گروه عمران

کاربرد تحلیل پوش آور در ارزیابی رفتار لرزه ای سازه های سه بُعدی تحت اثر زلزله ی دو جهته

استاد راهنما

دکتر کاظم شاکری

استاد مشاور

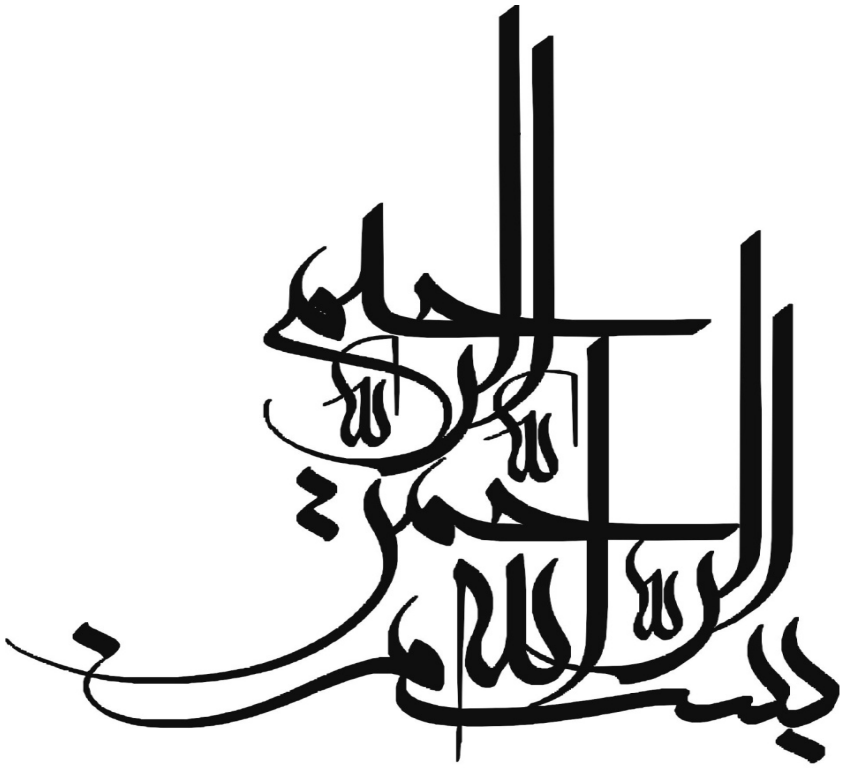
مهندس ناصر الدین شاهبازی

توسط

سمانه قربانی

دانشگاه محقق اردبیلی

زمستان ۱۳۹۱



تقدیم به

- روح بزرگوار پدربزرگ و مادربزرگم که یاد و خاطره شان سرشار از پاکی و صداقت و در یک کلام انسانیت است،
- پدرم که همواره مشوقم بوده و امر تحصیل را برایم مهیا کرده است،
- مادرم که هرچه دارم از اوست و صبورانه بنیان مهندسی، درس شیرین ریاضیات، را در طول دوران تحصیل به من آموخت،
- برادرم که با محبت های بی کرانه اش از محبت های بیگانگان بی نیازم ساخت،
- خواهرم که همراه لحظات سخت بوده و هست.

سپاسگزاری

سپاس خدائی را که بشریت را نعمت عقل بخشید، و علم از آن سرچشمه گرفت.

از آنجا که این تحقیق با راهنمائی ها و مشاوره های اساتید بزرگوار و دوستان محترم و به خصوص همراهی خانواده عزیزم به سرانجام رسیده است، بر خود وظیفه می دانم که با ذکر نامشان قدردانی هر چند ناچیز داشته باشم:

- از محضر استاد محترم جناب آقای **دکتر کاظم شاکری** نهایت تشکر را دارم، که چه در دوره ی تحصیلی کارشناسی و چه در دوره ی کارشناسی ارشد نهایت تلاش خود را در تربیت شاگردان باسواد داشته اند، و سهم اعظم موفقیتم را مدیون ایشان می باشم.
- از محضر استاد بزرگوار جناب آقای **مهندس ناصرالدین شاهبازی** سپاسگزارم، که دید مهندسی را در افکار دانشجویان بیدار کردند.
- از راهنمائی ها و مشاوره های جناب آقای **مهندس کریم تربالی** و سرکار خانم **مهندس سمیه قانع مقدم** متشکرم که صمیمانه در فهم نرم افزار OpenSEES و سایر مفاهیم در هر ساعت شبانه روز یاریم کردند، و در به ثمر رسیدن این تحقیق سهم به سزائی داشتند.
- و در نهایت از همراهی خانواده ام به خصوص پدر و مادر عزیزم کمال تشکر و قدردانی را دارم.

