

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران – زلزله

تخمین اثر ساختگاه‌های دره‌ای بر امواج لرزه‌ای به کمک روش المان مرزی

مصطفی امینی

استاد راهنما:

دکتر ناصر خاجی

استاد مشاور:

دکتر محمد تقی احمدی

زمستان ۱۳۸۸

تقدیم به پدر عزیزم

که همیشه یادش در قلبم زنده است

و

تقدیم به مادر فداکار و مهربانم

که همواره مشوق من در طول تحصیل بود

تقدیم به همسر عزیزم

که با صبر و تحمل خویش مرا در گردآوری این اثر یاری کرد

تشر و قدردانی

حمد و سپاس پروردگار متعال را که با لطف الهی نعمت طی مراتب دانش و آگاهی را به من اعطا فرمود. اکنون که با عنایت خداوند توفیق به پایان رساندن پژوهش و نگارش پایان نامه کارشناسی ارشد خویش را یافته ام، ضمن قدردانی از زحمات همسر فداکار و مهربانم صمیمانه ترین سپاس های خود را به استادان ارجمند و دوستانی که در تمامی مراحل این پژوهش از مساعدتها و راهنمایی های ایشان بهره مند بوده ام تقدیم می دارم. از استاد فرزانه جناب آقای دکتر ناصر خاجی استادیار گروه زلزله دانشکده ی فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس که در سمت استاد راهنمای این تحقیق از ارائه ی رهنمودهای عالمانه-شان در تمام مدت پژوهش، تدوین و نگارش این تحقیق بهره برده ام کمال سپاسگذاری را دارم. همچنین از آقای دکتر محمد تقی احمدی استاد گروه سازه های هیدرولیکی دانشکده ی فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس که در سمت مشاور این تحقیق همواره مرا یاری کرده اند نهایت قدردانی و سپاس گذاری را دارم. از آقای مهندس ایمان کریمی نیز که در تهیه شبکه عصبی مرا یاری نمودند کمال تشر را دارم.

مصطفی امینی

دی ماه ۱۳۸۸

چکیده

به سهولت می توان دریافت که زمین با سطوح توپوگرافی نامنظم، یکی از عوامل پاسخ های لرزه ای پیچیده می باشد. دلیل اصلی ایجاد پاسخ لرزه ای پیچیده، مسئله انتشار و پراکنش امواج در این سطوح است. به هر حال اثرات انتشار امواج در مکان های خاصی از سطح زمین هنوز مشخص نیست و مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است. در این مطالعه، با فرض اینکه زمین، همگن، ایزوتروپ و الاستیک باشد، نخست فرمولاسیون موج منتشر شده در یک میدان موج SH دو بعدی، با استفاده از روش المان مرزی مستقیم و بسط سری نیومن بیان می گردد. سپس تحلیل های عددی برای دره ها و تپه ها یی با شکل های مختلف با استفاده از برنامه نوشته شده صحت سنجی می شود. لازم به توضیح است که مسئله فوق در قلمرو فرکانس حل شده و دره ها به شکل های نیم دایروی، مثلثی و نیم بیضوی می باشند که در حل مستقیم در نظر گرفته شده اند. در نهایت با استفاده کردن از شبکه عصبی مصنوعی به حل معکوس مسئله پرداخته شده است. در حل معکوس، پارامتر های ورودی شبکه عصبی، جابجایی در سه نقطه متفاوت از سه دره با شکل های مختلف در نظر گرفته شده است و پارامتر های خروجی شبکه زاویه و فرکانس موج برخوردی می باشد. با داشتن زاویه و فرکانس موج برخوردی و با استفاده از کد BEM نوشته شده، جابجایی در نقاط مختلف دره را در قلمرو فرکانس به راحتی می توان به دست آورد.

