دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

عنوان:

"بررسی اتصالات خمشی از طریق ایجاد شیار در جان تیر"

توسط:
سید رضا جمال

اساتید راهنما:
جناب آقای دکتر دیلمی

زمستان 86

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه

کارشناسی ارشد و دکترا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تاریخ:.....
پیوست:.....

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

شماره دانشجویی: ۸۴۱۲۴۰۶۶ **دانشکده**: مهندسی عمران و محیط زیست **رشته تحصیلی**: مهندسی سازه

نام و نام‌خانوادگی استاد راهنما: دکتر اردشیر دیلمی

عنوان پایان‌نامه به فارسی: بررسی اتصالات خمشی از طریق ایجاد شیار در جان تیر

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: Behavior of Slotted Web Beam to Column Steel Moment Connection

نوع پروژه: **کارشناسی ارشد (X)** **کاربردی (X)** **بنیادی (...)** **توسعه‌ای (...)** **نظری (...)**
دکتـــــــــرا (...)

تاریخ شروع: ۱ / ۹ / ۱۳۸۵ **تاریخ خاتمه**: ۱ / ۱۱ / ۱۳۸۶ **تعداد واحد**: ۶

سازمان تأمین کننده اعتبار:

واژه‌های کلیدی به فارسی: اتصالات خمشی، جان شیار دار، اجزاء محدود

واژه‌های کلیدی به انگلیسی: Moment Connections, Slotted Web, Finite Elements

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

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده عمران و محیط زیست

چکیده پایان‌نامه ارائه شده توسط: **سیدرضا جمال**

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در مهندسی عمران تحت عنوان: **بررسی اتصالات خمشی از طریق ایجاد شیار در جان تیر**

استاد راهنما: **دکتر اردشیر دیلمی** تاریخ تحویل: **زمستان ۸۶**

بعد از زلزله ۱۹۹۴ نورتریج کالیفرنیا، که موجب تغییرات اساسی در اتصالات خمشی تیر به ستون در سازه‌های فولادی شد، سازمان‌های مهندسی تحقیقات خود را جهت تغییر در هندسه این اتصالات آغاز کردند. یکی از روش‌ها جهت اصلاح رفتار این اتصالات، ایجاد شیارهایی در جان تیر می‌باشد. هندسه این اتصال به‌طور کلی شبیه اتصالات قبل از نورتریج است با این تفاوت که با یک شیار در زیر بال تیر ایجاد و جان را به بال ستون جوش می دهیم. ایجاد شیار در بالا و پایین جان تیر سهم مقاومت بال را از جان جدا کرده و انتظار رفتار بهتری داریم. در این پایان‌نامه رفتار کلی اتصال با افزایش طول شیار مورد بررسی قرار می‌گیرد. این کار برای اتصالات خمشی رایج در قبل از زلزله نورتریج و همچنین اتصالات همراه با صفحات بالاسری و پایین سری مورد بررسی قرار می‌گیرد و راهکار جدیدی برای قرار دادن شیار در این نوع اتصالات بیان می‌شود.

جهت آنالیز این اتصالات تحت بارهای نقطه‌ای، از نرم‌افزار اجزاء محدود ANSYS استفاده شده است.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- طبقه‌بندی اتصالات خمشی ۱
۱-۲- بررسی اتصالات خمشی قبل از نورتریج ۲
۱-۳- بررسی رفتار اتصال تیر به ستون با شیار در جان تیر ۲
۱-۴- مطالب این پایان‌نامه ۳

فصل دوم: طبقه‌بندی اتصالات خمشی

۲-۱- معیارهای طبقه‌بندی اتصالات خمشی ۴
۲-۱-۱- طبقه‌بندی اتصالات بر اساس مقاومت ۵
۲-۱-۲- طبقه‌بندی اتصالات بر اساس سختی ۶
۲-۱-۳- طبقه‌بندی اتصالات بر اساس ظرفیت چرخش پلاستیک (شکل‌پذیری) ۶
۲-۲- طبقه‌بندی اتصالات در آیین‌نامه AISC 2005 ۷
۲-۲-۱- سختی اتصال ۸
۲-۲-۲- مقاومت اتصال ۹
۲-۲-۳- شکل‌پذیری اتصال ۹
۲-۳- طبقه‌بندی قاب‌های خمشی در آیین‌نامه لرزه‌ای AISC2005 ۱۰
۲-۳-۱- زوایای دریفت کنترل کننده در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای AISC 2002 و AISC2005 ۱۲
۲-۳-۲- شرایط قاب خمشی ویژه در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای AISC2002 و AISC2005 ۱۳
۲-۴- طبقه‌بندی اتصالات در آیین‌نامه EUROCODE ۱۴
۲-۴-۱- طبقه‌بندی اتصالات بر اساس سختی چرخشی ۱۴
۲-۴-۲- طبقه‌بندی اتصالات بر اساس مقاومت خمشی ۱۶

