



Faculty of Civil Engineering
Shahid Rajaei Teacher Training University
3-4 December 2014
Tehran, Iran



کنفرانس بین‌المللی

مکانیک خاک و مهندسی پی

The First National Conference on
Soil Mechanics and Foundation Engineering



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی عمران
۱۳ و ۱۴ آذرماه ۱۳۹۳
تهران - ایران

گواهی پذیرش مقاله

شناسه مقاله: A-10-642-2

نویسنده (گان): مرتضی سالاری، علی اخترپور

عنوان مقاله: تحلیل عددی سه بعدی کویل مکانیکی حرارتی رفتار یک سد بتنی وزنی در دوران ساخت (مطالعه موردی: سد اسدیه (رزه))

با سپاس ویژه از نویسنده (گان) فرهیخته، بنابه این گواهی، اعلام می‌دارد مقاله ایشان توسط کمیته

علمی نخستین «کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی» به صورت سخنرانی پذیرفته شده و در مجموعه مقالات کنفرانس به چاپ رسیده است.

دکتر سعید غفاریپور جهرمی

دبیر کنفرانس



تحلیل عددی سه بعدی کوپل مکانیکی حرارتی رفتار یک سد بتنی وزنی در دوران ساخت (مطالعه موردی: سد اسدیه (رزه))

مرتضی سالاری^۱، علی اخترپور^۲

- ۱- کارشناسی ارشد عمران مکانیک خاک و پی، مشهد، شرکت مهندسی مشاور آب پوی
۲- دکتری عمران مکانیک خاک و پی، مشهد، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی

m.salari04@gmail.com

خلاصه

سد اسدیه به سد مخزنی بتنی وزنی بلند در جنوب شرقی شهرستان بیرجند می باشد، هدف اصلی ساخت سد ممانعت از خروج آب از کشور است. کنترل مستمر ایمنی سدهای بزرگ از توصیه‌های اصلی کمیته ملی سدهای بزرگ می باشد و بر این اساس ابزاربندی سدهای بزرگ الزام آور شده است. در سد اسدیه سیستم ابزار دقیق مناسبی در مقاطع عرضی و پلان اجرا شده است. در این مطالعه جهت ارزیابی ایمنی سد مدل تحلیلی عددی سه بعدی با یک تحلیل المان محدود کوپل مکانیکی حرارتی بر مبنای داده های ابزار دقیق در دوره زمانی اتمام تزریق بین بلوکی تا شروع آبیگری اول کالیبره شده است ارزیابی ها نشان می دهند: ضریب انبساط حرارتی بتن بدنه حدود ۳ برابر مقدار فرض شده است و تغییر شکل های حرارتی بیشتر از مقادیر مورد انتظار می باشد. تغییرات جدایش بین بلوکی و کرنش های محوری نسبت به دما از یکسو حکایت از انتخاب زمان مناسب تزریق بین بلوکی و از سوی دیگر نشان دهنده کیفیت نسبتا نامناسب تزریق بین بلوکی در ترازهای فوقانی و خصوصا مجاور سریز دارند.

کلمات کلیدی: سد بتنی وزنی، تحلیل سه بعدی، المان محدود، ANSYS

۱. مقدمه

سدهای مخزنی را می توان بدون تردید از مهمترین تأسیسات زیر بنایی هر کشوری به شمار آورد که از طریق ذخیره سازی و تنظیم آب برای مصارف کشاورزی، شرب، صنعت و تولید برق نقش مهمی در شکوفایی اقتصادی آن کشور ایفا می نمایند. کاهلت سدهای موجود، افزایش روزافزون جمعیت در مناطق پایین دست و نیز کمیابی ساختگاه های مناسب برای سدهای جدید موجب بالای رفتار سنجی و پایش سدها گردیده است. امروزه وجود تکنیک های عددی مدل سازی در ارزیابی رفتار سدها به کمک علم سدسازی آمده است. مهندسان با ساخت مدلی تحلیلی از سد و ساختگاه و کالیبراسیون آن بر مبنای داده های ابزار دقیق سد قادرند ارزیابی قابل قبولی از وضعیت پایداری سد در وضع موجود بعمل آورند و پیش بینی مناسبی از عملکرد آتی سد بدست دهند.

سد مخزنی اسدیه، یک سد بتنی وزنی با ارتفاع حداکثر ۴۹/۶ متر از پی است که در جنوب شرقی شهرستان بیرجند واقع است. بر طبق توصیه کمیته بین المللی سدهای بزرگ (ICOLD) [۱] جهت کنترل مستمر ایمنی و پایداری سدها برای این سد سیستم ابزار دقیقی در حین اجرا نصب شده است. قرائت و ثبت داده های ابزارها بر طبق جداول زمانی استاندارد [۱] انجام شده است. در این مطالعه، رفتار سد از زمان اتمام تزریق بین بلوکی که رفتار حجم کلی سد از حالت بلوک های نسبتا مجزا خارج شده و تقریبا بصورت یک پارچه می گردد تا لحظه آغاز آبیگری با کمک مدل تحلیلی عددی سه بعدی در محیط برنامه ANSYS و با در نظر گرفتن همزمان نیروهای حرارتی و فشار هیدرواستاتیک شبیه سازی شده است. مدل تحلیلی سه بعدی موجود بر مبنای داده های حاصل از ابزار دقیق کالیبره

^۱ کارشناس ارشد مطالعات سدسازی، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مکانیک خاک و پی

^۲ استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

شده است. سپس با بهره‌گیری از مدل تحلیلی کالیبره شده وضعیت کنونی سد ارزیابی شده است. در نهایت توصیه‌هایی جهت عملکرد ایمن تر سد در دوران بهره‌برداری ارائه شده است.

