



5th International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics

November 15 - 17 | Tehran - Iran | www.icgesm2016.ir

Certificate of Presentation

This is to certify that the paper entitled:

Assessment of hydromechanical behavior of a centerline tailings dam

By

Mahdi Naeini, Ali Akhtarpour

has been accepted for poster presentation at the

5th International Conference on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics,
which was held in November 15-17, 2016, in Milad Tower, Tehran, Iran.

Prof. Behrouz Gatmiri

President of the Iranian Geotechnical Society

Prof. S. Mohsen Haeri

Chairman of the 5th International Conference
on Geotechnical Engineering and Soil Mechanics





مطالعه رفتار هیدرومکانیکی یک سد باطله محور ثابت

مهدی نائینی^۱، علی اخترپور^۲

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

۲- دکترای عمران مکانیک خاک و پی، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه عمران

mhd.naeini@stu.um.ac.ir

خلاصه

یکی از فعالیت‌های بشر از دیرباز استخراج معادن بوده که مشکلات متعددی از جمله دفع مواد زائد معادن (باطله‌ها) را در پی داشته است. شناخته‌شده‌ترین راهکار حفاظت از محیط‌زیست در مقابل پخش گسترده این مواد زائد و نیز حفظ منابع ارزشمند آب، ساخت سدهای باطله (Tailings Dams) است. در این بین، ساخت سد باطله به روش محور ثابت به علت مزایای زیادی که در مقایسه با سایر روش‌های ساخت دارد، مورد توجه معادن زیادی قرار گرفته است. به دلیلی رفتار هیدرومکانیکی پیچیده سدهای باطله در فرآیند ساخت، استفاده از آنالیزهای مرسوم پایداری و تراوش برای طراحی آن‌ها ناکارآمد و ناکافی است. در این مقاله، از آنالیز کوپل تحکیم برای ارزیابی رفتار هیدرومکانیکی یک سد باطله محور ثابت در شرایط ساخت مرحله‌ای استفاده شده است. در این آنالیزها به شبیه‌سازی ترکیبی از شرایط واقعی سدهای باطله از جمله تراوش غیراشباع مصالح، تحکیم و بارگذاری ناشی از ساخت مرحله‌ای سد در مجموعه نرم‌افزاری GeoStudio پرداخته شده است. در نهایت تغییرات فشار آب منفذی، جابه‌جایی‌های قائم و افقی سد باطله مورد مطالعه دقیق‌تر قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: سد باطله، ساخت مرحله‌ای، تحلیل اجزاء محدود

۱. مقدمه

یکی از فعالیت‌های بشر از دیرباز استخراج معادن بوده که مشکلات متعددی از جمله دفع مواد زائد معادن (باطله‌ها) را در پی داشته است. باطله‌ها ترکیب سنگ خرد شده با سیال مورد استفاده در فرآیند معدنی است که پس از استخراج ماده مدنظر در فرآیند معدنی به وجود آمده [۱] و به آن دوغاب می‌گویند. در بسیاری از معادن، تقریباً بیش از ۹۹ درصد ماده اولیه حفاری شده (سنگ مادر) تبدیل به تفاله‌های معدنی مختلف شامل باطله‌ها می‌شود [۲]. [۳]. با توجه به اینکه این حجم زیاد باطله‌ها عموماً حاوی آلاینده‌های زیست‌محیطی فراوانی از جمله فلزات سنگین و مواد سمی هستند، نیاز به دفع ایمن و پایدار آن‌ها به منظور جلوگیری از پخش و گسترش کنترل نشده به محیط‌زیست است.

از شناخته‌شده‌ترین روش‌های دفع باطله‌ها، انتقال دوغاب باطله به مخزن سدهای باطله است. بدنه این سدها معمولاً با استفاده از خود باطله‌های درشت‌دانه و به صورت ترفیع شونده در سه روش بالارونده، پایین‌رونده و محور ثابت ساخته می‌شوند. در این بین روش محور ثابت به علت مزایای زیادی که در مقایسه با سایر روش‌های ساخت دارد، مورد توجه معادن زیادی قرار گرفته است. وظیفه اصلی سدهای باطله ایجاد فضای کافی و ایمن برای ذخیره باطله‌ها در حین استفاده از معدن و پس از پایان عمر آن است [۴]؛ اما به‌طور متوسط خرابی ۲ تا ۵ سد باطله در سال [۵، ۶] نشان می‌دهد آنالیزهای ساده و متعارف پایداری و تراوش نمی‌توانند تمامی جوانب رفتاری سدهای باطله را در برگیرد؛ بنابراین انجام تحلیل‌های هیدرومکانیکی به منظور تعیین رفتار واقعی سدهای باطله در شرایط ساخت مرحله‌ای و اطمینان از پایداری و عملکرد ایمن سد الزامی است [۷].

