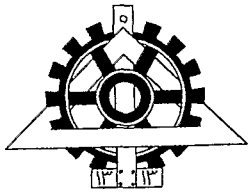


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی



مطالعه رفتار سدهای سنگریزه‌ای با هسته آسفالتی با
استفاده از آزمایش‌های میز لرزه (1g)

نگارش:

علیرضا میردامادی

استاد راهنما:

دکتر عباس قلندرزاده

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و مهندسی پی

۱۳۸۷ / ۲ / ۲۵

بهمن ۱۳۸۶

۹۳۸۴۳

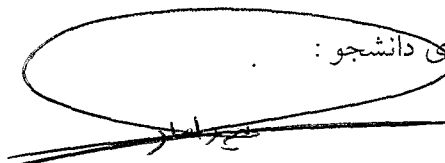
تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب علیرضا میردامادی تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: علیرضا میردامادی

امضای دانشجو:



تقدیم به

مادر و پدرم فداکارم که هر چه دارم از آنهاست

و به خانواده ام که همواره پشتیبان من بوده اند

تشکر و قدردانی

پایان نامه حاضر بخشی از پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی معاونت امور پژوهشی سازمان مدیریت منابع آب ایران (دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی) می باشد. بر خود لازم می دانم که نخست از جناب آقای دکتر عباس قلندرزاده به پاس آنچه از علم و اخلاق به من آموخته‌اند و کمک های دوست عزیز آقای مهندس سیامک فیض خانکندی تشکر بنمایم. همچنین از جناب آقای دکتر علی نورزاد که حمایت های شایانی در انجام این پروژه داشته اند قدردانی می کنم.

علیرضا میردامادی

بهار ۱۳۸۷

چکیده

هسته‌های بتن آسفالتی، در سال ۱۹۴۸ برای اولین بار به عنوان المان آب بند در سدهای سنگریزه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. این نوع هسته دارای نفوذپذیری بسیار کم، خاصیت انعطاف پذیری بسیار بالا است و تراکم پذیری خوبی دارد و امکان ساخت بدون درزه هسته را فراهم می‌آورد. یکی از مهمترین مزایای این نوع هسته‌ها، عدم تابع بودن ساخت آن نسبت به شرایط آب و هوایی و ... است. همچنین در مناطقی که مصالح رس مرغوب موجود نباشد یکی از گزینه‌های موجود این نوع سدها هستند.

تحقیقات بسیار کمی بر روی این هسته‌ها و خصوصاً رفتار دینامیکی آن صورت گرفته است. مناطق شمالی و غربی ایران دارای پتانسیل لرزه خیزی بسیار بالایی هستند و به دلیل رفتار لرزه‌ای این نوع سدها باید به طور کامل بررسی شوند.

در این تحقیق آزمایش‌های مدل سازی فیزیکی در شرایط $1g$ با استفاده از میز لرزه بر روی مدل‌های از این نوع سد ها انجام گرفته است. مجموع آزمایش‌های صورت گرفته ۱۵ عدد می‌باشد و نتایج ۸ آزمایش در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته است. در طی این آزمایش‌ها رفتار دینامیکی مدل از جمله تغییرات شتاب، تغییر مکان‌های نوسانی و ماندگار در ترازهای مختلف هسته و بدنه و همچنین رفتار مصالح بتن آسفالتی در شرایط لرزه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. شرایط آزمایش به استثناء یک آزمایش به صورت آبگیری شده بود.

نتایج بدست آمده رفتار مناسب هسته آسفالتی این نوع سد ها را در برابر زلزله نشان می‌دهد. به طوریکه در هیچ یک از آزمایش‌ها گسیختگی و یا ترک خوردگی در هسته مشاهده نشد و فقط تحت شتاب‌های زیاد نشست در ناحیه‌های انتقالی و پوسته سد مشاهده شد.

فهرست مطالب

۱- مقدمه.....	۱
۲- معرفی ادبیات فنی.....	۳
۱-۲- مشخصات سدهای سنگریزه‌ای با هسته بتن آسفالتی.....	۳
۱-۱-۲- عنصر آب‌بند سدهای خاکی و سنگریزه‌ای.....	۳
۲-۱-۲- ویژگیهای بتن آسفالتی از دیدگاه سدسازی.....	۳
۳-۱-۲- مشخصات فنی بتن آسفالتی.....	۴
۱-۳-۱-۲- مصالح شامل درشت دانه‌ها و ریزدانه‌ها.....	۴
۲-۳-۱-۲- قیر.....	۴
۲-۲- سدهای هسته آسفالتی ساخته شده در کشورهای مختلف.....	۵
۳-۲- روشهای ساخت هسته بتن آسفالتی و تاثیرات آن.....	۷
۱-۳-۲- روش BMM.....	۹
۲-۳-۲- روش CMC.....	۹
۳-۳-۲- روش CBC.....	۹
۴-۳-۲- روش FACC.....	۹
۵-۳-۲- روش DACC.....	۹
۱-۵-۳-۲- بخش اول هسته.....	۱۰
۲-۵-۳-۲- بخش دوم لایه انتقالی بالادست.....	۱۲
۳-۵-۳-۲- بخش سوم ناحیه انتقالی پایین دست.....	۱۲
۴-۵-۳-۲- ابزار و روش ساخت هسته‌های بتن آسفالتی متراکم.....	۱۲
۴-۲- لزوم انجام تحقیقات جدید بر روی رفتار دینامیکی سدهای با هسته آسفالتی.....	۱۴
۵-۲- مرور تحقیقات گذشته.....	۱۷
۱-۵-۲- آزمایشهای تست المان (Element tests).....	۱۸
۱-۱-۵-۲- آزمایشهای استاتیکی و سیکلیک.....	۱۸
۲-۵-۲- آزمایشهای مدل.....	۲۴

