



دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه آموزشی عمران

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش زلزله

عنوان:

**اثر مشخصات زلزله در میرایی سازه یک درجه آزادی معادل با لحاظ اندرکنش
خاک و سازه**

استاد راهنما:

دکتر محتشم محبی

استاد مشاور:

دکتر حامد رحمن شکرگزار

پژوهشگر:

نسیم صمدی

زمستان ۱۳۹۶

نام خانوادگی دانشجو: صمدی	نام: نسیم
عنوان پایان نامه:	
اثر مشخصات زلزله در میرایی سازه یک درجه آزادی معادل با لحاظ اندرکنش خاک و سازه	
استاد راهنما: دکتر محتشم محبی استاد مشاور: دکتر حامد رحمن شکرگزار	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی عمران
گرایش: زلزله	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: فنی و مهندسی	تاریخ دفاع: ۹۶/۱۱/۱۱
چکیده:	تعداد صفحات: ۱۲۰
<p>با توجه به تأثیر اعمال اندرکنش خاک و سازه در مشخصات دینامیکی سازه نظیر سختی، میرایی و ...، اندرکنش خاک و سازه بر میرایی معادل سازه‌های غیرخطی تأثیرگذار خواهد بود. از طرف دیگر میرایی ویسکوز معادل سازه‌های غیرخطی بصورت ترکیب میرایی الاستیک، میرایی هیستریسیس و میرایی تشعشعی می‌باشد که رکورد زلزله ورودی باعث تغییر میرایی هیستریسیس سازه‌های غیرخطی و در نتیجه میرایی ویسکوز معادل خواهد شد، بنابراین در این پایان نامه به بررسی اثر مشخصات زلزله در مقدار میرایی ویسکوز معادل پرداخته خواهد شد. برای این منظور با انتخاب مدل‌های مخروطی برای لحاظ اندرکنش خاک و سازه، معادلات ارتعاشی سازه غیرخطی با اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه نوشته شده و آنالیز غیرخطی سیستم خاک - سازه تحت اثر رکوردهای زلزله با برنامه نویسی در نرم افزار <i>Matlab</i> انجام می‌شود. میرایی هیستریسیس و میرایی ویسکوز سازه یک درجه آزادی معادل با لحاظ اندرکنش خاک و سازه و بدون اثر آن برای رکوردهای مختلف زلزله تعیین و تاثیر رکوردهای مختلف زلزله در مقدار میرایی ویسکوز معادل و همچنین مقدار پراکندگی نتایج بررسی می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقادیر میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه تحت رکوردهای مختلف زلزله، دارای ضریب تغییرات بالایی می‌باشد. همچنین پارامترهای بی بعد معرف سیستم خاک - سازه بر مقادیر میرایی خطی معادل و پراکندگی مقادیر تأثیرگذار است.</p>	
<p>کلید واژه‌ها: اندرکنش خاک و سازه، سازه یک درجه آزادی معادل، مشخصات زلزله، میرایی ویسکوز معادل، میرایی هیستریسیس</p>	

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
---------------------	------

فصل اول: کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- بیان مسأله	۲
۱-۳- سؤال‌های پژوهش	۳
۱-۴- فرضیه‌های پژوهش	۴
۱-۵- اهداف پژوهش	۴
۱-۶- ضرورت و اهمیت پژوهش	۴
۱-۷- پیشینه‌ی پژوهش	۵
۱-۸- سامان‌دهی پایان‌نامه	۸

فصل دوم: میرایی معادل

۲-۱- مقدمه	۱۰
۲-۲- مختصری بر روش طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد	۱۱
۲-۳- مفهوم میرایی ویسکوز معادل	۱۳
۲-۴- روش سختی سکانت	۱۸
۲-۵- رابطه‌ی گلکان و سوزن	۲۰
۲-۶- رابطه‌ی ایوان	۲۱
۲-۷- رابطه‌ی لی و وو	۲۱
۲-۸- روابط پریستلی	۲۴
۲-۹- رابطه‌ی <i>ATC-40</i>	۲۶
۲-۱۰- روابط <i>FEMA440</i>	۳۰

۳۲..... ۱-۱۰-۲ روابط میرایی معادل

۳۳..... ۲-۱۰-۲ روابط دوره تناوب معادل

فصل سوم: اندرکنش خاک و سازه

۳۶..... ۱-۳ مقدمه

۳۶..... ۲-۳ مفهوم اندرکنش خاک و سازه

۳۸..... ۳-۳ اثرات اندرکنش خاک و سازه

۳۸..... ۱-۳-۳ اندرکنش سینماتیکی (جنبشی)

۴۱..... ۲-۳-۳ اندرکنش اینرسی

۴۲..... ۳-۳-۳ ترکیب اندرکنش سینماتیکی و اینرسی

۴۲..... ۴-۳ روش‌های تحلیل اندرکنش خاک و سازه

۴۳..... ۱-۴-۳ روش مستقیم

۴۴..... ۲-۴-۳ روش ساده‌سازی

۴۵..... ۵-۳ مدل جایگزین خاک

۴۵..... ۱-۵-۳ مدل‌های مخروطی پی سطحی

۴۶..... ۱-۱-۵-۳ مدل مخروطی انتقالی

۴۹..... ۲-۱-۵-۳ مدل مخروطی چرخشی

۵۲..... ۲-۵-۳ مدل جایگزین خاک پی سطحی

۵۳..... ۱-۲-۴-۳ مدل جایگزین خاک انتقالی

۵۳..... ۲-۲-۵-۳ مدل جایگزین خاک چرخشی

۵۴..... ۶-۳ معادل‌سازی سیستم خاک - سازه

۵۵..... ۱-۶-۳ روابط معادل‌سازی سیستم خاک - سازه در FEMA440

۵۵..... ۱-۱-۶-۳ محاسبه دوره تناوب معادل سیستم خاک-سازه

۵۶..... ۲-۱-۶-۳ محاسبه میرایی معادل سیستم خاک - سازه

- ۳-۱-۳- محاسبه دوره تناوب و میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه ۵۸
- ۳-۲-۳- رابطه‌ی ارائه شده اسمعیل زاده برای معادل سازی سیستم خاک - سازه ۵۸

فصل چهارم: روش پژوهش

- ۴-۱-۱- مقدمه ۶۲
- ۴-۲-۲- مدل سیستم خاک - سازه ۶۲
- ۴-۳-۳- پارامترهای بدون بعد سیستم خاک - سازه ۶۵
- ۴-۴-۴- معادلات حرکت سیستم خاک - سازه ۶۶
- ۴-۵-۵- دوره تناوب و میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه ۷۱
- ۴-۶-۶- بررسی تأثیر عدم قطعیت رکورد زلزله در دوره تناوب و میرایی معادل سیستم خاک - سازه ۷۱

فصل پنجم: آنالیز عددی

- ۵-۱-۱- مقدمه ۷۸
- ۵-۲-۲- صحت سنجی ۷۸
- ۵-۳-۳- اثر لحاظ اندرکنش خاک و سازه بر دوره تناوب و میرایی خطی معادل ۸۲
- ۵-۴-۴- روابط مختلف در تعیین دوره تناوب خطی معادل و میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه ۸۶
- ۵-۵-۵- اثر رکوردهای مختلف زلزله بر دوره تناوب و میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه ۸۹
- ۵-۶-۶- مقایسه حداکثر پاسخ غیرخطی سازه اصلی در سیستم خاک - سازه و حداکثر پاسخ سیستم معادل خطی ۹۵
- ۵-۷-۷- تأثیر پارامترهای بدون بعد a_0 و λ ۹۶
- ۵-۸-۸- اثر مدفون شدگی پی بر دوره تناوب و میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه ۱۰۱
- ۵-۹-۹- بررسی تأثیر عدم قطعیت رکوردهای مختلف زلزله در میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه ۱۰۳
- ۵-۱۰-۱۰- تأثیر تغییر نوع خاک بر مقادیر میرایی معادل سیستم خاک - سازه ۱۰۸