۲. مشخصات زمین شناسی محل سد

سد مخزنی اسدیه (رزه) شهرستان درمیان در فاصله ۱۳۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان بیرجند به مختصات جغرافیایی ۴۱' و ۳۲° شمالی و ۲۲' و ۶۰° شرقی بر روی رودخانه فخرود واقع شده است. ساختگاه سد رزه بر روی یال شرقی ناودیس با محور شمالی-جنوبی، قرار گرفته است. دره محل سد از لحاظ مورفولوژی U- شکل تقریباً متقارن است. شیب تکیه‌گاه سنگی جناح راست حدود ۷۵ درصد و شیب تکیه‌گاه سنگی جناح چپ حدود ۶۵ درصد است. حداکثر ارتفاع تکیه‌گاه‌ها حدود ۱۰۰ متر از بستر رودخانه و عرض بستر در محل محور سد حدود ۶۰ متر است. بستر رودخانه با آبرفتی درشت دانه (دانه بندی این مصالح شامل ۲۵-۴۰ درصد گراول و بزرگتر، ۲۰-۳۰ درصد ماسه و ۱۵-۲۵ درصد سیلت و ۱۰-۱۵ درصد رس) و دارای ضخامت بین ۷-۹/۵ متر (در محل محور سد ۷/۴ متر) پوشیده شده است. شیب طولی کف بستر رودخانه حدود ۰/۹۵ درصد است و تقریباً همیشه اشباع است. متوسط نفوذ پذیری آبرفت ۰/۰۰۱-۰/۰۱ متر بر ثانیه است و همچنین متوسط عدد نفوذ استاندارد آن ۲۰-۲۵ ضربه می باشد. توده سنگی اصلی محاط کننده دره در محل احداث سد از آهک‌های ائوسن تشکیل شده است. کیفیت سنگ محاط کننده (RQD) در افق صفر تا ۱۰ متر متوسط تا ضعیف است و از ۱۵ تا ۴۰ متری خوب تا عالی بوده و به طرف عمق مجدداً از کیفیت سنگ کاسته می‌شود. رخنمون سنگی جناحین صخره ای و خشن و با ظاهری تافونی شکل بوده که در اثر انحلال آهک‌ها و ایجاد کارست‌های سطحی حفراتی نه چندان بزرگ نمایان گشته است. میزان و ابعاد حفرات به طرف انتهای تنگه (پایین دست) کاهش می‌یابد [۲].

۳. مشخصات عمومی سد

سد اسدیه یک سد بتنی وزنی می باشد. از اهداف اصلی ساخت این سد می توان به ۱. جلوگیری از خروج آب از کشور ۲. تامین امنیت منطقه با مسدود کردن تنگه رزه ۳. تامین بخشی از آب مورد نیاز مصارف کشاورزی منطقه اشاره نمود. بتن ریزی سد از ۲۳ نوامبر ۲۰۰۴ آغاز گردید ولی متأسفانه به علت پاره‌ای از مشکلات مالی متوقف شد. مجدداً عملیات بتن ریزی از ۲ نوامبر ۲۰۰۸ شروع شد و در ۲۷ ژانویه ۲۰۱۰ به اتمام رسید. تزریق بین بلوکی سد در ۱۷ مارس ۲۰۱۱ پایان پذیرفت. در نهایت آبرگیری اول این سد به صورت رسمی در ۸ ژوئیه ۲۰۱۲ آغاز شد. مشخصات عمومی سد اسدیه در جدول ۱ آورده شده است. سیستم انحراف سد شامل یک فواز بند به ارتفاع ۸ متر و یک کالورت به قطر متوسط ۱۰ متر بوده است. کنترل تراوش پی سنگی توسط پرده آب بندی به عمق حداکثر ۵۰ متر انجام می‌گردد. جهت کنترل پایداری و ایمنی این سد سیستم ابزار دقیقی طراحی و در حین اجرا نصب شده است. آرایش ابزارهای نصب شده در مقاطع عرضی و مقطع طولی سد در شکل ۱ نشان داده شده است. تعداد و نوع ابزارها در جدول ۲ آورده شده است.