کلمات کلیدی: روش المان مرزی مستقیم، بسط سری نیومن، انتشار امواج، توپوگرافی، شبکه عصبی

مصنوعی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست علایم و نشانه‌ها.....	د.....
فهرست شکل‌ها.....	ه.....
فصل ۱- تعریف مسئله و بیان سوالات تحقیق.....	۱۰.....
۱-۱- مقدمه	۱۰.....
۲-۱- جابجایی های زمین در هنگام وقوع زلزله.....	۱۱.....
۳-۱- عوامل اثر گذار در حرکت زمین هنگام وقوع زلزله.....	۱۳.....
۴-۱- حرکت ساختگاههای دره ای در زمان زلزله.....	۱۴.....
۵-۱- هدف از تحقیق حاضر.....	۱۷.....
۶-۱- مروری بر کارهای انجام شده.....	۲۱.....
فصل ۲- بررسی روش های حل مسئله و روش انجام حل مسئله در تحقیق حاضر.....	۳۲.....
۱-۲- روش های متفاوت حل مسئله، مزایا و معایب.....	۳۲.....
۱-۱-۲- روش ترکیب المان محدود و المان نامحدود.....	۳۲.....
۲-۱-۲- روش المان های مرزی در تحلیل مسائل الاستودینامیک.....	۳۶.....
۳-۱-۲- روش ترکیب المان محدود و المان مرزی.....	۳۶.....
۴-۱-۲- روش المان محدود یا تفاضل محدود با کمک شرایط مرزی.....	۳۷.....
۲-۲- روش انجام حل مسئله در تحقیق حاضر.....	۳۷.....
۳-۲- فرضیات مسئله.....	۳۸.....
۴-۲- روش المان مرزی و بسط سری های نیومن.....	۳۹.....
۱-۴-۲- روش المان مرزی.....	۳۹.....
۲-۴-۲- انواع المان های مرزی.....	۴۲.....
۳-۴-۲- انتگرال مرزی.....	۴۴.....
۴-۴-۲- حل اساسی.....	۴۵.....
۱-۴-۴-۲- جواب های اساسی.....	۴۶.....
۲-۴-۴-۲- رفتار تابع هنکل در فرکانس های بالا.....	۴۷.....
۵-۴-۲- گسسته سازی معادله انتگرال مرزی.....	۴۷.....
۶-۴-۲- انتگرال گیری از هسته ترکشن در حالت تکینگی.....	۴۹.....
۷-۴-۲- حل تقریبی ماتریس المان مرزی با استفاده از تکنیک بسط سری های نیومن.....	۵۰.....
۱-۷-۴-۲- سری نیومن.....	۵۱.....
۲-۷-۴-۲- کاربرد سری نیومن در روش المان مرزی.....	۵۱.....
۵-۲- جابجایی های ناشی از موج ورودی زمین.....	۵۲.....

فصل ۳- تحلیل های عددی..... ۵۵

- ۱-۳- مقدمه ۵۵
- ۲-۳- صحت سنجی نتایج کد کامپیوتری برای چند مسئله ۵۵
- ۳-۳- تحلیل های عددی مختلف انجام شده توسط کد روی پارامترهای مختلف مؤثر ۵۷
- ۱-۳-۳- تحلیل های انجام شده توسط کد نوشته شده روی پارامتر های مدل سازی ۵۷
- ۲-۳-۳- اثرات مشخصات امواج لرزه ای ۵۷
- ۳-۳-۳- اثرات هندسه دره ۶۵
- ۴-۳-۳- اثرات تعداد جملات سری نیومن ۷۰
- ۵-۳-۳- نتیجه گیری ۷۲

فصل ۴- شبکه های عصبی..... ۷۴

- ۱-۴- مقدمه ۷۴
- ۱-۱-۴- شبکه های عصبی مصنوعی ۷۴
- ۲-۴- ساختار شبکه های عصبی ۷۷
- ۳-۴- الگوریتم انتشار برگشتی ۷۹
- ۱-۳-۴- نگرشی کلی به آموزش شبکه [] ۷۹
- ۲-۳-۴- انتشار پیشرو ۸۰
- ۳-۳-۴- نورون بایاس ۸۲
- ۴-۳-۴- انتشار برگشتی ۸۳
- ۴-۴- اشکالات روش انتشار برگشتی ۸۷
- ۱-۴-۴- ناتوانی شبکه ۸۷
- ۲-۴-۴- کمینه محلی ۸۷
- ۵-۴- سنجش میزان یادگیری و عملکرد شبکه ۸۸
- ۱-۵-۴- جذر میانگین مربع خطاها (RMS) ۸۸
- ۲-۵-۴- ضرب همسبندی بین خروجیهای حقیقی و دلخواه ۸۹
- ۶-۴- جمع بندی و نتیجه گیری ۹۰

فصل ۵- حل معکوس..... ۹۲

- ۱-۵- مقدمه ۹۲
- ۲-۵- خطای RMS ۹۲
- ۳-۵- روش پیشنهادی حل معکوس ۹۲
- ۱-۳-۵- مرحله اول ۹۴
- ۲-۳-۵- مرحله دوم ۱۰۰