نام خانوادگی دانشجو: قربانی **نام:** سمانه

عنوان پایان نامه: کاربرد تحلیل پوش آور در ارزیابی رفتار لرزه ای سازه های سه بُعدی تحت اثر زلزله ی دو جهته

استاد راهنما: دکتر کاظم شاکری

استاد مشاور: مهندس ناصرالدین شاهبازی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** مهندسی زلزله **دانشگاه محقق اردبیلی**

دانشکده: فنی – مهندسی **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۹۱/۱۰/۲ **تعداد صفحات:** ۱۱۲

کلید واژه ها: تحلیل استاتیکی غیرخطی، خروج از مرکزیت دو جهته، زلزله ی دوجهته، مودال، برش، پیچش

چکیده:

روش های پوش آور مختلف اساساً برای قاب های دو بُعدی ارائه شده اند. اما ساختمان های نامتقارن در پلان به علت حرکت های انتقالی همراه با پیچش مستعد خسارات بیشتری می باشند؛ از اینرو تعدادی از روش های ارائه شده، جهت درنظر گرفتن اثر پیچش، به مدل های سه بُعدی توسعه داده شده اند. و از آنجا که زلزله همیشه در یک جهت اثر نمی کند، رفتار پیچشی الاستیک سازه با در نظرگرفتن اثر زلزله در یک جهت به خوبی تخمین زده نمی شود و در ناحیه ی غیرالاستیک نیز بدتر می شود. از اینرو اثر همزمان دو مؤلفه ی افقی زلزله در روش های تحلیل پوش آور بایستی لحاظ شود.

در این تحقیق روش های مختلفی که اثر زلزله ی دوجهته را در ساختمان های نامتقارن در پلان در نظر گرفته اند، مورد ارزیابی قرار گرفته است. و همچنین روش تحلیل پوش آور به هنگام شونده مودال بر اساس برش و پیچش طبقات (STA) برای در نظر گرفتن اثر همزمان زلزله در دو جهت توسعه داده شده است. گام های بنیادین روش پیشنهادی (Bi-SSTP) شبیه روش اصلی (STA) است، با این تفاوت که الگوی بار اعمالی، ثابت فرض شده است و تحلیل پوش آور در دو جهت عمودی به صورت مستقل صورت می گیرد. پاسخ های حاصل از اثر زلزله در دو جهت افقی به طور مستقل بدست آمده و در نهایت پاسخ کلی از ترکیب نتایج با استفاده از روش ترکیب رایج (SRSS) محاسبه می شود. دقت روش های مورد مطالعه نسبت به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی در سه ساختمان سه بُعدی فولادی با ارتفاعِ کوتاه، متوسط و بلند و با خرج از مرکزیت های دوجهته ۱۰٪ و ۳۰٪ در پلان مورد ارزیابی قرار گرفته است. در نهایت مشاهده می شود که روش پیشنهادی (Bi-SSTP) از دقت مناسبی در مقایسه با سایر روش های مورد مطالعه برخوردار است.

فهرست مطالب

عنوان، شماره صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه، ۲

۱-۲- اهمیت موضوع، ۳

۱-۳- هدف تحقیق، ۳

۱-۴- ابزار و روش تحقیق، ۴

۱-۵- شرح فصول، ۴

فصل دوم: روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی برای ساختمان های متقارن در پلان (پوش آور دو بُعدی)

