بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده عمران

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- گرایش سازه هیدرولیکی

اثر مدل‌های مختلف incoherency و جهت انتشار امواج بر رفتار لرزه‌ای سدهای بتنی قوسی

استاد راهنما:

دکتر حسن میرزابزرگ

دانشجو:

قاسم صولت

تابستان ۱۳۹۲

نگارنده بر خود می‌داند که از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر میرزابزرگ در راستای انجام این پایان‌نامه تشکر و قدردانی نماید

همچنین از راهنمایی‌های جناب آقای مهندس ورمزیاری، دانشجوی دکترای دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، نیز کمال تشکر را دارم.

.

چکیده

به طور کلی حرکات متغیر زمین تحت اثر زلزله به طور قابل توجهی می‌تواند بر روی پاسخ یک سازه با بستر وسیع به خصوص سدها تأثیر گذار باشند. این حرکات متغیر زمین ناشی از سه اثر تأخیر عبور موج، عدم انسجام و پاسخ خاک محلی می‌باشند که در این مطالعه دو اثر تأخیر عبور مو ج و عدم انسجام لحاظ شده‌اند. در این تحقیق، پاسخ دینامیکی خطی و غیرخطی (درز) سیستم سد-مخزن-پی سد بتنی دو قوسی دز، تحت تحریک‌های یکنواخت و غیریکنواخت با استفاده از روش المان محدود مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، تاریخچه زمانی‌های شتاب با انتشار در دو جهت بالادست-پایین‌دست و عرضی، با در نظرگیری سرعت‌های مختلف (۱۴۰۰، ۲۴۰۰، ۳۴۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر بر ثانیه) بر اساس یک روش تکرارشونده شبیه‌سازی حرکت متغیر زمین، سازگار با طیف پاسخ اعمال شده، در نرم‌افزار MATLAB ایجاد شده‌اند. همچنین اندرکنش سد-دریاچه و نیز اندرکنش سد-پی با مدل‌سازی پی جرم‌دار، در نظر گرفته شده‌اند. توزیع فشار هیدرودینامیکی دریاچه با استفاده از معادلات موج و فرضیات تراکم پذیری خطی سیال و ویسکوزیته ناچیز استخراج شده است. شرایط مرزی Helmholtz برای سه مرز دریاچه و شرط مرزی Sommerfeld برای انتهای دور برای حل معادلات حرکت دریاچه و در انتهای دور پی شرایط مرزی ویسکوز تعریف شده‌اند. همچنین تحریک سیستم به صورت هم‌زمان تحت سه مؤلفه زلزله می‌باشد. نتایج نشان می-دهند که فرض غیریکنواخت بودن زلزله‌ی ورودی که با واقعیت انطباق بیشتری دارد، باعث کاهش تنش‌های فشاری و کششی در بدنه‌ی سد می‌شود. نتیجه‌ی مهم دیگر این که در تحلیل‌های خطی، اثر پدیده تأخیر عبور موج بر اثر عدم انسجام غالب می‌باشد.

کلمات کلیدی: سد بتنی دو قوسی دز، تحلیل خطی، تحریک یکنواخت و غیریکنواخت، توابع انسجام، اندرکنش پی-سد-مخزن.

