



دانشکده مهندسی (گروه عمران)

استخراج منحنی های شکنندگی برای سد های بتنی قوسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی عمران گرایش سازه های هیدرولیکی

دانشجو:

حبیب زمانی

استاد راهنما:

دکتر جواد مرادلو

استاد مشاور:

دکتر کیارش ناصر اسدی

مهر ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وما هر چیز زنده را از آب آفریدیم.

سوره انبیا- آیه ۳۰

تقدیم ہے:

پدرم و مادرم و مادرم و مادرم

تقدیر و تشکر

خداوند متعال را شکر گزارم که با امید به الطاف او این تحقیق آغاز و به انجام رسید و به یاری او توانستم این مقطع تحصیلی را نیز طی نمایم.

تقدیر و تشکر از پدر و مادر عزیزم که همواره مایه دلگرمی ام بوده اند. از خداوند متعال آرزوی سلامتی برای این دو کوه کران بهای زندگی ام را دارم.

صمیمانه ترین تشکر و سپاس گزارم تقدیم به استاد راهنمای عزیز و بزرگوارم جناب آقای دکتر جوادی که در طول دوره تحصیلی الگوی اخلاق و علم اینجانب بودند. باید است و راهنمایی های ارزنده ایشان بود که طی این مسیر ممکن شد.

از جناب آقای دکتر کیارش ناصر اسدی بابت مشاوره در طول دوره تحصیلی نهایت تشکر را دارم.

در پایان از دوست و همکلاسی عزیزم جناب آقای مهندس حسن هاشمی بابت راهنمایی های ارزنده شان تشکر می نمایم.

چکیده:

از دیر باز شناخت پدیده طبیعی زلزله همواره ذهن انسان ها را به خود مشغول کرده است. زلزله یکی از پدیده های غیرقابل پیش بینی چه از لحاظ زمان وقوع و چه از لحاظ شدت می باشد. جهان خسارت های زیادی را از وقوع این پدیده به یاد دارد. به همین دلیل محققان در طول تاریخ، ساخت سازه های مقاوم در برابر زلزله را یکی از اهداف اصلی خود قرار داده اند. محققان در طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله همواره با عوامل غیر قطعی زیادی مواجه هستند که در هنگام طراحی، در نظر گرفتن مقدار مناسب برای هر یک از این عوامل جای سوال را در ذهن باقی می گذارد. پیش بینی و برآورد میزان آسیب وارده به سازه قبل و بعد از وقوع زلزله و تاثیر هر یک از این پارامتر های عدم قطعیت بر روی ایمنی سازه توسط توابع آسیب پذیری لرزه ای امکان پذیر است. منحنی های شکنندگی یکی از راهکار های مناسب برای این کار می باشد. از نتایج منحنی های شکنندگی محققین قادرند میزان خرابی وارده به سازه را تخمین بزنند. حالت های خرابی که ایمنی سازه وابستگی زیادی به آن دارد را تشخیص داده و عوامل تاثیر گذار را طوری در نظر می گیرند که در طراحی های بعدی این حالات خرابی دیرتر به وقوع بپیوندد و ضریب اطمینان سازه در برابر تحریک زمین افزایش یابد. بطور خلاصه برای استخراج این منحنی ها تعریف شاخص های خرابی و انجام چندین تحلیل دینامیکی و یا استاتیکی در کنار یک آنالیز احتمالاتی لازم و ضروریست. در این تحقیق به بررسی و مطالعه منحنی های شکنندگی برای سدهای بتنی قوسی (سد بتنی قوسی کرج) پرداخته شده است. اندرکنش کامل دینامیکی آب و سازه با احتساب تراکم پذیری سیال و مرزهای جاذب انرژی لحاظ شده است. همچنین از اندرکنش پی و سازه صرف نظر شده و پی به صورت صلب مدل شده است. در این مطالعه رفتار غیرخطی مادی بتن سد در تحلیل ها با استفاده از مدل ترک پخشی ثابت مدل شده است. این منحنی ها برای سد بتنی قوسی کرج برای دو شاخص خرابی تغییر مکان تاج سد و حجم بتن آسیب دیده استخراج شده است. منحنی ها بر اساس دو حالت حدی متفاوت و چهار سطح عملکرد خرابی کم، خرابی متوسط، خرابی شدید و کامل ترسیم شده است. با بررسی تاثیر شاخص های خرابی بر روی منحنی های شکنندگی ملاحظه می شود که تفاوت زیادی در نتایج منحنی ها وجود دارد، بطوری که برای رکورد $g = 0.25$ سد برای شاخص خرابی تغییر مکان تاج به ۱۰۰ درصد احتمال می رسد. ولی برای شاخص حجم آسیب دیده، هیچ قسمت سد دچار ترک خوردگی نمی شود. همچنین نتایج نشان می دهد که سد کرج برای زلزله در سطح MCE برای شاخص خرابی حجم آسیب دیده از مقاومت و پایداری مناسب برخوردار است.

