

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - سازه

طراحی لرزه‌های اتصالات تیر به ستون بتنی و بررسی ضوابط آئین‌نامه‌ای ایران

توسط:

سیدمجتبی لاله پرور

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا بنان

۱۳۸۷ / ۹ / ۲۳

آذرماه ۱۳۸۶

۱۰۸۲۲۹

به نام خدا

طراحی لرزه ای اتصالات تیر به ستون بتنی و بررسی
ضوابط آئین نامه ای ایران

به وسیله:

سید مجتبی لاله پرور

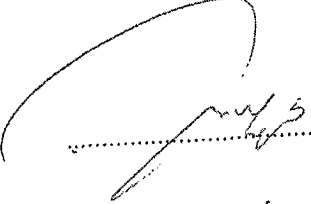
پایان نامه

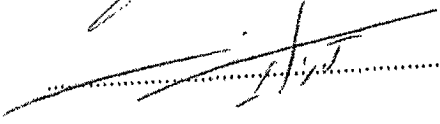
ارایه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی
لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد


در رشته:

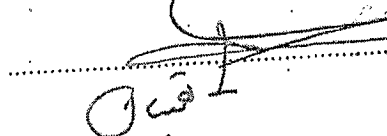
مهندسی راه و ساختمان
دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر محمد رضا بنان، دانشیار بخش مهندسی راه و ساختمان (استاد راهنما).....


دکتر محمود رضا ماهری، استاد بخش مهندسی راه و ساختمان.....


دکتر عبدالرسول رنجبران، دانشیار بخش مهندسی راه و ساختمان.....


دکتر محمد رحیم همتیان، استادیار بخش مهندسی مکانیک.....


آذرماه ۱۳۸۶

تقدیم به:

مادر مهربان و فداکارم

و

همسر عزیز و مهربانم

و

پدر و خواهرانم

سپاسگزاری

باسپاس از اساتید گرامی آقایان دکتر محمد رضا بنان و دکتر محمود رضا بنان که در تکمیل این

پایان نامه مرایاری نمودند.

چکیده

طراحی لرزه‌ای اتصالات تیر به ستون بتنی و بررسی ضوابط آئین‌نامه‌ای ایران

بوسیله‌ی:

سیدمجتبی لاله‌پرور

در صورتیکه یک قاب خمشی بتن آرمه تحت اثر نیروهای لرزه‌ای بزرگ قرار گیرد اتصالات آن باید توانایی تحمل برش بسیار زیادی که به سبب تغییر شکل بزرگ بوجود می‌آیند را داشته باشد. با توجه به آسیب‌های سازه‌ای ناشی از زلزله‌های اخیر که در مناطق مختلف دنیا رخ داده‌اند مانند زلزله‌های (Northridge(1994), Hanshin awaji Kobe(1995), Kocaeli(1999) به نظر می‌رسد، سازه‌های موجود که بر اساس ضوابط آئین‌نامه‌های لرزه‌ای طراحی شده‌اند در برابر زلزله آسیب پذیر می‌باشند. با مطالعه انواع خرابی‌ها و مکانیسم‌های خرابی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که آسیب پذیری اتصالات تیر به ستون بیشتر از آسیب پذیری سایر اجزای سازه‌ای باشد.

برای مناطق لرزه خیز، تیرها و ستون‌ها ممکن است شرایط شکل پذیری (Ductility) را فراهم کنند اما شکل پذیری در گره‌ها بسیار مهم و تعیین کننده است چون اگر گره‌ها این شرط مهم را فراهم نکنند تیر و ستون نمی‌توانند به حداکثر ظرفیت خود برسند و بنابراین شکل پذیری ساختمان تحت تأثیر قرار خواهد گرفت، همچنین سختی کار بر روی اتصالات و مشکلات اجرایی در مورد این اعضا، ضرورت توجه ویژه به اتصالات را بیشتر می‌کند.