۲-۵- روش‌های بررسی رفتار اتصال ۱۷
۲-۵-۱- مدل‌سازی تجربی ۱۸
۲-۵-۲- مدل‌سازی تحلیلی ۱۹
۲-۵-۳- مدل‌سازی مکانیکی ۱۹
۲-۵-۴- مدل‌سازی اجزا محدود ۲۰
۲-۵-۵- مدل‌سازی آزمایشگاهی ۲۱

فصل سوم: بررسی مشکلات اتصالات گیردار در زلزله نورتریج

۳-۱- اتصالات خمشی قبل از نورتریج و آسیب‌های وارده به آن‌ها ۲۳
۳-۲- طبقه‌بندی آسیب‌های اتصالات جوشی در زلزله نورتریج ۲۶
۳-۲-۱- آسیب‌های تیر ۲۷
۳-۲-۲- آسیب‌های بال ستون ۲۹
۳-۲-۳- آسیب‌ها، نواقص و ناپیوستگی‌های جوش ۳۰
۳-۲-۴- آسیب‌های ورق اتصال جان ۳۱
۳-۲-۵- آسیب‌های چشمه اتصال ۳۲
۳-۳- عوامل مؤثر بر آسیب‌دیدگی اتصالات خمشی در زلزله نورتریج ۳۳
۳-۴- عوامل موثر بر عملکرد ضعیف اتصالات گیردار در زلزله نورتریج ۳۵
۳-۵- اثر تنش سه محوره ۳۸
۳-۶- معیارهای طرح لرزه‌ای سازه‌های فولادی جوشی ۴۱
۳-۷- اتصالات گیردار جوشی اصلاح شده برای سازه‌های فولادی موجود ۴۲
۳-۷-۱- اتصال جوشی اصلاح شده بال بدون تقویتی ۴۳
۳-۷-۲- اتصال جوشی با ماهیچه تحتانی ۴۳
۳-۷-۳- اتصال جوشی با ماهیچه تحتانی و فوقانی ۴۴
۳-۷-۴- اتصال جوش بال با ورق پوششی ۴۴
۳-۸- اتصالات گیردار جوشی برای استفاده در سازه‌های فولادی جدید ۴۵
۳-۸-۱- اتصال جوشی بال تقویت نشده–جان پیچ شده ۴۵
۳-۸-۲- اتصال جوشی بال تقویت نشده–جان جوش شده ۴۶
۳-۸-۳- اتصال بال آزاد ۴۷
۳-۸-۴- اتصال جوشی ورق بال ۴۸
۳-۸-۵- اتصال تیر با مقطع کاهش یافته ۴۹
۳-۸-۶- اتصال صفحه کناری ۵۰
۳-۸-۷- اتصال جان شیاردار ۵۰

فصل چهارم: بررسی رفتار اتصال تیر به ستون با شیار در جان تیر

۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- عملکرد اتصال SW
۵۴
۴-۳- موارد استفاده از این اتصال ۵۶
۴-۴- طراحی سازه‌ای اتصال SW
۵۷
۴-۴-۱- کلیات ۵۷
۴-۴-۲- مصالح ۵۹
۴-۴-۳- طراحی سازه‌ای ۶۰
۴-۴-۴- ساخت ۶۳
۴-۴-۵- نصب ۶۴
۴-۴-۶- بازرسی خاص و آزمایش ما فوق صوت ۶۵
۴-۴-۷- شناسایی ۶۷
۴-۵- یافته‌ها ۶۷

فصل پنجم: بررسی اتصالات خمشی از طریق ایجاد شیار در جان تیر

۵-۱- مدل‌سازی برای بررسی رفتار اتصال در مقیاس واقعی ۶۹
۵-۱-۱- استفاده از روش اجزا محدود ۶۹
۵-۱-۲- انتخاب مدل ۷۰
۵-۱-۳- تعیین رفتارمصالح ۷۷
۵-۱-۴- مدل‌سازی اجزا محدود ۷۹
۵-۱-۵- بارگذاری و تحلیل ۸۵
۵-۲- بازدید و بررسی نتایج ۸۸
۵-۲-۱- توزیع تنش و کرنش ۸۸

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- خلاصه نتایج ۱۱۸
۶-۲- پیشنهادات ۱۲۱

