

Certificate



This is to certify that the paper entitled
**Investigation of the Effect of foundation permeability on the hydromechanical
behavior of a high-raised centerline tailings dam**
by

Mahdi Naeini, Ali Akhtarpour

Has been accepted in the Second International conference on architecture civil
and urban development at the beginning of the third millennium – Tehran .

The conference will be held on July , 2016 .

Level : Published In The Article Books

Vahid Ghobadian (Prof/Dr)

Babak Ghoseiri (-Dr)

Handwritten signatures in blue ink of Vahid Ghobadian and Babak Ghoseiri, positioned below their names and a horizontal line.





مطالعه اثر نفوذپذیری فونداسیون بر رفتار هیدرومکانیکی یک سد باطله بلندمرتبه محور ثابت

مهدی نائینی^{۱*}، علی اخترپور^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران مکانیک خاک و پی، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، mhd.naeini@stu.um.ac.ir

۲- دکترای عمران مکانیک خاک و پی، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه عمران، akhtarpour@um.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر، تولید حجم انبوهی از زائادات معدنی مانند باطله‌ها به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های معادن بزرگ دنیا تبدیل شده است. با توجه به اینکه این زائادات حاوی مقدار قابل توجهی آب و آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند، نیاز به دفع ایمن و پایدار آن‌ها در طول عمر معدن و پس از پایان بهره‌برداری است. در این میان، ساخت سدهای باطله مورد توجه معادن زیادی قرار گرفته که عموماً با استفاده از خود باطله‌ها و به یکی از روش‌های بالارونده، پایین‌رونده یا محور ثابت ساخته می‌شوند. اما خرابی بسیاری از این سدها خصوصاً در شرایط ساخت نشان می‌دهد که روش‌های مرسوم آنالیز پایداری و تراوش نمی‌توانند رفتار سازه را در شرایط مختلف پیش‌بینی کنند. در این مقاله با استفاده از آنالیز کوپل تحکیم به بررسی رفتار هیدرومکانیکی یک سد باطله محور ثابت پرداخته شده و اثر نفوذپذیری پی بر عملکرد سد در شرایط ساخت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان تراوایی از فونداسیون می‌تواند به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده در تغییرات فشار آب منفذی مخزن و جابه‌جایی‌های بدنه سد تلقی شود.

واژه‌های کلیدی: سد باطله، محور ثابت، ساخت مرحله‌ای، نفوذپذیری، فونداسیون

۱- مقدمه

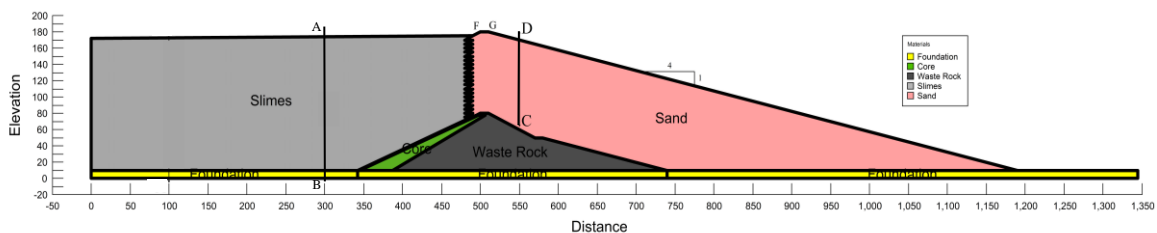
در سال‌های اخیر دفع مواد زائد معدنی (شامل باطله‌ها) به یکی از مهم‌ترین معضلات معادن بزرگ دنیا تبدیل شده است. در بسیاری از این معادن (خصوصاً معادن مس و طلا)، بیش از ۹۹ درصد ماده اولیه حفاری شده (سنگ مادر) تبدیل به زائادات معدنی مختلف از جمله باطله‌ها می‌شود [۱، ۲]. نظر به اینکه این حجم زیاد باطله‌ها عموماً حاوی مقدار قابل ملاحظه آب و آلاینده‌های زیست‌محیطی از جمله فلزات سنگین و مواد سمی هستند، نیاز به دفع ایمن و پایدار آن‌ها به‌منظور حفظ منابع ارزشمند آب و جلوگیری از پخش و گسترش کنترل نشده آن‌ها به محیط‌زیست است. بدین ترتیب، عموماً از ساخت سدهای باطله با استفاده از خود باطله‌ها و به روش بالارونده، پایین‌رونده و محور ثابت استفاده می‌شود. مهم‌ترین هدف احداث این سازه‌ها، ایجاد فضای کافی و ایمن برای ذخیره مناسب مواد زائد معدنی تا پایان عمر معدن است [۳]؛ اما با توجه به آمار خرابی بالای آن‌ها (به‌طور متوسط بین ۲ تا ۵ سد باطله در سال [۴، ۵]) می‌توان دریافت روش‌های مرسوم آنالیز تراوش و پایداری نمی‌توانند تمامی جوانب رفتاری این سازه‌ها را در برگیرد؛ بنابراین مطالعه رفتار هیدرومکانیکی سدهای باطله در شرایط ساخت مرحله‌ای به‌منظور اطمینان از پایداری و عملکرد ایمن آن‌ها الزامی است [۶].

