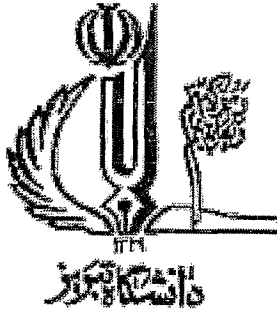


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۹۷.۷۸



دانشکده فنی - مهندسی عمران  
گروه سازه

## پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - سازه

عنوان

بررسی رفتار غیرخطی اتصالات خمشی تقویت شده

استادان راهنما

دکتر علی داوران

دکتر علی حدیدی

استاد مشاور

دکتر ناصر تقی زادیه

استاد مشاوران  
دکتر علی حدیدی  
دکتر ناصر تقی زادیه

۱۳۸۷ / ۱۵ / ۱۳

پژوهشگر

سهراب سوزنده

۹۶۰۷۸

اسفند ماه ۱۳۸۵

تقديم به

ماورم

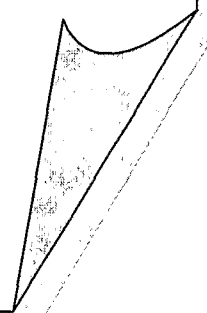
## شکر و پاس

اکنون که به یاری خداوند متعال نگارش این پایان نامه را به اتمام می‌رسانم بر خود لازم می‌دانم که از زحمات و دقت نظر اساتید ارجمند آقای دکتر علی داوران و آقای دکتر علی حدیدی به پاس راهسمائی‌های راه‌گشایان و از آقای دکتر ناصر تقی‌زاده به جهت مشاوره‌های ارزنده‌شان شکر و قدردانی نمایم.

در مراحل مختلف انجام این پایان نامه از نظرات اساتید محترم آقای مهندس احمد تجلیل، آقای مهندس مسعود فرزام و آقای دکتر یوسف حسین زاده بسیار بهره‌برده‌ام که بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به این بزرگواران اعلام می‌دارم.

از تمامی دوستان و عزیزانی که لطف و محبت‌شان همچون ستاره‌ای فروزان روشنگر راهم در طول این دوره‌ی تحصیلی بود شکر می‌نمایم و از خداوند متعال بهروزی و شادکامی برایشان آرزو مندم.

سهراب سوزنده  
اسفندماه ۱۳۸۵



نام و نام خانوادگی دانشجو: سهراب سوزنده

عنوان پایان نامه: بررسی رفتار غیرخطی اتصالات خمشی تقویت شده.

استادان راهنما: دکتر علی داوران - دکتر علی حدیدی

استاد مشاور: دکتر ناصر تقی زاده

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

گرایش: سازه

رشته: مهندسی عمران

دانشکده: فنی - مهندسی عمران

دانشگاه: تبریز

تعداد صفحه: ۱۳۶

تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۵/۱۲/۷

کلید واژه ها: اتصال خمشی فولادی، چشمه ی اتصال، مفصل پلاستیک، ورق اتصال بال،

ماهیچه، لچکی بال.