لیست مراجع

۱۲۲

پیوست

۱۲۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱ طبقه‌بندی اتصالات خمشی

هر سیستم سازه‌ای باید توانایی مقاومت در برابر بارهای وارده را داشته باشد. قاب‌های خمشی از سیستم‌های مقاوم در برابر نیروهای زلزله هستند. تیرها، ستون‌ها و اتصالات اجزای اصلی تشکیل دهنده قاب‌های خمشی می‌باشد. اتصالات نقش بسیار مهمی در رفتار کلی سازه‌های با قاب خمشی ایفا می‌کنند، در این سازه‌ها معمولاً رفتار اتصالات تاثیر عمده‌ای روی رفتار کل سازه می‌گذارد. به‌طور کلی به‌دلیل عدم شناخت کافی از رفتار اتصالات خمشی بیشتر آسیب‌های ایجاد شده در سازه‌های خمشی فولادی از ضعف در طراحی اتصالات آن‌ها ناشی می‌شود. به‌دلیل اهمیت رفتار اتصالات خمشی در سازه‌های با قاب‌های خمشی پرداختن به معیارها و ضوابط طبقه‌بندی این اتصالات ضروری به‌نظر می‌رسد.

۱-۲ بررسی مشکلات اتصالات خمشی قبل از نورتریج

یکی از نکات زلزله نورتریج که در ۱۷ ژانویه سال ۱۹۹۴ رخ داد شکست‌های ترد گسترده در اتصالات خمشی جوشی تیرها و ستون‌ها بود. هر زلزله‌ای درس‌های جدیدی را برای حرفه مهندسی زلزله فراهم می‌نماید. در این زلزله شکست‌های ترد در تعداد زیادی از اتصالات خمشی جوشی به‌طور جدی روش‌های طراحی گذشته را بی‌اعتبار نمود. معمول‌ترین آسیب مشاهده شده در اتصال جوشی بال پایینی تیر به بال ستون رخ داد. پس از این زلزله یک برنامه تحقیقاتی با حمایت آژانس مدیریت فوریت‌های فدرال (FEMA) آغاز شد. این برنامه توسط گروه (SAC) مدیریت می‌شد که شامل سه سازمان حرفه‌ای و آموزشی می‌باشد. انجمن مهندسی سازه کالیفرنیا (SEAOC) انجمن تکنولوژی کاربردی (ATC) و دانشگاه‌های کالیفرنیا برای تحقیق در مهندسی زلزله (CUREE)، برنامه SAC به دو فاز تقسیم شد. فاز اول روی توصیه راهنمایی‌های مقدماتی برای بازرسی، ارزیابی، تعمیر و اصلاح و ساخت و سازهای فولادی تمرکز یافت. در این فاز آزمایش‌های محدود آزمایشگاهی در محل و بررسی‌های موضوعی انجام شد. در فاز اول توصیه‌های موقت FEMA267 منتشر شد. فاز دوم تلاش‌های اصلی برای شناسایی و تحقیق در مورد راه‌حل‌های قابل اطمینان و توسعه معیارهای طراحی لرزه‌ای و استانداردهای عملی برای سازه‌های فولادی را شامل می‌شود. در این فاز خلاصه تحقیقات در دو گزارش FEMA350 و FEMA351 منتشر شده‌است.

۱-۳ بررسی رفتار اتصال تیر به ستون با شیار در جان تیر

یکی از روش‌های اصلاح رفتار اتصالات قبل از نورتریج (Pre-Northridge) که در گزارش FEMA351 بیان شده است، ایجاد شیار در جان تیر می‌باشد. ارایه کننده این روش ادعا کرد که با ایجاد شیار در جان تیر سهم مقاومت بال از جان جدا شده و انتظار رفتار بهتری می‌رود. هندسه این اتصال به‌طور کلی شبیه اتصالات قبل از نورتریج بوده و تنها با ایجاد شیار در زیر بال و جوش دادن جان تیر به بال ستون بررسی‌ها صورت گرفته است.

۱-۴ مطالب این پایان‌نامه

به دلیل بررسی رفتار اتصال خمشی تیر به ستون با شیار در جان تیر در این پایان‌نامه توضیحاتی در رابطه با طبقه‌بندی اتصالات خمشی ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین در فصل دوم توضیحاتی در رابطه با معیارهای طبقه‌بندی اتصالات خمشی ارایه شده است.

در فصل سوم، مشکلات اتصالات خمشی در زلزله نورتریج شرح داده شده است. زیرا تعدادی از این مشکلات جزء مشکلات عام اتصالات خمشی از جمله اتصالات تیر به ستون با شیار در جان تیر (Slotted Web) می‌باشد.

در فصل چهارم این پایان‌نامه رفتار اتصال خمشی با شیار در جان تیر و طریقه طراحی آن مورد توجه قرار می‌گیرد.

در فصل پنجم به مدل‌سازی و آنالیز بر روی این اتصال پرداخته و نتایج آن را مشاهده می‌کنیم.