هدف از این تحقیق مدلسازی اتصالات تیر به داخلی ستون بتن آرمه به روش المانهای محدود می‌باشد که در نهایت منجر به کنترل و چک کردن توصیه‌های طراحی و ضوابط آئین‌نامه‌ای موجود، که در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان وجود دارد و مرجع اصلی طراحی ساختمان‌های فعلی می‌باشد خواهد شد. مدل‌های مورد نظر در محیط نرم افزار ANSYS9.0 ساخته شده که در مرحله اول با کنترل نتایج آزمایشگاهی جوابهای برنامه به تأیید رسیدند. پس از تأیید صحت مدلسازی مجموعاً ۲۴ نمونه تولید شد. پس از اجرای برنامه برای نمونه‌ها تأثیر پارامترهای مهم در ۴ مورد ظرفیت نهایی، شکل پذیری، ضرایب ظرفیت و مکانیسم‌های خرابی اتصالات مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج نهایی به صورت نمودارها و جداول ارائه گردیده.

کلید واژه: اتصال تیر-ستون بتن مسلح، گره، شکل پذیری، ضوابط آئین‌نامه، طراحی لرزه‌ای

«فهرست مطالب»

صفحه	عنوان
۱	۱. فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ بیان اجمالی موضوع
۳	۳-۱ روند دستیابی
۴	۴-۱ مروری بر تحقیقات گذشته
۱۲	۲. فصل دوم: مکانیک اتصالات
۱۲	۱-۲ انواع اتصالات
۱۳	۲-۲ نیروهای وارد بر اتصال
۱۳	۳-۲ مکانیسم‌های زوال
۱۵	۴-۲ معادلات حاکم
۲۵	۵-۲ مبانی روش المان محدود
۳۲	۳. فصل سوم: کالیبراسیون مدل نرم‌افزاری
۳۲	۱-۳ مدل انتخابی
۳۳	۲-۳ شاخصه‌های مدل‌سازی
۴۳	۳-۳ تحلیل و بررسی نتایج
۵۲	۳-۴ خلاصه فصل
	۴. فصل چهارم: طراحی ساخت و مدل‌سازی نمونه‌های آزمایشی مطابق مبحث نهم
۵۳	مقررات ملی ساختمان
۵۳	۱-۴ طراحی اولیه مدل‌ها و تغییر پارامترها
۵۷	۲-۴ تحلیل و بررسی نتایج

۵۷ اثر بارگذاری ۱-۲-۴
۶۴ بررسی اثر میزان فولاد عرضی (ρ_s) در رفتار اتصال ۲-۲-۴
۷۱ بررسی ضرایب ظرفیت (Over-Strength Factor) ۳-۲-۴
۷۸ بررسی مکانیسم‌های زوال در اتصال ۴-۲-۴
۸۶ فصل پنجم: خلاصه ۵
۸۶ ۱-۵ خلاصه کارهای انجام شده
۹۰ ۲-۵ راهکارها و درونمای کارهای آینده
۹۱ منابع و مأخذ

«فهرست جداول»

عنوان	صفحه
۱-۴ مشخصات نمونه ها (میلگرد گذاری طولی تیر وستون ها و ابعاد ستون ها).....	۵۴
۲-۴ مشخصات نمونه ها (میلگرد گذاری عرضی اتصال و ابعاد تیر ها).....	۵۵
۳-۴ نیروی نهایی نمونه ها برای تحلیل فشاری (Pushover).....	۶۱
۴-۴ نیروی نهایی نمونه ها برای تحلیل رفت و برگشتی (Cyclic).....	۶۲
۵-۴ مقایسه مقادیر نیروی نهایی برای نمونه های B1 و C1.....	۶۳
۶-۴ مقایسه مقادیر شکل پذیری برای نمونه های B1 و C1.....	۶۳
۷-۴ مقایسه مقادیر نیروی نهایی برای نمونه های B2 و C2.....	۶۳
۸-۴ مقایسه مقادیر شکل پذیری برای نمونه های B2 و C2.....	۶۳
۹-۴ مقایسه مقادیر نیروی نهایی برای نمونه های B3 و C3.....	۶۴
۱۰-۴ مقایسه مقادیر شکل پذیری برای نمونه های B3 و C3.....	۶۴
۱۱-۴ مقادیر ضرایب ظرفیت برای خمش در تیر و ستون و برش در اتصال در تحلیل فشاری (Pushover).....	۷۷
۱۲-۴ مقادیر ضرایب ظرفیت برای خمش در تیر و ستون و برش در اتصال در تحلیل رفت و برگشتی (Cyclic).....	۷۷
۱۳-۴ مقادیر ضریب افزایش ظرفیت برای نمونه ها.....	۷۸
۱۴-۴ مکانیسم های زوال نمونه ها.....	۸۵