در این مقاله، از آنالیز کوپل تحکیم برای ارزیابی رفتار هیدرومکانیکی یک سد باطله محور ثابت بلندمرتبه که از گزینه‌های اصلی معدن مس سونگون به شمار می‌رفت، در شرایط ساخت مرحله‌ای استفاده شده است. در این آنالیزها به شبیه‌سازی ترکیبی از شرایط واقعی سدهای باطله از جمله

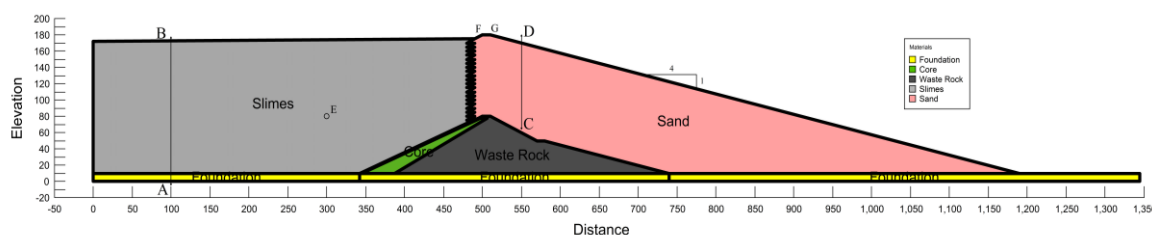
^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی

^۲ استادیار دانشگاه

تراوش غیراشباع، تحکیم مصالح و بارگذاری ناشی از ساخت مرحله‌ای سد در SIGMA/W از مجموعه نرم‌افزاری GeoStudio پرداخته شده است. در ابتدا کلیاتی در ارتباط با معدن مس سونگون، خصوصیات مصالح و مراحل مدلسازی ارائه شده و سپس اثر سرعت ساخت بر رفتار هیدرومکانیکی سد مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲. معرفی سد و معدن مس سونگون

مجمع مس سونگون در استان آذربایجان شرقی، در ۱۳۰ کیلومتری شمال تبریز و ۳۰ کیلومتری شهرستان ورزقان واقع شده است. این معدن از نوع روباز به‌عنوان دومین معدن مس بزرگ ایران شناخته شده و در مجموع حدود ۳۸۰ میلیون مترمکعب باطله در آن تولید خواهد شد. به همین دلیل در این معدن مطالعات گسترده‌ای پیرامون احداث سد باطله به‌منظور جمع‌آوری و ذخیره ایمن باطله‌های کارخانه‌های تغلیظ صورت گرفته است. یکی از گزینه‌های مورد توجه، ساخت سد باطله محور ثابت با استفاده از ماسه سیکلون بوده است. در شکل «۱» اجزای اصلی این طرح شامل سد اولیه (یک سد خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی مایل)، خاکریز ماسه‌ای، لجن مخزن و فونداسیون سد در مقطع حداکثر به همراه مقاطع و نقاطی که برای بررسی نتایج استفاده شده نمایش داده شده که مقطع آن مشابه برخی از سدهای باطله محور ثابت بلندمرتبه (مانند [۸، ۹]) است. لازم به ذکر است که با در نظرگیری ضخامت ثابت (۱۰ متر) برای فونداسیون، این طرح از لحاظ هندسی ایده‌آل‌سازی شده تا بتوان به‌طور کلی تر رفتار هیدرومکانیکی سدهای باطله محور ثابت بلندمرتبه را مورد بررسی قرار داد. هرچند عمر معدن در طرح اولیه برابر ۳۰ سال در نظر گرفته شده بود، این امکان وجود داشت که استخراج از معدن با سرعت بیشتر و یا کمتر از ۳۰ سال صورت گیرد. به همین دلیلی در این تحقیق اثر مدت‌زمان ساخت (۲۵، ۳۰ و ۳۵ سال) بر رفتار سد مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱ - هندسه ایده‌آل‌سازی شده سد باطله مورد مطالعه در مقطع حداکثر و ابعاد اجزای مختلف آن