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول: پیشگفتار

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق ۲

۱-۳- تعریف مسئله ۳

۱-۴- هدف از مطالعه ۳

۱-۵- نوآوری‌ها ۳

۱-۶- ساختار تحقیق ۳

فصل دوم: مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- کارهای پیشین ۶

۲-۳- جمع‌بندی ۱۴

فصل سوم: تئوری تحریک غیر یکنواخت بر اثر زلزله

۳-۱- کلیات ۱۶

۳-۲- مروری بر مدل‌های حرکات لرزه ای غیر یکنواخت ۲۰

۳-۳- اثر تحریک غیریکنواخت بر روی پاسخ سازهای ۲۲

۳-۴- روش تولید تاریخچه زمانی‌های مختلف حرکت زمین ۲۲

۳-۵- فرآیندهای اتفاقی نا مانا سه-متغیره تصادفی ۲۳

۳-۶- مورد خاص، روش برداری اتفاقی نا مانا به صورت یکنواخت تعدیل شده ۲۵

۳-۷- فرمول‌های شبیه‌سازی ۲۶

۳-۷-۱- فرمول شبیه‌سازی مورد خاص ۲۸

۳-۸- الگوریتم تکرار شونده شبیه‌سازی حرکت متغیر زمین ۲۸

۳-۹- توابع استفاده شده در پایان‌نامه حاضر ۳۱

۳-۱۰- مقادیر پارامترهای مدل ۳۳
۳-۱۱- جمع‌بندی ۳۴
فصل چهارم: اندرکنش سازه-پی و روش‌های مدل‌سازی پی در سدهای بتنی
۴-۱- مقدمه ۳۶
۴-۲- روش‌های کلی مدل‌سازی پی در سازه‌ها ۳۶
۴-۲-۱- روش مستقیم ۳۷
۴-۲-۲- روش زیرسازه ۳۸
۴-۲-۳- روش پی بدون جرم ۳۹
۴-۲-۴- روش پی جرم‌دار ۴۰
۴-۳- مدل‌سازی پی در برنامه‌های رایج تحلیل سدهای بتنی ۴۰
۴-۴- نحوه‌ی مدل‌سازی شرایط مرزی برای محیط‌های نیمه بینهایت ۴۱
۴-۴-۱- شرایط لازم برای عدم انعکاس امواج در مرزها ۴۲
۴-۴-۲- روش المان‌های نامحدود (Infinite Element) ۴۳
۴-۴-۳- شرط مرزی ویسکوز (Lysmer) ۴۴
۴-۵- جمع‌بندی ۴۶
فصل پنجم: مطالعه موردی سد دز و تولید تاریخچه زمانی‌های متغیر شتاب
۵-۱- معرفی سد دز ۴۹
۵-۱-۱- مشخصات هندسی سد دز ۵۱
۵-۱-۲- شرایط زمین‌شناسی ۵۴
۵-۱-۳- لاغری سد ۵۴
۵-۲- مدل المان محدود سیستم سد-دریاچه-پی ۵۵
۵-۲-۱- نرم افزارهای المان محدود ۵۵
۵-۲-۲- مدل‌سازی در ANSYS ۵۵

۵-۳- مشخصات مصالح ۵۹
۵-۳-۱- خصوصیات مکانیکی پی و تکیه‌گاه ۵۹
۵-۳-۲- خصوصیات بتن حجیم ۶۰
۵-۳-۳- رفتار دینامیکی مصالح ۶۰
۵-۳-۴- خصوصیات رسوب ۶۰
۵-۳-۵- خصوصیات آب مخزن ۶۰
۵-۴- بارگذاری سیستم ۶۱
۵-۴-۱- بار وزن ۶۱
۵-۴-۲- فشار هیدروستاتیک مخزن ۶۲
۵-۴-۳- بارگذاری حرارتی ۶۲
۵-۴-۴- بارگذاری لرزه‌ای ۶۳
۵-۵- مدل عددی به کار گرفته شده ۶۳
۵-۵-۱- رفتار خطی الاستیک ۶۳
۵-۵-۲- مدل غیر خطی المان درز ۶۴
۵-۶- تولید تاریخچه زمانی‌های متغیر (تحریک غیریکنواخت) ۶۶
۵-۶-۱- تاریخچه زمانی‌های تحریک یکنواخت ۶۶
۵-۶-۲- طیف پاسخ شتاب برای مؤلفه‌های تحریک یکنواخت ۷۰
۵-۶-۳- توابع تعدیل ۷۱
۵-۶-۴- تاریخچه زمانی غیر یکنواخت ۷۲
۵-۶-۵- تطابق طیف‌های پاسخ شتاب ۷۳
۵-۶-۶- توابع چگالی طیفی توان ۷۴
فصل ششم: نتایج تحلیل‌های خطی و غیر خطی
۶-۱- دورنمای کلی ۷۷