#### چکیده:

در این پایان نامه، بطور تحلیلی رفتار غیرخطی اتصال خمشی فولادی در حالت تقویت شده با لچکی یا ماهیچه، بررسی شد. نتایج تحلیلی نشان داد که، در اتصالات تقویت شده با لچکی دنباله دار، نحوه ی توزیع کرنش در جان و بال های تیر بستگی به طول دنباله ی لچکی دارد. برای اتصالاتی با نسبت مقاومت تیر به ستون برابر مشاهده شد که، محل تشکیل مفصل پلاستیک متأثر از مقاومت برشی چشمه ی اتصال می باشد. بررسی ها نشان داد که، در اتصالات خمشی با چشمه ی اتصال مقاوم در برابر برش، استفاده از صفحات اتصال بال سبب انتقال مفصل پلاستیک از بر ستون به داخل تیر می شوند. نمودار بار-جابجائی مربوط به مدل های تحلیلی نشانگر آن بود که، تقویت اتصال خمشی منجر به افزایش در سختی جانبی قاب خمشی می شود.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار .....	۱
<b>فصل اول: بررسی منابع</b>	
۱-۱) مقدمه .....	۳
۲-۱) کلیاتی در مورد اتصالات سازه های فولادی .....	۴
۱-۲-۱) طبقه بندی اتصالات در سازه های فولادی .....	۵
۲-۲-۱) اتصالات صلب .....	۵
۳-۱) تاریخچه ی اتصالات در قاب های خمشی فولادی .....	۶
۴-۱) مفصل پلاستیک در قاب های خمشی .....	۸
۵-۱) پارگی برگی .....	۹
۶- ۱) دلایل اصلی ضعف در عملکرد اتصالات خمشی .....	۱۰
۷-۱) چشمه ی اتصال .....	۱۰
۱-۷-۱) ضوابط طرح چشمه ی اتصال .....	۱۱
۸-۱) تأثیر نحوه ی اتصال جان تیر به وجه ستون در رفتار اتصال خمشی .....	۱۴
۹-۱) تقویت اتصال خمشی با ماهیچه ی مثلثی شکل .....	۱۵
۱-۹-۱) بررسی تحلیلی اتصال خمشی تقویت شده با ماهیچه ی مثلثی شکل .....	۱۶

۱۷	..... (۲-۹-۱) توزیع تنش خمشی و نحوه ی انتقال نیرو
۱۸	..... (۳-۹-۱) مدلی ساده برای اتصال خمشی تقویت شده با ماهیچه ی مثلثی شکل
۲۰	..... (۴-۹-۱) تغییر شکل‌های سازگار بین تیر و ماهیچه
۲۲	..... (۱۰-۱) تقویت اتصال خمشی با ماهیچه ی تی شکل
۲۴	..... (۱-۱۰-۱) بررسی تحلیلی اتصال خمشی تقویت شده با ماهیچه ی تی شکل
۲۷	..... (۲-۱۰-۱) مدلی ساده برای اتصال خمشی تقویت شده با ماهیچه ی تی شکل
۳۲	..... (۳-۱۰-۱) تمرکز تنش در جان ماهیچه ی تی شکل
۳۵	..... (۱۱-۱) تقویت اتصال خمشی با لچکی دنباله دار
۳۷	..... (۱-۱۱-۱) نتایج آزمایشگاهی
۴۱	..... (۲-۱۱-۱) تعیین ابعاد هندسی لچکی دنباله دار
۴۵	..... (۳-۱۱-۱) روند طرح لچکی دنباله دار

## فصل دوم: مواد و روش ها

۴۶	..... (۱-۲) مقدمه
۴۷	..... (۲-۲) معرفی نرم افزار ANSYS
۴۸	..... (۳-۲) المان Solid45
۴۸	..... (۴-۲) رفتار غیرخطی در سازه ها
۴۹	..... (۱-۴-۲) تغییر وضعیت در سیستم
۴۹	..... (۲-۴-۲) غیرخطی هندسی

۵۰	..... غیرخطی ناشی از خواص مکانیکی مواد
۵۱	..... روش های حل معادلات در نرم افزار ANSYS
۵۱	..... معیارهای همگرایی
۵۲	..... گزینه های مختلف آنالیز غیرخطی
۵۳	..... مدل سازی
۵۶	..... لچکی دنباله دار و اثرات ناشی شده از طول دنباله ی آن
۵۸	..... تأثیر مقاومت برشی چشمه ی اتصال در رفتار اتصال خمشی
۶۰	..... تأثیر نسبت مقاومت تیر به ستون در رفتار اتصال خمشی
۶۱	..... ورق مضاعف جان
۶۲	..... تأثیر ماهیچه ی تی شکل بر روی نیروی برشی مقطع عرضی تیر
۶۲	..... اثرات ناشی از تضعیف شدگی در سطح مقطع بال تیر
۶۴	..... اتصال صلب جوشی با ورق اتصال بال
۶۶	..... تقویت چشمه ی اتصال با ورق های قائم بر صفحه ی جان ستون
۶۹	..... الگوهای بارگذاری چرخه ای
۷۰	..... محاسبه ی تغییر مکان الاستیک
۷۱	..... منحنی تنش- کرنش معرفی شده به نرم افزار
۷۴	..... معیارهای مقایسه ای