۲۴	..... آزمایشهای سانتریفیوژ ۱-۲-۵-۲
۲۷	..... آزمایشهای مدل میزلرزه ۲-۲-۵-۲
۲۸	..... آزمایشهای تعیین مصالح با خواص بهبود یافته ۳-۵-۲
۲۹	..... پژوهشهای عددی ۴-۵-۲
۳۲	..... معرفی آزمایشهای میزلرزه در محیط ۱g ۶-۲
۳۳	..... معادلات اساسی ۱-۶-۲
۳۳	..... معادلات خاک اشباع ۱-۱-۶-۲
۳۶	..... معادلات سازه ۲-۱-۶-۲
۳۷	..... معادلات سیال ۳-۱-۶-۲
۳۸	..... ترکیب معادلات و استخراج روابط تشابه و ضرایب مقیاس ۲-۶-۲
۴۶	..... صحت تشابه ۳-۶-۲

۳- آزمایشهای مدل فیزیکی با استفاده از مدل لرزه ۴۸

۴۸	..... ابزار و تجهیزات مورد استفاده ۱-۳
۴۸	..... جعبه مدل ۱-۱-۳
۴۹	..... حسگرها ۲-۱-۳
۵۰	..... دیتالاگر دینامیکی ۳-۱-۳
۵۱	..... میزلرزان ۴-۱-۳
۵۵	..... مصالح مورد استفاده ۲-۳

۴- آزمایش انجام شده با استفاده از میزلرزه ۵۶

۵۶	..... طراحی مدل ۱-۴
۶۳	..... ابعاد مدل و آرایش حسگرها ۲-۴
۶۳	..... مراحل ساخت مدل ۳-۴
۶۳	..... ساخت پی ۱-۳-۴
۶۵	..... ساخت هسته آسفالتی ۲-۳-۴
۶۸	..... ساخت بدنه و ناحیه انتقالی ۳-۳-۴
۶۸	..... اصلاح خروجی های حسگرها ۴-۴

۶۸..... ۱-۴-۴- شتاب

۶۹..... ۲-۴-۴- تغییر مکان

۵- بررسی نتایج ثبت شده تعدادی از آزمایشهای انجام یافته ۷۰

۷۱..... ۱-۵- آزمایش اول (مدل سازی شرایط انتهای ساخت و بدون آبگیری)

