکیه‌گاه (حدود ۵۰ درجه)، اختلاف ارتفاع ستون خاک در مقاطع عرضی مختلف در فاصله کم قابل‌توجه بوده و درنتیجه به دلیل بروز نشست‌های تحکیم مختلف در این مقاطع، امکان به وجود آمدن نشست‌های نسبی قابل‌توجه در امتداد محور طولی سد محتمل می‌باشد.. این نشست نابرابر موجب حرکت و رانش مصالح هسته به سمت مرکز دره و مقاطع میانی شده و باعث بروز کرنش کششی در هسته می‌گردد. چنانچه می‌دانیم این شرایط پتانسیل بروز پدیده قوسی کردن رس (Arching) می‌باشد. این پدیده می‌تواند به تشکیل ترک‌های عرضی در قسمت‌های فوقانی هسته منجر گردد که از نکته نظر نشت آب و فرسایش هسته خطرناک خواهد بود. به‌منظور رفتار نگاری این پدیده، درمجموع ۵۸ عدد کرنش‌سنج الکتریکی در چهار ردیف به‌موازات محور سد در رقومهای فوقانی و نزدیک به تکیه‌گاه‌ها (دو ردیف در تراز ۴۷۵ و دو ردیف در تراز ۴۹۵) نصب گردیده است. موقعیت دستگاه‌های مذکور در شکل ۹ ارائه‌شده است.



نتایج قرائت‌های انجام‌شده نسبت به موقعیت نقاط کرنش‌سنج به تفکیک برای ۴ ردیف اشاره‌شده رسم گردید. نتایج اندازه‌گیری‌های کرنش‌سنج‌های تکیه‌گاه راست در نمودارهای شماره ۸ ارائه‌شده است. بیشترین کرنش مربوط به ابتدای کرنش‌سنج در فاصله ۵/۷۸ متری تکیه‌گاه به مقدار ۰/۸ درصد می‌باشد و از نوع کششی (مثبت) است. کرنش کششی تا فاصله حدود ۲۴ متری تکیه‌گاه به‌صورت کاهشی تغییر نموده و در این نقطه صفر می‌گردد. بعدازاین نقطه کرنش به‌صورت فشاری (منفی) بوده یعنی نقاط اندازه‌گیری به هم نزدیک‌تر شده‌اند. به‌طورکلی تغییرات کرنش در طول کرنش‌سنج از نشست نسبی بین نقاط مختلف مقطع عرضی سد تبعیت می‌کند. حداکثر کرنش کششی طبق گزارشات طراحی بدنه سد ۰/۵ درصد فرض شده که کرنش ۰/۸ درصد اندازه‌گیری شده در تراز ۴۷۵ بیشتر از مقدار پیش‌بینی بوده و لازم است بررسی و پایش بیشتری در این زمینه انجام شود. همچنین در این نمودارها نتایج کرنش‌ها مربوط به زمانه‌ای دوره موردبررسی بوده و چنانچه ملاحظه می‌گردد تغییرات کرنش در هر نقطه نسبت به زمان جزئی می‌باشد و نمودارهای زمانه‌ای مختلف تقریباً" بر روی‌هم منطبق شده است. در تکیه‌گاه چپ کلیه کرنش‌ها فشاری (علامت منفی) بوده و به نظر می‌رسد پتانسیل تشکیل پدیده تشریح شده در این تکیه‌گاه تا زمان آخرین قرائت مطرح نبوده و لذا این تکیه‌گاه از وضعیت مناسبی از این نظر برخوردار می‌باشد.

شکل (۹): *موقعیت کرنش‌سنج‌های هسته*



الف) تراز ۴۹۵ هسته ب) تراز ۴۷۵ هسته

شکل (۱۰): *تغییرات نتایج کرنش‌سنج‌های نصب‌شده در تکیه‌گاه راست داخل هسته*

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بررسی نتایج قرائت‌های ابزار دقیق، اطلاعات مفید و مهمی از رفتار سد در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهد و لازم است این نتایج با نتایج تحلیل و مقادیر پیش‌بینی‌شده در طراحی بررسی و تفسیر گردیده و در صورت نیاز از تحلیل برگشتی نیز برای ارزیابی رفتار سد با توجه به نتایج قرائت‌ها بهره گرفته شود. از بررسی نتایج ابزار رفتار نگاری سد مارون در یک دوره بهره‌برداری (پایان سال پنجم بهره‌برداری) می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده با توجه به تغییرات تراز آب مخزن عمدتاً" منطقی و با پیش‌بینی‌های طراحی مطابقت دارد.

۷- تقدیر و تشکر

نگارندگان از سازمان آب و برق استان خوزستان و شرکت بهره‌برداری از سد و شبکه‌های مارون که ما را در تهیه این مقاله یاری نمودند، کمال تقدیر و تشکر رادارند.

۸- مراجع

[۱]گزارش قرائت ابزار دقیق سد مارون، یعقوب عرب، سازمان آب و برق خوزستان،۱۳۸۳

[۲]مطالعه موردی رفتار نگاری سد مارون، آرش آذرآبادی پایان‌نامه کارشناسی نگهداری و بهره‌برداری از سد و شبکه، دانشگاه آب و برق خوزستان، گروه آب و محیط‌زیست ۱۳۸۵

[۳]اطلاعات اجرائی در مورد سدهای خاکی، محمود وفاییان، انتشارات ارکان، اصفهان،۱۳۸۴

[۴]مجموعه مقالات رفتار نگاری و رفتار سنجی سدهای خاکی، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، مرکز انتشارات، ۱۳۸۶

[5] Sis Geo, product Manual 2017

[6] "General Design and Construction Consideration for Earth and Rock-Fill Dams", U.S.A.C.E, 2004