بسم الله الرحمن الرحيم

٣٤٨٢٥

۱۳۸۰ /۱۱/ ۲۰

مرکز اطلاعات علمی دانشگاه تهران

۳۴۸۲۵

دانشگاه تهران

دانشکدهٔ فنی

اندرکنش سد و مخزن
با شرط مرزی غیر انعکاسی

011628

نگارش: علیرضا معجمی

استاد راهنما: دکتر رضا عطارنژاد

پایان نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

در

رشتهٔ مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی

بهمن ۱۳۷۹

۳۴۸۲۵

بنام خدا

در چارچوب ارزیابی مرحلـه تحقیقـاتی مقطـع کارشناسـی ارشـد دانشـجویان دانشکده فنی دانشگاه تهران، پایان نامهٔ آقای علیرضا معجمی با عنوان "اندرکنش سـد و مخزن با شرط مرزی غیر انعکاسی"، در تاریخ ۷۹/۱۱/۳۰ در مقابل هیـات داوران مـورد دفاع قرار گرفت و با نمرهٔ ۱۹/۷۵ پذیرفته گردید.

اعضاء هیات داوران:

۱- دکتر رضا عطارنژاد (استاد راهنما) دانشکده فنی، دانشگاه تهران

۲- دکتر خسرو برگی دانشکده فنی، دانشگاه تهران

۳- دکتر شهرام وهدانی دانشکده فنی، دانشگاه تهران

چکیده: هدف از تحقیق حاضر، تحلیل دینامیک سد بتنی وزنی در برابر زلزله با در نظر گرفتن اندرکنش آن با مخزن می‌باشد. سد و مخزن به صورت دو زیر سازهٔ مجزا در نظر گرفته شده و برای مدلسازی هر دو محیط از روش اجزاء محدود استفاده شده است. به این ترتیب نخست هر دو سیستم بطور جداگانه بررسی شده و برای بارهای دینامیک تحلیل می‌گردند. سپس با ترکیب معادلات هر دو سیستم، به حل همزمان سیستم سد-مخزن پرداخته می‌شود.

در این تحقیق، آب بصورت غیر چسبنده و دارای تراکم پذیری خطی و مصالح سد ارتجاعی خطی در نظر گرفته می‌شوند. تحلیل بصورت دو بعدی بوده و در قلمرو فرکانس صورت می‌گیرد. از اندرکنش سد با پی صرفنظر شده است.

روش مورد استفاده برای حل معادلات اندرکنش بگونه‌ای است که معادلات سد را می‌توان با در نظر گرفتن تاثیر مخزن، اما بدون نیاز به حل مستقیم معادلات آن، حل نمود.

یکی از مسایل قابل توجه در مدل مخزن، مرز دوردست در مخازن نامحدود می‌باشد. شرط ایده‌آل برای این مرز به گونه ایست که امواج فشاری موجود در مخزن را منعکس نکرده و به آنها اجازهٔ انتشار به سوی محیط نامحدود بدهد. در این پایان نامه برای این مرز از شرطهای سومرفلد و شاران استفاده شده است.

بر این اساس برنامه‌ای کامپیوتری نوشته شده و کارایی آن به کمک چند مثال بررسی شده است. در مثالهای ارایه شده، نتایج شرایط مختلف برای مرز دور دست به ازای چند زلزله با یکدیگر مقایسه شده اند. در روند طراحی برنامه سعی شده انعطاف پذیری لازم جهت انجام تغییرات، بخصوص اعمال شرایط مرزی دیگر، در آن بوجود آید.