کلمات کلیدی:

آسیب پذیری لرزه ای، منحنی های شکنندگی، سدهای بتنی قوسی، تحلیل دینامیکی غیر خطی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بارگذاری و روش های تحلیل سدهای بتنی قوسی ۲

۱-۳- لزوم بررسی آسیب پذیری و تعریف خطر پذیری ۴

۱-۴- اهداف پایان نامه ۷

۱-۵- روش تحقیق ۷

۱-۶- نوآوری پایان نامه ۷

۱-۷- ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم: مروری بر تئوری آسیب پذیری لرزه ای و تحقیقات محققین بر روی سد های بتنی... ۹

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- توابع برآورد خطرپذیری لرزه ای ۱۰

۲-۲-۱- روش های ارزیابی کلی ۱۰

۲-۲-۲- روش های ارزیابی کیفی ۱۱

۲-۲-۳- روش های ارزیابی کمی ۱۲

۲-۳- روش های استخراج منحنی شکنندگی ۱۵

۲-۳-۱- روش تجربی (استفاده از داده های یک زلزله واقعی) ۱۵

۲-۳-۲- قضاوت مهندسی ۱۵

۲-۳-۳- روش تحلیلی ۱۶

۲-۴- تحلیل مورد نیاز برای آنالیز شکنندگی ۱۷

۲-۴-۱- تکنیک استاتیکی غیر خطی ۱۷

۲-۴-۲- تکنیک دینامیکی غیر خطی ۱۷

۲-۵- تعریف احتمالاتی منحنی شکنندگی ۱۸

۲-۶- نحوه ترسیم منحنی شکنندگی ۲۰

- ۲۱-۷-۲- دقت منحنی های شکنندگی
- ۲۲-۸-۲- کاربرد اصلی منحنی های شکنندگی
- ۲۵-۹-۲- سطوح عملکرد
- ۲۵-۱-۹-۲- سطوح عملکرد سازه ای
- ۲۶-۲-۹-۲- سطوح عملکرد غیرسازه ای
- ۲۷-۱۰-۲- شاخص های خرابی یا خسارت
- ۲۷-۱-۱۰-۲- شاخص خرابی موضعی
- ۲۸-۱-۱-۱۰-۲- شاخص های خرابی موضعی غیرتجمعی
- ۲۸-۲-۱-۱۰-۲- شاخص خرابی موضعی تجمعی
- ۲۸-۲-۱۰-۲- شاخص خرابی ترکیبی
- ۲۹-۳-۱۰-۲- شاخص های خرابی کلی
- ۲۹-۱-۳-۱۰-۲- شاخص میانگین وزنی
- ۳۰-۲-۳-۱۰-۲- شاخص بر حسب پارامترهای مودی
- ۳۰-۳-۳-۱۰-۲- شاخص نرم شوندگی
- ۳۱-۱۱-۲- توسعه آسیب پذیری شکنندگی برای سازه های بتنی توسط محققین مختلف
- ۳۱-۱-۱۱-۲- تحقیق الینگوود و همکاران
- ۳۱-۲-۱۱-۲- توسعه شاخص های خرابی
- ۳۲-۳-۱۱-۲- ترسیم و استخراج منحنی ها
- ۳۴-۲-۱۱-۲- تحقیق قائمیان و همکاران
- ۳۴-۱-۲-۱۱-۲- توسعه معیار شاخص خرابی و سطوح عملکرد برای سدهای بتنی وزنی
- ۳۵-۲-۲-۱۱-۲- ترسیم منحنی شکنندگی
- ۳۶-۳-۱۱-۲- آسیب پذیری لرزه ای سد های بتنی وزنی و سنگ ریزه ای کانادا
- ۳۹-۴-۱۱-۲- خلاصه مطالعات دیگر محققین
- ۳۹-۱-۴-۱۱-۲- وزیر و همکاران
- ۳۹-۲-۴-۱۱-۲- معرفت و همکاران
- ۴۰-۳-۴-۱۱-۲- یامازاکی و همکاران
- ۴۰-۴-۴-۱۱-۲- ناطق الهی و همکاران

- ۲-۱۱-۴-۵- شینوزوکا و همکاران ۴۰
- ۲-۱۱-۴-۶- جوانسکا و همکاران ۴۱
- ۲-۱۲- جمع بندی ۴۱

فصل سوم: ویژگی های یک مدل جامع برای شبیه سازی سدهای بتنی برای آنالیز لرزه ای ... ۴۳