در این مقاله با استفاده از آنالیز کوپل تحکیم، اثر نفوذپذیری پی بر رفتار یک سد باطله محور ثابت بلندمرتبه در شرایط ساخت مرحله‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. در این آنالیزها، به شبیه‌سازی رفتار واقعی سد با در نظرگیری مهم‌ترین عوامل در رفتار باطله‌ها شامل تراوش غیراشباع، تحکیم و بارگذاری ناشی از ساخت مرحله‌ای در نرم‌افزار SIGMA/W از مجموعه

نرم افزاری GeoStudio پرداخته شده است. سد تحلیل شده یکی از گزینه‌های اصلی ساخت سد باطله برای معدن مس سونگون بوده که مطالعات جامعی بر روی آن انجام شده است. در ادامه، کلیاتی در ارتباط با معدن مس سونگون، خصوصیات مصالح و مراحل مدل‌سازی ارائه شده و سپس اثر نفوذپذیری پی بر رفتار هیدرومکانیکی سد مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- معرفی معدن مس سونگون و سد تحلیل شده

مجتمع مس سونگون در استان آذربایجان شرقی، ۱۳۰ کیلومتری شمال تبریز و ۳۰ کیلومتری شهرستان ورزقان قرار دارد. این معدن روباز که به‌عنوان دومین معدن مس بزرگ ایران شناخته می‌شود، در طی حدود ۳۰ سال ۳۸۰ میلیون مترمکعب باطله تولید خواهد کرد. با توجه به این حجم بالای باطله، مطالعات جامعی به‌منظور جمع‌آوری و ذخیره ایمن باطله‌های کارخانه تغلیظ با استفاده از یک سد باطله صورت گرفته و بر اساس موقعیت معدن و خصوصیات باطله‌ها، یکی از مهم‌ترین گزینه‌های مورد توجه، ساخت سد باطله محور ثابت با استفاده از ماسه سیکلون بوده است. اجزای اصلی این گزینه شامل فونداسیون، سد اولیه (سد خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی مایل)، لجن مخزن و خاکریز ماسه‌ای بدنه در شکل ۱ نشان داده شده است. این مقطع مشابه برخی از سدهای باطله محور ثابت بلندمرتبه دیگر دنیا مانند [۷] است. ضخامت فونداسیون ثابت برابر ۱۰ متر در نظر گرفته شده تا بتوان با ایده‌آل‌سازی هندسه، رفتار هیدرومکانیکی سدهای باطله محور ثابت بلندمرتبه را به‌طور کلی مورد بررسی قرارداد. لازم به ذکر است که برای بررسی دقیق‌تر پاسخ سازه به شرایط ساخت مرحله‌ای از دو مقطع A-B و C-D به ترتیب برای بررسی نتایج فشار آب منفذی مخزن و تغییر شکل جانبی بدنه سد استفاده شده است. این مقاطع در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.



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

۳- خصوصیات مصالح و مدل رفتاری

مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با خصوصیات ژئوتکنیکی فونداسیون و باطله‌های مس سونگون انجام شده که در جدول ۱ به‌طور خلاصه مقادیر متوسط که در مدل‌سازی عددی مورد استفاده قرار گرفته، ارائه شده است. علاوه بر آزمایش‌های سه محوری و تحکیم که اکثر خصوصیات مصالح بر اساس آن تعیین شده، آزمایش لوفران هد ثابت و افتان در اعماق و گمانه‌های مختلف باهدف اندازه‌گیری ضریب تراوایی پی انجام شده است. بر این اساس ضریب نفوذپذیری در اکثر موارد در بازه 1×10^{-3} تا 1×10^{-7} متر به ثانیه قرار دارد.

