دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد

(گرایش زلزله)

عنوان:

بررسی شکل پذیری سیستم های مرکب قاب بتنی و دیوار پیش ساخته تحت بار سیکلی

توسط:

رضا شاهمرادی

استاد راهنما:

دکتر محمد زمان کبیر

بهمن ۱۳۸۴

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه

کارشناسی ارشد و دکترا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تاریخ: ۸۷/۳/۱۳

پیوست:.....

نام و نام‌خانوادگی: رضا شاهمرادی **دانشجوی: آزاد (X) بورسیه (...) معادل (...)**

شماره دانشجویی:۸۲۱۲۴۳۴۰ **دانشکده**: عمران و محیط زیست **رشته تحصیلی**: مهندسی زلزله

نام و نام‌خانوادگی استاد راهنما: آقای دکتر محمد زمان کبیر

عنوان پایان‌نامه به فارسی: بررسی شکل پذیری سیستم های مرکب قاب بتنی و دیوار پیش ساخته تحت بار سیکلی

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:

Ductility study of combined system of RC frame and prefabricated wall panels subjected to cyclic loading

کارشناسی ارشد (X)
دکتـــــــــرا (...)

نوع پروژه: کاربردی (X) بنیادی (...) توسعه‌ای (...) نظری (...)

تاریخ شروع: ۸۳/۸/۱۸ **تاریخ خاتمه**: ۸۴/۱۱/۲۶ **تعداد واحد**: ۶

سازمان تأمین کننده اعتبار:

واژه‌های کلیدی به فارسی: پانلهای ساندویچی، قاب بتنی، سیستم ترکیبی، شاتکریت، رفتارسیکلی، شکل پذیری

واژه‌های کلیدی به انگلیسی:

Prefabricated Wall Panels, RC Frame, Combined system, Infill, 3D Sandwich Panels, Shotcrete, Hystersis Loops, Ductility

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ**:

نسخه ۱: معاونت پژوهشی

نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان‌نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و کلیات **۱**

فصل دوم: بررسی سیستمهای ترکیبی و پارامترهای لرزه ای **۵**
۲-۱-مقدمه ۵
۲-۲-سیستمهای ساختمانی در گذشته و حال ۶
۲-۳-توسعه سیستمهای مقاوم در برابر زلزله ۸
۲-۴-ویژگیهای لرزه ای سیستم های سازه ای ۱۲
۲-۴-۱- طراحی (رفتار) الاستیک ۱۲
۲-۴-۲- رفتار سیکلی و تغییر شکل غیر خطی ۱۳
۲-۴-۳-اتلاف انرژی ۱۳
۲-۴-۴-هزینه مرمت پس از زلزله ۱۴
۲-۵- مبانی نظری شکل پذیری و ضریب رفتار ۱۷
۲-۶- شکل پذیری(Ductility) ۱۸
۲-۶-۱- تعریف شکل پذیری مورد نیاز (Required ductility) ۱۸
۲-۶-۲- تعریف شکل پذیری قابل حصول سازه(Available Ductility) ۱۹
۲-۶-۲-الف- تعریف تغییر شکل مرحله تسلیم: ۱۹
۲-۷- ضریب رفتار(Behavior Factor) ۲۳
۲-۷-۱-تعریف اصطلاحات مورد نیاز ۲۳
۲-۷-۲- روشهای دیگر تعیین ضریب رفتار ۲۷
۲-۸- جمع بندی ۲۹

فصل سوم: معرفی پانلهای ساندویچی مورد بررسی و مروری بر تحقیقات گذشته **۳۰**
۳-۱-معرفی پانلهای ساندویچی ۳۰
۳-۲- اجزا تشکیل دهندۀ پانل و ویژگی های آنها ۳۱
۳-۲-۱- شبکه های فولادی جوش شده ۳۱
۳-۲-۲- لایۀ عایق و خواص آن ۳۲
۳-۲-۳- بتن شاتکریتی مورد استفاده و ویژگیهای آن ۳۵
۳-۳-انواع پانلهای مورد استفاده ۳۵
۳-۴- عملکرد پانلها و ساختمانهای پانلی ۳۹

۳-۵-تحقیقات انجام گرفته توسط گذشتگان ۴۰
۳-۶-استانداردها ومراجع موجود در مورد پانلهای ساندویچی ۴۵

فصل چهارم: مطالعه آزمایشگاهی ۴۶
۴-۱- مقدمه ۴۶
۴-۲- ساخت، عمل‌آوری و انتقال نمونه‌ها ۴۷
۴-۲-۱- مشخصات عمومی نمونه ها ۴۷
۴-۲-۲- مشخصات تکیه گاه و سیستم بارگذاری ۵۰
۴-۲-۳- ساخت و عمل آوری نمونه ها ۵۴
۴-۳- آزمایشات مصالح ۵۹
۴-۴- آماده سازی، انجام تست و مشاهدات آزمایشگاهی ۶۴
۴-۴-۱-آماده سازی نمونه ها و شرایط آزمایشگاهی ۶۴
۴-۴- ۲-تست نمونه ها و مشاهدات آزمایشگاهی ۷۴