فصل ششم: نتیجه گیری

۱۱۱.....	۱-۶- مقدمه
۱۱۱.....	۲-۶- نتایج
۱۱۳.....	۳-۶- پیشنهادات
۱۱۴.....	فهرست منابع و مآخذ
۱۲۰.....	پیوست ۱: مشخصات مجموعه رکوردهای زلزله

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول ۱-۲: تغییرات K	۲۸
جدول ۱-۳: ضرایب پارامترهای معادل خطی در رابطه‌ی اسمعیل‌زاده	۶۰
جدول ۱-۴: مدل مخروطی پی سطحی واقع بر محیط نیمه بی‌نهایت همگن خاک	۶۴
جدول ۲-۴: مقادیر میرایی و فرکانس انواع خاک‌ها	۷۳
جدول ۱-۵: صحت سنجی برنامه نوشته شده در <i>Matlab</i>	۸۲
جدول ۲-۵: مقایسه حداکثر پاسخ غیرخطی سازه اصلی در سیستم خاک - سازه و سازه معادل خطی	۹۵

فهرست شکل ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل ۱-۲: حلقه‌ی هیستریسیس نیرو - تغییر شکل	۱۴
شکل ۲-۲: انرژی تلف شده E_D در یک سیکل از ارتعاش هارمونیک تعیین شده از یک آزمایش	۱۶
شکل ۳-۲: سیستم معادل	۱۹
شکل ۴-۲: انواع مدل‌های هیستریسیس	۲۷
شکل ۵-۲: تغییرات دوره تناوب معادل متناظر با سختی سکانت	۲۹
شکل ۶-۲: تغییرات K بر اساس ضریب شکل‌پذیری	۲۹
شکل ۷-۲: تغییرات β_{eq} بر اساس ضریب شکل‌پذیری	۳۰
شکل ۸-۲: پاسخ طیفی شتاب - جابجایی نشان‌دهنده‌ی پارامترهای دوره تناوب و میرایی مؤثر سیستم معادل خطی در منحنی ظرفیت	۳۱
شکل ۱-۳: اندرکنش سینماتیکی با حرکات میدان آزاد	۳۹
شکل ۲-۳: تولید ارتعاشات گهواره‌ای در یک پی مدفون بوسیله‌ی انتشار قائم امواج S	۴۰
شکل ۳-۳: (a) تحلیل اندرکنش سینماتیکی؛ (b) تحلیل اندرکنش اینرسی	۴۱
شکل ۴-۳: تحلیل روش مستقیم اندرکنش خاک و سازه	۴۳
شکل ۵-۳: نمونه‌ای از مدل‌های مخروطی و مجموعه المان‌های معادل برای استفاده در تحلیل دینامیکی	۴۴
شکل ۶-۳: مدل مخروطی انتقالی یک دیسک صلب و بدون جرم در راستای درجه‌ی آزادی قائم	۴۷
شکل ۷-۳: مدل مخروطی چرخشی یک دیسک صلب و بدون جرم در راستای درجه‌ی آزادی گهواره‌ای	۵۰
شکل ۸-۳: مدل جایگزین خاک انتقالی برای پی سطحی در راستای قائم	۵۳
شکل ۹-۳: نمونه‌ای مدل جایگزین خاک در راستای حرکت چرخشی	۵۳
شکل ۱۰-۳: مدل گسسته جایگزین خاک برای پی سطحی	۵۴
شکل ۱۱-۳: (a) میرایی تشعشی برای پی سطحی بر حسب $\tilde{T}_{eff} / T_{eff}$ به ازای h/r مختلف (b) میرایی تشعشی برای $e/r = 0.5$ بر حسب $\tilde{T}_{eff} / T_{eff}$ به ازای h/r مختلف	۵۷

- شکل ۴-۱: نمودار نیرو - جابجایی برای مدل رفتاری دوخطی با شیب ثانویه صفر ۶۲
- شکل ۴-۲: مدل سیستم خاک - سازه ۶۳
- شکل ۴-۳: درجات آزادی معادلات حرکت سیستم خاک - سازه ۶۷
- شکل ۴-۴: تاریخچه‌ی زمانی رکورد زلزله کانای - تاجیمی برای خاک نوع IV ۷۴
- شکل ۴-۵: تابع چگالی احتمال توزیع نوع II متغیر تصادفی ۷۵
- شکل ۴-۶: تابع چگالی احتمال توزیع نرمال متغیر تصادفی ۷۶
- شکل ۵-۱: اثر درجه آزادی داخلی خاک بر پاسخ سازه در سیستم خاک - سازه ۷۹
- شکل ۵-۲: مدل خاک - سازه ۸۰
- شکل ۵-۳: اثر اندرکنش خاک و سازه بر مقاومت طلب سازه تحت شکل پذیری هدف سازه $\mu = 2$ ۸۱
- شکل ۵-۴: اثر لحاظ اندرکنش خاک و سازه بر مقدار میرایی معادل خطی ۸۴
- شکل ۵-۵: اثر لحاظ اندرکنش خاک و سازه بر مقدار دوره تناوب معادل خطی ۸۴
- شکل ۵-۶: میزان اختلاف دوره تناوب و میرایی معادل با لحاظ اندرکنش خاک و سازه ($a_0 = 2$ و $\lambda = 2$) و حالت پایه صلب ۸۵
- شکل ۵-۷: مقادیر میرایی خطی معادل طبق روابط مختلف به ازای $a_0 = 2$ و $\lambda = 2$ ۸۸
- شکل ۵-۸: مقادیر دوره تناوب خطی معادل طبق روابط مختلف به ازای $a_0 = 2$ و $\lambda = 2$ ۸۸
- شکل ۵-۹: پراکندگی مقادیر میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه با $a_0 = 1$ و $\lambda = 0.5$ تحت ۲۰ رکورد مختلف ۹۱
- شکل ۵-۱۰: پراکندگی مقادیر دوره تناوب معادل نسبی سیستم خاک - سازه با $a_0 = 1$ و $\lambda = 0.5$ تحت ۲۰ رکورد مختلف ۹۲
- شکل ۵-۱۱: ضریب تغییرات مقادیر میرایی معادل سیستم خاک - سازه با $a_0 = 1$ و $\lambda = 0.5$ حاصل از رکوردهای مختلف زلزله ۹۳
- شکل ۵-۱۲: ضریب تغییرات مقادیر دوره تناوب معادل نسبی سیستم خاک - سازه با $a_0 = 1$ و $\lambda = 0.5$ حاصل از رکوردهای مختلف زلزله ۹۴

- شکل ۵-۱۳: تأثیر تغییر مقدار a_0 و λ بر میرایی خطی معادل..... ۹۶
- شکل ۵-۱۴: تأثیر تغییر مقدار a_0 و λ بر دوره تناوب معادل نسبی..... ۹۷
- شکل ۵-۱۵: اثر تغییر مقدار a_0 و λ بر ضریب تغییرات میرایی خطی معادل..... ۹۸
- شکل ۵-۱۶: اثر تغییر مقدار a_0 و λ بر ضریب تغییرات دوره تناوب معادل نسبی..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۷: تأثیر عمق مدفون شدگی بر میرایی خطی معادل..... ۱۰۱
- شکل ۵-۱۸: تأثیر عمق مدفون شدگی بر دوره تناوب معادل نسبی..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۹: بررسی حساسیت مقادیر میرایی معادل خطی نسبت به تعداد رکورد زلزله‌های مصنوعی..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۰: مقادیر میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه با $a_0 = 2$ و $\lambda = 2$ تحت ۳ دسته رکورد مصنوعی ایجاد شده..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۱: میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه با $a_0 = 2$ و $\lambda = 2$ تحت رکوردهای واقعی و مصنوعی زلزله..... ۱۰۶
- شکل ۵-۲۲: توزیع تجمعی داده‌های میرایی معادل حاصل از ۴۰۰ رکورد زلزله‌ی مصنوعی..... ۱۰۷
- شکل ۵-۲۳: توزیع تجمعی داده‌های میرایی معادل حاصل از ۲۰ رکورد زلزله‌ی واقعی..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲۴: اثر نوع خاک بر میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه با $a_0 = 2$ و $\lambda = 2$ ۱۰۹

