

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه

بررسی عملکرد لرزه‌ای و ضریب رفتار سیستم

سازه قالب تونلی دارای نامنظمی جرمی

نگارنده : سید حامد حسینی طرqbهی

استاد راهنما :

دکتر ابراهیم زمانی

مهر ۱۴۰۰

تشکر و قدردانی

اَللّٰهُمَّ اَخْرِجْنِيْ مِنْ ظُلُمَاتِ الْوَهْمِ وَ اَكْرِمْنِيْ بِنُورِ الْفَهْمِ اَللّٰهُمَّ افْتَحْ عَلَيْنَا اَبْوَابَ رَحْمَتِكَ وَاَنْشُرْ عَلَيْنَا خَزَائِنَ عُلُوْمِكَ بِرَحْمَتِكَ يَا اَرْحَمَ الرَّاحِمِيْنَ.

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را بتوانم به سرانجام مقصود برسانم و با ارادت خالصانه آن را تقدیم می کنم به محضر مولا و آقا امام زمان (عج) روحی الهی الفدا، تقدیم به پدر بزرگوارم که با غیرت خود الفبای زندگی به من آموخت. تقدیم به مادر فداکارم که از اول آفرینش هیچ واژه ای نتوانسته مهر او را معنی کند.

کمال تشکر را دارم از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر زمانی که همواره بنده را مورد لطف و عنایت خود قرار داده و به من این فرصت را دادند تا از علوم پربار ایشان بهره برداری کنم و در تمام مراحل پایان نامه قوت قلب من بودند. عاقبت به خیری و سعادت را برای ایشان و خانواده محترم از خداوند منان خواستارم.

تعهد نامه

اینجانب **سید حامد حسینی طریقه‌ی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی سازه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه با عنوان ارزیابی شکنندگی لرزه ای ساختمان های بتن آرمه با سیستم قاب خمشی متوسط با در نظر گیری اثر انعطاف اتصالات تیر ها و ستون ها تحت راهنمایی **دکتر ابراهیم زمانی** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
 - در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
 - مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
 - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
 - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
 - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

امضاء

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود میباشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

چکیده

روش‌های صنعتی سازی ساختمان‌های مسکونی در سال‌های اخیر با توجه به افزایش جمعیت و مهاجرت به شهرها جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. یکی از نوین‌ترین روش‌های صنعتی ساخت سازه‌های ساختمانی، روشی موسوم به سیستم قالب تونلی می‌باشد. اگر چه بیشتر سازه‌های دارای قالب تونلی سازه‌هایی منظم (در پلان و ارتفاع) هستند، اما در این پایان‌نامه سعی شده‌است اثرات نامنظمی جرمی در ارتفاع بر رفتار سازه‌های دارای سیستم قالب تونلی بررسی گردد. در این پژوهش ابتدا به تعریف این سیستم و معرفی روش‌های ساخت آن پرداخته شده‌است. سپس به کمک نرم‌افزار ETABS2016 به تحلیل و طراحی شش سازه ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه به دو صورت منظم و نامنظم جرمی پرداخته شده‌است. همچنین به کمک نرم‌افزار PERFORM3D به صحت سنجی مدل‌های مورد نظر و سپس تحلیل لرزه‌ای آنها به کمک روش تحلیل تاریخچه زمانی و سپس تحلیل دینامیکی فزاینده (IDA) پرداخته شد. با ارائه منحنی‌های احتمالاتی شکنندگی و به کمک آیین‌نامه HAZUS بررسی‌های بیشتر روی آسیب-پذیری سازه‌های مورد نظر در دو حالت منظم و نامنظم انجام گرفت. در این ارزیابی پارامترهایی همچون ضریب رفتار، ضریب اضافه مقاومت، شکل پذیری و میانه شکنندگی بررسی شده‌است. در آخر به کمک منحنی‌ها و خروجی‌های حاصله، سطوح عملکردی و ضریب رفتار مناسب با در نظر گرفتن اثرات نامنظمی جرمی برای سازه قالب تونلی با نامنظمی در ارتفاع معرفی می‌شود. نتایج نشان داد که وجود نامنظمی باعث کاهش ضریب رفتار و ضریب شکل‌پذیری می‌شود. کاهش یا افزایش ارتفاع رابطه مستقیم با تغییرات دوره تناوب، سختی سازه و... دارد. بدین منظور که با افزایش ارتفاع در هر دو حالت منظم و نامنظم ضریب رفتار و ضریب شکل‌پذیری افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: قالب تونلی، ضریب رفتار، ضریب شکل‌پذیری، تحلیل IDA، منحنی شکنندگی

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه و کلیات ۱

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- قالب تونلی ۳
- ۱-۳- انواع نامنظمی در ارتفاع ۶
- ۱-۳-۱ نامنظمی هندسی ۶
- ۱-۳-۲ نامنظمی جرمی ۸
- ۱-۴- انواع تحلیل سازه ۹
- ۱-۴-۱ تحلیل خطی ۹
- ۱-۴-۲ تحلیل غیر خطی ۱۰
- ۱-۵ ساماندهی پژوهش ۱۰

فصل دوم پیشینه پژوهش ۱۳

- ۱-۲- مقدمه ۱۴
- ۲-۲- پیشینه تحقیق ۱۵

فصل سوم روش تحقیق و مبانی نظری ۲۱

- ۱-۳- مقدمه ۲۲
- ۲-۳- ضریب رفتار ۲۲
- ۳-۳- منحنی های شکنندگی ۲۷
- ۳-۴- مشخصات مدل های مورد مطالعه : ۲۸

۲۹	۵-۳- جزئیات مدلسازی در ETABS
۳۲	۳-۵-۱- نمای سه بعدی سازه‌ها
۳۶	۳-۵-۲- تحلیل، آنالیز و طراحی
۳۷	۳-۵-۳- نتایج مقایسه سازه منظم و نامنظم
۳۷	۳-۶- صحت سنجی
۳۷	۳-۶-۱- معرفی نرم افزار
۳۸	۳-۶-۲- مشخصات المانهای سازه‌ای

فصل چهارم محاسبه ضریب رفتار و بررسی منحنی شکنندگی ۴۱

۴۲	۴-۱- مقدمه
۴۲	۴-۲- صحت سنجی نتایج
۴۳	۴-۳- تعیین تغییر مکان هدف
۴۴	۴-۴- نمودارها و نتایج تحلیل غیرخطی پوش اوور
۴۹	۴-۴-۱- ضریب شکل پذیری μ
۴۹	۴-۴-۲- محاسبه ضریب اضافه مقاومت R_s
۵۰	۴-۴-۳- ضریب نامعینی R_r
۵۰	۴-۵- محاسبه و برآورد ضریب رفتار
۵۰	۴-۵-۱- R_{Code} ضریبی بر پایه آئیننامه
۵۱	۴-۵-۲- R_{demand} ضریبی بر پایه جابه جایی-شکل پذیری
۵۱	۴-۵-۳- R_{supply} ضریبی بر پایه ظرفیت سازه
۵۲	۴-۶- محاسبه ضریب رفتار
۵۵	۴-۷- منحنی و توابع شکنندگی
۵۵	۴-۷-۱- تحلیل دینامیکی افزایشی
۵۷	۴-۷-۲- تحلیل تاریچه زمانی
۵۷	۴-۷-۳- نتایج تحلیل دینامیکی افزاینده (IDA)
۶۸	۴-۷-۴- میانه شکست

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۳

۵-۱ - مقدمه..... ۷۴

۵-۲ - نتیجه گیری..... ۷۴

۵-۳ - پیشنهادات..... ۷۵

فهرست اشکال

- شکل ۱- سازه بتنی به روش قالب تونلی ۴
- شکل ۲- قطع سیستم باربر جانبی [2] ۷
- شکل ۳- نامنظمی جرمی [2] ۸
- شکل ۴- نمونه ای از تجهیزات ساخت سیستم قالب تونلی ۱۵
- شکل ۵- پلان جانمایی دیوارهای برشی در سیستم قالب تونلی ۲۸
- شکل ۶- نمای سه بعدی سازه ۵ طبقه ۳۳
- شکل ۷- نمای سه بعدی سازه ۱۰ طبقه ۳۴
- شکل ۸- نمای سه بعدی سازه ۱۵ طبقه ۳۵

فهرست جداول

- جدول ۱- ضریب رفتار در آیین نامه اروپایی [28] ۲۴
- جدول ۲- ضریب رفتار در آیین نامه ملی کانادا [29] ۲۴
- جدول ۳- ضریب رفتار در FEMA- 368 [30] ۲۵
- جدول ۴- ضریب رفتار در UBC 1997 [31] ۲۵
- جدول ۵- ضریب رفتار در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [2] ۲۶
- جدول ۶- جزئیات بارگذاری ۳۰
- جدول ۷- مشخصات مصالح مصرفی ۳۱

جدول ۸- مقادیر محاسباتی برای ضریب زلزله (C).....	۳۱
جدول ۹- نتایج طراحی نهایی	۳۶
جدول ۱۰- جزئیات پارامتر نوع رفتار مصالح.....	۳۹
جدول ۱۱- جزئیات پارامترهای مربوط به مصالح بتنی و فولادی مصرفی.....	۳۹
جدول ۱۲- دوره تناوب	۴۳
جدول ۱۳-تغییر مکان هدف.....	۴۴
جدول ۱۴- نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی.....	۴۹
جدول ۱۵- ضریب اضافه مقاومت R_s	۵۰
جدول ۱۶- مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری به روش میراندا و برترو[۵۰].....	۵۲
جدول ۱۷- مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری به روش نیومارک و هال[54].....	۵۲
جدول ۱۸-مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری به روش کوارینکر و ناسار[52].....	۵۳
جدول ۱۹-مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری به روش ویدیک[52].....	۵۳
جدول ۲۰-مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری و ضریب رفتار سازه‌های منظم از مطالعه بهشتی.....	۵۴
جدول ۲۱- مقایسه ضریب رفتار سازه‌ها به روشهای مختلف	۵۴
جدول ۲۲-نگاشت های انتخابی جهت انجام تحلیل IDA.....	۵۶

فهرست نمودارها

- نمودار ۱- روند و مفهوم به دست آوردن ضرایب رفتار، اضافه مقاومت، شکل پذیری ۲۶
- نمودار ۲- طیف بازتاب خاک نوع ۲، خطر لرزه خیزی زیاد ۳۲
- نمودار ۳- رابطه بار -تغییر شکل کلی (تعمیم یافته) برای اعضا و اجزای بتنی ۳۸
- نمودار ۴- رفتار غیر خطی بتن غیر محصور ۳۹
- نمودار ۵- نوع رفتار مصالح فولادی مصرفی ۴۰
- نمودار ۶- نمودار پوش اور به همراه منحنی دو خطی ایده آل برای سازه ۵ طبقه نامنظم ۴۶
- نمودار ۷- نمودار پوش اور به همراه منحنی دو خطی ایده آل برای سازه ۱۰ طبقه نامنظم ۴۷
- نمودار ۸- نمودار پوش اور به همراه منحنی دو خطی ایده آل برای سازه ۱۵ طبقه نامنظم ۴۸
- نمودار ۹- منحنیهای IDA برای سازه ۵ طبقه در حالت منظم ۵۹
- نمودار ۱۰- منحنیهای IDA برای سازه ۵ طبقه در حالت نامنظم ۵۹
- نمودار ۱۱- مقایسه نتایج تحلیل IDA در حالت منظم و نامنظم برای سازه ۵ طبقه ۶۰
- نمودار ۱۲- منحنیهای IDA برای سازه ۱۰ طبقه در حالت منظم ۶۰
- نمودار ۱۳- منحنیهای IDA برای سازه ۱۰ طبقه در حالت نامنظم ۶۱
- نمودار ۱۴- مقایسه نتایج تحلیل IDA در حالت منظم و نامنظم برای سازه ۱۰ طبقه ۶۱
- نمودار ۱۵- منحنیهای IDA برای سازه ۱۵ طبقه در حالت منظم ۶۲
- نمودار ۱۶- منحنیهای IDA برای سازه ۱۵ طبقه در حالت نامنظم ۶۲
- نمودار ۱۷- مقایسه نتایج تحلیل IDA در حالت منظم و نامنظم برای سازه ۱۵ طبقه ۶۳
- نمودار ۱۸- منحنی شکنندگی سازه ۵ طبقه در حالت منظم ۶۵

- نمودار ۱۹- منحنی شکنندگی سازه ۱۰ طبقه در حالت منظم ۶۵
- نمودار ۲۰- منحنی شکنندگی سازه ۱۵ طبقه در حالت منظم ۶۶
- نمودار ۲۱- منحنی شکنندگی سازه ۵ طبقه در حالت نامنظم ۶۶
- نمودار ۲۲- منحنی شکنندگی سازه ۱۰ طبقه در حالت نامنظم ۶۷
- نمودار ۲۳- منحنی شکنندگی سازه ۱۵ طبقه در حالت نامنظم ۶۷
- نمودار ۲۴- میانه شکنندگی برای سازه ۵ طبقه در حالت منظم ۶۹
- نمودار ۲۵- میانه شکنندگی برای سازه ۵ طبقه در حالت نامنظم ۶۹
- نمودار ۲۶- میانه شکنندگی برای سازه ۱۰ طبقه در حالت نامنظم ۷۰
- نمودار ۲۷- میانه شکنندگی برای سازه ۱۰ طبقه در حالت منظم ۷۰
- نمودار ۲۸- میانه شکنندگی برای سازه ۱۵ طبقه در حالت نامنظم ۷۰
- نمودار ۲۹- میانه شکنندگی برای سازه ۱۵ طبقه در حالت منظم ۷۱
- نمودار ۳۰- مقایسه میانه شکنندگی تمامی طبقات در حالات منظم و نامنظم ۷۱

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

یکی از روش‌های مورد استفاده برای اجرای ساختمان‌ها، سیستم باربر، دیوار و سقف بتنی است. در سیستم تونلی، دیوارها و سقف‌های بتن مسلح به صورت هم‌زمان آرماتوربندی، قالب‌بندی و بتن‌ریزی می‌شوند. این روش ضمن بالا بردن سرعت و کیفیت اجرا، عملکرد سازه‌ای و رفتار لرزه‌ای مجموعه سازه را به لحاظ یکپارچگی اعضا و اتصالات آن‌ها به نحو چشمگیری بهبود می‌بخشد [1].

در سال ۱۹۵۰ فقط ۳۱ درصد جمعیت جهان در شهرهای کوچک و بزرگ ساکن بودند که این رقم در سال ۱۹۹۵ به ۴۵ درصد رسید. در سال ۲۰۰۰ از هر دو نفر، یک نفر در شهرها سکونت داشت و بیشتر این رشد در شهرهای کوچک و متوسط بود. کلان‌شهرهایی با بیش از ده میلیون نفر جمعیت، هم‌اکنون فقط ۴ درصد جمعیت جهان را در خود جای داده‌اند، لذا با توجه به روند افزایش روزافزون جمعیت و به تبع آن، نیاز روزافزون به مسکن و نیز ناکارایی سیستم‌های سنتی و متداول در تولید انبوه مسکن، رویکرد به روش‌های صنعتی ساختمان ضروری به نظر می‌رسد. اجرای سازه بتنی به روش قالب تونلی، از حدود ۴۰ سال پیش در جهان متداول شده‌است. این روش که نوعی تولید صنعتی ساختمان بتن مسلح محسوب می‌شود، بیشتر در انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی استفاده می‌شود.

روش قالب تونلی، مانند دیگر روش‌های ساخت صنعتی، از چهار مزیت کاهش زمان، کاهش هزینه، ارتقای کیفیت و افزایش ایمنی کارکنان برخوردار است. این سیستم که یکی از بهترین روش‌های ساخت و ساز صنعتی است، از ابتدا در کشورهایی که با مشکل زلزله روبرو بودند مورد توجه قرار گرفت. در ایران نیز مرکز تحقیقات ساختمانی کشور در سال ۱۳۸۷، ساخت سازه به روش قالب تونلی را جزو فناوری‌های نوین ساخت و ساز در کشور اعلام نمود.

نامنظمی در پلان، نامنظمی در ارتفاع، وجود بازشوها و محدودیت‌های معماری، نبود یک مقدار مشخص برای ضریب رفتار این سازه‌ها در آیین‌نامه فعلی زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ [2])، سبب عدم پیش‌بینی دقیق رفتار این سازه در برابر زلزله می‌گردد. در این مجال تلاش برای یافتن ضریب رفتار سازه‌های قالب تونلی

با نامنظمی در ارتفاع صورت گرفته است. برای انواع نامنظمی در ارتفاع طبق (استاندارد ۲۸۰۰)، می توان به نامنظمی هندسی، جرمی، قطع سیستم باربرجانبی، مقاومت جانبی و سختی جانبی اشاره کرد. در برخی از سازه ها ممکن است طبقات بالایی نسبت به طبقات پایین کاهش زیربنا داشته باشد، در این موارد اگر جرم یک طبقه نسبت به جرم بالا یا پایین آن طبقه بیشتر از ۵۰ درصد اختلاف داشته باشد، سازه دارای نامنظمی جرمی خواهد بود. طبق آیین نامه (استاندارد ۲۸۰۰) طبقات بام و خرپشته از این تعریف مستثنی هستند. جرمی که در اینجا محاسبه می شود در واقع همان جرم لرزه ای است که شامل بار مرده L_D و درصدی از بار زنده L_R می باشد (رابطه ۱).

$$Q = L_D + 0.25L_R \quad (1)$$

در این مجال با کمک نرم افزار ETABS 2016 به دلیل نامنظمی در ارتفاع از نوع نامنظمی جرمی طبق استاندارد ۲۸۰۰ و به تبع آن به وجود آمدن نامنظمی شدید پیچشی به تحلیل اولیه سازه تحت تحلیل دینامیکی پرداخته و در گام بعد به کمک نرم افزار SAFE طراحی کف های سازه قالب تونلی انجام می شود. در ادامه با کمک نرم افزار Perform3D طراحی های انجام شده همانند پژوهش یوکسل و کالکان [9] صحت سنجی می شود. سپس تحلیل IDA روی سازه های مدل سازی شده انجام گردیده و منحنی های شکنندگی برای سازه های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه به دست می آید. با استفاده از منحنی های شکنندگی می توان توزیع پاسخ سازه را در شدت های مختلف زلزله نشان داد. از این منحنی ها نیز می توان جهت بیان پارامترها و اطلاعات آسیب پذیری برای هر سیستم سازه ای و غیرسازه ای در ساختمان استفاده کرد. تعیین محدوده ضریب رفتار و ضریب شکل پذیری برای سازه های نامبرده شده با وجود نامنظمی جرمی از دیگر دستاوردهای این پایان نامه خواهد بود.

۲-۱ - قالب تونلی

سازه قالب تونلی متشکل از سه دسته کلی مصالح بتن، میلگرد و قالب است. اجرای این سازه به این صورت است که ابتدا آرماتورهای کف و دیوار بسته شده و شبکه مورد نیاز تشکیل می گردد. سپس

تمامی شبکه‌ها به وسیله قالب احاطه شده و بتن درجا و همزمان بین قالب‌ها را پر می‌کند. معمولاً به دلیل اهمیت بالای میلگرد در دیوار و کف در اکثر پروژه‌ها از میلگرد ۴۰۰ استفاده می‌شود. انواع روش‌های ساخت این نوع سازه، روش میز پرنده و روش تونلی با سقف قالب سرخود نیمه پیش ساخته است [4]. در شکل ۱ نمونه‌ای از سازه بتنی به روش قالب تونلی مشاهده می‌شود.



شکل ۱- سازه بتنی به روش قالب تونلی

از مزایای ساخت و اجرای این سازه می‌توان به سرعت بالا در ساخت، کاهش اتلاف مصالح و نیروی انسانی، بازگشت سرمایه به دلیل سرعت بالا در ساخت، کاهش کارهای ریز و جزئی در قالب‌تونلی نسبت به سازه‌های بتنی، مقاومت بیشتر در برابر زلزله، به دلیل نداشتن تیر و ستون و برآمدگی‌های ناشی از آن دست معماران را برای طراحی داخلی بسیار باز گذاشته‌است، استفاده چندین باره از قالب‌ها کاهش هزینه را در بردارد، کاربرد بسیار مناسب برای ساخت مجتمع‌های بزرگ، کاهش حجم بتن ریزی و به دنبال آن کاهش حجم انرژی به دلیل ضخامت کم دیوارها و همین‌طور از مشکلات و محدودیت‌های این سازه می‌توان به نبود نیروی متخصص، مشکلات زیست‌محیطی به دلیل مصرف بسیار زیاد بتن، بسته بودن دست طراحان به دلیل فقدان اطلاعات دقیق و قابل اعتماد برای این سازه و... اشاره کرد.

این روش باتوجه به کاهش مصرف انرژی و سوخت مورد توجه قرار گرفته است اما در آینده بازیافت حجم زیادی از بتن به دلیل ترکیب شیمیایی بتن با مشکل روبه‌رو می‌شود. نبود نیروی ماهر. نبود محاسبات دقیق (فقدان ضریب رفتار دقیق) از دیگر مشکلات این روش ساخت است.

از نظر سازه‌ای قالب‌تونلی فاقد تیر و ستون بوده و نیروهای جانبی و ثقلی توسط عملکرد یکپارچه دیوار-کف تحمل می‌شود. این سازه کاملاً صلب بوده و شکل‌پذیری کمی دارد و از دو بخش اصلی دیوارهای برشی و کف صلب تشکیل شده است. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های قالب‌تونلی، دیوارهای برشی معروف آن است. به این نحو که به صورت سرتاسری در یک جهت و در جهت دیگر به صورت تیکه تیکه و در قسمت‌های مختلف پلان ساختمان اجرا می‌شود. قسمت سرتاسری معمولاً دارای بازشوها متعددی می‌باشد. وجود این بازشوها خود عاملی موثر در شکل‌پذیری بوده و عملکرد آن به صورت سازه فیوز در هنگام زلزله جزو عوامل مفید بازشوها است. همین‌طور تاثیر مستقیم برروی مقدار ضریب‌رفتار دارد.

برای بحث انتقال تأسیسات مثل لوله‌کشی آب و فاضلاب یا سیم‌کشی برق و... در حین اجرا طبق نقشه‌های پیش‌بینی شده از قبل فم‌هایی در بین آرماتورها قرار داده و مسیر انتقال تأسیسات را هم در دیوار و هم در کف هموار می‌کند. در برخی از این سازه‌ها در محدوده بالای بازشوها قسمت‌هایی از دیوار اجرا می‌شود که همانند تیرهای کوپله دو دیوار را به هم متصل می‌کند. در ساختمان‌های با ارتفاع بیشتر که ضخامت دال و دیوار بیش از ۲۰ سانتی متر می‌باشد قابلیت اجرای آرماتورهای قطری در این نواحی وجود دارد و در صورتی که این آرماتورها به خوبی اجرا شود، این المان‌ها قابلیت جذب انرژی بالایی از خود نشان می‌دهند [5].

حداکثر ضخامت لایه بتن به اندازه سنگدانه (هرکدام بزرگ‌تر بود) محدود می‌شود. بتن‌ریزی باید مستمر بوده و لایه جدید قبل از سخت شدن لایه قبلی ریخته شود تا پیوستگی بین لایه‌ها تأمین گردیده و از بروز صفحات ضعیف یا درز سرد پرهیز گردد. در مواردی که میلگردها کم تراکم باشد می‌توان از لوله‌های آویز یا شوت قائم برای بتن‌ریزی استفاده کرد. قطر لوله‌های مورد استفاده باید حداقل ۸ برابر اندازه بزرگترین سنگدانه و در پایین (بعد از ۲ یا ۳ متر ارتفاع) کاهش داده و حداقل ۶ برابر قطر بزرگ‌ترین

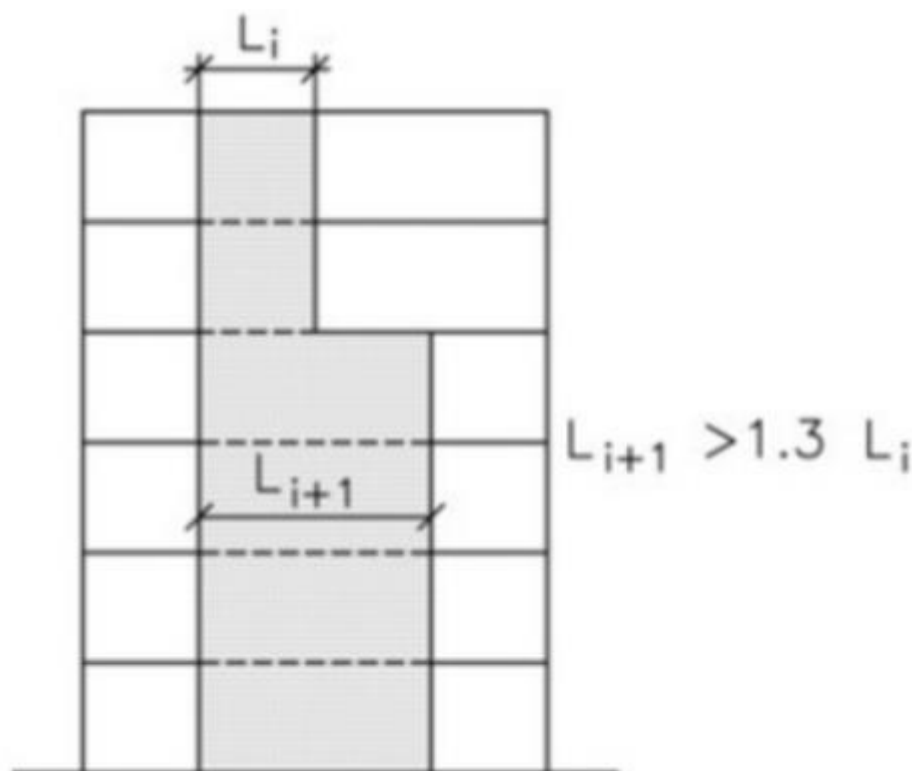
سنگدانه منظور شود. هنگام بتن‌ریزی، برای جابجایی بتن مازاد روی سقف بجهت آسیب ندیدن لوله‌های برق از پارو به جای بیل استفاده گردد.