### فصل سوم: نتایج و بحث

۷۵	..... مقدمه
----	-------------



۲-۳	تقویت اتصال خمشی با لچکی دنباله دار .....	۷۶
۳-۳	بررسی اثرات ناشی شده از افزایش طول دنباله ی لچکی .....	۸۱
۴-۳	بررسی تأثیر مقاومت برشی چشمه ی اتصال در رفتار اتصال خمشی .....	۸۸
۵-۳	بررسی تأثیر نسبت مقاومت تیر به ستون در رفتار اتصال خمشی .....	۹۳
۶-۳	بررسی رفتار اتصال خمشی تقویت شده در محل چشمه ی اتصال .....	۹۶
۷-۳	بررسی رفتار اتصال خمشی تقویت شده با ماهیچه ی تی شکل .....	۱۰۰
۸-۳	بررسی اثر تضعیف شدگی در سطح مقطع بال تیر بر رفتار اتصال خمشی .....	۱۰۵
۹-۳	بررسی تأثیر ورق های اتصال بال در رفتار اتصال خمشی .....	۱۰۸
۱۰-۳	بررسی عملکرد ورق های قائم بر صفحه ی جان ستون در محل چشمه ی اتصال .....	۱۱۳
۱۱-۳	بررسی عملکرد روش های بهسازی بر روی سختی جانبی قاب خمشی .....	۱۱۵
۱۲-۳	نتیجه گیری و پیشنهادات .....	۱۱۶
	منابع و مراجع .....	۱۱۷

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

### فصل اول: بررسی منابع

- جدول (۱-۱): مقایسه ی مقادیر حاصل برای  $Q$  و  $N$  از روش تحلیلی و روابط مدل ساده شده ..... ۳۱
- جدول (۲-۱): تأثیر جزئیات مربوط به لبه ی آزاد جان ماهیچه ی تی شکل بر روی تمرکز تنش ..... ۳۳
- جدول (۳-۱): مشخصات ابعاد هندسی تیر و ستون مربوط به هر یک از نمونه های آزمایشی ..... ۳۸
- جدول (۴-۱): مشخصات ابعاد هندسی لچکی دنباله دار مربوط به هر یک از نمونه های آزمایشی ..... ۳۸
- جدول (۵-۱): خلاصه ای از نتایج نمونه های آزمایشی ..... ۳۹
- جدول (۶-۱): مقادیر عددی پارامترهای هندسی لچکی دنباله دار نمونه های آزمایشی ..... ۴۳

### فصل دوم: مواد و روش ها

- جدول (۱-۲): قابلیت های غیرخطی هندسی المان **Solid45** ..... ۵۰
- جدول (۲-۲): مشخصات پارامتری و ابعاد هندسی لچکی دنباله دار هر یک از مدل های تحلیلی ..... ۵۶
- جدول (۳-۲): مشخصات مربوط به هر یک از ستون ها در مدل های تحلیلی ..... ۵۸
- جدول (۴-۲): نسبت مقاومت تیر به ستون و مقاومت برشی چشمه ی اتصال مدل های تحلیلی ..... ۶۰
- جدول (۵-۲): مشخصات پارامتری و ابعاد هندسی لچکی دنباله دار طرح شده ..... ۶۱

### فصل سوم: نتایج و بحث

- جدول (۱-۳): سهم جان و بال ستون در مقاومت برشی چشمه ی اتصال براساس رابطه ی **B** ..... ۹۳
- جدول (۲-۳): مقایسه ی شیب نمودار بار-جابجائی مدل های تحلیلی ..... ۱۱۵