فصل پنجم: مطالعهٔ عددی با استفاده از نرم افزار ANSYS ۹۷
۵-۱- مقدمه ۹۷
۵-۲- مراحل کلی تحلیل یک مسئله توسط ANSYS ۹۸
۵-۳- تعیین نوع المان، المان SOLID65 ۹۹
۵-۴- معیار شکست بتن در برنامه ANSYS ۱۰۵
۵-۵- المان LINK8 ۱۰۸
۵-۶- فرضیات پلاستیسیته موجود در برنامه ANSYS ۱۱۰
۵-۷- خواص مصالح و ثابت های حقیقی ۱۱۲
۵-۸- ساخت مدل و مش بندی (Meshing) ۱۱۴
۵-۹-تعریف قیود تکیه گاهی و بار گذاری مدل ۱۱۸
۵-۹-۱- انواع بارهای سازه ای ۱۱۸
۵-۹-۲- نحوهٔ اعمال قیود تکیه گاهی به مدل ۱۱۹
۵-۹-۳- اعمال تغییر مکان (بارگذاری) مدل ۱۲۱
۵-۱۰- تحلیل غیر خطی ، همگرایی و روش حل معادلات ۱۲۳
۵-۱۰-۱- تحلیل غیر خطی ۱۲۳
۵-۱۰-۲- حل عددی معادلات ۱۲۴
۵-۱۰-۳- معیار همگرایی ۱۲۵
۵-۱۱- نتایج بدست آمده از تحلیل عددی نمونهٔ قاب با پانل ساندویچی ۱۲۵
۵-۱۱-۱- ترکهای خوردگی در نمونه ۱۲۶
۵-۱۱-۲- تنشهای موجود درنمونه ۱۲۷

۵-۱۱-۳– عملکرد میلگردها، خاموت ها و مشهای فولادی : ۱۳۱
۵-۱۲- آنالیز قاب بتن آرمه بدون میانقاب ۱۳۴

فصل ششم: مقایسه و استخراج نتایج نهایی ۱۴۱
۶-۱- مقدمه ۱۴۱
۶-۲- مقایسهٔ عملکرد نمونه ها ۱۴۲
۶-۳- برآورد ضریب شکل پذیری ۱۴۶

فصل هفتم: جمع بندی و نتیجه گیری ۱۵۰
۷-۱- خلاصه و نتیجه گیری ۱۵۰
۷-۲- پیشنهاداتی جهت تحقیقات آینده ۱۵۲

فهرست مراجع ۱۵۴

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان : **بررسی شکل پذیری سیستم های مرکب قاب بتنی و دیوار پیش ساخته تحت بار سیکلی**

ارائه شده توسط **رضا شاهمرادی** شماره دانشجویی **۸۲۱۲۴۳۴۰** گرایش **زلزله**

استاد راهنما : **دکتر محمد زمان کبیر** تاریخ تحویل : **۸۴/۱۱/۲۶**

با توجه به لرزه خیزی، کشورمان سالیانه شاهد چندین زلزله با بزرگی و شدت متفاوت می باشد، که از آخرین نمونه های آن از زلزله بم می توان نام بردکه باعث خسارات جانی و مالی فراوانی شد. رعایت طراحی لرزه ای مناسب از ضروری ترین اصول برای کشورهایی نظیر ایران است که در مناطق زلزله خیز قرار دارند. طراحی ساختمانها به گونه ای است که به هنگام وقوع زلزله های متوسط و بالا وارد محدوده غیرخطی می گردند. سازۀ مطلوب باید بتواند تغییر شکل های غیر ارتجاعی کافی را بدون کاهش چشمگیر در مقاومت تحمل نماید؛ به عبارت دیگر سازه باید از شکل پذیری مناسب برخوردار باشد. یکی از فنون مطرح شده در صنعت ساخت و ساز کشورمان طی سالهای اخیر استفاده از صفحات ساندویچی 3D متشکل از دو لایه بتن مسلح با شبکه جوش شده و یک لایه پلی استایرن می باشد. استفاده از این پانلهای ساندویچی چه به عنوان میانقاب و چه به عنوان عناصر باربر سازه ای در کشورمان رواج زیادی داشته است. لذا به منظور تلاش در جهت شناسایی رفتار لرزه ای این سازه ها، در این تحقیق بررسی شکل پذیری پانل های ساندویچی در قابهای بتن مسلح و نیز سایر دیوارهای متداول، بصورتی مقدماتی مد نظر بوده است. عملکرد سیستمهای ترکیبی تشکیل شده از قاب و دیوار به طور بارزی با سیستم قاب تنها متفاوت می باشد و لذا احتیاج به بررسی، مدلسازی وآزمایشات مجزا دارد. در این راستا و برای مطالعه ای محدود ودر چهارچوب امکا نا ت قابل دسترس، اقدامات زیر صورت گرفت. چهار تیپ نمونۀ متفاوت ساخته شد که عبارت بودند از قاب بتن مسلح، قاب بتنی دارای دیوار پانل ساندویچی، قاب بتنی با دیوار بتن مسلح و قاب بتنی با دیوار آجری غیر مسلح. نمونه گیری و آزمایشات مربوط به مقاومت مصالح صورت پذیرفت. نمونه های ساخته شده پس از عمل آوری کامل به محل آزمایشگاه منتقل شده و در آنجا تحت بارگذاری استاتیکی رفت و برگشت (به روش کنترل تغییر مکان) قرار گرفتند. نتیجۀ آزمایشات به صورت منحنیهای بار، تغییر مکان بدست آمده و منحنی پوش هر یک از آنها حاصل شد. با استفاده از این منحنیها ضریب شکل پذیری هر یک از نمونه ها بر اساس تئوری های مفروض محاسبه گردید. در کنار این آزمایشات مدل عددی از قاب بتنی با دیوار ساندویچی و نیز قاب بتن مسلح بدون میانقاب ساخته شد و مورد تحلیل قرارگرفت.