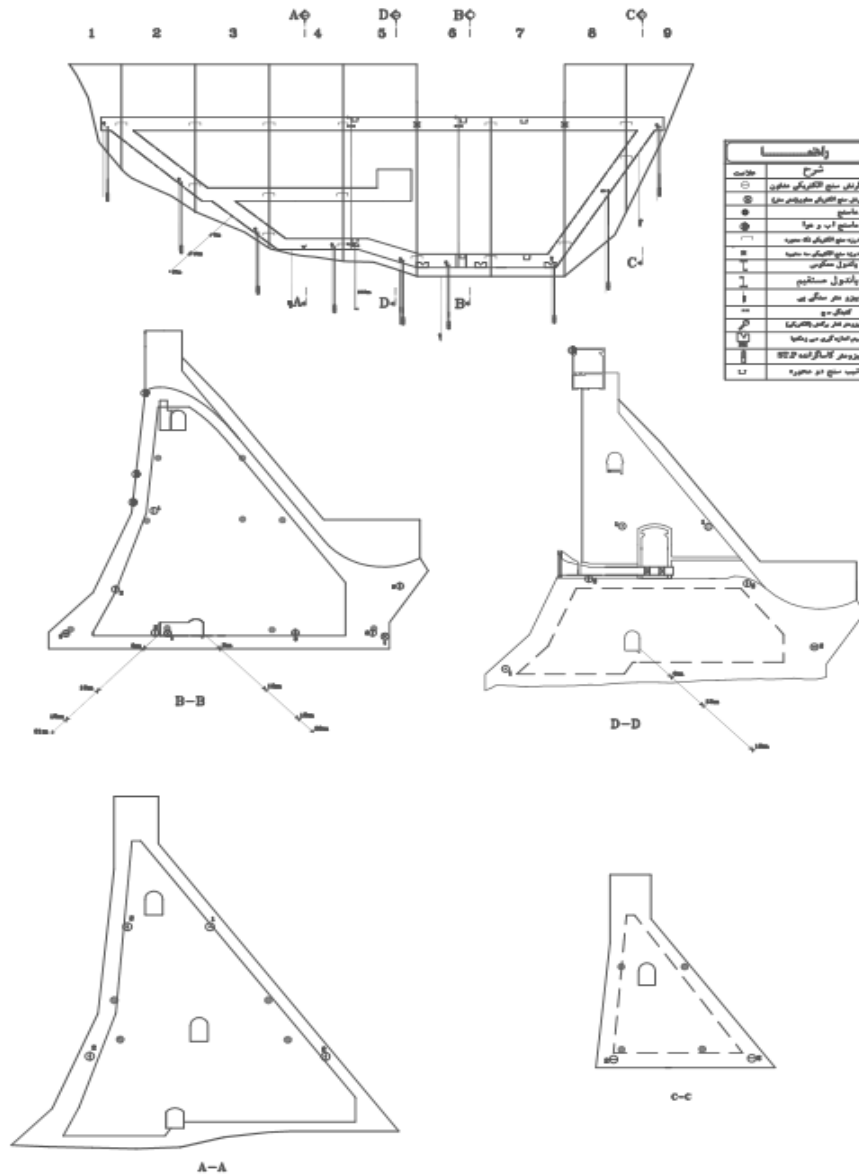
جدول ۱- مشخصات عمومی سد اسدیه

جدول ۲- لیست ابزار دقیق نصب شده در سد اسدیه

تعداد	نام ابزار
۳۷	کرنش سنج الکتریکی (EM)
۲۱	درزه سنج الکتریکی (JM)
۱۷	دما سنج بتن (TC)
۴	دما سنج آب و هوا (TW)
۳	پیزومتر الکتریکی (PWF)
۳	دبی سنج الکتریکی (WL)
۱۴	کشیدگی سنج مکانیکی (EXE)
۲	پاندول مستقیم (DP)
۱	پاندول معکوس (IP)
۹	پیزومتر کاساگرانده (CP)
۱۲	انحراف سنج الکتریکی (TILT)
۹	پیزومتر فشار شکن

مشخصه

بتنی وزنی	نوع سد
۴۹/۶ متر	حداکثر ارتفاع سد از پی
۲۹/۵ متر	حداکثر ارتفاع سد از بستر
۱۲۶ متر	طول تاج
۵ متر	عرض تاج
۴۶/۵ متر	عرض پی در کف رودخانه
۹ عدد	تعداد بلوک طولی
۸۲۰۰۰۰	حجم بتن مصرفی (متر مکعب)
۲۴۰۰۰۰۰۰	حجم مخزن (متر مکعب)
نوع سریز شوت آزاد با باکت پرتابی جامی شکل	



شکل ۱- آرایش ابزارها در سیستم ابزار دقیق سد اسدیه

۴. مدل سازی عددی

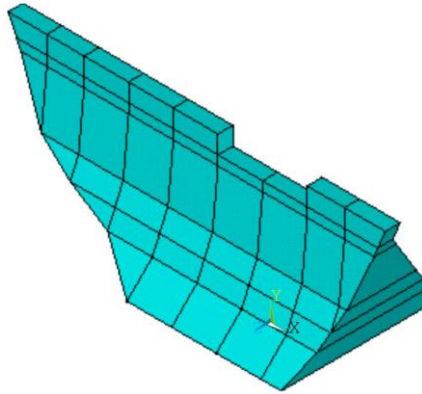
۱.۴. فرضیات اولیه تحلیل های بازگشتی

۱.۱.۴. دوره مرجع

سدهای بتنی وزنی بلوکی از آغاز عملیات بتن‌ریزی تا انتهای تزریق بین بلوکی عموماً بصورت مجموعه ای از چند بلوک مجزا عمل می‌کنند (البته کلیدهای برشی در بین بلوک‌ها سبب تاثیر ناچیز بلوک‌ها بر روی یکدیگر در این دوره هستند). حتی اگر سد در دره تنگ قرار گرفته باشد، در این دوران شکل دره تاثیر ناچیزی روی رفتار هر بلوک خواهد داشت. اما بعد از ساخت و پایان عملیات تزریق بین بلوکی، سد تحت تاثیر بارگذاری‌ها بصورت جسم تقریباً یک‌پارچه‌ای و متأثر از شکل دره عمل می‌کند. سد اسدیه (رزه) یک سد وزنی بتنی مرسوم با ۹ بلوک بتنی است. برای قرار گرفتن بتن بدنه سد در شرایط حداکثر انقباض تزریق بین بلوکی معمولاً در ماههای سرد سال باشد انجام می‌گیرد [۳]. برای سد اسدیه که در ۱۷ مارس ۲۰۱۱ تزریق بین بلوکی به اتمام رسیده است. مدل عددی سه بعدی سد بر مبنای تغییرات داده‌های قرائت شده از ابزارها از زمان اتمام تزریق بین بلوکی تا شروع اولین آبیگری (۸ ژوئیه ۲۰۱۲) کالیبره شده است.

