بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی
بخش مهندسی عمران

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی

تعمیم روش هیبرید فرکانس- زمان با استفاده از روش Segmentation جهت تحلیل پاسخ لرزه‌ای زمین

مؤلف :

احسان نعیمی‌طبسیان

استاد راهنما :

دکتر محمدحسین باقری‌پور

استاد مشاور:

دکتر سید مرتضی مرندی

بهمن‌ماه ۱۳۹۱

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی عمران

دانشکده فنی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : احسان نعیمی‌طبسیان

استاد راهنما : دکتر محمدحسین باقری‌پور

استاد مشاور : دکتر سید مرتضی مرندی

داور ۱ : دکتر عیسی سلاجقه

داور۲ : دکتر رضا رهگذر

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر غلامعباس بارانی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر مریم احتشام‌زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

خدایی که آفرید؛

جهان را، انسان را، معرفت را، عقل را، عشق را و علم را؛

و به تمامی کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی-شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجا که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین می‌نماید، برحسب وظیفه:

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر محمدحسین باقری‌پور که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننموده و زحمت راهنمایی این پژوهش را بر عهده گرفتند؛

از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم، که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی، یاری و یاوری بی‌دریغ و دلسوزانه‌ای داشته‌اند؛

از همسر عزیزم که با قلبی آکنده از عشق و معرفت، محیطی سرشار از سلامت، امنیت، آرامش و آسایش را برای من فراهم آورده است؛

کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

چکیده

در این تحقیق، تحلیل غیرخطی پاسخ لرزه‌ای زمین با بهره‌گیری از روشی موسوم به قطعه‌قطعه-کردن دامنه زمان (segmentation) مورد بحث قرار می‌گیرد. این روش در حل موسوم به حل در حوزه‌ی ترکیبی فرکانس- زمان و برای سیستم لایه‌های خاک با یک درجه آزادی به کار می‌رود. در این روش با بهره‌گیری از تبدیل گسسته‌ی فوریه بر روی رکورد شتاب ورودی و اعمال اضافه بار مجازی در هر قطعه‌ی زمانی و نیز تصحیح ضرایب سختی و میرایی در معادله‌ی حرکت، سعی شده است همگرایی پاسخ غیرخطی در هر قطعه از زمان و در تمامی لایه‌های توده‌ی خاک با تکرار عملیات حاصل گردد. روش مورد بحث با ادامه‌ی حل معادلات در قطعه‌ی بعدی در دامنه‌ی زمان ادامه یافته و با تکرار آن پروسه‌ی تحلیل در کل دامنه‌ی زمان تکمیل می‌گردد. از روش ارائه شده در این تحقیق می‌توان جهت تحلیل سیستم‌های توده‌ی خاک دارای میرایی‌های ویسکوز، هیسترزیس و نیز خواص میرایی وابسته به فرکانس استفاده نمود. بحث روی نتایج حاصل از این تحقیق بطور مبسوط در ادامه ارائه گردیده است.