کلمات کلیدی: پانلهای ساندویچی، قاب بتنی، سیستم ترکیبی، شاتکریت، رفتارسیکلی، شکل پذیری

فصل اول

مقدمه و کلیات

نظر به اینکه ایران روی یکی ازکمربندهای فعال زمین لرزه در جهان قرار دارد، ایجاد سازه های مقاوم و امن از اولویت خاصی برخوردار است. با توجه به لرزه خیزی کشورمان و قرار گیری آن بر روی کمربند لرزه ای که ناشی از برخورد دو صفحه تکتونیکی آسیا – اروپا و عربستان ، ایران سالیانه شاهد چندین زلزله با بزرگی و شدت متفاوت می باشد، که از آخرین نمونه های آن از زلزله بم می توان نام برد که باعث خسارات جانی و مالی فراوانی شد. امروزه ساخت ساختمانهای ایمن و مقاوم در برابر زلزله از نیازهای اصلی صنعت ساختمان می باشد.

یکی از فنون رایج در ساخت و ساز طی سالهای اخیر استفاده از صفحات ساندویچی 3D متشکل از دو لایه بتن مسلح با شبکه جوش شده و یک لایه پلی استایرن می باشد. افزایش در سرعت ساخت، پیش ساختگی، مقاومت در مقابل تغییرات دما و عوامل محیطی، کاهش نسبی وزن را می توان از عوامل مهم در استفاده از سیستم پانلهای ساندویچی3D برشمرد. در این تحقیق بررسی رفتار لرزه ای پانلهای ساندویچی در قابهای بتن مسلح (در قالب بررسی شکل پذیری آنها) و نیز برخی انواع دیگر میانقابهای متداول مد نظر بوده است. با توجه به گستردگی موضوع، وجود حالتهای بسیار متفاوت قابل تصور در مورد هندسه، مصالح و جزییات هریک از تیپ نمونه ها این امر بصورتی بسیار خاص و محدود صورت گرفت و در این حد صرفآ برای نمونه های بررسی شده صادق است . این نتایج بدون تحقیقات گسترده و بررسی اثر هر یک از پارامترهای مطرح قابل تعمیم نبوده و نیاز به پژوهش گسترده ای دارد.

یکی از مسائلی که در طراحی ساختمانها مطرح است، طراحی لرزه ای آنها می باشد. طراحی لرزه ای از ضروری ترین روشهای طراحی برای کشورهایی نظیر ایران است که در مناطق زلزله خیز قرار دارند. طراحی ساختمانها به گونه ای است که به هنگام وقوع زلزله های متوسط و بالا وارد محدوده غیرخطی می گردند. به عبارت دیگر سازه ها با مقاومتی کمتر از مقاومت مورد نیاز طراحی می گردند و با پذیرش تغییر مکانهای زیاد و ورود به محدوده رفتار غیر ارتجاعی بخش قابل توجهی از انرژی وارده ناشی از زلزله را مستهلک می نمایند. در اینجا مسئلهٔ شکل پذیری اهمیت پیدا می کند. سازه ای دارای شکل پذیری مناسب است که بتواند تغییر شکل های غیر ارتجاعی لازم را بدون کاهش قابل توجه درمقاومت آن ، تحمل نماید.

همانگونه که بیان شد استفاده از پانلهای ساندویچی چه به عنوان میانقاب و چه به عنوان عناصر باربر سازه ای در کشورمان رواج شایانی داشته است. لذا با توجه به لزوم درک رفتار لرزه ای این سازه ها، در این تحقیق به صورتی بسیار ابتدایی بررسی شکل پذیری میانقابهای ساندویچی در قابهای بتن مسلح و نیز سایر روشهای متداول مد نظر بوده است. عملکرد سیستمهای ترکیبی تشکیل شده از قاب و دیوار به طور بارزی با سیستم قاب تنها متفاوت می باشد و لذا احتیاج به بررسی ، مدلسازی وآزمایشات مجزا دارد. در این راستا و برای مقایسه ای محدود و در چهارچوب امکا نا ت قابل دسترس، اقدامات زیر صورت گرفت.

چهار تیپ نمونهٔ متفاوت ساخته شد گه عبارت بودند از قاب بتنی فاقد میانقاب، قاب بتنی با میانقاب آجری غیر مسلح و بدون اتصال به قاب، قاب بتنی با میانقاب بتن مسلح با اتصال بالا و پایین دیوار به قاب و تکیه گاه تحتانی و قاب بتنی دارای میانقاب پانل ساندویچی با اتصال کافی در بالا و پایین و نیز بین دیوار وستونها. نمونه گیری و آزمایشات مربوط به مصالح بتن و فولاد صورت پذیرفت.

نمونه های ساخته شده پس از عمل آوری کامل به محل آزمایشگاه منتقل شدند و در آنجا تحت بارگذاری سیکلی کنترل تغییر مکان توسط جک قرار گرفتند.

به موازات آزمایشات، مدل عددی با مشخصات مشابه مدل آزمایشگاهی از نمونه قاب با میانقاب ساندویچی وقاب تنها ساخته شد و توسط نرم افزار ANSYS مورد آنالیز قرار گرفت.