۷۱..... ۱-۱-۵- بررسی منحنی شتاب

۷۵..... ۲-۱-۵- نتایج تغییر مکان محاسبه شده از شتاب

۷۷..... ۳-۱-۵- تغییر مکان تاج هسته و شیب پایین دست

۷۸..... ۴-۱-۵- مشاهدات در آزمایش اول

۷۹..... ۲-۵- آزمایش های همراه با آبگیری مخزن

۷۹..... ۱-۲-۵- نتایج شتاب در تراز های مختلف

۸۸..... ۲-۲-۵- نتایج تغییر مکان محاسبه شده از شتاب در ترازهای مختلف هسته

۹۱..... ۳-۲-۵- نتایج تغییر مکان تاج هسته و شیب پایین دست

۹۸..... ۴-۲-۵- بررسی رفتار آسفالت هسته با استفاده از منحنی های تنش- کرنش

۱۲۳..... ۵-۲-۵- مشاهدات ظاهری

۶- بررسی و تحلیل آزمایش ها ۱۳۴

۱۳۴..... ۱-۶- تحلیل مقادیر تغییر مکان و شتاب در سد

۱۳۸..... ۲-۶- بررسی رفتار بتن آسفالتی در هسته

۱۳۹..... ۳-۶- بررسی مشاهدات ظاهری

۷- نتیجه گیری ۱۴۱

۸- پیشنهادات برای ادامه تحقیقات ۱۴۲

۹- فهرست مراجع ۱۴۳

فهرست نمودارها و اشکال

- شکل ۲-۱- تغییرات در مقاومت کششی بر حسب زمان و درجه حرارت..... ۸
- شکل ۲-۲- اجزای المان ساندویچ..... ۱۰
- شکل ۲-۳- طرح دانه‌بندی فولر و توان ۰/۴۵..... ۱۱
- شکل ۲-۴- دستگاه اجرای هسته بتن آسفالتی..... ۱۳
- شکل ۲-۵- دستگاه ابداعی Breth و Schwab و نتایج آن..... ۱۸
- شکل ۲-۶- نتایج کار Ohne و تعریف کرنش جاری شدن..... ۲۰
- شکل ۲-۷- نتایج ارائه شده توسط Wang..... ۲۲
- شکل ۲-۸- ابعاد سد مدل شده در آزمایش سانتریفیوژ..... ۲۵
- شکل ۲-۹- ابزار بندی مدل در آزمایش سانتریفیوژ..... ۲۵
- شکل ۲-۱۰- تابع حرکت ورودی در یکی از تستها..... ۲۶
- شکل ۲-۱۱- مقایسه پاسخ بارگذاری در تاج و پایه سد..... ۲۶
- شکل ۲-۱۲- مقایسه کرنش‌های برشی در هسته و نواحی انتقالی..... ۳۰
- شکل ۲-۱۳- تاریخچه زمانی زلزله ورودی..... ۳۱
- شکل ۲-۱۴- تاریخچه زمانی پاسخ سد در منطقه نزدیک تاج..... ۳۱
- شکل ۲-۱۵- تغییرات مقدار کرنش برشی برای فیلتر و هسته در ارتفاع سد..... ۳۲
- شکل ۲-۱۶- تنش موثر σ' و فشار آب حفره‌ای P در المانی از ماده متخلخل..... ۳۴
- شکل ۲-۱۷- روابط تنش-کرنش خاک در مدل و نمونه اصلی..... ۴۰
- شکل ۳-۱- حسگر شتاب مورد استفاده در مدل..... ۴۹
- شکل ۳-۲- الف- حسگر جابجایی میله‌ای DLT-50AS..... ۵۰
- شکل ۳-۲- ب- حسگر جابجایی سیمی DP-500C..... ۵۰
- شکل ۳-۳- دستگاه دیتالاگر دینامیکی مدل DRA-101C..... ۵۱
- شکل ۳-۴- دستگاه کنترل‌کننده میزلرزه (سیستم کنترل یونیت)..... ۵۲
- شکل ۳-۵- سیستم هیدرولیک میزلرزه..... ۵۳
- شکل ۳-۶- مجموعه بخش‌های مختلف میزلرزه..... ۵۴
- شکل ۳-۷- نمایی از الگوریتم کنترل میزلرزه..... ۵۴
- شکل ۳-۸- منحنی دانه‌بندی ماسه ۱۶۱ و ۱۳۱..... ۵۵
- شکل ۳-۹- منحنی دانه‌بندی شن شکسته..... ۵۵
- شکل ۴-۱- تهیه نمونه‌های آسفالت برای آزمایش‌های المان..... ۵۹

- شکل ۴-۲- تعیین سختی هسته آسفالتی جهت استفاده در مقیاس مدل..... ۵۹
- شکل ۴-۳- نتایج آزمایش تک محوری بر روی آسفالت با مقدار ۶ درصد قیر..... ۶۰
- شکل ۴-۴- نتایج آزمایش تک محوری بر روی آسفالت با مقدار ۶/۵ درصد قیر..... ۶۱
- شکل ۴-۵- نتایج آزمایش تک محوری بر روی آسفالت با مقدار ۷ درصد قیر..... ۶۲
- شکل ۴-۶- نقشه مدل آزمایش شده و موقعیت حسگرها..... ۶۳
- شکل ۴-۷- ایجاد تراکم در پی..... ۶۴
- شکل ۴-۸- قسمتی از پی متراکم شده..... ۶۴
- شکل ۴-۹- نصب قطعه بتنی داخل پی و ریختن قیر مذاب روی پی هسته..... ۶۵
- شکل ۴-۱۰- قالب هسته آسفالتی..... ۶۵
- شکل ۴-۱۱- آماده سازی آسفالت هسته و نگهداری آن در گرمکن..... ۶۶
- شکل ۴-۱۲- اجرای آسفالت در قالب..... ۶۶
- شکل ۴-۱۳- کوبیدن آسفالت در قالب..... ۶۷
- شکل ۴-۱۴- نصب هسته بر روی پی بتنی..... ۶۷
- شکل ۴-۱۵- مدل ساخته شده قبل از اعمال لرزش..... ۶۸
- شکل ۵-۱- طیف فوریه لرزش اعمالی به میز..... ۷۱
- شکل ۵-۲- تاریخچه زمانی شتاب برای نقاط ۱ تا ۴ مشخص شده در مدل..... ۷۲
- شکل ۵-۳- تاریخچه زمانی شتاب برای نقاط ۵ تا ۸ مشخص شده در مدل..... ۷۳
- شکل ۵-۴- مقایسه دامنه پاسخ شتاب نقاط مختلف مدل..... ۷۴
- شکل ۵-۵- تاریخچه زمانی تغییر مکان برای نقاط ۱ تا ۴ مشخص شده در مدل..... ۷۵
- شکل ۵-۶- تاریخچه زمانی تغییر مکان برای نقاط ۵ تا ۸ مشخص شده در مدل..... ۷۶
- شکل ۵-۷- تغییر شکل مدل پس از اعمال لرزش..... ۷۷
- شکل ۵-۸- تغییر مکان پوسته بر اثر اعمال لرزش..... ۷۷
- شکل ۵-۹- تغییر شکل مدل پس از اعمال لرزش..... ۷۸
- شکل ۵-۱۰- هندسه و موقعیت حسگرهای مدل..... ۷۹
- شکل ۵-۱۱- منحنی فوریه حرکت اعمالی (مدل دوم)..... ۸۱
- شکل ۵-۱۲- مقایسه دامنه شتاب میان تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۸۱
- شکل ۵-۱۳- منحنی های شتاب-زمان برای تراز های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۸۱
- شکل ۵-۱۴- منحنی فوریه حرکت اعمالی (مدل سوم)..... ۸۲
- شکل ۵-۱۵- مقایسه دامنه شتاب میان تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۸۲
- شکل ۵-۱۶- منحنی های شتاب-زمان برای تراز های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۸۲
- شکل ۵-۱۷- منحنی فوریه حرکت اعمالی (مدل چهارم)..... ۸۳