فصل دوم

طبقه بندی اتصالات خمشی

تیرها، ستون‌ها و اتصالات اجزای اصلی تشکیل دهنده قاب‌های خمشی می‌باشند. اتصالات نقش بسیار مهمی در رفتار کلی سازه‌ها ایفا می‌کنند. به دلیل اهمیت رفتار اتصالات خمشی درسازه‌های با قاب‌های خمشی در این فصل به شرح معیارهای طبقه‌بندی این اتصالات پرداخته شده است و ضوابط طبقه‌بندی اتصالات خمشی سازه‌های فولادی در تعدادی از آیین‌نامه‌ها ارائه شده‌اند.

۲-۱- معیارهای طبقه‌بندی اتصالات خمشی

اتصالات خمشی را می‌توان بر اساس معیارهای مختلفی طبقه‌بندی کرد. معمولاً طبقه‌بندی اتصالات بر پایه ملاحظاتی قرار دارد که در تحلیل سازه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. معیارهایی که برای طبقه‌بندی اتصالات پیشنهاد شده‌اند. سختی چرخشی، مقاومت خمشی و ظرفیت چرخش پلاستیک می‌باشند. معیار سختی چرخشی رفتار اتصال را درحالت بهره‌برداری مورد بررسی قرار می‌دهد در صورتی که معیارهای مقاومت خمشی و ظرفیت چرخشی پلاستیک معیارهایی هستندکه وضعیت اتصال را در حالت حدی مقاومت مورد بررسی قرار می‌دهند. با توجه به نوع تحلیل سازه‌ای که انجام می‌شود، این معیارها در تحلیل در نظر گرفته می‌شوند. انواع تحلیل‌ها عبارتند از :

- تحلیل الاستیک که بر پایه رابطه خطی لنگر- چرخش اتصال قرار دارد.
- تحلیل صلب-پلاستیک که بر پایه مقاومت خمشی اتصال قرار دارد، در صورتی‌که اتصال بتواند ظرفیت چرخشی کافی را ایجاد نماید.
- تحلیل الاستیک-پلاستیک که بر پایه مدل‌سازی غیرخطی کل منحنی لنگر-دوران قرار دارد.

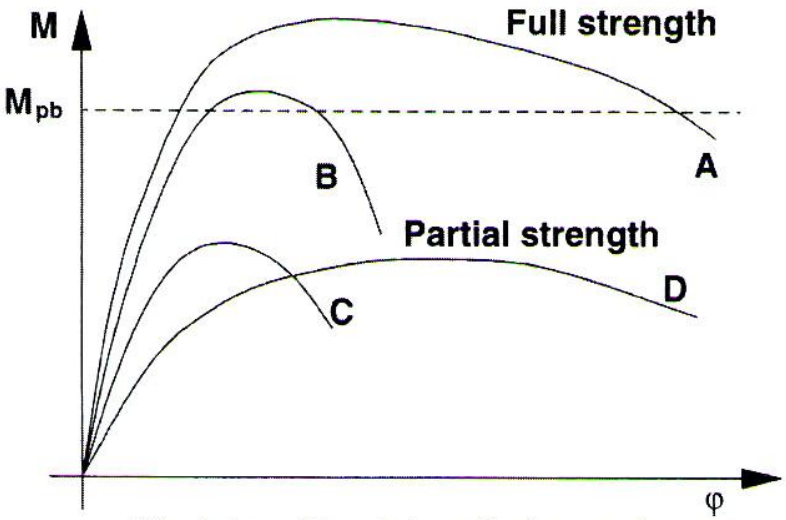
بنابراین در تحلیل الاستیک معیار سختی چرخشی مدنظر قرار می‌گیرد. در تحلیل صلب-پلاستیک معیارهای مقاومت خمشی و ظرفیت چرخش پلاستیک و در تحلیل الاستیک-پلاستیک هر سه معیار مورد بحث مورد توجه قرار می‌گیرند.

۲-۱-۱- طبقه‌بندی اتصالات بر اساس مقاومت [۱]

اتصالات بر حسب مقاومت به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند:

اتصالات کاملاً مقاوم : این اتصالات مقاومتی حداقل برابر با عضو متصل به خود دارند. در این اتصالات مفصل پلاستیک در تیر تشکیل می‌شود نه در اتصال. منحنی A در شکل (۲-۱) رفتار یک اتصال کاملاً مقاوم را نشان می‌دهد. در منحنی B تسلیم همزمان در تیر و در اتصال رخ می‌دهد در این منحنی مقاومت اتصال در حدی نیست که بتواند از تسلیم اتصال در اثر سخت‌شدگی کرنشی نیز جلوگیری نماید.

اتصالات نسبتاً مقاوم : مقاومت این اتصالات کمتر از مقاومت تیر می‌باشد. در این اتصالات مفصل پلاستیک در اتصال تشکیل می‌شود. منحنی‌های C و D در شکل ۲-۱ بیانگر رفتاراتصالات نسبتاً مقاوم می‌باشند.