نتیجهٔ آزمایشات به صورت منحنیهای بار، تغییر مکان بدست آمده و منحنی پوش هر یک از آنها حاصل شد. با استفاده از این منحنیها ضریب شکل پذیری هر یک از نمونه ها بر اساس تئوری های مفروض محاسبه گردید. در نهایت نتایج ومشاهدات حاصله مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

این پایان نامه شامل فصول و مطالب زیر می باشد :

فصل اول : مقدمه و کلیات

این فصل شامل توضیح اهمیت موضوع ، تعریف موضوع تحقیق و فصول پایان نامه در آن آورده شده است.

فصل دوم : بررسی سیستمهای ترکیبی و پارامترهای لرزه ای

فصل سوم : معرفی پانلهای ساندویچی مورد بررسی و مروری بر تحقیقات گذشته

این فصل شامل معرفی سیستم پیش ساخته 3D ، طریقه اجرا و مشخصات مصالح بکار رفته و روند تولید این پانلها می باشد.

فصل چهارم : مطالعه آزمایشگاهی

در این فصل روش انجام آزمایش ، ساخت ، و عمل آوری نمونه ها ، مشخصات مشترک ، مراحل آماده سازی ، انجام تست و مشاهدات آزمایشگاهی و نتایج آورده شده است.

فصل پنجم : مطالعهٔ عددی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS

در این فصل نرم افزار ANSYS ، مدل سازی نمونه ها ، خصوصیات المانهای بکار رفته ، مشخصات مصالح ، طریقه بار گذاری و نتایج بدست آمده از تحلیل عددی آورده شده است.

فصل ششم : مقایسه و استخراج نتایج نهایی

فصل هفتم: جمع بندی و نتیجه گیری

در این فصل به جمع بندی کلی فصول گذشته پرداخته و زمینه های آتی تحقیقاتی بیان می شود.

فصل دوم

بررسی سیستمهای ترکیبی و پارامترهای لرزه ای

۲-۱-مقدمه

سیستم های ساختمانی در طی یک قرن گذشته دچار تحولات فراوانی شده اند که یکی از دلایل این ا مر بروز زمین لرزه ها بوده است. پس از بروز این زمینلرزه ها محققان به بررسی عملکرد سازه های مختلف در برابر لرزش زمین پرداخته اند و اقدام به اصلاح سیستمهای سازه ای موجود و یا پیشنهاد برای سیستمهای جدید سازه ای نموده اند. یکی از نتایج این امر پیدایش وتکامل سیستمهای ترکیبی می باشد. نتیجه دیگر این روند، تکامل فرایند طرااحی لرزه ای و بررسی پارامترهای متعددی است که بر آن تاثیر می گذارند. اصولاً طراحی لرزه ای سازه ها بایستی طوری باشد که ساختمان در هنگام وقوع زلزله های کوچک در محدوده خطی و بدون خسارت بماند، در زلزله های متوسط خسارتهای غیر سازه ای ببیند و در هنگام زلزله های شدید و بزرگ خسارتهای سازه ای و غیر سازه ای داشته باشد ولی پایداری کلی آن حفظ گردد. در این فصل تاریخچه وتکامل سیستمهای سازه ای و نیز پارامتر های لرزه ای آنها

به اجمال بررسی میگردد ودر ادامه بحث شکل پذیری و مراحل محاسباتی آن که بحث این پایان نامه است با جزئیات بیشتری مرور می شود.

۲-۲-سیستمهای ساختمانی در گذشته و حال[۱]

پس از مشاهده خسارات وارده در اثر زلزله هایی نظیر سال ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو گروهی از مهندسین و محققان شروع به مطالعه و تحقیق نمودند تا راه حل هایی سازه ای برای مشکل پاسخ لرزه ای سازه ها بیابند این روند خلاقانه در طول ۱۰۰ سال گذشته ادامه داشته و امروز نیز بر روی آن کار می شود . مختصری از مراحل کلیدی پیشرفت طراحی لرزه ای به قرار زیر می باشد :

- اولین طراحی های بار جانبی بر مبنای بار باد و بروش های نیروهای استاتیکی صورت گرفته است که این روند از اواخر ۱۹ میلادی آغاز شد ودر اوایل سده بیستم نیز ادامه یافت .
- پس از زلزله سال ۱۹۰۶ ایده پاسخ دینامیکی ساختمانها مورد توجه قرار گرفت و در اوایل دهه ۳۰ مطالعات اولیه بر روی دینامیک سازه بروشهای تحلیلی و مدلسازی در دانشگاه استنفورد آغاز شد . این مطالعات درنهایت به شیوه ای در طراحی که اهمیت پریود سازه ها و مفاهیم دینامیکی (به جای استاتیکی) را در نظر میگیرند منتهی شد .
- پروفسور Housner در دانشگاه کالیفرنیا ایده طراحی دینامیکی را با کاربرد روش طیف شتاب برای طراحی بسط داد.
- با توسعه روز افزون روشهای تحلیلی نیاز مبرمی به دانستن چگونگی رفتار غیر خطی اجزا سازه ای احساس می شد لذا بین سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ آزمایشات متعددی در دانشگاه های مختلف بر روی بخشهای گوناگون سازه ها صورت گرفت تا رفتار واقعی آنها مشخص شود .
- از آغاز دهه هشتاد میلادی تاکنون برنامه های کامپیوتری متعددی برای تسهیل آنالیز طراحی سازه های پیچیده و مطالعه رفتار غیر خطی سازه ها نوشته شده اند .