فهرست

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ مروری بر مطالعات و تحقیقات انجام شده ۵

۱-۳ دربارهٔ تحقیق حاضر ۹

فصل دوم: روشهای تحلیل دینامیک ۱۱

۲-۱ اصول کلی ۱۲

۲-۲ روشهای تحلیل مستقیم ۱٤

۲-۲-۱ حل در حوزهٔ زمان ۱٤

۲-۲-۲ حل در حوزهٔ فرکانس ۱٦

۲-۳ روش تحلیل مودال ۲۱

فصل سوم: تحلیل دینامیک سد ۲۵

۳-۱ مقدمه ۲٦

۳-۲ معادلات تعادل دینامیک و مدل ریاضی آن ۲٦

۳-۳ تحلیل استاتیک سد ۳۰

۳-٤ محاسبهٔ ماتریس میرایی ۳۳

۳-۵ تحلیل دینامیک سد ۳۵

۳-٦ محاسبهٔ تنشها ۳۸

فصل چهارم: تحلیل دینامیک مخزن ٤۰

٤-۱ مقدمه ٤۱

٤-۲ معادلهٔ انتشار امواج آکوستیک ٤۳

٤-۳ مدل ریاضی مخزن ٤۵

٤-۳-۱ نحوهٔ مدل سازی ٤٦

٤-۳-۲ معادلهٔ انتشار مواج هیدرودینامیک در حوزهٔ فرکانس ٤۷

٤-٣-٣ شرایط مرزی ٤٧
٤-٤ روش اجزاء محدود برای محیط مخزن ٥٦
٤-٥ تحلیل دینامیک مخزن و سد صلب ٦٠

فصل پنجم: تحلیل دینامیک سیستم سد-مخزن ٦٤

٥-١ مقدمه ٦٥
٥-٢ معادلات اندرکنش سد-مخزن ٦٥
٥-٣ مثال ٦٧
٥-٣-١ فشارهای هیدرودینامیک روی یک سد انعطاف پذیر ٦٨
٥-٣-٢ تحلیل دینامیک سد همراه با اندرکنش مخزن ٧٠
٥-٣-٣ تحلیل دینامیک سد نامنظم ٨٦

فصل ششم: نتیجه گیری ٨٨

٦-١ خلاصهٔ کار انجام شده ٨٩
٦-٢ نتایج ٨٩
٦-٣ پیشنهاد جهت ادامهٔ کار ٩٠

فصل هفتم: برنامه‌های کامپیوتری ٩٢

٧-١ مقدمه ٩٣
٧-٢ نحوهٔ ذخیره سازی ماتریسها ٩٥
٧-٣ زیربرنامه‌های خارجی ٩٧
٧-٤ روند کار در برنامهٔ FreDynIN ٩٨

مراجع ١٠٢

پیوستها ١٠٥

پیوست الف: اجزاء محدود ایزوپارامتریک ١٠٦
پیوست ب: نحوهٔ کار با برنامهٔ FreDynIN ١٠٩

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

مسالهٔ ایمنی سدهای بتنی در برابر زلزله در سالهای اخیر مورد توجه روز افزونی قرار گرفته و به عنوان عاملی عمده در طراحی سدهای جدید و برآورد ایمنی سدهای موجود در نواحی زلزله‌خیز مطرح شده است. افزایش اهمیت این موضوع عمدتاً به دو دلیل بوده است:

۱) خطرات ناشی از آسیب دیدگی سد به سبب افزایش جمعیت ساکن در نواحی پایین دست اکثر سدها همواره در حال افزایش است.

۲) با بروز زلزله‌های متعدد در نواحی مختلف جهان و افزایش میزان آگاهی در مورد طبیعت پیچیدهٔ حرکات زمین لرزه، تدابیر ایمنی اندیشیده شده در گذشته ناکافی به نظر می‌رسند و ضرورت انجام تحقیقات مداوم در این زمینه احساس می‌شود.

