

موضوع: گواهی پذیرش مقاله در کنگره

بدینوسیله گواهی و تأیید می گردد مقاله تحت عنوان

" تاثیر تغییرات نفوذپذیری مصالح هسته همزمان

با تحکیم در عملکرد کلی سد مسجد سلیمان "

تهیه و ارائه شده توسط جناب آقای / سرکار خانم

" مرتضی سالاری ، علی اخترپور "

مطابق با اعلام نظر داوران منتخب کمیته علمی در "دومین کنگره ملی مهندسی ساخت و

ارزیابی پروژه های عمرانی" مورد پذیرش واقع گردیده است.

هومن جانفشان

دبیر علمی کنگره



کنگروه ملی مهندسی ساخت و
ارزیابی پروژه های عمرانی

-  انجمن مهندسان عمران ایران
-  اداره کل راه و ترابری استان تهران
-  اداره کل مسکن و شهرسازی استان تهران
-  اداره کل راه و شهرسازی استان گلستان
-  سازمان نظام مهندسی ساختمان کشور
-  سازمان نظام مهندسی ساختمان استان تهران
-  سازمان نظام مهندسی ساختمان استان گلستان
-  شهرداری مسکن
-  شهرداری گرگان
-  اداره کل بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان تهران
-  اداره کل بنیاد مسکن انقلاب اسلامی استان گلستان
-  اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان تهران
-  اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان گلستان
-  دانشگاه بوستمان
-  دانشگاه

-  انجمن مهندسان عمران ایران
-  انجمن مهندسان عمران ایران
-  شرکت شهرک های صنعتی استان تهران
-  شرکت شهرک های صنعتی استان گلستان
-  شرکت آب و فاضلاب استان تهران
-  شرکت آب و فاضلاب استان گلستان
-  انجمن مهندسان عمران ایران
-  CIVILICA
-  ALL CONFERENCES
-  ایران کنفرانس
-  Symposia
-  CONFERENCE
-  ایران کنفرانس
-  ایران کنفرانس
-  MODIR.IR



تأثیر تغییرات نفوذپذیری مصالح هسته همزمان با تحکیم در عملکرد کلی سد مسجد سلیمان

مرتضی سالاری^۱، علی اخترپور^۲

۱- کارشناسی ارشد عمران - مکانیک خاک و پی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

m.salari04@gmail.com

چکیده

سد مسجد سلیمان سدی سنگریزه ای با هسته مخلوط گراولی رسی به ارتفاع ۱۷۷ متر می باشد که در جنوب غرب ایران روی رودخانه کارون احداث شده است. ایجاد و توسعه فشار حفره ای در هسته سد در دوران خاکریزی در مقایسه با سدهای مشابه بسیار قابل توجه بوده است. علاوه بر این بعد از گذر حدود ۱۴ سال از انتهای ساخت سد، افت فشار حفره ای و در نتیجه نشست های تحکیمی هسته ناچیز می باشد. با این وجود تغییر شکل های بزرگ و پیش رونده ای در سد بوضوح قابل مشاهده است. این رفتار تغییر شکلی غیر معمول چالشی مهم پیش روی قضاوت صحیح در باب رفتار سد قرار داده است. افت فشار حفره ای رابطه مستقیم با میزان نفوذپذیری دارد لذا تخمین صحیح میزان این کمیت می تواند نقشی کلیدی در تعیین مکانیزم کلی رفتار سد داشته باشد. در این مقاله ابتدا از طریق محاسبات آماری روی داده های حاصل آزمایش های انجام شده، تابعی نمایی اولیه ای برای تغییرات کمیت نفوذپذیری همگام با تحکیم برآورد شده است. سپس با کالیبره کردن مدل تحلیلی سه بعدی تفاضل محدود سد بر اساس داده های فشار حفره ای رکورد شده از ابزارهای هسته، این تابع نیز کالیبره شده است. نتایج مطالعه نشان می دهد علل اصلی برآورد پایین دست ایجاد، توسعه و افت فشار حفره ای در هسته سد، تخمین بالادست کمیت نفوذپذیری، در نظر نگرفتن روند کاهشی آن توأم با تحکیم و عدم انجام اقدام اجرایی مناسب در دوران ساخت می باشند.