ساختمانهای متوسط شهر سانفرانسیسکو به هنگام وقوع زلزله سال ۱۹۰۶ اکثرا دارای دیوارهای باربر بنایی و سقف و کفهای چوبی بودند .در اثر زلزله طبقات بالای این ساختمانها اکثرا فروریختند و در دیوارهای آنها ترکهای برشی ایجاد شد . ساختمانهای بلند شهر که حدودا از ۱۵ سال پیش از وقوع زلزله ساخته شده بودند دارای سیستمی ترکیبی شامل قابهای فولادی برای تحمل بارهای ثقلی و دیوارهای محیطی بنایی برای تحمل بارهای جانبی بودند . این ساختمانها در خلال زلزله عموما عملکرد خوبی داشتند . نتیجه گیری کلی که از عملکرد سازه های در زلزله ۱۹۰۶ بدست آمد این بود که سیستم ترکیبی که از قاب فولادی برای تحمل بارهای ثقلی و دیوارهای مهار شده آجری برای تحمل بار زلزله تشکیل شده است نسبت به سازه های معمولی عملکرد مناسبی در قبال زمینلرزه از خود نشان می دهد این یکی از اولین کاربردهای سیستم های ترکیبی بوده است که توسط مهندسان آن زمان بکار بسته شد . در خلال سالهای بعدی تا آغاز جنگ دوم جهانی ایده های دیگری نظیر استفاده از مهار بندی های k شکل و استفاده از المان های خرپایی برای تجهیز قابهای فولادی در قبال نیروهای جانبی مورد استفاده قرارگرفت . در همین زمان در امریکا استفاده از سیستم های ترکیبی شامل قاب بتن آرمه و دیوار برشی آغاز گشت و رفته رفته برای ساختمانهای صنعتی و سایر ساختمانهای تجاری متداول شد. در این کشور پس از دهه سی بتن جایگزین مصالح بنایی شد و بدین ترتیب سیستم قاب فولادی و دیوار محیطی بتنی (برای تحمل بار جانبی) رایج گشت . در دهه های ۷۰ و ۸۰ مهندسین آمریکا عموما از یکی از سه مورد مقابل استفاده می کردند .

۱)قاب خمشی بتنی شکل پذیر

۲) تاب خمشی فولادی شکل پذیر

۳) دیوارهای برشی شکل پذیر

مشاهده می شود که در این سالها بحث بر سر شکل پذیر کردن سیستم های موجود بوده است .پس از زلزله سال ۱۹۸۹ Lome Prieta نظر محققان معطوف به عملکرد واقعی سازه های شد . مسئله این بود که آیا نتیجه بدست آمده مطابق با آیین نامه های طراحی با عملکرد واقعی سازه ها به هنگام زلزله مطابقت دارد . بر این اساس موارد زیادی مطرح شد که یکی از مهمترین شان مساله اتلاف انرژی لرزه ای توسط سیستم سازه ای می باشد . با بدنبال نمودن این مساله محققان در نهایت به بررسی سیستم های دوگانه پرداختند . یک سیستم مقاومت مورد نیاز را

فراهم کرده و سیستم دیگر میزان میرایی را بالا برده و نیز انرژی لرزه ای را تلف می کند راه حلهای قابل توجه ارائه شده برای بکار بستن ایده سیستم دوگانه با عناصر دارای رفتار پایدار هیسترزیس بقرار زیر می باشد :

۱- سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی و مهار بندی واگرا . مهاربندی های واگرا رفتار هیسترزیس پایداری فراهم کرده و قاب فولادی رفتار خمشی مناسبی به عنوان سیستم کمکی ایجاد می کند .

۲- ساختمانهای دارای برجهای مهاربندی شده داخلی با عناصر رابط جاری شوندهٔ بین برجها که بهنگام حرکت نسبی برجها ، این عناصر رابط در خلال رفتار خمشی خود انرژی را مستهلک می کنند .

۳- سیستم دارای ۳ جز متصل که شامل قابهای خمشی عناصر رابط و دیوارهای برشی می باشد که از ترکیب عملکرد عناصر صلب ، یک سیستم خمشی شکل پذیر بوجود می آورد.

۴- قاب خمشی فولادی دارای میراگرها یی برای تامین مقاومت (برای محدود نمودن دوران مفاصل قاب) و برای بالا بردن میرایی سیستم و در نتیجه کاهش بارهای لرزه ای

۵- مهاربندی های فولادی ناپیوسته با مهاربندی هایی که رفتارفشاری –کششی پایداری دارند.

۶- سیستم کاملا متفاوت و مطمئنی که از ایده جدا سازی لرزه ای نشات می گیرد . در این سیستم ساختمان بر روی تکیه گاه هیا ایزوله شده قرار گرفته و به طور موثری از زمین جدا شده است . از اوایل دهه هشتاد میلادی مطالعات زیادی بر روی این سیستم انجام گرفته است و اکنون بر روی پروژه های مهمی اجرا می شود .

