بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده عمران و معماری

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

(گرایش سازه)

عنوان:

تحلیل دینامیکی سدهای دو قوسی با درزهای انقباضی با استفاده از المانهای آکوستیک آب

دانشجو : فرید کاظمی راد

اساتید راهنما:

دکتر احمد احمدی

دکتر رامین امینی

تابستان ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران و معماری

گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای فرید کاظمی راد

تحت عنوان:

تحلیل دینامیکی سدهای دو قوسی با درزهای انقباضی با استفاده از المانهای آکوستیک آب

در تاریخ ۸۸/۴/۲۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه خیلی خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی: دکتر احمد احمدی		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی : دکتر رامین امینی		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی: دکتر وحیدرضاکلاتجاری		نام و نام خانوادگی : مهندس عباس محمدی	
نام و نام خانوادگی : دکتر علی کیهانی			

تقدیم به

پدر و مادرم

که تمام هستی ام از آنهاست

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از استاد ارجمند جناب آقای دکتر رامین امینی که در طول انجام پروژه با راهنمائی های ارزنده و مشوقانه خود اینجانب را در مسیر دستیابی به اهداف مورد نظر هدایت کردند تشکر و قدردانی می کنم و نیز از راهنمائی های جناب آقای دکتر احمد احمدی بسیار سپاسگزارم و از ایشان نهایت تشکر را دارم.

از دوستانی که در انجام این پروژه مرا یاری دادند، خصوصاً آقای مهندس علیرضا کرامت و آقای مهندس محمد شکر الهی که زحمات بسیاری در طی این مدت متحمل شدند نهایت تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **فرید کاظمی راد** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران- سازه دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تحلیل دینامیکی سدهای دو قوسی با درزهای انقباضی با استفاده از المانهای آکوستیک آب** تحت راهنمائی دکتر **احمد احمدی و دکتر رامین امینی** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام <<دانشگاه صنعتی شاهرود>> و یا <<shahrood university of technology>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن(مقالات مستخرج،کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

تحلیل دینامیکی سدهای بتنی قوسی با این فرض که این سدها سازه هایی یکپارچه هستند تنش های کششی بزرگی را در راستای قوس بخصوص در تراز تاج سد نشان می دهد. این تنشهای کششی بزرگ معمولاً بسیار فراتر از حد قابل تحمل بتن بوده و باعث ایجاد ترک هایی در بدنه سد می شوند. علاوه بر این، سدهای بتنی قوسی ذاتاً سازه های پوسته ای یکپارچه نیستند، بلکه از یک سری طره های قائم تشکیل شده اند که توسط درزهای انقباض از یکدیگر جدا شده اند. این درزهای انقباض جهت کنترل حرارت ناشی از واکنش هیدراتاسیون سیمان و نیز مشکلات اجرایی در بدنه سد تعبیه می شوند. درزهای فوق قادر به انتقال تنشهای کششی بدست آمده از تحلیلهای خطی نیستند. بنابراین در عمل انتظار می رود که این درزها در طی زلزله باز و بسته شده و نسبت به یکدیگر بلغزند و باعث آزاد شدن تنشهای کششی و باز توزیع نیروهای داخلی سد شوند.

اندرکنش سد و مخزن، اندرکنش سد و پی، تراکم پذیری آب مخزن و باز و بسته شدن درزهای انقباضی سد از جمله عوامل مهم تاثیر گذار بر پاسخ لرزهای این سازه ها می باشد. بهنگام وقوع زلزله مجموعه عوامل فوق، سیستم پیچیده و وابسته ای را تشکیل می دهند که معمولاً به منظور اجتناب از این پیچیدگی ها، تحلیل دینامیکی این سازه ها با فرض های ساده کننده ای همراه بوده است. در این تحقیق سعی شده است با احتساب عوامل تاثیر گذار فوق در حد قابل قبول، رفتار لرزه ای این سازه ها و اثر هر یک از این عوامل را با تحلیل رفتار یک سد قوسی نمونه مورد ارزیابی قرار داده و سپس مقایسه ای میان نتایج این مدلهای واقع بینانه با مدلهای شامل فرض های ساده کننده صورت پذیرد. جهت انجام تحلیلهای عددی، نرم افزار المان محدود ANSYS 11 بدلیل قابلیتهای آن و برخورداری از المانهای مناسب جهت مدلسازی تراکم پذیری آب مخزن و درزها و ناپیوستگیها در بدنه سد، مورد

استفاده قرار گرفته است. سد قوسی نمونه در این تحقیق سد بتنی قوسی ماروپوینت بوده و شتابنگاشت زلزله تفت و زلزله ناغان به منظور انجام تحلیلهای تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار گرفته است.