«فهرست اشکال»

عنوان	صفحه
۱-۱ زوال سازه‌های بتنی در زلزله ترکیه، سال ۱۹۹۹.....	۲
۲-۱ زوال سازه‌های بتنی در زلزله ترکیه، سال ۱۹۹۹.....	۲
۳-۱ تیر تحلیل شده در ANSYS به وسیله باربوسا و ریبریو.....	۸
۴-۱ چگونگی مدلسازی نمونه‌ها در ANSYS.....	۸
۵-۱ رفتار نمونه‌ها با میلگرد مجزا.....	۱۰
۶-۱ رفتار نمونه‌ها با میلگرد پخش در بتن.....	۱۰
۷-۱ مقایسه میلگرد مجزا و پخش در بتن.....	۱۰
۲-۱ انواع اتصالات داخلی.....	۱۲
۲-۲ انواع اتصالات خارجی.....	۱۲
۳-۲ نیروهای وارد بر اتصالات.....	۱۳
۴-۲ زوال برشی در اتصالات.....	۱۴
۵-۲ زوال لغزشیدر اتصالات.....	۱۴
۶-۲ مکانیسم انتقال نیرو در اتصال.....	۱۵
۷-۲ نیروها در اتصال.....	۱۶
۸-۲ نیروهای موجود در اتصال.....	۱۷
۹-۲ نیروها در اتصال در مدل هوانگ و لی.....	۱۹
۱۰-۲ مکانیسم انتقال نیرو در اتصال در مدل هوانگ و لی.....	۲۰
۱۱-۲ نمای شماتیک نیروها و مودهای زوال پیشنهادی شی اوهارا.....	۲۲
۱۲-۲ علائم و نیروهای استفاده شده در معادلات.....	۲۲
۱۳-۲ نیروها در مقاطع بحرانی.....	۲۳
۱۴-۲ مقادیر T_{JB} بدست آمده برای یک مثال عددی.....	۲۴
۱۵-۲ مقادیر T_{II} بدست آمده برای یک مثال عددی.....	۲۴
۱۶-۲ مقایسه دو مود زوال با توجه به نیروهای وارده.....	۲۵
۱-۳ نمای شماتیک چگونگی انجام تست.....	۳۳
۲-۳ نمای شماتیک چگونگی میلگردگذاری در تست.....	۳۳

۳-۳ بارگذاری در نمونه آزمایشگاهی	۳۳
۴-۳ نمونه آزمایشگاهی پس از شکست	۳۳
۵-۳ مدل ساخته شده در ANSYS و نمایش میلگردگذاری	۳۵
۶-۳ چگونگی در نظر گرفتن سطوح گسیختگی در برنامه ANSYS	۳۶
۷-۳ چگونگی تعریف مصالح در برنامه ANSYS	۳۷
۸-۳ مصالح تعریف شده در برنامه	۳۷
۹-۳ مصالح ایزوتروپیک (Isotropic) بتن	۳۸
۱۰-۳ مصالح پیش فرض برنامه برای بتن	۳۸
۱۱-۳ مصالح اضافه شده به پیش فرض برنامه برای اصلاح رفتار بتن	۳۸
۱۲-۳ نمودار رفتار مصالح اضافه شده به پیش فرض برنامه	۳۹
۱۳-۳ مصالح استفاده شده برای فولاد-۱	۳۹
۱۴-۳ مصالح استفاده شده برای فولاد-۲	۳۹
۱۵-۳ نمودار رفتار فولاد	۴۰
۱۶-۳ چگونگی استفاده از مصالح شماره ۳ در تکیه گاه	۴۰
۱۷-۳ انتخاب نوع تحلیل	۴۲
۱۸-۳ انتخاب نوع تحلیل، سرعت اعمال بار و خروجی های برنامه	۴۲
۱۹-۳ انتخاب تلورانس مجاز در تحلیل	۴۴
۲۰-۳ انتخاب تنظیمات تحلیل زمانمند	۴۳
۲۱-۳ نمودار به دست آمده از آزمایش	۴۴
۲۲-۳ نمودار بدست آمده از آزمایش	۴۴
۲۳-۳ نمودار اجرای برنامه با مصالح بتن بدون شکست (CL)	۴۵
۲۴-۳ نمودار اجرای برنامه با مصالح بتن همراه با شکست (CCL)	۴۵
۲۵-۳ نتایج اجرای برنامه با مصالح بتن به همراه مصالح چند خطی (CM)	۴۵
۲۶-۳ نتایج اجرای برنامه به صورت رفت و برگشتی (Cyclic) با مصالح تن به همراه مصالح چند خطی (CM)	۴۶
۲۷-۳ مقایسه دو نوع بارگذاری رفت و برگشتی (Cyclic) و معمولی (Pushover)	۴۶
۲۸-۳ وضعیت کرنش برشی در حالت Pushover	۴۷
۲۹-۳ وضعیت کرنش برشی در حالت Cyclic	۴۷
۳۰-۳ وضعیت کرنش خمشی در حالت Pushover	۴۸