فصل اول :

کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه

تحلیل غیرخطی سیستم‌ها با روش‌های عددی انجام می‌گیرد. اما گاهی با توجه به پیچیدگی این روش‌ها و زمان‌بر بودن آن، استفاده از روش‌های تقریبی مناسب برای برآورد پاسخ سیستم‌های غیرخطی مورد توجه قرار گرفته است. روش معادل‌سازی خطی یکی از این روش‌هاست که در این روش سیستم غیرخطی با یک سیستم خطی جایگزین می‌شود و از تحلیل سیستم خطی معادل در برآورد پاسخ سیستم اصلی استفاده می‌شود. در عمل سازه همیشه در طی زلزله‌ها تا حدودی با خاک اندرکنش کرده و در خاک اعمال تغییر شکل می‌کند که وقوع پدیده‌ی اندرکنش خاک و سازه، در پاسخ سازه‌ای به صورتی نتیجه می‌دهد که می‌تواند کاملاً متفاوت از پاسخ یک سازه با پایه صلب قرار گرفته تحت اثر حرکت میدان آزاد زمین باشد. لذا در این پایان‌نامه از روش معادل‌سازی خطی برای تعیین مشخصات سیستم خطی با پایه صلب معادل سیستم خاک - سازه غیرخطی بهره گرفته می‌شود که از جمله مشخصات سیستم معادل، دوره تناوب و میرایی خطی معادل می‌باشد. با انتخاب مدل مناسب، سیستم خاک - سازه تحت رکوردهای مختلف زلزله آنالیز می‌گردد و مقادیر دوره تناوب و میرایی خطی معادل سیستم خاک - سازه بدست می‌آید. در نهایت مشاهده می‌شود که اندرکنش خاک و سازه بر مقادیر دوره تناوب و میرایی معادل تأثیرگذار است و همچنین مقادیر پارامترهای فوق، وابسته به رکوردهای مختلف زلزله ورودی به سیستم بوده و دارای پراکندگی در مقادیر می‌باشند.

۱-۲- بیان مسأله

تغییر شکل‌های یک سازه در هنگام زلزله تحت تاثیر اندرکنش سه سیستم مرتبط با همدیگر سازه، فونداسیون و مشخصات لایه‌های خاک زیر و اطراف فونداسیون قرار دارد. انعطاف‌پذیری خاک علاوه بر تغییر خصوصیات حرکت سطح زمین، می‌تواند به علت اندرکنش تغییر قابل ملاحظه‌ای در پاسخ سازه در مقابل زلزله ایجاد نماید. اندرکنش خاک و سازه، بسته به مشخصات دینامیکی خاک و سازه و مشخصات

زلزله، می‌تواند باعث افزایش یا کاهش پاسخ دینامیکی سازه شود. به طور کلی انعطاف‌پذیری بستر سازه باعث می‌شود که سختی کل سیستم خاک-سازه در مقایسه با سختی سازه با پایه صلب کاهش یابد. همچنین انتشار امواج ارتعاشی در محیط خاک معمولاً باعث ایجاد میرایی اضافی تحت عنوان میرایی تشعشعی شده که در نهایت باعث افزایش میرایی کل سیستم خاک-سازه می‌شود.

روش معادل‌سازی خطی یکی از روش‌های تقریبی در برآورد پاسخ سیستم‌های غیرخطی می‌باشد. از کاربردهای این روش که می‌توان اشاره کرد، در ضوابط طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد و نیز مبنای روش طیف ظرفیت می‌باشد. منظور از معادل‌سازی خطی این است که یک سازه واقعی با رفتار غیرخطی با یک سیستم یک درجه آزادی خطی جایگزین شود. برای سازه معادل بایستی پارامترهای سختی، میرایی و جرم معادل به نحو مناسبی انتخاب شود. میرایی ویسکوز معادل ترکیبی از اثرات میرایی الاستیک و میرایی هیسترسیس است که تخمین این فاکتور برای تعریف سازه جایگزین، یک پارامتر کلیدی است. با توجه به اینکه انعطاف‌پذیری بستر باعث افزایش میرایی سیستم خاک-سازه می‌شود لذا اعمال اندرکنش خاک و سازه در نهایت منجر به افزایش میرایی ویسکوز معادل سازه یک درجه آزادی معادل خواهد شد. در این پایان‌نامه هدف بررسی اثر مشخصات زلزله‌ها بر میرایی معادل و همچنین دقت روش‌های مختلف پیشنهادی در تعیین میرایی ویسکوز معادل برای سازه‌های غیرخطی تحت اثر زلزله می‌باشد.

۱-۳- سؤال‌های پژوهش

۱. چه روشی برای محاسبه میرایی معادل سازه‌های غیرخطی با لحاظ اندرکنش خاک و سازه تحت اثر زلزله‌های مختلف مناسب می‌باشد؟
۲. مقادیر تحلیلی بدست آمده برای میرایی معادل با لحاظ اندرکنش خاک و سازه تحت اثر زلزله‌های مختلف با روابط آیین‌نامه‌ای میرایی معادل چه میزان اختلاف دارند؟
۳. مشخصات زلزله‌ها چه تاثیری در مقدار میرایی معادل سازه‌های غیرخطی دارد؟

۱-۴- فرضیه‌های پژوهش

۱. میرایی سیستم خطی معادل باید به گونه‌ای تعیین شوند که حداکثر پاسخ آن با اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه، با دقت قابل قبولی، برآوردکننده جابجایی مورد انتظار در سازه باشد.
۲. از آنجا که مدفون‌شدگی پی باعث افزایش میرایی سیستم خاک - سازه می‌شود، مقادیر میرایی خطی معادل در پی مدفون بیشتر از حالت پی سطحی به دست می‌آید.
۳. میرایی معادل سازه‌های غیرخطی با اعمال اثر اندرکنش خاک-سازه وابسته به مشخصات زلزله ورودی می‌باشد.

۱-۵- اهداف پژوهش

- هدف از این پژوهش، تعیین میرایی ویسکوز معادل سازه خطی یک درجه آزادی معادل با سازه واقعی غیرخطی تحت اثر رکوردهای مختلف زلزله با لحاظ اندرکنش خاک - سازه می‌باشد که علاوه بر بررسی تاثیر اندرکنش خاک - سازه بر میرایی معادل سازه غیرخطی طبق روش‌های پیشنهادی، به تعیین اثر مشخصات زلزله در مقدار میرایی ویسکوز معادل هم پرداخته می‌شود.