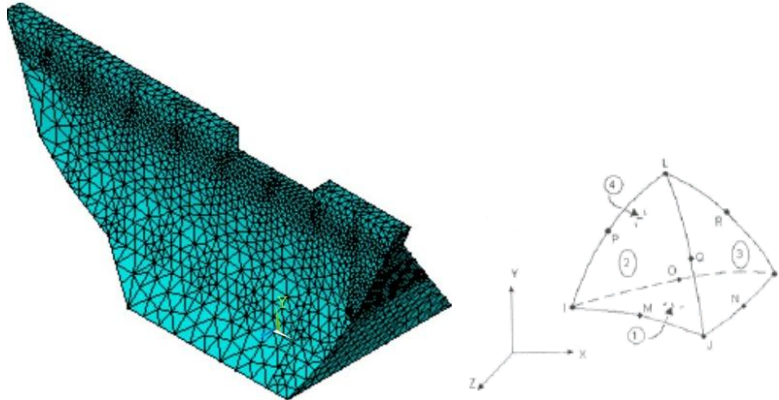
۲.۱.۴. ایده ال سازی هندسی و المان بندی مدل

برای انجام هر مدل سازی عددی مرحله اول ایجاد یک مدل هندسی ایده ال سازی شده است. شکل ۲ هندسه سه بعدی ایده ال سازی شده این سد در محیط نرم افزار ANSYS 9.0 می باشد. تغییرات تراز آب در دوره مرجع کم است (۲/۴ متر) لذا بارگذاری غالب از نوع حرارتی می باشد. به علت سختی بالای مصالح توده سنگی محاط کننده و تاثیر ناچیز بارگذاری حرارتی بر این توده، تاثیر آن بصورت شرط مرزی با جابه جایی صفر در جهت عمود بر سطح پی و دیواره ها در تحلیل منظور شده است.



شکل ۲- هندسه ایده ال سازی شده سد اسدیه

به جهت انطباق مناسب المان بندی با هندسه مدل، المان بندی بدنه سد با ۲۶۵۸۹ المان چهار وجهی SOLID92 که دارای چهار گره در گوشه و ۶ گره در میان ضلع ها است انجام شده است [۴] و مدل سازی درگیری بین بلوک ها با ۲۸۷۶ المان CONTACT74 [۵] صورت پذیرفته است. تعداد المان ها به گونه ای انتخاب شده است که افزایش آنها از این تعداد، تاثیر بسیار ناچیز روی نتایج داشته باشد. در شکل ۳ هندسه سه بعدی مش بندی شده سد اسدیه نشان داده شده است.



شکل ۳- هندسه المان بندی سد اسدیه و شکل المان چهار وجهی استفاده شده در آن

۳.۱.۴. ایده ال سازی مصالح

برای مصالح بتنی بدنه سد های بتنی دو گروه مدل رفتاری موجود است [۶] الف) مدل های مبتنی تئوری مکانیک شکست که بیشتر جهت مدل سازی پدیده گسترش ترک در سد های بتنی استفاده می شود. ب) مدل های رفتاری مبتنی بر مکانیک محیط های پیوسته. در این مدل سازی با توجه به محدوده تغییر شکل های کم برای مصالح بتنی بدنه سد، مدل الاستیک خطی (مبتنی بر مکانیک محیط های پیوسته) استفاده شده است. مقادیر پارامترهای طراحی به عنوان مقادیر اولیه منظور شده است (جدول ۳). درگیری بین بلوکی در اینترفیس با ضریب اصطکاک ایستایی بتن با بتن (μ) ۰/۷ مدل شده است.

جدول ۳- مشخصات رفتاری مورد استفاده در طراحی سد

ضریب انبساط حرارتی (1/C)	ضریب پواسن	مدول یانگ (kPa)
۶-۷×۱۰	۰/۱۷	۲/۴×۱۰۷

۴.۱.۴ ایده‌آل‌سازی بارگذاری

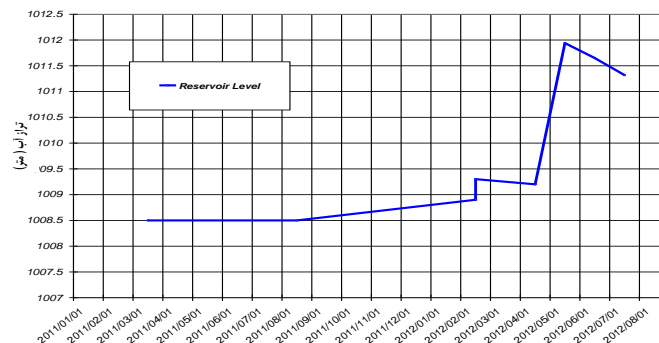
در این تحلیل دو نوع بارگذاری بر سد اعمال شده است.

