بسم الله الرحمن الرحيم

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- گرایش سازه

موضوع:

ارزیابی روش های تحلیل استاتیکی غیرخطی در برآورد لرزه‌ای قاب های مهاربندی شدهٔ برون محور

اساتید راهنما:

دکتر جواد واثقی امیری

دکتر غلامرضا عبدالله زاده

نگارش:

عباس کاظمی امیری

فروردین ۱۳۸۹

اینک دستاوردهای علمی خود را مدیون رهنمودهای استاد فرزانه و حق جو و مدیری مبرز

جناب آقای دکتر جواد واثقی امیری

می دانم و بدین وسیله از زحمات ایشان در راه تعالی دانش و معرفت، تقدیر می نمایم.

شاید که بتوانم با تقدیم تلاش ناچیزم در راه افزایش معلومات خویش به عزیزانم،

مادر بزرگ خوبم و همسر مهربانم

قطره ای از دریای بیکران الطاف ایشان را جبران نمایم.

چکیده

نیاز به طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله و یا مقاوم سازی لرزه ای سازه های موجود، پژوهشگران مهندسی سازه و زلزله را به تحقیق پیرامون ابداع روش های کارآمد طراحی و تحلیل لرزه ای ترغیب نموده است. حاصل این تحقیقات منجر به معرفی روش طراحی بر اساس عملکرد شده است که ابزار تحلیلی مفید برای طراحی بر اساس عملکرد، روش تحلیل استاتیکی غیر خطی یا بارافزون می باشد. این روش انواع مختلفی دارد که نکته ی مشترک تمامی آن ها اعمال یک توزیع بار جانبی افزایشی استاتیکی به سازه در گام های مختلف، تا رسیدن نقطه ی کنترل سازه به نقطه ی عملکرد (تغییرمکان هدف) است. در یک تقسیم بندی کلی این روش به روش های بار افزون مرسوم، بار افزون با لحاظ کردن اثرات مودهای بالاتر ارتعاش سازه در پاسخ، بارافزون با الگوی بار تطبیقی با سختی جاری سازه و بار افزون با لحاظ کردن دو مورد اخیر تقسیم می شود.

در این پایان نامه روش بارافزون مودی و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی پایه و بارافزون مودی با یک بار تطبیق الگوی بار جانبی (بارافزون مودی اصلاح شده) ، در تخمین تغییر مکان و تغییر مکان نسبی برای پنج زمین لرزه معروف ارزیابی شده است. از آنجایی که ارزیابی این روش ها در تحقیقات مختلف عموماً حول قاب خمشی بوده است و برای مشاهده ی دقت این روش ها در سیستم های سازه ای دیگر، در این پایان نامه سه قاب دو گانه ی خمشی و بادبندی شده ی برون محور با ارتفاع های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ متر در تعداد طبقات ۵، ۱۰ و ۱۵ به روش های مذکور ارزیابی شده اند.

با تحلیل نتایج حاصل از روش ها مشاهده می شود که امکان به وجود آمدن پدیده ی برعکس شدن منحنی ظرفیت این سیستم سازه ای بسیار است. از مقایسه نتایج با پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به عنوان پاسخ دقیق تحت پنج شتاب نگاشت، در شرایط برعکس شدن منحنی ظرفیت روش بار افزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی پایه توانسته تخمین دقیق تری از پاسخ ها ارائه دهد. از طرف دیگر مقادیر تغییرمکان و تغییرمکان نسبی با اعمال الگوهای بار جانبی معادل و یکنواخت به هر قاب تا میانگین تغییرمکان بام که با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به دست آمده، به منظور ارزیابی دقت روش بارافزون مرسوم با سایر پاسخ ها مقایسه شده است و مشاهده شده که روش مرسوم مقادیر نیاز را با خطای زیادی تخمین می زند. لذا محدودیت روش بارافزون مرسوم مخصوصا در تخمین تغییرمکان نسبی مشهود است.