- ۳-۱- مقدمه ۴۴
- ۳-۲- روش عددی مناسب و موثر برای آنالیز ۴۴
- ۳-۳- مدلی برای احتساب اثر اندر کنش دینامیکی سد و پی ۴۴
- ۳-۳-۱- روش پی بدون جرم ۴۵
- ۳-۳-۲- روش پی جرم دار ۴۶
- ۳-۴- مدلی برای احتساب اثر اندر کنش دینامیکی سد و مخزن ۴۶
- ۳-۴-۱- معادله ی دیفرانسیل حاکم بر انتشار امواج فشار هیدرو دینامیکی در محیط مخزن ۴۷
- ۳-۴-۲- شرایط مرزی برای حل معادله ی Helmholtz ۴۷
- ۳-۴-۲-۱- مرز انتهای دور مخزن ۴۸
- ۳-۴-۲-۲- مرز بین مخزن و دیواره ی اطراف و بستر آن ۴۸
- ۳-۴-۲-۳- سطح آزاد مخزن ۴۹
- ۳-۴-۲-۴- مرز بین سد و مخزن ۴۹
- ۳-۴-۳- روش حل معادلات کوپله سیستم ۴۹
- ۳-۵- مدلی برای آنالیز رفتار واقعی مصالح مصرفی ۵۰
- ۳-۵-۱- رفتار بتن قبل از ترک خوردگی ۵۱
- ۳-۵-۲- ضابطه ای برای جوانه زنی و رشد ترک ۵۱
- ۳-۵-۲-۱- ضابطه مقاومت ۵۱
- ۳-۵-۲-۲- ضابطه مکانیک شکست ۵۲
- ۳-۵-۳- مقاومت برشی بتن ترک خورده ۵۲
- ۳-۵-۴- رفتار بتن بعد از ترک کامل ۵۳
- ۳-۵-۵- مدل های اجزای محدود برای آنالیز گسترش ترک ۵۳

- ۳-۶- مدل مکانیک شکست برای بتن حجیم در المان solid65 ۵۴
- ۳-۷- مدل کردن درزه ها و ناپیوستگی ها در سد های بتنی (قوسی) ۵۸
- ۳-۷-۱- تقسیم بندی المان درزه ۵۹
- ۳-۷-۲- ماتریس ضرایب سختی ۵۹
- ۳-۷-۳- حالت های مختلف رفتار المان درز ۶۱
- ۳-۷-۳-۱- رفتار المان درز قبل از باز شدگی ۶۱
- ۳-۷-۳-۲- معیار بازشدگی المان ۶۲
- ۳-۷-۳-۳- رفتار المان بعد از بازشدگی ۶۲
- ۳-۸- مروری بر تحقیقات انجام گرفته بر روی سدهای بتنی قوسی ۶۳

فصل چهارم: معرفی سد کرج و انجام تحلیل های دینامیکی غیر خطی ۶۵

- ۴-۱- معرفی و مشخصات هندسی سد کرج ۶۶
- ۴-۲- خصوصیات مصالح ۷۰
- ۴-۳- مدل المان محدود ۷۰
- ۴-۳-۱- بدنه سد ۷۰
- ۴-۳-۲- مخزن ۷۱
- ۴-۴- انجام آنالیزهای مورد نیاز برای صحت سنجی مدل ۷۳
- ۴-۴-۱- تحلیل پایداری (مخزن خالی) ۷۳
- ۴-۴-۲- تحلیل استاتیکی ۷۳
- ۴-۴-۳- انجام آنالیز مودال برای سیستم سد با و بدون مخزن ۷۵
- ۴-۴-۴- بررسی مدل سد و دریاچه توسط آنالیز دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی ۸۲
- ۴-۵- نحوه انتخاب رکوردهای زلزله برای بارگذاری های دینامیکی غیرخطی ۸۵
- ۴-۶- مروری بر روش های اصلاح رکوردهای زلزله ۹۱
- ۴-۷- انجام تحلیل های تاریخچه زمانی ۹۳
- ۴-۸- جمع بندی ۱۰۱