۱- بارگذاری حرارتی: با توجه به اتمام فرایندهای گرمای بتن (هیدراتاسیون) بدنه سد در شرایط پایدار حرارتی است و فقط متاثر از تغییرات دمایی آب و هوا می‌باشد. انتخاب یک دما متوسط برای کل بلوک‌ها با دقت بسیار مناسبی قابل قبول است. لذا بر اساس محاسبات آماری روی داده‌های دمایی دماسنج‌های بتن (TC)، دماسنج‌های آب و هوا (TW) و سنسورهای دمای متصل به کرنش‌سنج‌ها، دمای متوسط بلوک-های ۵،۴،۶ و ۹ در چهار مقطع زمانی که در بین این مقاطع روند تغییر دمایی کاملاً صعودی یا نزولی می‌باشد با دقت مناسبی (با فرض دمای مبنای صفر برای بلوک‌ها در انتهای زمان تزریق بین بلوک‌های بدنه) بصورت جدول ۴ استخراج شده است. در دوره مرجع بارگذاری حرارتی در سه مرحله مطابق جدول ۴ به بلوک‌های سد اعمال شده است.

جدول ۴- دمای متوسط بلوک بدنه سد (با مبنای صفر در زمان تزریق بین بلوک‌ها)

تاریخ	۲۰۱۱/۰۳/۰۶	۲۰۱۱/۰۸/۲۱	۲۰۱۲/۰۲/۰۵	۲۰۱۲/۰۷/۰۸
دما (سلیسیوس)	۰	۱۳/۵	-۱/۵	۷/۵

۲- بارگذاری ناشی از تغییرات تراز آب مخزن: تغییرات سطح آب مخزن از تاریخ اتمام تزریق بین بلوک‌ها به بعد مطابق نمودار شکل ۱۱ می‌باشد. در هر یک از سه مرحله بارگذاری مطابق پیشنهاد دستورالعمل مهندسان ارتش امریکا تاثیر تغییرات سطح آب مخزن بصورت نیروی فشاری بر سطح بالادست و نیروی فشاری بالابرنده در کف سد اعمال شده است [۷].



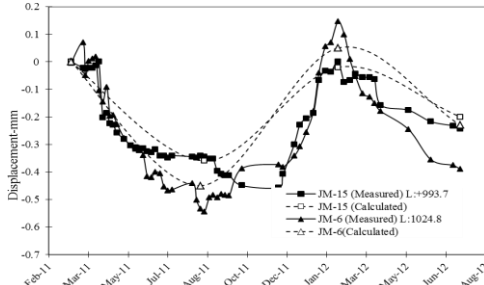
شکل ۴- تغییرات تراز آب مخزن بعد از تزریق بین بلوک‌ها

۲.۴. کالیبراسیون مدل تحلیلی سه بعدی

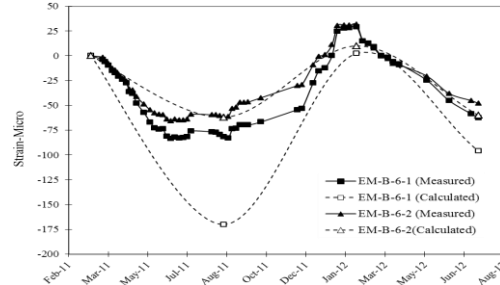
برای تعیین پارامترهای رفتاری واقعی سد بایستی مدل سه بعدی تحلیلی بر مبنای نتایج ابزار دقیق کالیبره شود. مدل تحلیلی سه بعدی به هدف حداکثر انطباق با کرنش‌سنج‌های مقطع A-A واقع در بلوک ۴ و درزه سنج‌های بین بلوک‌های ۵، ۶ و ۷ و با تحلیل‌های بازگشتی کالیبره شده است. مقادیر تغییر مکان‌ها در لحظه شروع دوره مرجع صفر فرض شده است.

در شکل‌های ۵ تا ۸ مقادیر کرنش‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در کرنش‌سنج‌های مقطع A-A نشان داده شده است. در این اشکال انطباق خوبی بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده دیده می‌شود و این حکایت از دقت مناسب کالیبراسیون مدل تحلیلی دارد. به طور کلی طبق انتظار با افزایش دما بلوک منبسط و با کاهش دما بلوک منقبض می‌شود. نکته قابل توجه این است که بعد از یک افزایش دمای متوسط ۱۳/۵ درجه ای دما در فصل گرم سال و سپس با کاهش آن به حتی ۱/۵ درجه پایین تر از دما در زمان تزریق بین بلوک‌ها (جدول ۴) در فصل سرد سال، کرنش‌های افقی موازی محور سد مقادیر نشان بیش تر از مقادیر در زمان تزریق بین بلوک‌ها نمی‌شود. این نکته تا حدودی مویده انتخاب زمان مناسبی برای تزریق بین بلوک‌ها است. شکل‌های ۹ تا ۱۲ مربوط به مقادیر جدایش افقی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در درزه سنج‌های بین بلوک‌های ۵، ۶ و ۷ و ۸ در گالری تحتانی و فوقانی است. انطباق مناسبی بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده حکایت از دقت مناسب کالیبراسیون مدل تحلیلی دارد. دیواره‌های درزه‌های بین بلوک‌ها با بالارفتن دما به هم نزدیک شد و با سرد شدن دما از هم دور می‌شوند. هم مقادیر اندازه‌گیری شده و هم محاسبه شده چنین روندی را نشان می‌دهند. عدم جدایش درزه بین بلوک‌ها در فصل سرد سال بیش از مقدار جدایش در زمان تزریق بین بلوک‌ها نشان دهنده انتخاب