- شکل ۵-۱۸- مقایسه دامنه شتاب میان تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۸۳
- شکل ۵-۱۹- منحنی های شتاب-زمان برای تراز های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۸۳
- شکل ۵-۲۰- منحنی فوریه حرکت اعمالی (مدل پنجم)..... ۸۴
- شکل ۵-۲۱- مقایسه دامنه شتاب میان تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۸۴
- شکل ۵-۲۲- منحنی های شتاب-زمان برای تراز های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۸۴
- شکل ۵-۲۳- منحنی فوریه حرکت اعمالی (مدل ششم)..... ۸۵
- شکل ۵-۲۴- مقایسه دامنه شتاب میان تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل ششم)..... ۸۵
- شکل ۵-۲۵- منحنی های شتاب-زمان برای تراز های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل ششم)..... ۸۵
- شکل ۵-۲۶- منحنی فوریه حرکت اعمالی (مدل هفتم)..... ۸۶
- شکل ۵-۲۷- مقایسه دامنه شتاب میان تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل هفتم)..... ۸۶
- شکل ۵-۲۸- منحنی های شتاب-زمان برای تراز های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل هفتم)..... ۸۶
- شکل ۵-۲۹- منحنی فوریه حرکت اعمالی (مدل هشتم)..... ۸۷
- شکل ۵-۳۰- مقایسه دامنه شتاب میان تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل هشتم)..... ۸۷
- شکل ۵-۳۱- منحنی های شتاب-زمان برای تراز های ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل هشتم)..... ۸۷
- شکل ۵-۳۲- منحنی های تغییر مکان-زمان برای تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۸۸
- شکل ۵-۳۳- منحنی های تغییر مکان-زمان برای تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۸۹
- شکل ۵-۳۴- منحنی های تغییر مکان-زمان برای تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۸۹
- شکل ۵-۳۵- منحنی های تغییر مکان-زمان برای تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۹۰
- شکل ۵-۳۶- منحنی های تغییر مکان-زمان برای تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل ششم)..... ۹۰
- شکل ۵-۳۷- منحنی های تغییر مکان-زمان برای تراز های ۰-۱۵-۳۰ و ۴۰ سانتیمتری هسته آسفالتی (مدل هشتم)..... ۹۱
- شکل ۵-۳۸- منحنی تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۹۲
- شکل ۵-۳۹- مقایسه تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۹۲
- شکل ۵-۴۰- منحنی تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۹۳
- شکل ۵-۴۱- مقایسه تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۹۳
- شکل ۵-۴۲- منحنی تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۹۴
- شکل ۵-۴۳- مقایسه تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۹۴
- شکل ۵-۴۴- منحنی تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۹۵
- شکل ۵-۴۵- مقایسه تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۹۵
- شکل ۵-۴۶- منحنی تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل ششم)..... ۹۶
- شکل ۵-۴۷- منحنی تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل هشتم)..... ۹۷

- شکل ۴۸-۵- مقایسه تغییر مکان کلی-زمان برای بدنه سد و تاج هسته آسفالتی (مدل هشتم)..... ۹۷
- شکل ۴۹-۵- تغییر مکان قائم پوسته در تراز ۲۰ سانتیمتری (مدل هشتم)..... ۹۸
- شکل ۵۰-۵- معرفی متغیرهای مورد استفاده در روابط تعیین تنش و کرنش برشی..... ۹۹
- شکل ۵۱-۵- تعیین میزان میرایی با استفاده از محاسبه مساحت داخل حلقه هیستریزس..... ۱۰۰
- شکل ۵۲-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۱۰۱
- شکل ۵۳-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۱۰۲
- شکل ۵۴-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۱۰۳
- شکل ۵۵-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۱۰۴
- شکل ۵۶-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۱۰۴
- شکل ۵۷-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل دوم)..... ۱۰۴
- شکل ۵۸-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۱۰۵
- شکل ۵۹-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۱۰۶
- شکل ۶۰-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۱۰۷
- شکل ۶۱-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۱۰۸
- شکل ۶۲-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۱۰۸
- شکل ۶۳-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل سوم)..... ۱۰۸
- شکل ۶۴-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۱۰۹
- شکل ۶۵-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۱۱۰
- شکل ۶۶-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۱۱۱
- شکل ۶۷-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۱۱۲
- شکل ۶۸-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۱۱۲
- شکل ۶۹-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل چهارم)..... ۱۱۲
- شکل ۷۰-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۱۱۳
- شکل ۷۱-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۱۱۴
- شکل ۷۲-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۱۱۵
- شکل ۷۳-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۱۱۶
- شکل ۷۴-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۱۱۶
- شکل ۷۵-۵- منحنی های $G-\gamma$ و $D-\gamma$ قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل پنجم)..... ۱۱۶
- شکل ۷۶-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل ششم)..... ۱۱۷
- شکل ۷۷-۵- منحنی های تنش-کرنش قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل ششم)..... ۱۱۸