۶-۲- صحت سنجی نتایج تحلیل غیریکنواخت ۷۷
۶-۳- نتایج تحلیل‌های خطی سیستم سد-پی-مخزن تحت تحریک‌های مختلف زلزله ۷۸
۶-۳-۱- تنش‌های اصلی حداکثر (کششی) بر رویه‌های بالادست و پایین‌دست بدنه سد ۷۸
۶-۳-۲- تنش‌های اصلی حداقل (فشاری) بر رویه‌های بالادست و پایین‌دست بدنه سد ۸۲
۶-۴- نتایج تحلیل غیرخطی بدنه سد تحت تحریک‌های زلزله ۸۶
۶-۴-۱- تنش‌های اصلی حداکثر (کششی) در رویه‌های بالادست و پایین‌دست بدنه سد ۸۶
۶-۴-۲- تنش‌های اصلی حداقل (فشاری) در رویه‌های بالادست و پایین‌دست بدنه سد ۹۰
فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۷-۱- نتیجه‌گیری ۹۸
۷-۲- پیشنهادها ۹۹
۸- مراجع ۱۰۰

فهرست اشکال | شماره صفحه

شکل ۲-۱: ابعاد واقعی سد وزنی بتنی Sariyar واقع در ترکیه ۸

شکل ۲-۲: مدل المان محدود سیستم سد-پی-دریاچه سد وزنی بتنی Sariyar ۸

شکل ۲-۳: مقطع عرضی سد خاکی Santa Felicia ۹

شکل ۳-۱: نمودار شتاب ثبت شده در ایستگاه‌های با ۲۰۰ متر فاصله ۱۶

شکل ۳-۲: آرایش لرزه‌نگار SMART 1 واقع در Lotung, Taiwan ۱۶

شکل ۳-۳: تصویر انتشار و پراکندگی موج وابسته به زلزله ۱۸

شکل ۳-۴: الگوریتم تکراری شبیه‌سازی تاریخچه زمانی شتاب سازگار با طیف پاسخ ۳۱

شکل ۴-۱: محیط‌ها و مرزهای مورد مطالعه در آنالیزهای اندرکنشی خاک و سازه ۳۷

شکل ۴-۲: نحوه انتشار امواج پس‌رونده و پیش‌رونده بعد از تحریک ۴۲

شکل ۴-۳: المان خطی سه گره‌ای ۴۳

شکل ۴-۴: نحوه مدل‌سازی شرایط مرزی ویسکوز ۴۵

شکل ۴-۵: تغییرات نسبت انرژی برای زاویه برخوردهای مختلف برای امواج P ۴۶

شکل ۴-۶: تغییرات نسبت انرژی برای زاویه برخوردهای مختلف برای امواج S ۴۶

شکل ۵-۱: سد دو قوسی دز ۵۰

شکل ۵-۲: موقعیت سد دز ۵۰

شکل ۵-۳: جانمایی سد و تجهیزات آن ۵۲

شکل ۵-۴: تیپ مقطع عمودی سد دز ۵۲

شکل ۵-۵: نمای پایین‌دست سد ۵۳

شکل ۵-۶: ضریب لاغری سد ۵۵

شکل ۵-۷: مدل المان محدود پی و بدنه سد ۵۶

شکل ۵-۸: مدل المان محدود مخزن به همراه شرایط مرزی ۵۶

شکل ۵-۹: شمای کلی المان مکعبی SOLID45 ..... ۵۷

شکل ۵-۱۰: شمای کلی المان مکعبی FLUID30 ..... ۵۷
شکل ۵-۱۱: شمای کلی المان CONTAC52 ..... ۵۸
شکل ۵-۱۲: شمای کلی المان COMBI14 ..... ۵۹
شکل ۵-۱۳: درزهای عمودی و محیطی ۵۹
شکل ۵-۱۴: مراحل ساخت نه‌گانه شبیه‌سازی شده در سد دز ۶۱
شکل ۵-۱۵: فشار هیدروستاتیک بر روی بالادست بدنه سد و PULVINO بر حسب پاسکال ۶۲
شکل ۵-۱۶: تغییرات دمای سالیانه در محل ساخت‌گاه سد دز ۶۲
شکل ۵-۱۷: شرایط دمایی زمان تحلیل لرزه‌ای در تابستان ۶۳
شکل ۵-۱۸: فلوچارت محاسبه نیرو در درزها ۶۴
شکل ۵-۱۹: رابطه‌ی نیرو-تغییر مکان درزها ۶۵
شکل ۵-۲۰: تاریخچه زمانی شتاب مقیاس شده و تصحیح شده، مؤلفه ی افقی شرقی-غربی (زلزله Duzce در ایستگاه Lamont ۱۰۶۱، سطح خطر MCL) ۶۶