۳. خصوصیات مصالح و مدل رفتاری

مطالعات جامعی بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی باطله‌های مس سونگون و فونداسیون سد انجام شده که در جدول «۱» خلاصه نتایج مورد استفاده در مدلسازی که عموماً بر اساس آزمایش‌های سه محوری برآورد شده، ارائه شده است. برای تمامی مصالح از مدل موهر-کولمب استفاده شده و مدول الاستیک ماسه خاکریز و فونداسیون سد به‌صورت غیرخطی و تابع تنش محصور شونده تعریف شده است. لازم به ذکر است که مقدار ضریب نفوذپذیری برای مصالح لجن بر مبنای نتایج آزمایش تحکیم و برای سایر مصالح بر طبق آزمایش هد ثابت یا افتان تعیین شده است.

جدول ۱- مشخصات مصالح مورد استفاده در تحلیل هیدرومکانیکی

Material	γ_{wet} (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	ν	E (kPa)	C' (kPa)	ϕ' (°)	k_x (m/s)
Sand Tailings	17.3	19.40	0.28	$1013.(\sigma_3)^{0.5}$	0	38	6.1×10^{-6}
Slimes	-	19.2	0.30	7000	0	35	1.4×10^{-6} to 8.7×10^{-8}
Rockfill	22	-	0.23	50000	0	45	1.6×10^{-3}
Compacted Clay (Core)	18.3	19.7	0.3	20000	15	32	3.4×10^{-8}
Foundation	-	20.7	0.3	$K=120, n=0.45$ $E_i = 8000$	10	25	1.2×10^{-5}



۴. مراحل مدل‌سازی و تحلیل

تحلیل عددی به کمک نرم‌افزار ژئوتکنیکی SIGMA/W از مجموعه نرم‌افزاری GeoStudio 2012 انجام شده که قادر به تحلیل توأم جریان آب و تغییر شکل با استفاده از مدل‌های رفتاری خطی و غیرخطی برای خاک و سنگ است. در ابتدا، با استفاده از آنالیز درجا، تنش‌های اولیه فونداسیون در حالتی که سطح آب بر سطح زمین قرار دارد، تعیین شده است. سپس با استفاده از آنالیز کوپل، سد اولیه در ۷ لایه و هر لایه به ضخامت ۱۰ متر در مدت ۲ سال تحلیل شده است. به محض پایان ساخت سد اولیه، تخلیه باطله‌ها به مخزن سد و دپو سازی ماسه در خاکریز پایین دست آغاز شده است. برای مدل‌سازی مصالح خاکریز و مخزن به ترتیب از ۳۳ و ۳۲ لایه به ارتفاع ۵ متر استفاده شده و زمان کل آنالیز برای هر مدل به ترتیب برابر ۲۵، ۳۰ و ۳۵ در نظر گرفته شده است. در هر مرحله ساخت، یک آنالیز کاملاً کوپل برای تعیین رفتار هیدرومکانیکی مصالح انجام شده است.