## فهرست شکلها

صفحه

عنوان

### فصل اول: بررسی منابع

- شکل (۱-۱): جزئیات مربوط به اتصال خمشی مورد استفاده قبل از زمین لرزه ی نورتریج ..... ۷
- شکل (۲-۱): تعریف امتدادها در مقطع یک پروفیل فولادی ..... ۹
- شکل (۳-۱): تغییر شکل چشمه ی اتصال همراه با لولاهای پلاستیک ایجاد شده بر روی بال های ستون ..... ۱۲
- شکل (۴-۱): نمودار لنگرهای خمشی اعمال شده بر یک اتصال میانی ..... ۱۳
- شکل (۵-۱): نمودار لنگرهای خمشی اعمال شده بر یک اتصال کناری ..... ۱۳
- شکل (۶-۱): تأثیر جزئیات مربوط به اتصال جان تیر به وجه ستون در عملکرد لرزه ای اتصال خمشی ..... ۱۴
- شکل (۷-۱): تقویت اتصال خمشی با ماهیچه ی مثلثی شکل ..... ۱۵
- شکل (۸-۱): فرم تغییرشکل یافته ی مدل تحلیلی ..... ۱۶
- شکل (۹-۱): مقایسه ی توزیع تنش خمشی در ارتفاع مقطع عرضی تیر ..... ۱۷
- شکل (۱۰-۱): مدلی ساده برای یک اتصال خمشی تقویت شده با ماهیچه ی مثلثی شکل ..... ۱۸
- شکل (۱۱-۱): دیاگرام آزاد نیروی ایجاد شده در بال ماهیچه ی مثلثی شکل و نمودار لنگر خمشی تیر ..... ۱۹
- شکل (۱۲-۱): اتصال خمشی تقویت شده با ماهیچه ی تی شکل ..... ۲۲
- شکل (۱۳-۱): مدهای خرابی در نمونه های آزمایش شده توسط SAC ..... ۲۳
- شکل (۱۴-۱): توزیع تنش اصلی در جان ماهیچه ی تی شکل ..... ۲۴
- شکل (۱۵-۱): نمودار بار-جابجائی نتایج آزمایشی و تحلیلی ..... ۲۵
- شکل (۱۶-۱): منحنی خطوط همتراز تنش و محور خشی در انتهای نزدیک تیر به ستون ..... ۲۵
- شکل (۱۷-۱): محل نصب کرنش سنج ها در ارتفاع مقطع عرضی تیر همراه با پاسخ های چرخه ای آنها ..... ۲۶
- شکل (۱۸-۱): منحنی های توزیع تنش نرمال و تنش برشی در سطح مشترک تیر و ماهیچه ..... ۲۷
- شکل (۱۹-۱): دیاگرام آزاد نیروهای ایجاد شده در سطح مشترک بال تیر و جان ماهیچه در مدل ساده شده ..... ۲۸
- شکل (۲۰-۱): مقایسه ی توزیع تنش خمشی در ارتفاع مقطع عرضی تیر ..... ۳۲

- شکل (۱-۲۱): مفصل پلاستیک ایجاد شده در اتصالات خمشی تقویت شده با ماهیچه ی تی شکل ..... ۳۴
- شکل (۱-۲۲): پارگی در بال تیر به علت تمرکز تنش در انتهای لچکی ..... ۳۵
- شکل (۱-۲۳): اتصال خمشی تقویت شده با لچکی دنباله دار ..... ۳۶
- شکل (۱-۲۴): مشخصات ابعاد هندسی لچکی دنباله دار ..... ۳۷
- شکل (۱-۲۵): تاریخچه ی بارگذاری براساس الگوی بار ATC-24 ..... ۳۹
- شکل (۱-۲۶): جزئیات اجرایی نمونه های آزمایشی SRL 20 و SRL 30 ..... ۴۰
- شکل (۱-۲۷): پاسخ های چرخه ای نمونه های آزمایشی ..... ۴۱
- شکل (۱-۲۸): نمودار ظرفیت خمشی و لنگر خرابی در اتصال خمشی تقویت شده با لچکی دنباله دار ..... ۴۲
- شکل (۱-۲۹): نقاط بحرانی در نظر گرفته شده بر روی بال تیر ..... ۴۳
- شکل (۱-۳۰): نتایج حاصل از مدل های تحلیلی بازای پارامترهای هندسی مختلف ..... ۴۴