شکل ۵-۲۱: تاریخچه زمانی شتاب مقیاس شده و تصحیح شده، مؤلفه‌ی افقی شمالی-جنوبی (زلزله Duzce در ایستگاه Lamont ۱۰۶۱، سطح خطر MCL) ۶۷
شکل ۵-۲۲: تاریخچه زمانی شتاب مقیاس شده و تصحیح شده، مؤلفه ی قائم (زلزله Duzce در ایستگاه Lamont ۱۰۶۱، سطح خطر MCL) ۶۷
شکل ۵-۲۳: تاریخچه زمانی شتاب مقیاس شده و تصحیح شده، مؤلفه‌ی افقی شرقی-غربی در عمق ۳۰۰ متری از سطح زمین ۶۸
شکل ۵-۲۴: تاریخچه زمانی شتاب مقیاس شده و تصحیح شده، مؤلفه ی افقی شمالی-جنوبی در عمق ۳۰۰ متری از سطح زمین ۶۹
شکل ۵-۲۵: تاریخچه زمانی شتاب مقیاس شده و تصحیح شده، مؤلفه ی قائم در عمق ۳۰۰ متری از سطح زمین ۶۹
شکل ۵-۲۶: جهت انتشار موج، بالادست-پایین‌دست ۷۰
شکل ۵-۲۷: جهت انتشار موج، جهت عرضی ۷۰

شکل ۵-۲۸: طیف پاسخ شتاب برای تاریخچه زمانی شتاب، مؤلفه افقی شرقی-غربی ۷۱
شکل ۵-۲۹: طیف پاسخ شتاب برای تاریخچه زمانی شتاب، مؤلفه افقی شمالی-جنوبی ۷۱
شکل ۵-۳۰: طیف پاسخ شتاب برای تاریخچه زمانی شتاب، مؤلفه قائم ۷۱
شکل ۵-۳۱: منحنی توابع تعدیل، ۱۴ ایستگاه، جهت انتشار بالادست- پایین‌دست ۷۲
شکل ۵-۳۲: منحنی توابع تعدیل، ۲۳ ایستگاه، جهت انتشار عرضی ۷۲
شکل ۵-۳۳: تاریخچه زمانی شتاب مؤلفه‌ی افقی شرقی-غربی، جهت انتشار بالادست-پایین‌دست، ایستگاه ۱ (V=1400 m/s) ۷۳
شکل ۵-۳۴: تاریخچه زمانی شتاب، مؤلفه‌ی قائم، جهت انتشار عرضی، ایستگاه ۱ (V=1400 m/s) ۷۳
شکل ۵-۳۵: تطابق طیف پاسخ تاریخچه زمانی شتاب تولید شده (مؤلفه افقی شرقی-غربی) با طیف پاسخ اعمال شده، ایستگاه ۱، جهت انتشار بالادست-پایین‌دست (V=1400 m/s) ۷۳
شکل ۵-۳۶: تطابق طیف پاسخ تاریخچه زمانی شتاب تولید شده (مؤلفه افقی شمالی-جنوبی) با طیف پاسخ اعمال شده، ایستگاه ۲۳، جهت انتشار عرضی (V=1400 m/s) ۷۴
شکل ۵-۳۷: تطابق طیف پاسخ تاریخچه زمانی شتاب تولید شده (مؤلفه قائم) با طیف پاسخ اعمال شده، ایستگاه ۱، جهت انتشار عرضی (V=1400 m/s) ۷۴
شکل ۵-۳۸: منحنی تابع چگالی طیفی تاریخچه زمانی شتاب، مؤلفه افقی شرقی-غربی، ایستگاه ۱، جهت انتشار بالادست-پایین‌دست (V=1400 m/s) ۷۵
شکل ۵-۳۹: منحنی تابع چگالی طیفی تاریخچه زمانی شتاب، مؤلفه افقی شمالی-جنوبی، ایستگاه ۱۲، جهت انتشار عرضی (V=1400 m/s) ۷۵
شکل ۶-۱: مقایسه تغییر مکان تاج سد در جهت عرضی تحت تحریک یکنواخت و غیریکنواخت (V-10000 m/s) ۷۷
شکل ۶-۲: مقایسه تغییر مکان تاج سد در جهت بالادست-پایین دست تحت تحریک یکنواخت و غیریکنواخت (V-10000 m/s) ۷۷
شکل ۶-۳: پوش‌های غیر همزمان تنش اصلی حداکثر رویه بالادست سد، تحلیل‌های خطی برای شرایط مختلف جهت و سرعت انتشار موج زلزله (مگا پاسکال) ۷۸
شکل ۶-۴: پوش‌های غیر همزمان تنش اصلی حداکثر رویه پایین‌دست سد، تحلیل‌های خطی برای