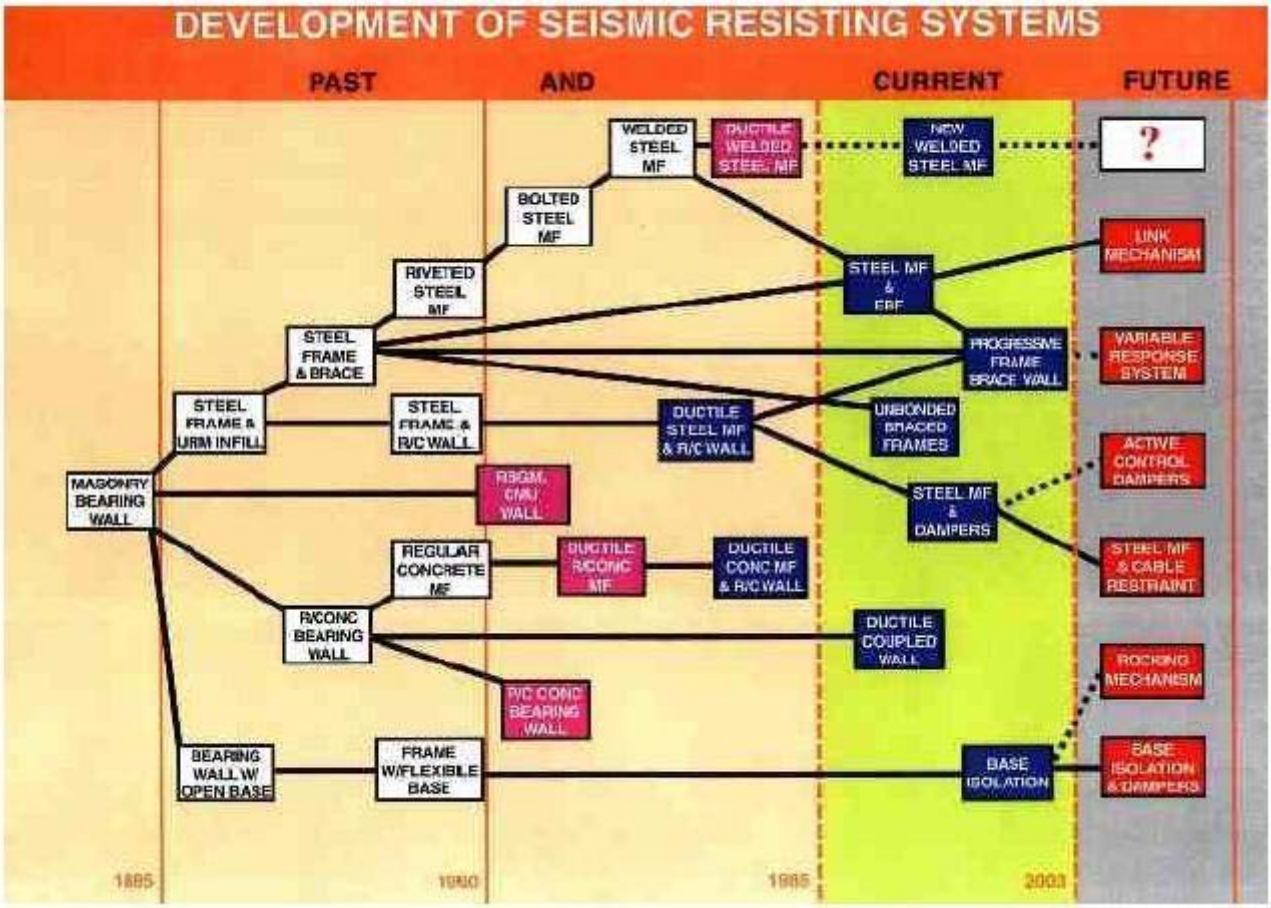
۲-۳-توسعه سیستمهای مقاوم در برابر زلزله

سیستم های ساختمانی در طی یک قرن گذشته دچار تحولات فراوانی شده اند که یکی از دلایل این ا مر بروز زمین لرزه ها بوده است . به عنوان مثال نوعی مناسب تحول سیستم های ترکیبی وبطور کلی تر سیستم های لرزه ای شهر سانفرانسیسکودرشکل۲-۱تصویر شده است . این شکل در واقع خلاصه ای از گذشته ،حال و آنچه برای آینده محتمل است را بدست می دهد و علاوه بر این تا اندازه ای ارتباط بین این سیستم ها را روشن می نماید .

برای درک بهتر پیشرفت ساختمانی در طول زمان در زیر به بررسی دگر گونی سیستم قاب فولادی می پردازیم . دریک بررسی اجمالی می توان ۸ گروه مختلف را بازشناسی نمود که به ترتیب توضیحات هریک از آنها و شکلهای مربوطه (۲-۲) درزیر درج می شوند .

۱) سالهای ۱۹۲۰-۱۸۹۰: قاب ساده فولادی با میانقا بهای غیر مسلح آجری ؛ دراین سیستم ترکیبی از اتلاف انرژی از طریق جابجایی گره های آجری صورت می گرفته است و مرمت دیوارها پس از زلزله به سهولت انجام می شده است .

۲) ۱۹۳۰-۱۹۱۰: استفاده از میانقابهای بتن مسلح و استفاده از صفحه لچکی برای اتصال تیروستون ؛ میانقابهای بتن مسلح تغییر شکل جانبی سازه را کنترل می نمودند .



شکل۲-۱- تکامل سیستمهای مقاوم در برابر زلزله[۱]

۳) ۱۹۴۰-۱۹۱۰ : استفاده از سیستم های مهاربندی خرپایی به عنوان روشی ارزان قیمت برای کنترل تغییر مکان قاب؛ پوشش بتنی اجرا شده بر روی این سیستم ترکیبی سختی جانبی زیادی فراهم می آورد و با تقویت ستونها عملکرد سیستم را به سوی جاری شدن تیرها سوق می داد .