۴۸.....	۳۱-۳ وضعیت کرنش خمشی در حالت Pushover
۴۹.....	۳۲-۳ وضعیت کرنش خمشی در حالت Cyclic
۴۹.....	۳۳-۳ وضعیت کرنش خمشی در حالت Cyclic
۵۰.....	۳۴-۳ وضعیت کرنش فشاری در حالت Pushover
۵۰.....	۳۵-۳ وضعیت کرنش فشاری در حالت Cyclic
۵۱.....	۳۶-۳ وضعیت ترک‌ها Crack Pattern
۵۱.....	۳۷-۳ نمودار ضریب ظرفیت Overstrength Factor
۵۵.....	۱-۴ جزئیات ساخت مدل سری B1
۵۵.....	۲-۴ جزئیات ساخت مدل سری B2
۵۵.....	۳-۴ جزئیات ساخت مدل سری B3
۵۵.....	۴-۴ جزئیات ساخت مدل سری C1
۵۶.....	۵-۴ جزئیات ساخت مدل سری C2
۵۶.....	۶-۴ جزئیات ساخت مدل سری C3
۵۶.....	۷-۴ جزئیات ساخت مدل نرم‌افزاری سری B
۵۶.....	۸-۴ جزئیات ساخت مدل نرم‌افزاری سری C
۵۶.....	۹-۴ جزئیات بارگذاری نمونه‌ها در نرم‌افزار
۵۷.....	۱۰-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B11
۵۷.....	۱۱-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B21
۵۸.....	۱۲-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B31
۵۸.....	۱۳-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C11
۵۸.....	۱۴-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C21
۵۸.....	۱۵-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C31
۵۸.....	۱۶-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B12
۵۸.....	۱۷-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B22
۵۸.....	۱۸-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B32
۵۸.....	۱۹-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C12
۵۹.....	۲۰-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C22
۵۹.....	۲۱-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C32
۵۹.....	۲۲-۴ مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B13