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲- تحلیل سازه ای سدهای قوسی، پیچیدگی ها و عوامل موثر ۲

۱-۲-۱- رفتار غیر خطی سدهای بتنی قوسی ۲

۱-۲-۱-۱- رفتار غیر خطی ناشی از عملکرد بتن..... ۳

۱-۲-۱-۲- رفتار غیر خطی ناشی از ترک خوردگی بدنه ۳

۱-۲-۲- اندر کنش سد و آب مخزن..... ۵

۱-۲-۳- اندر کنش سد و پی ۶

۱-۳- اهداف و روش پژوهش ۶

۱-۴- ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم : پیشینه موضوع

۲-۱- مقدمه..... ۹

۲-۲- اندرکنش سد و آب مخزن ۱۰

۲-۳- اندرکنش سد و پی ۱۳

۲-۴- مدلسازی بدنه سدهای بتنی قوسی ۱۴

۲-۴-۱- آنالیز سه بعدی با بهره گیری از المان های پوسته.....۱۴

۲-۴-۲- آنالیز سه بعدی با بهره گیری از المان های جامد.....۱۵

فصل سوم : روشهای تحلیل دینامیکی سدها و الگوریتم تحلیلهای خطی به روش المان محدود

۳-۱- مقدمه..... ۱۶

۳-۲- تحلیل در محدوده زمان و فرکانس..... ۱۶

۳-۳- الگوریتم تحلیلهای خطی به روش المانهای محدود ۱۸

۳-۳-۱-تحلیل استاتیکی خطی ۱۸

۳-۳-۱-۱- معادله تعادل استاتیکی..... ۱۸

۳-۳-۱-۲- فرمولاسیون المانهای جامد خطی ۱۹

۳-۳-۲- تحلیل دینامیکی خطی ۲۱

فصل چهارم : معادلات اندرکنش سد و آب مخزن و روشهای تحلیل آن

۴-۱- مقدمه..... ۲۵

۴-۲- معادلات حاکم بر سیستم سد و آب مخزن..... ۲۵

۴-۲-۱- معادله حرکت سد (سد با مخزن خالی) ۲۵

۴-۲-۲- معادله حرکت آب مخزن ۲۶

۴-۲-۲-۱- شرایط مرزی مخزن..... ۲۸

۴-۲-۲-۲- معادله تعادل دینامیکی مخزن ۳۰

۴-۲-۳- معادله وابسته سد و آب مخزن ۳۱

۴-۳- روشهای تحلیل سیستم سد و آب مخزن..... ۳۱

۴-۳-۱- روش جرم افزوده اصلاح شده وسترگارد..... ۳۲

۴-۳-۲- روش مستقیم ۳۵

۴-۳-۲-۱- روش تحلیل..... ۳۶

۴-۳-۲-۲- روش متقارن بر اساس فشارهای گرهی ۳۷
۴-۳-۲-۳-روش شبه متقارن ۳۹
۴-۳-۳- روش مودال..... ۴۱
۴-۳-۳-۱- مسئله مقدار ویژه ۴۲
۴-۳-۳-۲- تحلیل مودال سد با مخزن خالی..... ۴۳
۴-۳-۳-۳-روش مودال غیر وابسته ۴۴
۴-۳-۳-۴- روش مودال وابسته ۴۸

فصل پنجم : رفتار غیر خطی ناشی از وجود ناپیوستگیها در بدنه سد

۵-۱- مقدمه..... ۵۱
۵-۲- کلیدهای برشی و تزریق درزها..... ۵۱
۵-۳- عوامل موثر در انتخاب مدل خواص المان درز ۵۲
۵-۴- مدلهای گوناگون المان درز ۵۳
۵-۴-۱- مدل انفصالات گسسته..... ۵۴
۵-۴-۲- مقایسه المانهای با ضخامت محدود و ضخامت صفر ۵۷
۵-۴-۳- سابقه استفاده از المان های درز گسسته در آنالیز سدهای بتنی قوسی ۵۸
۵-۵- انتخاب المان درز ۶۵
۵-۵-۱- مدل رفتاری المان درز..... ۶۶
۵-۵-۲- روش حل مسأله تماسی مقید ۷۰
۵-۵-۲-۱ نحوه تعیین مقادیر سختی درز ۷۱