کلید واژه: مهاربند برون محور، برعکس شدن منحنی ظرفیت ، بارافزون مودی

فهرست

عنوان صفحه

فهرست i

فهرست جداول v

فهرست تصاویر vii

فصل اول. پیشگفتار ۱

۱-۱.مقدمه ۱

۱-۲. تعریف مساله ۳

۱-۳. هدف ۵

۱-۴. ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم.کلیات فنی ۷

۲-۱. انواع روش های تحلیل در بهسازی ۷

۲-۱-۱. تحلیل های استاتیکی ۷

۲-۱-۱-۱. تحلیل استاتیکی خطی (LSP) ۷

۲-۱-۱-۲. تحلیل استاتیکی غیرخطی (NSP) ۸

۲-۱-۲. تحلیل دینامیکی ۱۰

۲-۱-۲-۱. تحلیل دینامیکی خطی ۱۱

۲-۱-۲-۲. تحلیل دینامیکی غیرخطی ۱۱

۲-۲. تاریخچه پیدایش و تکامل تحلیل استاتیکی غیر خطی ۱۲

۲-۳. روش نوین طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله ۱۶

۲-۳-۱. مقدمه ۱۶

۲-۳-۲. مزایای روش طراحی براساس عملکرد سازه‌ها ۱۸

۲-۳-۳.مزایای استفاده از تحلیل بارافزون مرسوم در طراحی سازه‌ها براساس عملکرد ۱۹

۲-۳-۴. اصول روش های بارافزون مرسوم ۲۰

۲-۳-۴-۱. فرضیات ۲۰

۲-۳-۴-۲. روش‌های تعیین تغییرمکان هدف ۲۱
۲-۳-۴-۲-۱. روش ضرایب ۲۱
۲-۳-۴-۲-۲. روش طیف ظرفیت ۲۳
۲-۳-۴-۲-۳. روش N_2 ..... ۲۵
۲-۳-۴-۳. شکل توزیع بار جانبی در ارتفاع ساختمان ۲۵
۲-۳-۴-۴. مدلسازی در تحلیل بارافزون ۲۷
۲-۳-۵. روش های نوین در تحلیل بارافزون ۲۸
۲-۳-۵-۱. مقدمه ۲۸
۲-۳-۵-۲. تحلیل بار افزون مودی(MPA) ۲۹
۲-۳-۵-۲-۱. معرفی روش ۲۹
۲-۳-۵-۲-۲. مفهوم پایه ۲۹
۲-۳-۵-۲-۳. ارزیابی تحلیل بارافزون مودی توسط محققان مختلف ۳۲
۲-۳-۵-۳. روش بار افزون مودی تعدیل شده (MMPA) ۳۷
۲-۳-۵-۳-۱. معرفی روش ۳۷
۲-۳-۵-۳-۲. ارزیابی دقت روش ۳۷
۲-۳-۵-۴. روش های اصلاح منحنی ظرفیت برعکس شده (Reversal) ۳۷
۲-۳-۵-۵. منحنی ظرفیت بر پایه انرژی (E-B) و تحلیل بارافزون بر مبنای آن ۴۰
۲-۳-۵-۵-۱. معرفی روش ۴۰
۲-۳-۵-۵-۲. فرمول نویسی براساس انرژی جذب شده برای تحلیل بارافزون مودی ۴۰
۲-۳-۵-۵-۳. نتیجه ارزیابی دقت روش ۴۳
۲-۳-۵-۶. شرح روش بار افزون مودی براساس منحنی ظرفیت انرژی پایه ۴۴
۲-۳-۵-۷. تحلیل بارافزون مودی اصلاح شده (IMPA) ۴۵
۲-۳-۵-۷-۱. معرفی روش ۴۵
۲-۳-۵-۷-۲. شرح روش IMPA ۴۵
۲-۳-۵-۷-۳. نتیجه ارزیابی دقت روش ۴۶