ابعاد و اندازه بازشوهای تأسیساتی می‌بایست بصورت دقیق و هماهنگ با سازه و معماری دیده شوند. بهتر است حداکثر لوله‌ها و تجهیزات برق در دیوارهای بتنی پیش‌بینی شوند. این لوله‌ها حتماً باید در حدفاصل دو مش آرماتور (در دیواره‌ها) اجرا گردد تحت هیچ شرایطی اجرای لوله گذاری در ضخامت کاور بتن مجاز نمی‌باشد. بهتر است سیستم برق‌رسانی داخل واحدها از سقف به دیوار باشد (تقسیم گذاری) بتن‌ریزی باید یکنواخت باشد تا امکان جداسدگی در اجزای بتن بوجود نیاید. بتن در لایه‌های افقی با ضخامت مساوی ریخته شده و هر لایه باید بطور مطلوب متراکم و سپس لایه بعدی ریخته شود. طبق نشریه شماره ۵۸۲ مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان [6] حداقل ضخامت ۲۵ سانتی متر و حداقل مقاومت فشاری نمونه استوانه ۲۵ مگاپاسکال و حداقل تنش تسلیم ۴۰۰ برای فولاد الزامی است.

۱-۳- انواع نامنظمی در ارتفاع

۱-۳-۱ نامنظمی هندسی

در بعضی مواقع بر حسب نیازهای معماری یا نورگیری در یک ساختمان مجبور به ایجاد نامنظمی در پلان یا ارتفاع می‌شویم. برای انواع نامنظمی در ارتفاع می‌توان بر نامنظمی جرمی، قطع سیستم باربر جانبی، هندسی و... اشاره کرد. در مواردی که ابعاد افقی سیستم باربر جانبی در هر طبقه بیش از ۱۳۰ درصد آن، در طبقات مجاور باشد نامنظمی هندسی اتفاق می‌افتد (شکل ۳).



شکل ۲- قطع سیستم باربر جانبی [2]

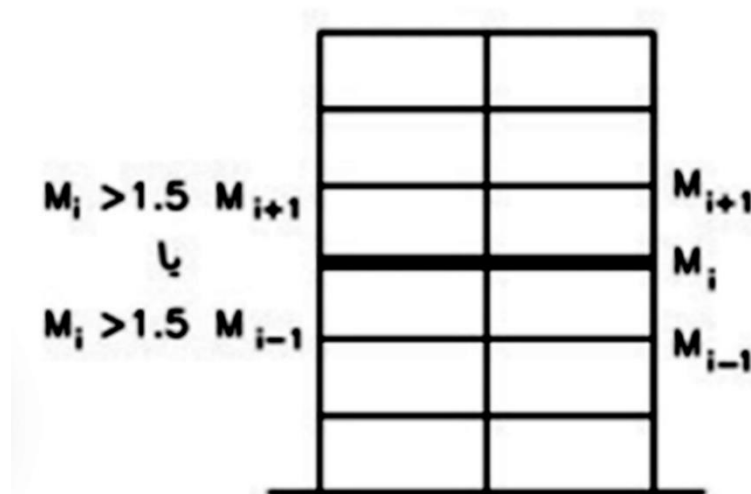
سیستم‌های باربر جانبی مثل سیستم مهاربندی، سیستم قاب خمشی و سیستم دیوار برشی وظیفه استهلاک انرژی زلزله و تامین سختی سازه برای کنترل جابه‌جایی طبقات را بر عهده دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل وجود نامنظمی وجود الزامات معماری است. ممکن است ساختمانی به دلایلی در طبقات بالاتر تغییر کاربری دهد و در آن طبقه، در دهانه‌ای که در طبقات پایین‌تر، از سیستم باربر جانبی استفاده شده، امکان اجرای مهاربند (یا دیوار برشی) نباشد، از این‌رو مهندس محاسب به ناچار مجبور به حذف سیستم باربر جانبی در طبقه مذکور شده و که ممکن است سبب ایجاد نامنظمی هندسی شود.

یکی از دلایل دیگر می‌تواند قضاوت مهندسی باشد، می‌دانیم نیروی زلزله به نسبت ارتفاع در طبقات توزیع می‌شود و از این‌رو سهم طبقات پایین از نیروی زلزله بیشتر است. بنابراین مهندس محاسب می‌تواند در طبقات بالاتر از تعداد دهانه‌های کمتری برای تعبیه سیستم باربر جانبی استفاده نماید که این مورد هم ممکن است نامنظمی هندسی ایجاد کند.

یکی از دلایل ایجاد نامنظمی جرمی می‌توان تغییر کاربری طبقات باشد. در این پژوهش به این نامنظمی جرمی به این صورت که در هر سه سازه ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه در طبقه یکی مانده به آخر کاربری تغییر کرده و باعث ایجاد نامنظمی شده‌است. وجود این نامنظمی در سازه باعث می‌شود که طبقات به دلیل اختلاف جرمی زیادی که دارند زمان تناوب متفاوتی داشته باشند و باعث تغییرات در دریافت سازه و تخریب ناگهانی آن می‌شود. منظور از تغییرات جرم در این نامنظمی، تغییرات در جرم مؤثر لرزه‌ای که از مجموع بار مرده و درصدی از بار زنده محاسبه می‌شود.

۱-۳-۲- نامنظمی جرمی

در مواردی که جرم هر طبقه بیش از ۵۰ درصد با جرم طبقات مجاور خود تفاوت داشته‌باشد، نامنظمی جرمی اتفاق می‌افتد (شکل ۴). طبقه بام و خرپشته از این تعریف مستثنا هستند.



شکل ۳- نامنظمی جرمی [2]

یکی از دلایل ایجاد نامنظمی جرمی می‌توان تغییر کاربری طبقات باشد. وجود این نامنظمی در سازه باعث می‌شود که طبقات به دلیل اختلاف جرمی زیادی که دارند زمان تناوب متفاوتی داشته باشند و باعث تغییرات در دیرین سازه و تخریب ناگهانی آن می‌شود. منظور از تغییرات جرم در این نامنظمی، تغییرات در جرم مؤثر لرزه‌ای که از مجموع بار مرده و درصدی از بار زنده محاسبه می‌شود.

۱-۴- انواع تحلیل سازه

با گذشت زمان از زمان انسان‌های اولیه، روزبه‌روز نیاز به مسکن بیشتر شده و افزایش ارتفاع سازه‌ها تحلیل دقیق‌تر ساختمان‌ها را طلب می‌کند. با پیشرفت علم و کامپیوترها، قابلیت پردازش چندین برابر و سریع‌تر اطلاعات، تحلیل سازه‌های مختلف را ساده‌تر و دقیق‌تر کرده است. این برنامه‌ها معمولاً با استفاده از روش‌هایی همچون آنالیز ماتریسی و المان محدود به تحلیل سازه‌ها می‌پردازند و نیاز به تحلیل دستی را از بین برده‌اند.

۱-۴-۱- تحلیل خطی

این تحلیل معمولاً در ناحیه الاستیک انجام می‌گیرد و محل اولین تسلیم سازه را مشخص می‌کند. در این روش نیروی هر عضو تحت بارگذاری معین به دست آمده و برای تعیین نیروهای استاتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از ساده‌ترین روش‌های تحلیل سازه روش تحلیل استاتیکی است. با توجه به نتایج روش تحلیل استاتیکی، سازه‌های با مقاومت و سختی بالاتر نسبت به سازه‌ای با مقاومت و سختی کمتر ارجح هستند در صورتی که این معیار همیشه درست نیست بدین معنی که در بعضی موارد با کاهش سختی نتایج بهتری در ارتباط با کارایی سازه مشاهده می‌شود. محدودیت‌های دیگری که در روش استاتیکی وجود دارد عبارتند از تقریب در طیف بازتاب و شتاب پایه، نبود پایه منطقی برای تعیین ضریب R و نیز الگوی توزیع نیرو در ارتفاع [7].

از دیگر روش‌های تحلیل سازه، تحلیل دینامیکی طیفی می‌باشد. در روش تحلیل دینامیکی طیفی، پس از تعیین زمان تناوب و اشکال مدی، برای زلزله‌های مورد نظر طیف شتاب به صورت تابعی از تناوب و استهلاک محاسبه شده و سپس با در نظر گرفتن یک ضریب، اینرسی و جابجایی طبقات در هر مد محاسبه می‌گردد. در انتها برآیند اثر مدها به روش CQC یا SRSS تعیین می‌شود [8, 9]. یکی از بارزترین محدودیت‌های استفاده از روش تحلیل دینامیکی طیفی محاسبات جابجایی نسبی طبقات است. تمامی جابجایی‌های بدست آمده از روش طیف پاسخ، مقادیر مثبت هستند.

بنابراین نمودار تغییر شکل یافته سازه معنی خاصی نخواهد داشت. چون هر جابجایی یک تقریب از مقدار ماکزیمم است [7].

۱-۴-۲- تحلیل غیر خطی

در طراحی براساس نیرو، اعضای سازه برای سطح عملکرد سرویس در محدوده‌ی تغییر شکل‌های الاستیک طراحی می‌شوند و رفتار غیرخطی سازه قابل پیش‌بینی نمی‌باشند. در حالی که سازه در زلزله‌های شدید یا بارگذاری‌های بزرگ وارد ناحیه غیرخطی می‌شود.

در حالت رفتار غیرخطی رابطه نیرو و تغییر مکان خطی نمی‌باشد و با غیرخطی شدن هر عضو، ماتریس سختی کل سازه کاهش می‌یابد و باز توزیع نیرو انجام می‌شود. در تحلیل‌های غیرخطی روش تحلیل باید بر مبنای مرحله به مرحله باشد.

به این ترتیب که با استفاده از گام‌های مشخص تغییر مکانی، در هر مرحله سختی سازه کاهش یابد و نتایج بدست آمده در آن مرحله، جهت استفاده در مرحله بعد بکار رود. رفتار غیرخطی اعضا می‌تواند به صورت مفصل متمرکز فرض شود.

۱-۵ ساماندهی پژوهش

بعد از تعریف و معرفی قالب تونلی، مزایا و معایب آن و همینطور تعاریف مرتبط با این پژوهش با محوریت موضوع انواع نامنظمی در فصل اول، و همچنین در فصل دوم به بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه قالب تونلی پرداخته شده‌است. همینطور در فصل سوم با تعریف انواع نامنظمی در ارتفاع، ضریب رفتار، منحنی‌های شکنندگی و انواع تحلیل سازه‌ها آشنا شده و در گام بعد به کمک نرم‌افزار ETABS به تحلیل و بررسی ۶ سازه به صورت منظم و نامنظم پرداخته و در گام بعد به کمک نرم‌افزار PERFORM3D به صحت سنجی و ارائه منحنی‌های شکنندگی پرداخته شده‌است.

در فصل چهارم به کمک منحنی‌ها و خروجی‌های حاصله ضریب رفتاری مناسب برای سازه قالب تونلی با نامنظمی در ارتفاع معرفی می‌شود

از مهم‌ترین اهداف این پژوهش یافتن و مقایسه ضریب رفتار سازه منظم و نامنظم با یکدیگر در سیستم سازه‌ای قالب تونلی می‌باشد. وجود نامنظمی نیز به دلیل شرایط معماری به وجود آمده و دلیلی بر مطالعه برروی ضرایب شکل پذیری و رفتار سازه در ارتفاع‌های مختلف شده‌است. در پایان با نتایج به دست آمده سعی در کنترل، نظارت و طراحی بهتر برروی این سیستم سازه‌ای در حالت نامنظم با توجه به ضریب رفتار مطمئن تری که به دست آمده دارد.

فصل دوم

پیشینه پژوهش

۲-۱- مقدمه

اجرای سازه‌های بتن آرمه با سیستم قالب تونلی اخیرا جایگاه ویژه‌ای در انواع سازه‌های مسکونی و صنعتی به خود اختصاص داده‌است. در این سیستم بارهای جانبی و ثقلی توسط عملکرد ترکیبی دیوارهای برشی و سیستم دال تخت بتن آرمه انتقال می‌یابد. با افزایش روزافزون جمعیت و به تبع آن افزایش تمایل به شهرنشینی، نیاز به مسکن ضروری‌تر از همیشه شده‌است. نیاز به تعداد زیاد مسکن و همچنین لزوم افزایش سرعت در اجرا باعث شد که اولین بار بعد از جنگ جهانی دوم روشی با عنوان انبوه‌سازی صنعتی مسکن مورد استفاده قرار گیرد.

در رابطه با سازه‌های قالب تونلی و ضریب رفتار آن در کشورهای پرجمعیت و زلزله‌خیز تحقیقات بسیاری انجام شده‌است. این تحقیقات که اخیرا در دنیا مورد توجه قرار گرفته است حاکی از اهمیت بالا و جذابیت این نوع سیستم سازه‌ای می‌باشد. در ایران نیز این نوع سیستم به دلیل سرعت بالا و هزینه ی پایین به تازگی جایگاه ویژه‌ای در بین سازندگان و طراحان پیدا کرده و این تازگی در امر طراحی و ساخت، سیستم قالب تونلی را مستعد تحقیقات گسترده در امر طراحی، روش‌های اجرا و.... می‌کند. بهتر است طراحان اندازه و ابعاد سازه‌ای قالب تونلی را برحسب قالب‌های موجود طراحی کنند. اجزای استفاده شده در اکثر پروژه‌ها شامل پانل‌های افقی، عمودی و پستی، جک‌های مورب، چرخ پانل، تیرهای جابه‌جایی، لبه‌های خاتمه بتن‌ریزی، رامکا، بت و مهره بت، تراس، قطعه نگه‌دارنده می‌باشد [3].

در شکل ۲ یکی از انواع قالب‌های مورد استفاده در ساخت این نوع سازه مشاهده می‌شود.



شکل ۴- نمونه ای از تجهیزات ساخت سیستم قالب تونلی

۲-۲- پیشینه تحقیق

بهشتی و نیکپور [10] با کمک تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA) به بررسی دو سازه ۵ و ۱۰ طبقه به روش قالب تونلی با نامنظمی در پلان اقدام نموده‌اند. در این تحقیق ابتدا ضریب رفتار به صورت فرضی ۵ در نظر گرفته شده‌است و در پایان با بررسی مجدد، مقدار ضریب رفتار ۵ را ایمن و مقداری بین ۶ و ۷ را ضریب رفتاری مطمئن اعلام کردند. ارائه منحنی‌های شکنندگی به روش تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA) و به کمک نرم‌افزار Perform3D انجام شده‌است. سازه رفتار نرم داشته و مد غالب مد پیچشی می‌باشد. این پژوهش با معرفی سه ضریب پایه، سعی در یافتن ضریب رفتار اصلی سازه دارد.

ذولفقاری و سالاریان [11] با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی و تحلیل دینامیکی غیرخطی و مدل سازی به کمک Perform3D سعی در یافتن ضریب رفتاری برای سازه قالب تونلی منظم داشت. در ابتدا ضریب رفتار برای سه سازه ۲، ۵ و ۱۵ طبقه را به صورت فرضی ۶ در نظر گرفته و طراحی اولیه با نرم افزار Etabs انجام شده‌است. در این مقاله با معرفی سه ضریب رفتار (تقاضا، آیین نامه و ظرفیت) سعی در یافتن ضریب رفتاری مناسب برای سازه قالب تونلی با پلان منظم داشت. طبق این پژوهش

مقداری که بر اساس ظرفیت می‌باشد را نشان دهنده ظرفیت سازه در تحمل تغییر شکل‌های غیرخطی و سطوح عملکرد و بستگی به سطح خرابی مورد نظر دانسته و همینطور برای ضریب آیین‌نامه اینگونه بیان شده‌است که این مقدار اساساً بر پایه مشاهدات و تجربه و قضاوت مهندسی و بررسی عملکرد انواع سازه‌ها در برابر زلزله‌های گذشته ارائه شده‌است. مقدار ضریب تقاضا نیز براساس مشخصات هندسی و فیزیکی و سطح خطر لرزه‌خیزی منطقه مشخص می‌شود.

همینطور بهشتی و محسنیان [12] در سال ۱۳۹۱ با بررسی سه سازه ۲، ۵ و ۱۰ و با فرض اولیه ضریب رفتار ۵ به بررسی رفتار قالب تونلی پرداختند. از نتایج مهم این تحقیق تعیین مقدار ضریب رفتار ۶ برای این سازه است و به این صورت که این مقدار سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه در زلزله طرح را تضمین می‌کند.

ذوالفقاری و سالاریان [3] با بررسی سازه‌های ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ طبقه با کمک نرم‌افزار Perform3D به تعیین رفتار سازه و ارائه منحنی‌های شکنندگی پرداختند. احتمال خرابی در هر مقدار PGA به ترتیب از ۲ تا ۲۰ طبقه افزایش یافته و تاثیر مهم وجود بازشوها در دیوارهای برشی در این امر از نتایج مهم این پژوهش است. بهشتی و محسنیان [13] در سال ۹۰ با کمک تحلیل تاریخچه زمانی و تحلیل بار افزون به معرفی منحنی‌های شکنندگی پرداختند. مد غالب پیچشی و بازشوها به صورت سازه فیوز معرفی شد و در این تحلیل، سازه در زلزله شدید در ارتفاع عملکرد خوبی دارد و به دلیل سختی بالا، تغییر مکان‌ها به حالت خطی نزدیک است.

بهزادی و آقایی [14] به تحلیل غیرخطی بار افزون بر روی هفت نمونه با کمک آباکوس پرداختند و با بررسی منحنی‌های هیستریزیس ضریبی برای شکل‌پذیری سازه معرفی کردند. همینطور معتقد بودند که وجود بازشو شکل‌پذیری را افزایش می‌دهد و رفتار سازه را نرم کرده و ضریب رفتار را افزایش می‌دهد، با افزایش لاغری ضریب رفتار کاهش و جنس بستر تاثیر نامحسوسی در میزان ضریب رفتار دارد، افزایش نسبت عرض به دیوار موجب گسترش طول ناحیه پلاستیک می‌شود.

معصومی و همکاران [15] با تحلیل باز افزایشی استاتیکی، شکل پذیری، مقاومت افزون، ضریب برش پایه و مقدار جابه‌جایی بام از پارامترهای موثر در ضریب رفتار دانستند. از نتایج این پژوهش این است که استفاده از قالب تونلی برای سازه کوتاه مرتبه به دلیل صلبیت بسیار زیاد و نداشتن شکل پذیری و جذب انرژی، مناسب نیست. همچنین افزایش دیوارهای برشی موازی تأثیری در مقاومت و ضریب برش پایه ندارد. با افزایش ارتفاع شکل پذیری زیاد و ضریب برش پایه و مقاومت سازه کم می‌شود. انرژی ناشی از نیروی زلزله در سازه‌های کوتاه با مقاومت و در سازه‌های بلند با شکل پذیری مستهلک می‌شود. شکرالهی و نیکخوا [16] به بررسی سازه‌های ۲، ۵، ۷، ۱۲، ۱۵ طبقه در سه پلان متفاوت به کمک تحلیل پوش اور و نرم افزار PERFORM3D و به کمک روش یوانگ، نیومارک و کراویکلر ونصر، ضریب رفتار و ضریب شکل پذیری مناسبی برای سازه‌های قالب تونلی معرفی کردند.

سلیمی و شکیب [17] در ابتدا به تهیه مدل غیرخطی مناسب و سپس با انتخاب معیار مناسب برای شدت لرزه‌ای و جمع آوری رکورد زلزله به انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی و رسم منحنی IDA پرداختند. از نظر اقتصادی نیز رستمی و امانی [18] با تعریف دقیق روش اجرا به مقایسه هزینه‌های قالب تونلی با سازه‌های فلزی و بتنی، معتقدند در انبوه‌سازی، سازه‌های قالب تونلی بسیار کارآمد و اقتصادی‌تر از دیگر انواع سازه است. در مقایسه با سازه‌های بتنی معمولی مصرف بتن قالب تونلی و هزینه نیروی ماهر، جرثقیل ثابت و... بیشتر است و کاهش هزینه‌های تیغه‌های داخلی به دلیل کاهش تیغه‌بندی در سازه‌های قالب تونلی مشهود است.

حبیبی و همکاران [20] به کمک آباکوس به تحلیل پوش اور یک سازه ۱۰ طبقه پرداختند. همین‌طور معتقدند افزایش دیوارهای برشی باعث تردی سازه می‌شود اما منحنی‌های هیستریزیس برای مدل‌های تجربی و عددی نشان‌دهنده جذب انرژی بالا در برابر زلزله است. در آخر ضریب اضافه مقاومت را $4/16$ و ضریب شکل پذیری $1/198$ اعلام کردند.

یوکسل و کالکان [21] با تحلیل بر روی دو مدل آزمایشی قالب تونلی به روش شبه‌استاتیکی در پلان‌های متفاوت تحت ضربه قرار می‌گیرد و منحنی‌های هیستریزیس حاصله نشان می‌دهد که بعد از اعمال ضربه،

طبقه اول هنوز ترک نخورده اما طبقات شاهد گسترش ترک در ناحیه اتصال دیوار و کف بودند. با بررسی‌های فوق دریافتند شکست ترد خمشی ممکن است به دلیل شکست آرماتورهای طولی در دیوار برشی در سازه اتفاق بیوفتد.

بالکایا و کالکان [22] با بررسی بیست مدل اثر تقویت دیوار و صفحه به دال و اثرات پیچ‌خوردگی و بازشدن دیوارها بر مکانیسم انتقال بار و عملکرد لرزه‌ای، تهیه رابطه جدید برای آن‌ها علاوه بر پاسخ لرزه‌ای توصیه کرده‌اند. در این پژوهش معادله جایگزین قابل اعتمادتری نسبت به معادلات آیین‌نامه معرفی شده‌است. همینطور با تحلیل پوش اور سازه را تحت بارهای جانبی قرار دادند و با توجه به بازتوزیع مجدد در طول پاسخ‌های لرزه‌ای به تحلیل سازه پرداختند. برای بازشوها نیز آرماتورهای برشی مورب طراحی که علاوه بر تقویت لبه باعث جلوگیری از ترک می‌کند.

کالکان [23] به بررسی ۸۰ ساختمان قالب تونلی با پلان و ارتفاع‌های متنوع پرداخت و در آخر رابطه‌ای برای محاسبه دوره تناوب سازه که تعداد طبقات کمتر ۱۵ باشد پیشنهاد داد. توافقی و عشقی [24] با بررسی پلان و ارتفاع‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که پریود اصلی سازه در هر دو جهت به ارتفاع کلی سازه وابسته است و مقدار دیوارها تاثیر زیادی بر آن ندارد. همینطور این تحقیق بر روی دو نمونه به صورت تحلیل غیرخطی صورت گرفته‌است. بالکایا و کالکان [25] طی مطالعات دیگری در مدل‌های سه بعدی با آنالیز استاتیکی پوش اور به تحلیل ۱۴۰ سازه قالب تونلی و به بررسی پریود اصلی سازه به این روش پرداخته و مد غالب سازه را مد پیچشی اعلام کردند. همینطور در سال ۲۰۰۲ بالکایان و کالکان [26] در دو نمونه ۲ و ۵ طبقه به صورت دو بعدی و سه بعدی به کمک تحلیل بار افزون ضریب رفتار را برای سازه کوتاه تر ۵ و سازه بلند ۴ معرفی کردند.

گسترده‌گی تحقیقات انجام شده روی سازه‌های قالب تونلی، ضریب رفتار و شکل پذیری این نوع سازه نشان دهنده اهمیت شکل پذیری در بحث سبک‌سازی و بهسازی ساختمان‌های مختلف در مناطق زلزله‌خیز است. این سیستم سازه‌ای با توجه به عملکرد عالی در برابر بارهای ثقیل و جانبی دارای اهمیت

بسیار بالا بوده و می‌توان با گسترش مطالعات در این زمینه به بهبودی هرچه بیشتر این سیستم سازه‌ای کمک شود.

وجود نامنظمی جرمی در سازه‌های قالب تونلی تا به حال در دست پژوهش قرار نگرفته و در این مطالعه تلاش بر یافتن ضریب رفتار و سطح عملکرد لرزه‌ای با وجود نامنظمی جرمی صورت گرفته است.

فصل سوم

روش تحقیق و مبانی نظری

۳-۱- مقدمه

در گام نخست با کمک نرم افزار ETABS.2016 به تحلیل اولیه سازه تحت تحلیل دینامیکی پرداخته شده است. سپس با کمک نرم افزار Perform3D طراحی های انجام شده و همانند پژوهش یوکسل و کالکان [21] صحت سنجی می شود. سپس تحلیل IDA روی سازه های مدل سازی شده انجام گردیده و منحنی های شکنندگی برای سازه های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه به دست می آید. با استفاده از منحنی های شکنندگی می توان توزیع پاسخ سازه را در شدت های مختلف زلزله نشان داد. از این منحنی ها می توان جهت بیان پارامترها و اطلاعات آسیب پذیری برای هر سیستم سازه ای و غیر سازه ای در ساختمان استفاده کرد. تعیین محدوده ضریب رفتار و ضریب شکل پذیری برای سازه های نامبرده شده با وجود نامنظمی جرمی از دیگر دستاوردهای این پایان نامه خواهد بود.

۳-۲- ضریب رفتار

آیین نامه استاندارد ۲۸۰۰ بر اساس روش نیرویی و با کنترل نهایی تغییر مکان ها به معرفی ضریب رفتار می پردازد و به کمک شکل پذیری، نیروی زلزله را کاهش می دهد. ضریب رفتار ساختمان دربرگیرنده عواملی از قبیل شکل پذیری، درجه نامعینی و اضافه مقاومت موجود در سازه است. اگر در هنگام زلزله تعداد عناصر مقاوم جانبی کم باشد، سازه عملکرد مطلوبی در برابر جذب انرژی و تأمین شکل پذیری نخواهد داشت؛ به همین منظور در آیین نامه ۲۸۰۰ ضریبی بنام ضریب درجه نامعینی نشان داده می شود. آیین نامه لرزه ای، ضریب نامعینی سازه را با ρ تعریف کرده است. طبق بند ۳-۳-۲ آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، ساختمان هایی که سیستم مقاوم جانبی آنها در دو جهت عمود بر هم دارای نامعینی ناکافی هستند بایستی برای بار جانبی بیشتری طراحی گردند که در این مورد برش پایه ساختمان افزایش داده می شود. طبق بند ۳-۳-۲ آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم ساختمان هایی که سیستم مقاوم جانبی آنها در دو جهت عمود بر هم دارای نامعینی ناکافی هستند بایستی برای بار جانبی بیشتری طراحی گردند که در این مورد برش پایه ساختمان با ضریب $\rho = 1.2$

افزایش داده می‌شود. آئین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم برای اینکه $p = 1.0$ باشد دو شرط زیر را در نظر گرفته‌است که عبارتند از:

الف) ساختمان منظم در پلان و در طبقاتی که نیروی برشی بیش از 35 درصد نیروی برش پایه ساختمان در آنها ایجاد می‌شود، دارای حداقل دو دهانه مقاوم در برابر بارهای جانبی در هر طرف مرکز جرم ساختمان و در هر امتداد اصلی ساختمان باشند (در سیستمهای دارای دیوار برشی برای پیدا کردن تعداد دهانه‌ها باید طول دیوار را بر ارتفاع طبقه تقسیم کنیم).