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}



برای تمامی مصالح از مدل رفتاری الاستیک-پلاستیک کامل استفاده شده که در نرم افزار SIGMA/W از معیار گسیختگی موهر-کولمب برای این مدل رفتاری استفاده می شود. مدول الاستیک ماسه خاکریز و فونداسیون سد به صورت غیرخطی و تابع تنش محصور شونده تعریف شده است.

۴- تحلیل ساخت مرحله ای

در این مقاله، از نرم افزار ژئوتکنیکی SIGMA/W از مجموعه نرم افزاری GeoStudio 2012 برای تحلیل توأم جریان آب و تغییر شکل استفاده شده است. بدین منظور، تنش های اولیه فونداسیون در شرایطی که سطح آب بر سطح زمین قرار دارد، با استفاده از آنالیز درجا اندازه گیری شده و پس از آن، سد اولیه در ۷ لایه و هر لایه به ضخامت ۱۰ متر و به مدت ۲ سال در شرایط کاملاً کوپل تحلیل شده است. با پایان ساخت این سد، تخلیه لجن در مخزن و ساخت خاکریزها در قسمت پایین دست سد اولیه با استفاده از آنالیز کوپل مدل سازی شده است. ضخامت لایه های خاکریز و مخزن در هر تحلیل ۵ متر و تعداد لایه ها به ترتیب برابر ۳۳ و ۳۲ در نظر گرفته شده تا با دقتی مناسب رفتار سازه مورد مطالعه قرار گیرد. لازم به ذکر است که مدت زمان ساخت خاکریزها تا رسیدن به ارتفاع ۱۷۰ متر از سطح فونداسیون برابر با عمر معدن یعنی ۳۰ سال در نظر گرفته شده است. علاوه بر مدل پایه که خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح آن در بخش ۳ ارائه شد، دو مدل با نفوذپذیری حداقل و حداکثر نیز مطابق جدول ۲ آنالیز و مطالعه شده اند. همان طور که مشاهده می شود، دو مدل پایه و مدل ۱ دارای پی با قابلیت نفوذپذیری «زیاد» هستند در حالی که میزان تراوایی فونداسیون مدل ۲ در رده «کم» قرار دارد. در این مدل ها غیر از تغییر نفوذپذیری پی، سایر عوامل شامل خصوصیات ژئوتکنیکی مصالح، نحوه مدل سازی و شرایط مرزی کاملاً مشابه مدل پایه است.

جدول ۲- ضریب نفوذپذیری فونداسیون در سه مدل تحلیل شده

Model	k_x Foundation (m/s)
Base Case	1.2×10^{-5}
Model 1	1.2×10^{-3}
Model 2	1.2×10^{-7}

با در نظرگیری شرایط مرزی $x\text{-displacement}=0$ به مرزهای چپ و راست مدل در هر تحلیل، امکان تغییر شکل در جهت قائم و تحکیم مصالح در اثر بارگذاری ناشی از ساخت مرحله ای وجود دارد. همچنین در هر تحلیل تمام مرزهای مدل از جمله بستر سنگی نفوذناپذیر فرض شده و تنها امکان زهکشی برای مصالح مخزن از سطح در نظر گرفته شده است. الگو مش بندی مورد استفاده برای تمامی نواحی غیر از ناحیه هسته سد اولیه، الگوی نامنظم چهاروجهی با ۹ نقطه گوس و مثلثی با ۳ نقطه است؛ اما برای مصالح هسته تصمیم گرفته شد از الگو مش بندی چهاروجهی مستطیلی استفاده شود تا افزایش فشار آب منفذی در اثر ساخت مرحله ای سد اولیه به خوبی تولید شود. برای همگرایی مناسب تغییر شکل ها، ابعاد المان برای مصالح مخزن و خاکریز ۵ متر و برای تمامی لایه های سد اولیه ۱۰ متر در نظر گرفته شده است.