فصل سوم. مدل سازی و مسائل تحلیلی ۴۷
۳-۱. معرفی قاب های مهاربندی شده ی برون محور(EBF) ۴۷
۳-۱-۱. مقدمه ۴۷
۳-۱-۲. رفتار مهاربندهای خارج از مرکز ۵۰
۳-۱-۲-۱. رفتار ارتجاعی قاب های EBF ۵۰
۳-۱-۲-۲. رفتار غیرارتجاعی قاب هایEBF ۵۲
۳-۱-۳. فلسفه طراحی قاب های EBF ۵۴
۳-۱-۳-۱. طول و مقاومت تیر پیوند ۵۶
۳-۱-۳-۱-۱. تعیین طول تیر پیوند در قابهای خارج از مرکز ۵۶
۳-۱-۳-۱-۲. مقاومت تسلیم تیر پیوند ۵۸
۳-۱-۳-۱-۳. مقاومت نهائی تیر پیوند ۵۹
۳-۱-۴. طراحی قاب EBF ۵۹
۳-۲. سیستم سازۀ انتخابی ۶۰
۳-۳. مدلسازی غیرخطی با استفاده از مفاصل پلاستیک ۶۲
۳-۳-۱. گروه اول- مفاصل تغییر شکل کنترل ۶۳
۳-۳-۱-۱. مفصل پلاستیک خمشی (M) یا خمشی – محوری (PMM) ۶۳
۳-۳-۱-۲. اصلاح مفاصل اتوماتیک ۶۵
۳-۳-۱-۲-۱. اصلاح مفاصل اتوماتیک تیرها ۶۵
۳-۳-۱-۲-۲. اصلاح مفاصل اتوماتیک ستون ها ۶۵
۳-۳-۱-۳. مفصل پلاستیک برشی (V) ۶۶
۳-۳-۲. گروه دوم- مفاصل نیرو کنترل ۶۷
۳-۴. معرفی شتاب نگاشت های مورد استفاده در تحلیل ها ۶۸
۳-۵. مراحل انجام تحلیل ها ۷۱
۳-۵-۱. تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی (NTHA) ۷۲
۳-۵-۲. مراحل تحلیل بار افزون مودی (MPA) ۷۳
۳-۵-۳. مراحل تحلیل بار افزون مودی به وسیله ی منحنی ظرفیت انرژی پایه (E-B) ۷۴

۳-۵-۴. مراحل تحلیل بار افزون مودی اصلاح شده (IMPA) ۷۵
فصل چهارم. ارائه نتایج ۷۶
۴-۱. موارد و نتایج تحلیل مدل F10 ..... ۷۶
۴-۲. پاسخ‌های تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی ۷۶
۴-۲-۱. نتایج مورد استفاده از تحلیل ۸۰
۴-۳. پاسخ‌های تحلیل بارافزون مودی (MPA) و بار افزون مودی اصلاح شده (IMPA) و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی(E-B) ۸۰
۴-۳-۱. پاسخ‌های تحلیل بارافزون مودی (MPA) ۸۰
۴-۳-۲. پاسخ‌های تحلیل بارافزون مودی اصلاح شده (IMPA) ۸۳
۴-۳-۳. پاسخ‌های تحلیل بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی (E-B) ۸۴
۴-۴. نمونه ای از نتایج تحلیل ها ۸۶
۴-۵. نتایج حاصل از تحلیل‌ها ۸۹
۴-۵-۱. نتایج مربوط به قاب ۵ طبقه ۹۰
۴-۵-۲. نتایج مربوط به قاب ۱۰ طبقه ۱۰۲
۴-۵-۳. نتایج مربوط به قاب ۱۵ طبقه ۱۱۴
۴-۶. مشارکت مودهای بالاتر در پاسخ ۱۳۰
فصل پنجم. نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۱۳۵
۵-۱. نتیجه گیری ۱۳۵
۵-۲. ارائه پیشنهادات ۱۳۶
مراجع ۱۳۸
Abstract ۱۴۳
پیوست ۱۴۴
پیوست۱. نرم افزارهای مورد استفاده در تحلیل های E-B, IMPA, MPA ۱۴۴
پیوست۱-۱. نرم افزار دو خطی سازی(DOKHATTI) ۱۴۴
پیوست۱-۲. نرم افزار تولید منحنی ظرفیت انرژی پایه (ENERGY) ۱۴۸
پیوست۲. جدول های مقایسه ی خطای پاسخ ها در مود اول و ترکیب مودها ۱۵۶