ب) هر طبقه‌ای از ساختمان که در آن بیش از 35 درصد نیروی برش پایه ایجاد شود، باید با توجه به نوع سیستم سازه‌ای ضوابط جدول زیر را دارا باشد. برون مرکزی اتفاقی در تراز هر طبقه، ea_j ، به منظور به حساب آوردن احتمال تغییرات اتفاقی توزیع جرم و سختی از یک سو و نیروی ناشی از مؤلفه پیچشی زلزله از سوی دیگر، در نظر گرفته می‌شود. این برون مرکزی باید در هر دو جهت عمود بر نیروی جانبی اختیار شود. در مواردی که ساختمان مشمول نامنظمی پیچش موضوع بند 1 5 1 (ب) می‌شود، برون مرکزی اتفاقی حداقل باید در ضریب بزرگنمایی (A_j) ضرب می‌شود. ضریب نامعینی در یک سازه، باعث عملکرد مطمئن‌تر آن در هنگام زلزله شده و به ما اجازه می‌دهد که ضریب رفتار بزرگتری را برای سازه در نظر بگیریم و باعث کاهش برش پایه می‌شود.

شکل پذیری سازه بیانگر قابلیت سازه برای تحمل تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی در سازه است. هر چه شکل پذیری سازه بیشتر باشد. هنگام محاسبه ضرایب شکل پذیری اغلب تغییر شکل تسلیم با دشواری‌های همراه است. علت این دشواری‌ها در این است که رابطه بار-تغییر شکل دارای نقطه تسلیم مشخصی نیست. مشخص نبودن نقطه تسلیم در رابطه بار-تغییر شکل به عوامل متعددی بر می‌گردد که از آن جمله می‌توان به رفتار غیرخطی مصالح و شروع تسلیم در بخش‌های مختلف سازه در ترازهای مختلف بار اشاره کرد. تعریف‌های مختلفی که پژوهشگران از جمله پارک [27] برای تخمین تغییر مکان تسلیم مورد استفاده قرار داده است.

در پیش‌نویس آیین نامه اروپایی که در ماه می سال ۲۰۰۰ تهیه شده در مورد ضریب رفتار ساختمان‌های بتنی تحت اثر مولفه افقی نیروهای زلزله چنین آمده است. در جدول ۱ ضریبی که برای لحاظ کردن اثر ظرفیت استهلاک انرژی در نظر گرفته می‌شود [28].

جدول ۱- ضریب رفتار در آیین نامه اروپایی [28]

Ed2000	Ed1995	Ed2000	Ed1995	Ed2000	Ed1995	
۴	۵	۱	۱	۴	۵	دیوار باربر با شکل پذیری ویژه
-	۳/۸	-	۰.۷۵	-	۵	دیوار باربر با شکل پذیری متوسط
۲.۷	۲.۵	۰.۶۶	۰.۵	۴	۵	دیوار باربر با شکل پذیری جانبی معمولی

در پیش‌نویس آیین‌نامه ساختمانی ملی کانادا برای سال ۲۰۰۵ [29] ضریب رفتار به صورت حاصلضرب دو ضریب R_0 و R_d تفکیک شده است. جدول ۲ ضریب R_d ضریب اصلاح نیرو ناشی از شکل پذیری است که توانایی سازه را برای استهلاک انرژی به واسطه رفتار غیر ارتجاعی مشخص می‌کند. ضریب R_0 نیز ضریب اصلاح نیرو ناشی از مقاومت افزون است که برای به حساب آوردن بخشی از مقاومت ذخیره شده در سازه‌ای که مطابق این مقررات طراحی می‌شود، در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- ضریب رفتار در آیین‌نامه ملی کانادا [29]

R_0 R_d	R_0	R_d	سیستم سازه ای
۶.۸	۱.۷	۴	دیوار باربر با شکل پذیری ویژه
۳.۵	۱.۴	۲.۵	دیوار باربر با شکل پذیری متوسط
۲	۱.۳	۱.۵	دیوار باربر با شکل پذیری جانبی معمولی

در آیین‌نامه FEMA- 368 [30] جدول ۳ با عنوان ضرایب و عوامل طراحی برای سیستم‌های اصلی مقاوم لرزه‌ای آمده است. در این جدول مقادیر ضرایب رفتار، ضرایب مقاومت افزون، ضرایب تشدید تغییر مکان جانبی و نیز محدودیت ارتفاع (با توجه به رده طراحی) براساس سیستم های سازه‌ای مختلف مشخص شده است.

جدول ۳- ضریب رفتار در FEMA- 368 [30]

سیستم سازه‌ای	ضریب رفتار
دیوار بتن مسلح ویژه	۵
دیوار بتن مسلح معمولی	۴
دیوار با مصالح بنایی مسلح ویژه	۵
دیوار با مصالح بنایی مسلح متوسط	۳.۵
دیوار با مصالح بنایی معمولی	۲

ضریب رفتار در مقررات UBC 1997 ضریبی است که ترکیب اثرهای مقاومت افزون و شکل پذیری را ارائه می‌کند. جدول ۴ مقدار این ضریب برای هر یک از سیستم‌های سازه‌ای مقداری ثابت است که کل طیف نیاز ارتجاعی را به سطح طراحی کاهش می‌دهد، از آنجا که سیر تکاملی مقدار R در این مقررات بر مبنای قضاوت مهندسی و مشاهده بوده است تا محاسبات نظری، در سالهای اخیر مقدار R برای استفاده در این مقررات با جزئیات بیشتری مورد تحلیل قرار گرفته و آیین‌نامه نویسان تلاش می‌کنند مقادیر ارائه شده برای این ضریب را با محاسبات سازه‌ای، تأیید نمایند [31].

جدول ۴- ضریب رفتار در UBC 1997 [31]

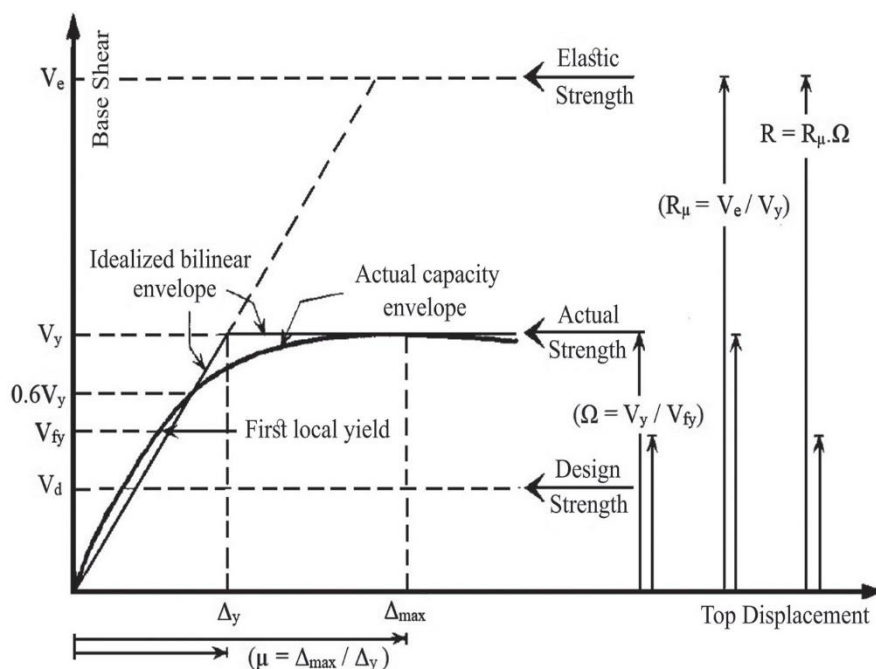
سیستم سازه‌ای	UBC 1997		IBC 2000	
	R	Ω	R	Ω
سیستم دیوار باربر بتنی مسلح ویژه	۸.۵	۲.۸	-	-
سیستم دیوار باربر بتنی مسلح متوسط	۵.۵	۲.۸	۵	۳
سیستم دیوار باربر بتنی مسلح معمولی	۳.۵	۲.۸	۳	۳

در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران) [2] ویرایش سوم ضریب رفتار R به صورت جدولی ارائه شده و در مورد اجزای آن و نحوه محاسبه آنها سختی به میان نیامده است. جدول ۵ این آیین‌نامه در ویرایش چهارم ضریب رفتار را به روش حالت حدی چنین توصیف کرده است. « ضریب رفتار ساختمان عواملی از قبیل شکل پذیری سیستم سازه‌ای، درجه نامعینی سازه و اضافه مقاومت موجود در سازه را در برمی‌گیرد ».

جدول ۵- ضریب رفتار در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [2]

Hm	Cd	Ω	R	سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی	سیستم سازه
۵۰	۵	۲.۵	۵	۱- دیوارهای برشی بتن آرمه ویژه	
۵۰	۴	۲.۵	۴	۲- دیوارهای برشی بتن آرمه متوسط	
-	۳.۵	۳.۵	۳.۵	۳- دیوارهای برشی بتن آرمه معمولی	
۱۵	۳	۲.۵	۳	۴- دیوارهای برشی با مصالح بنایی مسلح	سیستم دیوارهای باربر
۱۵	۳.۵	۳	۴	۵- دیوارهای متشکل از قاب‌های سبک فولادی سرد نورد و مهارهای تسمه‌ای فولادی	
۱۵	۴	۳	۵.۵	۶- دیوارهای متشکل از قاب‌های سبک فولادی سردنورد و صفحات پوشش فولادی	
۱۰	۳	۲	۳	۷- دیوارهای بتن پاششی سه‌بعدی	

در یک نمودار کلی ۸ روند و مفهوم به دست آوردن ضرایب رفتار، اضافه مقاومت، شکل پذیری و... مشاهده می‌شود.



نمودار ۱- روند و مفهوم به دست آوردن ضرایب رفتار، اضافه مقاومت، شکل پذیری

۳-۳- منحنی های شکنندگی

معمولاً به دو دلیل نمی‌توان نظر قطعی نسبت به عملکرد سازه در برابر زلزله داشت. اول اینکه متغیرهای موجود در طبیعت هستند. مانند تفاوت های موجود در خواص و مقاومت مواد و اثرات محیطی و... دوم موارد خطای ساخت، خطای مدلسازی و محاسبات. این دو مورد ایجاب به طراحی سازه به فرم احتمالاتی می‌کند.

در هنگام زلزله با وارد شدن سازه به ناحیه غیرخطی و ایجاد تغییر شکل‌های پلاستیک در آن باعث ایجاد خرابی در نقاط مختلف سازه شده و بدین طریق انرژی ورودی زلزله را اتلاف می‌کند. پیچیدگی سازه، بررسی خرابی سازه در مدهای مختلف، عدم قطعیت در پاسخ سازه از دلایل استفاده از منحنی شکنندگی است [33].

روش‌های FEMA356 [۴۷] و HAZUS [48] دو روش نوین برای تعیین منحنی شکنندگی است. از دیگر روش‌های به دست آوردن منحنی شکنندگی می‌توان به قضاوت مهندسی، تجربه آماری، آزمایشگاهی، تحلیلی، هیبریدی اشاره کرد.

منحنی‌های IDA در واقع رسم بین پاسخ سازه DM نسبت به تغییر شدت IM شتاب‌نگاشت هاست. بیشینه شتاب زمین PGA جهت تغییر پارامتر IM و حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی و چرخش وتری ایجاد شده در دیوار و تیرهای رابط واقع در طبقات به عنوان پارامتر های DM انتخاب گردیده.

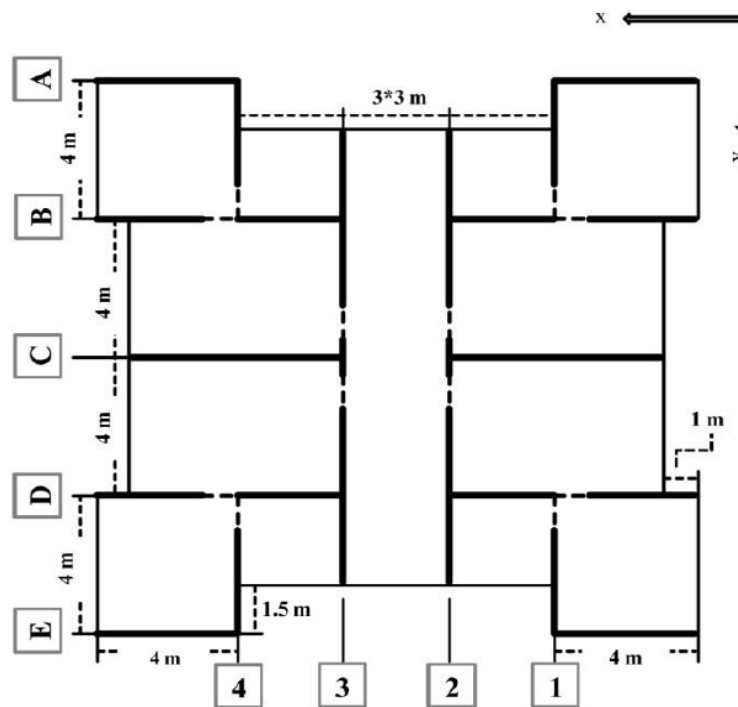
در تحلیل دینامیکی افزایشی از مفهوم دیرینه مقیاس کردن نگاشت‌های حرکت زمین و توسعه آن به روشی که بتوان با دقت مناسب مقدار تقاضا و ظرفیت سازه را در محدوده وسیعی از رفتار ارتجاعی تا انهدام سازه پوشش داد بهره گرفته شده‌است. در واقع نبود اطلاعات کافی از زلزله با شدت‌های مختلف منطبق با شرایط محل جهت بررسی رفتار لرزه‌ای سازه محققان را بر آن داشت که با اعمال ضریب ثابت بر مقدار شتاب‌نگاشت‌های موجود فاصله خالی شتاب‌نگاشت‌ها با شدت غایب را پر کند [34] و [35].

مقایسه عملکرد لرزه‌ای قبل و بعد از مقاوم سازی و مقایسه روش‌های مختلف مقاوم سازی نیز، از دیگر کاربرد های این منحنی است.

در سال‌های اخیر از تحلیل شکنندگی به عنوان وسیله‌ای برای تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای روی سدهای بتنی، پایه‌های شمع، شمع‌ها و میانقاب‌ها در سازه‌های اسکلت بتنی و فولادی استفاده شده‌است [36] [37]. همچنین می‌توان از روش‌های تجربی، آزمایشگاهی، مبتنی بر قضاوت مهندسی و روش‌های ترکیبی تحلیلی نیز منحنی‌های شکنندگی را به دست آورد.

۳-۴- مشخصات مدل‌های مورد مطالعه :

برای این مطالعه از پلان منظم و متقارن با سیستم قالب تونلی مطابق شکل ۵ استفاده شده‌است. به این صورت که یکبار به صورت منظم و بار دیگر با نامنظمی در ارتفاع طراحی و تحلیل شده و در انتها نتایج باهم مقایسه می‌شود. همچنین در پژوهش بهشتی و همکاران در پلان مشابه با این پژوهش، تحقیقاتی در مورد سازه منظم و نامنظم هندسی پرداخته شده است [12].



شکل ۵- پلان جانمایی دیوارهای برشی در سیستم قالب تونلی

پلان دیوارهای برشی به صورت منظم به وسیله بازشوهای متعدد مسیر دسترسی به طرح مورد نظر معمار را هموار می‌سازد. در این پلان دسترسی راه پله از مسیر وسط پلان بوده و تمامی دور تا دور

ساختمان دارای نما می‌باشد. هر طبقه به صورت چهار واحدی و طبقه یکی مانده به آخر که طبقه مورد نظر ما در این پژوهش است به صورت تک واحدی و دارای کاربری حسینیّه یا تکیه می‌باشد.

در مدلسازی اولیه باز شو ها با ارتفاع ۲.۱ متر و دهانه ۰.۹ متر ایجاد و دو عدد آسانسور در ضلع جنوبی سازه با ابعاد ۲ در ۱.۵ طراحی شده است. بار آسانسور به مقدار ۹۴۵ کیلوگرم بار مرده و ۱۲۱۰ کیلوگرم بار زنده به صورت چهار بار متمرکز به چهار گوشه خرپشته در بام وارد شده است. طبق نظر معمار قرار است شبستانی در طبقه چهاردهم این سازه قرار بگیرد. به همین منظور طبق مبحث ششم بار ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مربع به طبقه چهارم وارد شده و باعث نامنظمی در ارتفاع (جرمی) می‌گردد.

۳-۵- جزئیات مدلسازی در ETABS

در این سازه‌ها (۵،۱۰،۱۵) در طبقه فوقانی (طبقات ۱۴ و ۹ و ۴) یک تکیه (حسینیّه، شبستان) قرار گرفته است. طبق مبحث ششم [38] بار زنده وارد بر کف تکیه ها (حسینیّه، شبستان) ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد. بار راه پله ۵۰۰ کیلوگرم بر متر و بار زنده دیگر طبقات ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع ، بار زنده بام ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع ، بار برف ۱۲۶ کیلوگرم بر متر مربع ، دیوار جان پناه ۲۶۶ کیلوگرم بر متر، بار دیوارهای دور تا دور که همگی نمادار هستند ۵۶۷ کیلوگرم بر متر، بار مرده کف ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع ، بار مرده بام ۲۷۰ کیلوگرم بر متر مربع ، مرده پله ۸۱۰ کیلوگرم بر متر در نظر گرفته شده است (جدول ۶).

جدول ۶- جزئیات بارگذاری

واحد	مقدار بار	نوع بار
کیلوگرم بر متر مربع	۲۰۰	بار زنده طبقات
کیلوگرم بر متر	۵۰۰	بار زنده راه پله
کیلوگرم بر متر مربع	۱۵۰	بار زنده بام
کیلوگرم بر متر مربع	۶۰۰	بار زنده طبقه آخر
کیلوگرم بر متر	۵۶۷	بار مرده دیوار پیرامونی
کیلوگرم بر متر	۲۶۶	بار مرده جانپناه
کیلوگرم بر متر مربع	۲۰۰	بار مرده کف
کیلوگرم بر متر مربع	۲۷۰	بار مرده بام
کیلوگرم بر متر	۸۱۰	بار مرده پله
کیلوگرم بر متر	۵۸۵	بار مرده دیوار پیرامون راه پله
کیلوگرم بر متر	۳۳۰	بار MASS
کیلوگرم بر متر مربع	۱۲۶	بار برف

همینطور مشخصات مصالح مصرفی در جدول ۷ مشاهده می شود.

جدول ۷- مشخصات مصالح مصرفی

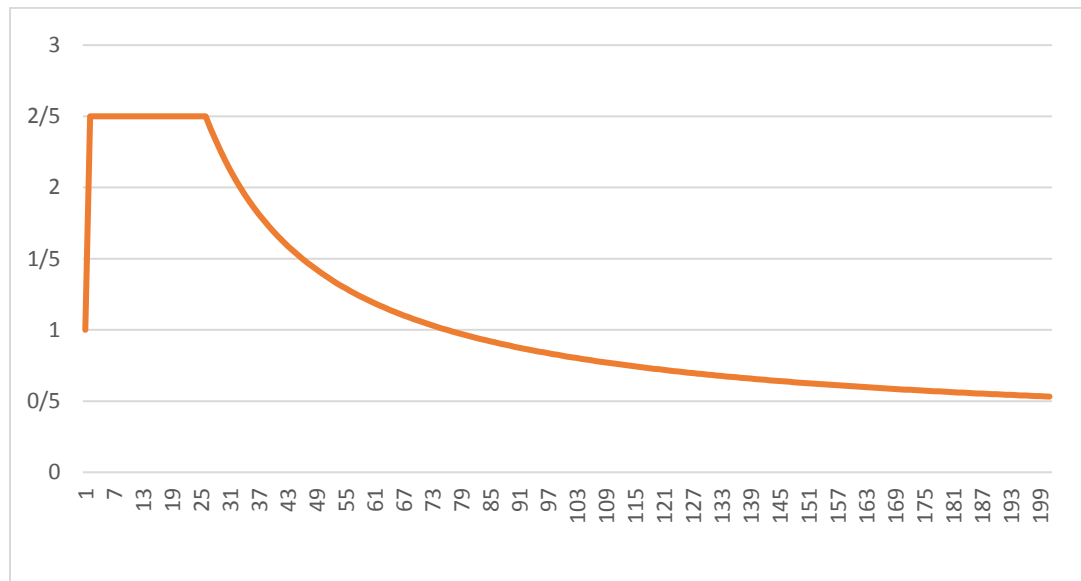
واحد	مقدار	
مگا پاسکال	۳۵	مقاومت فشاری بتن
کیلوگرم بر متر مربع	۲۹۹۴۳۰	مدول الاستیسیته بتن
ندارد	۰.۲	ضریب پواسون بتن
عکس درجه سانتی گراد	۰.۰۰۰۰۰۹۹	ضریب انتقال حرارت بتن
مگا پاسکال	۱۱۰۴۹.۱۶۶۶۷	مدول برشی بتن
کیلوگرم بر متر مکعب	۷۸۴۹.۰۵	وزن مخصوص فولاد
گیگا پاسکال	۲۰۰	مدول الاستیسیته فولاد
عکس درجه سانتی گراد	۰.۰۰۰۰۱۲	ضریب انتقال حرارت فولاد
نیوتن بر میلیمتر مربع	۴۰۰	مقاومت تسلیم میلگرد های فولادی
کیلوگرم بر متر مربع	۳۷۰۰	تنش تسلیم فولاد
کیلوگرم بر متر مربع	۵۸۲۰	مقاومت کششی
کیلوگرم بر متر مربع	۵۲۰۰	تنش تسلیم نهایی
کیلوگرم بر متر مربع	۷۰۰۰	مقاومت کششی نهایی

کفها همه از نوع slab و کارکرد دو طرفه و ضخامت با فرض اولیه ۲۰ سانتی متر و دیوارها با ضخامت ۲۰ تا ۳۵ سانتی متر متغیر است. تکیهگاهها همگی گیردار بوده و اندازه بازشوها ۰/۹ در ۲/۱ متر است. برای ضریب زلزله نیز طبق جدول ۸ داریم:

جدول ۸- مقادیر محاسباتی برای ضریب زلزله (C)

A	۰.۳
I	۱
R	۵

مقدار B نیز طبق نمودار ۱ از طریق طیف بازتاب در نرم افزار بازخوانی شده است.

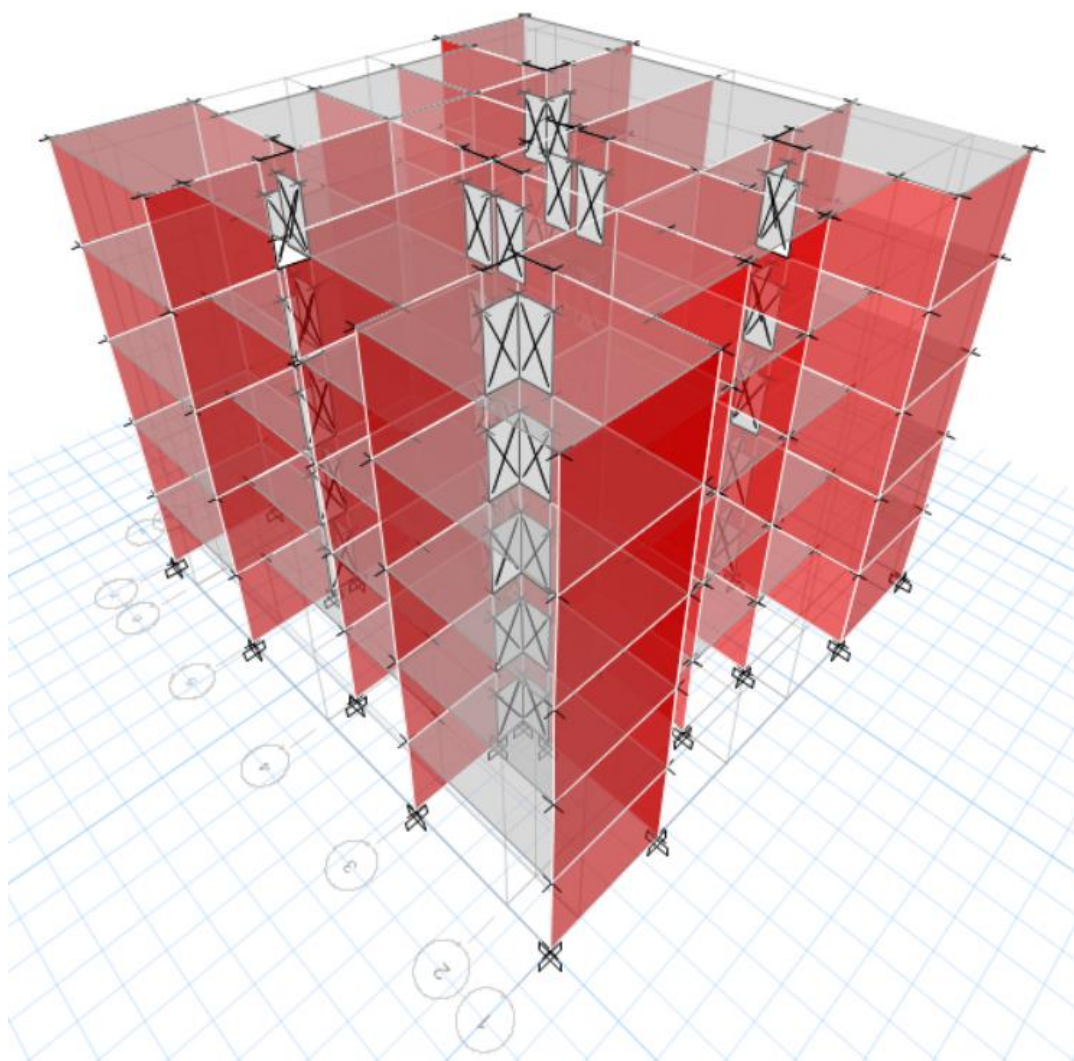


نمودار ۲- طیف بازتاب خاک نوع ۲، خطر لرزه خیزی زیاد

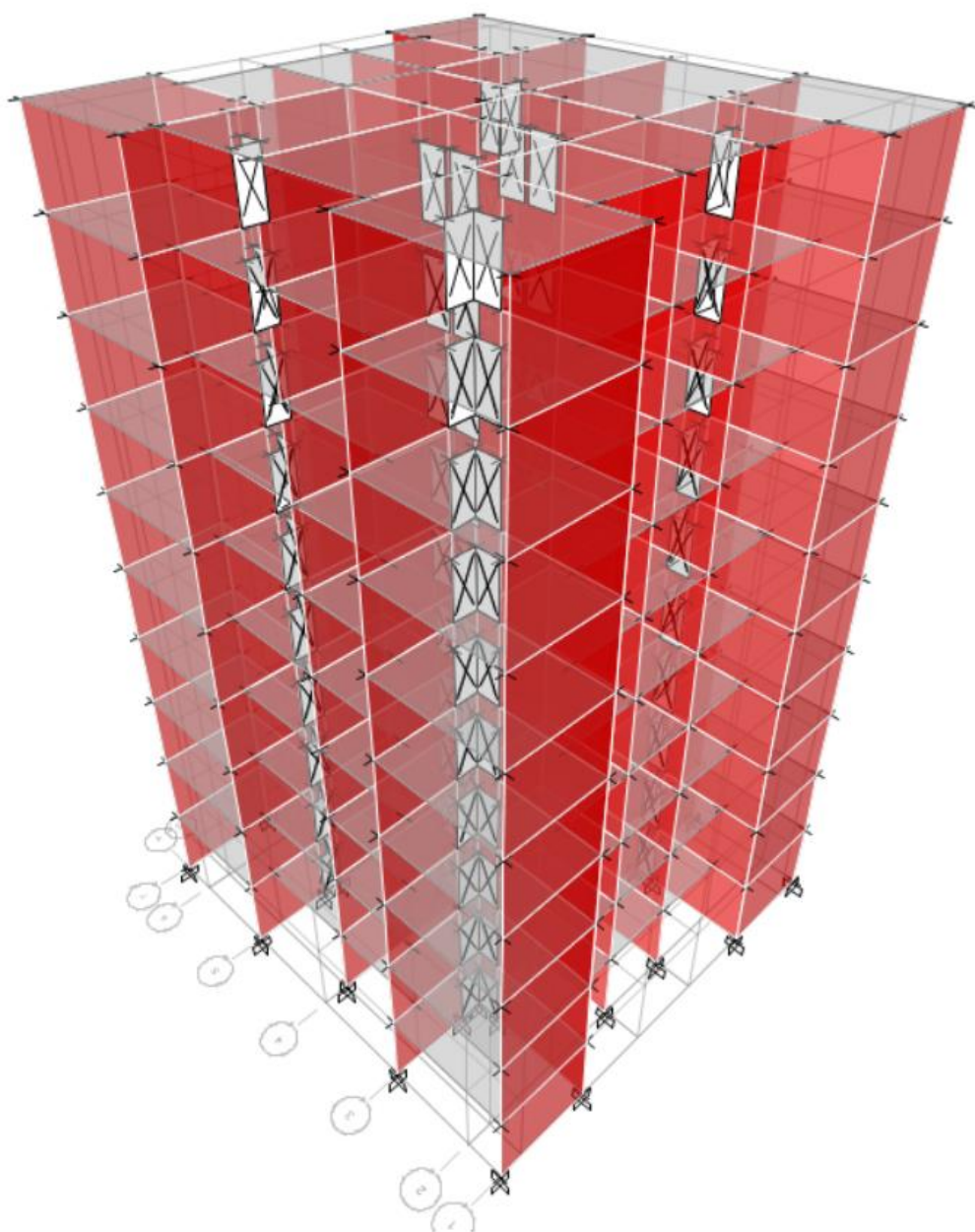
در مدلسازی اولیه بازشوها با ارتفاع ۲/۱ و دهانه ۰/۹ متر ایجاد شده است. طبق نظر معمار قرار است شبستانی در طبقه چهارم این سازه قرار بگیرد. به همین منظور طبق مبحث ششم بار ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مربع به طبقه چهارم وارد می شود و باعث نامنظمی در ارتفاع (جرمی) می گردد.