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول- مقدمه و اهداف تحقیق ۱

۱-۱ لزوم مطالعات لرزه‌ای ۲

۱-۲ مروری بر مطالعات پیشین ۴

۱-۳ اهداف تحقیق ۵

فصل دوم- توصیف پارامترهای حرکت زمین ۶

۲-۱ امواج زلزله ۷

۲-۱-۱ امواج در یک جسم نیمه محدود(نیم‌فضا) ۷

۲-۱-۲ انواع موج ۷

۲-۱-۲-۱ امواج حجمی ۷

۲-۱-۲-۲ امواج سطحی ۹

۲-۱-۲-۲-۱ امواج رایلی ۱۰

۲-۱-۲-۲-۲ امواج لاو ۱۰

۲-۲ ابزار اندازه‌گیری و ثبت زمین‌لرزه‌ها ۱۱

۲-۲-۱ لرزه‌نگار ۱۱

۲-۲-۲ شتاب‌نگار ۱۱

۲-۳ دیگر مشخصات زلزله و حرکت نیرومند زمین ۱۲

۲-۳-۱ شدت زلزله ۱۲
۲-۳-۲ پارامترهای دامنه ۱۳
۲-۳-۲-۱ شتاب ماکزیمم ۱۳
۲-۳-۲-۲ سرعت ماکزیمم ۱۵
۲-۳-۲-۳ جابجایی ماکزیمم ۱۵
۲-۲-۲-۴ سرعت و شتاب ماکزیمم ماندگار ۱۵
۲-۳-۲-۵ شتاب طراحی موثر ۱۶
۲-۳-۳ طیف فوریه ۱۶
۲-۳-۴ طیف پاسخ ۱۶
۲-۳-۵ پریود غالب ۱۷
۲-۳-۶ مدت ۱۷
۲-۳-۷ حرکت میدان آزاد ۱۸
۲-۳-۸ حرکات زلزله ۱۹
۲-۳-۹ محتوای فرکانسی ۲۰
فصل سوم- خواص دینامیکی خاک‌ها ۲۱
۳-۱ مشخصات مورد نیاز خاک‌ها جهت تحلیل دینامیکی پاسخ زمین ۲۲
۳-۲ اندازه‌گیری مدول برشی و میرایی ۲۲
۳-۳ انواع میرایی ۲۳

۳-۳-۱ میرایی ویسکوز ۲۳
۳-۳-۲ میرایی هیسترزیس ۲۵
۳-۴ مدل غیرخطی با میرایی هیسترزیس ۲۵
فصل چهارم- روشهای تحلیل پاسخ زمین ۲۹
۴-۱ انواع حرکت ارتعاشی ۳۰
۴-۲ حرکت یکنواخت ساده ۳۱
۴-۲-۱ روش مثلثاتی برای حرکت یکنواخت ساده ۳۱
۴-۳ سیستم‌های ارتعاشی ۳۲
۴-۴ طیف‌های پاسخ ۳۳
۴-۵ تحلیل‌های فوریه و تبدیل‌های فوریه ۳۳
۴-۵-۱ تحلیل‌های فوریه ۳۳
۴-۵-۲ تبدیلات فوریه ۳۴
۴-۵-۲-۱ تبدیل گسسته‌ی فوریه ۳۶
۴-۵-۲-۲ تبدیل سریع فوریه ۳۷
۴-۶ روشهای تحلیل پاسخ زمین ۳۸
۴-۶-۱ حل به روش معادل خطی ۳۸
۴-۶-۲ مدل‌سازی توده‌ی خاک به روش جرم- فنر- میراگر ۳۹
۴-۷ اطلاعات لازم جهت تحلیل پاسخ زمین ۴۰

۴-۸ فیلترکردن فرکانس‌های با مقادیر زیاد و کم ۴۱

فصل پنجم- مبانی روش پیشنهادی جهت تحلیل پاسخ لرزه‌ای توده‌ی خاک ۴۳

۵-۱ مقدمه ۴۴

۵-۲ معادلات تکرار نیوتن رافسون ۴۴

۵-۲-۱ روش نیوتن- رافسون کلاسیک ۴۵

۵-۲-۲ روش نیوتن- رافسون اصلاح‌شده ۴۶

۵-۳ تحلیل خطی مدل جرم- فنر- میراگر سیستم یک درجه آزادی ۴۷

۵-۳-۱ معادله‌ی حرکت ۴۷

۵-۴ تحلیل غیرخطی مدل جرم- فنر- میراگر سیستم یک درجه آزادی ۵۱

۵-۵ محاسبه‌ی سختی و مدول برشی جدید ۵۵

۵-۶ تحلیل توده‌ی خاک چندلایه به روش پیشنهادی ۵۶

۵-۶-۱ مثال اول ۵۶

۵-۶-۲ مثال دوم ۶۲

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۰

مراجع ۷۲

فهرست اشکال

عنوان **شماره صفحه**

شکل(۲- ۱) : تغییر شکل ناشی از امواج حجمی ۸

شکل(۲- ۲) : تغییر شکل ناشی از امواج سطحی ۱۰

شکل(۲- ۳) : شکل شماتیک شتاب‌نگار جرم- فنر- میراگر ۱۲

شکل(۲- ۴) : نمونه تاریخچه‌ی زمانی شتاب، سرعت و جابجایی در دو ایستگاه ثبت لرزه
برای یک زمین‌لرزه‌ی واحد ۱۳

