





دانشکده مهندسی عمران

ارزیابی سد خاکی هسته بتن آسفالتی ماشکید با تاکید بر رفتار استاتیکی هسته و پی

جواد فدایی تهرانی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران - خاک و پی

استاد راهنما :

دکتر حمید رضا رازقی

استاد مشاور:

دکتر علی قنبری

اسفند ماه ۱۳۸۵

چکیده:

یکی از گزینه‌های نسبتاً جدید در زمینه سدسازی که در چند دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است، سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی است. اولین بار اروپائیان در سال ۱۹۴۸ از آسفالت در هسته سدهای خاکی استفاده نمودند. در کشور ما نیز دو سد تا کنون با این روش ساخته شده است. با گذشت زمان و تجربیات بدست آمده از ساخت اینگونه سدها قابلیت و توانایی این نوع سدها بیش از پیش مشخص شده است ولی با این حال هنوز نکات ناشناخته زیادی از رفتار این سدها در زمان ساخت و بهره برداری وجود دارد که لزوم انجام تحقیقات در این زمینه را مطرح می‌سازد.

در پایان نامه حاضر، به منظور بررسی رفتار سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی در زمان ساخت و آبیگری، به عنوان مطالعه موردی رفتار سد خاکی با هسته بتن آسفالتی ماشکید سفلی در جنوب ایران (در دست مطالعه) مورد بررسی قرار گرفته شده است. در ابتدا مروری بر مطالعات و تحقیقات در زمینه سدهای خاکی با هسته آسفالتی انجام پذیرفته است. سپس سد ماشکید سفلی در جنوب شرقی ایران معرفی گردیده است. آنالیزها در مراحل ساخت و آبیگری سد با استفاده از روش تفاضل محدود توسط نرم افزار FLAC 2D انجام پذیرفته است. مدل سازی سد بر اساس تحلیل های ۱۰ لایه ای صورت پذیرفته و در انتها نتایج آنالیزهای سد ماشکید در حالت ساخت و آبیگری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. و به منظور بررسی بیشتر رفتار هسته بتن آسفالتی سد بررسی های زیر نیز انجام پذیرفته است:

- بررسی اثر تحلیل لایه ای سد بر نتایج آنالیزها
- ارزیابی اثر نواحی انتقالی در اطراف هسته سد
- ارزیابی اثر وجود آبرفت در زیر بدنه سد
- ارزیابی اثر خصوصیات هسته بتن آسفالتی
- ارزیابی اثر تراکم لایه های خاکریز بر رفتار هسته بتن آسفالتی
- مقایسه مدل رفتاری مورد استفاده در هسته بتن آسفالتی با مدل الاستیک خطی

بر اساس نتایج آنالیز دوبعدی سد ماشکید، پس از مرحله ساخت تغییرمکان افقی حداکثر در هسته 0.6 cm و نشست قائم به $4/5 \text{ cm}$ می رسد در حالیکه پس از آبیگری تغییر مکان افقی به $6/5 \text{ cm}$ رسیده و نشست قائم حداکثر هسته در میانه ارتفاع اتفاق افتاده و برابر 6 cm می باشد.

نتایج بررسی ها نشان می دهد که عملاً رفتار هسته بتن آسفالتی از رفتار پوسته های سد پیروی می کند. لذا درگیری بین مصالح هسته و نواحی انتقالی اطراف آن باید به خوبی برقرار باشد که این کار به جلوگیری از تغییر مکان های نامساوی کمک می کند.

فصل اول: مقدمه و کلیات

- ۱-۱- بیان موضوع و اهمیت مسئله بررسی شده ۱
- ۲-۱- اهداف و روش تحقیق ۳
- ۳-۱- ترتیب فصل ها و موضوعات بررسی شده در هر فصل ۴

فصل دوم: مروری بر طرح، ساخت و تحقیق در مورد سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی

- ۱-۲- مقدمه ۵
- ۲-۲- مروری بر روشهای مختلف ساخت سدهای با هسته آسفالتی ۸
- ۱-۲-۲- روش BMM ۸
- ۲-۲-۲- روش CMC ۸
- ۳-۲-۲- روش CBC ۹
- ۴-۲-۲- روش DBCM ۹
- ۵-۲-۲- روش FACC ۹
- ۶-۲-۲- روش DACC ۱۰
- ۳-۲- ویژگی های هسته بتن آسفالتی ۱۱
- ۴-۲- کارایی اقتصادی بتن آسفالتی ۱۲
- ۵-۲- مقایسه بین سدهای هسته بتن آسفالتی و سدهای هسته رسی ۱۲
- ۶-۲- ویژگی های اکولوژیکی بتن آسفالتی ۱۳
- ۷-۲- ابعاد و موقعیت مناسب هسته و نواحی انتقالی ۱۳
- ۱-۷-۲- هسته بتن آسفالتی ۱۳
- ۲-۷-۲- المان انتقالی بالا دست ۱۵
- ۳-۷-۲- المان انتقالی پایین دست ۱۶
- ۸-۲- مصالح ناحیه انتقالی ۱۶
- ۹-۲- جزئیات هسته بتن آسفالتی ۱۸
- ۱۰-۲- زهکش و فیلترهای پائین دست ۲۱
- ۱۱-۲- پوسته های محافظ ۲۲
- ۱۲-۲- طرح دانه بندی مصالح سنگی هسته بتن آسفالتی ۲۳
- ۱۳-۲- مشخصات مقاومتی مخلوط های بتن آسفالتی جهت کاربرد در سدها ۲۵
- ۱-۱۳-۲- مقاومت برشی بتن آسفالتی ۲۶
- ۱-۱-۱۳-۲- عوامل موثر بر چسبندگی آسفالت ۲۸
- ۲-۱-۱۳-۲- عوامل موثر بر اصطکاک داخلی بتن آسفالتی ۳۰
- ۲-۱۳-۲- معیار مقاومت برشی آسفالت ۳۱
- ۳-۱۳-۲- خواص ارتجاعی و الاستیسیته بتن آسفالتی ۳۳