فصل ۶- جمع بندی و نتیجه گیری..... ۱۱۲

- ۱-۶- بحث و نتیجه گیری ۱۱۲
- ۲-۶- جایگاه تحقیق حاضر ۱۱۴

۱۱۵.....پیشنهادات ۳-۶

۱۱۶.....فهرست مراجع

فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
ضریب میرایی	ξ
فرکانس طبیعی	ω_n
مرز	Γ
دلتای کرونکر	$\delta_{i,j}$
ثابت های لامه	λ, μ
جرم حجمی	ρ
سرعت موج s	β
عدد موج	k_β
تابع بسل نوع اول و دوم	Y_n, j_n
زاویه موج برخوردی	θ
جابجایی موج ورودی	v

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: شتاب نگاشت های ثبت شده در دو ایستگاه به فاصله ۲۰۰ متر.....	۱۲
شکل ۲-۱: موقعیت شتابنگار های نصب شده در روی سد و ساختگاه پاکویما [۱].....	۱۶
شکل ۳-۱: شتاب های ثبت شده در امتداد دیواره دره سد پاکویما برای زمین لرزه سال ۲۰۰۱ [۲].....	۱۶
شکل ۴-۱: نمایی از پایین دست سد پاکویما (الف) نمایی از تکیه گاه جناح راست ب) نمایی از تکیه گاه جناح چپ که پدیده تشدید توپوگرافی منجر به گسیختگی های سنگی شده است [۳].....	۱۸
شکل ۱-۲: نیم فضای هموزن تحت نیروی تحریک هارمونیک متمرکز.....	۳۵
شکل ۲-۲: میدان Ω همراه با نرمال n	۳۹
شکل ۳-۲: نیم فضای نامنظم و سیستم مختصات.....	۴۲
شکل ۴-۲: انواع المان های مرزی.....	۴۳
شکل ۵-۲: تغییرات بردار r زمانی که گره i به سمت المان Z میل می کند.....	۴۵
شکل ۶-۲: حالت دو بعدی نیم دایره حول نقطه مرزی Z	۴۹
شکل ۱-۳: دره نیم دایروی مدل شده همراه با قسمت صاف دو انتهای آن.....	۵۸
شکل ۲-۳: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط تریفوناک [۱۰] برای موج ورودی SH با زاویه برخورد ۰ درجه نسبت به محور قائم و فرکانس بی بعد ۰.۲۵ برای دره نیم دایروی ۵۸	۵۸
شکل ۳-۳: دره مثلثی شکل مدل شده همراه قسمت های صاف دو انتهای آن.....	۵۹
شکل ۴-۳: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط تساور و چنگ [۲۲] برای موج SH ورودی با زاویه برخورد الف) ۰ درجه ب) ۳۰ درجه ج) ۶۰ درجه د) ۹۰ درجه نسبت به محور قائم و فرکانس بی بعد واحد برای دره مثلثی شکل.....	۶۰
شکل ۵-۳: تپه نیم دایروی مدل شده همراه قسمت های صاف دو انتهای آن.....	۶۱
شکل ۶-۳: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط فو [۳۶] برای موج ورودی SH با زاویه برخورد ۰ درجه نسبت به محور قائم و فرکانس بی بعد واحد برای تپه نیم دایروی ۶۱	۶۱
شکل ۷-۳: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط تریفوناک [۱۰] برای موج ورودی SH با زاویه برخورد ۳۰ درجه نسبت به محور قائم و فرکانس بی بعد ۰.۲۵ برای دره نیم دایروی ۶۱	۶۱
شکل ۸-۳: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط تریفوناک [۱۰] برای موج ورودی SH با زاویه برخورد ۶۰ درجه نسبت به محور قائم و فرکانس بی بعد ۰.۲۵ برای دره نیم دایروی.....	۶۲
شکل ۹-۳: مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط تریفوناک [۱۰] برای موج ورودی SH با زاویه برخورد ۹۰ درجه نسبت به محور قائم و فرکانس بی بعد ۰.۲۵ برای دره نیم دایروی ۶۲	۶۲

شکل ۳-۱۰ : مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط تریفوناک [۱۰] برای موج ورودی SH با زاویه برخورد ۰ درجه نسبت به محور قائم و الف) فرکانس بی بعد ۱.۲۵ ب) فرکانس بی بعد ۲.۰ برای تپه نیم دایروی..... ۶۳