شکل(۲- ۵) : روابط پیشنهادی بین PHA و شدت زلزله ۱۴

شکل(۲- ۶): نحوه در نظر گرفتن مدت زمان موثر زمین‌لرزه ۱۸

شکل(۲- ۷) : زلزله‌ی منفرد بندر هیونم سال ۱۹۵۷ میلادی ۱۹

شکل(۲- ۸) : زلزله‌ی نامنظم السنترو سال ۱۹۴۰ میلادی ۲۰

شکل(۳- ۱) : نحوه‌ی پخش موج در مسیر رسیدن به سطح زمین و تاثیرگذاری آن بر
مشخصات دینامیکی خاک محل در حین زلزله ۲۳

شکل(۳- ۲) : المان باریکی از اجسام Kelvin-Voigt تحت اثر برش افقی- مقاومت کلی در
برابرتغییر شکل برشی عبارتست از جمع مولفه‌ی الاستیک(فنر) و مولفه‌ی ویسکوز(زائل کننده).۲۴

شکل(۳- ۳) : منحنی پایدار نسبت تنش‌برشی به کرنش‌برشی برای بارگذاری یکنواخت ۲۶

شکل(۳- ۴) : ارزیابی ضریب کاهشی پیشنهادی برای (a) منحنی کاهش مدول برشی (b) منحنی
میرایی مورد استفاده در منحنی‌های دارندلی برای خاک‌های غیرچسبنده‌ی محل ۲۷

شکل(۴- ۱) : نمونه‌هایی از حرکات تناوبی و غیرتناوبی ۳۰

شکل(۴- ۲) : ارائه‌ی حرکت گذرا به صورت یک حرکت تناوبی ۳۱

شکل (۴- ۳) : تاریخچه‌ی زمانی جابجایی یکنواخت ساده ۳۲

شکل (۴- ۴) : سیستم SDOF با میرایی تحت اثر بار دینامیکی Q(t) ۳۳

شکل (۴- ۵) : نمونه‌ای از طیف دامنه‌ی فوریه ۳۶

شکل (۴- ۶) : مدل یک‌بعدی جرم - فنر - میراگر جهت تحلیل غیرخطی پاسخ زمین ۴۰

شکل (۵- ۱) : شکل شماتیک روش حل تقریبی نیوتن- رافسون کلاسیک ۴۵

شکل (۵- ۲) : شکل شماتیک روش حل تقریبی نیوتن- رافسون اصلاح‌شده ۴۶

شکل (۵- ۳) : مدل توده خاک یک لایه ۴۸

شکل (۵- ۴) : نحوه‌ی در نظرگرفتن شتاب وارد بر خاک جهت محاسبه‌ی نیروی اعمالی به جرم توده‌ی خاک ۴۹

شکل (۵- ۵) : مدل‌سازی توده خاک چندلایه به روش جرم‌متمرکز- فنر- میراگر ۵۰

شکل (۵- ۶) : نمودار رفتاری نسبت میرایی و مدول برشی در برابر کرنش برشی منطقه‌ی تریشور آیلند ۵۵

شکل (۵- ۷) : پروفیل خاک ایستگاه لرزه‌نگاری تریشور آیلند ۵۶

شکل (۵- ۸) : نمودار رفتاری نسبت میرایی خاک نوع T1 .....۵۸

شکل (۵- ۹) : نمودار رفتاری مدول برشی خاک نوع T1 .....۵۸

شکل (۵- ۱۰) : نمودار رفتاری نسبت میرایی خاک نوع T2 .....۵۹

شکل (۵- ۱۱) : نمودار رفتاری مدول برشی خاک نوع T2 .....۵۹

شکل (۵- ۱۲) : تغییرات سرعت موج برشی نسبت به عمق در ایستگاه تریشور آیلند ۶۰

شکل(۵- ۱۳) : تغییرات چگالی نسبت به عمق در ایستگاه تریشورآیلند ۶۰

شکل(۵- ۱۴) : تغییرات مدول برشی ماکزیمم نسبت به عمق در ایستگاه تریشور آیلند ۶۱

شکل(۵- ۱۵) : زلزله‌ی ورودی ایستگاه تریشور آیلند ۶۱

شکل(۵- ۱۶): طیف دامنه فوریه‌ی زلزله‌ی "لوما پریتا" ایستگاه "تریشور آیلند" ۶۲

شکل(۵-۱۷) : جابجایی سطح زمین ایستگاه لرزه نگاری "تریشور آیلند" در زلزله "لوما پریتا"..۶۲