۳-۵-۱- نمای سه بعدی سازه ها

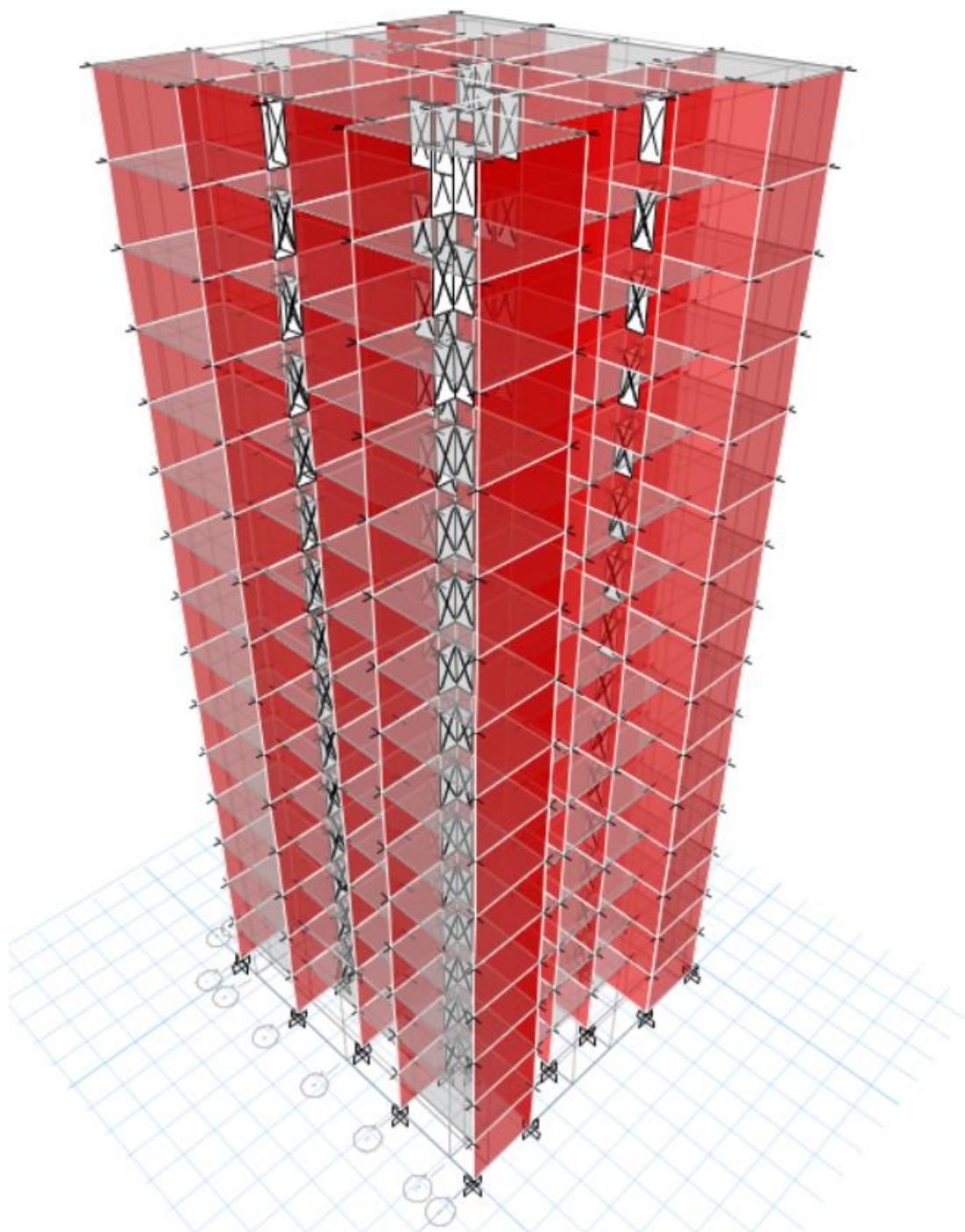
در شکل ۶، ۷، ۸ نمای سه بعدی سیستم سازه ای قالب تونلی به همراه بازشوهای آن مشاهده می شود. همانطور که مشاهده می شود این سیستم فاقد تیر و ستون بوده و دیوارهای برشی وظیفه تحمل بار جانبی و ثقلی را دارد.



شکل ۶- نمای سه بعدی سازه ۵ طبقه



شکل ۷- نمای سه بعدی سازه ۱۰ طبقه



شکل ۸- نمای سه بعدی سازه ۱۵ طبقه

۳-۵-۲- تحلیل، آنالیز و طراحی

بعد از تحلیل اولیه و بررسی خروجی‌های نرم افزار و همچنین اصلاح ضرایب زلزله و آنالیز مجدد نیروهای استاتیکی و دینامیکی، کنترل‌های سازه طرح نهایی همانطور که در جدول ۹ مشهود است، به دست می‌آید.

جدول ۹- نتایج طراحی نهایی

نامنظم در ارتفاع		منظم	
تعداد طبقات	۵	۱۰	۱۵
طبقات ۱ تا ۵			
Q (شماره میلگرد)	۲۰	۲۵	۲۵
(فاصله میلگردها از هم) @ (cm)	۳۰	۱۵	۱۵
طبقات ۵ تا ۱۰			
Q (شماره میلگرد)	۲۰	۲۰	۲۰
(فاصله میلگردها از هم) @ (cm)	۱۵	۱۵	۳۰
طبقات ۱۰ تا ۱۵			
Q (شماره میلگرد)	۲۰	۲۰	۲۰
(فاصله میلگردها از هم) @ (cm)	۱۵	۱۵	۳۰

همانطور که در جدول ۳-۱ نیز مشاهده شد در سازه‌های نامنظم به دلیل شکل‌پذیری و جابه جایی بیشتر و همینطور جذب انرژی بیشتر نسبت به سازه‌های منظم، در طبقات بالاتر نیاز به آرماتور بیشتری می‌باشد. مقادیر ρ_{min} و ρ_{max} برای دیوار برشی به ترتیب برابر ۰.۰۰۲۵ و ۴ درصد می‌باشد. در اینجا به دلیل وجود وصله‌ها این مقدار تا ۲ درصد کاهش می‌یابد.

۳-۵-۳- نتایج مقایسه سازه منظم و نامنظم

بعد از بررسی در نتایج حاصله از تحلیل خطی و غیرخطی شش سازه مورد نظر و همینطور طراحی نهایی این سازه‌ها نتایج حاصله حاکی از ضعف تحلیل استاتیکی خطی در برآورد مقدار دقیق برای ضریب رفتار سازه در دو حالت منظم و نامنظم می‌باشد. چرا که در آیین‌نامه نیز برای هر دو نوع سازه منظم و نامنظم یک مقدار ثابت در نظر گرفته شده‌است. یک سازه بعد از اتمام مسیر خطی مصالح خود وارد ناحیه غیرخطی شده و این ناحیه نیز دارای جذب انرژی، شکل پذیری و مواردی از این دست می‌باشد. پس بهتر است برای تحلیل دقیق‌تر سازه در تحلیل غیرخطی مقدار ضریب رفتار مناسب در نظر گرفته شود.

۳-۶-۳- صحت سنجی

برای مدل سازی و تحلیل غیرخطی این سازه‌ها از نرم افزار Perform3D استفاده می‌شود. به کمک این نرم افزار رفتار برشی غیرخطی و رفتار خمشی غیرخطی بررسی شده و در ادامه به تفصیل به آن پرداخته می‌شود.

۳-۶-۱- معرفی نرم افزار

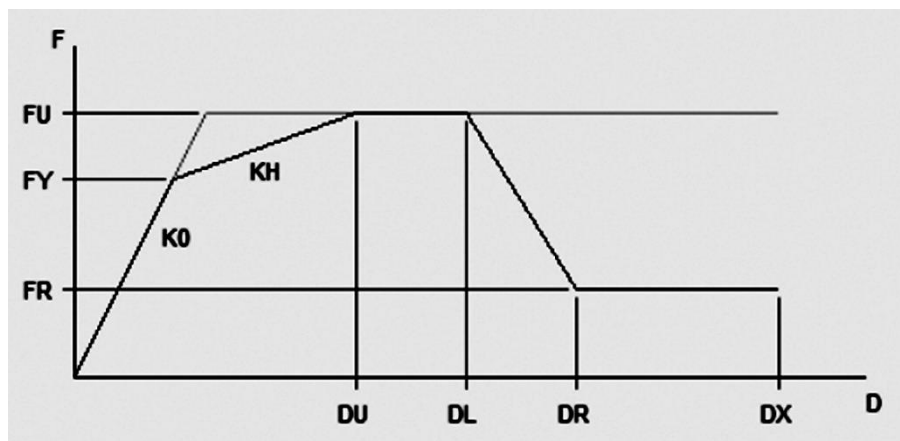
امروزه با توجه به کاربرد وسیع روش‌های تحلیل غیرخطی در پروژه‌های تحقیقاتی و همچنین ارائه جدیدترین دست‌آورد طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد توسط آیین‌نامه‌های معتبر جهان، استفاده از نرم‌افزاری قدرتمند همگام با این پیشرفت ضروری می‌باشد. می‌توان از کامل‌ترین نرم افزارهایی که اخیراً برای این منظور به بازار عرضه گردیده است Perform3D را نام برد. کارایی بالا این نرم افزار در مدل‌سازی اجزا و سیستم‌های پیچیده مهندسی و ارائه نوع جدیدی از تحلیل به نام تحلیل نیروی دینامیکی (برای تحلیل سازه‌هایی که در پی تحت جنبش‌های مختلفی ناشی از حرکات زمین قرار می‌گیرند) سبب

گرفته شده است که دانشجویان بسیاری در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری برای انجام پروژه‌های تحقیقاتی خود به استفاده از این نرم افزار روی آوردند [39].

۳-۶-۲- مشخصات المان‌های سازه‌ای

همانطور که تا اینجا گفته شد مصالح مصرفی در این نوع سیستم سازه‌ای شامل بتن و فولاد می‌باشد. عنصر اصلی در سازه قالب تونلی دیوارهای باربر بتنی هستند که در نرم افزار به دو صورت مقطع رشته‌ای غیرارترجاعی و ارتجاعی معرفی و مقدار و جایگاه میلگردها در دیوار برشی به صورت خودکار انتخاب می‌شود. در این حالت مقطع بتنی به تعداد ۸ رشته تقسیم شده تا نرم افزار بتواند با دقت بیشتری عضو را بررسی کند.

باتوجه به رفتار غیرخطی مصالح لازم است برای دیوار برشی نمودارهای زیر را معرفی کنیم. بتن مصرفی در این پروژه از نوع C350 و میلگردهای مصرفی از نوع S400 می‌باشد. مقادیر لازم طبق جدول ۱۰ و ۱۱ به نرم افزار معرفی شده و نتایج در نمودارهای ۲، ۳ و ۴ مشاهده می‌شود.

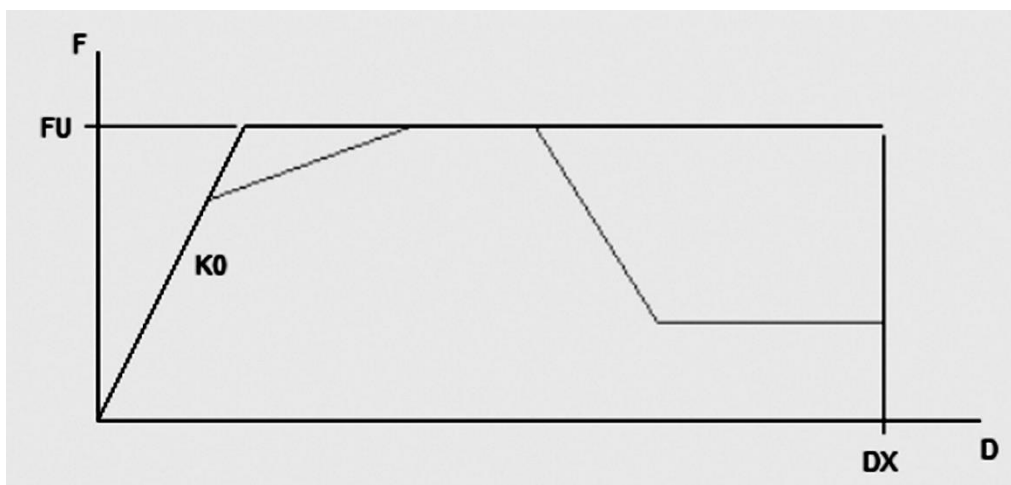


نمودار ۳- رابطه بار-تغییر شکل کلی (تعمیم یافته) برای اعضا و اجزای بتنی

جدول ۱۰- جزئیات پارامتر نوع رفتار مصالح

واحد	مقدار		واحد	مقدار	
-	۰.۱۷	FR/FU	kg/cm ²	۱۷۵	FR
m	۰.۰۰۲	DU	kg/cm ²	۱۷۵	FY
m	۰.۰۰۳	DL	kg/cm ²	۳۵۰	FU
متر	۰.۰۰۳۵	DR	-	۰.۴۱۳	K0/KH

و همینطور در نمودار ۳ رفتار غیرارتجاعی برشی المان دیوار برشی را مشاهده می کنید.

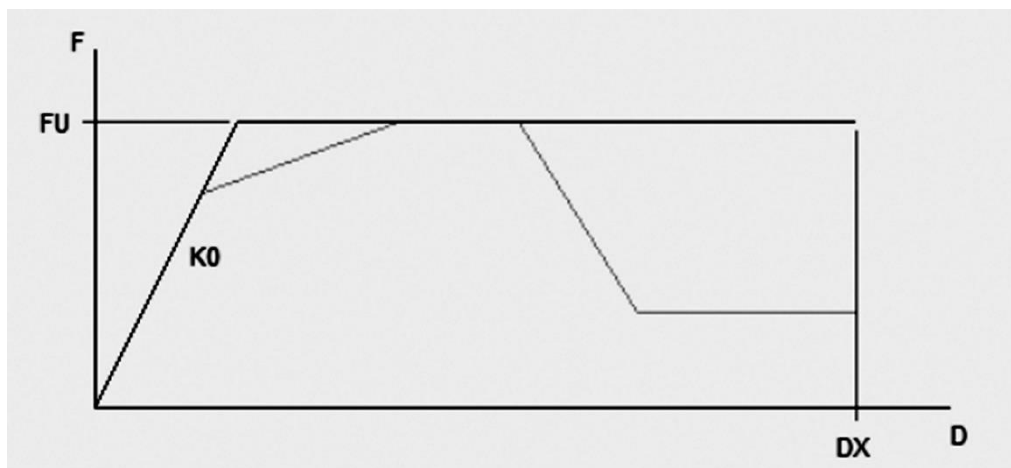


نمودار ۴- رفتار غیر خطی بتن غیر محصور

جدول ۱۱- جزئیات پارامترهای مربوط به مصالح بتنی و فولادی مصرفی

واحد	مقدار		واحد	مقدار	
MPa	۵۹۸۸۶	مدول برشی بتن	GPa	۲۰۰	ضریب الاستیسیته فولاد
kg/cm ²	۳۵۰	FU بتن	kg/cm ²	۴۰۰	FU فولاد
m	۰.۰۲	DX بتن	m	۰.۰۵	Dx فولاد

و برای مصالح فولادی مصرفی نیز طبق نمودار ۴ داریم:



نمودار ۵- نوع رفتار مصالح فولادی مصرفی

بعد از انتخاب مناسب مصالح مصرفی در این نوع سازه در فصل بعد به بررسی ضریب رفتار مناسب با توجه به تغییرات رفتاری مصالح پرداخته می‌شود. یکی از مهمترین مواردی که به شکل پذیری و ضریب رفتار سازه وابسته است، توجه به نوع رفتار مصالح می‌باشد. در این فصل به طور مفصل در مورد مصالح مصرفی بحث شد و در فصل بعد نیز در مورد تاثیر این مواد و مصالح بر نوع رفتار کلی سازه و جذب انرژی در هنگام زلزله بحث می‌شود.

فصل چهارم

محاسبه ضریب رفتار و بررسی

منحنی شکنندگی

۴-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به بررسی و صحت سنجی مقادیر و نمودارهای به دست آمده از نرم افزار Perform3D پرداخته و سپس با مشخص کردن مکان هدف و سطح عملکرد در آیین نامه دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران و به روش‌های مختلف نسبت به یافتن ضریب رفتاری منطقی قدم برداشته شده است. تولید منحنی‌های پوش اور و استفاده از آنها برای یافتن ضریب شکل پذیری مناسب μ و به دست آوردن ضریب اضافه مقاومت RS و همینطور یافتن ضریب رفتار شکل پذیری $R\mu$ به چندین روش، کمک به یافتن ضریب رفتار دقیق برای این مدل نامنظمی می‌کنند. انتخاب شتاب‌نگاشت‌های متعدد از حوزه دور و نزدیک و منحنی‌های حاصله از تحلیل تاریخچه زمانی نیز در این بخش بررسی می‌شود. در پایان این فصل با کمک تحلیل دینامیکی افزایشی نتایج، نمودارها و مقادیر به دست آمده بررسی و مقایسه شده است.

۴-۲- صحت سنجی نتایج

بعد از مدلسازی در نرم افزار Perform3D و تحلیل اولیه دوره تناوب، این نرم افزار اعدادی نزدیک (با اختلاف کمتر از ۱/۵ درصد) نسبت به نرم افزار ETABS داشته و کنترل خوبی بر محاسبات و طراحی‌های به دست آمده از نرم افزار ETABS می‌باشد (جدول ۱۲). نرم افزار PERFORM3D به دلیل استفاده از روش اجزای محدود و گرافیک کمتر نسبت به ETABS و همینطور دخیل کردن تحلیل دینامیکی غیرخطی معمولاً نتایج قابل اعتمادتری ارائه می‌کند.

همانطور که در جدول نیز مشاهده می‌شود مقدار دوره تناوبی که در نرم افزار ETABS تحت تحلیل استاتیکی به دست آمده حدوداً برابرست با مقداری که تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی توسط نرم افزار PERFORM3D تهیه شده است. این موضوع حاکی از صلبیت بالای این سیستم بوده و نشان دهنده

این است که سازه دارای سختی زیاد بوده و نتایج تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیرخطی نزدیک به هم می باشد.

جدول ۱۲- دوره تناوب

دوره تناوب PERFORM3D (ثانیه)	دوره تناوب ETABS (ثانیه)	طبقات
۰.۲۶۹	۰.۲۷۳	۵ سقف
۰.۴۶۷	۰.۴۷۱۶	۱۰ سقف
۱.۱۷	۱.۱۵۴۷	۱۵ سقف

در مقاله‌ی صمدی و همکاران [56] نیز به بررسی چهل و چهار مدل با سیستم بادبندی و دیوار برشی ویژه پرداخته و با مقایسه این دو حالت و خروجی‌های نرم افزار ANSYS و ETABS به این نتیجه رسیده است که سختی بالای سازه در هر دو حالت منظم و نامنظم دوره تناوب‌های یکسانی داده است.

۳-۴- تعیین تغییر مکان هدف

یکی از امکانات نرم افزار Perform3D تعیین تغییر مکان هدف یا در اصطلاح Target drift می باشد. اگر مقدار تعیین شده توسط نرم افزار برای تغییر مکان هدف بیشتر از مقدار IO باشد سازه کارایی مناسبی دارد. بدین معنی که حداکثر تغییر مکان دیوار بحرانی بعد از مقدار IO صورت می گیرد. در نمودار های ۴-۱ تا ۴-۳ به خوبی این امر مشاهده می شود و در جدول ۱۳ نیز مقادیر تغییر مکان هدف نیز قرار داده شده است. تغییر مکان هدف به مرکز جرم بام اعمال می شود که به آن نقطه کنترل نیز می گویند. به کمک نرم افزار، سازه جابه جا شده تا مرکز جرم بام به محل تعیین شده در نرم افزار برای تغییر مکان هدف برسد. بعد از آن با به دست آوردن منحنی ظرفیت یا پوش اور به تفسیر و تحقیق پرداخته می شود.

جدول ۱۳- تغییر مکان هدف

واحد	تغییر مکان هدف	طبقات
متر	۰.۰۸۲۵	۵ سقف
متر	۰.۱۶۵	۱۰ سقف
متر	۰.۲۴۷۵	۱۵ سقف

روش تعیین جابه جایی هدف استفاده از منحنی تحلیل پوش اور را برای کاربر در نرم افزار PERFORM3D فراهم می‌سازد. در این حالت از یک فورمول آزمایشگاهی به منظور محاسبه جابه جایی مورد نظر استفاده می‌گردد. برای این امر طبق FEMA 356 رابطه ۴-۱ را داریم که در آن پارامتر δ بیانگر دررفت هدف، پارامتر S_δ بیانگر جابه‌جایی طیفی تقاضا برای سازه الاستیک، C_0 بیانگر فاکتور مربوط به تبدیل دررفت طیفی به دررفت مرجع، C_1 بیانگر فاکتور مربوط به تبدیل دررفت الاستیکی به دررفت غیر الاستیکی، C_2 بیانگر فاکتور مربوط به محاسبه نوع قاب‌بندی و سطح عملکرد و در آخر پارامتر C_3 بیانگر فاکتور مربوط به محاسبات اثرات $P-\delta$ است.

$$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_\delta \quad (۴-۱)$$

همینطور به روش ATC-40 نیز می‌توان مقدار تغییر مکان هدف را به دست آورد اما نرم افزار PERFORM3D به روش FEMA 365 بسنده کرده‌است. در این نمودارها محور قائم شتاب طیف و محور افقی تغییرات زمان و جابه‌جایی را نشان می‌دهد. تغییرات شیب این نمودار به دلیل وجود پارامترهای مختلف بسیار پیچیده بوده اما نقاط برخورد این نمودار با نمودار پوش اور اهمیت بالایی دارد.