۱-۶- ضرورت و اهمیت پژوهش

از آنجا که اکثر سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله‌های شدید تغییرشکل‌های غیرارتجاعی می‌دهند، از این رو بدست آوردن حداکثر جابجایی مورد انتظار در سازه حائز اهمیت می‌باشد. ضوابط طراحی و بهسازی لرزه‌ای روش‌های متفاوتی برای برآورد حداکثر جابجایی غیرارتجاعی سازه پیشنهاد می‌نمایند. روش معادل‌سازی خطی که مبنای روش طیف ظرفیت می‌باشد، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ زیرا با این روش می‌توان پاسخ غیرارتجاعی سازه را بدون نیاز به تحلیل‌های زمان‌بر غیرخطی با دقت مناسب بدست آورد. از جمله پارامترهای کلیدی در این روش، میرایی معادل می‌باشد که باعث تغییر در حداکثر پاسخ سازه می‌شود. در سال‌های اخیر، مطالعات جامعی در زمینه سیستم خطی معادل صورت گرفته است که عموماً از انعطاف‌پذیری بستر سازه صرف نظر شده است. با توجه به تاثیر اعمال اندرکنش خاک-سازه در مشخصات دینامیکی سازه نظیر سختی، میرایی و ... ضروری است که تاثیر اندرکنش خاک-سازه

بر میرایی معادل سازه های غیرخطی مورد بررسی قرار گیرد. از طرف دیگر میرایی ویسکوز معادل سازه های غیرخطی با لحاظ اندرکنش خاک و سازه بصورت ترکیب میرایی الاستیک، میرایی هیستریسیس و میرایی تشعشی می باشد. با توجه به اینکه رکورد زلزله ورودی باعث تغییر میرایی هیستریسیس سازه های غیرخطی و در نتیجه میرایی ویسکوز معادل خواهد شد، لذا در این پایان نامه به بررسی اثر مشخصات زلزله در مقدار میرایی ویسکوز معادل پرداخته خواهد شد.

۱-۷- پیشینه ی پژوهش

انعطاف پذیری پایه سازه و در نتیجه اثر اندرکنش خاک و سازه در طول سالیان متمادی در آنالیز و طراحی سازه های مختلف مورد توجه بوده است (محمودی و همکاران، ۱۳۹۴). اثرات دینامیکی اندرکنش خاک و سازه که توسط بسیاری از نویسندگان مورد مطالعه قرار گرفته است، عمدتاً بر فرض رفتار الاستیک خطی از سازه و خاک است (اسکاوزو و رفتوپولوس^۱، ۱۹۷۴؛ هدیجان و همکاران^۲، ۱۹۷۴). با وجود اینکه تحلیل خطی اطلاعات ارزشمندی در مورد پاسخ سازه تحت اثر زلزله می دهد، اما مشخص شده است که بسیاری از سازه های واقعی رفتار غیرخطی خواهند داشت. پاسخ لرزه ای سیستم های خاک- سازه با رفتار الاستوپلاستیک خاک توسط آیزنبرگ^۳ (۱۹۷۰) و مینامی^۴ (۱۹۷۳) مورد مطالعه قرار گرفته است. کوبوری و همکاران^۵ (۱۹۶۹)، اینوئه و همکاران^۶ (۱۹۷۴)، توجه خود را به رفتار روسازه بصورت الاستوپلاستیک و محدود کردن جابجایی جانبی توده پایه معطوف کرده اند. همچنین طیف پاسخ برای حداکثر تغییر شکل سازه با رفتار الاستوپلاستیک روی نیم فضای الاستیک و روابط تقریبی برای برآورد سختی دینامیکی خاک توسط ولتسوس و وربیک^۷ (۱۹۷۳) ارائه شده است. در بررسی های انجام گرفته توسط قدرتی و همکاران (۱۳۹۰) بر میزان تأثیرپذیری مودهای بالاتر ارتعاشی از اثر اندرکنش خاک و سازه، نشان داده شده است که اندرکنش خاک و سازه تأثیر کمی بر پیوند مودهای بالاتر دارد ولی این تأثیر بر میرایی

1- Scavuzzo and Raftopoulos

2- Hadjian et al

3- Isenberg

4- Minami

5- Kobori et al

6- Inoue et al

7- Veletsos and Verbic

مودها قابل توجه است. کیم و همکاران^۸ (۲۰۱۶) روش واکنش مرزی را به عنوان روشی موثر برای آنالیز غیرخطی اندرکنش خاک-سازه تحت بارهای لرزه‌ای در حوزه زمان ارائه دادند. مکی و همکاران^۹ (۲۰۱۴) در مطالعات خود نشان دادند که پاسخ سازه نه تنها به پارامترهای دینامیکی و ویژگی‌های تحریک لرزه‌ای وابسته است، بلکه به اندرکنش سازه، پی و خاک نیز وابسته است. در این مطالعه همچنین به مقایسه طیف الاستیک، غیرالاستیک و منحنی ظرفیت سازه‌های بتن مسلح با لحاظ اثر اندرکنش خاک و سازه و بدون لحاظ آن پرداخته‌اند. میناسیدیس و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۴) در زمینه اثر اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ غیرخطی قاب‌های فولادی دوبعدی در معرض زلزله‌های نزدیک گسل مطالعاتی انجام دادند و نتایج مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای مربوط به پاسخ سازه به طور قابل ملاحظه‌ای از نوع مکانیزم گسل تاثیر می‌پذیرند. مرتضایی و ارفعی (۱۳۹۳) در بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه در پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بتن‌آرمه نشان دادند که اندرکنش خاک و سازه، بسته به مشخصات دینامیکی خاک، سازه و زلزله، می‌تواند باعث افزایش یا کاهش پاسخ دینامیکی سازه شود. در بررسی رادمان و همکاران (۱۳۹۴) بر ساختمان‌های ۵، ۸ و ۱۲ طبقه ۳ بعدی، با توجه به اینکه در مواردی اثر اندرکنش خاک و سازه منجر به افزایش پاسخ جابجایی می‌گردد، لذا پیشنهاد گردیده است که در تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها باید اثر اندرکنش خاک و سازه به نحو مناسب لحاظ گردد. اخلاقی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از روش مخروطی، با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه به صورت عددی به تحلیل دینامیکی سازه‌ها پرداخته و نتایج بدست‌آمده حاکی از این بوده که منظور نمودن اثرات اندرکنش خاک و سازه با استفاده از این روش تا ۲۵٪ در نتایج تاثیرگذار بوده است. در بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه بر ضریب کاهش مقاومت سیستم‌های یک درجه آزادی و چند درجه آزادی، گنجوی و هاو^{۱۱} (۲۰۱۲) نشان دادند که اثر اندرکنش خاک و سازه، در هر دو سیستم موجب کاهش ضریب کاهش مقاومت می‌شود که در سیستم یک درجه آزادی این میزان کاهش بیشتر از سیستم چند درجه آزادی بوده است.

8- Kim et al

9- Mekki et al

10- Minasidis et al

11- Hao

اولین بار جاکوبسن^{۱۲} (۱۹۳۰) مفهوم میرایی معادل ویسکوز را پیشنهاد نمود. وی از این مفهوم برای بدست آوردن حل تقریبی برای سیستم یک درجه آزادی با نیروی میرایی غیرخطی که تحت تحریک هارمونیک قرار گرفته استفاده نمود. در این مطالعه سختی سیستم خطی معادل برابر با سختی سیستم اصلی و میرایی آن برابر با انرژی تلف شده در یک سیکل از نیروی میرایی غیرخطی در نظر گرفته شده است. براساس مطالعات روزنبلو و هررا^{۱۳} (۱۹۶۴)، برای اولین بار، استفاده از سختی سکانت به همراه میرایی معادل ویسکوز به عنوان مشخصات دینامیکی سیستم خطی معادل پیشنهاد شد که روش سختی هندسی نامیده می‌شود. در بارگذاری زلزله، پاسخ سیستم غیرارتجاعی در اکثر مدت بارگذاری به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از حداکثر پاسخ آن می‌باشد. بنابراین میرایی معادل ویسکوز که براساس بارگذاری هارمونیک تعیین می‌شود نمی‌تواند برآورد مناسبی برای میرایی سیستم خطی معادل باشد. مطالعات گلکان و سوزن^{۱۴} (۱۹۷۴) نشان می‌دهد که استفاده از سختی سکانت به همراه میرایی معادل ویسکوز، حداکثر جابجایی سیستم غیرارتجاعی را کمتر از مقدار مورد انتظار بدست می‌دهد که از مقادیر بزرگ میرایی معادل ویسکوز ناشی می‌شود. در این مطالعه رابطه‌ی تجربی را برای محاسبه میرایی سیستم خطی معادل پیشنهاد نمودند .