۲-۱- مقدمه، ۶

۲-۲- روش انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی، ۷

۲-۳- روش های تحلیل پوش آور متداول (سنتی)، ۷

۲-۳-۱- تعیین الگوی بار جانبی، ۷

۲-۳-۲- تعیین تغییرمکان هدف، ۸

۲-۳-۲-۱- تقاضای لرزه ای در روش طیف ظرفیت (CSM) ، ۹

۲-۳-۲-۲- تقاضای لرزه ای در روش N2، ۹

۲-۳-۲-۳- تقاضای لرزه ای در روش ضرایب اصلاح جابجائی، ۹

۲-۴- روش های تحلیل پوش آور پیشرفته، ۱۱

۲-۴-۱- روش های تحلیل پوش آور مودال با الگوی بار ثابت با چند بار اجرا، ۱۱

۲-۴-۱-۱- تحقیقات پارت و همکارانش و ساساکی و همکارانش، ۱۱

۲-۴-۱-۲- تحقیقات مقدم و تسو۱، ۱۲

۲-۴-۱-۳- تحقیقات چوپرا و گوئل۱، ۱۲

۲-۴-۱-۴- تحقیقات چوپرا و گوئل۲، ۱۳

۲-۴-۱-۵- تحقیقات هرناندز- منتس و همکارانش، ۱۳

۲-۴-۱-۶- تحقیقات تهرانی زاده و شایان، ۱۴

۲-۴-۱-۷- تحقیقات گوئل و چوپرا۳، ۱۵

۲-۴-۱-۸- تحقیقات شاکری و همکارانش۱، ۱۵

۲-۴-۲- روش های تحلیل پوش آور مودال با الگوی بار ثابت با یک بار اجرا، ۱۵
۲-۴-۲-۱- تحقیقات ماتسوموری و همکارانش، ۱۵
۲-۴-۲-۲- تحقیقات کوناس، ۱۵
۲-۴-۲-۳- تحقیقات جان و همکارانش، ۱۶
۲-۴-۳- روش های تحلیل پوش آور مودال با الگوی بار به هنگام شونده، ۱۶
۲-۴-۳-۱- تحقیقات براسی و همکارانش، ۱۷
۲-۴-۳-۲- تحقیقات رینهورن و ولادسکیو ، ۱۷
۲-۴-۳-۳- تحقیقات ساتیارنو و همکارانش، ۱۷
۲-۴-۳-۴- تحقیقات لفورت، ۱۷
۲-۴-۳-۵- تحقیقات گوپتا و کوناس، ۱۸
۲-۴-۳-۶- تحقیقات رگوانا و آیالا، ۱۹
۲-۴-۳-۷- تحقیقات آلبانسی و همکارانش، ۲۰
۲-۴-۳-۸- تحقیقات الناشای، ۲۰
۲-۴-۳-۹- تحقیقات آنتونیو و همکارانش، ۲۱
۲-۴-۳-۱۰- تحقیقات آنتونیو و پینهو، ۲۱
۲-۴-۳-۱۱- تحقیقات آیدین اوغلو، ۲۲
۲-۴-۳-۱۲- تحقیقات کوراموتو و ماتسوموتو، ۲۲
۲-۴-۳-۱۳- تحقیقات کلکن و کوناس، ۲۳
۲-۴-۳-۱۴- تحقیقات شاکری، ۲۳
۲-۴-۳-۱۵- تحقیقات شاکری و محبی، ۲۶
۲-۵- مقایسه ی روش های مختلف تحلیل پوش آور سنتی و به هنگام شونده، ۲۹

فصل سوم: روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی برای ساختمان های نامتقارن در پلان (پوش آور سه بعدی)تحت اثر زلزله ی یک جهته
۳-۱- مقدمه، ۳۱
۳-۲- تحقیقات انجام یافته بر روی ارزیابی رفتار لرزه ای ساختمان های نامتقارن به روش تحلیل استاتیکی غیر خطی، ۳۱
۳-۲-۱- تحقیقات مقدم و تسو۲، ۳۱
۳-۲-۲- تحقیقات فاالِا و کیلار، ۳۲
۳-۲-۳- تحقیقات باروس و آلمیدا، ۳۲

۳-۲-۴- تحقیقات پنلیس و کاپوس، ۳۳
۳-۲-۵- تحقیقات چوپرا و گوئل۴، ۳۵
۳-۲-۶- تحقیقات قانع مقدم۱، ۳۸
۳-۲-۷- تحقیقات لاکچینی و همکارانش، ۳۹
۳-۲-۸- تحقیقات قانع مقدم۲، ۴۰
۳-۲-۹- تحقیقات شاکری و همکارانش۲، ۴۴

فصل چهارم: روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی برای ساختمان های نامتقارن در پلان (پوش آور سه بعدی)تحت اثر زلزله ی دو جهته
۴-۱- مقدمه، ۴۶
۴-۲- تحقیقات انجام یافته بر روی ارزیابی رفتار لرزه ای ساختمان های نامتقارن به روش تحلیل استاتیکی غیر خطی تحت اثر زلزله ی دو جهته، ۴۶
۴-۲-۱- تحقیقات آیالا و تراورا، ۴۶
۴-۲-۲- تحقیقات کرسلین و فایفر، ۴۶
۴-۲-۳- تحقیقات باروس و آناقناستوپولوس، ۴۸
۴-۲-۴- تحقیقات اردوران، ۴۹
۴-۲-۵- تحقیقات چوپرا و رِیس، ۵۰
۴-۲-۶- تحقیقات مانوکاس و همکارانش، ۵۲
۴-۲-۷- تحقیقات پِروس و فایفر، ۵۴
۴-۲-۸- تحقیقات ماروزیک و فایفر، ۵۵