۴- بحث و بررسی نتایج

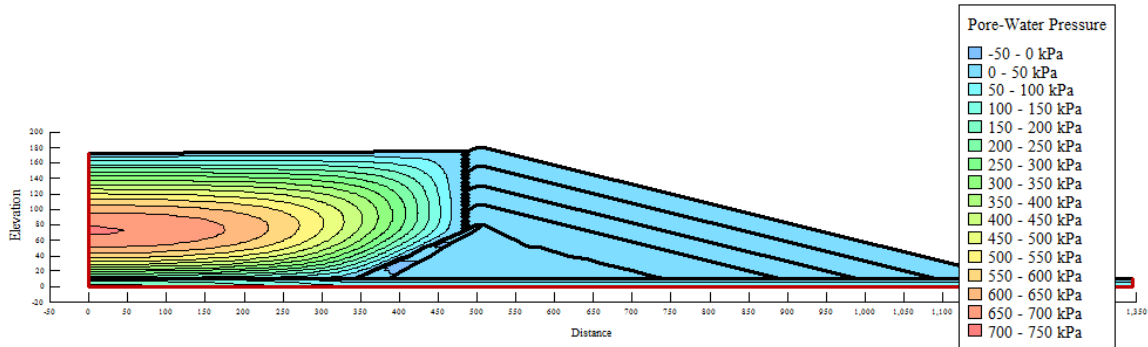
در این بخش، رفتار هیدرومکانیکی مدل ارائه شده در شکل «۱» در سه حالت نفوذپذیری فونداسیون مطابق جدول ۲ از منظر فشار آب منفذی تولید شده در مخزن و تغییر شکل های افقی بدنه سد مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۱- فشار آب منفذی

در شکل ۲ کانتورهای فشار آب منفذی توسعه یافته مدل پایه در شرایط پایان ساخت نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، حداکثر فشار آب منفذی در قسمت میانی مخزن و در محدوده ۰/۲ تا ۰/۵ ارتفاع سد به وجود آمده است؛

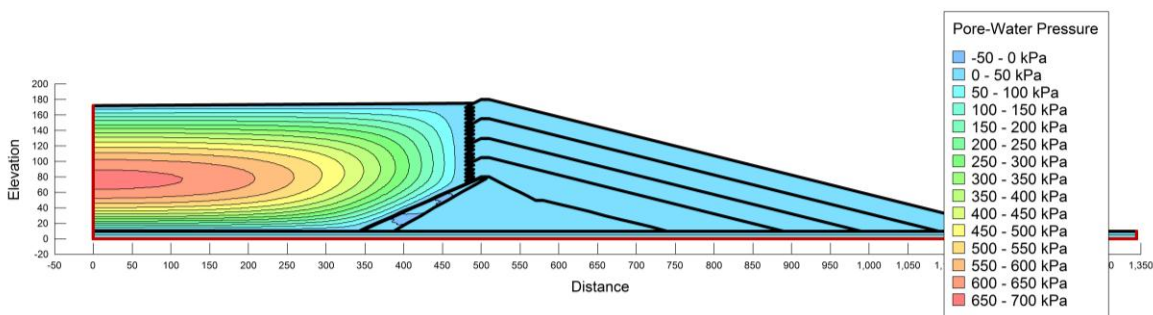
تهران - تیرماه ۱۳۹۵

زیرا نفوذپذیری بالای فونداسیون و امکان زهکشی از سطح مخزن باعث می شود فشار آب منفذی در لایه های تحتانی و فوقانی با سرعت بیشتری نسبت به لایه های میانی زایل شود.