شکل ۳-۱۱ : مقایسه نتایج تحلیلی به دست آمده از اثرات تغییر فرکانس بی بعد برای دره نیم دایروی در اثر موج ورودی SH با زاویه برخورد ۰ درجه نسبت به محور قائم..... ۶۴

شکل ۳-۱۲ : مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی به ازای زوایای برخورد مختلف برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد ۰.۲۵ برای دره نیم دایروی..... ۶۴

شکل ۳-۱۳ : مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی به ازای زوایای برخورد مختلف برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد واحد برای دره مثلثی شکل..... ۶۵

شکل ۳-۱۴ : دره بیضی شکل و دره نیم دایروی مدل شده..... ۶۷

شکل ۳-۱۵ : مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای موج ورودی SH به ازای فرکانس بی بعد ۰.۲۵ و زاویه برخورد ۰ درجه نسبت به محور قائم برای دره با شکل های نیم بیضوی و نیم دایروی..... ۶۷

شکل ۳-۱۶ : مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای موج ورودی SH به ازای فرکانس بی بعد ۱.۲۵ و زاویه برخورد ۰ درجه نسبت به محور قائم برای دره با شکل های نیم بیضوی و نیم دایروی..... ۶۸

شکل ۳-۱۷ : شکل دره مثلثی عمیق و کم عمق مدل شده با شیب دیواره متفاوت..... ۶۸

شکل ۳-۱۸ : مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای موج ورودی SH به ازای فرکانس بی بعد واحد و زاویه برخورد ۰ درجه نسبت به محور قائم برای دره مثلثی عمیق و کم عمق..... ۶۹

شکل ۳-۱۹ : مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای موج ورودی SH به ازای فرکانس بی بعد ۰.۵ و زاویه برخورد ۰ درجه نسبت به محور قائم برای دره مثلثی عمیق و کم عمق..... ۶۹

شکل ۳-۲۰ : مقایسه نتایج به دست آمده از تحلیل عددی برای موج ورودی SH به ازای فرکانس بی بعد ۰.۲۵ و زاویه موج الف) ۰ درجه ب) ۳۰ درجه ج) ۶۰ درجه د) ۹۰ درجه و به ازای تعداد جملات متفاوت سری نیومن..... ۷۱

شکل ۴-۱ : مفهوم کلی شبکه عصبی..... ۷۵

شکل ۴-۲ : ساختار یک شبکه عصبی..... ۷۵

شکل ۴-۳ : ساختار یک شبکه عصبی با نورون با یاس..... ۷۶

شکل ۴-۴ : تابع سیگموئید..... ۷۷

شکل ۴-۵ : شبکه عصبی با یک لایه..... ۷۷

شکل ۴-۶ - شبکه عصبی سه لایه..... ۷۸

شکل ۴-۷ - مرحله انتشار پیشرو..... ۸۱

شکل ۴-۸ - تابع آستانه: تابع سیگموئید، تابع پله، تابع سیگموئید با آستانه تحریک در C..... ۸۳

شکل ۴-۹ - شبکه عصبی انتشار برگشتی..... ۸۴

شکل ۴-۱۰ - مشتق تابع سیگموئید..... ۸۵

شکل ۴-۱۱ - نورون لایه میانی..... ۸۶

شکل ۵-۱: نمودار میزان خطای RMS در مقابل تعداد لایه های پنهان و تعداد نورونها در این لایه ها برای پارامتر زاویه (داده های آموزشی)..... ۹۵

شکل ۵-۲: نمودار میزان خطای RMS در مقابل تعداد لایه های پنهان و تعداد نورونها در این لایه ها برای پارامتر زاویه (داده های تست) ۹۶

شکل ۵-۳: نمودار میزان خطای RMS در مقابل تعداد لایه های پنهان و تعداد نورونها در این لایه ها برای پارامتر فرکانس (داده های آموزشی)..... ۹۶

شکل ۵-۴: نمودار میزان خطای RMS در مقابل تعداد لایه های پنهان و تعداد نورونها در این لایه ها برای پارامتر فرکانس (داده های تست) ۹۷