## فصل دوم: مواد و روش ها

- شکل (۱-۲): شکل هندسی المان solid 45 ..... ۴۴
- شکل (۲-۲): نمودار لنگر خمشی ایجاد شده در تیر یک قاب خمشی در اثر بار جانبی وارد بر آن ..... ۵۳
- شکل (۲-۳): دستگاه آزمایش ..... ۵۴
- شکل (۲-۴): جزئیات مربوط به ابعاد هندسی سوراخ های دسترسی در جان تیر ..... ۵۵
- شکل (۲-۵): طرح مش بندی مدل RSR 20.60 ..... ۵۷
- شکل (۲-۶): الگوی برش شعاعی سطح مقطع بال تیر در روش RBS ..... ۶۳
- شکل (۲-۷): طرح مش بندی مدل R.PTB 6 ..... ۶۶
- شکل (۲-۸): جزئیات مربوط به چیدمان ورق های تقویتی در محل چشمه ی اتصال ..... ۶۸
- شکل (۲-۹): طرح مش بندی چشمه ی اتصال ..... ۶۸
- شکل (۲-۱۰): الگوهای بارگذاری چرخه ای ..... ۶۹
- شکل (۲-۱۱): دیاگرام آزاد نیروی یک اتصال خمشی تحت اثر بار متمرکز وارد بر انتهای آزاد تیر ..... ۷۰
- شکل (۲-۱۲): منحنی تنش - کرنش مواد ..... ۷۲
- شکل (۲-۱۳): نمودار بار-جابجایی یک نمونه ی آزمایشی ..... ۷۲

- شکل (۲-۱۴): نمودار بارگذاری چرخه ای مدل UNR ..... ۷۳
- شکل (۲-۱۵): نمودارهای بار-جابجائی مدل UNR ..... ۷۳
- شکل (۲-۱۶): محل خطوط مورد نظر بر روی بال تیر ..... ۷۴

### فصل سوم: نتایج و بحث

- شکل (۳-۱): نمودار بار-جابجائی ..... ۷۶
- شکل (۳-۲): توزیع تنش در نوار جوش بال فوقانی تیر بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۵٪ طبقه ..... ۷۷
- شکل (۳-۳): توزیع تنش در نوار جوش بال فوقانی تیر بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۷۷
- شکل (۳-۴): کرنش های ایجاد شده در بال تیر بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۷۸
- شکل (۳-۵): کرنش های ایجاد شده در جان تیر بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۷۹
- شکل (۳-۶): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط A بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۵٪ طبقه ..... ۸۰
- شکل (۳-۷): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط A بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۸۰
- شکل (۳-۸): تأثیر طول دنباله ی لچکی در نمودار بار-جابجائی ..... ۸۱
- شکل (۳-۹): منحنی تغییر شکل میان تار تیر ..... ۸۲
- شکل (۳-۱۰): تأثیر طول دنباله ی لچکی بر نحوه ی توزیع کرنش ها در بال تیر ..... ۸۳
- شکل (۳-۱۱): تأثیر طول دنباله ی لچکی بر نحوه ی توزیع کرنش ها در جان تیر ..... ۸۴
- شکل (۳-۱۲): تغییر شکل های ایجاد شده در عرض بال تیر بازای طولهای مختلف دنباله ی لچکی ..... ۸۵
- شکل (۳-۱۳): نحوه ی توزیع کرنش ها در بال تیر بازای تغییر مکان های نسبی ۰٫۱ تا ۰٫۴٪ طبقه ..... ۸۶
- شکل (۳-۱۴): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط B بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۸۷
- شکل (۳-۱۵): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط C بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۸۷
- شکل (۳-۱۶): نمودار بار-جابجائی مدل های تقویت نشده ..... ۸۸
- شکل (۳-۱۷): نمودار بار-جابجائی مدل های تقویت شده با لچکی دنباله دار ..... ۸۹
- شکل (۳-۱۸): کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۹۰
- شکل (۳-۱۹): کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۹۱
- شکل (۳-۲۰): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط A بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۹۲
- شکل (۳-۲۱): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط A بازای تغییر مکان نسبی ۰٫۴٪ طبقه ..... ۹۲