فصل ششم : بررسی رویه انجام تحلیلها و مدلهای تحلیل شده

۶-۱- مقدمه ۷۳

۶-۲- رویه انجام تحلیلها ۷۳

۶-۲-۱- ساخت مدل های المان محدود ۷۴

۶-۲-۱-۱- مدل بدنه سد ۷۵

۶-۲-۱-۲- مدل فونداسیون سد ۷۶

۶-۲-۱-۳- مدل مخزن سد ۷۷

۶-۲-۱-۴- شرایط مرزی اعمال شده ۷۸

۶-۲-۲- خصوصیات مصالح و پارامتر های بکار رفته در تحلیلها ۸۱

۶-۳- معرفی مدلهای تحلیل شده و مشخصات هندسی سد ماروپوینت ۸۳

۶-۴- بررسی نتایج تحلیلها ۸۶

۶-۴-۱- پاسخ دینامیکی سد تحت مولفه افقی زلزله تفت ۸۸

۶-۴-۲- نتایج تحلیل استاتیکی مدلها ۸۹

۶-۴-۳- نتایج تحلیل دینامیکی مدلها ۹۰

۶-۴-۴- بررسی اثر تراکم پذیری آب مخزن ۹۳

۶-۴-۵- بررسی اثر درزها ۹۷

۶-۴-۶- بررسی اثر سختی پی ۱۰۳

فصل هفتم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۷-۱- مقدمه.....۱۰۷

۷-۲- خلاصه نتایج.....۱۰۷

۷-۳- ارائه پیشنهادات ۱۰۸

منابع و مراجع.....۱۰۹

فهرست اشکال

شکل (۴-۱) شماره گذاری شرایط مرزی دریاچه سد ۲۸

شکل (۴-۲) تعریف پارامترهای معادله (۴-۲۶) ۳۳

شکل (۵-۱) المان CONTACT هشت گره ای (چهار گره ای مضاعف) ۶۷

شکل (۶-۱) شکل کلی المان Solid 45 ..... ۷۵

شکل (۶-۲) شکل کلی المان Fluid 30 ..... ۷۷

شکل (۶-۳) مدل المان محدود سد ماروپوینت با مخزن ۷۹

شکل (۶-۴) نمای بالادست سد ماروپوینت ۷۹

شکل (۶-۵) نمای پایین دست سد ماروپوینت ۷۹

شکل (۶-۶) پلان سد ماروپوینت ۷۹

شکل (۶-۷) نمای کناری سد ماروپوینت ۷۹

شکل (۶-۸) مدل المان محدود سد، مخزن و پی ۸۰

شکل (۶-۹) هندسه و مختصات سد ماروپوینت ۸۴

شکل (۶-۱۰) شتابنگاشت مؤلفه افقی (در امتداد رودخانه) زلزله تفت ۸۵

شکل (۶-۱۱) شتابنگاشت مؤلفه افقی (در امتداد رودخانه) زلزله ناغان ۸۶

شکل (۶-۱۲) طیف دامنه فوریه شتابنگاشت زلزله ناغان ۸۶

شکل (۶-۱۳) تعریف نقاط مورد بررسی ۸۸

شکل (۶-۱۴) فشار هیدرواستاتیک و حداکثر فشار هیدردینامیک بر روی طره مرکزی سد ۹۲

شکل (۶-۱۵) تغییر شکل سد در لحظه وقوع حداکثر تنش کششی در نقطه 1 ..... ۹۶
شکل (۶-۱۶) مقایسه تاریخچه زمانی تنش اصلی کششی نقطه 1 درمدلهای A2,A1 ..... ۹۶
شکل (۶-۱۷) مقایسه تاریخچه زمانی تغییر مکان نقطه 1 در مدلهای A2,A1 ..... ۹۷
شکل (۶-۱۸) تغییر شکل سد در لحظه رسیدن نقطه 1 به حداکثر تنش کششی ۹۸
شکل (۶-۱۹) مقایسه تاریخچه زمانی تنش اصلی کششی نقطه 1 در مدلهای 5,1 ..... ۹۸
شکل (۶-۲۰) مقایسه تاریخچه زمانی تغییر مکان نقطه 1 در مدلهای 5,1 ..... ۹۹
شکل (۶-۲۱) مقایسه تاریخچه زمانی تنش اصلی کششی نقطه 2 در مدلهای 5,1 ..... ۱۰۰
شکل (۶-۲۲) تغییر شکل سد در لحظه رسیدن نقطه 3 به حداکثر تنش کششی ۱۰۱
شکل (۶-۲۳) مقایسه تاریخچه زمانی تنش اصلی کششی نقطه 3 در مدلهای 5,1 ..... ۱۰۲
شکل (۶-۲۴) تغییر شکل سد در لحظه وقوع حداکثر تنش فشاری ۱۰۲
شکل (۶-۲۵) مقایسه تاریخچه زمانی تغییر مکان نقطه 1 در مدلهای 3,1 ..... ۱۰۳
شکل (۶-۲۶) مقایسه تاریخچه زمانی تنش اصلی کششی نقطه 1 درمدلهای 3,1 ..... ۱۰۴
شکل (۶-۲۷) مقایسه تاریخچه زمانی تنش اصلی کششی نقطه 2 درمدلهای 3,1 ..... ۱۰۴