از سال ۱۹۲۸ و به دنبال شکست سد سنت *فرانسیس*[1] در کالیفرنیا، مشکلات خرابی سدهای بزرگ توجه بسیاری را به خود جلب نمود و زمینه ساز انجام تحقیقاتی گسترده در این زمینه شد. بررسی حوادث متعددی که از آن زمان تاکنون برای انواع مختلف سدها در بسیاری از نقاط جهان رخ داده اهمیت این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. در این زمینه می‌توان به دو سد بتنی *هسینفنگکیانگ*[2] در چین و *کوینا*[3] در هند اشاره نمود که در دههٔ ۱۹۶۰ در اثر زلزله آسیبهایی جدی به آنها وارد گردید. نمونهٔ دیگر سد سفیدرود است که در زلزلهٔ سال ۱۳۶۹ دچار آسیب دیدگی شد.

البته آمار موجود در این زمینه نشان می‌دهد که تاکنون هیچ سد بتنی در اثر زلزله دچار شکست کامل نشده است، در حقیقت تا به حال تنها دلیل تخریب سدهای بتنی شکستگی در پی آنها بوده است [۱]. با این حال این تاریخچهٔ نسبتاً خوب به هیچ وجه از اهمیت مسالهٔ ایمنی سدهای بتنی

---

[1] *St. Francis dam*

[2] *Hsinfengkiang*

[3] *Koyna*

در برابر زلزله نمی‌کاهد زیرا تاکنون هیچ سدی در برابر شدیدترین زلزلهٔ محتمل در حالت مخزن پر قرار نگرفته است.

در تلاشهای اولیه برای بررسی تاثیر زلزله، سدها بصورت صلب و بر روی یک بستر صلب در نظر گرفته می‌شدند. به این ترتیب نیروی موثر زلزله بر هر بخش سازه از حاصلضرب شتاب زلزله در جرم آن بخش بدست می‌آمد. بسیاری از سدهای بتنی وزنی موجود با استفاده از همین روشهای ساده طراحی و تحلیل شده‌اند. در این روشها نیروی زلزله به سادگی با نیروهای استاتیک جایگزین شده و با فشارهای هیدرواستاتیک و بارهای ثقلی ترکیب می‌شود. این روشهای سنتی طراحی ایجاب می‌کنند که یک ضریب اطمینان قابل توجه در برابر واژگونی، لغزش، و افزایش تنش - تحت تمام حالات بارگذاری محتمل - مورد نظر قرار گرفته و تنشهای فشاری کمتر از مقادیر مجاز باشند. تنشهای کششی اغلب مجاز نیستند و حتی اگر وجود داشته باشند، احتمال ترک خوردگی بتن بصورت جدی مد نظر قرار نمی‌گیرد. در این روشها معمولاً باور بر اینست که تنش عامل تعیین کننده‌ای در طراحی سدهای بتنی وزنی نیست و بیشتر بر ارضای معیارهای پایداری واژگونی و لغزش تاکید می‌شود [۱].

از اواخر دههٔ ۱۹۶۰ با بکارگیری روش اجزاء محدود[1] (FEM)، پیشرفت در روشهای تحلیل دینامیک، و دستیابی به کامپیوترهای سریع و پرحافظه، روش تحلیل پاسخ سدها به زلزله دستخوش تغییرات سریعی شد. از این دوره خواص ارتجاعی و همچنین جرم مصالح سد در مدلهای ریاضی در نظر گرفته شد و مشخص گردید که خصوصیات ارتعاشی سد (فرکانس و شکل مودها) در پاسخ سد به زلزله نقشی تعیین کننده دارند.

از سوی دیگر، آنچه که تحلیل پاسخ سدهای بتنی به زلزله را از مسایل معمولی دینامیک سازه‌ها پیچیده‌تر می‌سازد، اندرکنش سازهٔ سد با محیط اطرافش در هنگام زلزله است: اندرکنش سازهٔ

[1] *Finite Element Method*

سد با آب موجود در مخزن و همچنین اندرکنش آن با پی سنگی انعطاف پذیر.