مطالعات متعددی در زمینه تعیین پاسخ ارتجاعی سیستم‌های خاک-سازه از طریق سیستم یک درجه آزادی معادل انجام شده است و روابط تقریبی متفاوتی برای تعیین پریود و میرایی سیستم یک درجه آزادی معادل سیستم خاک-سازه با رفتار ارتجاعی ارائه شده است. از جمله این روابط می‌توان به روابط ارائه شده در مطالعات ولتسوس و نیر^{۱۵} (۱۹۷۵) اشاره نمود. اندرکنش خاک و سازه می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر پاسخ سازه در ناحیه رفتار غیرارتجاعی داشته باشد. بیلاک^{۱۶} (۱۹۷۸) با استفاده از مفهوم روش معادل سازی خطی، اثرات اندرکنش خاک و سازه را بر پاسخ هارمونیک سیستم‌های خاک-سازه در حالت غیرارتجاعی بررسی کرده است. اسمعیل زاده سیلابی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر

12- Jacobsen

13- Rosenblueth and Herrera

14- Gulkan and Sozen

15- Veletsos and Nair

16- Bilak

اندرکنش خاک-سازه و رفتار غیرخطی سازه بر پارامترهای خطی معادل شامل پریود و میرایی معادل پرداخته‌اند که این بررسی از طریق تعریف مجموعه‌ای از پارامترهای کلیدی بدون بعد که سیستم خاک-سازه را تعریف می‌کند، انجام می‌شود. با این حال مطالعات محدودی در زمینه تعیین خصوصیات دینامیکی سیستم‌های خاک - سازه در ناحیه رفتار غیرارتجاعی انجام شده است. با توجه به مطالعاتی که در زمینه معادل‌سازی خطی سازه با پایه صلب و در زمینه بررسی اثرات اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ سازه در ناحیه رفتار ارتجاعی و غیرارتجاعی انجام شده است، گزارش (2005) FEMA440 ضوابطی جهت تعیین مشخصات دینامیکی سیستم یک درجه آزادی خطی معادل سیستم‌های خاک-سازه با رفتار غیرارتجاعی پیشنهاد کرده است. این پژوهش نیز جهت تکمیل مطالعات انجام شده و بررسی در زمینه تاثیر مشخصات زلزله بر میرایی معادل سازه‌های غیرخطی با اعمال اثر اندرکنش خاک و سازه می‌باشد. در این پژوهش ضمن بررسی کارایی روش‌های پیشنهادی برای تعیین میرایی ویسکوز معادل تحت اثر رکوردهای مختلف زلزله، اثر مشخصات زلزله‌ها در تعیین میرایی ویسکوز معادل مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۱-۸- سامان‌دهی پایان‌نامه

این پایان‌نامه در ۶ فصل گردآوری شده است. فصل اول شامل کلیات پژوهش انجام شده می‌باشد. در فصل دوم به مفهوم میرایی معادل، سیستم معادل و همچنین روش‌های مختلف ارائه شده برای تعیین مشخصات سیستم معادل پرداخته می‌شود. فصل سوم شامل توضیحاتی پیرامون اندرکنش خاک و سازه، اثرات آن و نیز مدل‌های مختلف برای در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه می‌باشد. در فصل چهارم مدل خاک - سازه در نظر گرفته شده، پارامترهای بی‌بعد معرف سیستم خاک - سازه و معادلات حرکت حاکم بر سیستم مورد بررسی آورده شده است. فصل پنجم به آنالیز عددی پژوهش اختصاص یافته است که به تأثیر اندرکنش خاک و سازه، عدم قطعیت رکوردهای مختلف زلزله بر پارامترهای سیستم خطی معادل سیستم خاک - سازه و ... پرداخته شده و همچنین روابط مختلف پیشنهادی در تعیین پارامترهای فوق، مقایسه می‌گردد. فصل ششم نیز شامل نتایج آنالیزهای حاصل بطور مختصر می‌باشد.

فصل دوم :

میرایی معادل

با وجود اینکه تحلیل خطی اطلاعات ارزشمندی در مورد پاسخ سازه تحت اثر زلزله می‌دهد، اما مشخص شده است که بسیاری از سازه‌های واقعی رفتار غیرخطی خواهند داشت. در سیستم‌های غیرخطی امکان حل تحلیلی وجود ندارد و برای تعیین پاسخ آن باید از روش‌های عددی استفاده شود. اما گاهی با توجه به پیچیدگی این روش‌ها و زمان‌بر بودن آن، استفاده از روش‌های تقریبی مناسب برای برآورد پاسخ سیستم‌های غیرخطی مورد توجه قرار گرفته است. روش معادل‌سازی خطی یکی از این روش‌هاست که در این روش سیستم غیرخطی با یک سیستم خطی جایگزین می‌شود و از تحلیل سیستم خطی معادل در برآورد پاسخ سیستم اصلی استفاده می‌شود. در تعیین مشخصات دینامیکی سیستم خطی معادل، دوره تناوب و میرایی معادل از پارامترهای مؤثر می‌باشد. از جمله پارامترهای کلیدی در تعیین سازه‌ی معادل، میرایی ویسکوز معادل می‌باشد که ترکیبی از اثرات میرایی الاستیک و میرایی هیستریسیس است. کوالسکی و همکاران^{۱۷} (۱۹۹۴) مطالعات متعددی در رابطه با تعیین میرایی معادل ارائه نمودند. لو و سیلوا^{۱۸} (۲۰۰۶) بر مبنای مدل رفتاری متفاوت هیستریسیس، به بررسی میرایی ویسکوز معادل برای اعضای بتن مسلح تحت بارهای لرزه‌ای و انفجاری پرداخته‌اند. وفادار و غفارزاده (۱۳۹۲) در پژوهش خود، میرایی قاب‌های بتنی مسلح با دهانه و تعداد طبقات مختلف را بررسی کرده‌اند و نتیجه‌ی پژوهش آن‌ها ارائه رابطه‌ی جدیدی برای میرایی معادل برحسب شکل‌پذیری بوده است.

از کاربردهای روش معادل‌سازی خطی در ضوابط طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد و نیز مبنای روش طیف ظرفیت می‌باشد. در سال‌های اخیر توسط دوایری و همکاران^{۱۹} (۲۰۰۷) به منظور بهبود دقت روش طراحی بر مبنای عملکرد، رابطه‌ای جدید برای محاسبه‌ی میرایی معادل ارائه نمودند. هم‌چنین مطالعات متعددی صورت گرفته است که در این فصل پرداخته می‌شود. لذا در این فصل بطور مختصر به روش طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد پرداخته می‌شود. سپس مفهوم میرایی ویسکوز معادل توضیح داده شده و در نهایت روابط تحلیلی و آیین‌نامه‌ای مختلف در تعیین دوره تناوب و میرایی معادل آورده می‌شود.