شکل (۶-۲۸) مقایسه تاریخچه زمانی تغییر مکان نقطه 1 در مدلهای 7,5 ..... ۱۰۵
شکل (۶-۲۹) مقایسه تاریخچه زمانی تنش اصلی کششی نقطه 1 در مدلهای 7,5 ..... ۱۰۵
شکل (۶-۳۰) مقایسه تاریخچه زمانی تنش اصلی کششی نقطه 2 در مدلهای 7,5 ..... ۱۰۶

فهرست جداول

جدول (۵-۱) مدلهای مختلف ارائه شده برای المانهای درز ۵۶

جدول (۵-۲) وضعیت المانهای تماس در ANSYS ۶۶

جدول (۶-۱) المانهای بکار رفته در مدلها ۷۵

جدول (۶-۲) تعداد المانهای بکار رفته در اجزای مدلها ۸۰

جدول (۶-۳) مشخصات آب مخزن و خصوصیات الاستیک مصالح ۸۱

جدول (۶-۴) ضرایب میرایی رایلی ۸۲

جدول (۶-۵) مشخصات هندسی سد ماروپوینت ۸۴

جدول (۶-۶) معرفی مدلهای تحلیل شده ۸۵

جدول (۶-۷) نواحی مهم مورد بررسی بر روی بدنه سد ۸۷

جدول (۶-۸) نتایج حداکثر جابجایی در نقطه 1 تحت اثر مؤلفه افقی زلزله تفت ۸۹

جدول (۶-۹) ارائه نتایج بیشینه در تحلیلهای استاتیکی ۹۰

جدول (۶-۱۰) ارائه نتایج بیشینه در نقاط 2,1 ..... ۹۱

جدول (۶-۱۱) نتایج حداکثر تنش اصلی فشاری ۹۱

جدول (۶-۱۲) حداکثر تنش اصلی کششی در نقطه 3 ..... ۹۲

جدول (۶-۱۳) مشخصات هندسی نمونه های سد بتنی قوسی (مقادیر بر حسب متر) ۹۳

جدول (۶-۱۴) ارائه نتایج بیشینه در نقاط 2,1 ..... ۹۳

جدول (۶-۱۵) نتایج حداکثر تنش اصلی فشاری ۹۴

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

هم اکنون به دلیل افزایش روز افزون احتیاجات بشر به فرآورده های کشاورزی و نیاز جامعه به منافع حاصل از انرژی، تأمین هرچه بیشتر آب و استفاده صحیح از آن بیش از پیش ضروری به نظر می رسد. یکی از بهترین راههای ذخیره آب، مهار آبهای سطحی و ذخیره سازی آن در مواقعی است که مصرف نسبی آب کمتر است. شواهد تاریخی بدست آمده نشان می دهد که بشر از دیرباز به این موضوع واقف بوده و برای نگهداری آب از مخازن طبیعی و یا مصنوعی استفاده می کرده و بر روی بعضی رودها، سدها و بندهایی برای استفاده از آب آنها احداث نموده است. یونانیان، مصریان، چینیان و ایرانیان باستان هرکدام به تنهایی دانش ایجاد سدها و بندها را بنا نهاده اند. در ایران امروز نیز، با توجه به کمبود آب و احتیاج شدید بخش های مختلف اقتصادی و اجتماعی جامعه به آن، لزوم ساختن سدها، امری مسلم است. یکی از انواع سدهای بتنی، سد قوسی می باشد. شکل هندسی خاص این نوع سد باعث می شود تا مقدار زیادی از نیروهایی که از طرف آب مخزن به آن وارد می شود، توسط عملکرد قوسی سازه به تکیه گاه های کناری آن انتقال یابد. لذا می توان دو مزیت عمده را نسبت به سدهای بتنی وزنی برای آن شمرد؛ اول اینکه به دلیل نازک بودن بدنه ی سد، حجم بتن ریزی کمتری برای احداث آن ها لازم است. این موضوع، موجب اقتصادی شدن چنین سازه ای می شود. مزیت دوم آن که به دلیل عملکرد قوسی، نیروهای کششی موجود در بدنه، کاهش می یابد. در این فصل خلاصه ای از آنچه که در یک تحلیل دقیق سیستم سد، مخزن و پی باید در نظر داشت بیان می گردد. در ادامه به منظور دست یابی به یک نگاه اجمالی نسبت به این تحقیق، اهداف و روش پژوهش همچنین ساختار رساله به اختصار بیان شده است.