فهرست جداول

جدول۳-۱. شرح مفاصل اختصاص یافته..... ۶۸
جدول۳-۲. مشخصات شتاب نگاشت های مورد استفاده..... ۷۰
جدول۴-۱. مشخصات سازه یک درجه آزادی معادل در روش بارافزون مودی..... ۸۲
جدول۴-۲. مشخصات سازه یک درجه آزادی معادل در روش بارافزون مودی اصلاح شده..... ۸۴
جدول۴-۳ مشخصات سازه یک درجه آزادی معادل در روش E-B ۸۶
جدول۴-۴ پاسخ های تغییر مکان قاب F10 تحت زلزله ی لوماپریتا به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی..... ۸۷
جدول۴-۵ پاسخ های تغییر مکان نسبی قاب F10 تحت زلزله ی لوماپریتا به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی..... ۸۷
جدول۴-۶. خطای تغییر مکان قاب F5 تحت زلزله ی لوماپریتا به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۳۰
جدول۴-۷ خطای تغییر مکان نسبی قاب F5 تحت زلزله ی لوماپریتا به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۳۱
جدول۴-۸. خطای تغییر مکان قاب F10 تحت زلزله ی لوماپریتا به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۳۱
جدول۴-۹. خطای تغییرمکان نسبی قاب F10 تحت زلزله ی لوماپریتا به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۳۲
جدول۴-۱۰. خطای تغییر مکان قاب F15 تحت زلزله ی لوماپریتا به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۳۲
جدول۴-۱۱. خطای تغییر مکان نسبی قاب F15 تحت زلزله ی لوماپریتا به روش های بارافزون

مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۳۳
جدول پ ۱- ۱. ورودی و خروجی های برنامه ی DOKHATTI ۱۴۵
جدول پ ۱- ۲. اطلاعات لازم برای برنامه ی ENERGY ۱۴۹
جدول پ ۲- ۱. خطای تغییر مکان قاب F5 تحت زلزله ی نورث ریج به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۵۶
جدول پ ۲ – ۲. خطای تغییر مکان نسبی قاب F5 تحت زلزله ی نورث ریج به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۵۶
جدول پ ۲ – ۳. خطای تغییر مکان قاب F10 تحت زلزله ی نورث ریج به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۵۷
جدول پ ۲ – ۴. خطای تغییرمکان نسبی قاب F10 تحت زلزله ی نورث ریج به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۵۷
جدول پ ۲- ۵. خطای تغییر مکان قاب F15 تحت زلزله ی نورث ریج به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۵۸
جدول پ ۲- ۶. خطای تغییر مکان نسبی قاب F15 تحت زلزله ی امپریال والی به روش های بارافزون مودی و بار افزون مودی اصلاح شده و بارافزون مودی با منحنی ظرفیت انرژی، به ازای پاسخ یک مود و ترکیب سه مود..... ۱۵۹