شکل ۵-۵: شبکه عصبی پیشنهادی برای حل معکوس مسئله در مرحله اول ۹۷

شکل ۵-۶: نمودار تغییرات مقدار RMS در مقابل تعداد اپوک ها برای پارامتر زاویه ۹۹

شکل ۵-۷: نمودار تغییرات مقدار RMS در مقابل تعداد اپوک ها برای پارامتر فرکانس ۹۹

شکل ۵-۸: نمودار دره با شکل های مختلف در نظر گرفته شده در شبکه عصبی دوم ۱۰۰

شکل ۵-۹: نمودار میزان خطای RMS در مقابل تعداد لایه های پنهان (دو لایه و سه لایه) و تعداد نورونها در این لایه ها برای پارامتر زاویه ۱۰۲

شکل ۵-۱۰: نمودار میزان خطای RMS در مقابل تعداد لایه های پنهان (دو لایه و سه لایه) و تعداد نورونها در این لایه ها برای پارامتر فرکانس ۱۰۲

شکل ۵-۱۱: نمودار میزان خطای RMS در مقابل تعداد لایه های پنهان (تک لایه و دو لایه) و تعداد نورونها در این لایه ها برای پارامتر زاویه ۱۰۳

شکل ۵-۱۲: نمودار میزان خطای RMS در مقابل تعداد لایه های پنهان (تک لایه و دو لایه) و تعداد نورونها در این لایه ها برای پارامتر فرکانس ۱۰۳

شکل ۵-۱۳: شبکه عصبی پیشنهادی برای حل معکوس مسئله در مرحله دوم ۱۰۴

شکل ۵-۱۴: نمودار تغییرات مقدار RMS در مقابل تعداد اپوک ها برای پارامتر زاویه ۱۰۵

شکل ۵-۱۵: نمودار تغییرات مقدار RMS در مقابل تعداد اپوک ها برای پارامتر فرکانس ۱۰۵

شکل ۵-۱۶: نمونه دره جهت تست شبکه عصبی در مرحله دوم ۱۰۶

شکل ۵-۱۷: مقایسه پارامتر زاویه حاصل از حل معکوس پیشنهادی با روش حل مستقیم BEM برای دره تست به ازای فرکانس $W=0.1(HZ)$ ۱۰۶

شکل ۵-۱۸: مقایسه پارامتر زاویه حاصل از حل معکوس پیشنهادی با روش حل مستقیم BEM برای دره تست به ازای فرکانس $W=0.5(HZ)$ ۱۰۷

شکل ۵-۱۹: مقایسه پارامتر زاویه حاصل از حل معکوس پیشنهادی با روش حل مستقیم BEM برای دره تست به ازای فرکانس $W=1.0(HZ)$ ۱۰۷

شکل ۵-۲۰: مقایسه پارامتر زاویه حاصل از حل معکوس پیشنهادی با روش حل مستقیم BEM برای دره تست به ازای فرکانس $W=1.5(HZ)$ ۱۰۸

شکل ۵-۲۱: مقایسه پارامتر فرکانس حاصل از حل معکوس پیشنهادی با روش حل مستقیم BEM برای دره تست به ازای زاویه $\theta = 10^\circ$ ۱۰۸

شکل ۵-۲۲: مقایسه پارامتر فرکانس حاصل از حل معکوس پیشنهادی با روش حل مستقیم BEM برای
دره تست به ازای زاویه $\theta = 30^\circ$ ۱۰۹

شکل ۵-۲۳: مقایسه پارامتر فرکانس حاصل از حل معکوس پیشنهادی با روش حل مستقیم BEM برای
دره تست به ازای زاویه $\theta = 50^\circ$ ۱۰۹

شکل ۵-۲۴: مقایسه پارامتر فرکانس حاصل از حل معکوس پیشنهادی با روش حل مستقیم BEM برای
دره تست به ازای زاویه $\theta = 70^\circ$ ۱۱۰