واژه های کلیدی: سدهای سنگریزه ای، تابع نفوذپذیری، فشار حفره ای، تحلیل بازگشتی

۱- مقدمه

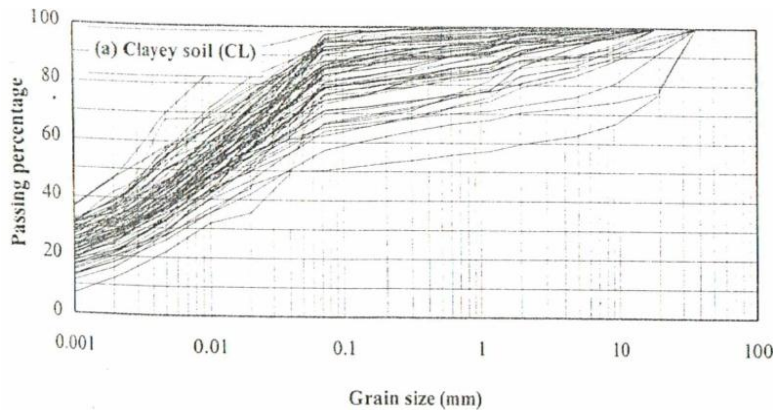
سیال موجود در فضای بین حفرات بخش نفوذناپذیر و اشباع سدهای خاکی همگام با خاکریزی در اثر بارگذاری ناشی از وزن مصالح بالایی تحت فشار قرار می گیرد و لذا فشار حفره ای در آن نواحی توسعه می یابد. اضافه فشار آب موجود می تواند موجب کاهش ایمنی و پایداری سد گردد بر این اساس این موضوع از سال ۱۹۵۴ مورد توجه طراحان و محققان قرار گرفته است [1] کمیت فشار سیال حفره ای در خاکریزها عموماً با نصب ابزارهایی نظیر پیزومترهای الکتریکی، لوله های کاساگرانده و.. اندازه گیری می شود [2]. سد مسجد سلیمان یک سد سنگریزه ای با هسته مخلوط نفوذناپذیر، اشباع و نسبتاً ضخیم می باشد که در جنوب غرب ایران روی روخانه کارون احداث شده است. ارتفاع سد ۱۷۷ متر، طول تاج ۴۹۷ متر و عرض تاج ۱۵ متر می باشد. طبق توصیه کمیته بین المللی سدهای بزرگ [3] برای کنترل ایمنی مناسب سد در دوران ساخت و بهره برداری، سیستمی ابزارگذاری برای این سد طراحی و اجرا شده است. تحلیل و بررسی (رفتارنگاری) داده های حاصله از پیزومترهای موجود در هسته نشان می دهد میزان فشار حفره ای قابل توجهی در دوران ساخت در هسته ایجاد شده و روند افت آن در دوران بعد از ساخت بسیار ناچیز می باشد بگونه ای که بعد از حدود ۱۴ سال از انتهای ساخت حدود ۱۰-۲۰ درصد افت نشان می دهند. در حالی که در همین دوران میزان ۴/۸۱ متر (۲/۷ درصد ارتفاع سد) نشست در تاج سد ثبت شده است و روند تغییرات آن در حال حاضر ۰/۴۸ میلی متر بر روز می باشد [۴]. این ناهماهنگی موجود یعنی تحکیم ناچیز هسته (افت ناچیز فشار حفره ای) از یکسو و از سوی دیگر نشست های قابل توجه و پیش رونده سد چالشی پیش روی ارزیابی صحیح عملکرد این سد است. مطالعات نشان می دهند اصلی ترین عوامل موثر در میزان توسعه و افت فشار حفره ای در خاکها نوع خاک، میزان نفوذپذیری، درصد تراکم، درصد اشباع شدگی، وضعیت هندسی مقطع و فاصله هر نقطه تا سطوح زهکشی می باشد [۵] بنابراین تعیین دقیق نفوذپذیری به عنوان یک عامل موثر در توسعه و افت فشار حفره ای هسته می تواند دریچه ای بسوی رفع این چالش در رفتار سد بگشاید. در ژئوتکنیک تعیین مقدار معتبری برای پارامتر نفوذپذیری در مصالح ریزدانه با نفوذپذیری کمتر از 10^{-7} سانتی متر بر ثانیه همواره همراه با دشواری های اساسی می باشد، این دشواری ها از طبیعت نفوذپذیری خاک های ریزدانه که بستگی به ترکیب کانی شناسی، ساختار دانه ای، اشباع شدگی اولیه، ترکیب شیمیایی مایع تراوشی، گرادیان هیدرولیکی یا شرایط زهکشی این مصالح دارد ناشی می شوند [6-7]. وابسته به ظرفیت تحقیق و کاربردهای مورد انتظار از مصالح، روش های متنوعی می تواند برای تعیین نفوذپذیری استفاده شود، آنها عموماً می توانند به روش های برجا، آزمایشگاهی و مدل های ریاضی تقسیم شوند. در این مقاله سعی شده است با محاسبات آماری روی نتایج آزمایش های آزمایشگاهی و همچنین تهیه مدل تحلیلی عددی کالیبره شده بر اساس نتایج پیزومترهای نصب شده در هسته، تغییرات کمیت نفوذپذیری مصالح هسته سد مسجد سلیمان همگام با تحکیم تعیین شود و در نهایت بر اساس روند تغییرات این تابع، علل اصلی ایجاد و توسعه قابل توجه فشار آب حفره ای هسته در دوران ساخت و افت ناچیز آن در دوران بهره برداری شناسایی گردند.