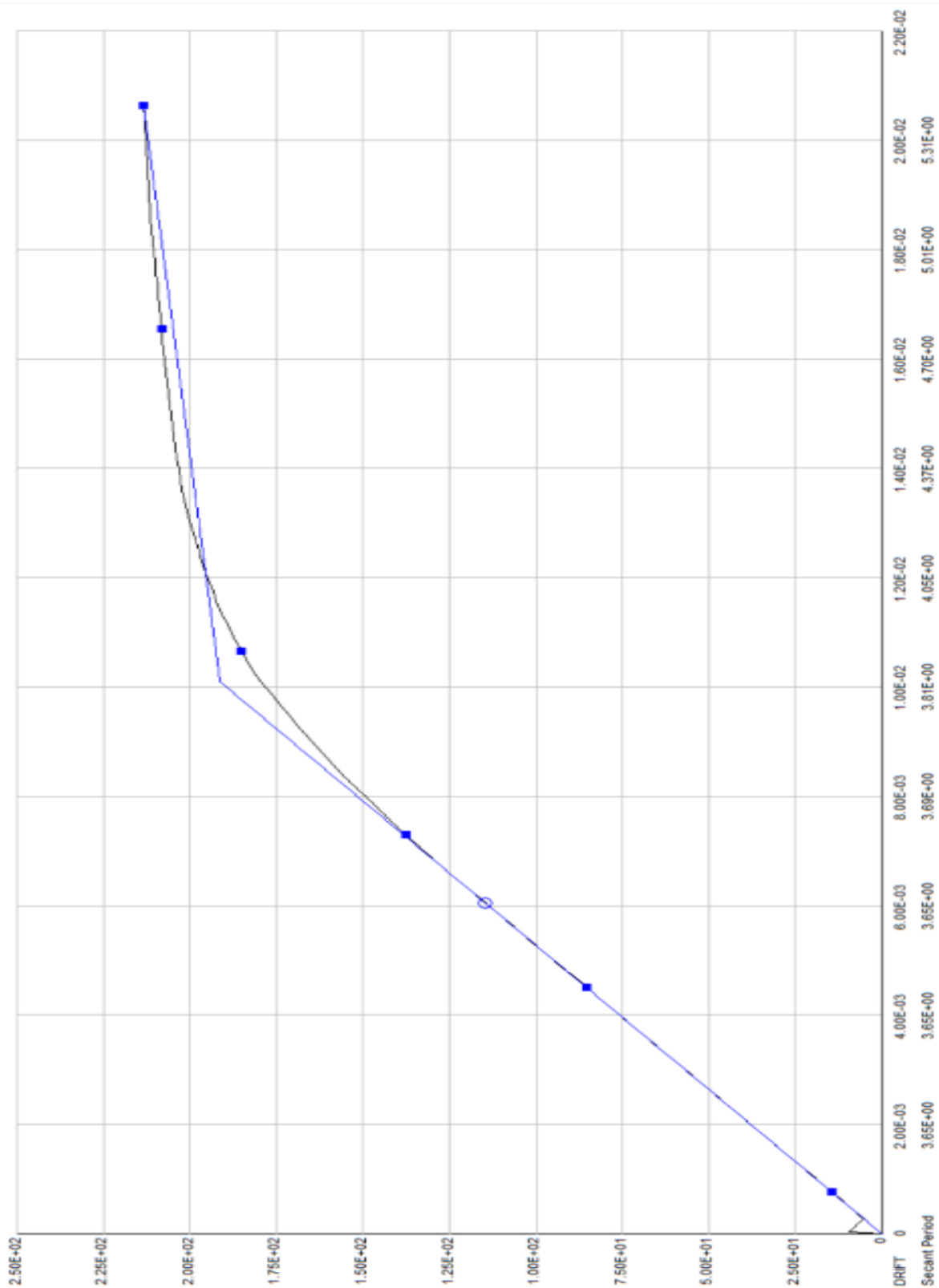
۴-۴- نمودارها و نتایج تحلیل غیرخطی پوش اور

تحلیل استاتیکی غیرخطی یا پوش اور با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه تحت اثر بارهای جانبی به بررسی سازه می‌پردازد و مشکلات تحلیل خطی اعم از رفتار خطی، رفتار هندسی، اثرات داخلی، در نظر نگرفتن ضربه ارتعاش (مد اول در نظر گرفته می‌شود) را پوشش داده و نتایج دقیق‌تری می‌دهد.

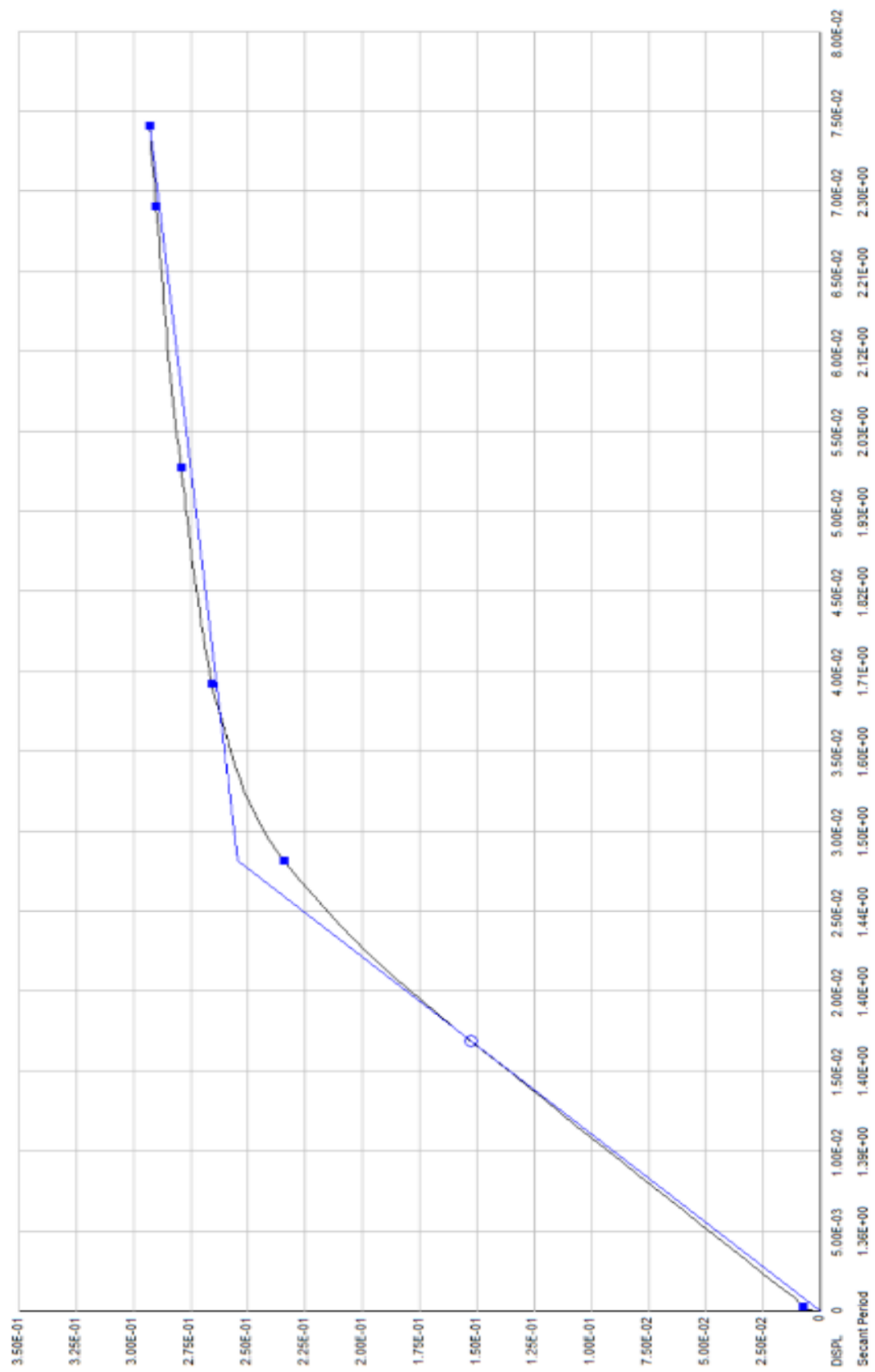
محور افقی نمودار پوش تغییر مکان طبقه بام و محور قائم نیروی برش پایه یا نیروی وارد شده به سازه می‌باشد.

بر خلاف دیگر روش‌های تحلیل سازه‌ها در تحلیل استاتیکی غیرخطی به سازه نیرو وارد نشده و به جای آن سازه را جابه‌جا کرده تا به جابه‌جایی موردنظر برسد و بعد از آن نیروهای معادل به دست می‌آید. به کمک این نمودارها مقادیر ضریب شکل پذیری و ضریب اضافه مقاومت به دست می‌آید.

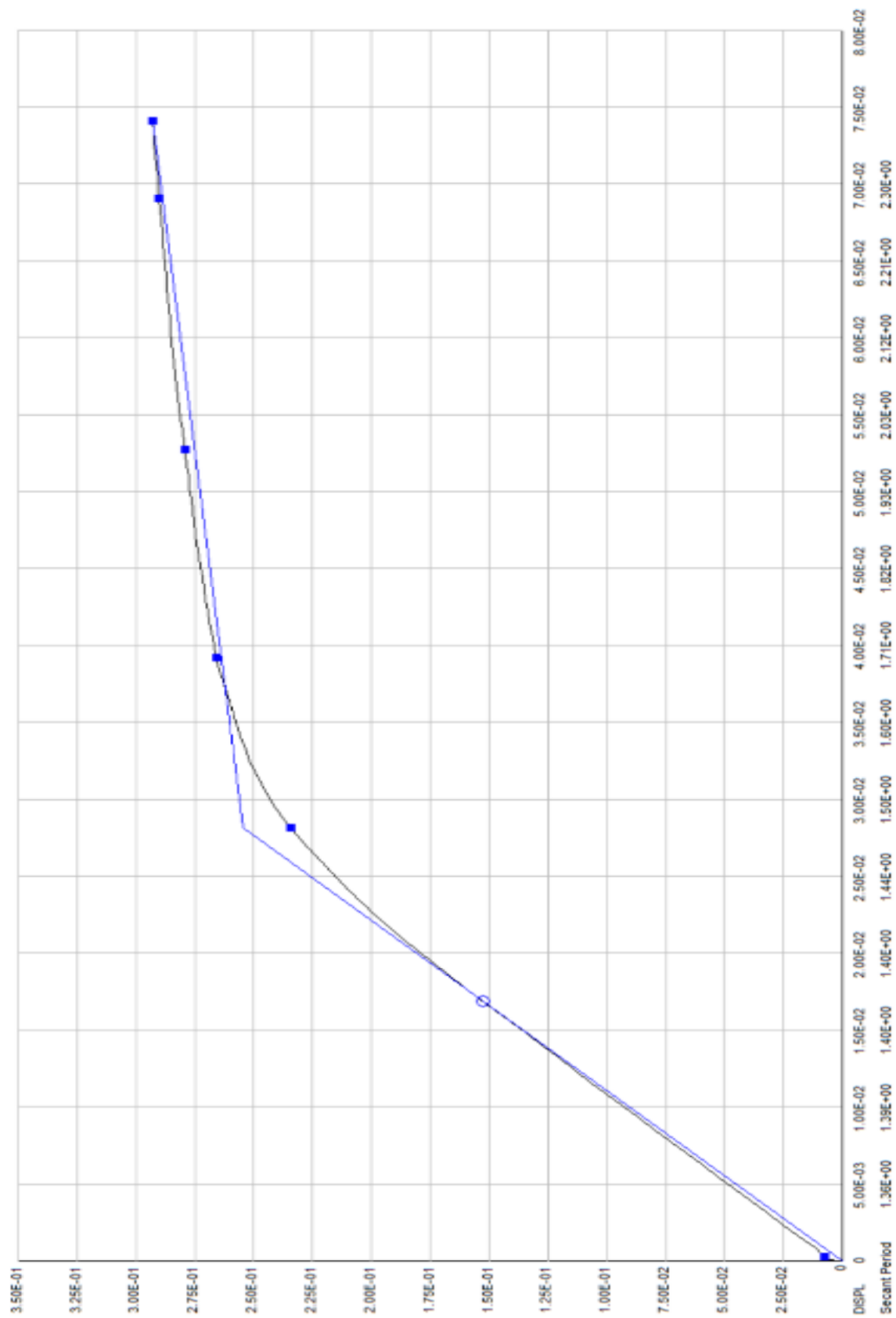
یکی از مزایای تحلیل استاتیکی غیرخطی تعیین سطوح عملکرد سازه می‌باشد که در نرم‌افزار Perform3D به سه دسته IO، LS و CP تقسیم‌بندی شده‌است که دست طراح و کارفرما را برای طراحی بهتر سازه و طراحی بر اساس عملکرد سازه باز و باعث طراحی اقتصادی‌تر می‌شود. در نمودارهای ۵ تا ۷ نمودار پوش اور به همراه منحنی دو خطی ایده‌آل سازه‌های پنج، ده و پانزده طبقه مشاهده می‌شود.



نمودار ۶- نمودار پوش اور به همراه منحنی دو خطی ایده آل برای سازه ۵ طبقه نامنظم



نمودار ۷- نمودار پوش اور به همراه منحنی دو خطی ایده آل برای سازه ۱۰ طبقه نامنظم



نمودار ۸- نمودار پوش اور به همراه منحنی دو خطی ایده آل برای سازه ۱۵ طبقه نامنظم

۴-۱-۴- ضریب شکل پذیری μ

مقدار μ همان ضریب شکل پذیری برابر با تغییر شکل نهایی سیستم Δu به تغییر شکل تسلیم Δy می‌باشد. هرچه این مقدار بزرگتر باشد به همان نسبت تغییر شکل تسلیم می‌تواند تغییر شکل‌های غیرخطی را تحمل کند و در تغییر شکل‌های بزرگ این مقدار باعث کم شدن مقاومت سازه می‌شود. همانطور که در جدول ۱۴ مشاهده می‌شود مقدار μ از رابطه ۴-۱ به دست می‌آید.

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (4-1)$$

جدول ۱۴- نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی

μ	Δu	Δy	
2.56	0.67	0.268	پنج طبقه
2.6428	0.74	0.28	ده طبقه
2.65	0.2065	0.10	پانزده طبقه

۴-۲-۴- محاسبه ضریب اضافه مقاومت R_s

یکی از مهم‌ترین ضرایب موجود در سازه ضریب اضافه مقاومت است. این ضریب برای جلوگیری از ناپایداری زود هنگام سازه استفاده می‌شود. هنگامی که یکی از عضوهای سازه به حد تسلیم برسد و در آن مفصل پلاستیک تشکیل شود، عضو هنوز هم قابلیت تحمل در ناحیه فرا ارتجاعی را داشته و قادر به جذب انرژی می‌باشد. بعد از این واقعه به تدریج سختی و درجه نامعینی سازه کم شده اما سازه تا زمانی که درجه نامعینی آن صفر شود پایدار باقی می‌ماند. همینطور وجود اجرای غیرسازه‌ای مثل دیوارهای میانقابی و اثرات آن نیز باعث افزایش مقاومت پیش‌بینی نشده و به دنبال آن باعث افزایش ضریب رفتار می‌شود.

از طرف دیگر در زمان طراحی تیرها، ستون‌ها و طراحی کف طبقات، آیین‌نامه به صورت محافظه کارانه‌ای از تاثیر ضریب اضافه مقاومت بر روی ضریب رفتار صرف‌نظر می‌کند که باعث افزایش نیروی زلزله و کاهش مقدار ضریب رفتار می‌شود [55].

در جدول ۱۵ طبق رابطه ۲ داریم (V_0 نیروی برش پایه و V_d نیروی برش پایه طراحی می باشد).

جدول ۱۵- ضریب اضافه مقاومت RS

	$(N)V_0$	$(N)V_d$	RS
پنج طبقه	۳۳۵۲.۱۶	۲۰۶۹.۲۴	۱.۶۲
ده طبقه	۴۷۰۲.۶۸	۲۸۵۰.۱۱	۱.۶۵
پانزده طبقه	۵۹۵۲.۰۴	۳۵۰۱.۲	۱.۷

$$RS = \frac{V_0}{V_d} \quad (۲-۴)$$

۴-۳- ضریب نامعینی Rr

قاب های مقاوم در برابر زلزله که نقش انتقال بارهای لرزه ای و نیروهای اینرسی ناشی از آن را دارا هستند باعث افزایش درجه نامعینی و اطمینان سازه می شوند. تا به حال مقدار دقیقی برای این مبحث مشخص نشده است. در این قسمت مقدار این ضریب برابر یک در نظر گرفته می شود. همچنین در مطالعه بهزادی [49] نیز با بررسی بر روی شکل پذیری سازه بتنی قالب تونلی به فرم کوتاه مرتبه برای مقدار ضریب نامعینی، برابر یک در نظر گرفته شده است.

۴-۵- محاسبه و برآورد ضریب رفتار

برای به دست آوردن ضریب رفتار ابتدا به معرفی سه ضریب پرداخته می شود. این سه مفهوم به ترتیب ضریب رفتار بر پایه طراحی (آیین نامه)، ضریب بر اساس تقاضا (جابه جایی/شکل پذیری) و ضریب بر اساس مقاومت موجود (ظرفیت) معرفی می شود.

۴-۵-۱- $RCode$ ضریبی بر پایه آیین نامه

این ضریب رفتار اساساً بر پایه مشاهدات و تجربه و قضاوت مهندسی و بررسی عملکرد انواع سازه ها در برابر زلزله های گذشته ارائه شده است. میزان شکل پذیری در تعیین آن دخالت داده نشده است و به صورت مستقل از پیوند و تنها بر اساس سیستم سازه ای و نوع مصالح ارائه می شود. دانشمندان تحقیقات

بسیاری در این راه داشته‌اند بسیاری این ضریب را قابل اطمینان ندانسته و معتقدند تحقیق دقیق‌تر روی این موضوع می‌تواند سبب قابل اطمینان بودن بیشتر و طراحی دقیق و مطمئن و سبک‌تر سازه شود [40].

این ضریب در آیین‌نامه زلزله ایران بر اساس سیستم سازه‌ای و نوع مصالح تعیین می‌گردد و مستقل از شکل پذیری و پریود سازه است. به همین دلیل در آیین‌نامه ایران برای سازه جدید قالب تونلی ضریبی در نظر گرفته نشده و عموماً برای طراحی از ضریب (سیستم دیوارهای باربر بتن مسلح استفاده می‌شود).

۴-۵-۲- R_{demand} ضریبی بر پایه جابه جایی- شکل پذیری

مقدار این ضریب رفتار براساس مشخصات هندسی و فیزیکی و سطح خطر لرزه‌خیزی منطقه مشخص می‌شود. پارامترهایی چون شکل پذیری، میزان جذب انرژی، درجات آزادی، پریود سازه، اضافه مقاومت نامعینی سازه و جنس خاک تاثیر بسزایی در تعیین این ضریب دارد اما در مقابل بزرگی و عمق زلزله تاثیری بر این ضریب ندارد [41]، [42].

از عوامل موثر بر R_{demand} می‌توان به شکل پذیری، پریود سازه، نامعینی سازه، میزان جذب انرژی، اضافه مقاومت، درجات آزادی، شدت حرکت زمین و جنس خاک اشاره کرد.

۴-۵-۳- R_{supply} ضریبی بر پایه ظرفیت سازه

این ضریب نشان دهنده ظرفیت سازه در تحمل تغییر شکل‌های غیرخطی و سطوح عملکرد است و بستگی به سطح خرابی مورد نظر دارد که معمولاً به دو روش اروپایی و آمریکایی به دست می‌آید. مقدار بالای این ضریب به معنی شکل پذیری بالا نیست بلکه جهت نامعینی بالا و به تبع آن اضافه مقاومت ناشی از نامعینی بالاست. همین‌طور به جهت اینکه بخش بیشتری از دیوارها درگیر جذب انرژی در ناحیه غیرخطی قرار می‌گیرد مقدار بیشتری خواهد داشت. با افزایش ارتفاع ضرایب تقاضا و ظرفیت کاهش می‌یابند. همین‌طور ضریب شکل پذیری زیاد و ضرایب اضافه مقاومت و تنش مجاز کاهش می‌یابند [11].

۴-۶- محاسبه ضریب رفتار

پس از تحقیق و بررسی بسیار توسط محقق، روش‌های متعددی که پیشتر در فصل دوم در مورد آن صحبت شد در جهت یافتن ضریب رفتار مناسب انجام شده‌است. این قسمت با استفاده از چهار روش مرسوم در جهت یافتن ضریب رفتار مناسب رابط و جداول مربوطه ارائه شده‌است. در آیین‌نامه‌های ATC [46]، IBC [52]، به تفصیل به معرفی و بررسی این روابط پرداخته شده‌است.

در جدول ۱۶، T سازه زمان تناوب سازه، μ ضریب شکل پذیری، Φ ضریب اضافه مقاومت، Y مقدار تسلیم در اولین مفصل پلاستیک، $R\mu$ ضریب شکل پذیری و R ضریب رفتار نهایی سازه می‌باشد. طبق روابط ۳-۴ و ۴-۴ داریم:

جدول ۱۶- مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری به روش میراندا و برترو [۵۰]

	μ	T	Φ	$R\mu$
پنج طبقه	۲.۵۶	۰.۲۶	۱.۶۵	۳.۱۹
ده طبقه	۲.۶۴۲۵	۰.۴۶۶	۱.۳۲	۳.۲۳
پانزده طبقه	۲.۶۵	۱.۱۷	۰.۸۳	۴.۷۵

$$R\mu = \frac{\mu-1}{\phi} + 1 \geq 1 \quad (۳-۴)$$

$$\phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} e^{-1.5(\ln T - 0.6)^2} \quad (۴-۴)$$

در روش نیومارک و هال نیز طبق رابطه ۴-۵ که $R\mu$ ضریب رفتار شکل پذیری و μ ضریب شکل پذیری است داریم (جدول ۱۷)

جدول ۱۷- مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری به روش نیومارک و هال [54]

	μ	$R\mu$
پنج طبقه	۲.۵۶	۲.۰۲
ده طبقه	۲.۶۴۲۵	۲.۰۷
پانزده طبقه	۲.۶۵	۲.۰۷۳

$$R\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (5-4)$$

همینطور در روش کوارینکالر و ناسار طبق روابط ۴-۶ و ۴-۷، در جدول ۱۸ داریم: (در این رابطه C مقداری براساس اندرکنش خاک و ضرایب الفا و بتا متاثر از ضریب C است).

جدول ۱۸-مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری به روش کوارینکر و ناسار [52]

	μ	T	b	C	α	$R\mu$
پنج طبقه	۲.۵۶	۰.۲۶۸	۰.۳۷	۱.۵۶	۰.۰۲	۲.۹۵
ده طبقه	۲.۶۴۲۵	۰.۴۶۶	۰.۳۷	۱.۱۱۱	۰.۰۲	۳.۰۵
پانزده طبقه	۲.۶۵	۱.۱۷	۰.۳۷	۰.۸۵۵	۰.۰۲	۴.۵۵

$$R\mu = [C(\mu - 1) + 1]^{1/C} \quad (6-4)$$

$$C(T, \alpha) = \frac{T^\alpha}{1+T^\alpha} + \frac{b}{T} \quad (7-4)$$

و در آخر طبق جدول ۱۹ نتایج حاصله از رابطه ۴-۸ به روش ویدیک مشاهده می شود.

جدول ۱۹-مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری به روش ویدیک [52]

	μ	T	T0	$R\mu$
پنج طبقه	۲.۵۶	۰.۲۶۸	۰.۵	۱.۸۳
ده طبقه	۲.۶۴۲۵	۰.۴۶۶	۰.۵	۲.۵۳
پانزده طبقه	۲.۶۵	۱.۱۷	۰.۵	۴.۸۱

$$R\mu = (\mu - 1) \frac{T}{T_0} + 1 \quad (8-4)$$

همینطور طبق مطالعه بهشتی برای همین سازه اما در حالت منظم، مقدار ضریب رفتار به صورت جدول ۲۰ بررسی و بیان شده است [53].

جدول ۲۰- مقادیر ضریب رفتار شکل پذیری و ضریب رفتار سازه‌های منظم از مطالعه بهشتی

ضریب رفتار	ضریب رفتار شکلپذیری	
۸.۰۱۹	۴.۹۵	پنج طبقه
۸.۲۹۲۹	۵.۰۲۶	ده طبقه
۹.۴۳۵	۵.۵۵	پانزده طبقه

با اینکه تصور می‌شد با افزایش ارتفاع مقدار ضریب رفتار و شکل‌پذیری افزایش یابد اما نتایج به دست آمده مستدل بر این است که مهم‌ترین عامل در تعیین ضریب رفتار، زمان تناوب سازه می‌باشد و با توجه به اینکه در روابط محاسبه ضریب رفتار، پریود سازه به توان می‌رسد و مقادیر این پریود برای سازه ۵ و ۱۰ سقف اعشاری است اما مقدار ضریب رفتار برای سازه ۱۰ سقف کمتر از سازه ۵ سقف می‌باشد. بعد از بررسی‌های انجام شده مقدار ضریب رفتار به صورت زیر در جدول ۲۱ طبق رابطه ۴-۹ به دست می‌آید [51].

$$R = R\mu * R_s * R_r \quad (۴-۹)$$

جدول ۲۱- مقایسه ضریب رفتار سازه‌ها به روش‌های مختلف

		پنج طبقه	ده طبقه	پانزده طبقه
نامنظم در ارتفاع	میراندایر ترو	۵.۱۶۷	۵.۳۲۹	۸.۰۷۵
	نیومارک و هال	۳.۲۷۲	۳.۴۱	۳.۵۲۴
	کوارینکر وناسار	۴.۷۷۹	۵.۰۳۲	۷.۷۳۵
	ویدیک	۲.۹۷	۴.۱۴۷	۸.۱۸
نامنظم در پلان	[۱۲] بهشتی	۹.۶۶۶	۹	-
منظم	[۱۳] بهشتی	۸.۰۱۹	۸.۲۹۲۹	۹.۴۳۵

در بررسی پارامتری ضرایب رفتار مشخص می‌شود که با افزایش ارتفاع سازه ضرایب رفتار ناشی از شکل‌پذیری و اضافه مقاومت به ترتیب، افزایش و کاهش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار ضریب رفتار در حالت منظم بیشتر از حالت نامنظم می‌باشد. با بررسی جدول فوق مجدد به این نتیجه رسیده که باز هم با وجود روش‌های مختلف برای ضریب رفتار سازه نمی‌توان نظر قطعی بر روی مقدار

دقیق آن داد. یکی از مشاهداتی که در تمامی روش‌ها مشهود است، افزایش مقدار ضریب رفتار با افزایش ارتفاع سازه می‌باشد که خود حاکی از تاثیر ارتفاع بر ضریب رفتار و به دنبال آن تاثیر شکل پذیری و افزایش مفاصل پلاستیک می‌باشد. همینطور با مقایسه این مقدار در دو حالت منظم و نامنظم شاهد کاهش ضریب رفتار در حالت نامنظم بوده که خود حاکی از تاثیر شکل پذیری و صلبیت بر روی این مقدار دارد.

با بررسی دیگر مقالات علمی در همین زمینه به همین تناقضات در بیان مقدار دقیق ضریب رفتار رسیده و با اینکه تصور می‌شد با افزایش ارتفاع مقدار ضریب رفتار و شکل پذیری افزایش یابد اما نتایج به دست آمده مستدل بر این است که یکی دیگر از مهم‌ترین عوامل در تعیین ضریب رفتار، زمان تناوب سازه می‌باشد.