۳۳	۲-۱۳-۴- اثر کیفیت دانه ها و فیلر.....
۳۶	۲-۱۳-۵- اثر مقدار قیر و لزجت آن بر مقاومت آسفالت.....
۴۱	۲-۱۳-۶- مقاومت در برابر ترک خوردگی ناشی از خمش.....
۴۳	۲-۱۳-۷- اثر حداکثر بعد دانه ها.....
۴۴	۲-۱۳-۸- مقاومت کششی بتن آسفالتی.....
۴۵	۲-۱۴- آب بند بودن بتن آسفالتی.....
۴۸	۲-۱۵- وضعیت تنش سه بعدی در هسته بتن آسفالتی.....
۵۲	۲-۱۶- مقایسه رفتار هسته های خاکی و بتن آسفالتی در برابر شکست هیدرولیکی.....
۵۴	۲-۱۷- تحلیل های لازم برای طرح هسته های بتن آسفالتی.....
۵۵	۲-۱۸- سابقه آنالیز سدهای خاکی با هسته آسفالتی.....
۵۵	۲-۱۸-۱- سد Finstertal.....
۵۷	۲-۱۸-۲- سدهای Grosse Dhunn.....
۵۹	۲-۱۸-۳- سد Storvatn.....
۶۱	۲-۱۸-۴- نتایج یک مطالعه موردی.....

فصل سوم: معرفی مطالعه موردی

۶۳	۳-۱- مقدمه.....
۶۳	۳-۲- موقعیت سد مورد مطالعه.....
۶۴	۳-۳- اهداف طرح.....
۶۵	۳-۴- مشخصات طرح.....
۶۵	۳-۵- هندسه سد.....
۶۷	۳-۶- مشخصات زمین شناسی و ژئوتکنیکی ساختگاه سد.....
۷۱	۳-۶-۱- شاخص کیفیت سنگ (RQD).....
۷۲	۳-۶-۲- پارامترهای فیزیکی سنگ.....
۷۴	۳-۶-۳- مقاومت تک محوری.....

فصل چهارم: فرضیات و مدلسازی آن

۷۵	۴-۱- مقدمه.....
۷۶	۴-۲- آنالیز دو بعدی یا سه بعدی.....
۷۸	۴-۳- انتخاب نرم افزار جهت انجام تحلیل ها.....
۷۸	۴-۴- مفاهیم و تئوریهای موجود در نرم افزار FLAC.....
۷۹	۴-۴-۱- تفاضل محدود.....
۸۰	۴-۴-۲- روش صریح.....
۸۳	۴-۴-۳- آنالیز لاگرانژی.....

۸۳	۴-۴-۴- آنالیز پلاستیک
۸۳	۴-۵- روابط آنالیز عددی
۸۳	۴-۵-۱- المان بندی
۸۵	۴-۵-۲- محاسبه نرخ کرنش
۸۵	۴-۵-۳- محاسبه تنش
۸۵	۴-۵-۴- محاسبه نیرو، سرعت و جابجایی گره ای
۸۶	۴-۵-۵- محاسبه نیروی نامتعادل گره ای:
۸۶	۴-۵-۶- محاسبه هندسه اصلاح شده
۸۷	۴-۵-۷- در نظر گرفتن اثر متقابل آب و فاز جامد (آنالیز تراوش)
۸۸	۴-۵-۸- انواع شرایط مرزی در حالت آنالیز جریان تراوشی
۸۹	۴-۶- مراحل مدل سازی و نحوه کار با نرم افزار FLAC
۹۱	۴-۷- تحلیل لایه ای سد
۹۲	۴-۸- فرآیند مدل سازی سد ماشکید
۹۳	۴-۸-۱- تعیین هندسه مسئله، مش بندی و اختصاص مصالح به بخش های مختلف مدل
۹۸	۴-۸-۲- شرایط مرزی و اولیه استاتیکی
۹۸	۴-۸-۳- ایجاد تنش های اولیه
۹۹	۴-۸-۴- انجام آنالیز مکانیکی اولیه
۹۹	۴-۸-۵- اختصاص خصوصیات تراوشی مسئله به بخشهای مدل
۱۰۰	۴-۸-۶- اعمال شرایط مرزی تراوش
۱۰۰	۴-۸-۷- انجام آنالیز تراوش
۱۰۰	۴-۸-۸- انجام آنالیز مکانیکی ثانویه
۱۰۱	۴-۹- آبرگیری مخزن
۱۰۲	۴-۱۰- تراوش پایدار

فصل پنجم: نتایج تحلیل های انجام پذیرفته

۱۰۴	۵-۱- بررسی های انجام پذیرفته
۱۰۴	۵-۲- بررسی اثر تحلیل لایه ای سد بر نتایج آنالیزها
۱۰۶	۵-۲-۱- مقایسه نتایج با نتایج دیگر پژوهش ها
۱۰۸	۵-۳- بررسی تغییرات تنش و جابجایی ایجاد شده در پایان مرحله ساخت سد
۱۱۴	۵-۳-۱- مقایسه نتایج حالت پایان ساخت با نتایج دیگر پژوهش ها
۱۱۵	۵-۴- بررسی تغییرات تنش و جابجایی ایجاد شده پس از اولین آبرگیری
۱۲۱	۵-۵- ارزیابی اثر نواحی انتقالی در اطراف هسته سد
۱۲۳	۵-۶- ارزیابی اثر وجود آبرفت در زیر بدنه سد
۱۲۶	۵-۷- ارزیابی اثر خصوصیات هسته بتن آسفالتی

۵-۸- ارزیابی اثر تراکم لایه های خاکریز بر رفتار هسته بتن آسفالتی..... ۱۲۸

۵-۹- مقایسه مدل رفتاری مورد استفاده در هسته آسفالتی با مدل الاستیک خطی..... ۱۳۰

فصل ششم: جمع بندی و نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۶-۱- جمع بندی و نتیجه گیری..... ۱۳۳