در روشهای ابتدایی برای در نظر گرفتن اثر مخزن در زلزلهٔ سدهای بتنی، آب بصورت تراکم ناپذیر فرض می‌شد. نشان داده شده است که اثر آب در این حالت برابر با جرمی افزوده[1] بر بدنهٔ سد می‌باشد که هم‌فاز با سد به نوسان در می‌آید. تحقیقات بعدی نشان دادند که برای قابل قبول بودن این فرض باید نسبت فرکانس طبیعی اساسی مخزن به فرکانس طبیعی اساسی سد به حد کافی بزرگ باشد (در مورد سدهای وزنی بزرگتر از ۲). اما چنین شرطی معمولاً در سدهای بتنی صادق نمی‌باشد، از اینرو گروه مهندسی زلزله در سدهای بتنی[2] تراکم پذیری آب را عاملی با اهمیت در تعیین پاسخ زلزله برای اکثر سدهای بتنی قلمداد کرده است [۱]. در نتیجه برای در نظر گرفتن تاثیر امواج هیدرودینامیک بر پاسخ سد به زلزله باید بطور همزمان مخزن را نیز مدل کرد.

امروزه به دلیل قابلیت روش اجزاء محدود در تعریف مدلهای ریاضی با اشکال هندسی پیچیده و مصالح مختلف، در مدل سازی سدهای بتنی معمولاً از این روش استفاده می‌شود. از اینرو انتخاب آن برای حل معادلات مخزن می‌تواند هماهنگی مناسبی بین روشهای حل معادلات سد و مخزن پدید آورده و به میزان زیادی از پیچیدگی مساله بکاهد، اما مدل کردن مخازن بزرگ و نامحدود با این روش با دشواریهایی همراه است. چون گنجاندن کل مخزن در مدل کاری پرهزینه و غیر عملی است، ناگزیر باید مدل را در فاصلهٔ مناسبی از بدنهٔ سد قطع نمود. در هنگام زلزله، امواج فشاری دینامیک ایجاد شده در آب به سمت بالا دست مخزن منتشر شده و همراه با خود انرژی را از محیط دور می‌کنند. اما در مدل اجزاء محدود، این مرز قطع شده در حالت عادی با جلوگیری از انتشار امواج، موجب انعکاس آنها به داخل محیط می‌شود. در نتیجه باید با اعمال یک شرط مرزی انتشاری مناسب در این ناحیه، مدل عددی را هرچه بیشتر به شرایط واقعی مساله نزدیک نمود.

اندرکنش سد با بستر سنگی انعطاف پذیر نیز وضعیت کم و بیش مشابهی دارد، در این حالت

---

[1] *Added mass*

[2] *Panel on Earthquake Engineering for Concrete Dams*

امواج تنشی که در اثر زلزله در پی بوجود می‌آیند به سوی محیط نامحدود منتشر شده و انرژی را با خود دور می‌کنند. مشکل اصلی در اینجا نیز مدل کردن بخش محدودی از پی است به گونه‌ای که شرایط واقعی مساله را بوجود آورد.

سدهای وزنی و محیط آنها را اغلب می‌توان بصورت سیستمهای سادهٔ دو بعدی در نظر گرفت، به همین دلیل در اکثر تحقیقات تحلیل پاسخ اندرکنش نخست بر روی چنین سدهایی انجام گرفته و سپس در مراحل بعدی به منظور تحلیل سیستمهای سه بعدی و سدهای بتنی قوسی روش ارایه شده توسعه می‌یابد.

۱-۲ مروری بر مطالعات و تحقیقات انجام شده

همانگونه که قبلاً اشاره شد، تا قبل از توسعهٔ کامپیوترهای کنونی، اکثر تحقیقات انجام شده در زمینهٔ تحلیل دینامیک سدهای بتنی به روش تحلیلی بوده است. در سه دههٔ اخیر و با توسعهٔ همه جانبهٔ ابزارهای عددی و امکانات کامپیوتری، پیشرفتهای فراوانی در این زمینه پدید آمده است.