- شکل (۲۲-۳): مقایسه ی نمودار بار- جابجائی مدل های تقویت نشده ..... ۹۴
- شکل (۲۳-۳): مقایسه ی کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۹۵
- شکل (۲۴-۳): مقایسه ی نمودار بار- جابجائی مدل تقویت شده در محل چشمه ی اتصال با مدل معادل ..... ۹۶
- شکل (۲۵-۳): مقایسه ی کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۹۷
- شکل (۲۶-۳): مقایسه ی کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۹۸
- شکل (۲۷-۳): مقایسه ی توزیع شاخص PEEQ بر روی خط A بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۹۹
- شکل (۲۸-۳): نمودار بار- جابجائی مدل های تقویت شده با ماهیچه ی تی شکل ..... ۱۰۰
- شکل (۲۹-۳): کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۱۰۱
- شکل (۳۰-۳): توزیع تنش های اصلی در مدل های تحلیلی ..... ۱۰۲
- شکل (۳۱-۳): منحنی خطوط همتراز تنش ..... ۱۰۳
- شکل (۳۲-۳): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط A بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۱۰۳
- شکل (۳۳-۳): نیروی برشی در مقطع عرضی تیر ..... ۱۰۴
- شکل (۳۴-۳): نمودار بار- جابجائی مدل های تحلیلی با مقطع کاهش یافته ..... ۱۰۵
- شکل (۳۵-۳): کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۱۰۶
- شکل (۳۶-۳): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط A بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۱۰۷
- شکل (۳۷-۳): نمودار بار- جابجائی مدل های تحلیلی با اتصال بال تیر به بال ستون توسط ورق اتصال بال ..... ۱۰۸
- شکل (۳۸-۳): کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۱۰۹
- شکل (۳۹-۳): کرنش های ایجاد شده بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۱۱۰
- شکل (۴۰-۳): توزیع شاخص PEEQ بر روی خط A بازای تغییر مکان نسبی ۴٪ طبقه ..... ۱۱۱
- شکل (۴۱-۳): تأثیر نحوه ی اتصال بال تیر به بال ستون در رفتار اتصال خمشی ..... ۱۱۲
- شکل (۴۲-۳): تقویت چشمه ی اتصال با المان های قطری ..... ۱۱۳
- شکل (۴۳-۳): تقویت چشمه ی اتصال با المان های قطری متصل به ورق های پیوستگی ..... ۱۱۴
- شکل (۴۴-۳): تقویت چشمه ی اتصال با المان های افقی ..... ۱۱۴
- شکل (۴۵-۳): تقویت چشمه ی اتصال با المان های افقی و قائم ..... ۱۱۴

## پیشگفتار

تا قبل از وقوع زمین لرزه ی نورتریج آمریکا تصور بر این بود که، قاب های خمشی فولادی با اتصالات جوشی، مقاوم در برابر بارهای لرزه ای باشند. بنابراین، آیین نامه های ساختمانی استفاده از این نوع قاب ها را با قائل شدن امتیازاتی چون ضریب رفتار بزرگ تشویق می نمودند. بسیاری از مهندسين بر این باور بودند که، خرابی های ناشی شده از زمین لرزه ها در سازه های فولادی قاب خمشی، محدود به تسلیم و کمانش موضعی تیرها و ستون ها و نیز تغییر شکلهای نسبی کوچک ماندگار در بین طبقات باشد.

وقوع زمین لرزه ی نورتریج در ۱۷ ژانویه ی ۱۹۹۴ این تفکر را با چالش جدی مواجه ساخت بطوری که، در مفاهیم پایه ای آیین نامه های ساختمانی تردید ایجاد شد چرا که، سازه ها عملکردی برخلاف انتظار از خود بروز داده بودند بطوری که، در محل اتصال تیر به ستون متحمل خرابی هایی شده بودند.