فهرست شکل ها

شکل۲-۱. ترسیم منحنی ظرفیت..... ۲۳
شکل ۲-۲. تبدیل منحنی ظرفیت به طیف ظرفیت..... ۲۴
شکل ۲-۳. شکل سنتی طیف تقاضا و تبدیل آن به فرم جدید..... ۲۴
شکل۲-۴. تلاقی دو منحنی و محاسبه ی نقطه عملکرد..... ۲۵
شکل۲-۵. منحنی بارافزون سه مود اول..... ۳۱
شکل ۲-۶. دو خطی سازی منحنی بارافزون و (الف) نمودار دو خطی سنتی و (ب) نمودار دو خطی طیفی..... ۳۱
شکل ۲-۷. ساختمان ۹ طبقه [۷]..... ۳۳
شکل ۲-۸ . سه مود اول پریود ارتعاش طبیعی ساختمان ۹ طبقه [۷]..... ۳۳
شکل ۲-۹. توزیع نیروی جانبی متناسب با شکل سه مود اول [۷]..... ۳۴
شکل ۲-۱۰. تغییرمکان و تغییرمکان نسبی طبقات با تحلیل بارافزون مودی با یک، دو و سه مود و تحلیل تاریخچهٔ پاسخ برای تکان ۱/۵ برابر زلزله ال‌سنترو..... ۳۴
شکل ۲-۱۱. خطاها در تغییرمکان بام، تغییرمکان نسبی و چرخش مفاصل پلاستیک برآورد شده بوسیلهٔ روش تحلیل بارافزون مودی شامل یک، دو و سه مود نسبت به تحلیل تاریخچه پاسخ غیرخطی برای تکان ۱/۵ برابر زلزله ال‌سنترو ۳۵
شکل ۲-۱۲. مدل های تحلیل شده در تحقیق..... ۳۵
شکل۲-۱۳. نمودار بارافزون یک قاب دارای منحنی ظرفیت برعکس شده در مود سوم ۳۸
شکل۲-۱۴. مقایسه منحنیهای ظرفیت طیفی مود دوم یک قاب به روش های انرژی پایه و مرسوم..... ۳۹
شکل ۲-۱۵. نمایش محاسبه ی کار انجام شده توسط نیروهای جانبی..... ۴۲
شکل۲-۱۶. تبدیل نمودار بارافزون به منحنی انرژی پایه طیفی..... ۴۳
شکل ۳-۱. نمونه‌هایی از قابهای خارج از مرکز..... ۴۹
شکل ۳-۲. اثر تغییر طول تیر پیوند بر سختی جانبی قاب نمایش یافته..... ۵۱
شکل۳-۳. ارتباط مقاومت نهایی با طول پیوند در قاب (EBF) ۵۲
شکل ۳-۴. تشکیل مکانیزم در قاب و رابطه فی مابین اعضاء..... ۵۳
شکل۳-۵. رابطه بین طول پیوند و تغییرشکل عضو..... ۵۳
شکل۳-۶. نمودار آزاد قاب EBF دوقطری..... ۵۶
شکل۳-۷. مدل های تحلیل شده و مقاطع اعضا و (الف) مدل F5 و (ب) مدلF10 و (ج) مدل F15 ۶۲