۲- مطالعات منابع قرضه

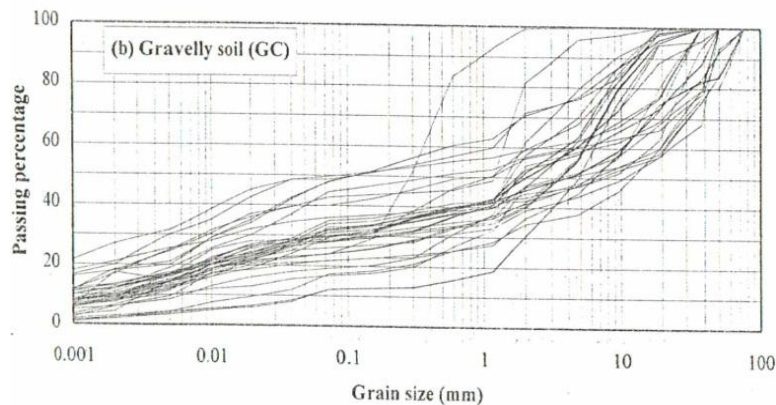
در مرحله شناسایی منابع قرضه این سد، منبع قرضه سیمبند برای هسته سد مناسب تشخیص داده شده است. این منبع دارای افق های تناوبی نامنظمی از لایه های رسی (CL) و لایه های گراولی (GC) می باشد. پوش دانه بندی مصالح افق های رسی و گراولی این منبع در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به تناوب نامنظم این افق ها امکان جداسازی آن ها وجود نداشته است لذا هسته رسی سد مسجد سلیمان مخلوطی از مصالح رسی و گراولی می باشد. با توجه به تغییرات درصد مصالح درشت دانه و

ریزدانه در مصالح هسته، برای تعیین مشخصات مکانیکی و جریان آن، نمونه هایی با سه ترکیب اختلاط (GC:CL) که عبارتند از (M1) ۴۰:۶۰، (M2) ۶۰:۴۰ و (M3) ۸۰:۲۰ مورد آزمایش قرار می گیرند. از سوی دیگر به علت تاثیر درصد رطوبت روی مشخصات مصالح، هریک از این نمونه ها با درصد های مختلف نسبت به رطوبت بهینه مورد آزمایش قرار گرفته اند.

در این میان، نفوذپذیری مصالح هسته به دو شیوه ۱- مستقیم با کمک آزمایش مرسوم نفوذپذیری مصالح ریزدانه (بار افتان) و ۲- غیر مستقیم با کمک آزمایش تحکیم تعیین گردیده است [8] از روش مستقیم مقدار نفوذپذیری از مرتبه 10^{-7} تا 10^{-6} سانتی متر بر ثانیه و از روش غیر مستقیم از مرتبه 10^{-8} تا 10^{-7} سانتی متر بر ثانیه بدست آمده است. نسبت نفوذپذیری افقی به قائم بدون انجام آزمایش به شیوه تجربی ۱۰ در نظر گرفته شده است. با توجه به اختلاف ده برابری این آزمایش ها، در جهت اطمینان در مرحله طراحی برای محاسبات تنش- کرنش و شبیه سازی پدیده تحکیم، نفوذپذیری از مرتبه 10^{-8} تا 10^{-7} سانتی متر بر ثانیه و در محاسبات تراوش از مرتبه 1×10^{-6} سانتی متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است [9].



(الف)



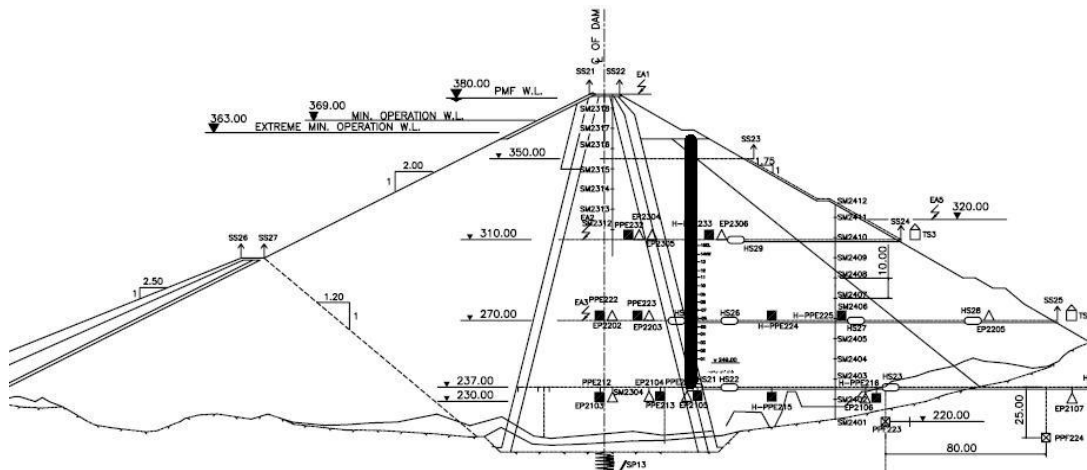
(ب)