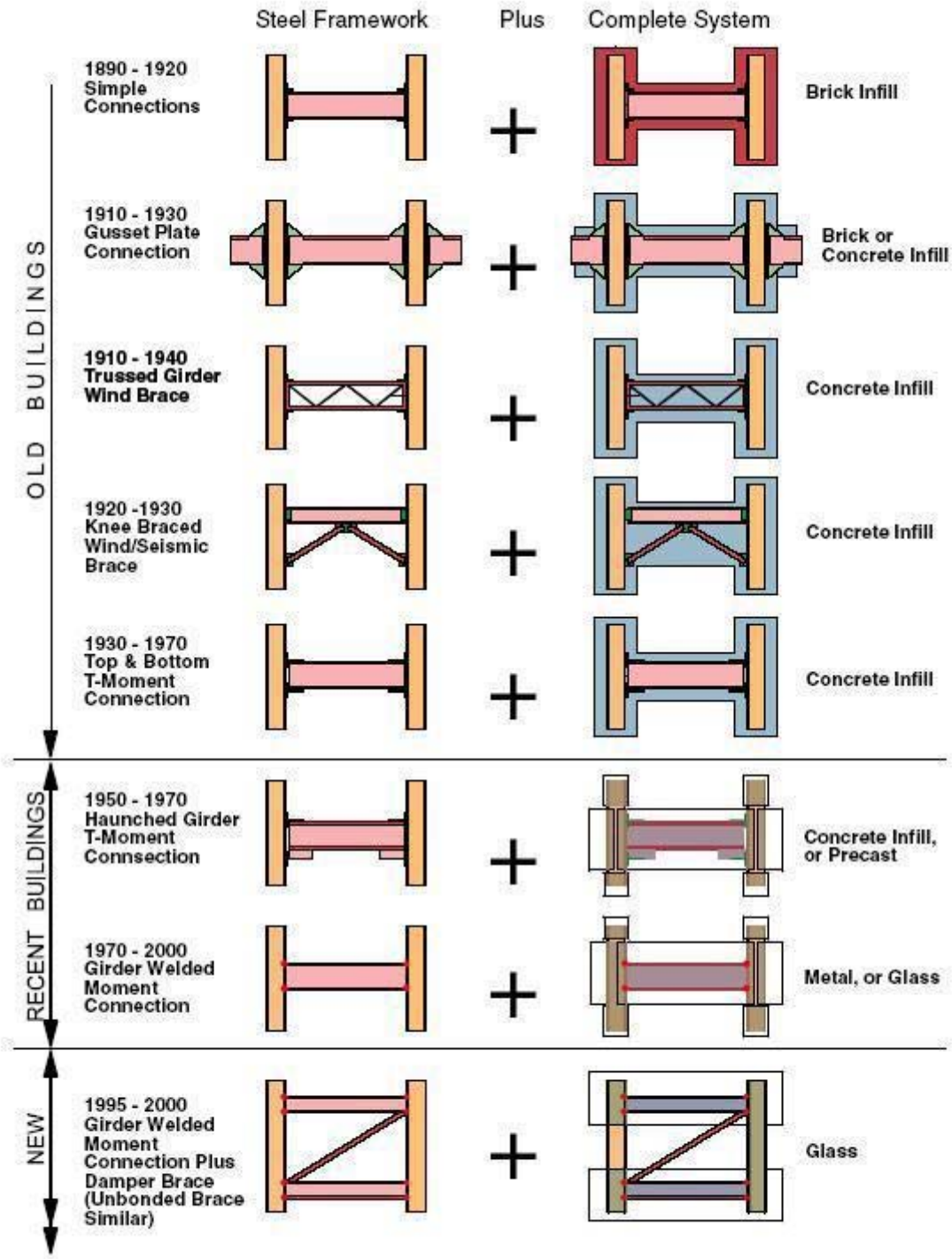
۴) ۱۹۴۰-۱۹۲۰: قاب خمشی با مهاربندی های زانویی شکل و پوشش بتنی .

۵) ۱۹۷۰-۱۹۳۰ : ایجاد قاب خمشی فولادی با اتصال بالا و پایین شاهتیرها بوسیله پیچ یا پرچ به ستونهای سازه ؛ استفاده از پوشش بتنی باعث افزایش سختی سازه می شد .

۶) ۱۹۷۰-۱۹۵۰ : ایجاد قاب خشمی فولادی با اتصال بالا و پایین تیر ماهیچه دار بوسیله پیچ ؛ توسط بتن ریزی در جا سختی سیستم افزوده می شد .

۷) ۲۰۰۰-۱۹۷۰ : قابهای خمشی فولادی با اتصالات جوشی و طراحی شکل پذیر ؛ پوشش قابها از بتن پیش ساخته، پانلهای فلزی و یا شیشه بود ولی تکیه اصلی سیستم برای تحمل بارهای لرزه ای بر خود قابها بود . پس از وقوع زلزله هایی مانند Northridge آسیب پذیری قابهای خمشی فولادی با اتصالات جوشی آشکار شد که این امر سبب تحقیقات زیادی برای یافتن راه حلی در قالب سیستم های ترکیبی گشت .

۸) ۲۰۰۰-۱۹۹۵ : قابهای خمشی فولادی با سیستم دوگانه که از میراگر ، مهاربندی های ناپیوسته و یا مهاربند ها ی واگرا بهره می جویند ؛ برای پوشش این سیستم ها عموما از مواد سبک استفاده می شود .