۱-۲- تحلیل سازه ای سدهای قوسی، پیچیدگی ها و عوامل موثر

سدها از جمله سازه هایی هستند که باید در تحلیل، طراحی و ساخت آنها دقت مضاعفی جهت ایمن بودن هرچه بیشتر طرح به کار برده شود. از سوی دیگر، با توجه به حجم عملیات اینگونه سازه ها، چنانچه فقط ایمنی مد نظر قرار گیرد، طرح غیر اقتصادی و در مواردی غیر عملی خواهد شد. بنابراین به منظور تأمین هر دو مسئله ی ایمنی و اقتصاد بطور همزمان، باید مبادرت به انتخاب مدل هرچه دقیق تر برای تحلیل و طراحی کرد. سدهای قوسی بدلیل نوع هندسه آنها تنها با مدلهای سه بعدی قابل تحلیل بوده و استفاده از مدلهای دو بعدی نظیر آنچه در سدهای وزنی متداول است مقدور نمی باشد. رفتار این نوع سدها به ویژه در حالات بارگذاری دینامیکی (مانند زلزله) بسیار پیچیده خواهد بود.

برخی از عوامل موثر که لحاظ کردن اثر آنها در درک بهتر رفتار لرزه ای این سازه ها ضروری است عبارتند از:

۱- رفتار غیر خطی سدهای بتنی قوسی

۲- اندرکنش سد و آب مخزن

۳- اندرکنش سد و پی

در ادامه هریک از این موارد بطور اجمالی توضیح داده می شوند.

۱-۲-۱- رفتار غیر خطی سدهای بتنی قوسی

باید در نظر داشت که عوامل مختلفی در رفتار غیر خطی سدهای بتنی قوسی تأثیر گذارند که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می شود.

۱-۲-۱-۱- رفتار غیر خطی ناشی از عملکرد بتن

بتن حجیم که در ساخت سدهای بتنی قوسی بکار می رود، ماده ای است غیر همگن که دارای رفتار متفاوتی در فشار و کشش می باشد. همچنین رابطه تنش و کرنش در آن دارای پیچیدگی های خاصی است.عواملی مانند مسیر بارگذاری، سرعت بارگذاری، درجه حرارت، میزان رطوبت، بارگذاریهای دراز مدت و... می توانند باعث تغییر در رابطه تنش- کرنش بتن شوند. برای مطالعه بیشتر در این زمینه می توان به پژوهشهای صورت گرفته از سوی لطفی، اسپندار و Noruziaan مراجعه کرد[40,1,6].

۱-۲-۱-۲- رفتار غیر خطی ناشی از ترک خوردگی بدنه

از دیگر عوامل بروز رفتار غیر خطی در سدهای بتنی، ایجاد ترک در بدنه آنهاست. به طور کلی، ایجاد دو نوع ترک در بدنه ی سدهای قوسی امکان پذیر است. دسته ی نخست، ترکهایی هستند که به دلیل شیوه اجرای سدهای قوسی در بدنه آنها به وجود می آیند. این ترکها در واقع نوعی گسستگی هندسی یا درز هستند که ویژگی بارزشان، قابل پیش بینی بودن محل ایجادشان است.

این نوع درزها خود به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- درزهای انقباضی (قائم)، که بین دو بلوک مجاور هم به وجود می آیند.

۲- درزهای پیرامونی (محیطی)، که در محل اتصال بدنه سد به سنگ پی ایجاد می گردند.

۳- درزهای اجرایی (افقی)، که به علت فاصله زمانی میان بتن ریزی دو لیفت متوالی ایجاد می شوند.