۲-۲- مختصری بر روش طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد

17- Kowalsky et al

2- Lu and Silva

19- Dwairi et al

در علم مهندسی سازه و زلزله با ورود و جایگزینی روش طراحی بر اساس عملکرد به جای روش طراحی بر اساس نیرو، بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی در حال گذر از یکسری تغییرات بنیادی‌اند و هم‌اکنون بسیاری از محققان و پژوهشگران سازه و زلزله برای رسیدن به تکامل و اطمینان در این روش، تحقیقات خود را در این زمینه متمرکز کرده‌اند. طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله در چندین سال اخیر دستخوش تغییرات و پیشرفت‌هایی شده است که تأکید آن عمدتاً بر تغییر طراحی از مقاومت به عملکرد می‌باشد. علت این امر آشکار شدن نقاط ضعف ضوابط حاکم بر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و منطبق نبودن آن‌ها با رفتار واقعی سازه در هنگام زلزله می‌باشد. روش‌های فعلی آیین‌نامه‌های لرزه‌ای بر مبنای تحلیل‌های خطی و طراحی بر اساس نیرو به همراه کنترل تغییرمکان می‌باشد و مفاهیم مربوط به رفتار غیرخطی سازه با اعمال ضریب رفتار R در نظر گرفته می‌شود. در آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰، ۱۳۹۲)، ابتدا اهداف طراحی بیان می‌شود و در متن، یکسری ضوابط طراحی به منظور تحقق اهداف پیشنهادی ارائه می‌شود؛ اما در این استاندارد به یکی از اصلی‌ترین نیازهای لرزه‌ای سازه‌ها که همان شکل‌پذیری است، توجه چندانی نمی‌شود و طراحی صرفاً بر اساس عکس‌العمل‌های داخلی اعضاء انجام می‌گیرد (طراحی بر اساس نیرو).

روش طراحی بر مبنای عملکرد، ابتدا به عنوان روشی برای مقاوم‌سازی سازه‌های موجود در اوایل دهه‌ی ۹۰ میلادی، سپس به تدریج به عنوان رویکرد معقول و مناسب، برای طراحی سازه‌های جدید معرفی شد (محمودی صاحبی، ۱۳۹۲). این روش با یک طراحی اولیه بر اساس روش طراحی الاستیک بر اساس آیین‌نامه‌های طراحی شروع و سپس تحلیل‌هایی انجام می‌گیرد تا چگونگی ارضای معیارهای پذیرش ارزیابی شود. بنابراین یک پروسه‌ی تکراری بین طراحی و ارزیابی دنبال می‌شود.

در حالت کلی عملکرد لرزه‌ای یک ساختمان بستگی به خسارت سازه‌ای و غیرسازه‌ای در یک زلزله خاص دارد. در این میان استفاده از پارامتر تغییرمکان جهت محدود کردن خسارت به یک حد مورد نظر در ساختمان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها بر اساس عملکرد یعنی تعیین مشخصات اعضای ساختمان (شامل نوع مصالح، شکل مقاطع، ابعاد مقاطع و جزئیات اتصالات) بر اساس عملکردی که در برابر زلزله‌های مشخص از آن‌ها انتظار می‌رود.

مشخصات اصلی هر ساختمان، عبارت است از سختی، مقاومت و شکل‌پذیری. سختی عامل محدود کننده‌ی تغییرمکان جانبی است. مقاومت، میزان آسیب را در سازه کنترل می‌کند و وجود شکل‌پذیری برای جلوگیری از انهدام سازه، ضروری است. حداکثر مقدار این سه عامل در سازه با عنوان ظرفیت شناخته می‌شود. ظرفیت سختی، ظرفیت مقاومت و ظرفیت شکل‌پذیری به مشخصات مصالح، ابعاد و شکل مقاطع اعضا و نوع سازه بستگی دارد.

با افزایش ابعاد مقطع و یا افزایش مقاومت مصالح می‌توان ظرفیت سختی و ظرفیت مقاومت سازه را افزایش داد. افزایش ظرفیت شکل‌پذیری، عمدتاً بوسیله‌ی جزئیات اجرایی در اعضا، امکان‌پذیر خواهد بود. برای مقابله با زلزله، سطوح خاصی از مشخصه‌های فوق مورد نیاز است که به نیاز سختی، نیاز مقاومت و نیاز شکل‌پذیری معروف هستند. نیازهای فوق، عمدتاً به سطوح مختلف زلزله و سطح عملکرد مورد انتظار بستگی دارد.

طراحی بر اساس عملکرد از تعیین اهداف، شروع می‌شود و با تعیین ابعاد و اندازه‌ی اعضای سازه پایان می‌یابد. در طی مراحل طراحی، مشاهده می‌شود که چنانچه تأمین نیازها برقرار نشد، باید با افزایش ابعاد مقطع و یا اصلاح جزئیات اتصالات، ظرفیت مقاومت سازه را افزایش داد تا نیاز شکل‌پذیری سازه کاهش یابد. برای محاسبه‌ی نیاز جدید، تحلیل‌های سازه‌ای مجدد، ضروری است.

نیاز مقاومت و نیاز شکل‌پذیری، ارتباط معکوس دارند. ازدیاد ظرفیت مقاومت در یک سازه، نیاز به شکل‌پذیری را کاهش می‌دهد. بر عکس این قضیه نیز صادق است. وجود ظرفیت شکل‌پذیری بالا، نیاز به مقاومت را کاهش می‌دهد. ظرفیت سختی و ظرفیت مقاومت، ارتباط مستقیم دارند. ازدیاد مقاومت، معمولاً سبب ازدیاد سختی نیز خواهد شد. در صورتی که در مرحله انتهایی نیاز سختی برآورده نشود، معمولاً با افزایش مقطع، این نیاز تأمین می‌گردد. این عمل، علاوه بر تأمین نیاز سختی، ظرفیت مقاومت سازه را افزایش و نیاز شکل‌پذیری را کاهش خواهد داد. به همین دلیل برای محاسبه نیازهای جدید باید سازه دوباره مورد تحلیل قرار گیرد (محمودی صاحبی، ۱۳۹۲).

دو گزینه مهم در روش طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد، روش طیف ظرفیت (*ATC-40, 1996*) روش ضرایب (*FEMA440 (2005)* می‌باشد که هر دو از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور)

جهت تخمین نیاز و ظرفیت لرزه‌ای استفاده می‌کنند. (2005) FEMA440 در تکمیل و اصلاح روش طیف ظرفیت (ATC-40, 1996) می‌باشد. این روش‌ها نیز از روش معادل‌سازی خطی در تعیین حداکثر پاسخ غیرخطی سازه بهره می‌گیرد. لذا بررسی تأثیرپذیری روابط و ضوابط ارائه شده در تعیین پارامترهای سیستم معادل از زلزله‌های مختلف ضروری است.

۲-۳- مفهوم میرایی ویسکوز معادل

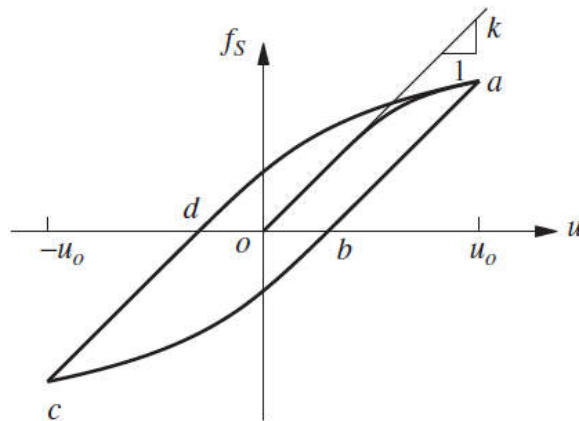
فرایندی که با آن دامنه ارتعاش بطور تدریجی کاهش می‌یابد، میرایی نامیده می‌شود. در میرایی، انرژی سیستم ارتعاشی با مکانیسم‌های مختلف تلف می‌شود، و اغلب بیش از یک مکانیسم در این اتلاف انرژی دخیل است. در سیستم‌های ساده‌ای مانند مدل‌های آزمایشگاهی بخش عمده‌ی اتلاف انرژی به خاطر اثرات گرمایی کرنش الاستیک رفت و برگشتی ماده و نیز به خاطر اصطکاک داخلی حاصل از تغییر شکل ماده‌ی جامد است. اما در سازه‌های واقعی، مکانیسم‌های دیگری نیز در اتلاف انرژی مشارکت دارند. در یک ساختمان در حال ارتعاش این مکانیسم‌ها شامل اصطکاک در اتصالات فولادی، باز و بسته شدن ترک‌های ریز در بتن و اصطکاک بین خود سازه و اجزای غیرسازه‌ای مانند دیوارهای تیغه‌ای می‌شود. غیر ممکن است که به صورت ریاضی هر یک از مکانیسم‌های اتلاف انرژی را در یک ساختمان واقعی تشخیص و یا توضیح داد.