- شکل ۵-۷۸- منحنی های تنش- کرنش قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل ششم)..... ۱۱۹
- شکل ۵-۷۹- منحنی های تنش- کرنش قطعه میان تراز ۰ و ۱۵ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل هشتم)..... ۱۲۰
- شکل ۵-۸۰- منحنی های تنش- کرنش قطعه میان تراز ۱۵ و ۳۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل هشتم)..... ۱۲۱
- شکل ۵-۸۱- منحنی های تنش- کرنش قطعه میان تراز ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر هسته آسفالتی (مدل هشتم)..... ۱۲۲
- شکل ۵-۸۲- تصاویر قبل و بعد از اعمال لرزه به مدل دوم..... ۱۲۳
- شکل ۵-۸۳- تصاویر قبل و بعد از اعمال لرزه به مدل سوم..... ۱۲۴
- شکل ۵-۸۴- تغییر مکان نسبی بین هسته آسفالتی و نواحی انتقالی (مدل سوم)..... ۱۲۵
- شکل ۵-۸۵- تصاویر قبل و بعد از اعمال لرزه به مدل چهارم..... ۱۲۶
- شکل ۵-۸۶- تغییر مکان نسبی بین هسته آسفالتی و نواحی انتقالی (مدل چهارم)..... ۱۲۷
- شکل ۵-۸۷- تصاویر قبل و بعد از اعمال لرزه به مدل پنجم..... ۱۲۸
- شکل ۵-۸۸- تغییر مکان نسبی بین هسته آسفالتی و نواحی انتقالی (مدل پنجم)..... ۱۲۹
- شکل ۵-۸۹- تصاویر قبل و بعد از اعمال لرزه به مدل ششم..... ۱۳۰
- شکل ۵-۹۰- تغییر مکان نسبی بین هسته آسفالتی و نواحی انتقالی (مدل ششم)..... ۱۳۱
- شکل ۵-۹۱- تصاویر قبل و بعد از اعمال لرزه به مدل هفتم..... ۱۳۲
- شکل ۵-۹۲- تصاویر قبل و بعد از اعمال لرزه به مدل هشتم..... ۱۳۳
- شکل ۶-۱- منحنی تغییر ماندگار در تاج هسته آسفالتی به شتاب پایه..... ۱۳۴
- شکل ۶-۲- منحنی تغییر مکان نوسانی تاج هسته آسفالتی به شتاب پایه..... ۱۳۵
- شکل ۶-۳- منحنی مقایسه تغییر مکان سیکلیک با تغییر مکان باقیمانده تاج هسته آسفالتی به شتاب پایه..... ۱۳۵
- شکل ۶-۴- تغییر مکان بوجود آمده در پوسته پایین دست سد در دو زمان ۵ و ۱۰ ثانیه..... ۱۳۵
- شکل ۶-۵- منحنی شتاب در ترازهای مختلف هسته به شتاب پایه (فرکانس ۶ هرترز)..... ۱۳۶
- شکل ۶-۶- منحنی شتاب در ترازهای مختلف هسته به شتاب پایه (فرکانس ۱۰ هرترز)..... ۱۳۶
- شکل ۶-۷- منحنی شتاب در ترازهای مختلف هسته به شتاب پایه (مجموع آزمایش ها)..... ۱۳۷
- شکل ۶-۸- تغییرات سختی برشی (G) نسبت به کرنش برشی در مقاطع مختلف هسته آسفالتی..... ۱۳۸
- شکل ۶-۹- تغییرات میرایی (D) نسبت به کرنش برشی در مقاطع مختلف هسته آسفالتی..... ۱۳۸
- شکل ۶-۱۰- تغییرات افت انرژی نسبت به کرنش برشی در مقاطع مختلف هسته آسفالتی..... ۱۳۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- معرفی تعدادی از سدهای با هسته بتن آسفالتی ۶
- جدول ۲-۲- ضرایب مقیاس متغیرهای مورد نیاز جهت ایجاد شرایط تشابه بین مدل و سازه واقعی در آزمایشات مدل میدان ۱g ۴۳
- جدول ۳-۲- ضرایب مقیاس متغیرهای مورد نیاز جهت ایجاد شرایط تشابه بین مدل و سازه واقعی در آزمایشات مدل میدان ۱g در حالت $\lambda_p = 1$ و $\lambda_g = \lambda^{0.5}$ ۴۵
- جدول ۱-۴- ضرایب مقیاس جهت ایجاد شرایط تشابه بین مدل و سازه واقعی در آزمایشات مدل میدان ۱g در حالت $\lambda = 75$ ۵۶
- جدول ۱-۵- برنامه ریزی آزمایشهای مدل میز لرزه ۷۰