۶-۲- ارائه پیشنهادات..... ۱۳۴

مراجع..... ۱۳۵

فصل دوم: مروری بر طرح، ساخت و تحقیق در مورد سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی

- شکل (۱-۲) روش Strabag در ریختن مصالح هسته..... ۱۱
- شکل (۲-۲) رابطه ضخامت المان هسته بتن آسفالتی با ارتفاع سد..... ۱۴
- شکل (۳-۲) ابعاد توصیه شده برای سه قسمت هسته بتن آسفالتی..... ۱۹
- شکل (۴-۲) نمای شماتیک اتصال آب بند هسته بتن آسفالتی با پی سد..... ۲۰
- شکل (۵-۲) نحوه آماده سازی لایه زیرین هسته و ریختن ماستیک..... ۲۰
- شکل (۶-۲) نمای شماتیک اتصال آب بند پی و پایه بتنی..... ۲۱
- شکل (۷-۲) منحنی دانه بندی فولر برای دانه های بتن آسفالتی..... ۲۵
- شکل (۸-۲) منحنی دانه بندی مصالح سنگی بکار رفته در ساخت هسته آسفالتی سد Storvatn..... ۲۵
- شکل (۹-۲) اثر زبری سطح دانه های مصالح سنگی در استحکام آسفالت..... ۲۸
- شکل (۱۰-۲) اثر درجه نفوذ قیر در استحکام آسفالت..... ۲۹
- شکل (۱۱-۲) آزمایش کیفیت دانه ها، که در آن KL.1 شامل مصالح با بالاترین کیفیت است..... ۳۴
- شکل (۱۲-۲) درجه اتساع بر حسب مقدار قیر [7]..... ۳۷
- شکل (۱۳-۲) مقاومت مخلوطهای بتن آسفالتی مختلف تحت آزمایش سه محوری [14]..... ۳۸
- شکل (۱۴-۲) اثر درصد قیر بر رفتار تنش- کرنش در آزمایش سه محوری با فشار همه جانبه 6 Kg/cm^2 ۳۹
- شکل (۱۵-۲) اثر درصد قیر بر مدول الاستیسیته بتن آسفالتی..... ۴۰
- شکل (۱۶-۲) اثر درصد قیر بر مقاومت بتن آسفالتی..... ۴۰
- شکل (۱۷-۲) دستگاه خمش صفحه NGI..... ۴۲
- شکل (۱۸-۲) رفتار مخلوطهای مختلف تحت زمان..... ۴۳
- شکل (۱۹-۲) آزمایش نفوذپذیری..... ۴۶
- شکل (۲۰-۲) رابطه میزان حفرات هوا با نفوذپذیری..... ۴۷
- شکل (۲۱-۲) نفوذپذیری بتن آسفالتی در برابر آب بر حسب زمانی که نمونه تحت آزمایش است [19]..... ۴۸
- شکل (۲۲-۲) تنش های افقی با فرض $\sigma_1 = 1.5 \text{ MPa}$ ۵۰
- شکل (۲۳-۲) تغییرات حجم در آزمایشهای سه محوری با $\sigma_1 = 1.5 \text{ MPa}$ ۵۰
- شکل (۲۴-۲) منحنی های تنش و کرنش حاصل از آزمایش های فشاری (بر اساس جدول ۷-۲)..... ۵۲
- شکل (۲۵-۲) اندازه گیری فشار استاتیکی در مخلوط های بتن آسفالتی..... ۵۳
- شکل (۲۶-۲) مقطع سد Finstertal در استرالیا..... ۵۶
- شکل (۲۷-۲) تغییر مکانهای قائم و افقی سد Finstertal پس از آگیری..... ۵۷
- شکل (۲۸-۲) تغییر مکان هسته و ستون عمودی در حین آگیری و بهره برداری در سد بالادست..... ۵۸
- شکل (۲۹-۲) تغییر مکان هسته و ستون عمودی در حین آگیری در سد اصلی..... ۵۹
- شکل (۳۰-۲) مقطع و نمایی از سد Storvatn..... ۶۰
- شکل (۳۱-۲) تغییر مکانهای قائم و افقی محاسبه شده در حالت مخزن پر (بر حسب mm)..... ۶۱
- شکل (۳۲-۲) تغییر مکانهای ثبت شده در اکتبر ۱۹۸۶..... ۶۱

شکل (۲-۳۳) مطالعه موردی بر روی یک سد با ارتفاع ۱۵۰ متری..... ۶۲

فصل سوم: معرفی مطالعه موردی

شکل (۳-۱) موقعیت سد مخزنی ماشکید سفلی..... ۶۴

شکل (۳-۲) پلان جانمایی سد مخزنی ماشکید سفلی..... ۶۴

شکل (۳-۳) مقطع حد اکثر سد مخزنی ماشکید سفلی..... ۶۶

شکل (۳-۴) پروفیل طولی و زمین شناسی محور سد..... ۷۰

فصل چهارم: فرضیات و مدل سازی آن

شکل (۴-۱) مراحل انجام محاسبات در FLAC..... ۸۱

شکل (۴-۲) تقسیم بندی یک المان چهار ضلعی..... ۸۴

شکل (۴-۳) فلوچارت پیشنهادی برای حل مسائل ژئوتکنیکی با FLAC و یا نرم افزارهای دیگر..... ۹۰

شکل (۴-۴) مدل تفاضل محدود سد مخزنی ماشکید سفلی..... ۹۶

شکل (۴-۵) ناحیه بندی قسمت های مختلف بدنه سد در نرم افزار FLAC..... ۹۷

شکل (۴-۶) تاثیر آبگیری مخزن بر یک سد..... ۱۰۲

فصل پنجم: نتایج تحلیل های انجام پذیرفته

شکل (۵-۱) نشست های ایجاد شده در بدنه سد بر اساس تحلیل های تک لایه ای تا ۱۵ لایه ای..... ۱۰۵