به این ترتیب، میرایی در سازه‌های واقعی را معمولاً بصورت ایده‌آل سازی شده نشان می‌دهیم. در بیشتر مسائل واقعی، میرایی سازه‌ی یک درجه آزادی را می‌توان به صورت قابل قبولی با یک میراگر ویسکوز خطی یا با یک وسیله‌ی میراکننده مدلسازی کرد. ضریب میرایی به گونه‌ای انتخاب می‌شود که انرژی ارتعاشی تلف شده برابر با کل اتلاف انرژی برای تمام مکانیسم‌های میرایی سازه‌ی واقعی باشد. به همین خاطر، این مدلسازی، میرایی ویسکوز معادل یا هم‌ارز نامیده می‌شود.

بر خلاف سختی سازه، ضریب میرایی را نمی‌توان از ابعاد سازه و طول اجزای سازه‌ای، محاسبه کرد. تعیین تمام مکانیسم‌هایی که انرژی ارتعاشی را در سازه‌های واقعی تلف می‌کنند، امکان‌پذیر نیست. بنابراین داده‌های لازم برای تعیین مقادیر ضرایب میرایی از آزمایش‌های ارتعاش سازه‌های واقعی بدست می‌آید. اندازه‌گیری آهنگ کاهش حرکت در ارتعاش آزاد، مبنایی برای تعیین ضریب میرایی می‌شود.

میراگر ویسکوز هم‌ارز برای مدلسازی اتلاف انرژی در دامنه‌ی تغییرشکل‌های کل سازه درون محدوده‌ی الاستیک خطی به کار می‌رود. در این گستره‌ی تغییرشکل‌ها، ضریب میرایی c که از آزمایش بدست می‌آید ممکن است با دامنه‌ی تغییرشکل، تغییر کند. غیرخطی بودن خصوصیت میرایی معمولاً در تحلیل‌های دینامیکی بصورت صریح در نظر گرفته نمی‌شود و می‌توان آن را بصورت غیرمستقیم با انتخاب مقدار مناسب ضریب میرایی که متناسب با دامنه‌ی تغییرشکل مطلوب باشد، کنترل کرد، معمولاً این مقدار بصورت تغییر شکل متناسب با حدالاستیک خطی سازه گرفته می‌شود.

در تغییرشکل‌های بزرگتر با توجه به رفتار غیرالاستیک سازه، انرژی بیشتری تلف می‌شود. در اثر تغییرشکل‌ها یا نیروهای سیکلی، این رفتار متضمن تشکیل یک حلقه‌ی هیستریسیس نیرو - تغییر شکل است (شکل ۱-۲).



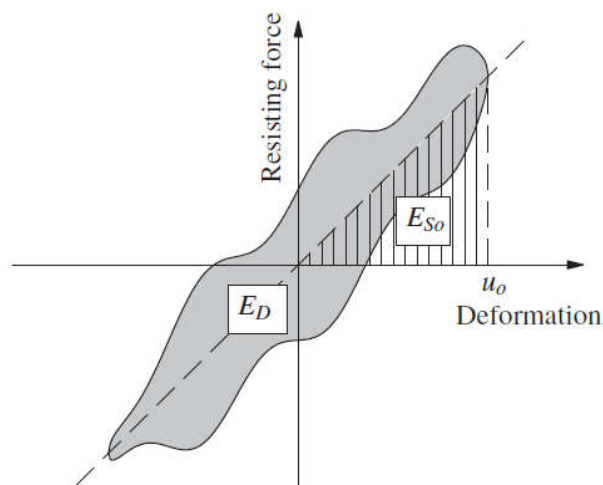
شکل ۱-۲: حلقه‌ی هیستریسیس نیرو - تغییر شکل (چوپرا، ۲۰۰۷)

انرژی میرایی تلف شده در طول یک چرخه‌ی تغییرشکل بین حدود $\pm u_0$ ، از سطح درون منحنی هیستریسیس $abcda$ بدست می‌آید. این اتلاف انرژی را معمولاً با میراگر ویسکوز نمی‌توان مدلسازی کرد. بخصوص اگر عامل تحریک، حرکت لرزه‌ای زمین باشد. متداول‌ترین و دقیق‌ترین روش برای در نظر گرفتن اتلاف انرژی در حالت رفتار غیرالاستیک آن است که رابطه‌ی غیرالاستیک بین نیروی مقاوم و تغییرشکل

را در حل معادله‌ی حرکت تشخیص بدهیم. این گونه روابط نیرو - تغییر شکل از آزمایش‌های تغییر شکل کند بر روی سازه‌ها یا اجزای سازه‌ای بدست می‌آیند، به این ترتیب هیچ‌گونه اتلاف انرژی ناشی از سرعت تغییر شکل نخواهیم داشت. روش معمول آن است که این میرایی را در گستره‌ی غیرالاستیک تغییر شکل - ها با میراگر ویسکوزی که قبلاً برای تغییر شکل‌های کوچک در محدوده‌ی الاستیک خطی تعریف شده، مدل‌سازی کنیم.

همانطور که گفته شد، میرایی در سازه‌های واقعی معمولاً با میرایی ویسکوز معادل نشان داده می‌شود. این ساده‌ترین حالت میرایی است. ضریب میرایی را برای میرایی ویسکوز به گونه‌ای تعیین می‌کنیم که معادل اثر ترکیبی تمام مکانیسم‌های میرایی موجود در سازه‌ی واقعی باشد.

معمول‌ترین روش برای تعیین میرایی ویسکوز معادل این است که انرژی تلف شده در یک سیکل ارتعاش برای سازه‌ی واقعی و سیستم ویسکوز معادل را مساوی قرار بدهیم. برای یک سازه‌ی واقعی رابطه‌ی نیرو - تغییر مکان از آزمایش بارگذاری سیکلی با دامنه‌ی جابجایی u_0 بدست می‌آید. چنین رابطه‌ای با شکل دلخواه در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: انرژی تلف شده E_D در یک سیکل از ارتعاش هارمونیک تعیین شده از یک آزمایش (چوپرا،

۲۰۰۷)

انرژی تلف شده در سازه‌ی واقعی با سطح E_D محصور در حلقه‌ی هیستریسیس نشان داده شده است. برابر قرار دادن این مقدار با انرژی تلف شده در میرایی ویسکوز رابطه (۱-۲) را منجر می‌شود (چوپرا، ۲۰۰۷).

$$\beta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{1}{\omega/\omega_n} \frac{E_D}{E_{S_0}} \quad (1-2)$$

که ω فرکانس تحریک، ω_n فرکانس طبیعی سیستم، $E_{S_0} = ku_0^2/2$ ، انرژی کرنشی و k سختی می‌باشد.

از آزمایش فوق نمودار نیرو - تغییر شکل در شکل (۲-۲) حاصل می‌شود و به این ترتیب E_D باید در $\omega = \omega_n$ واقع شود، جایی که پاسخ سیستم بسیار حساس به میرایی است. بنابراین رابطه (۱-۲) به رابطه‌ی (۲-۲) تبدیل می‌شود.

$$\beta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_0}} \quad (2-2)$$

نسبت میرایی β_{eq} که از آزمایش در $\omega = \omega_n$ بدست می‌آید، در دیگر فرکانس‌های تحریک دقیق نخواهد بود. ولی تقریب مناسبی است.