فصل پنجم: استخراج منحنی های شکنندگی.....۱۰۲

۱-۵- مقدمه۱۰۳

۲-۵- شاخص خرابی و حالات حدی شکست۱۰۳

۳-۵- توزیع آماری مناسب۱۰۶

۴-۵- استخراج منحنی های شکنندگی۱۰۷

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات۱۰۸

۱-۶- نتیجه گیری۱۱۵

۲-۶- پیشنهادات۱۱۶

مراجع.....۱۱۸

واژه نامه۱۲۲

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): منحنی IDA و ظرفیت سازه بر مبنای طراحی بر اساس عملکرد ۴
- شکل (۱-۲): نمونه ای از منحنی خطر زلزله بر حسب PGA و احتمال رخداد سالیانه برای منطقه‌ای مشخص... ۱۳
- شکل (۲-۲): منحنی خطر نهایی برای شهر زنجان بر حسب PGA و احتمال رخ داد سالیانه زمین لرزه ۱۳
- شکل (۳-۲): فرم مربوط به استخراج منحنی شکنندگی به روش قضاوت مهندسی ۱۶
- شکل (۴-۲): منحنی توزیع نرمال تابع برازش بر منحنی شکنندگی ۱۹
- شکل (۵-۲): نمونه ای از منحنی شکنندگی بر حسب حداکثر شتاب افقی زمین ۲۱
- شکل (۶-۲): روند انجام آنالیز شکنندگی برای تحلیل های دینامیکی غیر خطی ۲۱
- شکل (۷-۲): سطوح خرابی مختلف و منحنی شکنندگی مربوطه در روش HAZUS ۲۷
- شکل (۸-۲): طبقه بندی حالات خسارت و ارتباط آن با اندیس خرابی ۳۰
- شکل (۹-۲): منحنی شکنندگی برای شاخص خرابی بند الف ۳۲
- شکل (۱۰-۲): منحنی شکنندگی برای شاخص خرابی بند ب ۳۳
- شکل (۱۱-۲): منحنی شکنندگی برای شاخص خرابی بند ج ۳۳
- شکل (۱۲-۲): منحنی شکنندگی برای شاخص خرابی بند د ۳۴
- شکل (۱۳-۲): منحنی شکنندگی بر اساس طول ترک در قاعده سد برای پی بدون جرم ۳۵
- شکل (۱۴-۲): منحنی شکنندگی بر اساس طول ترک در قاعده سد برای پی جرم دار ۳۶
- شکل (۱۵-۲): منحنی شکنندگی بر اساس مساحت المان های ترک خورده بدنه سد برای پی بدون جرم ۳۶
- شکل (۱۶-۲): منحنی شکنندگی بر اساس مساحت المان های ترک خورده بدنه سد برای پی جرم دار ۳۶
- شکل (۱۷-۲): رابطه میان حداکثر شتاب زمین با احتمال سالانه آن در یک سایت منتخب ۳۷
- شکل (۱۸-۲): منحنی شکنندگی برای سد های غرب کانادا ۳۸
- شکل (۱۹-۲): منحنی شکنندگی سدهای بتنی شرق و غرب کانادا ۳۹
- شکل (۲۰-۲): مقایسه سطح اطمینان برای سه آیین نامه متفاوت ۳۹
- شکل (۱-۳): مدل سد، مخزن و امواج مولد نیروهای هیدرو دینامیکی ۴۶
- شکل (۲-۳): مرزهای اندرکنشی سیستم سد - پی - مخزن ۴۸
- شکل (۳-۳): نمایش سه بعدی سطح شکست بتنی پیشنهادی و پلیام و وارانکه ۵۶
- شکل (۴-۳): نمایش سطح شکست بتن در حالت تنش دو بعدی ۵۶