شکل (۵-۲) تنش های قائم ایجاد شده در بدنه سد بر اساس تحلیل های تک لایه ای تا ۱۵ لایه ای..... ۱۰۶

شکل (۵-۳) پروفیل های نشست در ضمن ساخت چند سد خاکی..... ۱۰۷

شکل (۵-۴) توزیع تنش های قائم در پایان مرحله ساخت..... ۱۰۹

شکل (۵-۵) تمرکز تنش های قائم در هسته بتن آسفالتی در پایان مرحله ساخت..... ۱۰۹

شکل (۵-۶) توزیع تغییر مکان های قائم در پایان مرحله ساخت..... ۱۱۰

شکل (۵-۷) توزیع تغییر مکان های افقی در پایان مرحله ساخت..... ۱۱۰

شکل (۵-۸) توزیع تنش های برشی در پایان مرحله ساخت..... ۱۱۱

شکل (۵-۹) توزیع تنش های افقی در پایان مرحله ساخت..... ۱۱۲

شکل (۵-۱۰) جابجایی افقی و قائم ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی در پایان مرحله ساخت..... ۱۱۳

شکل (۵-۱۱) تنش برشی و کرنش حجمی ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی در پایان مرحله ساخت..... ۱۱۳

شکل (۵-۱۲) تغییر مکان نسبی بین هسته آسفالتی و شافت اصلی (سد اصلی Grosse Dhunn)..... ۱۱۴

شکل (۵-۱۳) توزیع تنش، تغییر مکان قائم و افقی در حالت پایان ساخت سد با ارتفاع ۱۰۵ متری..... ۱۱۵

شکل (۵-۱۴) توزیع فشار آب حفره ای در مرحله آبگیری..... ۱۱۷

شکل (۵-۱۵) توزیع تغییر مکان های افقی در مرحله آبگیری..... ۱۱۷

شکل (۵-۱۶) توزیع تغییر مکان های قائم در مرحله آبگیری..... ۱۱۸

شکل (۵-۱۷) توزیع تنش های موثر افقی در مرحله آبگیری..... ۱۱۸

- شکل (۵-۱۸) توزیع تنش های موثر قائم در مرحله آبیگری ۱۱۹
- شکل (۵-۱۹) توزیع تنش های موثر برشی در مرحله آبیگری ۱۱۹
- شکل (۵-۲۰) جابجایی افقی و قائم ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی در مرحله آبیگری ۱۲۰
- شکل (۵-۲۱) تنش برشی و کرنش حجمی ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی در مرحله آبیگری ۱۲۱
- شکل (۵-۲۲) اثر نواحی انتقالی بر جابجایی افقی و قائم ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی ۱۲۲
- شکل (۵-۲۳) اثر نواحی انتقالی بر تنش برشی و کرنش حجمی ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی ۱۲۳
- شکل (۵-۲۴) اثر برداشت آبرفت بر جابجایی افقی و قائم ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی ۱۲۵
- شکل (۵-۲۵) اثر برداشت آبرفت بر تنش برشی و کرنش حجمی ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی ۱۲۵
- شکل (۵-۲۶) اثر خصوصیات هسته بتن آسفالتی بر جابجایی افقی و قائم ایجاد شده ۱۲۷
- شکل (۵-۲۷) اثر خصوصیات هسته بتن آسفالتی بر تنش برشی و کرنش حجمی ایجاد شده ۱۲۸
- شکل (۵-۲۸) اثر تراکم لایه های خاکریز بر جابجایی افقی و قائم ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی ۱۲۹
- شکل (۵-۲۹) اثر تراکم لایه های خاکریز بر تنش برشی و کرنش حجمی ایجاد شده در هسته بتن آسفالتی ۱۳۰
- شکل (۵-۳۰) جابجایی افقی و قائم ایجاد شده با استفاده از مدل رفتاری الاستیک و موهر-کولمب ۱۳۱
- شکل (۵-۳۱) تنش برشی و کرنش حجمی ایجاد شده با استفاده از مدل رفتاری الاستیک و موهر-کولمب ۱۳۱
- شکل (۵-۳۲) پوش گسیختگی موهر-کولمب برای مصالح هسته بتن آسفالتی سد (پاسکال) ۱۳۲

فصل دوم: مروری بر طرح، ساخت و تحقیق در مورد سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی

- جدول (۱-۲) مشخصات تعدادی از سدهای خاکی و سنگریزه ای با هسته بتن آسفالتی..... ۶
- جدول (۲-۲) مقایسه بین هسته بین آسفالتی و هسته رسی..... ۱۲
- جدول (۳-۲) حداکثر اندازه دانه ها در نواحی انتقالی به تناسب ارتفاع سد..... ۱۷
- جدول (۴-۲) اثر کیفیت دانه ها و درصد قیر بر مقاومت فشاری سه محوری..... ۳۵
- جدول (۵-۲) ویژگی های فیزیکی نمونه های بتن آسفالتی..... ۳۹
- جدول (۶-۲) نتایج آزمایش کشش غیر مستقیم..... ۴۵
- جدول (۷-۲) اطلاعات آزمایشهای فشاری انجام شده توسط Kjarnsli بر روی نمونه های بتن آسفالتی..... ۵۱

فصل سوم: معرفی مطالعه موردی

- جدول (۱-۳): حجم عملیات ژئوتکنیک در ساختگاه سد ماشکید..... ۶۹
- جدول (۲-۳): نتایج آزمایشهای تعیین ویژگیهای سنگهای پی ساختگاه سد ماشکید سفلی..... ۷۲
- جدول (۳-۳): نتایج آنالیز تخلخل سنگهای ساختگاه سد ماشکید..... ۷۳
- جدول (۴-۳): نتایج آنالیز دانسیته طبیعی سنگهای ساختگاه سد ماشکید (g/cm^3)..... ۷۳
- جدول (۵-۳): نتایج آنالیز آزمایش مقاومت تراکمی تک محوری سنگهای ساختگاه سد (g/cm^2)..... ۷۴
- جدول (۶-۳): نتایج آنالیز مدول تغییر شکل سنگهای ساختگاه سد (g/cm^2)..... ۷۴