فصل پنجم: روش تحلیل استاتیکی غیرخطی بر اساس برش و پیچش مودال ترکیبی طبقات برای ساختمان های نامتقارن در پلان تحت اثر زلزله ی دو جهته
۵-۱- مقدمه، ۵۷
۵-۲- روش تحلیل پوش آور مودال بر اساس برش و پیچش طبقات تحت زلزله ی دوجهته (Bi-SSTP)، ۵۷
۵-۲-۱- معادلات دینامیک سازه ها برای مدل های سه بُعدی، ۵۸
۵-۲-۲- تعیین الگوی بار اعمالی، ۵۹
۵-۲-۳- تعیین شکل مود معادل، ۶۳
۵-۲-۴- نحوه ی تبدیل سازه چند درجه آزادی به سازه یک درجه آزادی معادل، ۶۳

۵-۲-۵- ایده آل سازی دوخطی منحنی طیف ظرفیت، ۶۴
۵-۲-۶- تعیین تغییر مکان هدف، ۶۵
۵-۲-۷- محاسبه ی پاسخ نهائی سازه، ۶۵
۵-۲-۸- خلاصه روش Bi-SSTP به صورت گام به گام، ۶۵

فصل ششم: ارزیابی روش پوش آور پیشنهادی Bi-SSTP و مقایسه ی آن با سایر روش های مورد مطالعه
۶-۱- روش های مورد مطالعه و شرح مختصری از فرضیات درنظر گرفته شده در آنها، ۶۹
۶-۱-۱- روش تحلیل پوش آور N2 توسعه یافته (Extended N2)، ۶۹
۶-۱-۲- روش تحلیل پوش آور مودال MPA (Modal Pushover Analysis)، ۶۹
۶-۱-۳- روش تحلیل پوش آور مودال عملی PMPA (Prctical Modal Pushover Analysis)، ۷۰
۶-۱-۴- روش تحلیل پوش آور مودال MMPA (Modified Modal Pushover Analysis)، ۷۰
۶-۱-۵- روش تحلیل پوش آور چند مودی MMP (Multi Mode Pushover)، ۷۰
۶-۱-۶- روش تحلیل طیفی مودال الاستیک RSA (Response Spectrum Analysis)، ۷۰
۶-۱-۷- روش تحلیل تاریخچه ی زمانی غیرخطی NTHA (Nonlinear Time History Analysis)، ۷۱
۶-۲- نحوه ی دوخطی سازی منحنی ظرفیت سازه در روش های انتخابی، ۷۱
۶-۳- مدل های سازه ای و مشخصات دینامیکی آنها، ۷۳
۶-۴- رکورد زلزله ها، ۷۹
۶-۵- پارامترهای مورد بررسی، ۸۰
۶-۶- مطالعات آماری و بحث بر روی نتایج، ۸۱

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۷-۱- نتیجه گیری، ۹۵
۷-۲- پیشنهادات جهت تحقیقات آینده، ۹۶

پیوست الف: معرفی نرم افزار تحلیل غیرخطی سازه ها OpenSEES
الف-۱- نرم افزار OpenSEES، ۹۹
الف-۲- بررسی عملکرد تحلیل در نرم افزار OpenSEES، ۱۰۰
الف-۳- امکانات نرم افزار OpenSEES، ۱۰۰
الف-۴- مزایای نرم افزار OpenSEES، ۱۰۱

پیوست ب: گراف های مؤلفه های تجزیه شده ی تاریخچه ی زمانی شتاب رکورد های زلزله انتخابی، ۱۰۲
پیوست ج: گراف ها و نمودارهای میله ای مربوط به مقدار خروج از مرکزیت ۱۰٪، لوح فشرده
پیوست د: گراف ها و نمودارهای میله ای مربوط به مقدار خروج از مرکزیت ۳۰٪، لوح فشرده

منابع، ۱۰۹

فهرست جداول

عنوان، شماره صفحه

جدول ۶-۱- مشخصات مقاطع ساختمان های SAC3، SAC9 و SAC20، ۷۵
جدول ۶-۲- زمان تناوب طبیعی ساختمان ها در حالت متقارن، ۷۶
جدول ۶-۳- زمان های تناوب طبیعی ساختمان ها با مقدار ۱۰٪ خروج از مرکزیت، ۷۹
جدول ۶-۴- زمان های تناوب طبیعی ساختمان ها با مقدار ۳۰٪ خروج از مرکزیت، ۷۹
جدول ۶-۵- مشخصات رکورد زلزله های گروه SAC برای منطقه ی لوس آنجلس با احتمال وقوع ۲٪ در ۵۰ سال، ۸۰

فهرست اشکال

عنوان، شماره صفحه

شکل۵-۱- مراحل بدست آوردن الگوی بار اعمالی در روش Bi-SSTP، ۶۲

شکل۶-۱- منحنی ظرفیت دوخطی شده، ۷۲

شکل ۶-۲- نحوه اتصالات تیر به ستون، نحوه ی اتصالات پیرامونی و تکیه گاه ها و نحوه ی جهت گیری ستون ها در ساختمان های مورد مطالعه SAC3، SAC9 و SAC20، ۷۴