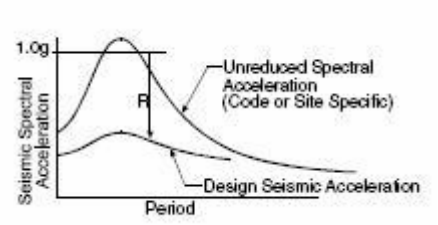
شکل ۲-۲-خلاصه ای از سیستمهای سازه های فولادی بلند مرتبه[۱]

۲-۴-ویژگیهای لرزه ای سیستم های سازه ای

برای مقایسه سیستم های مختلف سازه ای می توان از ۴ مشخصه آنها بهره جست . این مشخصه ها عبارتند از طراحی (رفتار) الاستیک ، رفتار سیکلی و تغییر شکل غیر خطی ، اتلاف انرژی و هزینه مرمت پس از زلزله . با تعریف این ۴ مشخصه و محاسبه اجمالی آنها برای سیستم های ترکیبی ساختمانهای مختلف می توان معیاری برای مقایسه سیستم های گوناگون بدست آورد .

۲-۴-۱- طراحی (رفتار) الاستیک

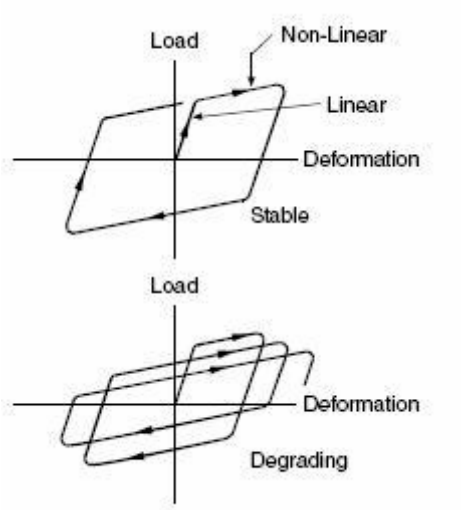
این مشخصه توسط پارامتر R معرفی می شود که مقدار طیف شتاب را به یک نیروی طراحی لرزه ای ساده تصحیح می کند . این روش با وجود سادگی ، در بیان عملکرد ، رفتار غیر خطی سیکلی و اتلاف انرژی ضعیف است .



شکل ۲-۳-تاثیر پارامتر R [۱]

۲-۴-۲- رفتار سیکلی و تغییر شکل غیر خطی

تخمین خوبی برای عملکرد لرزه ای سازه ، برخورداری از سیکلهای هیسترزیس پایدار می باشد . نمودار بار در برابر تغییر شکل بدست آمده برای یک المان در قبال حرکت در دو جهت ، همانند شکل صفحهٔ بعد ، بیانگر رفتار سیکلی می باشد . اگر منحنی های بدست آمده کامل و بدون پایین افتادگی و جمع شدگی باشند معرف سیستمی پایدار هستند . این چنین سیستم شکل پذیر بوده وظرفیت کافی برای اتلاف انرژی حین تکانهای ایجاد شده توسط زلزله را دارا می باشند .شکل بعدی فرم این منحنی ها را نشان می دهد .

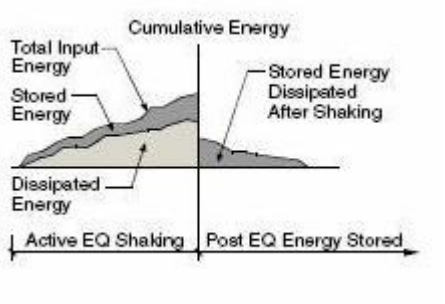


شکل ۲-۴- فرم شماتیک حلقه های هیسترزیس [۱]

۲-۴-۳-اتلاف انرژی

با حرکت زمین ، انرژی لرزه ای در سازه ذخیره می شود . اگر انرژی وارده در اثر زمینلرزه بتواند در سازه ذخیره شده و تلف شود ، رفتار سازه مطلوب خواهد بود . در غیر این صورت سازه دچار صدمات موضعی و یا گسیختگی کلی خواهد شد . در حین تکانهای زلزله انرژی وارده دارای روندی تجمعی است و اگر سازه بتواند انرژی تحمیل شده را به

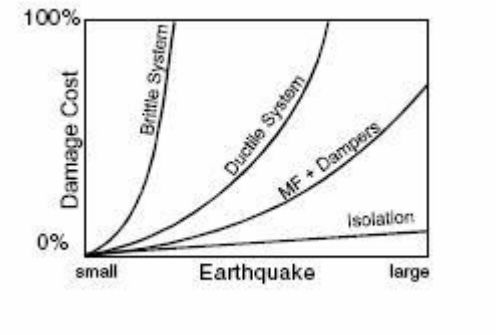
محض ورود تلف نماید مشکلی پیش نخواهد آمد ؛ ولی اگر سازه نتواند انرژی را به طور هما هنگ تلف نماید ساختمان متحمل خسارتهایی از حد ترک های کوچک تا گسیختگی کلی خواهد شد .



شکل ۲-۵-انرژی ذخیره شده وانرژی تلف شده در سازه [۱]

۲-۴-۴-هزینه مرمت پس از زلزله

یکی از معیارهای اصلی یک طرح مناسب مقاوم در برابر زلزله تاثیرات به جای مانده از زمینلرزه بر روی سازه است طرحی موفق خواهد بود که دچار حداقل خسارت شده و هزینه مرمت آن در پایین ترین سطح باشد . ما می‌توانیم با تکیه بر مشاهدات قبلی خود تخمین مناسبی از هزینه تعمیرات بدست آوریم شکل زیر نموداری برحسب شدت زلزله وهزینه مرمت برای ۴ سیستم مختلف می باشد .



شکل ۲-۶- هزینه مرمت پس از زلزله سیستمهای مختلف سازه ای [۱]