شکل ۲-۱: طبقه‌بندی اتصالات براساس مقاومت خمشی[۱]

۲-۱-۲- طبقه‌بندی اتصالات بر اساس سختی [۱]

اتصالات بر اساس سختی به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند.

اتصالات صلب یا گیردار : این اتصالات تمامی چرخش‌ها را منتقل می‌نمایند و تغییرشکل آن‌ها به اندازه کافی کم می‌باشد. بنابراین اثر آن‌ها بر توزیع لنگر درسازه‌ها و تغییرشکل کلی سازه نادیده گرفته می‌شود.

اتصالات نیمه صلب یا نیمه گیردار : این اتصالات به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با توجه به سختی خود تا حدودی بین اعضاء اندرکنش ایجاد نمایند. اتصالات نیمه صلب در فاصله بین اتصالات مفصلی و اتصالات صلب قرار دارند.

۲-۱-۳- طبقه‌بندی اتصالات بر اساس ظرفیت چرخش پلاستیک (شکل‌پذیری) [۱]

اتصالات بر اساس شکل‌پذیری به دو دسته تقسیم می‌شوند:

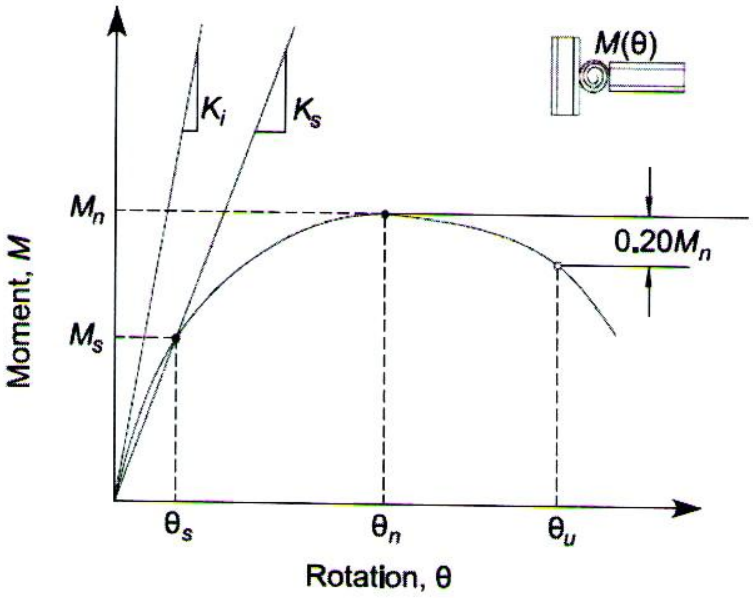
اتصالات کاملاً شکل‌پذیر : اتصالاتی هستند که توانایی آن‌ها در ایجاد چرخش پلاستیک برابر و یا بیشتر از توانایی عضو متصل به آن‌ها در ایجاد چرخش پلاستیک می‌باشد.

اتصالات نسبتاً شکل‌پذیر : اتصالاتی هستند که توانایی آن‌ها در ایجاد چرخش پلاستیک کمتر از توانایی عضو متصل به آن‌ها در ایجاد چرخش پلاستیک می‌باشد.

۲-۲- طبقه‌بندی اتصالات در آیین‌نامه AISC 2005 [۲]

برای طبقه‌بندی اتصالات می‌توان مهمترین ویژگی‌های رفتاری اتصال را با نمودار لنگر-چرخش (M-θ) مدل‌سازی نمود. شکل (۲-۲) یک نمودار M-θ را نشان می‌دهد. در این شکل K_i سختی اولیه اتصال و K_s سختی سکانت در بارهای سرویس می‌باشند.

در منحنی لنگر- چرخش ، اتصال بصورت ناحیه‌ای از تیر و ستون به همراه اجزای تشکیل دهنده اتصال تعریف شده است. به این دلیل که چرخش در یک آزمایش فیزیکی عموماً روی طول یک گیج اندازه‌گیری می‌شود. چرخش اتصال به گونه‌ای تعریف شده است که نه تنها سهم اعضای تشکیل دهنده اتصال بلکه سهم انتهای اعضای متصل شونده و چشمه اتصال را در با یکدیگر ترکیب می‌نماید.