- شکل (۳-۵): نمودار المان ترک خورده در المان solid65 ۵۷
- شکل (۳-۶): رابطه تنش- کرنش برای انواع مدل های درزه ۶۰
- شکل (۳-۷): مدل فیزیکی آزمایش میز لرزان ۶۴
- شکل (۴-۱): نمایی از ساختگاه سد کرج ۶۸
- شکل (۴-۲): مشخصات هندسی طره مرکزی سد کرج ۶۹
- شکل (۴-۳): شکل شماتیک قوس های افقی سد کرج ۶۹
- شکل (۴-۴): مشخصات هندسی المان های Solid 45 و Solid 65 در نرم افزار Ansys ۷۱
- شکل (۴-۵): مدل شبکه المان محدود بدنه سد ۷۱
- شکل (۴-۶): مشخصات هندسی المان Fluid 30 در نرم افزار Ansys ۷۲
- شکل (۴-۷): مدل شبکه المان محدود مخزن سد ۷۲
- شکل (۴-۸): پوش تغییر مکان جهات اصلی و تغییر مکان کلی سد تحت بار وزن سد ۷۴
- شکل (۴-۹): توزیع تنش های مینیمم و ماکزیمم در بدنه سد تحت بارگذاری وزن سد ۷۴
- شکل (۴-۱۰): توزیع تنش های مینیمم و ماکزیمم در بدنه سد تحت بارگذاری استاتیکی ۷۵
- شکل (۴-۱۱): پوش تغییر مکان کلی سد تحت بار استاتیکی برای دو روش فشار نرم افزاری و وجود مخزن ۷۵
- شکل (۴-۱۲): مقایسه شبکه بندی بدنه سد برای دو مدل حاضر و مرجع ۷۶
- شکل (۴-۱۳): شش مود اول ارتعاش طبیعی سد بدون مخزن ۷۷
- شکل (۴-۱۴): مودهای ارتعاش طبیعی پنجم تا هشتم سد همراه با مخزن ۷۸
- شکل (۴-۱۵): مقایسه مقادیر فرکانس های طبیعی سد با و بدون مخزن با مدل مرجع ۷۹
- شکل (۴-۱۶): شبکه بندی بدنه سد برای آنالیز مودال مدل دوم (شبکه بندی ریزتر) ۸۰
- شکل (۴-۱۷): مودهای ارتعاش طبیعی منتخب سد بدون مخزن برای مدل دوم (شبکه بندی ریزتر) ۸۰
- شکل (۴-۱۸): مودهای ارتعاش طبیعی دوم و سوم سد همراه با مخزن برای مدل دوم (شبکه بندی ریزتر) ۸۱
- شکل (۴-۱۹): مقایسه مقادیر فرکانس های طبیعی ارتعاش برای دو حالت پر و خالی مخزن ۸۱
- شکل (۴-۲۰): مقایسه مقادیر فرکانس های طبیعی ارتعاش برای حالت مخزن خالی بین دو شبکه بندی ریز و درشت ۸۲
- شکل (۴-۲۱): مدل شبکه بندی سد و دریاچه برای آنالیز صحت سنجی با مرجع (رفوئی) ۸۳
- شکل (۴-۲۲): مولفه های رکورد زلزله سانتاکروز بدون مقیاس سازی ۸۳
- شکل (۴-۲۳): مقایسه تاریخچه تغییر مکان تاج سد در جهت رودخانه برای مدل حاضر و مرجع ۸۴

- شکل (۴-۲۴): نمودار بزرگی و فاصله برای شتاب‌نگاشت‌های منتخب ۸۶
- شکل (۴-۲۵): مولفه‌های رکوردهای منتخب بدون مقیاس سازی برای آنالیزهای لرزه ای ۹۰
- شکل (۴-۲۶): مدت دوام حرکات شدید زلزله های منتخب ۹۱
- شکل (۴-۲۷): مدل شبکه بندی سد- دریاچه ۹۳
- شکل (۴-۲۸): تاریخچه زمانی تغییر مکان تاج برای هر ۸ رکورد زلزله با مقیاس $0/8$ g ۹۵
- شکل (۴-۲۹): مقادیر حداقل و حداکثر تغییر مکان های تاج برای رکوردها ۹۷
- شکل (۴-۳۰): مدل بدنه سد ترک خورده برای تمامی رکوردها در مقیاس $0/8$ g ۱۰۰
- شکل (۴-۳۱): درصد حجم بتن کل ترک خورده برای رکوردهای منتخب ۱۰۱
- شکل (۵-۱): مقادیر حداکثر تغییر مکان های مثبت تاج سد برای سه رکورد منتخب برای تعیین حالت حدی ۱۰۴
- شکل (۵-۲): نتایج تاریخچه زمانی تغییر مکان تاج سد برای سه رکورد منتخب ۱۰۵
- شکل (۵-۳): توزیع ترک بالا و پایین دست سد در زلزله Tabas برای 1.2 g ۱۰۵
- شکل (۵-۴): توزیع ترک بالا و پایین دست سد در زلزله Cape برای 1 g ۱۰۶
- شکل (۵-۵): توزیع ترک بالا و پایین دست سد در زلزله Kobe برای 0.8 g ۱۰۶
- شکل (۵-۶): برآزش داده ها با توزیع نرمال ۱۰۷
- شکل (۵-۷): برآزش داده ها با توزیع لوگ نرمال ۱۰۷
- شکل (۵-۸): منحنی شکنندگی بر اساس تغییرمکان تاج برای حالت حدی آغازتغییرمکان غیرخطی و سطح خرابی کم ۱۰۸
- شکل (۵-۹): منحنی شکنندگی بر اساس تغییرمکان تاج برای حالت حدی آغازتغییرمکان غیرخطی و سطح خرابی متوسط ۱۰۸
- شکل (۵-۱۰): منحنی شکنندگی بر اساس تغییرمکان تاج برای حالت حدی آغازتغییرمکان غیرخطی و سطح خرابی شدید ۱۰۹
- شکل (۵-۱۱): منحنی شکنندگی بر اساس تغییرمکان تاج برای حالت حدی آغازتغییرمکان غیرخطی و سطح خرابی کامل ۱۰۹
- شکل (۵-۱۲): منحنی شکنندگی بر اساس تغییرمکان تاج برای حالت حدی تغییرمکان واگرایی و سطح عملکرد خرابی کم ۱۱۰
- شکل (۵-۱۳): منحنی شکنندگی بر اساس تغییرمکان تاج برای حالت حدی تغییرمکان واگرایی و سطح عملکرد خرابی متوسط ۱۱۰