شکل (۵- ۱۸) : پروفیل خاک ایستگاه لرزه‌نگاری گیل‌روی ۲ .....۶۳

شکل(۵- ۱۹) : نمودار رفتاری نسبت میرایی خاک نوع G1 .....۶۵

شکل(۵-۲۰) : نمودار رفتاری مدول برشی خاک نوع G1 .....۶۵

شکل(۵- ۲۱) : نمودار رفتاری نسبت میرایی خاک نوع G2 .....۶۶

شکل(۵- ۲۲) : نمودار رفتاری مدول برشی خاک نوع G2 .....۶۶

شکل(۵- ۲۳) : نمودار رفتاری نسبت میرایی خاک نوع G3 .....۶۷

شکل(۵- ۲۴) : نمودار رفتاری مدول برشی خاک نوع G3 .....۶۷

شکل(۵- ۲۵) : نمودار رفتاری نسبت میرایی خاک نوع G4 .....۶۸

شکل(۵- ۲۶) : نمودار رفتاری مدول برشی خاک نوع G4 .....۶۸

شکل(۵- ۲۷) : زلزله‌ی ورودی ایستگاه گیل‌روی۲ .....۶۸

شکل(۵- ۲۸) : طیف دامنه فوریه‌ی زلزله‌ی "لوما پریتا" ایستگاه "گیل‌روی۲" ۶۹

شکل(۵- ۲۹) : جابجایی سطح زمین ایستگاه لرزه نگاری " گیل‌روی۲" در زلزله "لوما پریتا" ..۶۹

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول(۵- ۱) : مشخصات هندسی و دینامیکی توده‌ی خاک نمونه "ایستگاه تریشور آیلند" ۵۷

جدول(۵- ۲) : داده‌های رفتاری نسبت میرایی و مدول برشی خاک نوع T1 .....۵۸

جدول(۵- ۳) : داده‌های رفتاری نسبت میرایی و مدول برشی خاک نوع T2 .....۵۹

جدول(۵- ۴) : مشخصات هندسی و دینامیکی توده‌ی خاک نمونه "ایستگاه گیل‌روی۲" ۶۳

جدول (۵-۵) : داده‌های رفتاری نسبت میرایی و مدول برشی خاک نوع G1 .....۶۴

جدول(۵-۶) : داده‌های رفتاری نسبت میرایی و مدول برشی خاک نوع G2 .....۶۵

جدول(۵-۷) : داده‌های رفتاری نسبت میرایی و مدول برشی خاک نوع G3 .....۶۶

جدول(۵-۸) : داده‌های رفتاری نسبت میرایی و مدول برشی خاک نوع G4 .....۶۷

فصل اول:

مقدمه و اهداف تحقیق

۱-۱- لزوم مطالعات لرزه‌ای

کشور ما در منطقه‌ای از کره‌ی زمین قرار دارد که از نگاه زمین‌ساختی (تکتونیکی) و لرزه‌خیزی، بسیار ناآرام و پرتکاپو است. در مورد طرح‌های بزرگ عمرانی و صنعتی نظیر سدها، نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و ... ، خسارت‌های ایجاد شده علاوه بر جنبه اقتصادی، دارای اثرات اجتماعی، بهداشتی و حتی سیاسی می‌باشد؛ خصوصاً اگر این طرح‌ها در مناطق مرزی قرار گرفته باشد، از جنبه‌ی استراتژیکی نیز حائز اهمیت خواهند بود. از طرفی پژوهش‌های لرزه‌شناسی، در تامین ایمنی سازه‌ها نقش اساسی دارد. انهدام تاسیسات مهم در اثر زلزله می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپذیر جانی، اقتصادی، اجتماعی، بهداشتی، سیاسی و گاهی استراتژیک به وجود آورد. در صورت بررسی‌های دقیق و کسب ایده‌ی واقع‌بینانه منطبق بر واقعیات زمین‌ساختی ناحیه طرح، می توان از تحمیل هزینه‌های گزاف و غیراقتصادی شدن و همچنین مصرف بیش از حد مصالح بسیاری از طرح‌های عمرانی جلوگیری به‌عمل آورد. اصولاً پژوهش‌های زلزله‌شناسی در رابطه با احداث طرح‌های عمرانی و صنعتی، شهرهای مسکونی و نیز پایداری و نگهداری تاسیسات موجود از چنان اهمیتی برخوردار است که اجرای این گونه طرح‌ها بدون در نظر گرفتن پارامترهای طرح مقاوم در برابر زلزله قابل توجیه نمی‌باشد. در انجام یک طرح عمرانی و صنعتی به ویژه در مورد ابنیه فنی، سوالات فراوانی در مورد زلزله و نیروهای وارده وجود دارد. از جمله اینکه اندازه، جهت وعملکرد نیروها چگونه است؟ حداکثر شتابی که به سازه وارد می شود چه مقدار است؟ اگر پاسخ علمی و منطقی برای این سوال‌ها نباشد، چگونه می توان برای طراحی یک پروژه تصمیم گرفت؟ اگر پروژه‌ای بدون داشتن پاسخ مناسب به سوال‌های فوق طراحی و احداث گردد، آیا پروژه قابل توجیه است؟