شکل۳-۸. رابطه لنگر-دوران در مفصل پلاستیک خمشی..... ۶۴
شکل ۳-۹. رابطه نیرو-جابجایی در مفصل پلاستیک برشی..... ۶۶
شکل ۳-۱۰. نمایی از قاب EBF و شماره گذاری اعضا..... ۶۷
شکل۳-۱۱. شتاب نگاشت زلزله ویکتوریا..... ۶۹
شکل۳-۱۲. شتاب نگاشت زلزله لوما پریتا..... ۶۹
شکل۳-۱۳. شتاب نگاشت زلزله نورث ریج..... ۶۹
شکل۳-۱۴. شتاب نگاشت زلزله امپریال والی..... ۶۹
شکل۳-۱۵. شتاب نگاشت زلزله کویوت لیک..... ۷۰
شکل۳-۱۶. طیف ترکیبی پنج زوج شتاب نگاشت بهمراه طیف میانگین آن ها..... ۷۰
شکل۴-۱. (الف)مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه تحت زلزله ویکتوریا و(ب) تاریخچه پاسخ بام ۷۷
شکل۴-۲. (الف)مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه تحت زلزله امپریال والی و(ب) تاریخچه پاسخ بام..... ۷۸
شکل۴-۳. (الف)مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه تحت زلزله نورث ریج و(ب) تاریخچه پاسخ بام..... ۷۸
شکل۴-۴. (الف)مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه تحت زلزله کویوت لیک و(ب) تاریخچه پاسخ بام..... ۷۹
شکل۴-۵. (الف)مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه تحت زلزله لوما پریتا و(ب) تاریخچه پاسخ بام ۷۹
شکل۴-۶. (الف)منحنی ظرفیت مود اول و (ب)قاب تغییر شکل یافته در مود اول و (ج) الگوی بار در مود اول..... ۸۱
شکل۴-۷. (الف)-منحنی ظرفیت واژگون بام در مود دوم و (ب) قاب تغییر شکل یافته (ج) والگوی بار در مود دوم (د) منحنی ظرفیت نرمال طبقه هفتم در مود دوم..... ۸۱
شکل۴-۸. (الف)-منحنی ظرفیت مود سوم (ب)قاب تغییر شکل یافته در مود سوم (ج) والگوی بار در مود سوم..... ۸۲
شکل۴-۹. (الف)- منحنی ظرفیت مود اول و (ب) الگوی بار اصلاح شده در مود اول..... ۸۳
شکل۴-۱۰. منحنی های ظرفیت E-B (الف) مود اول (ب) مود دوم (ج) مود سوم..... ۸۵
شکل۴-۱۱. تغییر مکان طبقات قاب F10 برای زلزله ی لوماپریتا..... ۸۸
شکل۴-۱۲. خطای روش های MPA و IMPA و E-B در برآورد تغییر مکان طبقات قاب F10برای زلزله ی لوماپریتا..... ۸۸
شکل۴-۱۳. تغییر مکان طبقات قاب F10 برای زلزله ی لوماپریتا..... ۸۹

شکل۴-۱۴. خطای روش های MPA و IMPA و E-B در برآورد تغییر مکان طبقات قاب F10برای زلزله لوماپریتا..... ۸۹
شکل۴-۱۵. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی ویکتوریا..... ۹۵
شکل۴-۱۶. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی کویوت لیک..... ۹۶
شکل۴-۱۷. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی امپریال والی..... ۹۷
شکل۴-۱۸. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی لوما پریتا..... ۹۸
شکل۴-۱۹. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی نورث ریج..... ۹۹
شکل۴-۲۰. (الف) نمودار خطای میانگین تغییر مکان و (ب) نمودار خطای میانگین تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل زلزله ها به روش های MPAوIMPAوE-B نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) ۱۰۰
شکل۴-۲۱. (الف) نمودارهای میانگین تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل زلزله ها به روش های MPAوIMPAوE-B و الگوهای توزیع بار UNIFORM و ELF و(ب) خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) ۱۰۱
شکل۴-۲۲. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی ویکتوریا..... ۱۰۷
شکل۴-۲۳. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی کویوت لیک..... ۱۰۸

شکل۴-۲۴. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی امپریال والی..... ۱۰۹
شکل۴-۲۵. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی لوماپریتا..... ۱۱۰
شکل۴-۲۶. نمودارهای تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطاهای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی نورث ریج..... ۱۱۱
شکل۴-۲۷. نمودار خطای میانگین تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل زلزله ها به روش های MPAوIMPAوE-B نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) ۱۱۲
شکل۴-۲۸. نمودار میانگین و خطای میانگین تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل زلزله ها به روش های MPAوIMPAوE-B و الگوهای توزیع بار UNIFORM و ELF نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) ۱۱۳
شکل۴-۲۹. نمودار تغییر مکان حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی ویکتوریا..... ۱۱۸
شکل۴-۳۰. نمودار تغییر مکان حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی کویوت لیک..... ۱۱۹
شکل۴-۳۱. نمودار تغییر مکان حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی امپریال والی..... ۱۲۰
شکل۴-۳۲. نمودار تغییر مکان حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی لوما پریتا..... ۱۲۱
شکل۴-۳۳. نمودار تغییر مکان حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی نورث ریج..... ۱۲۲
شکل۴-۳۴. نمودار تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی ویکتوریا..... ۱۲۳
شکل۴-۳۵. نمودار تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی کویوت لیک..... ۱۲۴
شکل۴-۳۶. نمودار تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای

آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی امپریال والی..... ۱۲۵
شکل۴-۳۷. نمودار تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی لوما پریتا..... ۱۲۶
شکل۴-۳۸. نمودار تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل به روش های MPAوIMPAوE-B و خطای آن ها نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) تحت زلزله ی نورث ریج..... ۱۲۷
شکل۴-۳۹. نمودار خطای میانگین تغییر مکان و تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل زلزله ها به روش های MPAوIMPAوE-B نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) ۱۲۸
شکل۴-۴۰ نمودار میانگین و خطای میانگین تغییر مکان نسبی حاصل از تحلیل زلزله ها به روش های MPAوIMPAوE-B و الگوهای توزیع بار UNIFORM و ELF نسبت به پاسخ های تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (NTH) ۱۳۴

فصل اول- پیشگفتار

۱-۱. مقدمه

امروزه لزوم بررسی ایمنی لرزه ای ساختمان ها برکسی پوشیده نیست. در شهرهای پرجمعیتی همچون تهران که از طرفی طیف وسیعی از انواع ساختمانها از قدیمی تا جدید در آن ها موجود می باشد و از طرف دیگر ساختار شهری نظام مند و یکپارچه ای ندارند، تصور رخداد زمین لرزه و پیامدهای آن بسیار وحشتناک است. در کشورمان خسارت های مالی و جانی ناشی از زلزله ها دست کم در ۵۰ سال اخیر نشان داده است که نکته ی امیدوار کننده ای در زمینه ی مواجهه با زمین لرزه وجود ندارد، چنانچه آمار کشته شدگان زلزله ی بم که رخداد آن در دوره ای است که ساختار های اداری مهندسی ساختمان شکل گرفته است، اثباتی بر این مدعاست.

آنچه حائز اهمیت است، این که در صورت رعایت تمام موازین موجود در آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) و اجرای کاملاً حرفه ای، نباید توقع داشت که در زلزله های نسبتاً شدید تخریب های گسترده وجود نداشته باشد، بلکه سیاست تدوین استاندارد مذکور حفظ نسبی ایمنی جانی است.

با مطالعه ی تجربیات کشورهای پیشرفته در این زمینه مشاهده می شود، که ضعف سازه ها در برابر زلزله تنها ناشی از سیاست گذاری ها نبوده است، بلکه در بسیاری موارد اشکالات مهندسی نیز بر آن دامن زده است،

به عنوان نمونه زمین لرزه ی نورث ریج (۱۹۹۴) نشان داده که روش های طراحی موجود نیز خالی از اشکال نبوده، بلکه دانش بشری بایستی دائماً بازنگری شده و موارد لازم اصلاح شود [۱].

در آیین نامه های کنونی طراحی ساختمان ها در برابر زلزله مانند استاندارد ۲۸۰۰ کشور مان برای طراحی لرزه ای، سازه به طور خطی در اثر یک الگوی بار جانبی به طور استاتیکی تحلیل می شود که در واقع فرض بر آنست که رفتار اعضای سازه خطی است و شتاب دینامیکی وارده به سازه از سوی زمین، معادل یک نیروی جانبی موثر است که به طور استاتیکی بر سازه اعمال می شود و برای وارد کردن تغییرمکان های ناشی از رفتار غیرخطی اعضا، سازه برای نیروی کاهش یافته ای طراحی می شود. وظیفه ی کاهش نیروی طراحی با پارامتر ضریب رفتار R_w یا R می باشد [۲].