شکل ۲-۲: نمونه ای از نمودار $M-\theta$ [۲]

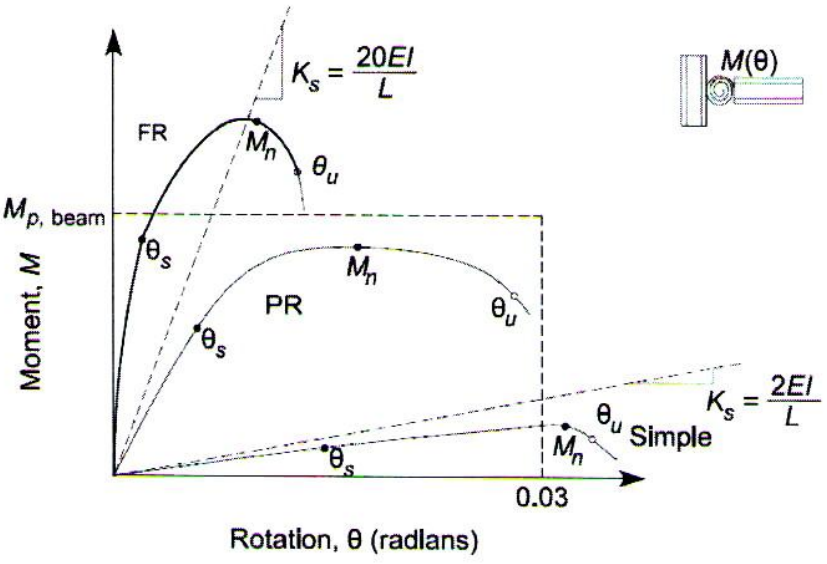
۲-۲-۱- سختی اتصال

به این دلیل که رفتار غیرخطی اتصال حتی در سطوح پایین لنگر-چرخش بروز می‌نماید سختی اولیه اتصال K_i پاسخ سازه را در سطوح بهره‌برداری بطور کامل توصیف نمی‌نماید. بنابر این سختی سکانت K_s در بارهای سرویس به عنوان شاخص سختی اتصال در نظر گرفته می‌شود.

$$K_s = M_s / \theta_s \qquad (۱-۲)$$

M_s لنگر تحت بارهای سرویس و چرخش تحت بارهای سرویس می‌باشد.

اگر $K_sL/_{EI} \geq 20$ اتصال کاملاً گیردار (FR)، و اگر $K_sL/_{EI} \leq 2$ اتصال ساده در نظر گرفته می‌شود. البته عدد ۲۰ یک عدد کاملاً قطعی نمی‌باشد. اتصالات با سختی بین این دو حد نیمه‌گیردار (PR) بوده و سختی و مقاومت و شکل‌پذیری آن‌ها باید در طراحی در نظر گرفته شود. EI صلبیت خمشی تیر و L طول تیر می‌باشد. نمونه‌هایی از منحنی‌های رفتار اتصالات گیردار، نیمه‌گیردار و ساده در شکل (۲-۳) نشان داده شده است.



شکل ۲-۳: طبقه‌بندی اتصالات براساس سختی[۲]

۲-۲-۲- مقاومت اتصال

مقاومت اتصال یا M_n حداکثر لنگری است که اتصال می‌تواند تحمل کند. که در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. مقاومت اتصال را می‌توان بر پایه مدل حالت حدی نهایی اتصال یا آزمایش فیزیکی تعیین کرد. اگر پاسخ لنگر چرخش نقطه حداکثری نداشته باشد. مقاومت را می‌توان به صورت لنگر در چرخش ۰/۰۲ رادیان در نظر گرفت همچنین یک حد پایین برای مقاومت اتصال در نظر گرفته شده است که اتصالات با مقاومت کمتر از این حد ساده در نظر گرفته شوند. اتصالاتی که کمتر از ۲۰ درصد لنگر پلاستیکی تیر را در زاویه چرخش ۰/۰۲ رادیان انتقال دهند. در طراحی به عنوان اتصال ساده یا بدون مقاومت خمشی در نظر گرفته می‌شوند. θ_n چرخش متناظر با لنگر M_n می‌باشد. θ_u حداکثر ظرفیت چرخش اتصال است. باید توجه کرد که ممکن است اتصال کاملاً گیردار مقاومتی کمتر از مقاومت تیر داشته باشد. همچنین ممکن است که یک اتصال نیمه گیردار مقاومتی بیش از مقاومت تیر داشته باشد. اگر M_n از مقاومت خمشی تیر $M_{p,beam}$ بیشتر باشد اتصال کاملاً مقاوم و در غیر این صورت اتصال نسبتاً مقاوم می‌باشد. مقاومت اتصال باید برای مقاومت در برابر لنگرهای طراحی کافی باشد.

۲-۲-۳- شکل‌پذیری اتصال

اگر مقاومت اتصال به‌طور قابل توجهی از لنگر پلاستیک تیر بیشتر باشد شکل‌پذیری سیستم توسط تیر کنترل می‌گردد و می‌توان اتصال را الاستیک در نظر گرفت. اگر مقاومت اتصال تا حدی بیشتر از ظرفیت خمشی پلاستیک تیر باشد اتصال نیز ممکن است قبل از رسیدن به تمام لنگر پلاستیک تیر تغییرشکل غیرالاستیک را تجربه نماید. اگر مقاومت تیر بیش از مقاومت اتصال باشد تغییرشکل‌ها در اتصال متمرکز می‌شوند. نیازمندی‌های شکل‌پذیری چرخشی برای طراحی لرزه‌ای به سیستم سازهای بستگی دارند و در آیین‌نامه لرزه‌ای AISC 2002 [۶] ارائه شده‌اند. در شکل (۲-۲) θ_u مقدار چرخش اتصال در زمانی است که لنگر اتصال به ۸۰ درصد حداکثر لنگر M_n کاهش یابد، یا چرخش ۰/۰۳ رادیان در حالتی که اتصال کاهش مقاومتی تا چرخش‌های خیلی بزرگ ندارد چون اتکا به این چرخش‌های بزرگ در طراحی محتاطانه نمی‌باشد.