شرایط مختلف جهت و سرعت انتشار موج زلزله (مگا پاسکال) ۸۰

شکل ۶-۵: نمودار تغییرات ماکزیمم تنش‌های کششی با تغییر سرعت انتشار موج برای جهت‌های مختلف انتشار موج زلزله، تحلیل‌های خطی ۸۱

شکل ۶-۶: پوش‌های غیر همزمان تنش اصلی حداقل رویه بالادست سد، تحلیل‌های خطی برای شرایط مختلف جهت و سرعت انتشار موج زلزله (مگا پاسکال) ۸۲

شکل ۶-۷: پوش‌های غیر همزمان تنش اصلی حداقل رویه پایین‌دست سد، تحلیل‌های خطی برای شرایط مختلف جهت و سرعت انتشار موج زلزله (مگا پاسکال) ۸۴

شکل ۶-۸: نمودار تغییرات ماکزیمم تنش‌های فشاری با تغییر سرعت انتشار موج برای جهت‌های مختلف انتشار موج زلزله، تحلیل‌های خطی ۸۵

شکل ۶-۹: پوش‌های غیر همزمان تنش اصلی حداکثر رویه بالادست سد، تحلیل‌های غیرخطی برای شرایط مختلف جهت و سرعت انتشار موج زلزله (مگا پاسکال) ۸۷

شکل ۶-۱۰: پوش‌های غیر همزمان تنش اصلی حداکثر رویه پایین‌دست سد، تحلیل‌های غیرخطی برای شرایط مختلف جهت و سرعت انتشار موج زلزله (مگا پاسکال) ۸۸

شکل ۶-۱۱: نمودار تغییرات ماکزیمم تنش‌های کششی با تغییر سرعت انتشار موج برای جهت‌های مختلف انتشار موج زلزله، تحلیل‌های غیرخطی ۹۰

شکل ۶-۱۲: پوش‌های غیر همزمان تنش اصلی حداقل رویه بالادست سد، تحلیل‌های غیرخطی برای شرایط مختلف جهت و سرعت انتشار موج زلزله (مگا پاسکال) ۹۱

شکل ۶-۱۳: پوش‌های غیر همزمان تنش اصلی حداقل رویه پایین‌دست سد، تحلیل‌های غیرخطی برای شرایط مختلف جهت و سرعت انتشار موج زلزله (مگا پاسکال) ۹۲

شکل ۶-۱۴: نمودار تغییرات ماکزیمم تنش‌های فشاری با تغییر سرعت انتشار موج برای جهت‌های انتشار مختلف، تحلیل غیرخطی ۹۴

جدول ۵-۱: مشخصات عمومی سد ۵۱
جدول ۵-۲: پارامترهای در نظر گرفته شده برای تحلیل دینامیکی سد دز ۶۰
جدول ۶-۱: مقایسه بیشترین مقادیر تنش‌های اصلی حداکثر (کششی)، تحلیل‌های خطی سد دز ۸۱
جدول ۶-۲: مقایسه بیشترین مقادیر تنش‌های اصلی حداقل (فشاری)، تحلیل‌های خطی سد دز ۸۵
جدول ۶-۳: مقایسه بیشترین مقادیر تنش‌های اصلی حداکثر (کششی)، تحلیل‌های غیرخطی سد دز... ۸۹
جدول ۶-۴: مقایسه بیشترین مقادیر تنش‌های اصلی حداقل (فشاری)، تحلیل‌های غیرخطی سد دز..... ۹۴
جدول ۶-۵: مقایسه تنش‌های کششی با جهت‌ها و سرعت‌های مختلف انتشار موج، تحلیل‌های خطی و غیرخطی سد دز ۹۵
جدول ۶-۶: مقایسه تنش‌های فشاری با جهت‌ها و سرعت‌های مختلف انتشار موج، تحلیل‌های خطی و غیرخطی سد دز ۹۵