آنچه قابل توجه است، اینکه اولاً در اثر تحلیل استاتیکی، نمی توان اثرات رفت و برگشتی ناشی از زلزله بر اعضای ساختمان را لحاظ کرد، که عمدتاً شرایط رفت و برگشتی موجب زوال سختی یا زوال مقاومت یا هر دو در انواع اعضای سازه ای است. ثانیاً اعمال ضریب رفتار واحدی به هر نوع خاص از سیستم های باربر جانبی خالی از اشکال نیست و نیاز به مطالعات انواع شرایط سازه ای و رفتاری دارد که منجر به تحلیل های آماری حجیمی خواهد شد.

در نگاه اول به نظر می رسد که بهترین گزینه برای شبیه سازی اثر زمین لرزه بر سازه ها به کار بردن روش تحلیلی تاریخچه زمانی غیرخطی باشد، اگرچه این روش دقیق ترین روش دراین زمینه تا به امروز می باشد، اما از طرفی مشکلات خاص خود را به همراه دارد. از جمله زمان بر و پرهزینه بودن، پیچیدگی های فنی و ضعف در ساخت ورودی های لازم، کمبود منابع آماری کافی برای تهیه ی رکوردهای مشابه در ساختگاه های مختلف، می باشد [۳].

با توجه به مسائل مذکور روش های طراحی و تحلیل بر مبنای عملکرد احتمالی سازه در حین رخداد زلزله، پیشنهاد شده است و به طور خلاصه می توان گفت که طراحی بر مبنای عملکرد یعنی سازه ای طراحی شود که پس از تحلیل لرزه ای، عملکرد آن ایمنی مورد نظر را برآورده سازد. از همین تعریف پیداست که مراحل طراحی و تحلیل در این روش جامع تر و پیچیده تر نسبت به روش های طراحی الاستیک موجود است و نیاز به ابزار تحلیلی و روش های نوینی دارد.

۱-۲. تعریف مساله

همانطور که اشاره شد روش طراحی بر مبنای عملکرد و یا تخمین عملکرد سازه های موجود، نیاز به روش های تحلیلی دارد که یکی از آن ها تحلیل استاتیکی غیر خطی است. این روش تحلیلی به تحلیل بارافزون یا Pushover نیز مشهور است. تحقیقات فراوانی در این زمینه از ابتدای معرفی تا کنون انجام شده است که در بخش های بعدی بیشتر بدان پرداخته می شود. این روش دارای انواع گوناگونی است که نکته ی ثابت تمام آن –ها اعمال یک الگوی بار جانبی افزاینده است، که به سازه در تعداد گام های دلخواه اعمال می شود و طی آن نیرو وتغییر شکل اعضای سازه ثبت می شود و پس از آن که هر کدام از اعضا که به حداکثر ظرفیت الاستیک خود رسید وارد فاز غیر الاستیک شود و زمینه ی تشکیل مکانیزم ها فراهم می شود، سپس در نقطه ی معینی از تغییرمکان یا دریفت[1] (تغییر مکان نسبی) که عموماً نقطه ی عملکرد یا تغییرمکان هدف نامیده می شود، از اطلاعات ثبت شده، سایر مقادیر مورد نیاز استخراج می شود.

از آنجائی که نیاز به تحلیل و طراحی های لرزه ای دقیق تری نسبت به روش های الاستیک مرسوم حس می شد و از طرفی تحلیل های دینامیکی غیرخطی پیچیده هستند، روش تحلیل بارافزون و متعاقباً طراحی بر اساس عملکرد توانستند به سرعت در میان مهندسان مطرح شوند و دستور العمل های جدیدی نیز که بدان می–

[1]. Drift