براساس پژوهش های انجام گرفته بر روی اتصالات خمشی، روش های متعددی به منظور بهسازی در عملکرد اتصال صلب تیر به ستون پیشنهاد شده است که آنها را می توان در سه گروه اصلی جای داد:

- روش های تضعیف در سطح مقطع عرضی تیر.
- روش های تقویت محل اتصال تیر به ستون.
- روش های ترکیبی از موارد فوق.

در مورد روش های تقویتی می توان به استفاده از ماهیچه در بال تحتانی تیر، اضافه کردن ورق مضاعف بر روی ورق های اتصال بال تیر و بکارگیری لچکی های قائم در هر دو بال تیر اشاره کرد.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی تحلیلی تأثیر مقاومت برشی چشمه ی اتصال در رفتار غیرخطی اتصالات خمشی تقویت شده و همچنین، مطالعه ی بر روی عملکرد برخی از روش های تقویتی اتصال خمشی تیر به ستون بوده است.

مطالب ارائه شده در این پایان نامه به شرح زیر می باشد:

- در فصل اول، ابتداء ضوابط مربوط به طرح چشمه ی اتصال مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه به برخی از روش های تقویتی پیشنهاد شده از سوی پژوهشگران اشاره شده است.
- در فصل دوم پس از معرفی نرم افزار ANSYS، درباره ی مشخصات هر یک از مدل های تحلیلی توضیحاتی داده شده است.
- در فصل سوم، نتایج حاصل از تحلیل مدل ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.



## فصل اول

### بررسی منابع

#### ۱-۱) مقدمه.

یکی از انواع سیستم های سازه ای مقاوم در برابر بارهای جانبی، قاب خمشی فولادی می باشد. عملکرد لرزه ای این نوع از قاب های سازه ای، بستگی به نحوه ی اتصال تیر به ستون دارد. طی زمین لرزه های ۱۹۹۴ نورتریج آمریکا و ۱۹۹۵ کوبه ی ژاپن معلوم شد که، اتصال بال جوشی - جان پیچی استفاده شده در قاب های خمشی فولادی به مقدار زیادی بیش از آن، که تصور می شد آسیب پذیر می باشد. اگر چه در ابتداء جوشکاری کارگاهی به عنوان عامل خرابی

در محل اتصالات معرفی شد ولی نتایج حاصل از انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه هایی با مقیاس واقعی، بیانگر فقدان انعطاف پذیری لازم در این نوع از اتصالات بود.

به منظور بهسازی اتصالات خمشی فولادی، توسط پژوهشگران روش هایی پیشنهاد شده است

که آنها را می توان در سه گروه اصلی جای داد:

- روش های تضعیف در سطح مقطع عرضی تیر.

- روش های تقویت محل اتصال تیر به ستون.

- روش های ترکیبی از موارد فوق.

در این فصل، ابتداء مطالبی درباره ی اتصالات در سازه های فولادی و ضوابط مربوط به طرح

چشمه ی اتصال ارائه و در ادامه به برخی از روش های پیشنهاد شده برای بهسازی اتصالات خمشی

فولادی، اشاره شده است.

### ۱-۲) کلیاتی در مورد اتصالات سازه های فولادی.

طرح عناصر اصلی یک سازه تحت اثر بارگذاریهایی مختلف، با استفاده از فرمول های نظری

موجود در علم مکانیک سازه ها و روابط و ضوابط بیان شده توسط آیین نامه های طراحی

امکان پذیر می باشد. به منظور دست یابی به یک سازه ای ایمن لازم است که، اعضای اصلی آن

بطور مناسب به یکدیگر متصل شوند تا امکان انتقال نیرو از عضوی به عضو دیگر فراهم آید.