شکل ۶-۳- آرایش مقاطع ستون های داخلی و خارجی، ۷۶

شکل ۶-۴- اشکال مودی غالب در جهات حرکت x و y سازه های SAC3، SAC9 و SAC20 با خروج از مرکزیت ۱۰٪، ۷۷

شکل ۶-۵- اشکال مودی غالب در جهات حرکت x و y سازه های SAC3، SAC9 و SAC20 با خروج از مرکزیت ۳۰٪، ۷۸

شکل ۶-۶- پلان ساختمان با خروج از مرکزیت دو جهته و توزیع لبه های نرم و سخت پلان، ۸۰

شکل۶-۷- مؤلفه های x و y پروفیل **میانگین** نسبت جابجائی نسبی به ارتفاع طبقه حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای مدل **SAC3** با خروج از مرکزیت ۱۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۸۲

شکل۶-۸- میزان خطای میانگین حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای روش های پوش آور نسبت به روش تحلیل دینامیکی در مدل **SAC3** با خروج از مرکزیت ۱۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۸۲

شکل۶-۹- مؤلفه های x و y پروفیل **میانگین** نسبت جابجائی نسبی به ارتفاع طبقه حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای مدل **SAC9** با خروج از مرکزیت ۱۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۸۴

شکل۶-۱۰- میزان خطای میانگین حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای روش های پوش آور نسبت به روش تحلیل دینامیکی در مدل **SAC9** با خروج از مرکزیت ۱۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۸۴

شکل۶-۱۱- مؤلفه های x و y پروفیل **میانگین** نسبت جابجائی نسبی به ارتفاع طبقه حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای مدل **SAC20** با خروج از مرکزیت ۱۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۸۶

شکل۶-۱۲- میزان خطای میانگین حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای روش های پوش آور نسبت به روش تحلیل دینامیکی در مدل **SAC20** با خروج از مرکزیت ۱۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۸۶

شکل۶-۱۳- مؤلفه های x و y پروفیل **میانگین** نسبت جابجائی نسبی به ارتفاع طبقه حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای مدل **SAC3** با خروج از مرکزیت ۳۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۸۸

شکل۶-۱۴- میزان خطای میانگین حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای روش های پوش آور نسبت به روش تحلیل دینامیکی در مدل **SAC3** با خروج از مرکزیت ۳۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۸۸

شکل۶-۱۵- مؤلفه های x و y پروفیل **میانگین** نسبت جابجائی نسبی به ارتفاع طبقه حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای مدل **SAC9** با خروج از مرکزیت ۳۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۹۰

شکل۶-۱۶- میزان خطای میانگین حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای روش های پوش آور نسبت به روش تحلیل دینامیکی در مدل **SAC9** با خروج از مرکزیت ۳۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۹۰

شکل۶-۱۷- مؤلفه های x و y پروفیل **میانگین** نسبت جابجائی نسبی به ارتفاع طبقه حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای مدل **SAC20** با خروج از مرکزیت ۳۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۹۲

شکل۶-۱۸- میزان خطای میانگین حاصل از بیست رکورد زلزله انتخابی برای روش های پوش آور نسبت به روش تحلیل دینامیکی در مدل **SAC20** با خروج از مرکزیت ۳۰٪ در مرکز جرم (**CM**)، ناحیه ی نرم Corner-Up-Right (**CUR**) و ناحیه ی سخت Corner-Down-Left (**CDL**)، ۹۲

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

در میان پدیده های خطر آفرین، زمین لرزه های ویرانگر مسئول بیشترین شمار کشتار انسانی و زیان مالی بوده اند. پهنه ایران-زمین در بخش میانی کمربند کوهزائی و لرزه خیز آلپ-هیمالیا، یکی از لرزه خیزترین مناطق جهان به شمار می رود. زلزله های بزرگی در طول تاریخ ایران به وقوع پیوسته اند که خاطره ی تلخ بی خانمانی هم وطنان هنوز در ذهن هاست. زلزله های طبس، منجیل، بم و اخیراً زلزله ی آذربایجان از جمله ی بی شمار زلزله های ویرانگر ایران پهناور است.

در این خصوص، استفاده از روش های مختلف تحلیل سازه ها که حرکت سازه را در حین زلزله با خطای کمتر تقریب بزند، بسیار حائز اهمیت می باشد. امید آن است که با تخمین نزدیک به واقعیت پاسخ سازه ها و طراحی صحیح و اصولی طبق آئین نامه های لرزه ای و در نهایت اجرای صحیح ساختمان ها، میزان خسارات وارده به سازه ها به حداقل رسیده و دیگر اتفاقات ناگوار رُخ ندهد.