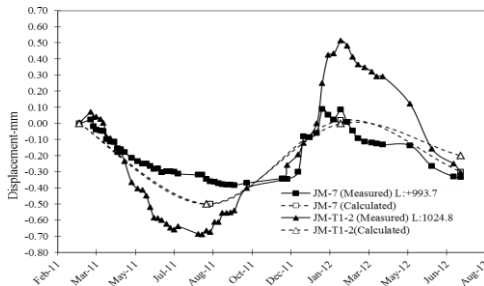
زمان مناسب زمان تزریق بین بلوکی و کیفیت مناسب تزریق است. در درزه سنج های موجود در گالری تحتانی و بین بلوک های ۷ و ۶ در گالری فوقانی (شکل ۹) چنین چیزی دیده می شود. اما در گالری فوقانی بین بلوک های ۶ و ۷ (شکل ۱۰) و ۸ و ۷ (شکل ۱۱) جدایش بیش از مقدار در زمان اتمام تزریق بین بلوکی است. به نظر می رسد تزریق بین بلوکی در این نواحی کیفیت مطلوبی نداشته است.



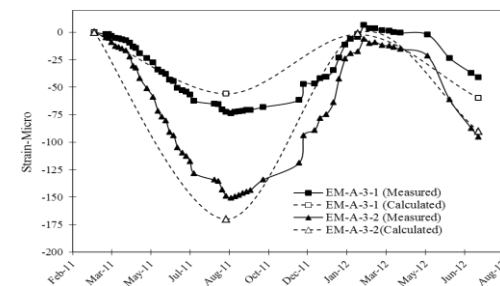
شکل ۹- تغییرات مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده جدایش افقی درزه سنج های بین بلوکهای ۶ و ۷



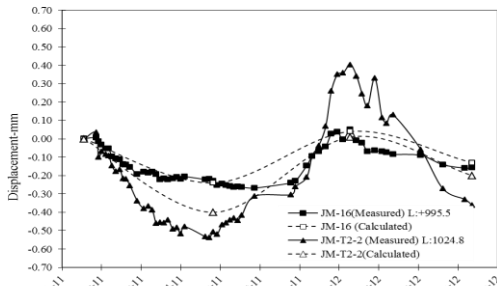
شکل ۵- تغییرات مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده کرنش سنج های قائم و موازی محور سد در تراز ۱۰۰۴/۶ مجاور به وجه بالادست



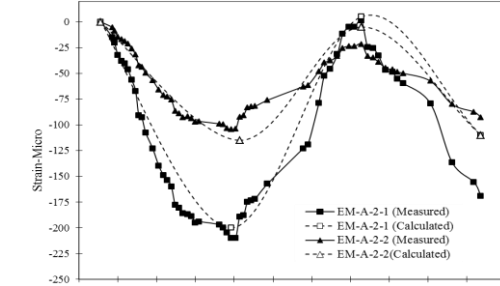
شکل ۱۰- تغییرات مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده جدایش افقی درزه سنج های بین بلوک های ۷ و ۶



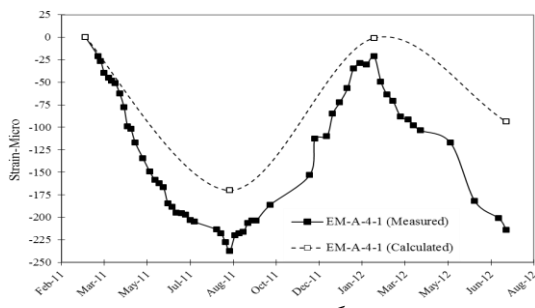
شکل ۶- تغییرات مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده کرنش سنج های قائم و موازی محور سد تراز ۱۰۰۴/۶ مجاور به وجه پایین دست



شکل ۱۱- تغییرات مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده جدایش افقی درزه سنج های بین بلوک های ۷ و ۸



شکل ۷- تغییرات مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده کرنش سنج های قائم و موازی محور سد در تراز ۱۰۲۱/۲ مجاور به وجه بالادست



شکل ۸- تغییرات مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده کرنش سنج قائم در تراز ۱۰۲۱/۲ به وجه پایین دست

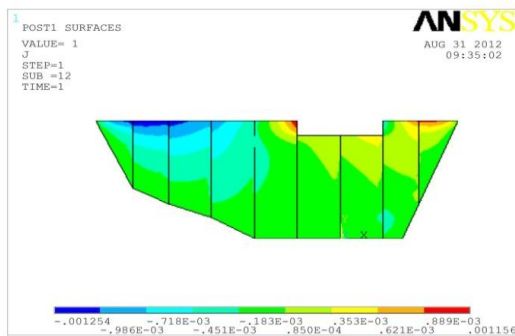
۳.۴. بحث و بررسی رفتار سد بر اساس مدل تحلیلی

پارامترهای رفتاری بدست آمده برای سد از تحلیل‌های بازگشتی مطابق جدول ۵ می‌باشد. ملاحظه می‌شود ضریب انبساط حرارتی بدست آمده ۲/۸۵ مقدار فرض شده در مرحله طراحی است (نگاه کنید به جدول ۴). این اختلاف نشان از ایجاد تغییر شکل‌های حرارتی بیشتر در مقایسه با مقدار پیش‌بینی شده در مرحله طراحی است. به نظر می‌رسد با توجه به حساسیت بتن به تغییر شکل‌های بزرگتر، کنترل مجدد معیارهای طراحی بر اساس این پارامترها ضروری باشد تا در صورت برآورد نشدن معیارهای طراحی، قبل از وقوع صدمات جدی تمهیدات مناسب دیده شود. از سوی دیگر با توجه به اینکه در این دوران بار غالب از نوع حرارتی بود برای تدقیق بهتر این پارامترهای مدول یانگ و ضریب پواسون مناسب تر است هنگامی که تغییرات تراز آب قابل توجه گردید (بارهای مکانیکی) دوباره مدل تحلیل سه بعدی کالیبره شود و این پارامترها استخراج شود.