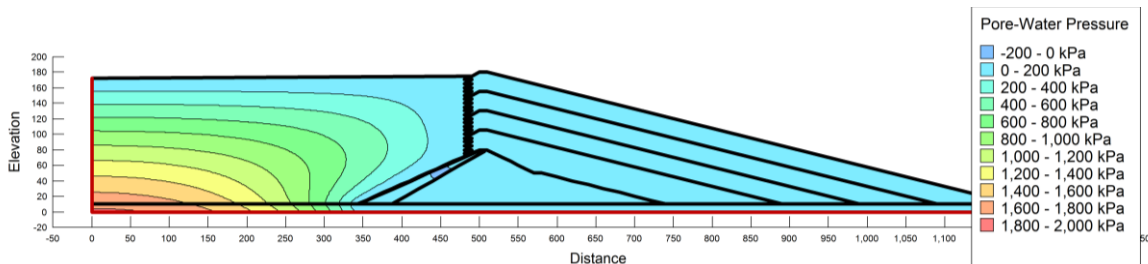


شکل ۲- کانتور فشار آب منفذی توسعه یافته در مخزن سد مدل پایه در شرایط پایان ساخت

کانتورهای فشار آب منفذی تولید شده در مخزن سد دو مدل ۱ و ۲ نیز در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. چندین نکته بر اساس این اشکال قابل استنتاج است. اولاً تفاوت چندانی در نتایج دو مدل پایه و ۱ که هر دو دارای فونداسیون نفوذپذیر هستند، وجود نداشته و مقدار حداکثر فشار آب منفذی به ترتیب برابر ۷۵۰ و ۷۰۰ کیلو پاسکال محاسبه شده است. این در حالی است که مقدار نفوذپذیری پی سد ۱۰۰ برابر افزایش داشته است؛ اما در مدل ۳ که نفوذپذیری در رده کم قرار دارد، مقدار فشار آب منفذی حداکثر به حدود ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلو پاسکال رسیده و نحوه توزیع آن نسبت به مدل پایه بسیار متفاوت است. همچنین با کاهش نفوذپذیری علاوه بر افزایش قابل ملاحظه فشار آب منفذی، محدوده حباب فشار حداکثر به سمت فونداسیون سد نزدیک تر می شود، چراکه امکان زهکشی اضافه فشار آب منفذی از طریق فونداسیون وجود نداشته و یا به شدت کاهش می یابد. این نتیجه به طور مشابه برای سدهای باطله بالارونده واقع بر فونداسیون نفوذناپذیر توسط محققانی از جمله [۶، ۸، ۹] گرفته شده است.



شکل ۳- کانتور فشار آب منفذی توسعه یافته در مخزن سد مدل ۱ در شرایط پایان ساخت



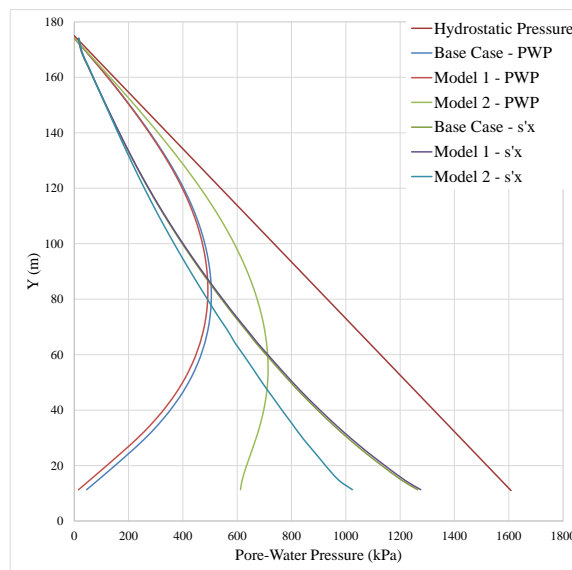
شکل ۴- کانتور فشار آب منفذی توسعه یافته در مخزن سد مدل ۲ در شرایط پایان ساخت



تهران - تیرماه ۱۳۹۵

برای بررسی بهتر نتایج، تغییرات فشار آب منفذی و تنش مؤثر محصور شونده مقطع A-B در شرایط پایان ساخت برای هر سه مدل در شکل ۵ در مقایسه با فشار هیدرو استاتیک رسم شده است. همان طور که در مدل پایه مشاهده می شود، روند کلی تغییرات فشار آب منفذی با تراز نشان دهنده امکان زهکشی از قسمت فوقانی و تحتانی لایه های مخزن است. همچنین تا ارتفاع حدود ۸۰ متر از کف مدل، مقدار تنش مؤثر محصور شونده بیش از فشار آب منفذی است و رفتار مصالح به صورت شبه-زهکشی شده خواهد بود؛ اما در ترازهای بالایی، وجود فشار آب منفذی بیشتر از تنش محصور شونده مؤثر حاکی از رفتار شبه-زهکشی نشده مصالح مخزن است. این مسئله به نوعی می تواند بیانگر پتانسیل روانگرایی بیشتر این محدوده از بدنه سد در نزدیکی مقطع A-B باشد. لازم به ذکر است که در تمامی ترازها، فشار آب منفذی کمتر از فشار هیدرو استاتیک آب است که دلیل اصلی آن می تواند نفوذپذیری زیاد فونداسیون سد باشد.