در این راستا روش های تحلیلی بسیاری جهت پیش بینی رفتار لرزه ای سازه ها تحت تحریک حرکت زمین ارائه شده است. با توجه به طبیعت بارهای لرزه ای که به صورت شتاب پایه در پای ساختمان وارد می شود، تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه ها دقیق ترین روش جهت تعیین پاسخ لرزه ای سازه ها می باشد. از طرف دیگر اخیراً بحث های طراحی بر اساس عملکرد مورد توجه جامعه ی مهندسی قرار گرفته است. یکی از الزامات روش طراحی بر اساس عملکرد تعیین نیاز تغییرمکانی سازه ها تحت تحریک زلزله توسط روش های تاریخچه ی زمانی شتاب یا طیف پاسخ طرح می باشد. همانطور که پیش از این نیز ذکر شد، دقیق ترین روش جهت تخمین نیاز تغییرمکانی سازه ها اجرای تحلیل تاریخچه ی پاسخ غیرخطی (RHA)[۱] می باشد. اما این روش، طاقت فرسا بوده و برای مقاصد طراحی غیرعملی می باشد. نتیجتاً، روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی (NSP)[۲] به دلیل عملی تر بودن و سرعت بالای اجرای آنها مورد توجه جامعه ی مهندسین و محققین قرار گرفته است. با این وجود، روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی دارای کمبودهای بسیاری می باشد و تلاش های بسیاری در جهت غلبه بر این کاستی ها توسط محققان در حال انجام است.

تحلیل استاتیکی غیرخطی موسوم به تحلیل پوش آور به دو دسته اصلی سنتی و پیشرفته تقسیم بندی می شود. با توجه به کاستی های موجود در روش های سنتی، روش های پیشرفته ای به مرور زمان ارائه شده است که برخی از ایرادات موجود در

۱- Response History Analysis

۲- Nonlinear Static Pushover

روش های سنتی در آنها بهبود یافته است. اکثر این روش ها در ابتدا برای مدل های دوبُعدی و ساختمان های دارای پلان متقارن ارائه شده بود، ولی بازرسی های پس از زلزله نشان می دهد که نامنظمی های موجود در پلان سبب ایجاد خسارات عدیده ای در ساختمان ها می شود، نتیجتاً به مرور زمان این روش ها برای ساختمان های نامتقارن در پلان و مدل های سه بعدی توسعه داده شده اند. اخیراً نیز روش های ارائه شده بار دیگر برای درنظر گرفتن اثرات همزمان زلزله در دو جهت توسط برخی محققین توسعه یافته است.

بر همین اساس، در این پایان نامه روش های پوش آور مختلفی که اثرات زلزله ی دوجهته را در ساختمان های نامتقارن در پلان در نظر گرفته اند، نسبت به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفته است. و در نهایت روش تحلیل پوش آور به هنگام شونده مودال بر اساس برش و پیچش طبقات (STA)[1] برای در نظر گرفتن اثرات زلزله ی دوجهته در سازه های نامتقارن در پلان توسعه داده شده است، با این تفاوت که الگوی بار اعمالی، ثابت فرض شده است.

۱-۲- اهمیت موضوع

بازرسی های پس از زلزله نشان می دهد که ساختمان های نامنظم در پلان از لحاظ پیچشی در مقایسه با ساختمان های منظم متحمل خسارات بیشتری می باشند. در حقیقت، نامنظمی های موجود در پلان به دلیل ایجاد نیازهای تغییرمکانی غیریکنواخت در المان های سازه ای باعث خسارات غیر یکنواخت در آنها می گردند. از طرفی دیگر، از آنجا که زلزله همیشه در یک جهت اثر نمی کند، رفتار پیچشی الاستیک سازه با در نظرگرفتن اثر زلزله در یک جهت به خوبی تخمین زده نمی شود و در ناحیه ی غیرالاستیک نیز بدتر می شود. و قدر مسلم آن است که حالت واقعی تر ساختمان ها و اثرات زلزله که شامل مدل سازی سه بُعدی و اثرات همزمان زلزله در دو جهت می باشد، در مدل سازی ها منظور شود.