- شکل (۵-۱۴): منحنی شکنندگی بر اساس تغییرمکان تاج برای حالت حدی تغییرمکان واگرایی و سطح عملکرد خرابی شدید ۱۱۰
- شکل (۵-۱۵): منحنی شکنندگی بر اساس تغییرمکان تاج برای حالت حدی تغییرمکان واگرایی و سطح عملکرد خرابی کامل ۱۱۱
- شکل (۵-۱۶): منحنی شکنندگی بر اساس حجم بتن آسیب خورده برای سطح عملکرد خرابی کم ۱۱۲
- شکل (۵-۱۷): منحنی شکنندگی بر اساس حجم بتن آسیب خورده برای سطح عملکرد خرابی متوسط ۱۱۲
- شکل (۵-۱۸): منحنی شکنندگی بر اساس حجم بتن آسیب خورده برای سطح عملکرد خرابی شدید ۱۱۲
- شکل (۵-۱۹): منحنی شکنندگی بر اساس حجم بتن آسیب خورده برای سطح عملکرد خرابی کامل ۱۱۳

فهرست جداول

- جدول (۱-۲): سطوح مختلف خرابی برای بیان درصد هزینه خرابی ۲۴
- جدول (۲-۲): طبقه بندی حالات خسارت لرزه ای مبنی بر انرژی و تغییر شکل توسط گوبرا و همکارانش ۳۱
- جدول (۳-۲): تعریف حالات خسارت بر اساس گزارش ATC_13 ۳۸
- جدول (۱-۳): مقایسه مدل ترک مجزا و ترک پخشی ۵۳
- جدول (۲-۳): پارامترهای ورودی مقاومتی شکست بتن ۵۵
- جدول (۳-۳): مقادیر پارامترهای مقاومتی شکست بتن برای المان در Solid 65 ۵۷
- جدول (۱-۴): مشخصات کلی سد کرج ۶۸
- جدول (۲-۴): مشخصات هندسی قوس های افقی سد کرج ۶۹
- جدول (۳-۴): مشخصات الاستیک و مقاومتی بتن و سنگ پی ۷۱
- جدول (۴-۴): مقادیر فرکانس های طبیعی سد با و بدون مخزن برای تحقیق حاضر و مرجع ۷۶
- جدول (۵-۴): مقادیر فرکانس های طبیعی سد با و بدون مخزن برای مدل دوم آنالیز مودال (شبکه بندی ریزتر) ۷۹
- جدول (۶-۴): شتاب حرکت زمین برای ساختگاه سد کرج در سطوح مختلف طراحی ۸۴
- جدول (۷-۴): مشخصات شتابنگاشتهای انتخابی برای تحلیل های تاریخچه زمانی (PEER) ۸۶
- جدول (۸-۴): مقادیر ضرایب ثابت برای روش مقیاس سازی مستقیم ۹۲
- جدول (۹-۴): مشخصات الاستیک بتن برای انجام آنالیز دینامیکی ۹۳
- جدول (۱۰-۴): مقادیر تغییر مکان حداکثر و حداقل تاج سد در راستای رودخانه (سانتی متر) ۹۶
- جدول (۱۱-۴): مقادیر حجم بتن ترک خورده بدنه و تاج برای رکوردهای مختلف ۱۰۰
- جدول (۱-۵): نتایج حجم خرابی در بدنه و تاج سد برای تعیین حالت حدی خرابی ۱۰۵
- جدول (۲-۵): پارامترهای مربوط به آنالیز شکنندگی ۱۰۵

فصل یک:

کلیات

سدها با مهار سیلاب ها و جریان های سطحی نیاز بشر را برای استفاده از آب در کارهای کشاورزی، صنعت، تولید انرژی و شرب تأمین می کنند. بنابراین با توجه به این گونه نیازها، خرابی یک سد می تواند خسارات مادی و جانی زیادی به بار داشته باشد. بررسی پایداری سدها همواره مورد توجه محققان قرار گرفته است. زلزله پدیده طبیعی است که همواره سدها را تهدید می کند. بنابر این عملکرد این گونه سازه ها در برابر زلزله از اهمیت فراوانی برخوردار است. پیش‌بینی میزان آسیب وارده به سازه‌ها در برابر شدت معینی از حرکت لرزه‌ای زمین از اهمیت زیادی برخوردار است. این پیش‌بینی می‌تواند مبنای بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها برای مقاوم‌سازی سازه‌ها باشد. نسل جدید از روش‌های برآورد عملکرد، بر مبنای ارزیابی ریسک سازه‌ها می‌باشد. احتمال خرابی سازه در بحثی به عنوان خطر پذیری لرزه ای بررسی می‌شود. در این بحث از روش های تابع خطر زلزله^۱، تابع آسیب پذیری^۲ و تابع شکنندگی^۳ برای میزان عملکرد سازه و برآورد خرابی آنها استفاده می‌شود. توابع شکنندگی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ای را به ازای مقادیر مختلف یکی از پارامترهای نشان دهنده شدت حرکت زمین به دست می‌آورد. این توابع بصورت ترسیمی انجام شده و بنام منحنی‌های شکنندگی^۴ شناخته می‌شوند. در ترسیم منحنی‌های شکنندگی ابتدا سطوح مختلف خرابی تعریف شده و برای هر یک از این سطوح احتمال فراگذاشت از آن بر حسب یکی از پارامترهای شدت حرکت زمین ترسیم می‌گردد. بنابر توصیه ICOLD^۵ بهترین روش برای تحلیل و پایداری سد های بتنی قوسی تحلیل دینامیکی غیر خطی می باشد.

۱-۲- بارگذاری و روش های تحلیل سدهای بتنی قوسی

اولین قدم برای تحلیل سد های بتنی بررسی کیفیت و کمیت نیرو های مختلف و محتمل وارد بر سد میباشد. بطور کلی این نیروها عبارتند از : وزن سد ، نیروی ناشی از فشار آب ، نیروی بالا برنده ، نیروی موج ، نیروی ناشی از رسوب، نیروی ناشی از یخ ، نیروی ناشی از باد ، نیروی ناشی از تغییرات درجه حرارت و زلزله . بنابر توصیه ICOLD سدهایی که در مناطق زلزله خیز ساخته می شوند بایستی به گونه ای طراحی شوند تا بتوانند نیروهای ناشی از شدیدترین زلزله محتمل (MCE)^۶ را در طول عمر مفیدشان تحمل نمایند. موسسه

¹ Earthquake Hazard Function

² Vulnerability Function

³ Fragility Function

⁴ Fragility Curves

⁵ International Commission on Large Dams

⁶ Maximum Credible Earthquake

USBR¹ سه سطح بارگذاری عادی، غیر عادی و فوق العاده را برای بارگذاری سد ها پیشنهاد کرده است. در حالت عادی تاثیر همزمان بار مرده، نیروی فشارآب سرآب و پایاب، نیروی ناشی از رسوبات، یخ و برکنش در نظر گرفته می شود. در بار گذاری فوق العاده سطح بارگذاری عادی به اضافه زلزله در سطح MCE منظور میشود [۱].

با نگاهی گذرا به روند پیشرفت روش های آنالیز سد های بتنی قوسی، چنین به نظر می آید که آنالیز با استفاده از روابط ساده و محاسبه تنش برای یک استوانه جداره نازک با در نظر گرفتن قوس ها به صورت مستقل انجام می شد. با گذشت زمان روش هایی همچون روش بار آزمون و روش های عددی که بتوانند شرایط سه بعدی سد را در نظر بگیرند، به وجود آمدند. روشن است که روش های آزمایشگاهی و ساخت مدل های فیزیکی در صورتی که توجیه اقتصادی داشته باشند بسیار مفید خواهند بود.

روش شبه استاتیکی یک روش سنتی در تحلیل سد ها می باشد که در این روش نیروی زلزله در راستایی که کمترین پایداری را برای سازه ایجاد می کند، وارد می شود. در این روش نمی توان اثرات غیرخطی، اثرات اندرکنشی و خصوصیات زلزله را در نظر گرفت [۲].