تا دههٔ ۱۹۷۰، بیشتر تحقیقات به دو مسالهٔ مجزا پرداخته‌اند:

۱) پاسخ سد به زلزله با صرفنظر از اثرات هیدرودینامیک، و

۲) فشارهای هیدرودینامیک بر روی یک سد صلب در طی زلزله.

اگر تاثیرات اندرکنش ناچیز باشد. این حل‌های مجزا را می‌توان ترکیب نمود و حل کامل پاسخ را بدست آورد.

وسترگارد[1] اولین کسی بود که در سال ۱۹۳۳ فشار هیدرودینامیک آب را بر روی سدهای بتنی وزنی تحت تاثیر حرکت هارمونیک افقی زمین محاسبه کرد [۲]. وی در تحقیق خود حل تحلیلی کاملی در حوزهٔ فرکانس برای یک مدل دو بعدی با سیال تراکم ناپذیر و سد صلب با طول نامحدود و بالا دست قائم ارایه کرد. او توزیع فشار را برای فرکانسهای کوچک بدست آورد. در این فرکانسها،

[1] *H. M. Westergaard*

تراکم پذیری سیال تاثیر ناچیزی دارد از اینرو می‌توان اثر فشارهای هیدرودینامیک را با جرم افزوده معادل دانست.

سپس *کوتسوبو*[1] به بررسی این مسأله پرداخت و نشان داد که حل وسترگارد تنها برای ارتعاشاتی با فرکانس کمتر از فرکانس طبیعی مخزن صادق است [۳]. وی اثرات تشدید را مد نظر قرار داد و با استفاده از روش *انتگرال کانوولوشن*[2] نتایج را برای یک تحریک کاملاً نامنظم (مانند زلزله) بدست آورد.

مسالهٔ دو بعدی تعیین فشارهای هیدرودینامیک بر روی یک سد صلب توسط *چوپرا*[3] دنبال شد [٤]. وی با بررسی تاثیر تراکم پذیری آب بر پاسخ فشار هیدرودینامیک مخزن نشان داد که برای سیال تراکم ناپذیر، حل وسترگارد برای تمام فرکانسهای بارگذاری صادق است. اما در سدهای بلند، تاثیر تراکم پذیری آب بر پاسخ فشار هیدرودینامیک در فرکانسهای بالا قابل توجه می‌باشد. چوپرا و همکارانش سپس مدل خود را به سد انعطاف پذیر با درنظر گرفتن اندرکنش گسترش دادند [٥]؛ اثرات جذب انرژی کف مخزن را در نظر گرفتند [٦]، و اندرکنش سد با فونداسیون انعطاف پذیر را نیز لحاظ نمودند [۷]. تمام تحقیقات فوق توسط چوپرا و همکارانش بر اساس مدلهای تحلیلی صورت گرفته است.

چوپرا و *هال*[4] در گام بعدی، سد و ناحیهٔ نزدیک مخزن[5] را به وسیلهٔ اجزاء محدود و ناحیهٔ دور مخزن[6] را با یک روش نیمه تحلیلی و بصورت ترکیبی از اجزاء محدود در عمق و محیط پیوسته در جهت بالادست مدل کردند [۸]. بکار گیری روش اجزاء محدود برای ناحیهٔ نزدیک مخزن، بررسی مخازن با شکل هندسی نامنظم را میسر می‌سازد. آنان سپس روش خود را به مدل سه بعدی تعمیم دادند [۹]. در پژوهش انجام گرفته توسط *اسلامی* نیز از مخزن نیمه بی‌نهایت بصورت محیط پیوسته استفاده شده است. وی در مدل خود اندرکنش سد و پی را بگونهٔ کاملی در نظر گرفته است [۱۰].