فصل اول

تعريف مسئله

فصل ۱ - تعریف مسئله و بیان سوالات تحقیق

۱-۱-۱ مقدمه

کشور عزیزمان ایران از جمله کشورهایی محسوب می شود که مناطق با زلزله خیزی بالا در آن گستره وسیعی دارد. بنابراین لازم است تمام سازه هایی که در این نوع مناطق احداث می گردند تحلیلهای لرزه ای قابل قبول در طراحی آنها انجام گیرد. بالطبع هر چقدر سازه مورد بحث از اهمیت بالایی برخوردار باشد حساسیت روی این تحلیلهای و در نظر گرفتن پارامترهای مختلف جهت اطمینان از اثر تمام عوامل موثر اهمیت فوق العاده ای پیدا می کند. به عنوان مثال می توان از سازه سدها یاد کرد که این سازه های با عظمت را به لحاظ نقش کلیدی که در تامین آب شرب، کشاورزی و انرژی برقایی ایفا می نمایند در زمره سازه های استراتژیک قرار داده است. سازه هایی که میلیونها مترمکعب آب را در پشت خود ذخیره نموده و خدای ناکرده در صورت بروز حادثه ای که منجر به شکستن آن گردد عواقب ناشی از شکست تنها منحصر به خود سازه نبوده و با جاری شدن سیلاب ناشی از شکست، زندگی پایین دست را با خطر نیستی مواجه می نماید که این سرمایه ها چیزی نیست که قابل بازگشت باشند. به طور کلی سازه های زیادی وجود دارند که در ساختگاههای دره ای قرار گرفته اند. علاوه بر سدها که پیشتر به آن اشاره شد می توان به سازه های هیدرولیکی نظیر سرریز، دریچه های آبگیر، نیروگاههای برقایی، پلهای بزرگ و غیره نیز اشاره کرد که بعضاً نقش حیاتی در تامین آبشرب، تولید برق، کنترل سیلاب و نظایر آن برعهده دارد. مطالعات و بررسی های بعمل آمده پس از وقوع زلزله های بزرگ در نقاط مختلف دنیا نشان می دهد ساختگاه تأثیر مهمی در تشدید جابجایی های سطحی دارد. تشدید امواج زلزله توسط نامنظمی های توپوگرافی یکی از علت های محتمل تمرکز خرابی ها در زلزله ها به شمار می رود. بطوریکه در مقالات و گزارش های متعددی این مورد بیان شده است. بنابراین لازم است برآورد صحیحی از بارهای وارد به اینگونه سازه ها در حین زمین لرزه داشته باشیم تا منجر به یک طرح صحیح، بهینه و در عین حال ایمن شود.

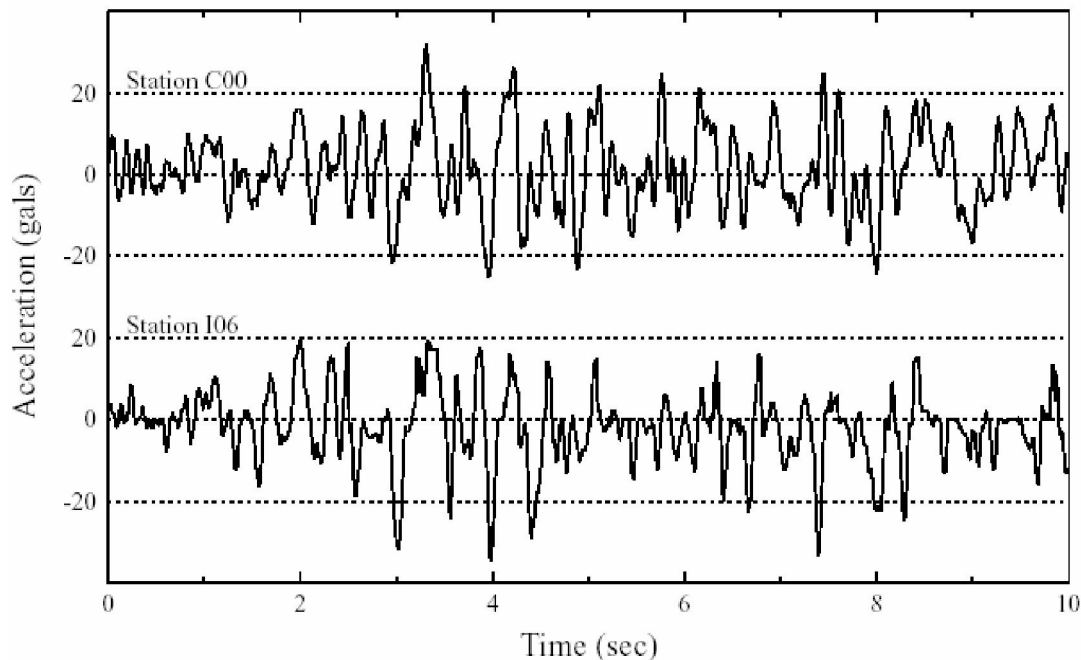
۱-۲- جابجایی های زمین در هنگام وقوع زلزله