۵۹.....	۲۳-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B23
۵۹.....	۲۴-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B33
۵۹.....	۲۵-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C13
۵۹.....	۲۶-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C23
۵۹.....	۲۷-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C33
۶۰.....	۲۸-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B14
۶۰.....	۲۹-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B24
۶۰.....	۳۰-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه B34
۶۰.....	۳۱-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C14
۶۰.....	۳۲-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C24
۶۰.....	۳۳-۴	مقایسه جواب‌های Pushover و Cyclic برای نمونه C34
۶۵.....	۳۴-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Pushover برای نمونه‌های B11 تا B14
۶۵.....	۳۵-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Cyclic برای نمونه‌های B11 تا B14
۶۶.....	۳۶-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Pushover برای نمونه‌های B21 تا B24
۶۶.....	۳۷-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Cyclic برای نمونه‌های B21 تا B24
۶۷.....	۳۸-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Pushover برای نمونه‌های B31 تا B34
۶۷.....	۳۹-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Cyclic برای نمونه‌های B31 تا B34
۶۸.....	۴۰-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Pushover برای نمونه‌های C11 تا C14
۶۸.....	۴۱-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Cyclic برای نمونه‌های C11 تا C14
۶۹.....	۴۲-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Pushover برای نمونه‌های C21 تا C24
۶۹.....	۴۳-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Cyclic برای نمونه‌های C21 تا C24
۷۰.....	۴۴-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Pushover برای نمونه‌های C31 تا C34
۷۰.....	۴۵-۴	مقایسه نمودار بار-جابجایی Cyclic برای نمونه‌های C31 تا C34
۷۱.....	۴۶-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Pushover برای نمونه B1
۷۲.....	۴۷-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Cyclic برای نمونه B1
۷۲.....	۴۸-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Pushover برای نمونه B2
۷۲.....	۴۹-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Cyclic برای نمونه B2
۷۳.....	۵۰-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Pushover برای نمونه B3

۵۱-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Cyclic برای نمونه B3	۷۳
۵۲-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Pushover برای نمونه C1	۷۴
۵۳-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Cyclic برای نمونه C1	۷۴
۵۴-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Pushover برای نمونه C2	۷۵
۵۵-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Cyclic برای نمونه C2	۷۵
۵۶-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Pushover برای نمونه C3	۷۶
۵۷-۴	نمودار ضریب ظرفیت (Overstrength Factor)، Cyclic برای نمونه C3	۷۶
۵۸-۴	وضعیت کرنش برشی در نمونه B1	۷۹
۵۹-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه B1	۷۹
۶۰-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه B1	۸۰
۶۱-۴	وضعیت ترک ها در نمونه B1	۸۰
۶۲-۴	وضعیت کرنش برشی در نمونه B2	۸۰
۶۳-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه B2	۸۰
۶۴-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه B2	۸۱
۶۵-۴	وضعیت ترک ها در نمونه B2	۸۱
۶۶-۴	وضعیت کرنش برشی در نمونه B3	۸۱
۶۷-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه B3	۸۱
۶۸-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه B3	۸۲
۶۹-۴	وضعیت ترک ها در نمونه B3	۸۲
۷۰-۴	وضعیت کرنش برشی در نمونه C1	۸۲
۷۱-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه C1	۸۲
۷۲-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه C1	۸۳
۷۳-۴	وضعیت ترک ها در نمونه C1	۸۳
۷۴-۴	وضعیت کرنش برشی در نمونه C2	۸۳
۷۵-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه C2	۸۳
۷۶-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه C2	۸۳
۷۷-۴	وضعیت ترک ها در نمونه C2	۸۳
۷۸-۴	وضعیت کرنش برشی در نمونه C3	۸۴
۷۹-۴	وضعیت کرنش های خمشی در نمونه C3	۸۴

۸۴	۸۰-۴ وضعیت کرنش های خمشی در نمونه C3
۸۴	۸۱-۴ وضعیت ترک ها در نمونه C3
۸۸	۱-۵ مقایسه مقادیر ظرفیت نهایی برای نمونه ها
۸۸	۲-۵ نمودار مقادیر ظرفیت نهایی برای نمونه ها
۸۹	۳-۵ مقایسه مقادیر شکل پذیری برای نمونه ها
۸۹	۴-۵ مقایسه مقادیر ضریب ظرفیت برای نمونه ها

فصل اول

مقدمه

در صورتیکه یک قاب خمشی بتن آرمه تحت اثر نیروهای لرزه ای بزرگ قرار گیرد اتصالات آن باید بتواند نیروهای برشی بزرگی، که به سبب تغییر شکل‌های بزرگ بوجود می‌آیند را تحمل کنند. با توجه به آسیب‌های ناشی از زلزله‌هایی که در پانزده سال گذشته در نقاط مختلف دنیا رخ داده است، مانند زلزله‌های Northridge (1994)، Hanshin awaji Kobe (1995) و Kocaeli (1999) به نظر می‌رسد سازه‌های موجود که بر اساس ضوابط آئین نامه ای طراحی شده اند در برابر زلزله آسیب پذیر می‌باشند. همانطور که در شکل‌های ۱-۱ و ۱-۲ مشاهده می‌شود در ساختمان‌هایی که تیر و ستون‌ها کاملاً سالم می‌باشد زوال اتصالات باعث فرو ریختن و زوال کامل ساختمان شده است [۲۳].