---

[1] *S. Kotsubo*
[2] *Convolution Integral*
[3] *A. K. Chopra*
[4] *J. F. Hall*
[5] *Reservoir Nearfield*
[6] *Reservoir Farfield*

همانگونه که گفته شد مدل کردن مخازن بزرگ و نامحدود با روش اجـزاء محـدود نیـازمند استفاده از تکنیکهای خاصی است و از اینرو تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است.

یکی از قدیمی‌ترین روشها برای مدل کردن ناحیـهٔ دور در مخـازن نـامحدود، شـرط مـرزی *سومرفلد*[1] می‌باشد که نخستین بار توسط *زینکویچ*[2] و همکارش برای ایجاد یک مرز انتشاری (بجـای مرز انعکاسی) در ناحیهٔ قطع شده بکار گرفته شد [۱۱، ۱۲].

ساینی[3] و همکارانش برای ناحیهٔ دور در مخازن نامحدود از اجزاء نامحدود[4] استفاده کرده‌انـد [۱۳]. توابع شکل این اجزاء نامحدود دارای زوال نمایی است.

شاران[5] برای ناحیهٔ قطع شده، یک شرط مرزی غیر انعکاسی ارایه نموده است [۱٤، ۱۵]. ایـن روش با وجود سادگی نتایج نسبتاً خوبی داده و در مقایسه با سایر روشهای متعارف بـه مـدل کـردن ناحیهٔ کوچکتری از مخزن نیاز دارد. او سپس روشی با در نظر گرفتن اثرات جـذب انـرژی در بسـتر مخزن معرفی نمود [۱٦].

لطفی و همکارانش برای مدل کردن این ناحیـه از المانـهای نیمـه بی‌نـهایت مـایع[6] اسـتفاده کرده‌اند [۱۷]. *مظفری* نیز در تحقیق خود از چنین روشی بـهره بـرده اسـت [۱۸]. ایـن المانـها بطـور تئوری برای استفاده در سدهایی با وجه بالا دست قائم کاربرد دارند.

اخیراً *واتانابه*[7] و همکارش در تحقیقی برای این ناحیه از یک مرز لزج[8] استفاده کرده‌اند [۱۹]. آنان در این روش اثرات جذب انرژی در رسوبات کف مخزن نیز منظور نموده‌اند.

از روش المانهای مرزی[9] (BEM) نیز برای مدل کردن سـد و مخـزن اسـتفاده شـده اسـت. *هومار*[10] و همکارش از این روش برای بدست آوردن فشارهای هیدرودینامیک بر روی یک سد صلب با در نظر گرفتن اثرات بستر انعطاف پذیر و نیز ارتعاشات قائم استفاده کرده‌اند [۲۰].

---

[1] *Sommerfeld*
[2] *O. C. Zienkiewicz*
[3] *S. S. Saini*
[4] *Infinite Elements*
[5] *S. K. Sharan*
[6] *Fluid Hyperelement*
[7] *H. Watanabe*
[8] *Viscous*
[9] *Boundary Element Method*
[10] *J. L. Humar*

لیو[1] و همکارش در مقالهٔ خود برای مدل کردن مخزن از روش المانهای مرزی و برای سد از یک تیر ارتجاعی استفاده نموده اند. در روش آنان برای ناحیهٔ دور مخزن از *المانهای مختلط*[2] استفاده شده است [۲۱].

خاجی ترکیبی از روش اجزاء محدود در بخش سد و روش المانهای مرزی در بخش مخزن همراه با شرط مرزی سومرفلد برای ناحیهٔ دور را بکار برده است [۲۲].

پژوهشهایی که تاکنون به آنها اشاره شد بر اساس حل معادلات دینامیک در قلمرو فرکانس استوار هستند. این روش گرچه برای مسایل اندرکنشی ایده‌آل می‌نماید، در مسایل غیر خطی کاربرد چندانی ندارد. ازاینرو تحقیقات دیگری نیز برای حل معادلات اندرکنش سد و مخزن در حوزهٔ زمان صورت گرفته است [روشهای حل مسایل دینامیک بطور خلاصه در فصل دوم توضیح داده شده‌اند].