مشاهدات انجام گرفته بر روی لرزه نگارهایی که در ابعاد سازه های مهندسی بزرگ نصب شده اند، نشان داده است که شتاب نگاشتهای زمین در طی یک زلزله در موقعیتهای مختلف این سازه ها با هم متفاوت است. این امر، در دو دهه گذشته، منجر به تحقیقهای وسیعی بر روی مدلسازی جابجایی های زمین هنگام وقوع زلزله و اثر آن بر روی پاسخ لرزه ای سازه های بزرگ مانند سدها، پلها، خط لوله ها، و ... شده است. در واقع تغییرات مکانی حرکت زمین در زمان زلزله، باعث حرکت غیریکنواخت تکیه گاه سازه های بزرگ مهندسی می شود. شکل ۱-۱ دو شتاب نگاشت ثبت شده در دو ایستگاه در ابعاد یک سازه با فاصله ۲۰۰ متر از یکدیگر را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، علیرغم وجود شباهتها، تفاوتی بین این دو شتاب نگاشت (به عنوان مثال در ماکزیمم شتاب تجربه شده در طول رکورد) دیده می شود. در فاصله های بزرگتر بین ایستگاهها، تفاوتها بیشتر خواهند بود [۱].

در مسائل مهندسی حال حاضر فرض میشود که:

-تحریکها در همه نقاط تکیه گاهها مانند هم هستند، و یا

-تحریکها فقط به اندازه یک تاخیر زمانی، مربوط به انتشار موج، با هم تفاوت دارند.



شکل ۱-۱: شتاب نگاشت های ثبت شده در دو ایستگاه به فاصله ۲۰۰ متر

یعنی فرض می شود که تحریکها در همهٔ موقعیتهای کاملاً همبسته^۱ هستند. در واقع به طور معمول در آنالیز دینامیکی سازه ها، از حرکت زمین یکنواخت در محل فصل مشترک سازه و فونداسیون، به عنوان بارگذاری زلزله استفاده میشود.

حال سوال این است که آیا می توان تفاوتهای موجود در شتاب نگاشتهای حرکت زمین را در فواصل ابعاد سازه های مهندسی بزرگ نادیده گرفت؟ آیا روشی که هم اکنون در مسائل مهندسی انجام می-شود، منطقی است؟

پاسخ به سوالات بالا احتیاج به تحقیق و بررسی بسیار جامع دارد. شاید یک الگوریتم پیشنهادی مناسب برای پاسخ به سوالات بالا بصورت زیر باشد:

-اندازه گیری شتابهای زمین در هنگام زلزله، در موقعیتهای مختلف از ساختگاه سازه

-تعیین شدت تغییرات بیشینه شتابهای ثبت شده و شکل طیف آنها در آن موقعیت ها

^۱ Coherent

-گروه بندی این اثرات به ازای اشکال مختلف ساختگاه برای حالت‌های مختلف
-استفاده از الگوهای پیشنهاد شده در مرحله قبل برای تحلیل سازه های موجود یا در دست مطالعه و
مقایسه آنها با پاسخهای بدست آمده از مدل‌هایی که اثرات تغییرات مکانی حرکت زمین در زمان زلزله
را در نظر نمی گیرند.

۱-۳- عوامل اثر گذار در حرکت زمین هنگام وقوع زلزله

- ۱- اثر عبور امواج : امواج زلزله در زمانهای مختلف وارد ایستگاههای مختلف میشوند.
- ۲- اثر عدم همبستگی^۱ : تفاوتها در حالت جمع آثار امواجی که از یک منبع گسترده وارد میشوند و امواجی که توسط بی نظمی ها و ناهماهنگی ها در طول مسیر و در محل سازه پخش شده اند، باعث کم رنگ شدن همبستگی میشوند.
- ۳- اثر شرایط محلی: تفاوتها در شرایط خاک محل در هر ایستگاه ممکن است به طور متفاوتی دامنه و فرکانس حرکات سنگ بستر را تغییر دهد [۲].

^۱ Incoherence effect

۱-۴- حرکت ساختگاههای دره ای در زمان زلزله

دره ها که معمولاً ساختگاههای سازهای هیدرولیکی با عظمتی چون سد می باشند بزرگترین اختلالات را در انتشار امواج زلزله ایجاد می کنند و باعث انکسار و تفرق امواجی که از یک منبع زلزله می آیند و همچنین امواجی که از سطح بدون تنش اطراف دره منعکس شده اند، می گردد. در نتیجه یک الگوی پیچیده حرکت دیواره دره بوجود می آید که از نظر دامنه و فاز از یک نقطه به نقطه دیگر در امتداد این دیواره متفاوت است.