۱-۳- هدف تحقیق

امروزه ساختمان های فراوانی به صورت نامنظم در پلان ساخته می شوند که رفتار آنها متفاوت از سازه های منظم می باشند. ساختمان های نامتقارن در پلان با توزیع نامنظم جرم و سختی هنگامی که تحت بارهای لرزه ای قرار می گیرند، متحمل پاسخ های پیچشی همراه با لرزش های انتقالی می باشند. المان های گوشه در این سازه ها تغییرمکان های بزرگی نشان می دهند، که یکی از عوامل کلیدی در فروپاشی ساختمان های بسیاری در زلزله های اخیر بوده است. از طرفی دیگر، اثر همزمان دو مولفه ی افقی زلزله بایستی در تحلیل ساختمان های نامتقارن در یک جهت و دو جهت به منظور جلوگیری از اختلالات در ناحیه ی غیر الاستیک در نظر گرفته شود. بر همین اساس، روش های پوش آور گوناگونی جهت در نظر گرفتن اثرات همزمان زلزله ی دو جهته در ساختمان های نامتقارن در پلان توسعه داده شده اند. لذا در این پایان نامه دقت رو ش های ارائه شده در

۱- Storey-shear-and-Torque-based Adaptive procedure

مقایسه با روش دقیق تحلیل دینامیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۱-۴- ابزار و روش تحقیق

در این تحقیق، سه سازه ی فولادی قاب خمشی با ارتفاع کوتاه، متوسط و بلند دارای پلان نامتقارن در دو جهت با دو خروج از مرکزیت های ۱۰٪ و ۳۰٪ تحت اثر بیست رکورد زلزله قوی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. جهت مدل سازی و اجرای تحلیل سازه ها از نرم افزار تحلیل غیر خطی سازه ها[۱] استفاده شده است. کلیه ی محاسبات و نتایج خروجی مربوط به تحلیل پوش آور با استفاده از محیط برنامه نویسی نرم افزار MATLAB صورت گرفته است. دقت کلیه روش های انتخاب شده جهت بررسی و روش پیشنهادی در مقایسه با روش تحلیل دینامیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۱-۵- شرح فصول

در این تحقیق، پس از فصل کنونی که شاملِ کلیاتی در خصوص پایان نامه می باشد و به شرح چرائی تحقیق پرداخته شده است، در فصل **دوم** به توضیح مفاهیم بنیادین در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش آور) که در ابتدا برای مدل های دو بُعدی پایه گذاری شده است، پرداخته شده است. سپس در فصل **سوم** گزارش خلاصه ای از روش های ارائه شده برای مدل های سه بُعدی تحت اثر زلزله ی یک جهته آورده شده است. در فصل **چهارم** روش هائی که در آنها اثرات همزمان زلزله در دو جهت افقی لحاظ شده است، تشریح شده است. در فصل **پنجم** روش تحلیل استاتیکی غیرخطی بر اساس برش و پیچش مودال ترکیبی طبقات برای ساختمان های نامتقارن در پلان تحت اثر زلزله ی دو جهته ارائه شده است و همچنین شرح مختصری از روش های انتخابی جهت ارزیابی مقایسه ای نسبت به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی صورت گرفته است. جزئیات مدل های مورد مطالعه و رکوردهای زلزله ی انتخابی و در نهایت ارزیابی روش های انتخابی و بحث در مورد آنها در فصل **ششم** تشریح شده است. در انتها به نتیجه گیری و پیشنهادات جهت تحقیقات آتی در فصل **هفتم** پرداخته شده است. پیوست (الف) جهت آشنائی کلی با نرم افزار مورد استفاده برای مدل سازی سازه ها در این تحقیق، ارائه شده است.

۱- OpenSEES

فصل دوم

روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی برای ساختمان های متقارن در پلان

(پوش آور دو بعدی)

۲-۱- مقدمه

در روش تحلیل پوش آور، جهت ارزیابی و تعیین مقادیر تقاضای پارامترهای طراحی لرزه ای از تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه ها تحت اثر بار جانبی با الگوی ثابت توزیع بار در ارتفاع ساختمان به صورت افزایشی تا رسیدن جابجایی بام به یک تغییرمکان هدف استفاده می شود.

در حقیقت اساس کلی روش بدین صورت است که یک مدل ریاضی غیرخطی از سازه تحت الگوی بار جانبی قرار می گیرد و این بار جانبی افزایش می یابد تا سازه به یک تغییرمکان هدف از پیش تعیین شده ای برسد. بنابراین دو موضوع اساسی در این روش عبارت است از: ۱) تعیین تغییرمکان هدف و ۲) تعیین الگوی توزیع بار جانبی.

رفتار سازه ها در برابر زلزله ی طرح به صورت غیر خطی می باشد و خسارت سازه ای ناشی از زلزله بطور اساسی توسط ظرفیت تغییرشکل غیر الاستیک المان های سازه ای کنترل می شود. بنابراین تحلیل، طراحی و ارزیابی لرزه ای سازه ها باید بر اساس تقاضای جابجایی (یا به عبارت دقیق تر تغییرشکل) صورت گیرد و نباید بر اساس تنش های ناشی از نیروهای لرزه ای معادل فرضی آیین نامه ای باشد.