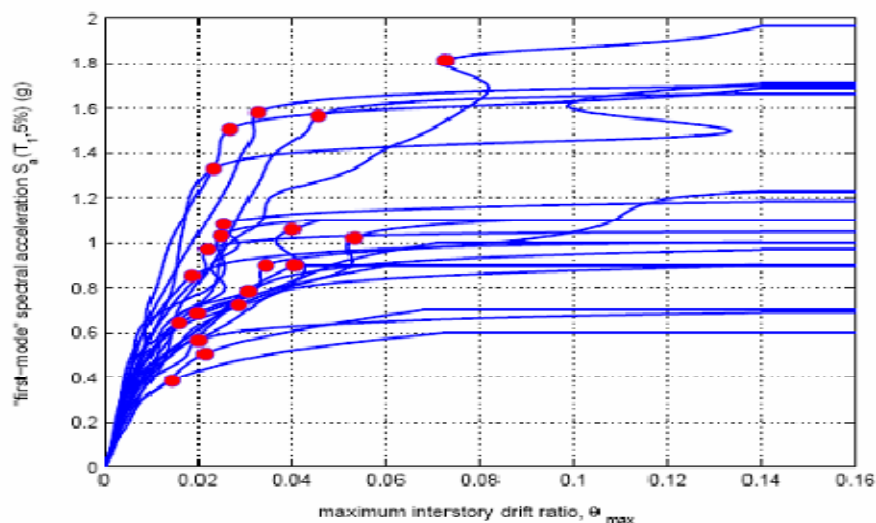
در روش تحلیل ساده شده نیروهای جانبی معادل زلزله از مشخصات و اطلاعات مربوط به مود ارتعاش اصلی سازه و طیف طراحی زلزله محاسبه می شوند. در این روش به دلیل تقریب های متوالی که در اندرکنش آب با سازه و پی زده می شود، نتایج بدست آمده دچار تقریب زیادی می گردند. در روش طیف بازتاب ماکزیمم پاسخ سازه برای هر مود تحریک زلزله از روی طیف استاندارد زلزله که بر اساس شدت، خاک منطقه و دوره بازگشت بدست می آید، محاسبه می شود. از آنجایی که پاسخ نهایی از بر هم نهی نتایج بدست می آید از این روش تحلیل نمی توان برای سازه هایی که وارد ناحیه غیرخطی می شوند، استفاده کرد [۳].

با پیدایش روش های عددی و ثبت رکورد های مختلف زلزله، تحلیل تاریخچه زمانی که در هر لحظه رفتار سازه را نشان می دهد، به وجود آمده است. تحلیل تاریخچه زمانی خطی در دو فضای فرکانسی و زمانی انجام می پذیرد. عیب عمده این روش این است که هنگامی که سد وارد ناحیه غیر خطی می شود (تحت زلزله های شدید) دیگر قادر به تحلیل نمی باشد. زیرا اولاً این روش نمی تواند از اصل بر هم نهی استفاده کند. ثانیاً اثر کاهش سختی و افزایش میرایی (به علت ترک) از اعتبار این روش می کاهد.

در تحلیل های تاریخچه زمانی غیرخطی که فقط در بازه زمانی انجام می پذیرد، می توان پارامترهای خطی و غیرخطی گوناگونی را در نظر گرفت. پیچیدگی روش غیرخطی به دلیل پدیده باز توزیع نیروهای داخلی پس از

¹ United States Bureau of Reclamation

شروع ترک در یک ناحیه و اثر آن بر دیگر المان ها می باشد. روش تحلیل دینامیکی افزایشی^۱ (IDA) روش تحلیل پارامتری است که به چندین شکل مختلف برای تخمین عملکرد سازه پدیدار شده است. ایده اولیه این روش در سال ۱۹۷۷ توسط Bertero ارائه شد [۴]. این روش بعدها توسط آیین نامه FEMA^۲ با عنوان تحلیل دینامیکی افزایشی ارائه شد. در این روش یک مدل سازه را تحت یک یا چند بار زلزله قرار می دهند که دامنه هر کدام در چند تراز مختلف می باشد. بنابراین یک یا چند منحنی واکنش در مقابل زلزله رسم می شود. از تحلیل چندین رکورد زلزله و با تعیین حالات حدی در منحنی های IDA و استفاده از روش های آماری می توان ظرفیت سازه را برای ریسک دلخواه تعیین کرد. این روش از دقیق ترین روش های تحلیل انواع سازه ها می باشد. به دلیل افزایش تدریجی شدت زلزله می توان رفتار سازه را از آغاز در حالت خطی و سپس با ایجاد ترک و گسترش آن را بدست آورده و به صورت منحنی رسم کرد و از آن برای ارزیابی سازه استفاده نمود. شکل (۱-۱).



شکل (۱-۱): منحنی IDA و ظرفیت سازه بر مبنای طراحی بر اساس عملکرد

مرجع معتبری که در آن به استفاده از روش تحلیل دینامیکی افزایشی برای تحلیل سدها اشاره شده باشد، در دسترس نیست. به نظر می رسد تحقیقات چندانی در این زمینه انجام نگرفته است.

۱-۳- لزوم بررسی آسیب پذیری و تعریف خطر پذیری

طرح خوب برای سازه ها، این است که به اندازه کافی در مقابل هر حالت ضعف و ناتوانی، مقاوم بوده و در عین حال به اندازه کافی اقتصادی و مقرون به صرفه باشد. یک مشخصه مهم در این پروسه، تعیین حداکثر احتمال خرابی مجاز برای سازه های موجود است که بتوان با تجربیات مکتسبه در این مسیر، آیین نامه های آتی را

¹ Incremental Dynamic Analysis

² Federal Emergency Management Agency