اتصالات با توجه به نیروهای وارده دارای وضعیتی بحرانی می‌باشند که از دو جهت قابل بررسی است:

- ۱- برش در اتصالات بسیار بزرگتر از اعضای منتهی به آن‌ها می‌باشد. مقدار این برش در حدود ۴ تا ۶ برابر برش در تیر و ستون‌های اطراف است [۷].
- ۲- مکانیسم زوال در اتصال به صورت زوال برشی می‌باشد، که ماهیت شکست را ترد و شکننده می‌کند. بنابراین از نظر مهندسی سازه زوال اتصال کاملاً غیرموجه است و باید از این امر جلوگیری شود.

علاوه بر مطالب فوق، اجرای نه چندان مناسب سازه‌های بتنی در ایران و عدم توجه مجریان به اتصالات به عنوان یک عضو حیاتی در سازه و نیز مشکلات اجرایی و سختی کار در محل اتصالات تیر به ستون، ضرورت توجه ویژه به اتصالات را بیش از پیش نمایان می‌کند. قوانین موجود در ایران برای اتصالات تیر به ستون بتن آرمه، در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و در فصل بیستم با عنوان ضوابط ویژه برای طراحی در برابر زلزله بیان شده است [۱۰].

این ضوابط شامل توصیه‌هایی راجع به بارهای وارده و ظرفیت اتصال، همچنین چگونگی میلگرد گذاری عرضی و مهار میلگردها در درون اتصالات می‌باشد [۹ و ۱۰].

در کشورهای پیشرفته دنیا اهمیت موضوع اتصالات باعث ایجاد کمیته‌های تحقیقاتی بزرگ برای تحقیق در این زمینه شده است. به طور مثال در آمریکا به وسیله انجمن بتن این کشور (ACI) یک کمیته بیست نفره، متشکل از پژوهشگران و اساتید دانشگاه در قالب کمیته طراحی

ACI-ASCE352 برای بررسی در مورد قوانین و ضوابط طراحی اتصالات تیر به ستون بتن آرمه، تشکیل شده است. این کمیته سالانه دستورالعمل‌های خود را به همراه مقالات و نتایج آزمایشگاهی موجود بازبینی نموده پیشنهادهای در مورد ضوابط طراحی اتصالات تیر به ستون بتن آرمه ارائه می‌دهد [۲، ۱ و ۳].



شکل ۱-۲ خرابی سازه‌های بتنی در زلزله ترکیه، سال ۱۹۹۹، [۲۳]



شکل ۱-۱ خرابی سازه‌های بتنی در زلزله ترکیه، سال ۱۹۹۹، [۲۳]

بیان اجمالی موضوع

در تحقیق حاضر ابتدا مدل سازی کامپیوتری اتصالات، سپس رفتار اتصالات مانند شکل پذیری (Ductility)، ظرفیت نهایی (Ultimate Strength)، نوع خرابی (Failure Mechanisms) و ضرایب ظرفیت (Overstrength Factor) آن‌ها بررسی می‌شود.

در مدل سازی کامپیوتری هدف اصلی بر این پایه شکل می‌گیرد که رفتار بتن مسلح به کمک نرم افزار به طور کامل مدل شود. مدل سازی رفتاری به کمک نرم افزار به این معنی است که تحت بار وارده بتوان نمودار کامل نیرو-جابجایی رفتار نمونه شامل حداکثر نیروی وارده، افت نمودار و نیروی متحمل نمونه پس از افت اولیه و قبل از شکست کامل را بدست آورد. همچنین پارامترهای دیگر مورد نیاز مانند ترک‌های برشی، کششی و... قابل بررسی باشند.