۴-۷- منحنی و توابع شکنندگی

با استفاده از منحنی‌های شکنندگی می‌توان توضیح پاسخ سازه را در شدت‌های مختلف زلزله نشان داد. از این منحنی‌ها می‌توان جهت بیان پارامترها و اطلاعات آسیب‌پذیری برای هر سیستم سازه‌ای و غیر سازه‌ای در ساختمان استفاده کرد. در گام اول با انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب به تحلیل پرداخته می‌شود. این شتاب‌نگاشت‌ها معمولاً بر اساس نوع خاک، شدت زلزله، فاصله تا مرکز زلزله و گسل و نیز نوع فرکانس تعیین می‌شوند.

۴-۷-۱- تحلیل دینامیکی افزایشی

تحلیل دینامیکی غیرخطی یکی از دقیق‌ترین و پیچیده‌ترین روش‌های تحلیل سازه می‌باشد که با رشد روزافزون رایانه‌ها امکان پردازش دقیق‌تر این نتایج را ساده‌تر کرده‌است. در این تحلیل، سازه تحت رکوردهای مختلف زلزله قرار می‌گیرد و هر یک از نتایج به صورت یک نقطه با استفاده از منحنی‌های IDA نشان داده می‌شود.

تحلیل IDA شامل تعداد زیادی تحلیل دینامیکی غیرخطی، تحت اثر شتاب‌نگاشت‌ها می‌باشد و به گونه‌ای مقیاس شده‌است که رفتار خطی، غیرخطی و فروریزش را پوشش دهد. معمولاً تعداد محدود شتاب‌نگاشت پاسخ مطلوبی برای کنترل سازه نمی‌دهد، انتخاب شش رکورد دور و شش رکورد نزدیک در محل پروژه موردنظر این امکان را داده تا پاسخ‌های بهتر و دقیق‌تری دریافت شود (جدول ۲۲). از معایب تحلیل دینامیکی می‌توان عدم قطعیت در انتخاب رکوردهای زلزله (بزرگای دقیق، ساختگاه زمین، تعداد انتخاب شتاب‌نگاشت، دوری و نزدیکی به گسل) و مد زمان و هزینه زیاد تحلیل تاریخیچه زمانی، تجربه بالای محاسب به دلیل نیاز به تفسیر دقیق اشاره کرد.

جدول ۲۲-نگاشت‌های انتخابی جهت انجام تحلیل IDA

نام	مؤلفه	تاریخ وقوع	بیشینه شتاب (g)	بزرگای (Ms)	فاصله تا گسل
Cape mendocini	۹۰	۱۹۹۲	۰/۱۷۸۲	۷/۱	نزدیک
northridge	۱۸۰	۱۹۹۴	۰/۲۴۵۵	۶/۷	دور
northridge	۹۰	۱۹۹۴	۰/۰۶۲۹	۶/۷	دور
Tabas_ Iran	۹۰	۱۹۷۸	۰/۱۵۶۲۵	۷/۳۵	نزدیک
Tabas_ Iran	۱۸۰	۱۹۷۸	۰/۱۵۶۳	۷/۳۵	نزدیک
Tabas_ Iran	۹۰	۱۹۷۸	۰/۱۵۶۰	۷/۳۵	نزدیک
petrolia	۹۰	۱۹۹۲/۰۴/۲۵	۰/۶۶۲۴	۷	نزدیک
PTS	۲۲۵	۱۹۸۷/۱۱/۲۴	۰/۴۵۴۹	۷/۶	نزدیک
TCU102	۰	۱۹۹۹/۰۹/۲۰	۰/۲۹۷۸	۶/۵	نزدیک
Bam_ Iran	۹۰	۲۰۰۳	۰/۳۷۵	۶/۶	دور
Bam_ Iran	۱۸۰	۲۰۰۳	۰/۰۷۵	۶/۶	دور
Bam_ Iran	۹۰	۲۰۰۳	۰/۰۵	۶/۶	دور

در این انتخاب‌ها سعی در عام بودن رکوردهای زلزله اعم از دوری و نزدیکی به گسل و ... بوده تا بتواند نتایج دقیق و جامع‌تری داشته باشد. در این انتخاب‌ها با اینکه زمان تحلیل افزایش پیدا می‌کند اما نتایج بهتر و مطلوب‌تری در تحلیل دینامیکی غیرخطی داده می‌شود.

۴-۷-۲- تحلیل تاریچه زمانی

اثرات حرکت زمین می‌تواند به صورت طیف بازتاب طرح یا تاریچه زمانی تغییرات شتاب مشخص شود. مفاهیم و اصول حاکم بر تحلیل تاریچه زمانی نسبت به سایر روش‌ها پیچیده‌تر است و نیاز به تجربه بالا برای تفسیر دارد. تحلیل دینامیکی زمانی (تاریچه زمانی) برای تعیین پاسخ لحظه‌ای سازه تحت شتاب پی (شتاب نگاشت) بکار می‌رود. شتاب‌نگاشت باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا در هنگام زلزله باشد. بدین منظور باید حداقل سه شتاب‌نگاشت با شرایطی که در آیین نامه ذکر شده است مورد استفاده قرار گیرد. بازتاب‌ها بر اساس حداکثر مقدار حاصل از این سه زوج شتاب‌نگاشت بدست می‌آید. در صورتیکه هفت زوج شتاب‌نگاشت در نظر گرفته شود، می‌توان از متوسط بازتاب شتاب‌نگاشت‌ها استفاده کرد (آیین‌نامه ۲۸۰۰).

بدین منظور ابتدا توسط نرم افزار seismosignal الگو یا گراف شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده به دست آمده است.

۴-۷-۳- نتایج تحلیل دینامیکی افزاینده (IDA)

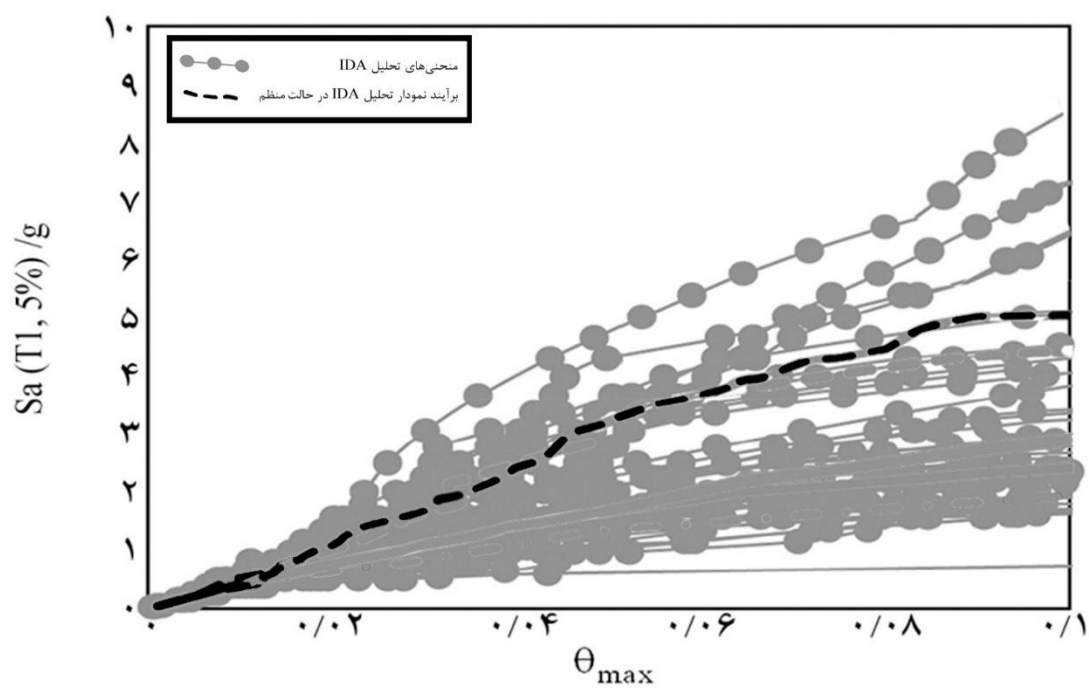
منحنی‌های شکنندگی یکی از مهمترین ابزارهای ارزیابی احتمالاتی خرابی سازه‌ها می‌باشد. به کمک این روش احتمال فراگذشت از یک سطح خرابی مشخص در مقابل پارامترهای لرزه خیزی ساختمان تعیین می‌شود. برای به دست آوردن این منحنی ابتدا به کمک تحلیل IDA به روش توزیع لوگ نرمال در میرایی ۵ درصد و معیار پاسخ حداکثری در نظر گرفته شده است. روش تحلیل بدین گونه است که هر مدل سازه‌ای تحت رکوردهای لرزه‌ای 0.1g تا 1.5g با گام‌های 0.1g مورد تحلیل قرار داده و سپس سازه را با یک رفتار غیرخطی مناسب، تحت تعداد شتاب‌نگاشت‌های کافی به کمک نرم افزار Perform احتمال شکست سازه بررسی گردید و در آخر در هر مرحله این تحلیل جداگانه انجام و پاسخ ماکزیمم سازه برای هر شدت بررسی می‌شود.

به منظور مطالعه اثر مقدار نامنظمی و محل وقوع نامنظمی در ارزیابی فروریزش این نوع از سازه‌ها تحلیل دینامیکی افزاینده با استفاده از الگوریتم Fill&Hunt انجام شده‌است. در این الگوریتم در ابتدا یک شاخص شدت که تحت تأثیر آن سازه قطعاً در محدوده خطی باقی خواهد ماند، به عنوان مقدار اولیه شاخص شدت در نظر گرفته می‌شود. پس از آن مرحله Hunt (شکار نمودن) که هدف آن یافتن شاخص شدت فروریزش با به کار بردن حداقل تعداد نقاط ممکن است، شروع می‌شود. در این مرحله، طول گام‌های افزایش شاخص شدت، با عدد کوچکی مثلاً (۰.۰۵) شروع می‌شود.

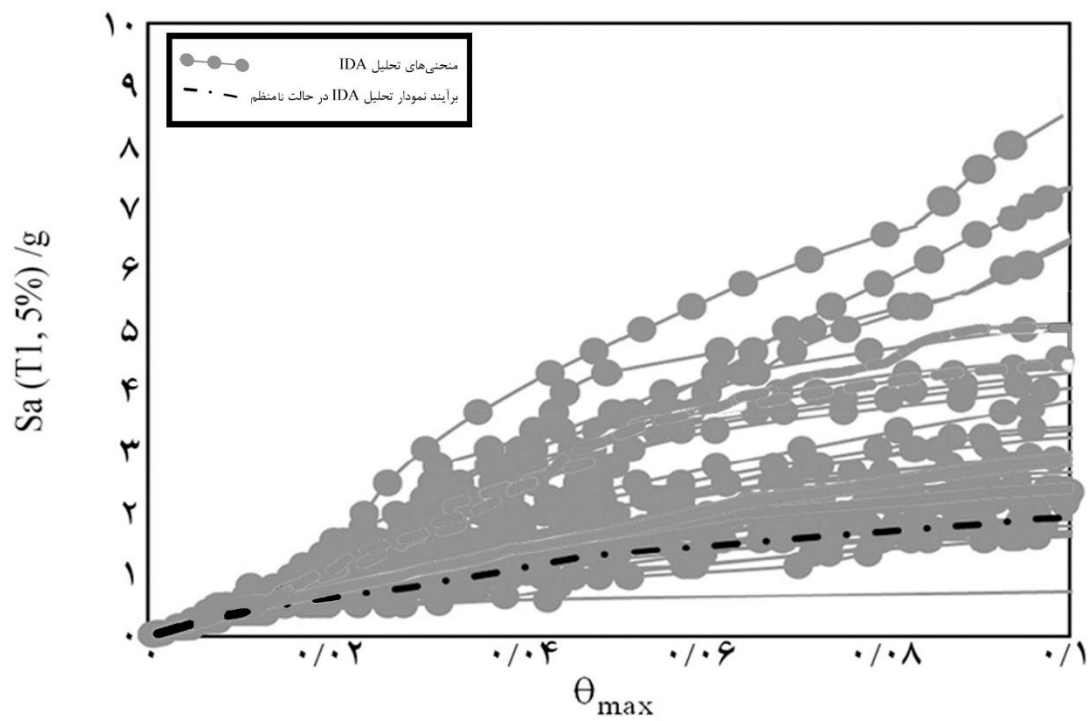
این طول در هر مرحله با مقداری مثل ۰.۰۵ افزایش می‌یابد. مقادیر شاخص شدت به این روش به صورت جهشی افزایش یافته تا اینکه نقطه فروریزش پشت سر گذاشته شود. از آنجا که مقادیر شاخص شدت به صورت جهشی افزایش یافته‌اند، برای یافتن نقطه‌ای که به طور نسبتاً دقیق شاخص شدت فروریزش را تعیین می‌نماید لازم است تا مقداری به عقب برگردیم.

در اینجا طی چند مرحله با استفاده از نقطه قبلی، نقطه‌ای که با دقت کافی از پیش تعیین شده، (مثلاً ۵ درصد) شاخصی که شدت متناظر با شرایط فروریزش را بیان می‌نماید، تعیین می‌شود. نقاط اخیر در واقع صرف بالا بردن دقت نمودار IDA در ناحیه غیرخطی آن شده‌است. پس از به دست آوردن شاخص شدت مربوط به فروریزش که یک هدف اصلی در روش IDA است، نقاط باقی مانده از تعداد نقاط اختصاص یافته به هر رکورد (که از ابتدا و برای همه رکوردها به طور ثابت تعیین شده بود) صرف بالا بردن دقت در قسمت اولیه نمودار می‌شود. در این مرحله (fill) نقاط اضافی در فواصل نقاط اولیه در نظر گرفته می‌شوند [۴۵].

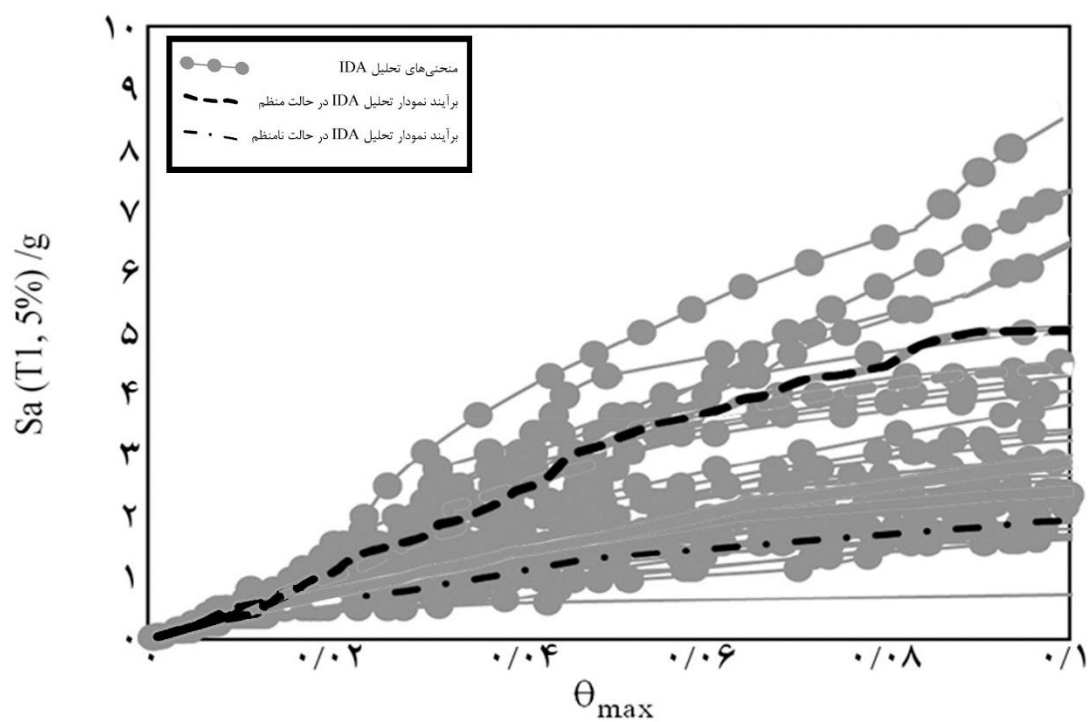
همین‌طور به بیان دیگر به منظور ایجاد ارتباط بین پاسخ لرزه‌ای با شدت لرزه‌ای سازه و همچنین بررسی حدودی عملکرد سازه در محدوده الاستیک تا مرحله تسلیم نهایی، می‌توان از روش تحلیل دینامیکی افزاینده استفاده نمود. با بررسی‌های انجام شده و به دست آمدن منحنی‌های IDA برای سه مدل موردنظر منحنی ایده‌آل به صورت نمودارهای ۹ تا ۱۷ مشاهده می‌شود. در نمودارهای ۱۱، ۱۴ و ۱۷ به مقایسه بین سازه منظم و نامنظم پرداخته شده‌است.



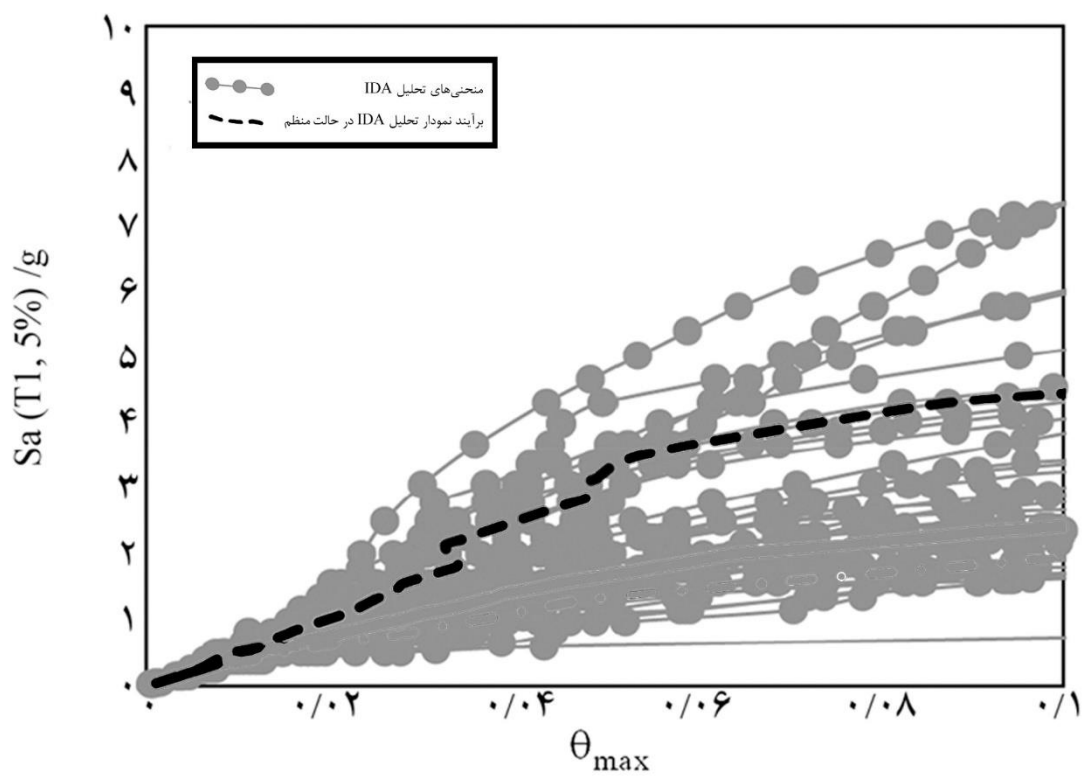
نمودار ۹- منحنی‌های IDA برای سازه ۵ طبقه در حالت منظم



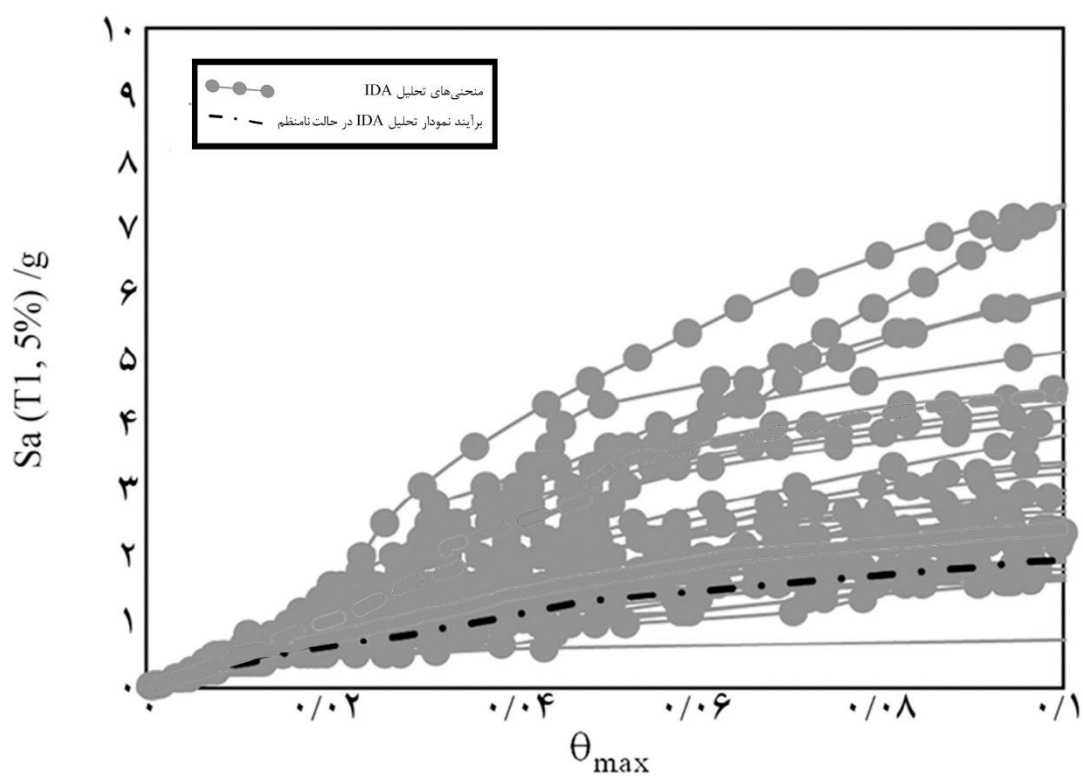
نمودار ۱۰- منحنی‌های IDA برای سازه ۵ طبقه در حالت نامنظم



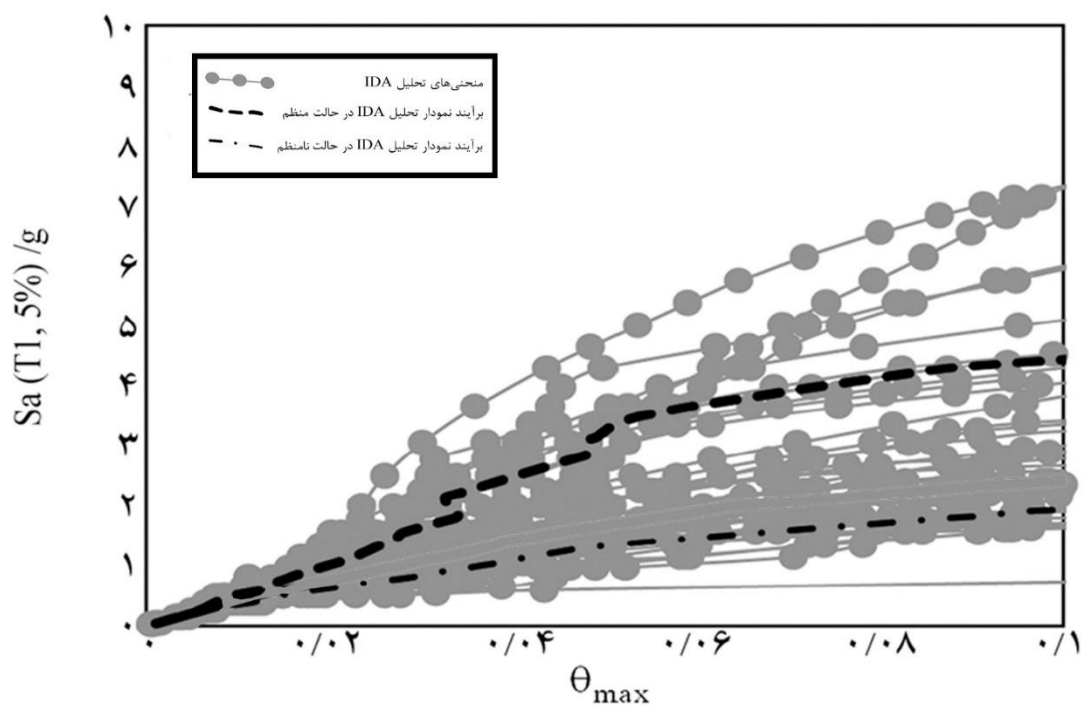
نمودار ۱۱- مقایسه نتایج تحلیل IDA در حالت منظم و نامنظم برای سازه ۵ طبقه



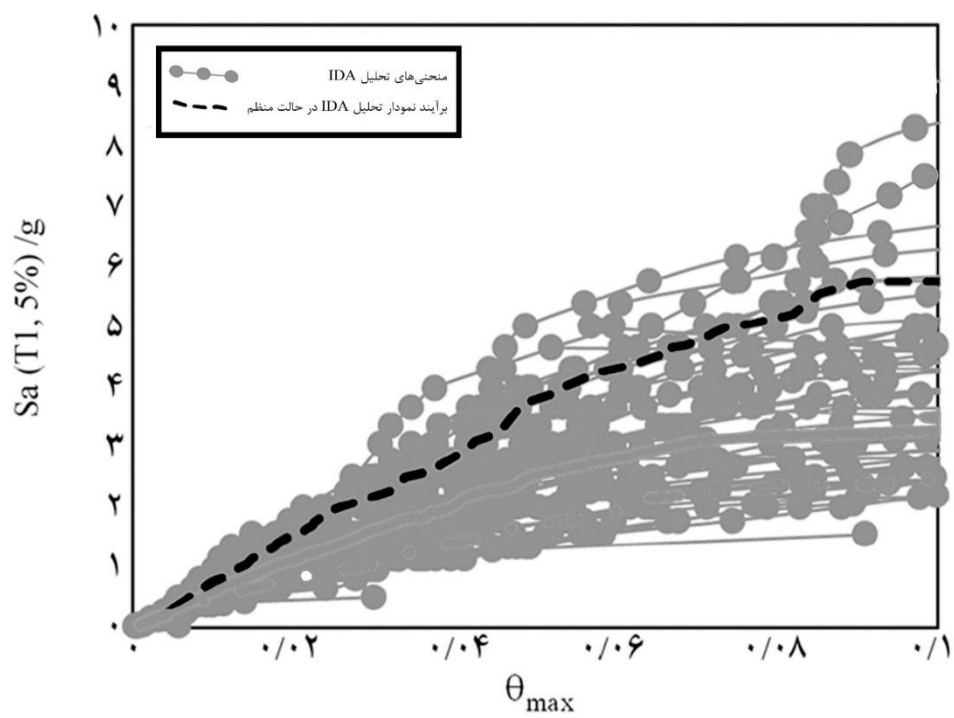
نمودار ۱۲- منحنی‌های IDA برای سازه ۱۰ طبقه در حالت منظم