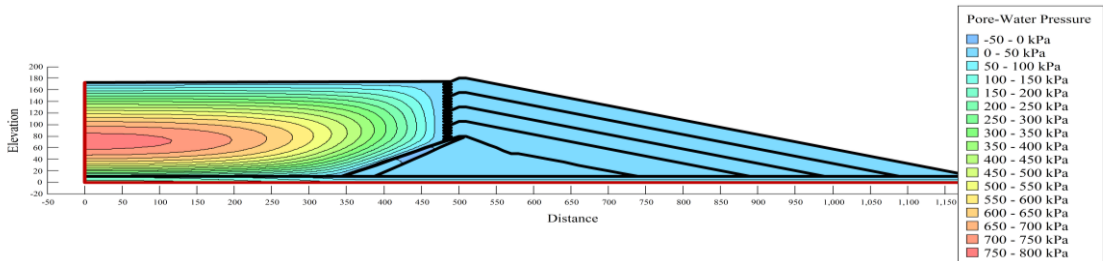
شرایط مرزی به گونه‌ای است که در هر تحلیل مرزهای چپ و راست مدل امکان تغییر شکل در جهت قائم را داشته باشند و تنها شرایط مرزی $x\text{-displacement}=0$ برای آن‌ها تعریف شده است. همچنین در هر آنالیز، تمامی مرزهای مدل نفوذناپذیر در نظر گرفته شده و تنها امکان زهکشی برای مصالح مخزن بر سطح آن‌ها وجود دارد. برای تمامی نواحی مدل غیر از هسته سد اولیه، از الگو مش بندی نامنظم چهاروجهی با ۹ نقطه گوس و مثلثی با ۳ نقطه گوس استفاده شده است؛ اما برای مصالح هسته با استفاده از نتایج چندین آنالیز ساخت مرحله‌ای تصمیم گرفته شد از مدل چهاروجهی مستطیلی استفاده شود تا افزایش فشار آب منفذی در هسته سد به‌خوبی مدل شود. بر مبنای نتایج مطالعه اثر ابعاد مش بر نتایج، ابعاد المان‌ها برای نواحی خاکریزها، مخزن و فونداسیون برابر ۵ متر و برای لایه‌های سد اولیه به علت رسیدن به همگرایی بهتر برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شد.

۵. بحث و بررسی

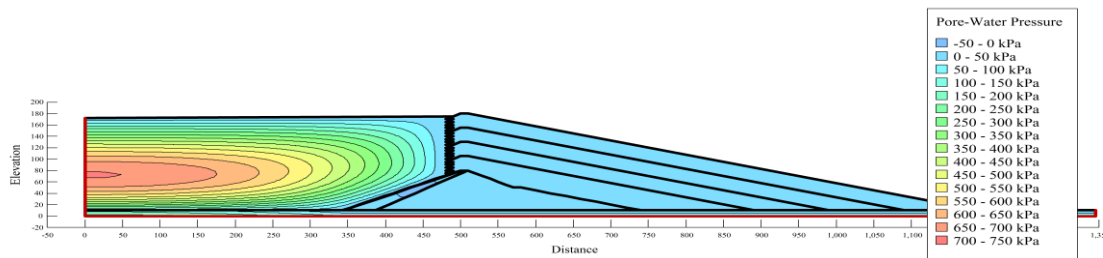
در این بخش، رفتار هیدرومکانیکی مدل ارائه شده در شکل «۱» در سه مدت‌زمان ساخت ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سال از سه منظر فشار آب منفذی، تغییر شکل‌های قائم و افقی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل می‌تواند در مطالعه رفتار سدهای باطله محور ثابت بلندمرتبه در شرایط ساخت مورد استفاده قرار گیرند.

۱.۵ فشار آب منفذی

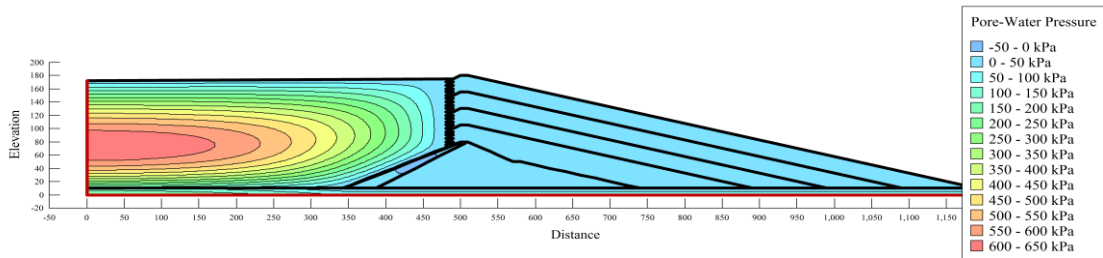
شکل‌های «۲-۴» به ترتیب کانتورهای فشار آب منفذی در شرایط پایان ساخت سد برای سه مدل ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سال را نمایش می‌دهد. مشاهده می‌شود که بیشترین فشار آب منفذی (تا ۸۰۰ کیلو پاسکال) در مدل ۲۵ سال ساخت ایجاد شده و با کاهش سرعت ساخت مقدار فشار آب منفذی تولید شده در مخزن سد کاهش یافته و در مدل ۳۰ و ۳۵ سال به ترتیب به حداکثر مقدار ۷۵۰ و ۶۵۰ کیلو پاسکال می‌رسد. بدیهی است پس از پایان ساخت سد، مدت‌زمان بیشتری برای زایل شدن فشار آب منفذی در مدلی که سریع‌تر ساخته شده، نیاز است.