فصل چهارم: فرضیات و مدلسازی آن

- جدول (۱-۴) مشخصات هندسی چهار سد..... ۷۷
- جدول (۲-۴) مقایسه روش مشتق ضمنی و مشتق صریح..... ۸۲
- جدول (۳-۴) پارامترهای مکانیکی مصالح بدنه سد..... ۹۵
- جدول (۴-۴) پارامترهای مکانیکی مورد استفاده برای پی سد..... ۹۵

فصل پنجم: نتایج تحلیل های انجام پذیرفته

- جدول (۱-۵) خصوصیات مصالح هسته بتن آسفالتی مورد استفاده در تحلیل..... ۱۲۶

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- بیان موضوع و اهمیت مسئله بررسی شده

از نظر قدمت تاریخی، سدهای خاکی به منظور ذخیره آب برای آبیاری ساخته می شد. امروزه سدهای خاکی یکی از معمول ترین سدها هستند، زیرا مصالحی که در ساخت آنها بکار می رود از طبیعت استخراج شده و به راحتی اجرا می شوند. نگرش نوین به طرح مناسب این گونه سدها، از حدود ۱۹۳۰ میلادی آغاز شد. پیشرفت سریع علم مکانیک خاک، از آن زمان به بعد، باعث توسعه قابل توجه طرح و اجرای سدهای خاکی شد. در نتیجه، امروزه سدهای خاکی با ارتفاع بیش از ۳۰۰ متر نیز ساخته می شوند.

برای انباشتن آب پشت سد، لازم است تا یک عنصر نفوذ ناپذیر در بدنه سد تعبیه گردد. این عنصر نفوذ ناپذیر می تواند به عنوان یک پرده داخلی (هسته) یا یک پوشش خارجی تعبیه شود. هر کدام از این دو حالت، مزایا و معایب خود را دارند. تا قبل از سال ۱۹۳۰ میلادی استفاده از بتن در هسته و در چند مورد، استفاده از ورق های فولادی به عنوان پرده آب بند به جای هسته، رواج داشت. پس از این تاریخ، با تجربیاتی که در استفاده از هسته رسی بدست آمد، استفاده از آنها کنار گذاشته شد. به علت نفوذ ناپذیری رس و فراوانی آن در طبیعت، در اغلب موارد هسته سد از جنس رس ساخته می شود ولی در مواردی، مشکلات احداث سد با هسته رسی از جمله تامین رس با کیفیت مناسب، فواصل زیاد منابع قرضه تامین رس، حجم زیاد مصالح مورد نیاز، رطوبت، حساسیت مصالح رسی به تغییرات آب و هوا، پدیده کمائی شدن^۱ و رگاب^۲، محدودیت اختلاف تراز خاکریزی هسته با مناطق همجوار، نیاز به طرح و اجرای دقیق فیلتر و مسائلی از این دست که موجب کندی روند اجرای اینگونه سدها می گردند. متخصصان را به جایگزینی مصالح مناسب دیگر وا داشته است.

یکی از مصالح ساخت دست بشر که در مهندسی راه و ساختمان کاربرد دارد، قیر است. نفوذ ناپذیری در برابر رطوبت و آب بند بودن قیر، همواره در بسیاری از کارها چاره ساز بوده است. مخلوط مصالح سنگی و قیر که بتن آسفالتی نامیده می شود، می تواند علاوه بر داشتن مقاومت خوب، لایه مناسبی جهت جلوگیری از نفوذ آب و رطوبت باشد. این موضوع باعث شد تا کاربرد این ماده برای آب بندی سدهای خاکی مطرح شود.

^۱ - Arching

^۲ - Piping

مزایای کاربرد بتن آسفالتی در سدهای خاکی و سنگریزه ای آنرا در بسیاری موارد جایگزین مناسبی برای هسته رسی می سازد.

موضوع سد با هسته غیر رسی یکی از مباحث اصلی شانزدهمین کنفرانس کمیته بین المللی سدهای بزرگ (سانفرانسیسکو، ژانویه ۱۹۸۸) بود. در این کنفرانس پس از بررسی بیش از ۵۰ مقاله در این مورد، چنین اعلام شد: ((سدهای خاکی با پوشش آسفالتی یا بتنی یا با هسته بتن آسفالتی برای سدهای بلند بسیار مناسب می باشند.))

با مطالعه سازه های آبی ساخته شده در چندین دهه اخیر می توان دریافت که استفاده از مخلوط های آسفالتی در احداث چنین سازه هایی توسعه چشمگیری داشته است. ریشه این توسعه را می توان در خصوصیات مناسب مخلوطهای آسفالتی از قبیل انعطاف پذیری، تغییرات حجمی جزئی در اثر تغییر دمای هوا و آب، سهولت اجرا و تعمیر آنها در مقایسه با بتن سیمان پرتلند جستجو کرد. در ایران نیز با توجه به دسترسی آسان به مصالح مورد نیاز تهیه مخلوطهای آسفالتی، استفاده از این مخلوط ها بعنوان هسته، در صورت عملکرد مناسب، می تواند گزینه ایی مناسب جهت احداث سازه های آبی از نوع خاکریز باشد. با گذشت زمان و تجربیات بدست آمده از ساخت سدهای خاکی و سنگریزه با هسته بتن آسفالتی، قابلیت و توانایی این نوع سدها بیش از پیش مشخص شده است ولی با این حال هنوز نکات ناشناخته زیادی از رفتار این سدها وجود دارد که لزوم انجام تحقیقات در این زمینه را مطرح می سازد.