همچنین با مقایسه نتایج دو مدل ۱ و ۲ با مدل پایه در شکل ۵ می توان دریافت بین دو مدل پایه و ۱ تفاوت بسیار کمی از منظر فشار آب منفذی و تنش مؤثر محصور شونده در مقطع A-B وجود دارد. این نتیجه مؤید این مطلب است که مقدار فشار آب منفذی مخزن چندان وابسته به تغییرات ضریب نفوذپذیری فونداسیون وقتی در رده با نفوذپذیری «زیاد» قرار دارد، نیست؛ اما در مدل ۳ علاوه بر بیشتر بودن فشار آب منفذی نسبت به مدل پایه، فاصله مقدار تنش مؤثر محصور شونده و فشار آب منفذی بیشتر است و به عبارتی محدوده زیادی از مخزن (از ارتفاع تقریبی ۴۵ متر) در رده رفتاری شبه-زهکشی نشده قرار می گیرد. در حالی که در دو مدل دیگر همین شرایط از ارتفاع حدود ۸۰ متر به بعد رخ می دهد. نتایج فوق لزوم مطالعه دقیق پارامترهای نفوذپذیری فونداسیون را برای سدهای باطله آشکار می سازد.



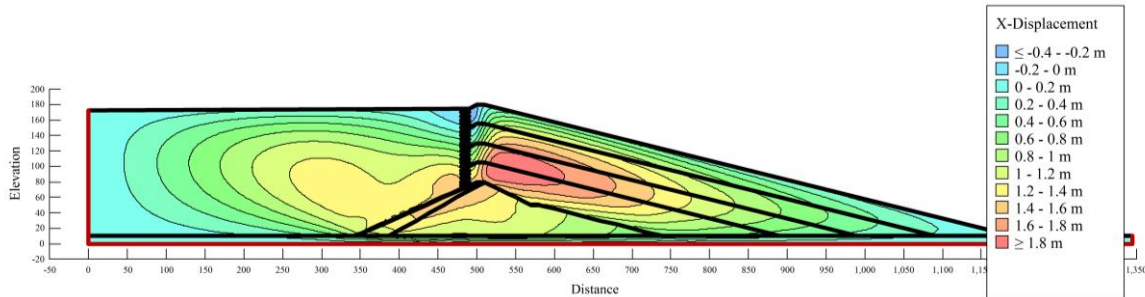
شکل ۵- تغییرات فشار آب منفذی و تنش مؤثر محصور شونده مقطع A-B در شرایط پایان ساخت

۴-۲- تغییر شکل افقی

تغییرات تغییر شکل های افقی سد در شرایط ساخت مرحله ای می تواند به طور مستقیم بیانگر پایداری سد باشد. در واقع برخی محققین از جمله [۱۰] با استفاده از تغییر شکل های افقی چندین سد خاکی معیارهای را برای ارزیابی پایداری سد در شرایط ساخت مرحله ای پیشنهاد کرده اند. در سدهای باطله، حتی اگر تغییر شکل های زیاد افقی منجر به گسیختگی و خرابی کلی سد نشود، می تواند با ایجاد ترک و لغزش های جزئی در بخش های مختلف بدنه عملکرد سد را مختل سازد. به همین دلیل در این بخش اثر نفوذپذیری بر تغییر شکل افقی بدنه سد مورد ارزیابی قرار گرفته است. به طور کلی می توان اظهار داشت با

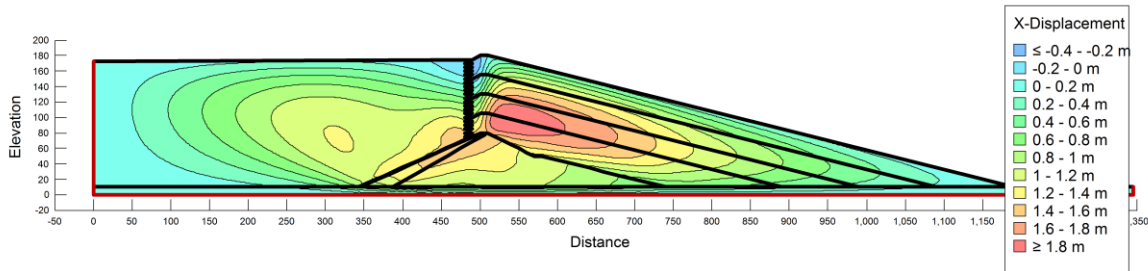
افزایش فشار آب منفذی در مخزن، نیروی تراوش و گرادیان هیدرولیکی جهت افقی وارده به بدنه سد افزایش یافته و تغییر شکل های افقی بدنه سد بیشتر می شود. صحت این مطلب در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد.