۱- مقدمه

آب یکی از اصلی‌ترین نیازهای زندگی انسان است. برای میل به اهداف کشاورزی، مهار رودخانه‌ها و در نتیجه تفکر احداث موانعی در جلوی آب رودخانه‌ها مورد نظر بشر قرار گرفت و سدها بوجود آمدند. از لحاظ کاربردی سدها به سه دسته مخزنی، تنظیمی و انحرافی تقسیم‌بندی می‌شوند. از جنبه نوع مصالح مورد استفاده، سدها به دو دسته تقسیم‌بندی می‌گردند:

الف) سد بتنی

ب) سد خاکی و سنگریزه‌ای

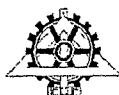
در سدهای سنگریزه‌ای، عنصر آب بند که عموماً بصورت هسته سد احداث می‌شود اهمیت زیادی دارد. هسته عموماً از خاک رسی چسبنده ساخته می‌شود. لکن در سالهای اخیر استفاده از مصالح دیگر بعنوان عنصر آب‌بند مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این مصالح، آسفالت است. آسفالت تحت عنوان بتن آسفالتی در هسته و نیز رویه اینگونه سدها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نگرانی اصلی در استفاده از سدهای بتن آسفالتی در ایران، عمدتاً در خصوص نحوه عملکرد این سدها در برابر زلزله است. هسته آسفالتی در اینگونه سدها پرده نازک آب‌بندی است که در حالت استاتیکی تحت تنش ثقلی ناشی از فشار مصالح مجاور فشار آب قرار دارد. تاریخچه عملکرد این سدها و شواهد محاسباتی حکایت از عملکرد مطلوب این سدها در شرایط استاتیکی دارد. لکن در شرایط زلزله ممکن است وضعیت متفاوت باشد. زلزله‌های واقعی، حرکتی سه‌بعدی به سازه سد وارد می‌کنند. بدنه سد تحت تاثیر حرکت منتقله از پی و تکیه‌گاهها دچار تغییرشکل‌هایی در جهات مختلف می‌شود و چون هسته آسفالتی عنصری با ضخامت کم است، ممکن است دچار آسیب شود. این آسیب‌ها می‌تواند در محل اتصال هسته به پی و محل اتصال هسته به تکیه‌گاهها رخ دهد. همچنین تغییرشکل برشی و خمشی عمود بر محور سد می‌تواند هسته آسفالتی را تحت تاثیر قرار دهد. تغییرشکل برشی و نیروهای محوری وارد بر هسته در امتداد محور سد هسته آسفالتی نیز قابل توجه می‌باشند.

حال در اینجا سوال این است که برای درک رفتار سدهای سنگریزه‌ای با هسته بتن آسفالتی در شرایط

زلزله که مختصراً در بالا توضیح داده شد چه باید کرد؟

رفتار دینامیکی خود هسته آسفالتی در برابر بارگذاری رفت و برگشتی زلزله بایستی مورد بررسی قرار گیرد. عموماً برای بررسی رفتار دینامیکی مصالح و تعیین پارامترهای بیان‌کننده این رفتار، از آزمایش دینامیکی بر روی المان‌های کوچک استفاده می‌شود. این موضوع در خصوص خاکها سابقه طولانی دارد. لکن بررسی رفتار دینامیکی بتن آسفالتی با دیدگاه رفتار لرزه‌ای دارای سابقه زیاد نیست. بدیهی است که یکی از ابعاد بررسی رفتار دینامیکی سدهای هسته آسفالتی، درک رفتار دینامیکی مصالح هسته آسفالتی و

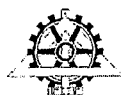


نیز پوسته سنگریزه‌ای است. تعیین مقادیر سختی الاستیک E و سختی برشی، رفتار هیستریزس، مقدار نسبت میرایی و تاثیرپذیری این پارامترها از عواملی چون سطح تنش محصورکننده، سطح کرنش وارده، فرکانس بارگذاری، تعداد بارهای رفت و برگشتی، دما و عوامل دیگر بسیار مهم است و تا بحال مطالعات جامعی در این خصوص صورت نگرفته است.

از طرف دیگر، علاوه بر شناسایی رفتار جزئی هسته آسفالتی و حتی مصالح سنگریزه‌ای، عملکرد توام این مصالح در کنار هم و بصورت یک سازه بزرگ همچون سد در برابر بارهای تصادفی و سه‌بعدی زلزله بدون تحلیل و مشاهده عملکرد کلی سازه سد ناممکن است. در این خصوص ضروری است که رفتار کل سد هسته آسفالتی در شرایط زلزله مدل شود. متأسفانه حتی با درک رفتار دینامیکی المان هسته آسفالتی و سنگریزه‌ای بطور جداگانه، مدل‌سازی رفتار کل سد به سادگی ممکن نیست. این مدل‌سازی می‌تواند به دو روش مدل‌سازی عددی و مدل‌سازی فیزیکی انجام گیرد. در مدل‌سازی عددی، استفاده از نرم‌افزاری که بتواند رفتار دینامیکی مصالح، شرایط مرزی و سه‌بعدی بودن تاثیر زلزله را مدل نماید ضروری است. از طرف دیگر بدلیل وجود عدم قطعیت‌ها و پیچیدگی‌ها در رفتار واقعی هسته و مصالح سنگریزه‌ای، نتایج حاصل از تحلیل عددی می‌توانند دارای خطا باشد.