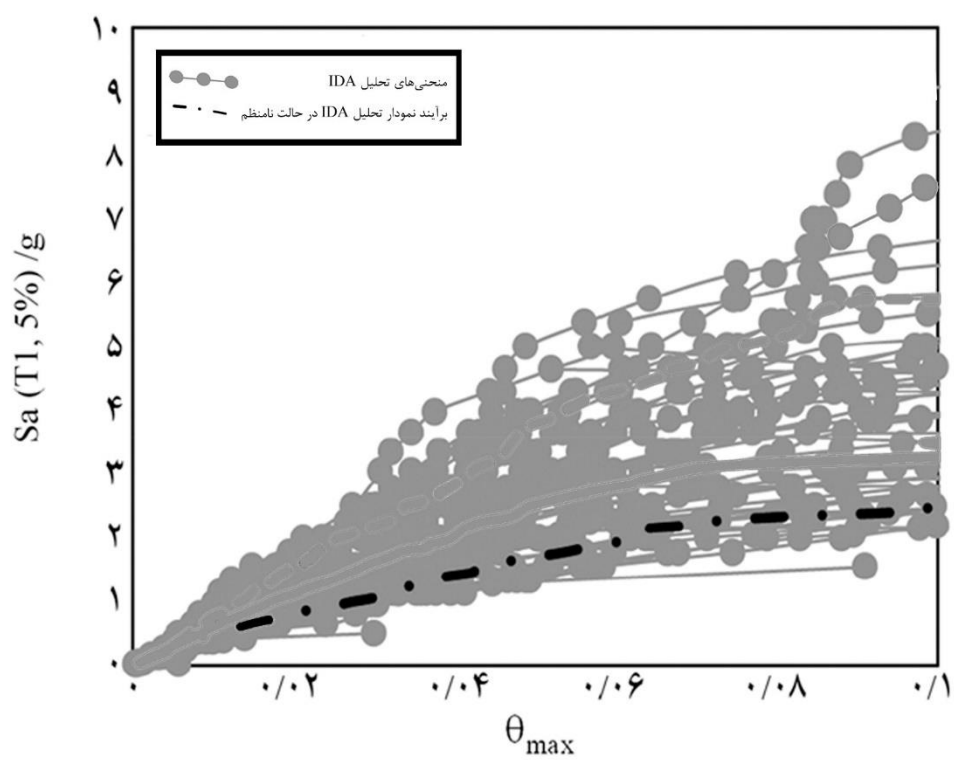
نمودار ۱۳- منحنی‌های IDA برای سازه ۱۰ طبقه در حالت نامنظم



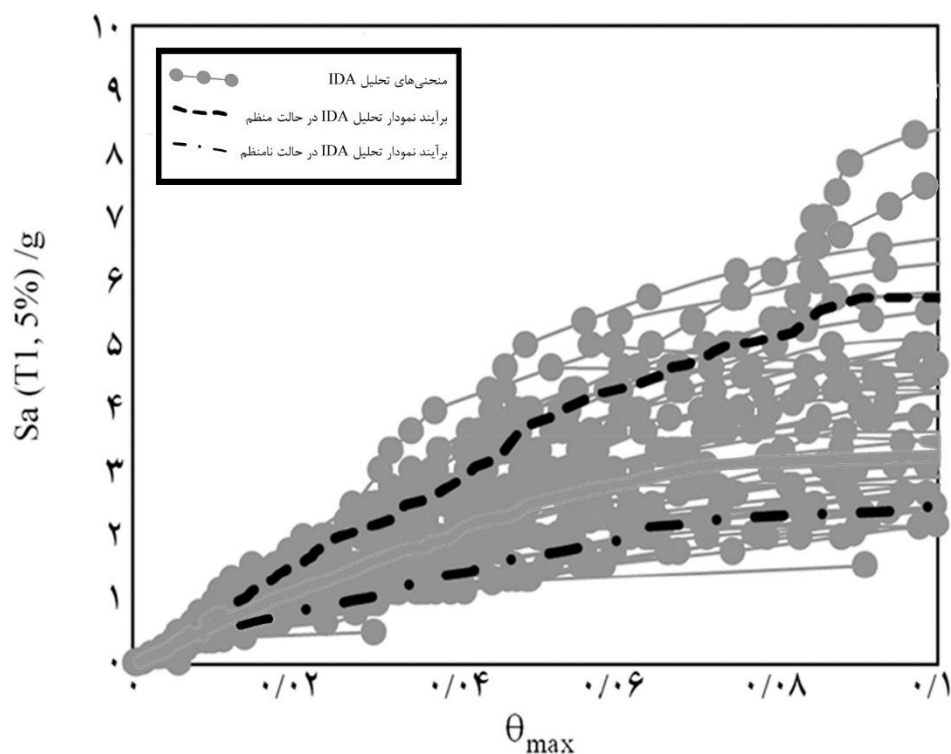
نمودار ۱۴- مقایسه نتایج تحلیل IDA در حالت منظم و نامنظم برای سازه ۱۰ طبقه



نمودار ۱۵- منحنی‌های IDA برای سازه ۱۵ طبقه در حالت منظم



نمودار ۱۶- منحنی‌های IDA برای سازه ۱۵ طبقه در حالت نامنظم



نمودار ۱۷- مقایسه نتایج تحلیل IDA در حالت منظم و نامنظم برای سازه ۱۵ طبقه

با کمی دقت در منحنی‌های ۹ تا ۱۷ می‌توان تمامی مراحل رفتار سازه تحت زلزله، از حد ارتجاعی تا حد فروریزش و ناپایداری کلی را به طور کامل مشاهده نمود. در ابتدای همه دسته منحنی‌ها یک ناحیه الاستیک وجود دارد که به صورت خط صاف بوده و تا بخشی از منحنی IDA بصورت فصل مشترک همه منحنی‌ها می‌باشد. پس از این ناحیه رفتار غیرخطی در منحنی‌ها با خروج منحنی از حالت خط صاف نمایان می‌شود و با افت در سختی یا افزایش آن، رفتار غیرخطی سازه را نشان می‌دهد.

با دقت در دسته منحنی‌های IDA، مشاهده می‌گردد که با افزایش ارتفاع، سازه‌ها زودتر وارد ناحیهی غیرخطی می‌شود. به علاوه با مقایسه سازه‌های منظم و نامنظمی مشاهده می‌گردد که ضعف موجود در سازه نامنظم تاثیر محسوسی بر روی پاسخ سازه‌ای که تحت توالی لرزه‌ای قرار گرفته است؛ می‌گذارد. برای رسم منحنی‌های شکنندگی از بیشترین تغییر مکان طبقات به عنوان شاخص شکست طبق دستورالعمل HAZUS برای این سازه‌ها چهار سطح خرابی تعریف شده‌است. حد خرابی طبق آیین‌نامه

برای سازه کوتاه مرتبه ۰.۰۲، ۰.۰۰۲۷، ۰.۰۰۰۶۷، ۰.۰۵۳۲ و همچنین برای سازه ده و پانزده طبقه ۰.۰۰۲، ۰.۰۰۴، ۰.۰۰۵، ۰.۰۱۵ می‌باشد.

در این مطالعه از روش لوگ نرمال به کمک روابط ۴-۱۰ [44] کرنل ونیلسن [43] برای به دست آمدن این هدف استفاده شده است.

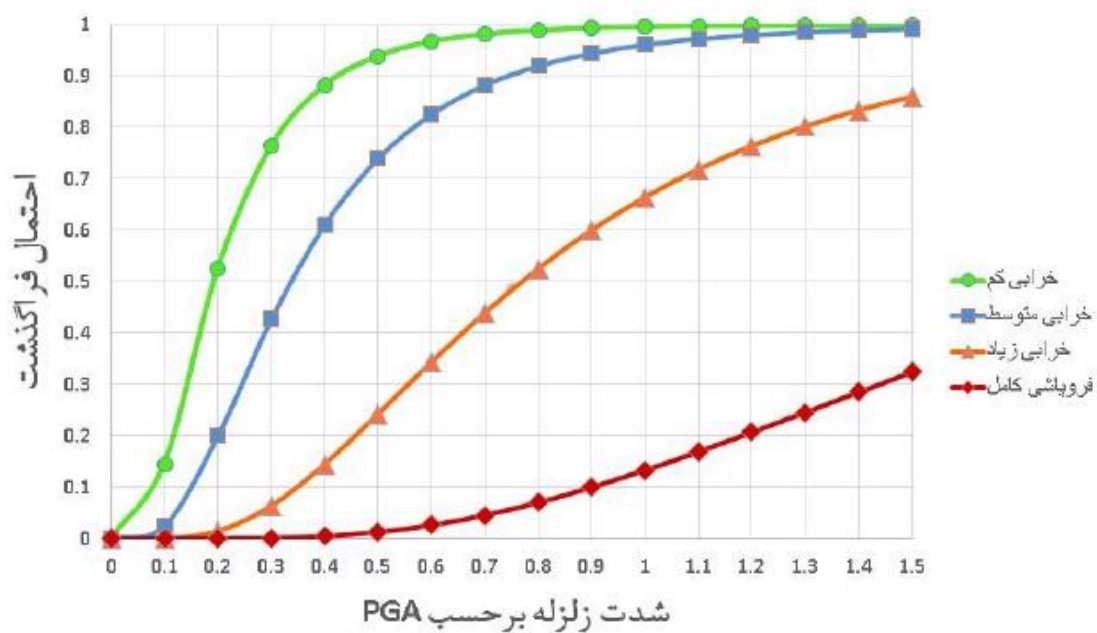
$$p(\leq D) = \phi \left[\left(\frac{1}{\beta_{sd}} \ln \left(\frac{S_d}{S_c} \right) \right) \right] \quad (۱۰-۴)$$

$$\beta_{sd} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \mu)^2}$$

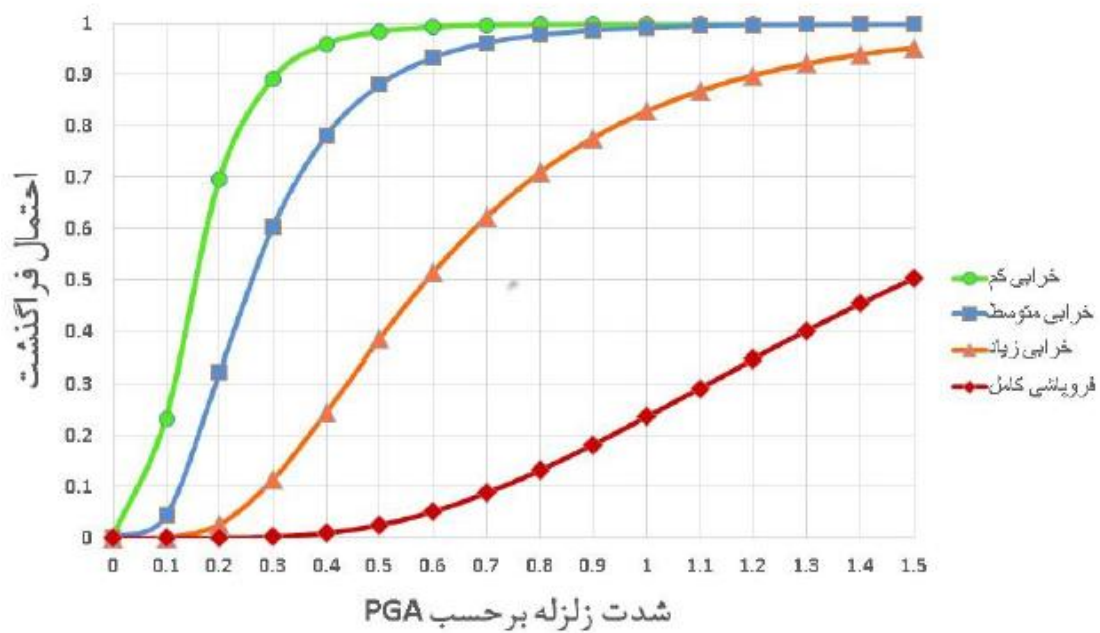
$$\ln(S_d) = \alpha \ln(PGA) + b$$

بطوریکه P احتمال فراگذشت از حالت خرابی D انحراف معیار لگاریتم نرم β_{sd} ، مقدار متوسط حالت حدی مجاز S_c ، S_d متوسط مقدار نیاز لرزه‌ای، متوسط مقدار نیاز لرزه‌ای است μ ، مقدار ماکزیمم دریافت در هر بار تحلیل و X و تعداد کل تحلیل‌ها N است.

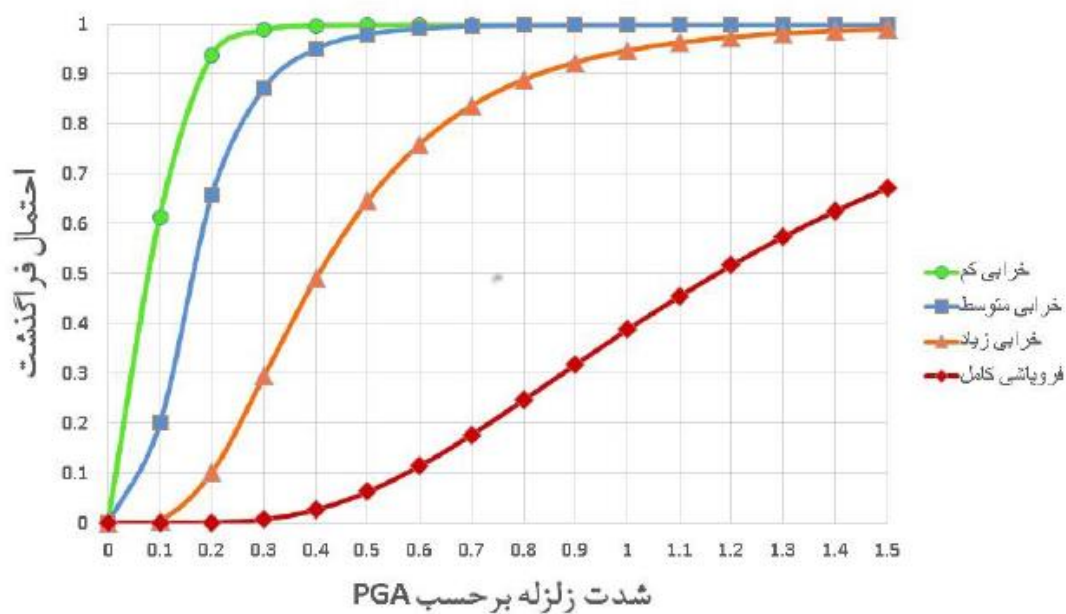
پس از تعیین روش به کمک توزیع لوگ نرمال، به ترسیم منحنی‌های شکنندگی در چهار سطح آسیب پذیری پرداخته شده است. در گام بعد با بررسی نتایج حاصله، ظرفیت نهایی سازه و نسبت محدود نهایی و منحنی‌های شکنندگی به دست می‌آید (نمودار ۱۸ تا ۲۳).



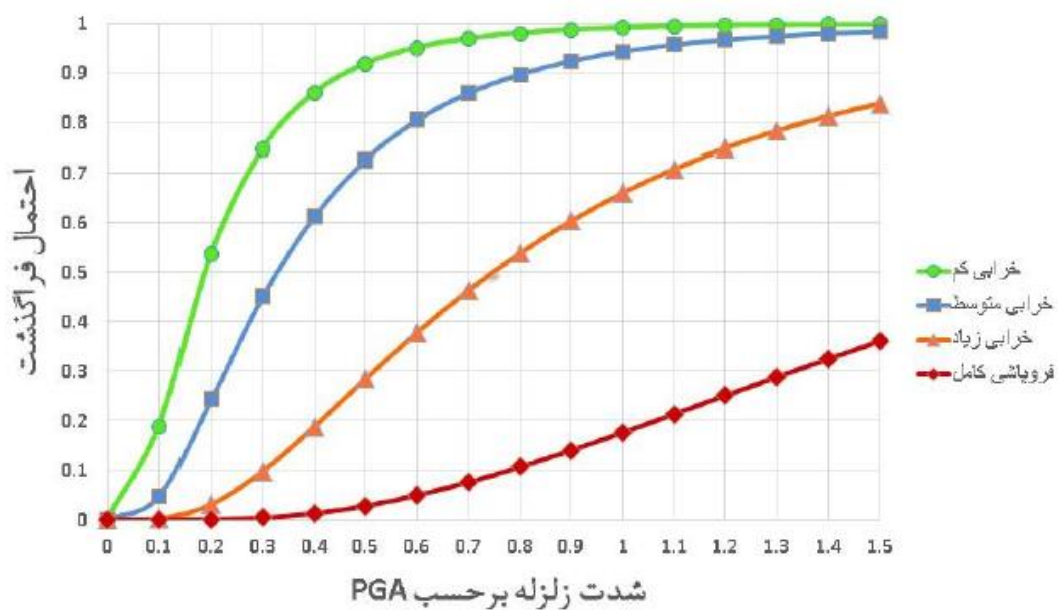
نمودار ۱۸- منحنی شکنندگی سازه ۵ طبقه در حالت منظم



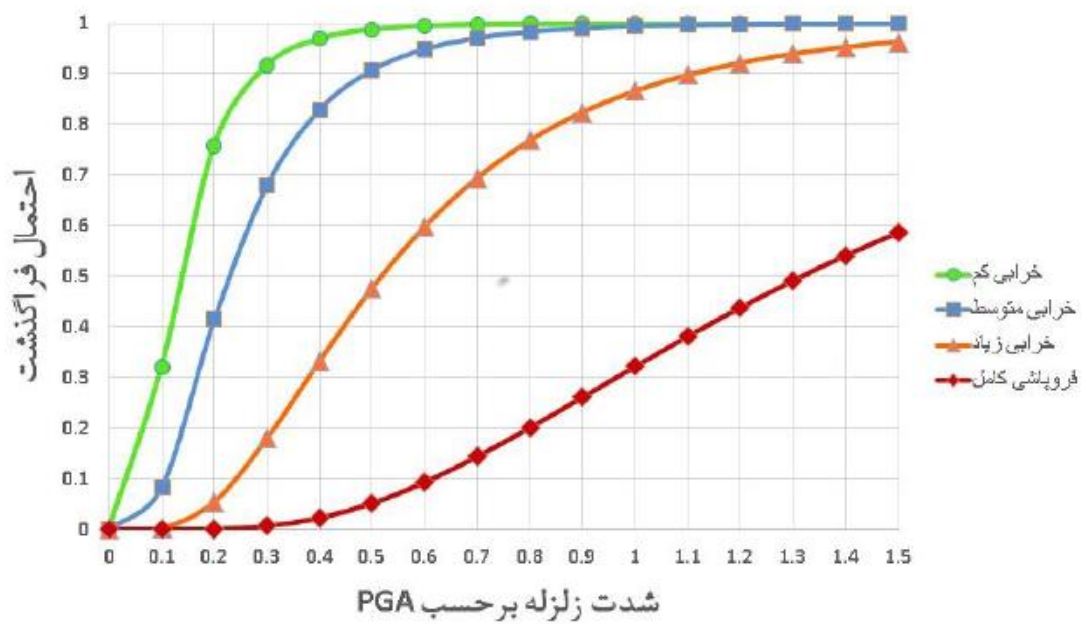
نمودار ۱۹- منحنی شکنندگی سازه ۱۰ طبقه در حالت منظم



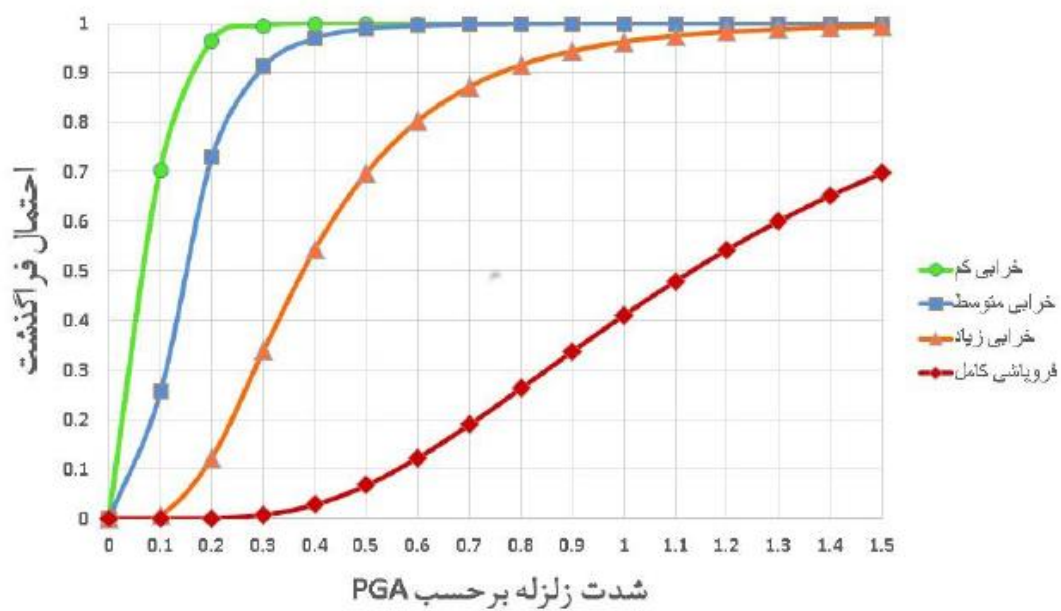
نمودار ۲۰- منحنی شکنندگی سازه ۱۵ طبقه در حالت منظم



نمودار ۲۱- منحنی شکنندگی سازه ۵ طبقه در حالت نامنظم



نمودار ۲۲- منحنی شکنندگی سازه ۱۰ طبقه در حالت نامنظم



نمودار ۲۳- منحنی شکنندگی سازه ۱۵ طبقه در حالت نامنظم

بعد از بررسی نمودارهای فوق مشاهده می‌شود که در PGA های مختلف احتمال شکنندگی برای حالات عملکردی در سازه‌های نامنظم بیشتر از سازه‌های منظم است که خود حاکی از شکل پذیری و

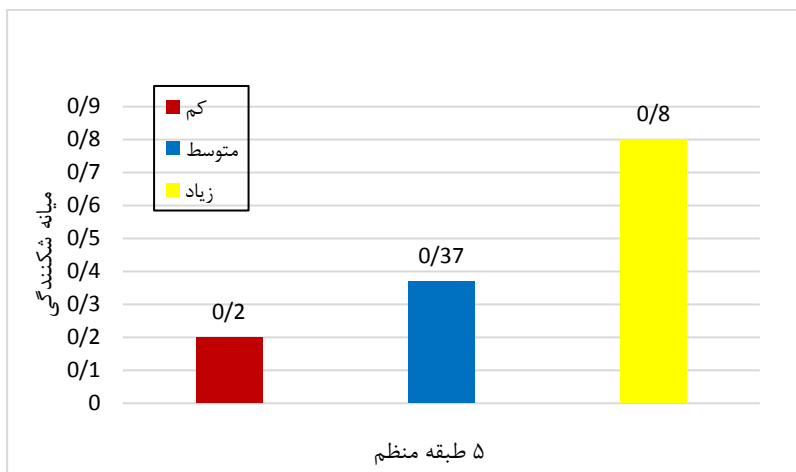
جذب انرژی بیشتر سازه‌های منظم می‌باشد. همچنین در PGA های یکسان نیز احتمال خرابی در سازه‌های نامنظم بیشتر است. معمولاً به دلیل اینکه متغیرهایی موجود در طبیعت دائماً در حال تغییر می‌باشند (تفاوت‌های موجود در خواص و مقاومت مواد و اثرات محیطی) و... و دوم موارد خطای ساخت، خطای مدلسازی و محاسبات نمی‌توان نظر قطعی نسبت به عملکرد سازه در برابر زلزله داشت.

با توجه به این دو ایراد مهم طراح مجبور به طراحی سازه به فرم احتمالاتی می‌گردد. با استفاده از منحنی‌های شکنندگی می‌توان توضیح پاسخ سازه را در شدت‌های مختلف زلزله نشان داد. از این منحنی‌ها می‌توان جهت بیان پارامترها و اطلاعات آسیب‌پذیری برای هر سیستم سازه‌ای و غیرسازه‌ای در ساختمان استفاده کرد. مقایسه عملکرد لرزه‌ای قبل و بعد از مقاوم سازی و مقایسه روش‌های مختلف مقاوم سازی نیز، از دیگر کاربردهای این منحنی است.

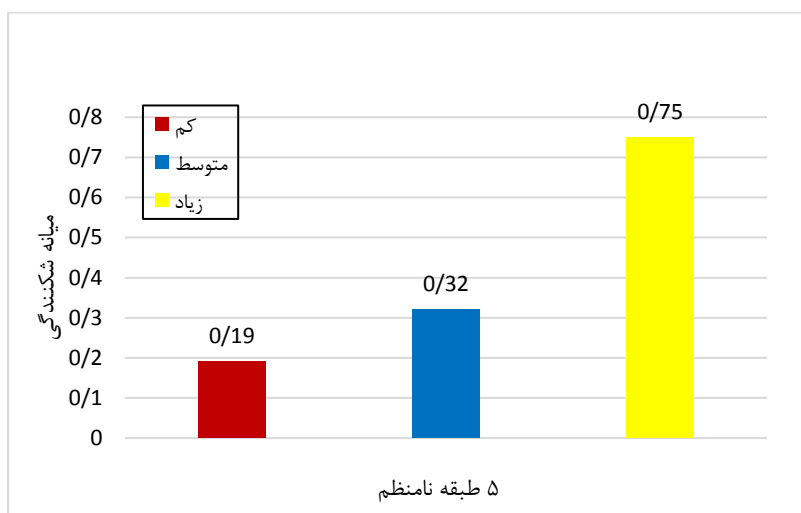
در سال‌های اخیر از تحلیل شکنندگی به عنوان وسیله‌ای برای تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای روی سدها ی بتنی، پایه‌های شمع، شمع‌ها و میان‌قاب‌ها در سازه‌های اسکلت بتنی و فولادی استفاده شده‌است. می‌توانیم از روش‌های تجربی و آزمایشگاهی، مبتنی بر قضاوت مهندسی و روش‌های ترکیبی تحلیلی نیز منحنی‌های شکنندگی را به دست آورد.