شکل (۱) پوش دانه بندی (الف) لایه های رسی (CL) و (ب) گراولی (GC) معدن قره سیمبند [9]

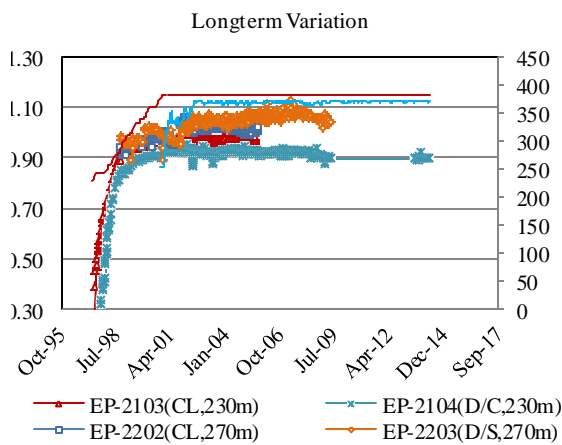
۳- توزیع فشار حفره ای در هسته سد

برای کنترل ایمنی سد مسجد سلیمان سیستمی ابزار گذاری برای این سد طراحی و اجرا شده است. در این سیستم در چهار مقطع عرضی به ترتیب در کیلومترهای ۱۶۰، ۲۶۰، ۳۶۰ و ۴۲۰ (نسبت به انتهای جناح چپ سد) ابزار گذاری شده است. به علت تغییر شکل های قابل ملاحظه هسته و بدنه سد، در دوره زمانی اواخر خاکریزی سد (۵۰ متر انتهایی) تا اوایل اولین آبیگری تعداد

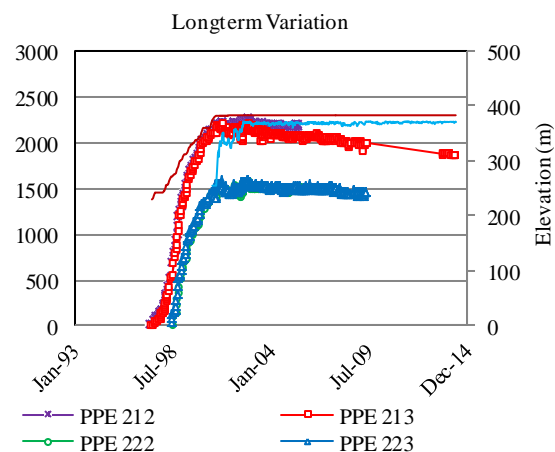
قابل توجهی از ابزارها خصوصا کلیه ابزارهای تنش کل و فشار آب حفره‌ای نصب شده در وجه بالا دست هسته و صفحات نشست سنج در ۱۰۰ متر پایینی هسته معیوب یا فاقد داده شده‌اند. توزیع ابزارهایی که در حال حاضر دارای داده معقول می‌باشند برای مقطع حداکثر سد (۲۶۰ کیلومتر سد) در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مقطع، در داخل هسته تعدادی کلاستر ابزار شامل سلول های تنش کل و همچنین پیزومترها الکتریکی در ترازهای ۲۳۰+ (۲۵ تری از کف هسته)، ۲۷۰+ و ۳۱۰+ متری نصب شده‌اند. کلاسترهای سلول های تنش سنج دارای دو سلول تنش با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق و رو به بالادست و پایین دست و یک سلول افقی است. در هر کلاستر یک پیزومتر الکتریکی برای اندازه گیری فشار حفره‌ای نصب شده است [۴]. نسبت فشار آب حفره ای واقعی نسبتی است که حاصل تقسیم فشار آب حفره ای بدست آمده از پیزومتر بر مقدار تنش کل قائم بدست آمده از سلول تنش کل در یک کلاستر می باشد. تغییرات فشار آب حفره ای اندازه گیری شده و همچنین نسبت فشار آب حفره ای واقعی در مقطع اصلی سد در اشکال ۳ و ۴ نمایش داده شده است. با توجه به تغییرات این کمیت ها ملاحظه می شود اولاً میزان ایجاد و توسعه فشار حفره ای هسته در دوران ساخت قابل توجه بوده (نسبت فشار حفره‌ای واقعی در محدوده ۰/۸ تا ۱/۱ در این مقطع متغیر است) و ثانیاً بعد از گذشت حدود ۱۴ سال از زمان پایان ساخت نسبت فشار حفره‌ای واقعی حداکثر به میزان ناچیز ۱۰-۲۰ درصد کاهش یافته است. علارغم وضعیت موجود طبق معیارهای طراحی انتظار می‌رفت میزان فشار حفره ای به میزان قابل توجهی کاهش یابد.