شکل ۲ - کانتورهای فشار آب منفذی تولید شده در مخزن سد، در مرحله پایان ساخت به مدت ۲۵ سال

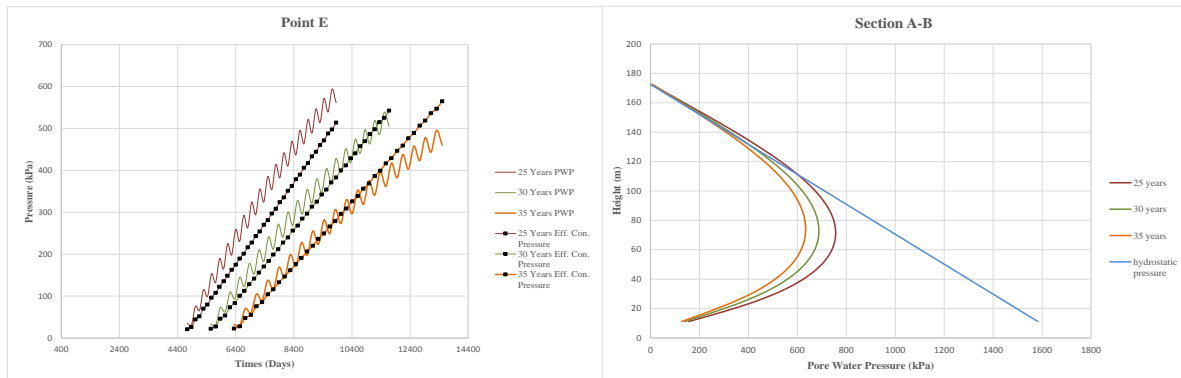


شکل ۳ - کانتورهای فشار آب منفذی تولید شده در مخزن سد، در مرحله پایان ساخت به مدت ۳۰ سال



شکل ۴ - کانتورهای فشار آب منفذی تولیدشده در مخزن سد، در مرحله پایان ساخت به مدت ۳۵ سال

برای مقایسه بهتر سه مدل آنالیز شده، فشار آب منفذی در مقطع A-B در شرایط پایان ساخت به همراه فشار هیدرو استاتیک آب در شکل «۵» رسم شده که نشان می‌دهد، فشار آب منفذی تولیدشده در مدل ۲۵ سال، از ارتفاع ۱۱۰ متر تا سطح مخزن بیش از فشار هیدرو استاتیک بوده و در ارتفاع کمتر از ۱۱۰ متر، از دو مدل دیگر به فشار هیدرو استاتیک نزدیک‌تر است. این موضوع می‌تواند بر نوع رفتار مصالح از منظر زهکشی شده یا نشده و پارامترهای مقاومتی تأثیر گذاشته و پایداری کلی سد خصوصاً در هنگام زلزله را به مخاطره بی‌اندازد. چراکه تکیه‌گاه چپ بدنه سد توسط باطله‌های مخزن شکل می‌گیرد. همچنین در شکل «۶» تغییرات فشار آب منفذی و تنش مؤثر محصور شونده نقطه E در مقابل زمان نمایش داده شده است. در مدل ۲۵ سال، فشار آب منفذی از تنش محصور شونده مؤثر بیشتر بوده و با گذشت زمان فاصله بین فشارها افزایش می‌یابد و رفتار این نقطه شبه-زهکشی نشده خواهد بود؛ اما در هر مدل ۳۵ سال با گذشت زمان به تدریج مقدار تنش محصور شونده از فشار آب منفذی بیشتر شده و رفتار به صورت شبه-زهکشی شده می‌شود. در مدل ۳۰ سال نیز روند مشابه مدل ۳۵ سال اما با سرعت کمتر در افزایش تنش محصور شونده مشاهده می‌شود. همچنین در یک‌زمان مشخص، فشار آب منفذی نقطه E در مدل ۲۵ سال بسیار بیشتر از دو مدل دیگر ۳۰ و ۳۵ است.