یک سد قوسی یا هر سازه دیگری که دیواره این دره تکیه گاه آن است، با یک چنین حرکتی تحریک می شود و پاسخ آن نسبت به حالتی که حرکت دیواره دره یکنواخت است، متفاوت خواهد بود. یک مثال روشن از اثر پدیده تشدید توپوگرافی در ساختگاههای دره ای ساختگاه سد پاکویما است که تجربه چندین زلزله بزرگ را دارد. در سال ۱۹۷۱ سد پاکویما، سد بتنی قوسی واقع در کوههای San Gabriel در حومه ی Los Angeles توسط زلزله San Fernando با بزرگی ۶.۶ لرزید که مرکز آن ۸ کیلومتر از شمال سد و عمق کانونی آن در حدود ۹ کیلومتر بود. در این زمان شتاب نگاری در تکیه گاه چپ، حدود ۱۵ متر بالاتر از تاج سد قرار داشت. برای این شتاب نگار حداکثر شتاب $1.25g$ افقی ثبت گردید در حالی که در کف دره در پایاب شتاب بیشینه فقط برابر $0.49g$ بود. طی زلزله ۱۹۷۱ قسمتی از تکیه گاه چپ به آرامی حرکت کرده و از سد فاصله گرفته است که این فاصله در قسمت پایین دست سد در حدود ۲۰ سانتی متر می باشد. درز انقباضی Thrust block در حدود ۱ سانتی متر باز شده و ترک هایی در این منطقه بوجود آمد که منجر به انجام تعمیرات تکیه گاه سنگی با کابل های پس تنیده گردید.

در سال ۱۹۷۷، ۱۷ شتاب نگار روی سد پاکویما و ساختگاه آن در موقعیت های مختلف نصب شدند. شکل ۱-۲ شتابنگارهای نصب شده روی این سد و تکیه گاههای آن را نشان می دهد. آسیب های تحمیل شده به سد در طول زلزله سال ۱۹۹۴ نورت ریج بسیار جدی تر از زلزله سال ۱۹۷۱ بود.

توده سنگی قسمت thrust block به اندازه ۵۰ سانتی متر در پائین دست لغزیده است اما کابل های فولادی پیش تنیده از لغزیدن بیشتر توده سنگی جلوگیری کرده و آنرا در مجاورت thrust block نگه داشته

است. قسمت بالائی تکیه گاه چپ فقط به اندازه ۳ سانتی متر حرکت کرده، اما این حرکت باعث باز شدن درز انقباض مابین سد و thrust block به اندازه ۵ سانتی متر در نزدیک تاج گردیده است که تا پائین ترین نقطه درز این مقدار کاهش یافته و در نهایت به ۰.۵ سانتی متر میرسد.

بقیه درزهای انقباضی بعد از زلزله بسته گردید. ترکها از درزهای باز شده بصورت قطری و از مابین thrust block بسمت تکیه گاه گسترش یافتند. ترکهای متعددی در راستای قوس در thrust block بوجود آمدند. در تکیه گاه راست آسیبهای جدی بوجود نیامد [۳].

در سال ۲۰۰۱ یک زلزله با بزرگی ۴.۳ و عمق کانونی ۹ کیلومتر که مرکز آن در حدود ۶ کیلومتر از شمال این سد فاصله داشت به وقوع پیوست. شکل ۱-۳ شتابهای ثبت شده در امتداد دیواره این دره در هنگام رخداد این زلزله نشان می دهد. کانال های ۱۰،۹ و ۱۱ در پایین دره و کانالهای ۱۲ تا ۱۷ در بالای دره قرار گرفته اند. همانطور که در این شکل دیده می شود، تغییرات داده های ثبت شده در امتداد دیواره دره به وضوح قابل مشاهده است و شتابهای ثبت شده در بالای دره بزرگتر از شتابهای ثبت شده در پائین دره هستند. حداکثر شتاب ثبت شده در کف و در طول تکیه گاه نزدیک تاج، به ترتیب برابر با $0.02g$ و $0.1g$ میباشد. بدین ترتیب شتابهای بزرگ ثبت شده در بالای سد نشانه ای از وقوع پدیده تشدید جدی ناشی از توپوگرافی پرشیب دره می باشد [۳].