از آنجا که کشور ما در کمربند خشک جغرافیایی و نوار بیابانی واقع شده است به منظور تامین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی، کنترل و بهره برداری بهینه و استفاده از پتانسیل برق آبی رودخانه ها، در دو دهه اخیر صنعت سد سازی در کشور رشد روز افزونی داشته است. تا کنون در کشور ما اکثر ساختگاه های مناسب برای سدها از لحاظ دسترسی به منابع قرضه ریزدانه برای هسته سد شناخته شده است و مراحل مطالعات و طراحی بر روی این سدها انجام شده است. ولیکن در مورد ساختگاه های با مشکلات تامین رس، هزینه های اضافی تحمیلی بر پروژه مانع از بررسی بیشتر و مطالعه بر روی این ساختگاه ها گردیده است. بدین لحاظ معرفی و بررسی بیشتر رفتار گزینه های جدید سد سازی همچون سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

از آنجا که نیروهای وارد شده در مراحل ساخت و آبگیری این سدها از جمله بیشترین و فراوان ترین عوامل تاثیر گذار بر آنها می باشند لذا بررسی رفتار آنها پیش از احداث امری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد. از طرف دیگر به علت توسعه روز افزون روش های آنالیز عددی و افزایش سرعت و کاهش قیمت کامپیوترها امکان حل معادلات حاکم بر رفتار سازه ها را به طور وسیعی گسترش یافته است. تعدادی از دانشگاه ها و مؤسسات تحقیقاتی در کشورهای پیشرفته، اقدام به تهیه برنامه های کامپیوتری نموده اند که امکان تحلیل های پیچیده را در اختیار استفاده کننده قرار می دهند. لیکن تنها دسترسی به این برنامه ها برای انجام تحلیل کافی نبوده و لازم است که مبانی محاسباتی آنها به خوبی شناخته شده باشد تا بتوان نتایج بدست آمده را ارزیابی کرد.

۱-۲- اهداف و روش تحقیق

هدف از این تحقیق بررسی نشست های نامتقارن و جابجایی های افقی و قائم در پی و بدنه سدهای هسته بتن آسفالتی در زمان ساخت و بهره برداری می باشد. این جابجایی ها باعث بروز تنشهای برشی در پوسته و هسته مرکزی آنها خواهد شد که احتمال آسیب دیدن سد و حتی تخریب آن را افزایش می دهد. با بررسی این تنش ها و کرنش ها، خطرات ناپایداری و ایجاد ترک در هسته مرکزی این سدها که باعث نشست بیش از حد آب از بدنه سد می شود مورد بحث قرار می گیرد. در این پایان نامه پس از معرفی و ارائه خصوصیات فنی طراحی و ساخت سدهای خاکی با هسته آسفالتی سعی می شود که با استفاده از روش عددی تفاضل محدود و انتخاب مدل رفتاری مناسب برای مصالح، تغییرات تنش و کرنش استاتیکی با توجه به خصوصیات مصالح مصرفی در بدنه، هسته و پی این سدها مورد بحث و بررسی قرار گیرد. و در نهایت اثرات مختلف بر روی جابجایی ها و تغییرات تنش و کرنش سد در زمان ساخت و آبگیری مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در این پروژه به عنوان مطالعه موردی به بررسی رفتار سد خاکی با هسته بتن آسفالتی ماشکید در استان سیستان و بلوچستان (در دست مطالعه) در حالت های زیر پرداخته می شود.

- (۱) بررسی اثر تحلیل لایه ای سد بر نتایج آنالیزها
- (۲) بررسی تغییرات تنش و جابجایی ایجاد شده در پایان مرحله ساخت سد
- (۳) بررسی تغییرات تنش و جابجایی ایجاد شده پس از آبگیری سد
- (۴) ارزیابی اثر نواحی انتقالی در اطراف هسته سد
- (۵) ارزیابی اثر وجود آبرفت در زیر بدنه سد
- (۶) ارزیابی اثر خصوصیات هسته بتن آسفالتی
- (۷) ارزیابی اثر تراکم لایه های خاکریز بر رفتار هسته بتن آسفالتی
- (۸) مقایسه مدل رفتاری مورد استفاده در هسته بتن آسفالتی با مدل الاستیک خطی

۱-۳- ترتیب فصل ها و موضوعات بررسی شده در هر فصل

- فصل اول: مقدمه و کلیات
- فصل دوم: مروری بر طرح و ساخت و تحقیق در مورد سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی
- فصل سوم: معرفی مطالعه موردی
- فصل چهارم: فرضیات و مدلسازی
- فصل پنجم: نتایج تحلیل های انجام پذیرفته
- فصل ششم: جمع بندی و نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

فصل دوم

مروری بر طرح، ساخت و تحقیق

در مورد سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی

۲-۱- مقدمه

تکنولوژی ساخت سد، چه در قسمت تجهیزات و ماشین آلات مخصوص سد سازی و چه در زمینه مصالح مورد نیاز برای ساخت سد، در حال متحول شدن و گذر از یک روش سنتی به روش تکنیکی تر می باشد. سدهای خاکریز^۱ و سدهای سنگریز^۲ و به طور کلی سدهای خاکی^۳ ساخته شده با هسته مرکزی، فراگیرترین نوع سدها می باشند. امروزه ساخت سدهای خاکی و سنگریزه توسط هسته بتن آسفالتی اهمیت زیادی را در دنیا کسب نموده است.

از نظر تاریخی اولین سد با هسته متراکم قیری، در سال ۱۹۴۸ میلادی در کشور پرتغال، با نام "Vale do Gaio" ساخته شد اما این نوع هسته متراکم قیری، توسعه بیشتری نیافت [6]. در سال ۱۹۶۲ نوعی هسته متراکم بتن قیری تهیه شد که به وسیله ماشین آلات مکانیکی، قابل ریختن بود. از آن سال تا کنون بیش از ۸۰ سد از این نوع در جهان ساخته شده است که همگی در وضعیت مناسبی قرار داشته و گزارشی از نشستهای غیرعادی در آنها ارائه نشده است. از این روش تاکنون به مقیاس وسیع استفاده شده است.