برای پاسخ به سوالات بالا لازم است با استفاده از پژوهش‌های تفصیلی زلزله‌شناسی که می‌بایست به صورت خاص و ناحیه‌ای انجام شود، ایده‌ی واقع بینانه‌ای از نیروهای زمین‌ساختی به‌دست آورد و برآورد واقعی از پتانسیل جنبش گسلها، حداکثر شتاب حرکت افقی و قائم زمین، در طی عمر مفید سازه با توجه به احتمالات، سرعت حرکت و میزان جابجایی زمین، محتوای فرکانس امواج، مدت زمان نوسانات و خطر زمین لرزه به عمل آورد. برای رسیدن به این هدف فعالیت‌های بسیاری توسط پژوهشگران زیادی با کمک روشهای گوناگون تحلیلی و آزمایشگاهی انجام گرفته است که هر روش با در نظر گرفتن فرضیات مخصوص به خود سعی در تخمین بهتری از رفتار ساختگاه

بر روی جابجایی و شتاب سطح زمین، که با توجه به تفاوی در مشخصات مصالح موجود در مسیر حرکت امواج حاصل از زمین‌لرزه داشته‌اند.

شرایط محلی ساختگاه بر کلیه‌ی خصوصیات مهم حرکت نیرومند زمین شامل دامنه، محتوای فرکانسی و مدت زمان وقوع زمین‌لرزه، اثر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارند. به عبارتی خصوصیات یک زلزله با توجه به مشخصات فیزیکی و دینامیکی ساختگاه، می‌تواند در فرکانس‌های مشخصی تشدید و یا تضعیف شود[۱و۲]. میزان تاثیرگذاری، تابع هندسه، خواص مصالح لایه‌های زیر سطح، توپوگرافی ساختگاه و خصوصیات حرکت ورودی می‌باشد[۳]. طبیعت اثرات محلی ساختگاه را می‌توان با بهره‌گیری از روشهای مختلف مانند تحلیل پاسخ زمین، اندازه‌گیری‌های حرکات واقعی سطحی و زیرسطحی در همان ساختگاه و اندازه‌گیری حرکات سطح زمین در ساختگاه‌هایی با شرایط متفاوت از ساختگاه مورد بررسی تشریح نمود. از آنجایی که بسیاری از شهرها و مناطقی که شدیداً در معرض خطر زلزله قرار دارند در نزدیکی و یا بر روی لایه‌های آبرفتی قرار دارند بررسی لایه‌بندی خاک این مناطق نیز دارای اهمیت زیادی است.

تحلیل‌های پاسخ زمین به منظور پیش‌بینی حرکات سطح زمین، تدوین طیف پاسخ[1] طرح، تعیین تنش و کرنش‌های دینامیکی جهت تخمین پتانسیل روانگرایی و همچنین تعیین نیروهای ناشی از زلزله که باعث ناپایداری سازه‌های حائل خاک می‌شوند، به کار می‌روندکه پس از اعمال شتاب سنگ بستر زلزله‌های به وقوع پیوسته، با استفاده از شیوه‌های مدل‌سازی گوناگون، سعی در لحاظ نمودن اثر لایه‌های خاک موجود در زیر سطح زمین و بررسی تغییرات حاصل بر محتوای فرکانسی امواج عبوری از آن‌ها و در نهایت، ثبت شتاب‌نگاشت و تغییر مکان حاصل در سطح زمین(طیف پاسخ) می‌شود. یک طیف پاسخ اساساً نمودار ماکزیمم جابجایی، سرعت یا شتاب در برابر پریود طبیعی یک سیستم با یک درجه‌ی آزادی است که ممکن است بر مبنای مشخصات زمین‌شناسی، فعالیت تکتونیکی، لرزه‌شناسی و خاک منطقه‌ی مورد نظر، در هر مکانی متفاوت باشد[۴].