بررسی رفتار و عملکرد اتصالات در سازه های فولادی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد

و عدم دقت در طراحی و اجرای اتصالات، نه تنها منجر به خرابی اتصال می شود بلکه اثرات مخربی

نیز بر اعضای سازه ای و در نتیجه کل سازه خواهد داشت. اغلب خرابی های گزارش شده از

سازه های فولادی، مربوط به عملکرد ضعیف اتصالات بوده است. بنابراین، درک صحیح از رفتار

سازه ای اتصال و آگاهی مناسب از نحوه ی انتقال نیرو توسط آن، جهت طرح یک اتصال ایمن و اقتصادی ضروری به نظر می رسد. همچنین، در طرح یک اتصال علاوه بر حصول اطمینان از انتقال صحیح نیرو، باید به اجرائی بودن آن نیز توجه داشت.

### ۱-۲-۱) طبقه بندی اتصالات در سازه های فولادی.

با توجه به تنوع اتصالات در سازه های فولادی، می توان آنها را به شکل زیر طبقه بندی نمود:

- انواع اتصالات بر حسب فن اتصال.
- انواع اتصالات بر حسب میزان صلیبیت.
- انواع اتصالات بر حسب نیروی انتقالی.
- انواع اتصالات بر حسب شکل هندسی.
- انواع اتصالات بر حسب نوع عضو اتصالی.

### ۱-۲-۲) اتصالات صلب.

بارزترین ویژگی یک اتصال صلب، انتقال لنگر می باشد که به کمک این ویژگی، قاب های خمشی بدون نیاز به مهاربندی می توانند در برابر بارهای جانبی از خود واکنش نشان دهند. صلیبیت یک اتصال به دو عامل بستگی دارد:

- سختی.

- مقاومت.

سختی اتصال بیانگر مقاومت آن در برابر تغییر زاویه می باشد و هر قدر اتصالی سخت تر گردد میزان تغییر زاویه در آن کمتر می شود بطوری که، این تغییر زاویه در یک اتصال کاملاً صلب تقریباً برابر با صفر می باشد. اگر اتصالی از صلیبیت کامل (بطور ریاضی بی نهایت) برخوردار نباشد بارهای

وارد بر سازه، در آن تغییر زاویه را موجب می شوند که در این صورت به آن اتصال نیمه صلب گفته می شود. از طرفی، سختی زیاد یک اتصال به تنهایی کافی نمی باشد زیرا که، اگر اتصالی از مقاومت کافی برخوردار نباشد زودتر گسیخته می گردد و در نتیجه موجب بروز رفتار کاهنده در سازه می شود. نکته ی بسیار مهم اینکه، یک اتصال صلب باید دارای مقاومت کافی باشد بطوری که، ناحیه ی تسلیم در داخل تیر یا ستون (ترجیحاً تیر) بوجود آید تا به اتصال آسیبی نرسد. از این رو در بررسی عملکرد لرزه ای یک سازه، اهمیت تأمین مقاومت در یک اتصال بیش از تأمین سختی در آن است چرا که، فقدان سختی باعث کاهش در تأثیر نیروی زلزله بر اتصال و تمرکز آن روی سایر عناصر و اجزای سازه می شود در حالی که، فقدان مقاومت می تواند به گسیختگی اتصال و فرو ریختن بخشی از سازه منجر شود. درباره ی حالت های کلی شکست یک اتصال صلب می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تسلیم یا گسیختگی در اثر تمرکز تنش.
- تسلیم شدگی برشی در چشمه ی اتصال.

### ۱-۳) تاریخچه ی اتصالات در قاب های خمشی فولادی.

استفاده از قاب خمشی فولادی، به عنوان یک سیستم سازه ای مقاوم در برابر بارهای جانبی، از اوائل قرن بیستم مورد توجه بوده است. ابتداء از پرچ در اتصالات این نوع از قاب های سازه ای استفاده می شد. بعد از دهه ی ۱۹۶۰ پرچ ها توسط پیچ هایی با مقاومت بالا و جوش جایگزین شدند.

پوپوف و پنپلکی [نقل از منبع شماره ۳] با انجام آزمایش بر روی اتصالات خمشی به این نتیجه رسیدند که تحت اثر بارگذاری چرخه ای، رفتار غیرالاستیک بهتری با جوش کامل بال ها و