شکل (۲) آرایش ابزار گذاری مقطع حداکثر (۲۶۰) سد مسجد سلیمان [۴].



شکل (۴) نسبت فشار آب حفره‌ای واقعی مقطع حداکثر



شکل (۳) تغییرات فشار آب حفره‌ای مقطع حداکثر

۴- تابع اولیه تغییرات نفوذپذیری قائم مصالح هسته

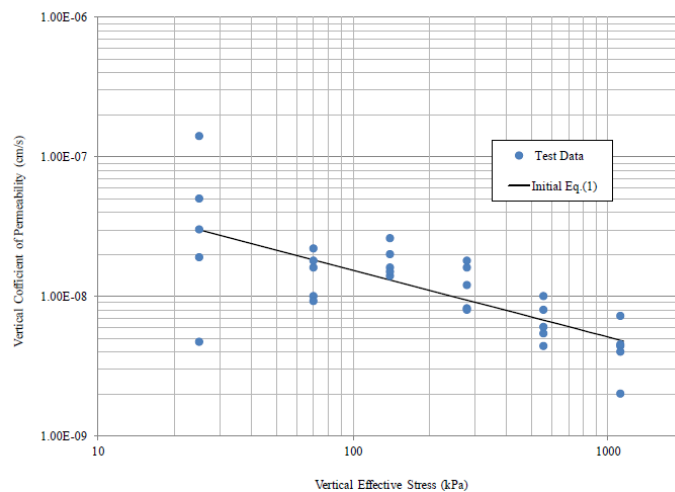
همانطور که در بالا گفته شد برای محاسبات تنش- کرنش، نفوذپذیری مصالح هسته سد با استفاده از نتایج آزمایش های تحکیم بدست آمده است. جدول ۲ نتایج این آزمایش ها را نشان می دهد. نتایج آزمایش های کنترل کیفیت تراکم و رکوردهای پیژومترهای هسته خصوصا در همان مراحل اولیه (نگاه کنید به شکل ۳) حکایت از این دارد که در حین اجرا مصالح هسته با رطوبت نزدیک به حالت اشباع اجرا شده اند. لذا برای تعیین تابع اولیه تغییرات نفوذپذیری از نتایج آزمایش هایی که در شرایط اولیه اشباع ۹۰ درصد به بالا هستند، استفاده شده است. شکل ۵ تغییرات این داده ها را در مقابل تنش موثر قائم به همراه بهترین خط برازش یافته بر آنها را در فضا لگاریتمی نشان می دهد. همچنین رابطه ۱ تابع نمایی اولیه معرف این خط برازش یافته بین نفوذپذیری قائم و تنش موثر قائم می باشد.

$$K_y = 1.4 \times 10^{-7} \sigma_y^{-0.479} \quad (1)$$

در رابطه فوق K_y نفوذپذیری قائم برحسب سانتی متر بر ثانیه و σ_y تنش موثر قائم برحسب کیلو پاسکال است.

جدو (۱) مقادیر نفوذپذیری بدست آمده از آزمایشات تحکیم مصالح هسته [داده ها برگرفته از منبع ۹]

Sample Index	M1			M2			M3			
	Wopt(%)	13			10			9.3		
Moisture	Wopt-2	Wopt	Wopt+2	Wopt-2	Wopt	Wopt+2	Wopt-2	Wopt	Wopt+2	
Saturation (%)	70	90	95	60	83	90	70	90	95	
	Permeability (cm/s)									
Stress (bar)	0.25	7.00E-09	4.70E-09	1.90E-08	-	1.80E-08	5.00E-08	3.25E-08	3.00E-08	1.40E-07
	0.7	9.00E-09	9.20E-09	1.00E-08	3.00E-08	1.50E-08	1.60E-08	-	1.80E-08	2.20E-08
	1.4	8.00E-09	1.40E-08	1.60E-08	1.40E-08	2.20E-08	2.60E-08	1.50E-08	1.50E-08	2.00E-08
	2.8	6.80E-09	8.20E-09	1.20E-08	-	1.50E-08	1.60E-08	-	8.00E-09	1.80E-08
	5.6	4.50E-09	4.40E-09	8.00E-09	7.00E-08	4.50E-09	5.40E-09	7.00E-09	6.00E-09	1.00E-08
	11.2	-	4.40E-09	4.00E-09	9.00E-09	6.00E-09	7.20E-09	5.00E-09	2.00E-09	4.50E-09