در شکل ۶ کانتور تغییر مکان افقی بدنه سد برای مدل پایه نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، بیشترین تغییر شکل های بدنه سد در بازه $0.35/0$ تا $0.6/0$ از ارتفاع سد و به در قسمت فوقانی سد اولیه رخ می دهد. این نتیجه مشابه [۱۱] برای یک سد باطله محور ثابت بلندمرتبه است.

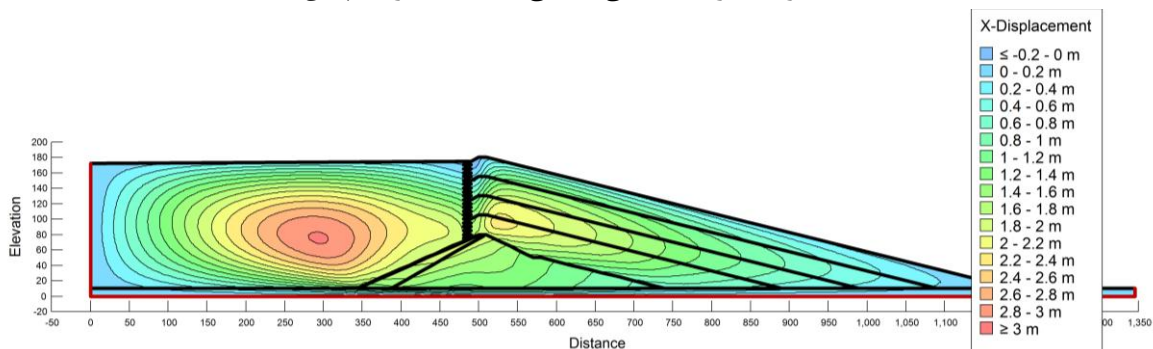


شکل ۶- کانتور تغییر شکل افقی تجمعی مدل پایه در شرایط پایان ساخت

در بخش ۴-۱ اثر نفوذپذیری فونداسیون در نحوه توزیع فشار آب منفذی مخزن توضیح داده شد. با کاهش نفوذپذیری فونداسیون، امکان زهکشی آب از لایه های تحتانی کاهش و فشار آب منفذی و در نتیجه نیروی تراوش در این بخش ها افزایش می یابد؛ بنابراین به طور کلی انتظار می رود با کاهش نفوذپذیری پی، تغییر شکل افقی بدنه سد افزایش یابد. کانتورهای تغییر شکل افقی دو مدل ۱ و ۲ به ترتیب در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، تفاوت چندانی بین نتایج مدل پایه و ۱ وجود ندارد و هر دو مدل دارای حداکثر تغییر شکل افقی $1/8$ متر در بدنه سد هستند؛ زیرا هر دو مدل از پی با نفوذپذیری بالا برخوردار هستند و از منظر فشار آب منفذی نیز شرایط نسبتاً مشابهی در اثر ساخت مرحله ای در مخزن آن ها به وجود می آید (بخش ۴-۱)؛ اما در مدل ۲، تغییر رده در نفوذپذیری فونداسیون از «زیاد» در مدل پایه به «کم» در مدل ۲، منجر به ایجاد تغییر شکل های افقی زیاد در محدوده بدنه و مخزن سد می شود. در این حالت تغییر شکل حداکثر بدنه و مخزن به ترتیب به $2/4$ و 3 متر می رسد.