شاران و همکارش در یکی از مقالات خود روشی برای تحلیل سیستم سد-مخزن در حوزهٔ زمان ارایه کرده اند. در این روش برای محیط مخزن از متغیر فشار به عنوان مجهول استفاده شده، و اشارهٔ مستقیمی به نوع مرز انتشاری مورد استفاده نگردیده است [۲۳].

نظریان در تحقیق خود سعی نموده است که ترکیب روش‌های اجزاء محدود برای ناحیه نزدیک و اجزاء نامحدود برای ناحیهٔ دور مخزن را در حوزهٔ زمان بکار گیرد. وی در مدل خود برای منظور نمودن اثرات جذب انرژی امواج در بستر مخزن از مدل انتشار یک بعدی موج چوپرا استفاده کرده است [۲٤].

از کارهای قابل توجه در این زمینه می‌توان به پژوهشهای انجام شده توسط *سای*[3] و همکارانش اشاره نمود. آنان در مقالات متعدد خود برای تحلیل سیستم سد-مخزن در حوزهٔ زمان به ارایهٔ یک مرز انتشاری برای ناحیهٔ دور مخزن پرداخته‌اند [۲۵ و ۲٦].

---

[1] *P. L.-F. Liu*

[2] *Hybrid Elements*

[3] *C. S. Tsai*

۱-۳ دربارهٔ تحقیق حاضر

هدف از این پایان نامه بررسی رفتار سدهای بتنی وزنی در برابر زلزله با در نظر گرفتن اندرکنش سد-مخزن می‌باشد. فرضیات اساسی در این تحلیل به این شرح است:

- تحلیل بصورت دو بعدی صورت می‌گیرد.
- مصالح بدنهٔ سد الاستیک خطی می‌باشند.
- مخزن در جهت بالادست تا بی‌نهایت ادامه دارد.
- آب مخزن غیرچسبنده، غیر چرخشی و دارای تراکم پذیری خطی می‌باشد.
- از اندرکنش سد و پی انعطاف پذیر صرفنظر می‌گردد.

در این تحقیق، ابتدا سیستمهای سد و مخزن به عنوان دو زیرسازهٔ مجزا مورد بررسی قرار گرفته‌اند و سپس با ترکیب آنها، به تحلیل همزمان سیستم سد-مخزن با در نظرگرفتن اثرات آنها بر یکدیگر در هنگام زلزله پرداخته شده است. در تحلیل هر دو زیرسازهٔ سد و مخزن از روش اجزاء محدود استفاده شده است. در هر کدام از این مراحل، برنامه‌ای کامپیوتری ارایه شده و کارایی آن به کمک مثالهایی نشان داده شده است. برای مدل کردن مخازن نامحدود، از شرایط مرزی شاران (۱۹۸۷) و سومرفلد استفاده شده و نتایج این دو روش با یکدیگر مقایسه شده اند. در این پایان نامه برای انجام تحلیل دینامیک از روش حل مستقیم معادلات در حوزهٔ فرکانس استفاده می‌شود.

خلاصهٔ سایر فصلها به این شرح است:

- در فصل دوم ضمن مروری کلی بر روشهای رایج در تحلیل دینامیک سازه‌ها، روش مستقیم در حوزهٔ فرکانس شرح داده می‌شود،
- در فصل سوم زیر سازهٔ سد بطور جداگانه تحلیل می‌شود،
- در فصل چهارم زیر سازهٔ مخزن بطور جداگانه و با فرض سد صلب مورد تحلیل قرار می‌گیرد،
- در فصل پنجم با ترکیب این دو زیر سازه، به تحلیل دینامیک سیستم سد-مخزن با در نظر گرفتن اندرکنش پرداخته می‌شود. برای بررسی کارایی برنامهٔ ارایه شده، چند مثال مورد تحلیل قرار