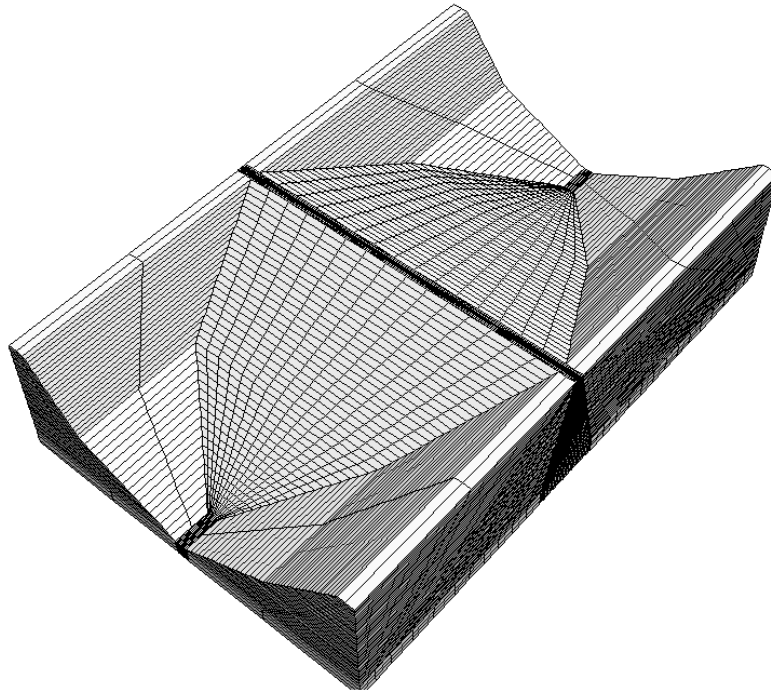
شکل (۵) تغییرات لگاریتمی نفوذپذیری در مقابل تنش موثر قائم برای مصالح هسته سد مسجد سلیمان

۵- مدل عددی کالیبره شده

برای تدقیق رابطه (۱) و همچنین تعیین نسبت واقعی نفوذپذیری افقی به قائم هسته، یک مدل تحلیلی سه بعدی تفاضل محدود از سد و ساختگاه در محیط برنامه قدرتمند FLAC3D 5.0 ساخته شده است. شکل ۶ مدل المان بندی شده سد و ساختگاه را نشان می دهد. رابطه ۱ با کمک زبان برنامه نویسی گنجانده شده در برنامه (FISH) [10] به مدل اعمال شده است به گونه ای که با تغییر شرایط تنش محیط تحت تاثیر خاکریزی، پارامتر نفوذپذیری هم تغییر می کند. این تحلیل به شیوه تنش موثر و بصورت کوپل مکانیکی - سیال انجام گردید. در این مدل خاکریزی دوران ساخت سد ۱۷۷ متری با ۴۲ لایه افقی در مدت حدود ۴۵ ماه شبیه سازی شده است. با توجه توزیع فضایی پیوسته کمیت فشار حفره ای هسته در هنگام برقراری تعادل هیدرولیکی [11]، مدل تحلیلی به گونه ای با آنالیزهای بازگشتی کالیبره شده است که مقادیر فشار حفره ای محاسبه شده از مدل تحلیلی مطابقت مناسبی هم از نظر کمی و هم کیفی با مقادیر اندازه گیری شده در محل پیرومترهای نصب شده در هسته سد در مقطع حداکثر داشته باشد. جدول ۲ این مقادیر را در محل پیرومترهای مقطع حداکثر در انتهای ساخت نشان می دهد. انطباق مناسب بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده فشار حفره ای حکایت از دقت مناسب کالیبراسیون مدل تحلیلی سه بعدی دارد. در نهایت صورت کالیبره شده رابطه ۱ به فرم رابطه ۲ استخراج گردید.

$$K_y = \begin{cases} 2 \times 10^{-8} & \sigma_y \leq 150 \text{ kPa} \\ 2 \times 10^{-7} \sigma_y^{-0.479} & \sigma_y \geq 150 \text{ kPa} \end{cases} \quad \frac{K_x}{K_y} = 2.5 \quad (2)$$

در رابطه فوق K_x و K_y به ترتیب نفوذپذیری افقی و قائم هسته سد برحسب سانتی متر بر ثانیه و σ_y تنش موثر قائم برحسب کیلو پاسکال می باشند.



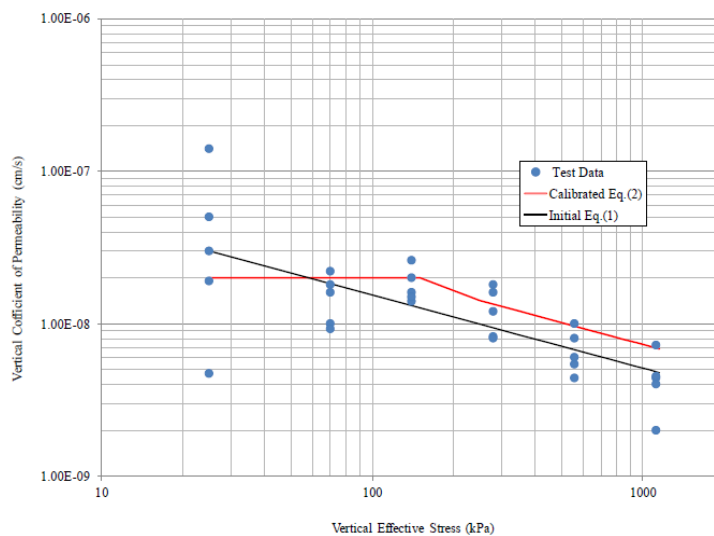
شکل (۶) مدل المان بندی شده سد و ساختگاه مسجد سلیمان در محیط نرم افزار FLAC3D 5.0