مطابق آمار موجود تا سال ۲۰۰۵ میلادی کشورهای زیر، در ساخت سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی پیشتاز بوده اند. آلمان ۲۷ سد چین ۲۳ سد، نروژ ۱۰ سد، فرانسه ۶ سد، اتریش ۶ سد. تحقیقات به عمل آمده در مورد ساخت سدهای خاکی با هسته بتن آسفالتی منجر به ساخت سد Storglomvatn در نروژ با ارتفاع ۱۲۸ متر در سال ۱۹۹۷ شده است.

در جدول شماره (۱-۲) مشخصات تعدادی از سدهای خاکی و سنگریز که با هسته بتن آسفالتی تا سال ۲۰۰۵ ساخته شده اند ارائه شده است [32]. باید دانست که در سدهای هسته آسفالتی احداث شده، بزرگترین طول تاج مربوط به سد Mao Ping Xi (با طول تاج ۱۸۴۰ متر) در کشور چین، بلندترین ارتفاع متعلق به سد Storglomvatn (با ارتفاع ۱۲۸ متر) در کشور نروژ و بیشترین حجم آسفالت مصرف شده مربوط به سد High Island West (با حجم ۶۳۳۵۰ متر مکعب) در کشور هنگ کنگ است.

¹ - Earth Fill

² - Rock Fill

³ - Embankment Dam

Asphaltic Concrete Core Dams, 2005

Asphaltic concrete is being used increasingly for the impermeable elements in both new dams and those undergoing refurbishment. For the first time this year, we are pleased to include two Tables, listing dams with asphaltic concrete cores, and those with asphaltic linings. We gratefully acknowledge the support of Strabag of Austria/Germany and Waldo Bertschinger of Switzerland in updating these Tables.

Name	Country	Height (m)	Crest (m)	Year completed	Average slope		Dam volume (10 ⁶ m ³)	Asphalt volume (m ³)	Asphalt core thickness (m)
					Upstream	Downstream			
Henne	Germany	58	376	1954/55	1:1.25/1:2.07	1:1.65/1:2	1300	4500	1
Wahnach	Germany	13		1957			30		0.6-1
Kleine Dhünn	Germany	35	265	1962	1:1.7/1:2.25	1:1.65/1.75	350	1050	0.7/0.6/0.5
Brenge	Germany	20	125	1962	1:2.0	1:2.0	50	8750	0.6
Biege	Germany	52		1963	1:1.75	1:1.16/1:1.7/1:2	1900	3100	1
Eichhagen	Germany	21		1964	1:2	1:2	120	8750	0.7-0.9
Eberlase	Austria	28	475	1968	1:1.75/1:2.5	1:2.0	850	850	0.6/0.4
Koedel	Germany	17	90	1969	1:1.75	1:1.75	60	850	0.4
Pörsch Honda	Ecuador	28	330	1969/71			950	2120	0.6
Legendati	Ethiopia	26	35	1969	1:1.4	1:2.0	900	550	0.6
Wühl	Germany	53	360	1971	1:1.6	1:1.6/1:2.2	90	6250	0.6/0.6/0.4
Meiswinkel	Germany	22	190	1971	1:2.0	1:2.0	80	1420	0.5/0.4
Finkenrath	Germany	14	190	1972	1:2.0	1:2.0	110	710	0.4
Wühl, Main Outer Dam	Germany	18	255	1972	1:2.0	1:2.0	135	1800	0.5/0.4
Bahle	China	25	250	1973	1:1.5	1:1.5	135	540	0.15
Danghe (1)	China	58	230	1974	1:3	1:2.5	1450	11010	1.5-0.5
Eicherscheid	Germany	28	150	1975	1:1.75/1:2.0	1:4.0/1:2.0	150	1850	0.6/0.4
Julkeng	China	44	175	1975	1:2.5	1:2.5/1:3.5	110	1450	0.4
Guotazi	China	21	290	1977	1:1.2	1:1.2	145	1200	0.5-0.3
High Island West	Hong Kong	95	720	1977	1:1.7	1:1.7	290	1370	0.3
Los Cristales	Chile	31	190/140	1977	1:2	1:2	6120	63350	1.2/0.8
Verviers St	Belgium	6	180	1977	1:1.5	1:1.2	100	3500	0.6
Dachang	China	22	420	1978	1:1.2	1:1.2	78	460	0.3
High Island East	Hong Kong	105		1978	1:1.7	1:1.7	3440	34200	1.2/0.8
Anrft	Germany	18	370	1978	1:1.75	1:1.5	320	2000	0.5
Bretlenbach	Germany	13	170	1978	1:3.0	1:2.5	60	3200	0.6
Kamigazawa	Japan	14	173	1978	1:2.8	1:2.8	80	1150	0.6
Burt	Japan	16	173	1979	1:1.5	1:1.3	4400	1000	0.6
Finsteral	Austria	100	652	1980	1:1.4	1:1.3	25000		0.7/0.6/0.5
Yangjiatai	China	15	135	1980	1:1.4	1:1.4	33	340	0.3
Megyet	Scotland, UK	56	568	1980	1:1.5	1:1.5/1:2.1	2100	13350	0.7/0.6
Grosse Dhünn	Germany	63	400	1980	1:1.75	1:1.75	1400	8350	0.6
Vestredal	Norway	32	500	1980	1:1.5	1:1.5	360	3250	0.5
P. de Souleem	Norway	67		1980	1:1.85	1:1.3/1:1.6	180	850	0.6
Karlavan	Norway	35	265	1980	1:1.5	1:1.5	300	1800	0.5
Langavain	Norway	26	290	1981	1:1.5	1:1.5	300	2000	0.5
Erdouwan	China	30	320	1981	1:1.5	1:1.5	300	1500	0.2
Kunbing	China	23	153	1981	1:1.5	1:1.4	67	390	0.2
Dhünn, Outer Dam	Germany	12	115	1981	1:3	1:2	200	600	0.5
Sulby	Isle of Man, UK	36	143	1982	1:1.75	1:1.75	800	2700	0.75
Kleine Kinzig	Germany	70	345	1982	1:1.7/1:1.6	1:1.8/1:2.0	1400	10000	0.7/0.5
Billiche (Left Dam)	China	49	288	1983	1:3.5	1:2.75	1560	7730	0.8-0.5
Billiche (Right Dam)	China	33	113	1983	1:2	1:1.75	410	2050	0.5-0.4