۴-۷-۴- میانه شکنندگی

بعد از به دست آوردن منحنی‌های شکنندگی به تحلیل کمی آن و محاسبه میانه شکنندگی یا همان ۵۰ درصد احتمال شکست در سطوح مختلف خرابی پرداخته شده‌است. حدود مختلف خرابی سازه‌ها، در نمودارهای ۲۴ تا ۳۰ به همراه مقادیر ارائه شده‌است.

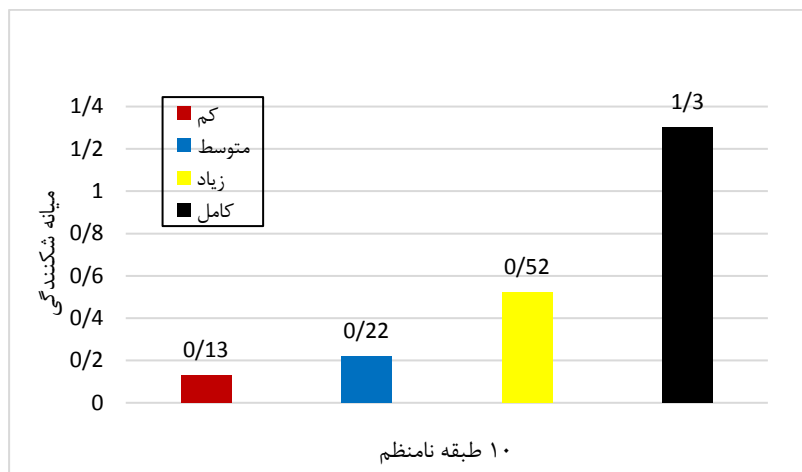


نمودار ۲۴- میانه شکنندگی برای سازه ۵ طبقه در حالت منظم

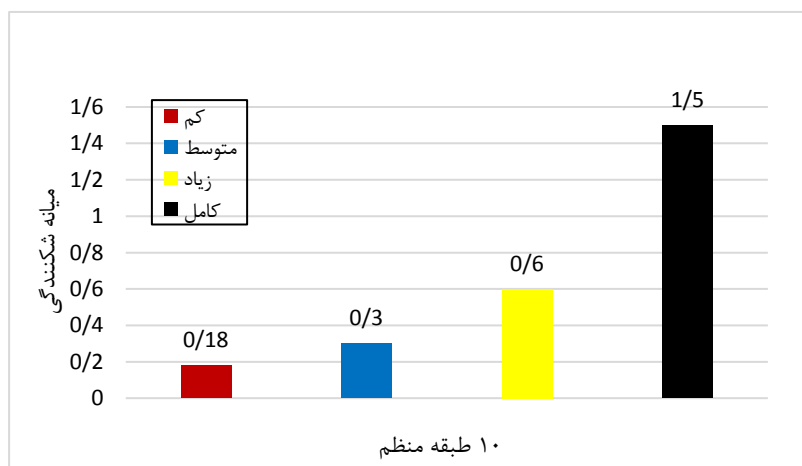


نمودار ۲۵- میانه شکنندگی برای سازه ۵ طبقه در حالت نامنظم

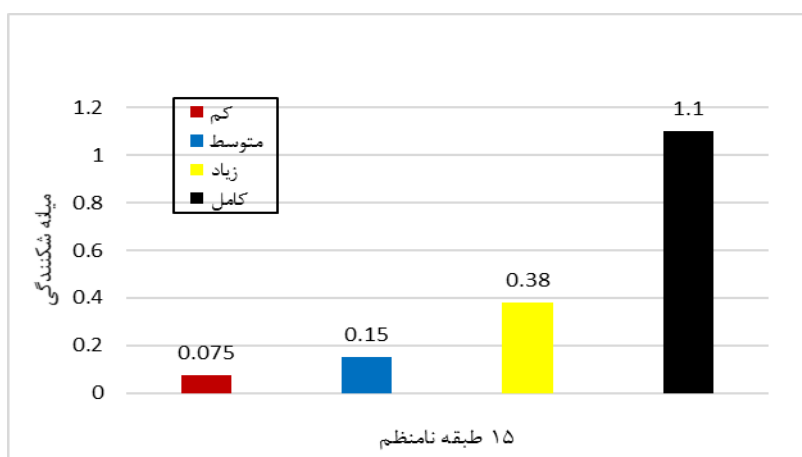
همانطور که در نمودارها مشاهده می گردد در سازه پنج طبقه برخلاف سایر سازه ها مولفه احتمال خرابی کامل در بازه مدنظر به پنجاه درصد نرسیده و مقدار شتابی که در آن مقدار احتمال پنجاه درصد خرابی رخ دهد بسیار زیاد می باشد.



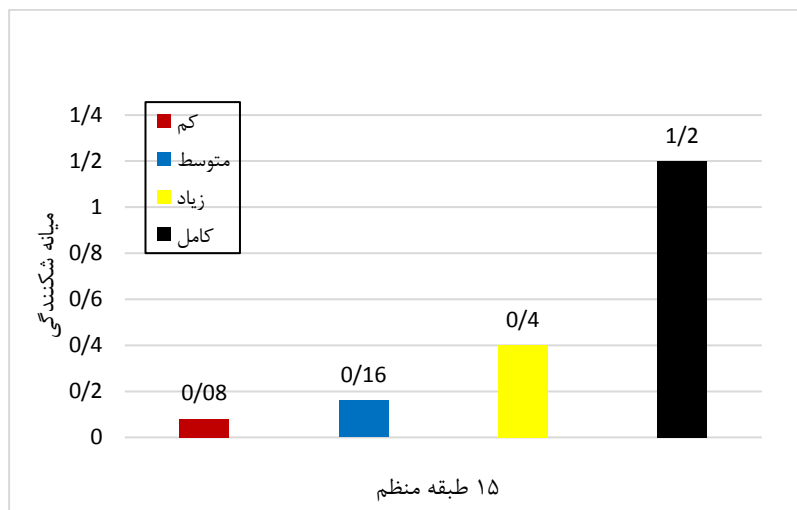
نمودار ۲۶- میانۀ شکنندگی برای سازه ۱۰ طبقه در حالت نامنظم



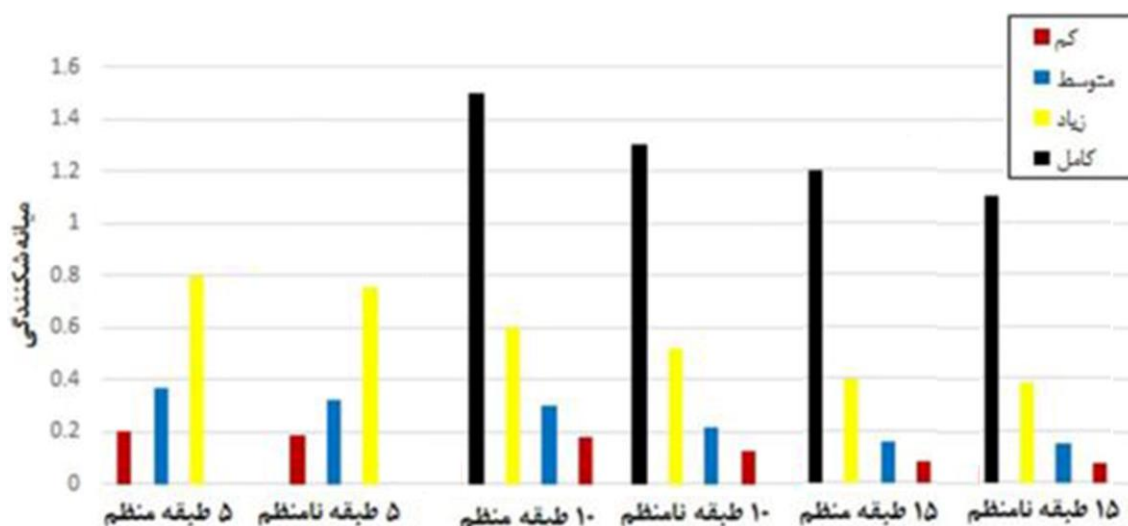
نمودار ۲۷- میانۀ شکنندگی برای سازه ۱۰ طبقه در حالت منظم



نمودار ۲۸- میانۀ شکنندگی برای سازه ۱۵ طبقه در حالت نامنظم



نمودار ۲۹- میانۀ شکنندگی برای سازه ۱۵ طبقه در حالت منظم



نمودار ۳۰- مقایسه میانۀ شکنندگی تمامی طبقات در حالات منظم و نامنظم

به کمک نمودارهای میانۀ شکنندگی مشاهده می‌گردد برای سازه‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه در تمام سطوح عملکردی، میانۀ شکنندگی در سازه‌های نامنظم نسبت به سازه‌های منظم، احتمال خرابی بیشتری را نشان می‌دهد که این امر حاکی از عملکرد بهتر سازه‌های منظم در سیستم قالب تونلی می‌باشد. همچنین با افزایش ارتفاع در تمام حالات منظم و نامنظم، در شتاب زلزله کمتری به احتمال خرابی پنجاه درصد رسیده‌اند.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ - مقدمه

همانطور که در ابتدا بیان شد سازه‌های قالب تونلی از نوین‌ترین سازه‌های موجود در نوع سیستم لرزه‌ای، اجرا و طراحی و... می‌باشد. در ابتدا به معرفی و بررسی این سیستم سازه‌ای پرداخته و در طرح‌های مطالعاتی اولیه برای شش مدل منظم و نامنظم در ارتفاع (جرمی) و مقایسه آن دو از نظر طراحی سازه، ضریب رفتار به چندین روش، ضریب شکل پذیری و... به کمک نرم افزارهای ETABS و Perform3D انجام گرفته است.

در این پژوهش سعی در بیان مسائل پیرامون نامنظمی در این سیستم سازه‌ای شد و برای به دست آوردن نمودارهای احتمالاتی شکنندگی به بررسی دوازده رکورد دور و نزدیک به گسل تحت تحلیل دینامیکی افزاینده پرداخته و نتایج در قسمت ۵-۲ بیان شده است.

۵-۲ - نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که وجود نامنظمی باعث کاهش ضریب رفتار و ضریب شکل پذیری می‌شود. بررسی جابه‌جایی سازه براساس میانه شکنندگی در تمام حالات برای زلزله‌های با سازه منظم مقدار بیشتری نسبت به زلزله‌های با سازه نامنظم داشته است.

با افزایش تعداد طبقات، شتاب متناظر با میانه شکنندگی و جابه‌جایی ناشی از آن کمتر می‌شود. در کل، در سازه‌های قالب تونلی مقدار برش پایه در سازه نامنظم مقدار کمتری نسبت به سازه منظم داشتند. طبق نمودار ۱۸ تا ۲۳ مشاهده می‌شود احتمال خرابی در ازای هریک از سطوح خرابی و هر مقدار شتاب به ترتیب از سازه ۵ تا ۱۵ طبقه افزایش می‌یابد. سیستم سازه‌ای قالب تونلی دارای سختی، مقاومت و عملکرد لرزه ای قابل قبولی می‌باشد. به طوری که وجود دیواربرشی های متعدد عملکرد مطلوبی در برابر بارهای جانبی داشته و سختی جانبی مناسب را تامین می‌کند.

با کمی دقت در منحنی‌های ۹ تا ۱۷ می‌توان تمامی مراحل رفتار سازه تحت زلزله، از حد ارتجاعی تا حد فروریزش و ناپایداری کلی را به طور کامل مشاهده نمود. در ابتدای همه دسته منحنی‌ها یک ناحیه

الاستیک وجود دارد که به صورت خط صاف بوده و تا بخشی از منحنی IDA بصورت فصل مشترک همه منحنی‌ها می‌باشد. پس از این ناحیه رفتار غیرخطی در منحنی‌ها با خروج منحنی از حالت خط صاف نمایان می‌شود و با افت در سختی یا افزایش آن، رفتار غیرخطی سازه را نشان می‌دهد. ضریب رفتاری که از روش میراندا به دست می‌آید از دیگر روش‌ها بیشتر می‌باشد. همینطور تحقیقات نشان دهنده این است که ضریب رفتار به دست آمده از روش نیومارک به آیین‌نامه ۲۸۰۰ نزدیک تر است. در بررسی پارامتری ضرایب رفتار مشخص می‌شود که با افزایش ارتفاع سازه ضرایب رفتار ناشی از شکل‌پذیری و اضافه مقاومت به ترتیب، افزایش و کاهش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار ضریب رفتار در حالت منظم بیشتر از حالت نامنظم می‌باشد. با بررسی جدول فوق مجدد به این نتیجه رسیده که باز هم با وجود روش‌های مختلف برای ضریب رفتار سازه نمی‌توان نظر قطعی بر روی مقدار دقیق آن داد. یکی از مشاهداتی که در تمامی روش‌ها مشهود است، افزایش مقدار ضریب رفتار با افزایش ارتفاع سازه می‌باشد که خود حاکی از تاثیر ارتفاع بر ضریب رفتار و به دنبال آن تاثیر شکل‌پذیری و افزایش مفاصل پلاستیک می‌باشد. همینطور با مقایسه این مقدار در دو حالت منظم و نامنظم شاهد کاهش ضریب رفتار در حالت نامنظم بوده که خود حاکی از تاثیر شکل‌پذیری و صلبیت بر روی این مقدار دارد.

۵-۳- پیشنهادات

بعد از بررسی‌ها و مطالعات انجام شده بر روی سیستم سازه‌ای قالب تونلی و همینطور جدید و نوین بودن این مدل سیستم سازه‌ای به پهنه‌ی بزرگی از اطلاعات اعم از انواع دیگر از نامنظمی‌ها و بررسی آنها، بررسی عملکرد دیوارهای برشی بالای بازشوها (به دلیل وجود تیر واصل متعامد)، بررسی عملکرد و طراحی محل تلاقی دیوارهای برشی و نوع رفتار آن و چگونگی استفاده از مصالح (میلگرد و بتن و...) برای ایجاد رفتار مناسب و مطلوب، بررسی و به دست آوردن ضریب رفتار و ضریب شکل‌پذیری در دیگر حالات نامنظمی در ارتفاع، نامنظمی هندسی و...، به دست آوردن ضرایب دقیق اضافه مقاومت در انواع این سیستم سازه‌ای و در طبقات مختلف، بررسی ارتفاع مفید این سیستم به همراه نامنظمی‌های مختلف،

بررسی مسائلی همچون خمش، برش و پیچش دیوار برشی در کل سازه و تحمل بار جانبی، جانبی پیچشی، ثقلی و... در شرایط نبودن تیر و ستون و در کل قاب و بسیاری از مطالب دیگر و تمامی آنها حاکی از نوین بودن این مدل سازه در جهان و داشتن پتانسیل بالا برای مطالعه در قسمت‌های مختلف آن می‌باشد.

وجود بازشوها، دیوارهای برشی متقاطع و... که رابطه‌ی مستقیم با شکل پذیری سازه دارد نیز از موارد جالب برای مطالعه در این باب است. همینطور تاثیر زلزله قائم بر روی این سازه به دلیل عدم وجود تیر و ستون و تاثیر آن بر چگونگی ضربه بار قائم در هنگام زلزله‌های حوزه نزدیک نیز جای بحث و انتقاد از این سیستم سازه ای را دارد.

محل دقیق مفصل پلاستیک و ایجاد عضو فیوز در این سیستم سازه‌ای نیز قابل بررسی می‌باشد. همچنین تاثیر تلفیق دیگر مصالح مثل فولاد، مواد نانو و... و تاثیر آن بر تحلیل غیرخطی این سیستم و ضریب رفتار آن از دیگر موضوعات جذاب در این زمینه می‌باشد.

فهرست مراجع

۱. میرقادری، ارزیابی رفتار لرزه ای غیرخطی ساختمانهای بتنی ساخته شده با کاربرد قالب تونلی. نخستین کنفرانس بین المللی تکنولوژی بتن، ۱۳۸۸.
۲. ایران، آییننامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم.
۳. ذوالفقاری، م. سالاریان، توسعه منحنی های تردی برای سازه های بتنی قالب تونلی با استفاده از تحلیل IDA. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۱.
۴. زاده، م. ا. ع. و ن. فنایی، بررسی سیستم سازه ای قالب تونلی در ساختمان سازی صنعتی. ۲nd International Congress and Urban Development, 2014 on Structure , Architecture
۵. ابراهیم، ا. محمودزاده کنی، و ع. ص. مرزاه، بررسی رفتار لرزه ای سیستمهای سازه ای دال و دیوار ساخته شده با قالب تونلی. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۸.
۶. نشریه ۵۲۸ مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان.
۷. م. مهندسی زلزله: تئوری کاربردی. انتشارات فرهنگ، ۱۳۸۱.
8. Clough, R. and J. Penzien 3rd, *Dynamics of Structures*, ; University Ave; Berkeley, CA, USA. Computers & Structures, Inc.: Berkeley, CA, USA, 1995.
9. Chopra, A.K., Theory and Applications to earthquake engineering. Dynamic of Structures, 1995.
10. Beheshti aval s.B.*, m.v., nikpour n., Seismic characteristics of tunnel form concrete buildings with irregular plan. Journal of solid and fluid mechanics, 2015. 5: p. 15.
۱۱. ذوالفقاری، محمدرضا، و س. مهران، تعیین ضریب رفتار سازه های بتنی قالب تونلی. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، ۱۳۹۱.
۱۲. بهشتی، و وحیدمحسنیان، برآورد چند سطحی ضریب رفتار برای سازه های بتن آرمه با سیستم قالب تونلی. مهندسی عمران شریف، ۱۳۹۶: p. 53-59.
۱۳. بهشتی، س. و و. محسنیان، مدل احتمالاتی عملکرد لرزه ای سازه های ساختمان بتنی قالب تونلی. مهندسی سازه و ساخت.
۱۴. بهزادی، م. و ر. آقایی، بررسی شکلپذیری و ضریب رفتار سیستمهای سازه ای تونلی-فرم کوتاه مرتبه بتن مسلح. مجله مدلسازی در مهندسی، ۱۳۹۷.
۱۵. معصومی، ع. ه. ج. نژاد، و م. احمدی، ارزیابی پارامترهای موثر در رفتار لرزه یی ساختمان های بتنی قالب تونلی با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی مجله مهندسی عمران شریف، ۱۳۹۴: p. 111-121.

۱۶. یانچشمه، ع.ش. و ع. نیکخوا، محاسبه ضریب رفتار ساختمان های متداول با سیستم قالب تونلی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، ۱۳۹۲.
۱۷. سلیمی، پ. و ح. شکیب، توسعه منحنی های شکنندگی برای ساختمان های بلند بتنی با سیستم دیوار-قالب دارای نامنظمی در ارتفاع با استفاده از تحلیل دینامیکی. پایاننامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مهندسی زلزله، ۱۳۹۵.
۱۸. خانقاهی، ب.ر. و ن. امانی، مقایسه اقتصادی ساختمان های قالب تونلی با ساختمان های بتنی و فلزی. ۱۳۹۵.
۱۹. مرادی، ح. ر.م. کوهساری، و و.ش. حسینی، ارزیابی مزایای ساخت صنعتی و بررسی دلایل عدم توسعه ی آن ها در صنعت ساخت و ساز ایران. دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، ۱۳۹۴.
20. Habibi, A., R. Gholami, and M. Izadpanah, Behavior factor of vertically irregular RCMRFs based on incremental dynamic analysis. *Earthquakes and Structures*, 2019. 16(6): p. 655-664.
21. Yuksel, S.B. and E. Kalkan, Behavior of tunnel form buildings under quasi-static cyclic lateral loading. *Structural Engineering and Mechanics*, 2017. 27(1): p. 99.
22. Balkaya, C. and E. Kalkan, Seismic vulnerability, behavior and design of tunnel form building structures. *Engineering Structures*, 2014. 26(14): p. 2081-2099.
23. Balkaya, C. and E. Kalkan, Estimation of fundamental periods of shear-wall dominant building structures. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 2003. 32(7): p. 985-998.
24. Tavafoghi, A. and S. Eshghi. Seismic behavior of tunnel form concrete building structures. in *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. 2008.
25. erol kalkan, c.b., relevance of r-factor and fundamental period for seismic design of tunnel form buildings. 2019: p. 31-53.
26. Balkaya, C. and E. Kalkan. Seismic design parameters for shear-wall dominant building structures. in *The 14th national congress on Earthquake Engineering*. 2003.
27. Balkaya, C. and E. Kalkan, Nonlinear seismic response evaluation of tunnel form building structures. *Computers & Structures*, 2003. 81(3): p. 153-165.
28. Code, P., Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels: European Committee for 29. Bruneau, M. and J.M. Cohen, Review of NBCC earthquake-resistant design requirements for cladding connectors. *Canadian journal of civil engineering*, 1994. 21(3): p. 455-460.
30. Agency, F.E.M., NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. 2003: Fema.
31. Bachman, R.E. and D.R. Bonneville, The seismic provisions of the 1997 Uniform Building Code. *Earthquake spectra*, 2000. 16(1): p. 85-100.
۳۲. توکلی،مناف پور، بررسی مقایسه ای آیین نامه های لرزه ای ایران،شیلی و امریکا. اولین کنگره بین المللی ساخت و ساز شهری در مجاورت گسل های فعال، ۱۳۹۰.
۳۳. رف و ف تهیه منحنیهای شکست برای ترانسهای جریان ولتاژ خازنی. پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران گرایش سازه، دانشگاه علم و فرهنگ، ۱۳۸۸.

34. Berahman, F. and F. Behnamfar, Seismic fragility curves for un-anchored on-grade steel storage tanks: Bayesian approach. Journal of Earthquake Engineering, 2007. 11(2): p. 166-192.
۳۵. اول، ب.، بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی، ۱۳۹۱: 725-756.
36. Nielson, B.G., Analytical fragility curves for highway bridges in moderate seismic zones. 2005, Georgia Institute of Technology.
37. Kinali, K., Seismic fragility assessment of steel frames in the central and eastern United States. 2007, Georgia Institute of Technology.
۳۸. ساختمان م.، مقررات ملی ساختمان ایران مبحث ششم بارهای وارد بر ساختمان. دفتر امور مقررات ملی ساختمان. وزارت راه و شهرسازی. معاونت مسکن و ساختمان، ۱۳۹۲.
۳۹. صادقی، ح.، مرجع جامع نرم افزار پرفورم (برای تحلیل های غیرخطی و طراحی بر مبنای سطح عملکرد). ۸۹، ۲۸۴.
40. Bertero, V. Evaluation of response reduction factors recommended by ATC and SEAOC. in Proceedings. 1986.
41. Miranda, E., Seismic evaluation and upgrading of existing buildings. 1992.
42. Lai, S.-S.P. and J.M. Biggs, Inelastic response spectra for aseismic building design. Journal of the Structural Division, 1980. 106(6): p. 1295-1310.
43. B.G. Nielson, Analytical fragility curves for highway bridges in moderate seismic zones, Georgia Institute of Technology, 2005.
44. C.A. Cornell, F. Jalayer, R.O. Hamburger, D.A. Foutch, Probabilistic basis for 2000 SAC federal emergency management agency steel moment frame guidelines, Journal of structural engineering, 128(4) (2002) 526-533.
۴۵. هاشمی، ح.، ارزیابی احتمالاتی رفتار لرزه ای قاب های خمشی بتنی ویژه دارای نامنظمی سختی در ارتفاع بر اساس دستورالعمل FEMA695
46. ATC 34. Field manual: safety evaluation of buildings after wind storms and floods. Applied technology council
47. Federal Emergency Management Agency, FEMA-356 (2000) Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington DC. ... The behavior of a building during earthquakes depends critically on its overall shape, size and geometry.
48. The Hazus User Manuals are designed to support model functionality, while the Hazus Technical Manuals provide detailed information about how the models work and how to generate loss estimates.
۴۹. بهزادی، سال شانزدهم، شماره 52، بهار 139 بررسی شکلی پذیری و ضریب رفتار سیستم های سازه های تونلی - فرم کوتاه مرتبه بتن مسلح.
۵۰. ع.ع. تسنیمی، م. سلیمی، " اثر محصورشدگی بتن بر ضریب رفتار سازه های بتنی"، نشریه دانشکده مهندسی، سال نوزدهم، شماره یک، 1386، صفحه 1-19

51. UBC, Uniform Building Code, International Conference of Building Officials. CA., 1997.
52. International Building Code, IBC, International Code Council, 2006.
۵۳. بهشتی، محسنیان، براورد چند سطحی ضریب رفتار سازه‌های بتن آرمه با سیستم قالب تونلی، مهندسی عمران شریف، بهار ۱۳۹۶، دوره ۳۲-۲ شماره ۱/۲، ص. ۵۳-۵۹
54. N. M. Newmark, W. J. Hall, Earthquake Spectra and Design, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California 1982.
55. A. Elnashai, A. Mwafy, Struct. Des. Tall Build. 2002, 11(5), 329.
56. Samadi.m. Comparative study on the effect of outrigger on seismic response of tall buildings with braced and Wall Core.

Abstract:

Due to population growth and migration to the cities, industrial technologies in construction have been more popular in recent years. One of these methods is tunnel form concrete building structures. Although most of the structures with the Tunnel Form Concrete system are regular structures (in plan or height) it is necessary to consider the mass irregularity on structural behavior in this thesis.

Firstly, six structures with or without mass irregularity were modeled and designed with ETABS2016 and then, the structures were modeled with PERFORM3D. After the verification of the finite element model, the seismic assessment of structures was performed by time history analysis and then IDA analysis. Fragility curves were obtained using performance levels according to the HAZUS guideline.

Seismic modification factor, overstrength factor, ductility ratio, and median fragility were obtained and discussed during this thesis. Finally, the suitable modification factor in tunnel form concrete system considering the mass irregularity effect was proposed using the analysis results.

The results showed that the irregularity caused a lower seismic modification factor and lower ductility ratio. Moreover, by increasing the height of structures in both regular or irregular form, the seismic modification factor and ductility ratio increased due to a higher structural period (T).

Keywords: Tunnel form concrete building, Seismic modification factor, Ductility ratio, IDA analysis, Fragility curve.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Structural Engineering

Seismic assesment and behavior factor evaluation of concrete structures with tunnel system with mass irregularity

By: seyed Hamed Hosseini

Supervisor: Dr Ebrahim Zamani

September 2021