فصل اول

پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

از دیر باز، پدیده مخرب و زیان‌بار زلزله، زندگی بشر را دست‌خوش تغییر قرار داده و انسان همواره به دنبال راهی برای کاهش خسارات ناشی از آن بوده است. در این میان، کشورهایی که بر روی کمربند زلزله واقعند، بیشتر در تماس با این امر می‌باشند. با پیشرفت فن‌آوری‌های ساخت سازه‌های مختلف مسکونی، ضروری و صنعتی و نیز با گسترش مطالعات و دانش روز مهندسان از زمین‌لرزه، گرایش ساخت به سوی بنای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله میل نموده است. از طرف دیگر سازه‌های ضروری از قبیل سدها، نیروگاه-ها، خطوط لوله، پل‌ها و غیره که در زندگی انسان اهمیت حیاتی دارند، نیازمند توجه بیشتر در این امر می-باشند. با این حال با توجه به گستردگی این سازه‌ها و متغیرهای مختلفی که وجود دارند، هنوز موارد مختلف و جوانب مجهولی وجود دارند که نیازمند شروع مطالعات جدید و یا عمق دادن بیشتر به تحقیقات انجام شده، می‌باشد. به تبع، در این تحقیق اثر زلزله و به ویژه تغییرات آن بر سازه و رفتار سد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در زمینه‌ی اثر زلزله بر سازه‌هایی از قبیل سد و غیره تحقیقات زیادی انجام شده است و در اغلب آن‌ها همچون مسائل مهندسی دیگر، فرضیات ساده کننده‌ای به کار گرفته شده است. از جمله این که معمولاً فرض می‌شود که سازه‌ها به طور یکنواخت تحت تحریک لرزه‌ای قرار می‌گیرند و تنها در موارد معدودی تغییرات زلزله در ابعاد سازه مورد نظر لحاظ شده است. این موضوع برای سازه‌هایی که تأثیر این پدیده روی آن‌ها ناچیز و یا قابل چشم‌پوشی است، نادیده گرفته می‌شود ولی در سازه‌های مهم‌تر مثل نیروگاه‌ها، خطوط لوله، پل‌ها و سدهای قوسی بایستی مورد توجه قرار گیرد.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

سازه سد نقش کلیدی در تأمین آب شرب، کشاورزی و انرژی برقابی دارد. سد از جمله سازه‌های استراتژیک است که میلیون‌ها متر مکعب آب را در پشت خود ذخیره می‌کند و در صورت بروز حادثه‌ای که منجر به شکست آن گردد، عواقب ناشی از شکست تنها منحصر به خود سازه نبوده و با جاری شدن سیلاب ناشی از شکست، صدمات جبران ناپذیری به بار می‌آورد. بنابراین لازم است برآورد صحیحی از بارهای وارد به این گونه سازه‌ها در حین زلزله داشت تا منجر به یک طرح صحیح، بهینه و در عین حال ایمن شود.

با توجه به اینکه کشور ما بر روی کمربند زلزله قرار گرفته است، لازم است تمام سازه‌هایی که احداث می‌شوند، تحلیل لرزه‌ای دقیق در طراحی آن‌ها مبذول شود. در سازه‌های کوچک اثر ارتعاش ناشی از زلزله برای تمام نقاط تکیه‌گاهی یکسان می‌باشد ولی در سازه‌های طویل مانند سدها، پل‌ها، نیروگاه‌ها و خطوط لوله به دلایل مختلف؛ اثرهای تأخیر عبور موج زلزله، عدم انسجام و پاسخ خاک محلی، ارتعاش تکیه‌گاهی ناشی از زلزله یکسان نبوده و دامنه، فاز و محتوای فرکانسی آن‌ها تغییر می‌کنند که این تأثیر عمده‌ای بر

ایمنی سازه‌های طویل[۱] در طول زلزله‌های عظیم دارد؛ لذا تحقیقات گسترده‌ای روی این گونه سازه‌ها در زمینه بررسی رفتار لرزه‌ای آن‌ها انجام گرفته است.