در مرحله بعد، مدل سازی چند اتصال برای بررسی رفتار و ارزیابی ضوابط آئین نامه ایران انجام می‌شود. در این قسمت ابتدا چند نمونه اتصال با ابعاد متفاوت و با ضوابط آئین نامه ای طراحی می‌شوند. سپس مدل سازی و تحلیل به کمک نرم افزار انجام شده و نتایج بدست آمده به صورت نمودارها، جداول و شکل‌ها ارائه شده و مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

روند دستیابی به اهداف تحقیق

برای رسیدن به اهداف این تحقیق، مطالعات و کارهای انجام شده در چند مرحله به شرح ذیل صورت پذیرفت.

در مرحله اول، ابتدا آشنایی با اتصالات تیر به ستون بتن آرمه، چگونگی رفتار مکانیسم‌های زوال و اهمیت موضوع مورد بررسی قرار گرفت.

در مرحله دوم، تحقیقات انجام شده در این زمینه، همچنین ضوابط آئین نامه ای موجود جمع آوری شد.

مرحله بعد به یافتن یک نرم افزار قوی در زمینه مدل سازی رفتار بتن مسلح اختصاص یافت که نرم افزار ANSYS برای این منظور انتخاب شد.

در مرحله چهارم که بیشترین حجم کارهای انجام شده را دربر می‌گیرد کالیبره کردن پارامترهای نرم افزار به کمک نتایج آزمایشگاهی موجود انجام شد.

در مرحله پنجم مدل‌های مورد بررسی، مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان انتخاب و نمونه‌های مربوطه مشخص شدند. همچنین پارامترهای وابسته و مستقل در این نمونه‌ها انتخاب شدند.

مرحله ششم به بررسی رفتار نمونه‌ها و دریافت جواب‌های نرم افزار و تبدیل آن‌ها به نمودارهای پیشنهادی اختصاص یافت.

در انتها نتایج مورد تحلیل قرار گرفته و شکل پذیری نمونه‌ها همچنین حداکثر مقاومت اولین ترک‌های برشی و دیگر جواب‌های مورد نیاز استخراج و سپس نتیجه گیری نهایی و پیشنهادات لازم ارائه شد.

مروری بر تحقیقات گذشته

به طور کلی تحقیقات در مورد رفتار گره‌ها از دهه ۱۹۶۰ آغاز شده [۱۷] و تا هم اکنون ادامه دارد. اولین مطالعات ارائه شده بر روی رفتار اتصالات تیر به ستون توسط هانسون^۱ و کانر^۲ [۲۰ و ۲۱] در مؤسسه سیمان پورتلند انجام شد. از میان محققینی که در زمینه اتصالات دارای تحقیقات ارزنده ای می‌باشند می‌توان از احسانی^۳ و وایت^۴ [۱۷]، شی اوهارا^۵ [۱۸]، پریستلی^۶ و پائولی^۷ [۷] نام برد.

در تحقیق احسانی و وایت [۱۷]، اثر پارامترهای مهم در رفتار اتصالات خارجی مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق شامل ظرفیت خمشی (M_R)، که نسبت مجموع ظرفیت خمشی ستون‌ها به تیرها می‌باشد، درصد فولاد عرضی اتصال و تنش برشی مقاوم اتصال است.

به طور خلاصه نتایج این تحقیق را می‌توان به این صورت بیان کرد که:

- ۱- بعد از سیکل اول سختی نمونه‌ها کاهش می‌یابد.
 - ۲- برای نمونه‌هایی که $M_R > 1$ بیشترین خسارت در گره متمرکز می‌شود در حالی که وقتی $M_R \gg 1$ ترک‌ها بیشتر در تیر و دور از اتصال اتفاق می‌افتد.
 - ۳- وقتی $M_R > 1$ (به میزان خیلی کم) مفاصل خمشی در تیرها تشکیل می‌شود. اما پس از آن به سمت اتصال حرکت کرده باعث بیرون آمدن میلگردهای طولی تیر و لغزش میلگردهای طولی ستون می‌شود که این امر باعث کاهش ظرفیت باربری ستون و سختی اتصال می‌شود.
 - ۴- به طور کلی افزایش فولاد عرضی باعث بهبود محسوس در رفتار نمونه‌ها می‌شود. همچنین باعث می‌شود بتن بشکند اما خورد نشود.
 - ۵- نمونه‌هایی که مقاومت برشی آن‌ها نسبت به برش وارده بزرگتر بوده رفتار بهتری داشته و این تأثیر کاملاً مشهود می‌باشد.
- در تحقیق دیگری که توسط مورتی^۸، رای^۹، باچپای^{۱۰} و جین^{۱۱} [۱۵] در مؤسسه تکنولوژی کانپور هند انجام شد اثر میلگرد گذاری‌های عرضی متفاوت بر رفتار اتصال و شکل پذیری آن برای اتصالات خارجی بررسی شده است.