جدول (۲) مقادیر فشار حفره ای محاسبه شده و اندازه گیری شده در مقطع حداکثر (kPa)

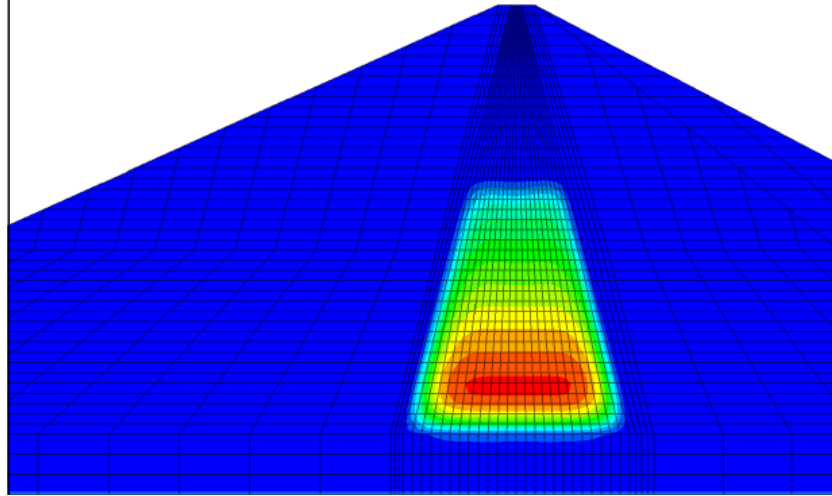
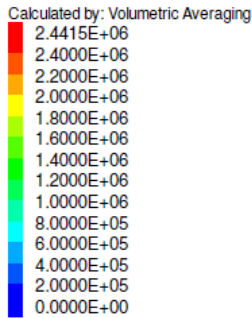
کد ابزار	موقعیت نسبت به محور سد	فاصله تا کف هسته (m)	محاسبه شده	اندازه گیری شده
PP212	On Dam Axis	۲۵	۲۳۵۰	۲۱۲۰
PP213	Down Stream	۲۵	۲۲۵۰	۲۱۰۱
PP222	On Dam Axis	۶۵	۱۴۳۰	۱۴۲۱
PP223	Down Stream	۶۵	۱۴۲۰	۱۴۱۰

۶- نتایج و بحث

در شکل ۷ موقعیت رابطه ۲ بعنوان تابع نهایی نفوذپذیری قائم هسته سد مسجد سلیمان، رابطه ۱ و داده هایی حاصل از آزمایش - های تحکیم در فضای لگاریتمی نفوذپذیری قائم - تنش موثر قائم ترسیم شده است. توزیع کنتوری فشار حفره ای در انتهای ساخت سد مستخرج از مدل تحلیلی کالیبره شده در شکل ۷ نشان داده شده است. در شکل ۷ مقادیر فشار حفره ای بالای هسته که حداکثر آن در حدود ۲۴۰ متر آب (۱/۳۶ برابر ارتفاع سد) در فاصله ۲۵ متری از کف می باشد دیده می شود. بر اساس رابطه ۲ حداکثر نفوذپذیری هسته سد مسجد سلیمان 2×10^{-8} سانتی متر بر ثانیه است که بیش از ده برابر کمتر از برآورد حداکثر نفوذپذیری در مرحله طراحی می باشد. از سوی دیگر تحلیل های بازگشتی مدل تحلیلی نشان می دهد که نسبت نفوذپذیری افقی به قائم برای هسته سد مسجد سلیمان ۲/۵ می باشد که حدود ۴ برابر کمتر از مقدار در نظر گرفته شده در مرحله طراحی است. روند کاهش تابع نفوذپذیری همگام با تحکیم نشان می دهد هر چقدر تحکیم پیش رود با افزایش در مناطقی از هسته که مجاور به فیلتر و زهکش ها است انتظار کاهش نفوذپذیری وجود دارد و روند تحکیم بسیار کند پیش خواهد رفت. لذا تخمین های بالادست از نفوذپذیری افقی و قائم در مرحله طراحی و همچنین منظور نشدن روند کاهش نفوذپذیری همگام با افزایش تنش موثر، سبب گردیده است برآورد صحیحی از بزرگی، توسعه و تعدیل مقادیر فشار حفره ای هسته سد مسجد سلیمان بعمل آورده نشود. شایسته بود که در حین اجرای سد با رفتارنگاری و شناسایی این ناهمخوانی اقدامی موثر و متداول اجرایی نظیر توقف خاکریزی برای افت فشار حفره ای، کاهش رطوبت اجرا و.. صورت می گرفت (شبهه اقداماتی که برای سد ماتوس [12] در دوران ساخت انجام شد).