۲-۳- طبقه‌بندی قاب‌های خمشی در آیین‌نامه لرزه‌ای AISC2005 [۳]

آیین‌نامه لرزه‌ای AISC2005 قاب‌های خمشی فولادی را به سه دسته طبقه‌بندی می‌نماید.

قاب‌های خمشی ویژه (SMF)

قاب‌های خمشی متوسط (IMF)

قاب‌های خمشی معمولی (OMF)

در قاب‌های خمشی ویژه تغییرشکل‌های غیرخطی زیادی رخ می‌دهد ولی قاب‌های خمشی متوسط تا حدودی توانایی ایجاد تغییرشکل غیرخطی را دارند. قاب خمشی معمولی قابی است که تغییرشکل‌های غیرخطی بسیار کمی از خود نشان می‌دهد.

در گذشته زاویه چرخش پلاستیک θ_P به عنوان پارامتری برای طبقه‌بندی عملکرد اتصالات مورد استفاده قرار می‌گرفت. در FEMA350 [۴] زاویه دریفت طبقه θ به جای زاویه چرخش پلاستیک مورد استفاده قرار گرفته است. به این دلیل که:

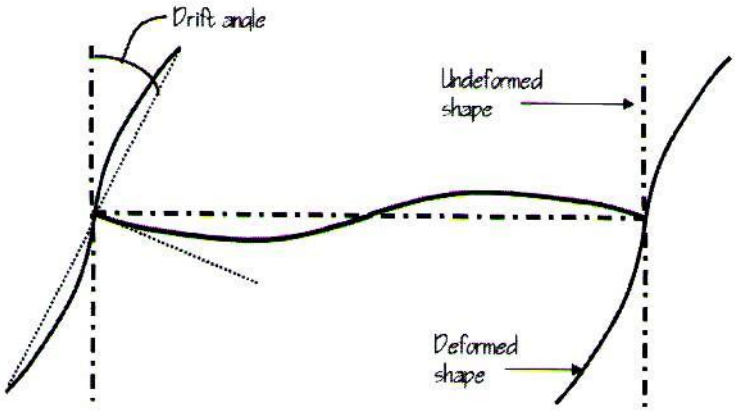
- با توجه به پیش‌بینی عملکرد قاب پایدارتر به نظر می‌رسد.
- به طور مناسبی با زاویه چرخش پلاستیک ارتباط دارد.
- با توجه به تعریف ابهام کمتری در آن وجود دارد.
- کمیتی است که به سادگی می‌توان آن را از نتایج تحلیل خطی یا غیرخطی بدست آورد.

تفاوت زاویه دریفت طبقه با چرخش پلاستیک در این است که زاویه دریفت طبقه چرخش‌های الاستیک را هم شامل می‌شود.

$$\theta = \theta_p + \theta_e \qquad (۲-۲)$$

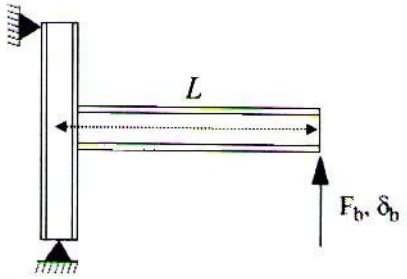
Θ_e زاویه چرخش الاستیک می‌باشد.

در شکل ۲-۴ زاویه دریفت طبقه نشان داده شده است.



شکل ۲-۴: زاویه دریفت طبقه[۴]

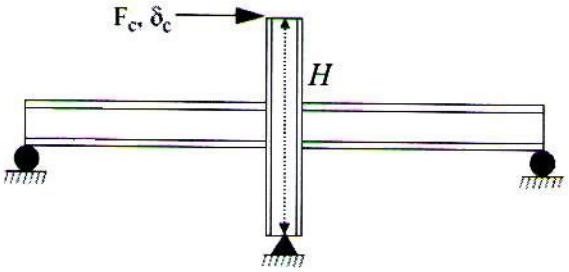
طریقه محاسبه زاویه دریفت در نمونه‌های یکطرفه و دوطرفه اتصال مورد آزمایش در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.