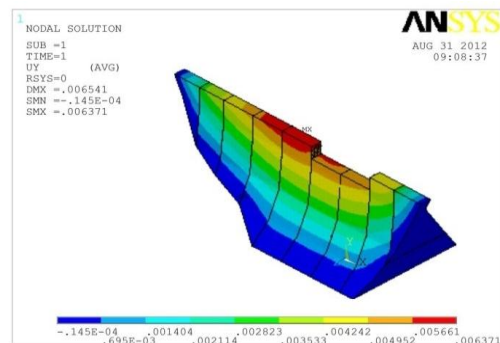
جدول ۵- مشخصات رفتاری بدست آمده از تحلیل‌های بازگشتی

ضریب انبساط حرارتی (1/C)	ضریب پواسون	مدول یانگ (kPa)
۲×۱۰-۵	۰/۱۹	۲/۴×۱۰۷

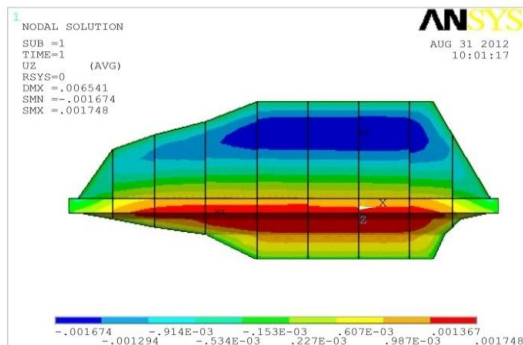
توزیع تغییر شکل‌های سد در انتهای دوره مرجع در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ آورده شده است (با فرض صفر بودن در زمان اتمام تزریق بین بلوکی). بر اساس این پلات‌ها، حداکثر تغییر مکان قائم در بلوک ۵ و حدود ۶/۳ سانتی متر است (شکل ۱۲) و حداکثر تغییر مکان موازی محور سد در بلوک ۲ و حدود ۱/۲ سانتی متر (شکل ۱۴) به سمت جناح چپ است. با توجه به قرار رفتن سد در فصل گرم سال در انتهای دوره مرجع، بدنه سد تمایل به انبساط به سمت دیواره‌ها و طرفین دارد. بصورت مشخصی جابه‌جایی‌های نسبی بین بلوکی که با در نظر گرفتن المان اینترفیس مدل شده است در این شکل-ها دیده می‌شود. دیدیم که روند بسته شدن درزه‌های بین بلوک (در شکل ۱۴) منطبق با مشاهدات ابزار دقیق است.



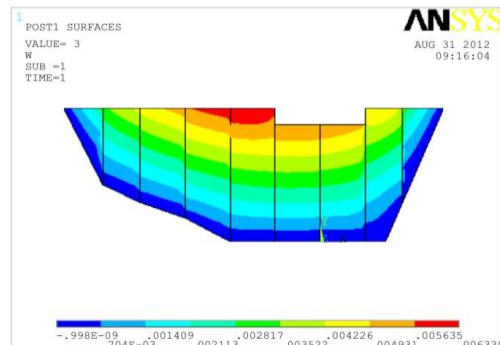
شکل ۱۴- توزیع تغییر شکل مواز محور سد در مقطع طولی گذرنده از محور در انتهای دوره مرجع