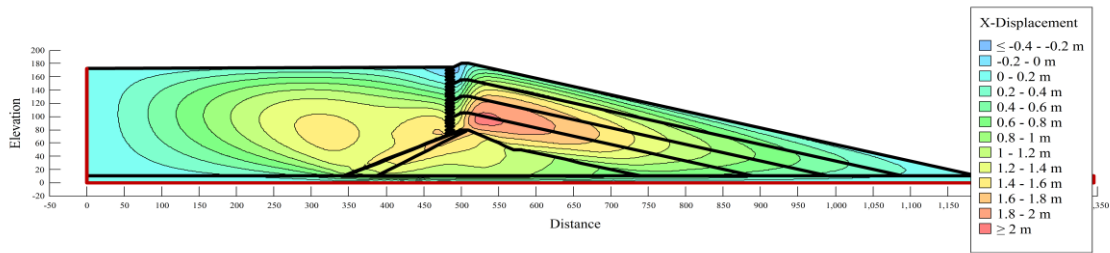


شکل ۶ - تغییرات فشار آب منفذی و تنش مؤثر در نقطه E با زمان

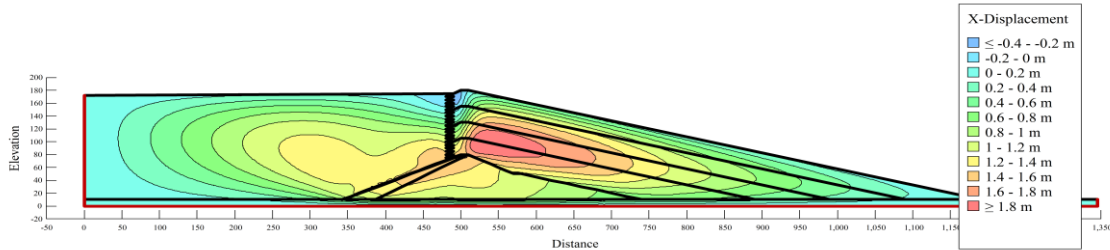
شکل ۵ - فشار آب منفذی مقطع A-B در شرایط پایان ساخت

۱.۵ تغییر شکل‌های افقی و قائم

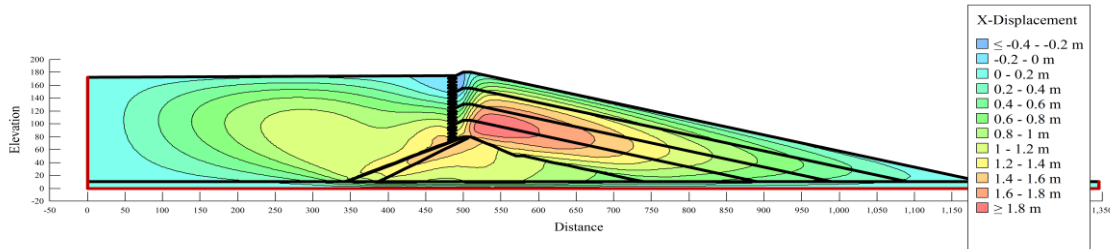
برخی از محققین از جمله [۱۰]، تغییر شکل‌های افقی در شرایط ساخت را به‌عنوان عامل مهم تعیین‌کننده پایداری سد، خصوصاً در شرایط بهره‌برداری دانسته‌اند. شکل‌های (۷-۹) به ترتیب کانتورهای تغییر شکل افقی مدل ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سال را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بیشترین تغییر شکل‌های افقی بدنه سد، در مدلی ایجاد می‌شود (۲۵ سال) که بیشترین فشار آب منفذی در مراحل ساخت در مخزن آن به وجود آمده است (رجوع شود به بخش ۵.۱). علت این موضوع در بیشتر بودن نیروی تراوش و گریزادان هیدرولیکی جهت افقی وارده از مخزن سد به بدنه است که هرچه سرعت ساخت کاهش یابد، این نیرو کاهش یافته و در نتیجه تغییر شکل‌های حداکثر افقی بدنه سد کاهش می‌یابد. این نتیجه به‌طور مشابه توسط [۷] برای سدهای باطله بالارونده گرفته شده است. بدیهی است که استفاده از روش‌های تحلیل یک‌بعدی تحکیم نمی‌توانند منجر به چنین نتایجی شوند. نکته حائز اهمیت دیگر، موقعیت جابه‌جایی‌های افقی حداکثر است که در محدوده تقریبی $(0.47-0.52)H$ از سطح فونداسیون قرار دارد. لازم به ذکر است که برای بررسی اثر ابعاد مدل بر نتایج تغییر شکل افقی، مدل پایه (۳۰ سال) با طول مخزن دو برابر نیز آنالیز شده است که در نقطه ماکزیمم حداکثر ۱۰ درصد و در سایر نقاط زیر ۵ درصد میزان جابه‌جایی‌های کاهش می‌یابد. به همین دلیل مدل با ابعاد فعلی مناسب در نظر گرفته شد.