۱-۳- تعریف مسئله

از آنجایی که پی مدل شده دارای سطح و طول وسیعی می‌باشد، انتظار می‌رود که امواج لرزه‌ای به دلیل محدودیت سرعت و همچنین اثر عدم انسجام، نقاط مختلف کف پی را با شتاب‌های متفاوت تحریک کند که می‌تواند در سطح تنش سدهای بتنی اثرگذار باشد. آنچه در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود، مدل‌سازی عددی اثر عبور موج و اثر عدم انسجام زلزله در تغییرات حرکات زمین و اعمال آن بر پاسخ لرزه‌ای سدهای بتنی قوسی در تحلیل‌های خطی و غیرخطی (درز) می‌باشد.

۱-۴- هدف از مطالعه

هدف‌های زیر را می‌توان برای پژوهش حاضر در نظر گرفت:

- تولید تاریخچه زمانی‌های شتاب (به صورت محلی متفاوت) همراه با اعمال اثرهای عبور موج و عدم انسجام بوسیله الگوریتم شبیه سازی حرکت زمین مرتبط با زلزله سازگار با طیف پاسخ اعمال شده[۲] در نرم‌افزار MATLAB
- مقایسه پاسخ‌های تحلیل‌ها، تحت تحریک یکنواخت و غیریکنواخت در تحلیل‌های خطی و غیرخطی (درز) سد بتنی دو قوسی دز

۱-۵- نوآوری‌ها

نوآوری‌های تحقیق حاضر را می‌توان در بندهای زیر بیان نمود:

- بررسی اثر سرعت‌ها و جهات مختلف انتشار امواج زلزله بر پاسخ لرزه‌ای تحلیل‌های خطی و غیر خطی (درز) سدهای بتنی دو قوسی
- بررسی اثر عملکرد غیرخطی درز بر نتایج تحریکات غیریکنواخت سد بتنی قوسی
- اعمال اندرکنش خاک و سازه با در نظر گرفتن پی جرم‌دار

۱-۶- ساختار تحقیق

خلاصه مطالب و مباحثی که در فصل‌های این پایان نامه به آن‌ها پرداخته شده است را می‌توان به صورت

---

[۱] Long span structures

[۲] Seismic Ground Motion Compatible With Prescribed Response Spectra

زیر برشمرد:

در فصل دوم انواع مدل‌های عددی انجام شده در تحقیقات پیشین بررسی و روش‌های حل به تفصیل ارائه می‌گردند. در فصل سوم به تئوری شبیه‌سازی حرکات متغیر زمین پرداخته می‌شود. فصل چهارم اندرکنش سازه-پی و روش‌های مدل‌سازی پی در سدهای بتنی دو قوسی و شرایط مرزی را شرح می‌دهد. فصل پنجم به مدل‌سازی المان محدود مطالعه موردی سد دز و نحوه تولید تاریخچه زمانی‌ها می‌پردازد. در فصل ششم نتایج تحلیل-های خطی و غیرخطی انجام شده توسط نرم‌افزار ANSYS تحت تحریک‌های مختلف زلزله، بررسی و تفسیر می‌شوند. فصل هفتم نیز شامل نتیجه‌گیری‌های کلی و پیشنهادها برای ادامه کار می‌باشد.

فصل دوم

مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

مطالعات گذشته نشان داده‌اند که حرکت زمین (مربوط به زلزله) می‌تواند به طور قابل توجهی در طول بستر وسیع (زیر پی)، تغییر کند. بنابراین چنین سازه‌هایی در تکیه‌گاه‌ها در معرض تحریک‌های مختلف زمین قرار می‌گیرند. این تحریک‌ها به صورت قابل ملاحظه‌ای می‌توانند در محتوای فازی، دامنه‌ای و فرکانسی متفاوت باشند. حرکات متغیر زمین[۱] در ادبیات مهندسی به عنوان حرکات زمین تکیه‌گاهی غیر همزمان[۲] بیان می‌شوند. در برخی موارد، حرکات مختلف زمین می‌توانند نیروهای اضافی داخلی در سازه، در مقایسه با حالت تحریک یکسان، القاء کنند. این حرکات متغیر زمین به نوبه‌ی خود می‌توانند اثر بالقوه‌ای بر روی ایمنی این سازه‌ها در مدت وقوع یک زلزله‌ی شدید داشته باشند.