شکل ۱۲- توزیع تغییر شکل قائم نمای سه بعدی در انتهای دوره مرجع

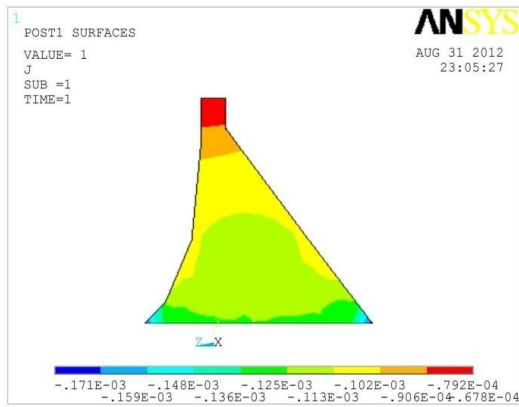


شکل ۱۵- توزیع تغییر شکل افقی عمود بر محور سد در انتهای دوره مرجع

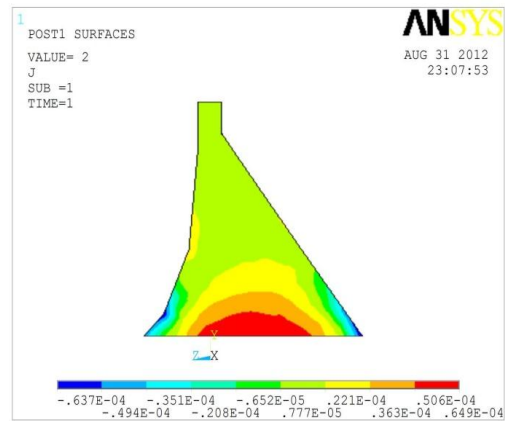


شکل ۱۳- توزیع تغییر شکل قائم مقطع طولی گذرنده از محور سد در انتهای دوره مرجع

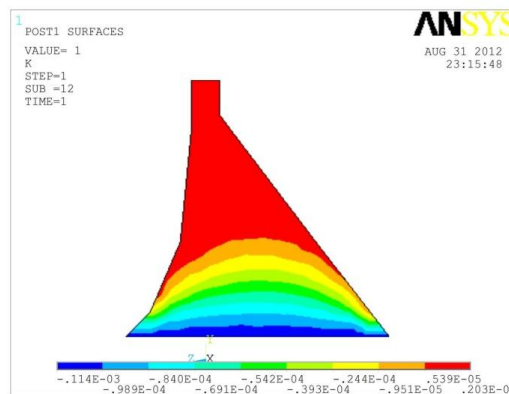
توزیع کرنش در مقطع A-A گذرنده از میانه بلوک ۴ در شکل های ۱۶ تا ۱۸ نشان داده شده است. مقادیر کرنش همی افقی موازی محور سد (شکل ۱۷) و عمود بر محور سد (شکل ۱۸) حکایت از انبساط بلوک ها دارد. که همانطور که گفته شد با توجه به قرار گرفتن سد در فصل گرم سال در انتهای دوره مرجع این رفتار کاملاً مورد انتظار است.



شکل ۱۷- توزیع کرنش افقی عمود موازی محور سد در مقطع A-A گذرنده از میانه بلوک ۴



شکل ۱۶- توزیع کرنش قائم در مقطع A-A گذرنده از میانه بلوک ۴



شکل ۱۸- توزیع کرنش افقی عمود بر محور سد در مقطع A-A گذرنده از میانه بلوک ۴

۸. نتیجه گیری

نتایج این مطالعه را می توان در بندهای زیر خلاصه کرد:

- ۱- ضریب انبساط حرارتی بدست آمده از تحلیل های بازگشتی ۲/۸۵ برابر مقدار فرض شده در مرحله طراحی است. این اختلاف حکایت از وقوع تغییر شکل های حرارتی بیشتر در مقایسه با مقدار پیش بینی شده در مرحله طراحی دارد. با توجه به حساسیت بتن به تغییر شکل های بزرگتر کنترل مجدد معیار های طراحی در شرایط بحرانی با توجه به این تغییر پارامترها ضروری باشد تا در صورت برآورد نشدن معیار های طراحی قبل از ایجاد صدمات جدی تمهیدات مناسب دیده شود.
- ۲- به طور کلی طبق انتظار با افزایش دما بلوک منبسط و با کاهش دما بلوک منقبض می شود. نکته قابل توجه این است که بعد از یک افزایش دمای متوسط ۱۳/۵ درجه ای دما در فصل گرم سال و سپس با کاهش آن به حتی ۱/۵ درجه پایین تر از دما در زمان تزریق بین بلوکی (جدول ۴) در فصل سرد سال، کرنش های افقی موازی محوسد بیش تر از مقادیر در زمان تزریق بین بلوکی نمی شود. این نکته تا حدودی موید انتخاب زمان مناسبی برای تزریق بین بلوکی است.
- ۳- جداره های درزهای بین بلوکی با بالا رفتن دما به هم نزدیک شد و با پایین آمدن دما از هم دور می شوند. هم مقادیر اندازه گیری شده و هم محاسبه شده چنین روندی را نشان می دهند. عدم جدایش درزه بین بلوکی در فصل سرد سال بیش از مقدار جدایش در زمان تزریق بین بلوکی نشان دهنده انتخاب زمان مناسب زمان تزریق بین بلوکی و کیفیت مناسب تزریق است. در درزه سنج های موجود در گالری تحتانی و بین بلوک-

های ۷ و ۶ در گالری فوقانی (شکل ۹) چنین چیزی دیده می‌شود. اما در گالری فوقانی بین بلوک های ۵ و ۶ (شکل ۱۰) و بلوک های ۷ و ۸ (شکل ۱۱) جدایش بیش از زمان اتمام تزریق بین بلوکی است. به نظر می‌رسد تزریق بین بلوکی این نواحی مجاور سرریز مطلوب نبوده است.

۱۱. قدردانی

در انتهای مطالعه ضروری می‌دانیم از مسئولان محترم سازمان آب منطقه‌ای خراسان جنوبی (کارفرمای طرح) و شرکت مهندسی مشاور آب پوی (مشاور طرح) به خاطر همکاری خالصانه در انجام کلیه مراحل این مطالعه صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم

۱۲. مراجع

1. Icold (1987), Embankment dam instrumentation manual, USBR, General consideration applicable to instrumentation for earth and rock fill dam
۲. مهندسین مشاور ساز آب شرق (۱۳۸۲)، گزارش فنی سد ذخیره‌ای اسدیه، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی.
۳. ابریشمی، ج. وهاب رجایی، ن. (۱۳۸۰)، سدهای بتنی طرح و اجرا، انتشارات امام رضا، مشهد
4. Clough, Ray.W. And Zienkiewicz,O.C. (1978), Finite element methods of analysis and design of dams, Bulletin30, International Commission on Large Dams.
۵. جاهد مطلق، ح. نویان، م. و اشراقی، م. (۱۳۸۳)، اجزا محدود ANSYS، انتشارات دانشگاه تهران
6. R. Raveendra Babua, Gurmail S. Benipala and Arbind K. Singh (2005), Constitutive modeling of concrete : an overview , Asian Journal of Civil Engineering , VOL. 6, NO. 4, P.211-246
7. U.S. Army Corps of Engineers (1995), Design of gravity Dams, Manual, No.1110-2-2200