شکل ۷ - کانتورهای تغییر شکل افقی در اثر ساخت مرحله ای، در مرحله پایان ساخت ۲۵ سال

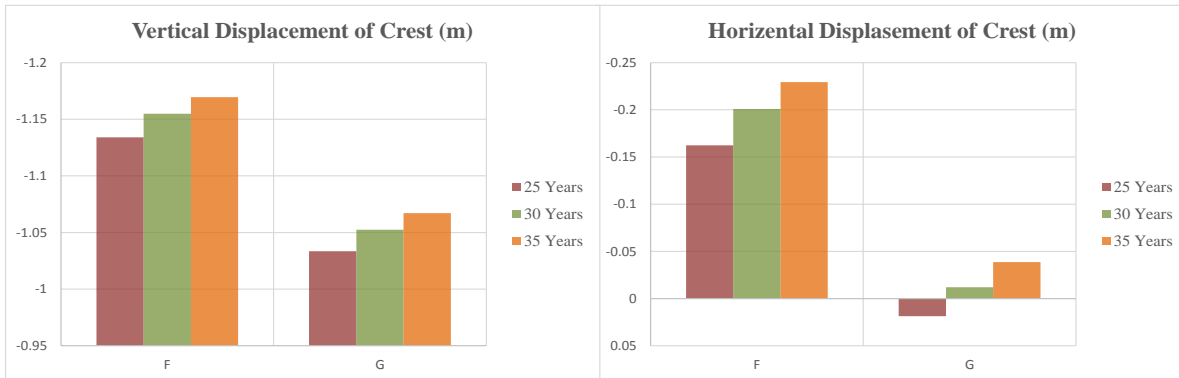


شکل ۸ - کانتورهای تغییر شکل افقی در اثر ساخت مرحله ای، در مرحله پایان ساخت ۳۰ سال



شکل ۹ - کانتورهای تغییر شکل افقی در اثر ساخت مرحله ای، در مرحله پایان ساخت ۳۵ سال

برای ارزیابی بهتر عملکرد مدل ها در شرایط پایان ساخت، تغییر مکان های افقی و قائم نقاط F و G واقع بر دو طرف تاج سد به ترتیب در شکل های «۱۰» و «۱۱» نشان داده شده است. هر چند تفاوت بسیار ناچیزی در مقدار نشست بین مدل ها وجود دارد، به طور کلی با کاهش سرعت ساخت به علت آنکه مصالح مدت زمان بیشتری روی هم قرار دارند، نشست تاج سد بیشتر می شود. همچنین با توجه به میزان نشست محاسبه شده برای تاج سد و خصوصاً نقطه F، در نظر گیری سطح آزاد ۵ متر برای هر سه مدل کافی به نظر می رسد. نکته حائز اهمیت دیگر، تغییر شکل و حرکت تاج به سمت مخزن سد است. با توجه به اینکه مصالح فوقانی مخزن در شرایط کاملاً اشباع قرار داشته و مقاومت بسیار کمی در مقابل تغییر شکل دارند، مصالح بدنه به سمت آنها حرکت می کنند. اگر چه این جابه جایی در هر سه مدل زیاد نیست، می تواند اولاً باعث ایجاد ترک هایی در تاج سد شده و دوماً تغییر شکل های نامتقارن برای تاج سد را در برداشته باشد. احتمال رخداد این دو پدیده در مدل ۲۵ سال که تغییر شکل افقی دو نقطه F و G در خلاف جهت یکدیگر رخ داده بیشتر از دو مدل دیگر است.