آزمایش مدل فیزیکی می‌تواند علاوه بر کمک به درک رفتار کلی ابنیه سدهای هسته آسفالتی، در ارزیابی نتایج تحلیل‌های عددی کمک شایانی بنماید. البته باید در نظر داشت که متأسفانه خود مدل‌سازی فیزیکی هم دارای خطا است. علیرغم پیشرفت‌های قابل توجه در تکنیکها و ابزار مدل‌سازی فیزیکی، این روش همچنان دارای خطاهای قابل توجهی می‌باشد. شاید آزمایشهای سانتریفیوژ را بتوان دقیقترین نوع مدل‌سازی فیزیکی به شمار آورد. در مقابل آن، مدل‌سازی فیزیکی در محیط ثقل طبیعی زمین دارای خطاهای بیشتری است. بی‌تردید، یک تحقیق جامع و گسترده در خصوص رفتار لرزه‌ای سدهای با هسته بتن آسفالتی بایستی شامل هر سه نوع بررسی رفتار دینامیکی المان، مدل‌سازی عددی و مدل‌سازی فیزیکی باشد. به عبارتی مدل‌سازیهای فیزیکی می‌توانند کمک موثری به درک صحت مدل‌سازیهای عددی بنمایند.

در این تحقیق که در هفت فصل جمع‌آوری شده است ابتدا به ادبیات فنی و معرفی فعالیت صورت گرفته بر روی رفتار این نوع سدها پرداخته می‌شود. در فصل سوم و چهارم به تجهیزات و مصالح مورد استفاده و طراحی و ساخت مدل آزمایش شده، اشاره می‌گردد. در فصل پنجم بررسی نتایج و اطلاعات ثبت شده از آزمایش‌های صورت گرفته ارائه می‌شود و در نهایت فصول شش و هفت به تحلیل و نتیجه گیری خروجی آزمایش‌ها اختصاص دارد. این پایان‌نامه بخشی از پروژه تحقیقاتی بررسی آزمایشگاهی و عددی رفتار لرزه‌ای سدهای سنگریزه‌ای با هسته بتن آسفالتی می‌باشد.



۲- معرفی ادبیات فنی

در این فصل، تاریخچه سدهای سنگریزه‌ای با هسته بتن آسفالتی با مروری بر ادبیات فنی تحقیقات انجام شده در این زمینه به خصوص با دید رفتار دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین تلاش گردیده است که کارهای تحقیقاتی انجام شده قبلی در قالب سه بخش رفتار دینامیکی مصالح، مدل‌سازی عددی و مدل‌سازی فیزیکی ارائه گردد.

۱-۲- مشخصات سدهای سنگریزه‌ای با هسته بتن آسفالتی

در این قسمت به صورت کلی به مشخصات مصالح، روشهای ساخت و اجرای سدهای با هسته بتن آسفالتی پرداخته می‌شود.

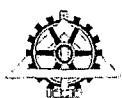
۲-۱-۱- عنصر آب‌بند سدهای خاکی و سنگریزه‌ای

هسته بتن آسفالتی، در سال ۱۹۴۸ برای اولین بار به عنوان المان آب‌بند در سدهای سنگریزه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. این نوع هسته، دارای نفوذپذیری بسیار کم، خاصیت انعطاف‌پذیری بالا و تراکم‌پذیری خوبی می‌باشد و امکان ساخت بدون درز هسته را فراهم می‌آورد [۱]. یکی از بهترین مزایای این نوع هسته‌ها، تاثیرپذیری کم عملیات ساخت آن نسبت به شرایط آب و هوایی است. تحقیقات بسیار کمی بر روی این هسته‌ها و خصوصاً رفتار دینامیکی آنها انجام گرفته است. با توجه به اینکه ساخت این نوع سدها در نواحی مرطوب و پرباران نظیر مناطق شمالی و غربی بسیار ساده‌تر و همچنین مشکلات مربوط به عملیات ضمن ساخت هسته رسی چون کنترل درصد رطوبت بهینه و ... را ندارد، لزوم تحقیق احساس شد. مناطق شمالی و غربی ایران دارای پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی هستند و به این دلیل رفتار دینامیکی این نوع سدها باید به طور کامل بررسی و در صورت داشتن رفتار مناسب در طرح‌های ملی در نظر گرفته شود.

۲-۱-۲- ویژگیهای بتن آسفالتی از دیدگاه سدسازی [۱] و [۲]

برخی از ویژگیهای مناسب بتن آسفالتی جهت استفاده در هسته سدهای خاکی، به صورت زیر می‌باشد:

۱) رفتار الاستوپلاستیک بتن آسفالتی به عنوان ماده ساختمانی است که اساس کاربرد هسته‌های قیری در سدها می‌باشد. این خاصیت از ایجاد ترک در هسته در اثر تغییرشکل‌های بعدی سد، جلوگیری می‌کند و بنابراین، هسته‌ای نفوذناپذیر محسوب می‌گردد.