انرژی ورودی از زلزله به یک سیستم غیرالاستیک، از طریق میرایی ویسکوز و هیستریسیس تلف می‌شود. این مقادیر انرژی در این بخش تعریف و بحث می‌شوند. جمله‌های مختلف انرژی با انتگرال‌گیری از معادله‌ی حرکت یک سیستم غیرالاستیک، بصورت زیر قابل تعریف است (چوپرا، ۲۰۰۷):

$$\int_0^u m\ddot{u}(t)du + \int_0^u c\dot{u}(t)du + \int_0^u f_s(u, \dot{u})du = -\int_0^u m\ddot{u}_g(t)du \quad (3-2)$$

سمت راست این معادله، انرژی ورودی به سازه از زمان آغاز تحریک زلزله است.

$$E_I(t) = -\int_0^u m\ddot{u}_g(t)du \quad (4-2)$$

عبارت اول سمت چپ معادله‌ی (۳-۲)، انرژی جنبشی جرم و مربوط به حرکت آن نسبت به زمین است:

$$E_K(t) = \int_0^u m\ddot{u}(t)du = \int_0^u m\dot{u}(t)d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2} \quad (5-2)$$

عبارت دوم سمت چپ معادله‌ی (۳-۲)، انرژی مستهلک شده در اثر میرایی ویسکوز است:

$$E_D(t) = \int_0^u f_D(t)du = \int_0^u c\dot{u}(t)du \quad (6-2)$$

عبارت سوم سمت چپ معادله‌ی (۳-۲)، انرژی مستهلک شده در اثر تسلیم و انرژی کرنشی قابل

بازگشت سیستم است:

$$E_S(t) = \frac{[f_S(t)]^2}{2k} \quad (7-2)$$

که در آن k سختی اولیه‌ی منحنی غیرالاستیک است. در نتیجه انرژی مستهلک شده در اثر تسلیم

عبارت است از:

$$E_Y(t) = \int_0^u f_S(u, \dot{u})du - E_S(t) \quad (8-2)$$

بر اساس این مقادیر انرژی، معادله‌ی (۳-۲)، یک معادله‌ی تعادل انرژی برای سیستم است:

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_Y(t) \quad (9-2)$$

همزمان با تحلیل پاسخ لرزه‌ای یک سیستم این کمیت‌های انرژی به راحتی با بازنویسی انتگرال‌ها

بر حسب زمان قابل محاسبه‌اند.

$$E_D(t) = \int_0^t c[\dot{u}(t)]^2 dt \quad (10-2)$$

$$E_Y(t) = \left[\int_0^t \dot{u}f_S(u, \dot{u})dt \right] - E_S(t) \quad (11-2)$$

انرژی جنبشی E_K و انرژی کرنشی E_S در هر زمان t به راحتی به ترتیب از معادلات (۵-۲) و (۲-۲)

(۷) قابل محاسبه‌اند.

نتایج نشان می‌دهد که سازه به تدریج همگی انرژی ذخیره شده را در اثر میرایی ویسکوز و تسلیم

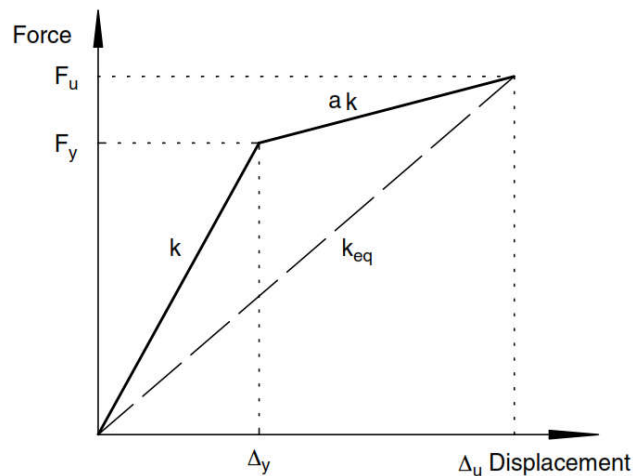
(هیسترسیس) مستهلک می‌کند. میرایی ویسکوز در سیستم غیرالاستیک انرژی کمتری نسبت به میرایی

هیسترسیس مستهلک می‌کند (چوپرا، ۲۰۰۷).

بر اساس روش‌های مختلف روابط متعددی جهت محاسبه میرایی معادل و نیز دوره تناوب معادل ارائه شده است که در ادامه به تعدادی از این روابط اشاره می‌شود. همچنین روابط آیین نامه‌ای نیز ارائه شده است که به آن‌ها نیز پرداخته می‌شود. روش‌های معادل‌سازی خطی گوناگون به روابط مختلف تعیین میرایی معادل منجر می‌شود. جنینگز^{۲۰} (۱۹۶۸) در مورد جزئیات چند روش معادل‌سازی خطی بررسی-هایی انجام داده است، و در میان آن‌ها روش سختی سکانت که سختی هندسی نیز نامیده می‌شود، بیشتر بدلیل سادگی و شفافیت به طور کلی به عنوان روش معادل‌سازی خطی "استاندارد" پذیرفته شده است. روابط متعددی نیز بر مبنای روش سختی سکانت حاصل شده است. لذا ابتدا به توضیحاتی پیرامون روش سختی سکانت پرداخته می‌شود.

۲-۴- روش سختی سکانت

روش سختی سکانت شاید بصری‌ترین روش برای مدل‌سازی یک سیستم غیرالاستیک با استفاده از سیستم معادل آن باشد. یک سیستم هیستریسیس با یک سختی الاستیک اولیه k ، ضریب میرایی ذاتی، β_i ، شیب ثانویه نمودار نیرو - جابجایی α ، و جابجایی تسلیم Δ_y ، در شکل (۲-۳) مشخص شده است.



شکل ۲-۳: سیستم معادل

Family name: samadi	Name: nasim
Title of Thesis : The Effect of Earthquake Characteristics on Damping of Equivalent Single Degree of Freedom Structure by Considering Soil-Structure Interaction	
Supervisor: Dr. Mohtasham Mohebbi Advisor: Dr. Hamed Rahman Shokrgozar	
Graduate Degree M.Sc. Major: Civil Engineering University: Mohaghegh Ardabili Graduation date:31/01/2018	
Specialty: Earthquake Engineering Faculty: Technical and Engineering Number of pages: 120	
Abstract: <p>Regard to the effect of soil-structure interaction on structural characteristics of the structure such as stiffness, damping and so on, soil-structure interaction will affect damping of nonlinear structures. On the other hand, equivalent viscous damping of nonlinear structures consists of elastic damping, hysteresis damping and radial damping. The input records cause to change in the hysteresis damping of nonlinear structures which leads to change in equivalent viscous damping. Then, in this thesis the effect of earthquake characteristics on value of viscous damping will be investigated. For this reason the cone models for soil-structure interaction was chosen, then vibration equation of nonlinear structure was written using soil-structure interactions and the nonlinear analysis of the soil-structure system was done under influence of earthquake records with MATLAB codes. Hysteresis damping and viscous damping of equivalent single degree of freedom structure with considering Soil-Structure Interaction and without it was determined under various earthquake records and effect of different earthquake records in viscous damping and variation of results was studied. The results of numerical analysis show that equivalent viscous damping of soil- structure system has a high coefficient of variation under various earthquake records. Also non-dimensional parameters of soil- structure system affect the value of equivalent viscous damping and its variation.</p>	
Keywords: Earthquake characteristics, Equivalent single degree of freedom structure, Equivalent viscous damping, Hysteresis damping, Soil-structural interaction	



University of Mohaghegh Ardabili

Faculty of Technical and Engineering

Department of Civil Engineering

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of
M.Sc. in Civil Engineering**

Title:

**The Effect of Earthquake Characteristics on Damping of Equivalent
Single Degree of Freedom Structure by Considering Soil-Structure
Interaction**

Supervisor:

Mohtasham Mohebbi (Ph. D)

Advisor:

Hamed Rahman Shokrgozar (Ph.D)

By:

Nasim Samadi

January – 2018