۲-۲- کارهای پیشین

Mai و Zhang در سال ۱۹۸۷ اثر تأخیر عبور زمانی موج هارمونیک در جهت عرضی مخزن یا بین دو تکیه‌گاه‌های جانبی را بر پاسخ آن بررسی کردند. نتایج بررسی فوق حاکی از آن بود که اثر تأخیر عبور زمانی موج هارمونیک در جهت عرضی مخزن روی مقادیر تنش در سد به مقدار نسبت پریود موج و پریود ارتعاشی سازه بستگی دارد. اگر پریود موج ارتعاشی به چندین پریود اول سازه نزدیک شود، اثر تأخیر زمانی موج ارتعاشی بر روی پاسخ سد شدت می‌یابد [۱].

Hafiz و Haroun در سال ۱۹۸۷ تحلیل دینامیکی سد های خاکی را با در نظر گرفتن تغییرات زلزله مورد بررسی قرار دادند. پژوهش آن‌ها شامل بررسی اثر اختلاف فاز و دامنه حرکت زلزله بر پاسخ لرزه‌ای سدهای خاکی در فضای دوبعدی بوده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که پاسخ لرزه‌ای سد به تغییرات زلزله در طول بستر سد حساسیت زیادی دارد. همچنین در حالت غیر یکنواختی زلزله، نسبت طول به ارتفاع سد اثر قابل ملاحظه‌ای بر پاسخ لرزه‌ای دارد [۲].

نصیحت‌گر نیز در سال ۱۹۹۴ تحریک غیر یکنواخت سازه سد توسط امواج لرزه‌ای را بررسی کرد [۳]. از فرض‌های اصلی این پژوهش، به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱) در مدل سازه‌ای سیستم از اندرکنش آب و سازه صرف‌نظر شده بود و در واقع اثر نیروهای هیدرودینامیکی وارده به سد توسط دریاچه سد، لحاظ نشده بود.
۲) مدل المان محدود دو بعدی خطی و الاستیک برای سازه و خاک زیرین در نظر گرفته شده بود.

---

[۱] SpatiallyVarying Eaerthquake Ground Motion (SVEGM)

[۲] Differential or Asynchronous Support Ground Motions

۳) از زلزله میدان آزاد استفاده شده بود.
۴) اندرکنش خاک و سازه در تحلیل مسئله اعمال شده بود.

در حالت تحریک غیر یکنواخت با اثر اندرکنش سد-پی، تنش‌ها زیاد و در برخی حالات حتی ۵ برابر حالت تحریک یکنواخت به دست آمدند. در مورد جابجایی‌ها نیز چنین بود که در حالت تحریک غیر یکنواخت با اندرکنش سد-پی، جابجایی‌ها حدود ۲ برابر بیشتر از حالت تحریک یکنواخت بوده و نیز جهت آن‌ها تغییر می‌کند. در حالت غیر یکنواخت بدون اندرکنش و با تحریک مراکز جرم المان‌ها با شتاب سینوسی، تنش‌ها و تغییر مکان‌ها مقادیر کوچک‌تری را در نقاط مشابه حالت‌های قبل، از خود نشان دادند [۳].

Bayraktar و همکاران در سال ۱۹۹۶ آنالیز دینامیکی غیر همزمان سیستم‌های پی-مخزن-سد از طریق روش لاگرانژی که در آن رفتار سد و آب در ترم‌هایی از تغییر مکان بیان شدند، مورد مطالعه قرار دادند. سیستم سد–دریاچه-پی با استفاده از برنامه MULSAP با در نظر گرفتن سرعت‌های متغیر انتشار موج تحلیل شد و نتایج مربوط به سرعت‌های مختلف انتشار موج با یکدیگر مقایسه شدند [۴].

در پژوهش فوق سد وزنی بتنی Sariyar بر روی رودخانه Sakarya در ۱۲۰ کیلومتری شمال غربی آنکارا، برای تحلیل انتخاب شد. ابعاد واقعی سد و مدل اجزاء محدود انتخاب شده در شکل ۲-۱ و شکل ۲-۲ ارائه شده‌اند. طول دریاچه بیش از ۳ برابر ارتفاع دریاچه است و فرض شده که دریاچه عمق ثابتی در طول آن دارد. سد، فونداسیون سنگی و دریاچه از طریق المان ۸ گرهی (پی و سد) و المان ۹ گرهی (دریاچه) نمایش داده شده‌اند.