۲) هسته بتن آسفالتی به وسیله ساختار خاکی یا سنگی نواحی مجاور هسته در برابر حوادث مکانیکی ناشی از وقایع شدید نظیر زلزله محافظت می‌شود و ترکهای ایجاد شده به علت خاصیت خود التیامی قیر، ترمیم می‌شوند.

۳) مقاومت بتن آسفالتی در برابر فرسایش ناشی از تراوش آب

۴) حساسیت کم بتن آسفالتی به تغییرات آب و هوایی

۵) اتصال مناسب بتن آسفالتی با مصالح نواحی مجاور آن

۶) حفظ مقاومت با گذشت زمان و طول عمر زیاد مصالح

۷) انعطاف‌پذیری کافی بدون مشاهده ترک خوردگی جهت هماهنگی با تغییر شکل خاکریزها

۸) تحمل تغییر شکل‌های پیش‌بینی نشده بدنه توسط هسته، به علت خاصیت تغییر شکل‌پذیری

۲-۱-۳- مشخصات فنی بتن آسفالتی

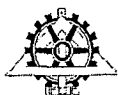
مصالح سنگی و فیلر در حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد وزن و ۸۰ تا ۸۵ درصد کل حجم بتن آسفالتی را تشکیل می‌دهند و در این بین، قیر به عنوان یک ماده چسبنده عمل می‌کند. عمده مقاومت ترکیب بتن آسفالتی مربوط به مصالح سنگی بوده و بنابراین زمانیکه بتن آسفالتی برای آب‌بندی در یک سد به کار می‌رود، شناخت خواص مصالح سنگی بسیار مهم می‌باشد [۳].

۲-۱-۳-۱- مصالح شامل درشت‌دانه‌ها و ریزدانه‌ها

بزرگترین اندازه دانه‌هایی که در رویه‌های بتن آسفالتی به کار می‌رود ۱/۵ اینچ می‌باشد. در هسته‌های بتن آسفالتی، این مقدار را می‌توان به ۳ اینچ افزایش داد. فیلر شامل ذرات عبوری از الک نمره ۲۰۰ است که عملکرد ساختمانی نداشته و تنها جهت بهبود کارایی ترکیب بتن آسفالتی استفاده می‌شود [۴]. شکل هندسی دانه‌ها از نظر مهندسی دارای اهمیت می‌باشد. دانه‌های گرد، دارای کارایی بیشتری نسبت به شکسته بوده و بنابراین برای هسته‌های بتن آسفالتی ایده‌آل می‌باشند [۴]. نکته دیگر آنست که با توجه به این که عمر مفید یک سازه هیدرولیکی با هسته بتن آسفالتی، تا حد زیادی به توانایی و ترکیب بتن آسفالتی (جهت جلوگیری از ایجاد درز بین مصالح سنگی و قیر) بستگی دارد، لذا در طرح اختلاط بتن آسفالتی، خواص چسبندگی و جذب قیر اهمیت فراوانی خواهد داشت [۴].

۲-۱-۳-۲- قیر

قیر به علت داشتن دو خاصیت مهم یعنی غیرقابل نفوذ بودن در برابر آب و چسبنده بودن، یکی از پر



کاربردترین مصالح می‌باشد [۵]. در بیشتر سدهایی که تاکنون با هسته بتن آسفالتی ساخته شده است، مقدار قیر اندکی بیشتر از مقدار بهینه‌ای است که در آزمایش مارشال تعیین شده است. به طور کلی میزان قیر در محدوده ۵/۵ تا ۶/۵ درصد وزنی ترکیب بتن آسفالتی می‌باشد. انتخاب نوع قیر مورد استفاده، به عواملی از جمله شرایط جوی، جنس، دانه‌بندی مصالح سنگی و نحوه اجرای بتن آسفالتی بستگی دارد. هر اندازه درجه حرارت متوسط سالیانه منطقه بیشتر باشد، باید از قیرهای با خاصیت روانی کمتر برای ساخت آسفالت استفاده کرد [۳].

۲-۲- سدهای هسته آسفالتی ساخته شده در کشورهای مختلف

ساخت سدهای آسفالتی عموماً در مناطق سردسیر با فصول یخبندان طولانی و نیز مناطق پرباران رایج است. کشورهای آلمان، نروژ و چین دارای بیشترین تعداد سد از نوع هسته آسفالتی هستند. یکی از دلایل عمده در عدم گسترش ساخت این سدها در ایران، نگرانی مشاوران از رفتار این نوع از سدها در برابر زلزله می‌باشد. به دلیل اینکه اکثر سدهای ساخته شده در مناطق با لرزه‌خیزی پایین قرار گرفته‌اند، گزارش‌های انتشار یافته صرفاً در مورد پایان ساخت و آنگیری است. در ایران، سد میجران به عنوان اولین نمونه سد با هسته بتن آسفالتی در شمال کشور طراحی و ساخته شده است. در جدول ۱-۲، مشخصات تعدادی از سدهای ساخته شده با هسته آسفالتی ارائه گردیده است.