شکل ۱۱ - تغییر شکل قائم نقاط F و G واقع بر تاج سد

شکل ۱۰ - تغییر شکل افقی نقاط F و G واقع بر تاج سد



۶. نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه می‌توان نتایج زیر را در ارتباط با آنالیزهای صورت گرفته ارائه کرد:

۱. افزایش سرعت ساخت موجب افزایش فشار آب منفذی تولیدشده در مخزن سد می‌شود و زمان بیشتری برای زایل شدن این فشار پس از پایان ساخت نیاز خواهد بود.
۲. ساخت سریع سد می‌تواند موجب ایجاد فشار آب منفذی بیش از فشار هیدرو استاتیک در مخزن شود. بنابراین رفتار مصالح مخزن به‌صورت شبه-زهکشی نشده است و امکان به خطر افتادن پایداری بدنه سد خصوصاً در اثر بارهای لرزه‌ای وجود دارد.
۳. بیشترین میزان تغییر شکل‌های افقی در مدل با کمترین زمان ساخت رخ می‌دهد. چراکه با افزایش سرعت ساخت نیروی تراوش و گرادپان هیدرولیکی افقی مخزن به‌طرف بدنه سد بیشتر می‌شود.
۴. محدوده جابه‌جایی حداکثر افقی بدنه سد برای هر سه مدل تقریباً یکسان و در بازه $H(0.47-0.52)$ از سطح فونداسیون قرار دارد.
۵. اختلاف نشست تاج سد در هر سه مدل تقریباً ناچیز است اما به‌طور کلی با افزایش زمان ساخت، مصالح تغییر مکان‌های قائم بیشتری را تجربه می‌کنند.
۶. در مدل ۲۵ سال تغییر شکل افقی دو نقطه کناری تاج سد در خلاف جهت یکدیگر بوده و این موضوع احتمال ایجاد ترک و نشست‌های نامتقارن را در مقایسه با دو مدل دیگر افزایش می‌دهد.

۷. قدردانی

نگارندگان این اثر بر خود می‌دانند از شرکت ملی صنایع مس ایران و شرکت مهندسی مشاور طوس آب برای کمک‌های بی‌شائبه‌شان در کلیه مراحل این مطالعه تشکر و قدردانی داشته باشند.

۸. مراجع

- [۱] D. Kossoff, W. Dubbin, M. Alfredsson, S. Edwards, M. Macklin, and K.A. Hudson-Edwards, *Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation*, Applied Geochemistry 51 (2014), pp. 229-245.
- [۲] B. Lottermoser, *Mine wastes :characterization, treatment and environmental impacts*, Springer Science & Business Media, (2010).
- [۳] G. Villavicencio, R. Espinace, J. Palma, A. Fourie, and P. Valenzuela, *Failures of sand tailings dams in a highly seismic country*, Canadian geotechnical journal 51 (2013), pp. 449-464.
- [۴] T. Hamade, and H. Mitri, *Reliability-based approach to the geotechnical design of tailings dams*, International Journal of Mining, Reclamation and Environment 27 (2013), pp. 377-392.
- [۵] M.P. Davies, *Tailings impoundment failures: are geotechnical engineers listening*, Geotechnical News, September 2002 (2002), pp. 31-36.
- [۶] L.N. Bowker, and D.M. Chambers, *The risk, public liability, and economics of tailings storage facility failures*, Research Paper. Stonington, ME. Disponível em: https://www.earthworksaction.org/files/pubs-others/BowkerChambers-RiskPublicLiability_EconomicsOfTailingsStorageFacility%20Failures-23Jul15.pdf, (2015).
- [۷] B. Saad, and H. Mitri, *Hydromechanical analysis of upstream tailings disposal facilities*, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering 137 (2010), pp. 27-42.
- [۸] Obermeyer, J. and T. Alexieva., *Design, construction and operation of a large centerline tailing storage facility with high rate of rise.*, in Proc., Tailings and Mine Waste' 11: 15th Int. Conf. on Tailings and Mine Waste. 2011. Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering Vancouver, BC, Canada.
- [۹] P. Corser, J. Rogers, J. Misiewicz, D. Ross-Watt, and J. Gutierrez, *Design, construction and operation of a centerline rockfill tailing dam with low permeability core zone*, (2011).
- [۱۰] A.D.M. Penman, *On the embankment dam*, Géotechnique 36 (1986) ,pp. 303-348.