¹ Hanson, N. W.

² Conner, H. W.

³ Ehsani, M. R.

⁴ Wight, J. K.

⁵ Shiohara, H.

⁶ Priestly, M. J. N.

⁷ Paulay, T.

⁸ Murty, C.V.

⁹ Rai, D. C.

¹⁰ Bajpai, K. K.

¹¹ Jain, S. K.

در این تحقیق ۳ نوع میلگردگذاری مختلف به شرح، میلگرد گذاری عرضی افقی حلقه ای شکل، میلگردهای عرضی U-شکل افقی در اتصال و نیز تقویت عرضی توسط میلگردهای طولی تیر با خم نمودن انتهای آنان به صورت U-شکل در راستای افقی، با حالت بدون تقویت مقایسه شده است.

در انتها نتیجه آزمایش حاکی از آن است که بهترین رفتار متعلق به نمونه‌های با میلگرد عرضی U-شکل می‌باشد و پس از آن میلگرد گذاری حلقه ای گزینه برتری باشد، در حالی که ادامه دادن و پیوسته کردن میلگردهای طولی تیر باعث بهبود چندانی در رفتار اتصال نمی‌شود. با این حال در این آزمایش رفتار هیسترتیک نمونه‌ها ضعیف بوده و نیرو در آن‌ها حدود ۴۵ تا ۷۹ درصد بیش از مقدار پیش بینی شده توسط آئین نامه‌ها بود. در پایان می‌توان دو نکته مهم بدست آمده از تحقیق را به صورت زیر بیان کرد:

۱- افزایش مقدار تقویت عرضی مقاومت اتصال را بهتر نمی‌کند اما باعث ایجاد شکل پذیری بهتری می‌شود، همچنین استهلاک انرژی افزایش می‌یابد.

۲- نمونه‌های با تقویت عرضی افقی U-شکل، که میلگردهای عرضی اتصال در تیر نفوذ می‌کنند. در زمینه استهلاک انرژی بهتر از سایر نمونه‌ها با اشکال مختلف میلگرد عرضی عمل می‌کنند.

تحقیقی که توسط ژاکال^۱، سای^۲، ایراوان^۳، پان^۴، چن^۵ و لین^۶ [۱۶] در سال ۲۰۰۴ در نیوزیلند انجام شد رفتار لرزه ای اتصالاتی که برای بار ثقلی طراحی شده اند مورد بررسی قرار گرفت.

در این مطالعات یکی از پارامترهای مهم نوع بارگذاری می‌باشد. سه نوع بارگذاری به صورت شبه دینامیکی یا مستقل از زمان (Pseudo Dynamic)، دینامیکی معمولی یا زمان مند منظم (Normal Dynamic) و دینامیکی ویژه یا زمان مند نامنظم (High Dynamic) انجام شده است. نتایج آزمایش حاکی از آن است که وقتی بار به صورت زمان مند وارد شود اتصال رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد بخصوص وقتی بار به صورت نامنظم و با فرکانس‌های متفاوت به نمونه اعمال شود. این نکته بیانگر آن است که احتمالاً رفتار اتصال در هنگام زلزله بهتر از حالتی است که در آزمایشگاه و بصورت رفت و برگشتی اعمال می‌شود. با این حال شکل پذیری نمونه‌ها در بهترین حالت بسیار پائین و در وضعیتی بحرانی قرار دارند و بیشترین خسارت در این آزمایش‌ها در اتصال متمرکز می‌شود.

¹ Dhakal, R. P.

² Tsai, K. C.

³ Irawan, P.

⁴ Pan, T. C.

⁵ Chen, C. H.

⁶ Lin, K. C.