شکل (۷) تغییرات لگاریتمی نفوذپذیری در مقابل تنش موثر قائم برای مصالح هسته سد مسجد سلیمان



شکل (۸) توزیع فشار حفره ای در مقطع حداکثر سد مسجد سلیمان (بر حسب پاسکال)

۷- نتیجه گیری

در این مطالعه بعد از بازنگری نتایج آزمایشات تحکیم انجام شده برای تعیین کمیت نفوذپذیری هسته سد مسجد سلیمان، تابعی نمایی اولیه ای (رابطه ۱) برای کمیت نفوذپذیری هسته از برازش آماری این داده ها بدست آمد. در ادامه از طریق ساخت و ارتقاء یک مدل تحلیلی سه بعدی و کالیبراسیون آن بر مبنای رکورد های ثبت شده در پیزومترهای هسته سد این تابع صورت تدقیق شده ای (رابطه ۲) پیدا کرد. نتایج اصلی این مطالعه را در چارچوب علل اصلی ایجاد، توسعه فشار حفره ای قابل توجه و همچنین افت ناچیز آن در هسته سد مسجد سلیمان، به صورت زیر می توان جمع بندی نمود:

۱- مقادیر نفوذپذیری قائم و نسبت نفوذپذیری افقی به قائم مبنای طراحی به ترتیب حدود ۱۰ و ۵ برابر بیشتر از مقادیر واقعی می باشند لذا یکی از دلایل اصلی بالا بودن ایجاد و توسعه فشار حفره ای در هسته اشباع سد مسجد سلیمان در دوران ساخت پایین بودن مقادیر نفوذپذیری آن از حد طراحی می باشد.

۲- روند کاهش تابع نفوذپذیری همگام با تحکیم هسته سد مسجد سلیمان نشان از این دارد که با پیشروی تحکیم، هسته خصوصا در نواحی کناری مجاور به زهکش و فیلترها نفوذناپذیرتر می شود بنابراین روند آن در دوران بهره برداری بسیار کند خواهد بود که این نتیجه افت ناچیز فشار آب حفره ای هسته سد را بعد از گذر ۱۴ سال از انتهای ساخت تایید می کند. البته عدم رفتارنگاری مناسب (خصوصا پیزومترهای هسته) برای شناسایی این ناهمخوانی در دوران خاکریزی و در متعاقب آن انجام نشدن اقدام اجرایی مناسب نظیر کاهش سرعت خاکریزی، کاهش رطوبت اجرا و... از علل دیگر رویداد این عارضه در این سد حیاتی کشور می تواند باشد.

- [1] Sherard J.L., Woodward R.J., Gizeski S.T. and Clevenger W.A., 1963, Earth and Earth-Rock Dams, John Wiley Press, USA
- [2] Dunncliff J. M. and Green G. E., 1988, Geotechnical Instrumentation for Monitoring for Field Performance, John Wiley Press, USA
- [3] Icold, 1987, Embankment Dam Instrumentation Manual , USBR, General consideration applicable to instrumentation for earth and rock fill dam
- [۴] شرکت مهندسين مشاور آبپوي، ۱۳۹۳، رفتارنگاری سد مسجد سلیمان، مطالعات تخصصی رفتار سد مسجد سلیمان، گزارش جلد دوم، سازمان آب و برق خوزستان.
- [۵] وفائیان محمود، ۱۳۸۵، اطلاعات اجرایی در مورد سدهای خاکی، انتشارات ارکان دانش ، چاپ دوم، صفحه ۲۲۱
- [6] Tavenas F., Leblond P., Jean P., Leroueil S., 1983, The Permeability of Natural Soft Clays. Part I: Methods of Laboratory Measurement , Canadian Geotechnical Journal, Vol. 20, No. 4, pp 629–644
- [7] Tavenas F., Leblond P., Jean P., Leroueil S. , 1983, The Permeability of Natural Soft Clays. Part II: Permeability Characteristics, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 20, No. 4, pp 645–660.
- [8] Lambe W. T., Whitman R.V., 1969 , Soil Mechanics , John Wiley Press, New York , USA
- [9] Iran Water and Power Resources Development Co., 1996 , Godar-E-land HEPP: A Review on Additional Laboratory Test, Iran
- [10] Itasca Consulting Group. , 2012, Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions -FLAC3D, V. 5.0, USA
- [11] Pagano L. Sica S. and Desideri, A., 2006, Representativeness of Measurements in The Canadian Geotechnical Journal, Vol. 43, pp. 87–99 Interpretation of Earth Dam behavior,
- [12] Lorenz W., 1973, The Sealing Element of The Dam of Mauthaus Drinking Water ICOLD, Q42, R.6, pp 81-99 Reservoir”,