1-Response Spectra

۱-۲- مروری بر مطالعات پیشین

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه‌ی تحلیل پاسخ زمین صورت گرفته است. روند محاسبات و معادلات برخی از این تحقیقات در حوزه‌ی زمان و برخی دیگر در حوزه‌ی فرکانس می‌باشند؛ اما بایستی توجه داشت که هرگاه سیستم مورد نظر میرایی هیسترزیس داشته و یا میرایی به فرکانس وابسته باشد، تحلیل در حوزه‌ی فرکانس مناسب‌تر است[۵].

در این سال‌ها برخی روش‌ها نیز برای تحلیل غیرخطی در حوزه‌ی فرکانس پیشنهاد شده‌اند. به عنوان مثال " کاواموتو"[۲] یک روش هیبرید زمان- فرکانس پیشنهاد می‌دهد که در آن سیستم اصلی با یک سیستم خطی معادل جایگزین می‌شود[۶]. " آپریل"[۳] این روش را با اعمال تغییراتی جهت در نظرگرفتن میرایی‌های وابسته به فرکانس توسعه داد[۷]. "ایتو"[۴] روشی در حوزه‌ی فرکانس ارائه داد که در آن پاسخ سیستم‌های با میرایی ناهمسان بدست آورده می‌شود؛ که برای این منظور و جهت رهایی از معادلات حرکت، وی مجبور به استفاده از محاسبات مودال و با بکارگیری از اعداد مختلط گردید. در این روش تنها از اعداد حقیقی جهت حل مسئله استفاده می‌شود[۸]. "چانگ"[۵] جهت ارتباط بهتر حل فیزیکی سیستم‌های غیرخطی با میرایی ناهمسان، از روش برهم‌نهی مدها استفاده کرد و با استفاده از بسط سری تیلور روشی بر مبنای تکرار ارائه داد[۹]. "کلارت"[۶] و "ونانسیو"[۷] میرایی ناهمسان را با استفاده از مفهوم نیروی مجازی در نظر گرفتند. در این روش فرمول‌نویسی، نیروی مجازی منجر به یک روند تکرار می‌شود که در حوزه‌ی زمان و بوسیله‌ی "انتگرال دوحامل" حل می‌گردد[۱۰]. "جانگید و داتا"[۸] در مطالعات خود همان روش کلارت را بکار گرفتند؛ با این تفاوت که روند تکرار در حوزه‌ی فرکانس اعمال می‌شود[۱۱].

2- Kawamoto
3- Aprile
4- Itoh
5- Chang
6- Claret
7- Venancio
8- Jangid and Dotta

۱-۳- اهداف تحقیق

تحقیق حاضر در ادامه‌ی تحقیقات پیشین انجام شده در زمینه‌ی روش حل ترکیبی زمان- فرکانس در بخش مهندسی عمران می‌باشد. در تلاش‌های قبلی روش حل ترکیبی فرکانس- زمان برای تحلیل خطی و غیرخطی پاسخ زمین بکار رفته است و نتایج قابل قبولی نیز بدست آمده است. تحقیق حاضر، شامل توسعه‌ی روش فوق‌الذکر بر مبنای روش "قطعه‌قطعه‌کردن زمان"[۹] جهت تحلیل در دامنه‌های زمانی گسسته و کوچک‌تر می‌باشد. در این روش، به جای یافتن پاسخ نهائی در بازه‌ی زمانی کل مورد نظر، پاسخ در قطعات زمانی کوچکتر از زمان کل محاسبه شده و پاسخ نهائی، از بر هم نهی معقول آن‌ها بدست می‌آید.

9- Time Segmentation Method

فصل دوم:

توصیف پارامترهای حرکت زمین