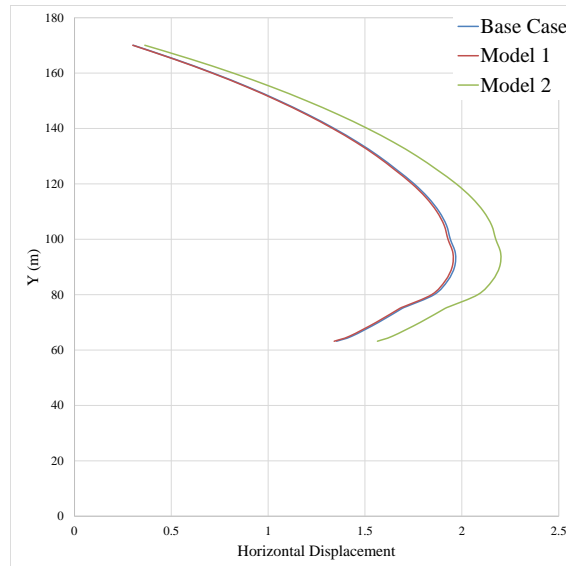


شکل ۷- کانتور تغییر شکل افقی تجمعی مدل ۱ در شرایط پایان ساخت



شکل ۸- کانتور تغییر شکل افقی تجمعی مدل ۲ در شرایط پایان ساخت

عدم تفاوت در تغییر شکل دو مدل پایه و ۱ را می توان در شکل ۹ نیز مشاهده کرد. درحالی که در مدل ۳ تغییر شکل جانبی بدنه سد در محدوده حداکثر (ارتفاع ۹۰ متر از کف مدل) بیش از ۱۲ درصد نسبت به مدل پایه و مدل ۱ افزایش یافته است؛ بنابراین زمانی که تراوایی فونداسیون کم باشد، تغییر شکل بدنه سد به میزان قابل توجهی تحت تأثیر آن قرار می گیرد.



شکل ۹- تغییر شکل افقی مقطع C-D در شرایط پایان ساخت

۵- نتیجه گیری

به طور خلاصه می توان نتایج زیر را در ارتباط با آنالیزهای صورت گرفته ارائه کرد:

- ۱- کاهش نفوذپذیری فونداسیون موجب افزایش فشار آب منفذی تولیدشده در مخزن سد می شود و مطمئناً زمان بیشتری برای زایل شدن این فشار پس از پایان ساخت نیاز خواهد بود.
- ۲- بیشترین میزان تغییر شکل های افقی در مدل با کمترین نفوذپذیری پی رخ می دهد. چراکه در این حالت فشار آب منفذی مخزن بسیار بیشتر از دو مدل دیگر است و قائدتان نیروی تراوش وارده از مخزن سد به بدنه افزایش می یابد. این نیرو باعث جابه جایی بیشتر بدنه سد در شرایط پایان ساخت خواهد شد.
- ۳- محدوده جابه جایی حداکثر افقی بدنه سد برای هر سه مدل تقریباً یکسان و در بازه $(0.47-0.52)H$ از سطح فونداسیون قرار دارد.
- ۴- به طور کلی می توان اظهار داشت نفوذپذیری فونداسیون می تواند به عنوان عامل تعیین کننده در رفتار بدنه و مخزن سدهای باطله باشد و نیاز به اندازه گیری دقیق آن در شرایط ساخت است.

۶- قدردانی

نگارندگان این اثر بر خود می دانند از شرکت ملی صنایع مس ایران و شرکت مهندسی مشاور طوس آب برای کمک های بی شائبه شان در کلیه مراحل این مطالعه تشکر و قدردانی داشته باشند.

مراجع

- [1] B. Lottermoser, *Mine wastes: characterization, treatment and environmental impacts*, Springer Science & Business Media, 2010.



second International conference on
architectural , civil and
urban development
at the b e g i n n i n g
of the third millennium

در آغاز هزاره سوم

تهران - تیرماه ۱۳۹۵

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] M.P. Davies, *Tailings impoundment failures: are geotechnical engineers listening*, Geotechnical News, September 2002 (2002), pp. 31-36.
- [5] 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.
- [6] B. Saad, and H. Mitri, *Hydromechanical analysis of upstream tailings disposal facilities*, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering 137 (2010), pp. 27-42.
- [7] 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).
- [8] C. Priscu, H. Mitri, and H. Keira, *Behavior of mine tailings dams under high tailings deposition rates*, Citeseer, 2001.
- [9] L. Ormann, M.A. Zardari, H. Mattsson, A. Bjelkevik, and S. Knutsson, *Numerical analysis of strengthening by rockfill embankments on an upstream tailings dam*, Canadian Geotechnical Journal 50 (2013), pp. 391-399.
- [10] A.D.M. Penman, *On the embankment dam*, Géotechnique 36 (1986), pp. 303-348.
- [11] S. Törnqvist, and A. Lindquist, *Stability analysis on a planned Mexican tailings dam*, (2016).