ادامه جدول شماره (۲-۱) مشخصات تعدادی از سدهای خاکی و سنگریزه ای با هسته بتن آسفالتی

Name	Country	Height (m)	Crest (m)	Year completed	Average slope		Dam volume (10 ⁶ m ³)	Asphalt volume (m ³)	Asphalt core thickness (m)
					Upstream	Downstream			
Feldbach	Germany	14	110	1984	1:2	1:3.0	74	450	0.4
Wiebach	Germany	12	98	1985			126	200	0.5
Shichigashiko	Japan	37	300	1985	1:2.6	1:1.5	450	4900	0.5
Doerpe	Germany	16	118	1986	1:2.0	1:3.0	222	710	0.6
Lenneper Bach	Germany	11	93	1986			132	350	0.5
Wupper	Germany	40	280	1986	1:2.0	1:1.75	500	6200	0.6
Rikallvann	Norway	45	600	1986	1:1.5	1:1.45	1100	8000	0.5
Sorvann	Norway	100	1472	1987	1:1.5	1:1.45	9500	49000	0.5
Berdalsvann	Norway	65	465	1988	1:1.5	1:1.45	1000	6800	0.5
Borovitz	Bulgaria	76	218	1988	1:2.2	1:1.9	1000	7660	0.8-0.7
Retlach	Germany	38	190	1989	1:1.75	1:2.0	250	2500	0.6
Syggvann	Norway	52	880	1990	1:1.5	1:1.5	1600	15275	0.5
Feistritzbach	Austria	88	380	1990	1:1.5	1:1.4	320	3750	0.70/0.6/0.5
Hintermahr	Austria	40	270	1990	1:1.17	1:1.14	250	2100	0.6
Queens Valley	Jersey, UK	29	170	1991	1:2	1:2	1400	13350	0.8
Schmalwasser	Germany	76	325	1992	1:1.65	1:1.55	1400	7600	0.6
Muscat	Oman	26	110	1993	1:2.0	1:1.5	100	800	0.4
Daughe(2)	China	74	304	1994	1:2.5	1:2	360	2140	0.5
Urat	China	40	151	1997	1:1.5	1:1.5	140	1500	0.5
Storglomvann	Norway	128	830	1997	1:1.5	1:1.45	5200	22500	0.95-0.5
Holmvann	Norway	60	396	1997	1:1.5	1:1.50	1200	7000	0.5
Hatta	Dubai, U.A.E.	45	422	1998	1:2.0	1:1.64/1:1.8	1000	7600	0.6
Greater Ceres	South Africa	60	280	1998	1:1.55	1:1.50	5500	4500	0.5
Algar	Spain	30	485	1999	1:2.0	1:2.0	203	2300	0.5
Goldsthal Outer Dam	Germany	26	142	1999	1:2.0	1:3.5	200	1150	0.4
Dongtang	China	48	142	2000	1:2.5	1:2	514	4430	0.5
Kanercji	China	51	319	2000	1:2.5	1:2	1650	6360	0.6-0.4
Tuo Li	China	38	264	2001	1:2.5-1:3	1:2-1:2.5	700	4500	0.5
Majiagou	China	26	160	2003	1:1-1:1.3	1:1.75	1900	10400	0.4
Jiayinlala	China	37	407	2003	1:2.5	1:2.5	12130	48500	1.0-0.5
Yang	China	104	1840	2003	1:2.5	1:2.25	389	4000	1.2-0.6
Mao Ping Xi	U.A.E.	37	228	2003	1:2	1:1.8	50	1000	0.6
Hatta (main dam)	U.A.E.	12.5	208	2003	1:2	1:1.8	160	1600	0.6
Hatta (saddle dam)	U.A.E.	34	215	2003	1:1.5	1:1.5	6600	38700	0.5
Mora de Rubielos	Spain	125	411	2000	1:2	1:1.85	525	3350	1.2-0.6
Yele	China	48	225	2003	1:1.8	1:1.8	320	2270	0.6-0.5
Plovdivzi	Bulgaria	43	205	2003	1:1.65	1:1.8	385	6000	0.6-0.4
Neikovtzi	Bulgaria	52	186	2003	1:1.75	1:1.6	7200	36500	1.0
Meyeran	Iran	40	1829	2003	1:2.25-1:2.5	1:2-1:2.25	4919	22000	0.7-0.6
Ni'erji	China	78	406	2003	1:2.6-1:2.8	1:2.3-1:2.5	1390	11,643	1.2-0.6
Xiabandi	China	80	217	2003	1:1.4	1:1.6	500	5000	1.2/0.6
Aikou	China	71	121	2003	1:2.5	1:2.0	400	4000	0.7/0.5
Zhaobishan	China	43	260	2003	1:1.8	1:1.6	10000	15000	0.6
Meglitz	Germany	43	250	2003	1:1.8	1:1.8	2992	30000	0.6
Medic	Iran	139	565	2003	1:1.6	1:1.6	750	4300	0.9
Kopru	Turkey	110	312	2003	1:2	1:1.7	800	31750	1.0-0.6
Yadenitza	Bulgaria	25	900	2003	1:1.75-1:3	1:1.65-1:3	750	4300	0.5
Bulajali	Uganda	74	200	2003	1:1.65	1:1.55	6400	31750	0.5
Giataigi	Dominican Rep.	102	575	2003	1:2.15	1:2.05	453		1.0-0.5
Murvan (main dam)	Saudi Arabia	102	575	2003	1:2.15	1:2.05	453		0.5
Murvan (saddle dam)	Saudi Arabia	30	437	2003	1:2.15	1:2.05	453		0.5

U.C. = Under construction
U.D. = Under design