دقیق ترین راه جهت تعیین پاسخ های لرزه ای سازه ها استفاده از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی می باشد. در صورتیکه در آیین نامه های طراحی به خاطر مشکلات کاربردی و محدودیت های روش تحلیل فوق از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده می شود که البته دارای کاستی های فراوانی می باشد. همچنین با توجه به رویکرد طراحی بر اساس سطح عملکرد، استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی به سرعت رو به گسترش است. اما با توجه به اینکه این روش برای سازه های دو بعدی پایه گذاری شده است و رفتار سازه ها نیز به صورت سه بُعدی می باشد، لزوم تعمیم این روش برای سازه های سه بُعدی از سوی محققین از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

روش های تحلیل ساختمان می تواند بسته به اینکه مدل ریاضی ساختمان خطی و غیرخطی است و یا اینکه نیروها به صورت دینامیکی و استاتیکی می باشند متفاوت است. فرض اصلی در یک مدل خطی از ساختمان این است که المان های ساختمان (تیرها و ستون ها و ...) در طول تحلیل دارای مقاومت نامحدود بوده و به صورت ارتجاعی رفتار می کنند. برخلاف آن در یک مدل غیرخطی سعی می شود که کاهش مقاومت و سختی سازه هنگام خسارت دیدن در تحلیل لحاظ شود. از طرفی دیگر در یک مدل تحلیل استاتیکی یک الگوی از پیش تعیین شده ای از نیروی جانبی بر مدل سازه اعمال می شود. در یک تحلیل دینامیکی که در آن اثر زلزله به صورت تابع زمانی شتاب پایه به سازه اعمال می شوند پاسخ سازه به صورت توابع زمانی خواهد بود. هرچند از روش های تحلیل دینامیکی غیرخطی به دلیل در نظر گرفتن توأم اثر دینامیکی نیرو و رفتار غیرخطی

اعضا به عنوان کامل ترین روش یاد می شود. اما به دلیل مشکلاتی از قبیل پیچیدگی، پرهزینه بودن، عدم قطعیت در زلزله ی طرح و همچنین حساسیت زیاد نتایج آن به دقت مدل و فرضیات حرکت زمین که عدم توجه به آنها باعث کاهش شدید دقت نتایج می شود به استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی منجر شده است. توانائی این روش در دنبال کردن گام به گام رفتار سازه در مرحله عملکرد غیر ارتجاعی آن و تعقیب مکانیزم شکست در اعضا می باشد که این مسئله در تحلیل دینامیکی غیرخطی به سادگی میسر نمی شود [۱] و [۲].

۲-۲- روش انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی[۱]

گام های انجام یک تحلیل پوش آور به صورت زیر اجرا می شود:

گام ۱) ایجاد یک مدل ریاضی از سازه.

گام ۲) اعمال بار جانبی به سازه.

گام ۳) افزایش بار جانبی اعمالی به سازه تا جائی که بعضی از اعضای سازه به حد تسلیم برسند.

گام ۴) ثبت برش پایه اعمالی در آن مرحله و تعیین تغییرمکان نقطه ی کنترل.

گام ۵) منظور کردن سختی جانبی صفر برای اعضای جاری شده.

گام ۶) افزایش بار جانبی اعمالی به سازه تا جائی که عضو های دیگری از سازه جاری شوند.

گام ۷) ثبت برش پایه و تغییرمکان نقطه ی کنترل.

گام ۸) روند مراحل سوم تا هفتم تا جائی تکرار می شوند تا اینکه سازه یا بر اثر عواملی مانند P-Δ ناپایدار شود و یا اینکه به تغییرمکان مشخص از پیش تعیین شده ای که تغییرمکان هدف نامیده شده است، برسد.

گام ۹) رسم برش پایه بدست آمده در قسمت های مختلف در مقابل تغییرمکان نقطه ی کنترل سازه [۳].

۲-۳- روش های تحلیل پوش آور متداول (سنتی)[۲]

همانطور که پیش از این نیز ذکر شد، دو موضوع اساسی در روش تحلیل پوش آور عبارت است از: ۱) تعیین الگوی توزیع بار جانبی و ۲) تعیین تغییرمکان هدف، که در ادامه نحوه ی تعیین آنها توسط روش های مختلف ارائه شده است.

۲-۳-۱- تعیین الگوی بار جانبی[۳]

الگوی بار جانبی در حقیقت بیانگر توزیع نیروهای اینرسی جانبی اعمال شده به سازه ناشی از زلزله است. نیروهای اینرسی

۱- Pushover

۲- Traditional

۳- Lateral Load Pattern