Displacement applied to beam tip

$$\theta = \delta_b / L$$

مدل یکطرفه



Displacement applied to column tip

$$\theta = \delta_c / H$$

مدل دوطرفه

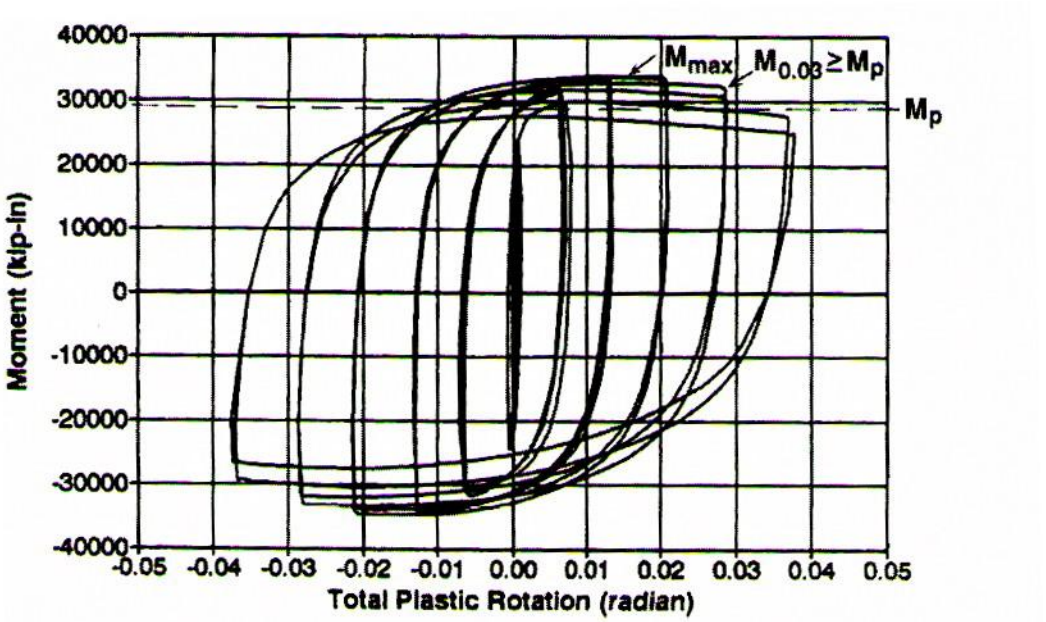
شکل ۲-۵: طریقه بدست آوردن زاویه دریفت[۵]

در ضوابط مربوط به طراحی این سه دسته قاب خمشی درس‌های آموخته شده از زلزله‌های نورتریج و کوبه لحاظ شده است. ضوابط اتصالات خمشی لحاظ شده در آیین‌نامه لرزه‌ای ۱۹۹۲ بر پایه آزمایش‌های انجام شده توسط Popov و Stephen در اوایل دهه ۱۹۷۰ قرار داشتند. این آزمایشات نشان داده بودند که برای ابعاد و مقاومت مصالح در نظر گرفته شده در آزمایش، یک اتصال خمشی تیر و ستون با جوش شیاری با نفوذ کامل بین بال تیر و بال ستون و اتصال جان تیر توسط جوش یا پیچ می‌تواند چرخش غیرخطی ۰/۰۱ تا ۰/۰۱۵ رادیان را ایجاد نماید. در آن زمان مهندسان این‌گونه می‌پنداشتند که چنین چرخش‌هایی با دریفت ۲ تا ۲/۵ درصد متناظرند، که برای عملکرد سازه مناسب می‌باشند. بررسی‌های انجام شده بعد از زلزله نورتریج نشان دادند که تغییرات زیادی که از سال ۱۹۷۰ در مصالح، جوشکاری و ابعاد اعضاء صورت گرفته نتایج آزمایش‌ها را برای طراحی‌های فعلی نامناسب می‌سازند. به علاوه تحلیل‌های تاریخچه زمانی اخیر روی زلزله‌های حوزه نزدیک با در نظر گرفتن اثر $P-\Delta$ نشان داده‌اند که دریفت ممکن است بیش از آنچه قبلاً در نظر گرفته شده است باشد. سه نوع قاب خمشی ارائه شده در آیین‌نامه لرزه‌ای ۲۵۰۰ سه سطح مختلف چرخش غیرخطی مورد نیاز را تأمین می‌کنند. قاب‌های خمشی ویژه برای سازگاری با چرخش غیرخطی ۰/۰۳ رادیان و قاب‌های خمشی متوسط برای چرخش غیرخطی ۰/۰۱ رادیان طراحی می‌گردند. قاب‌های خمشی معمولی نیز به گونه‌ای طراحی می‌گردند که بطور قابل ملاحظه‌ای در حالت خطی باقی بمانند و تغییرشکل‌های غیرخطی بسیار کمی داشته باشند. این گونه فرض می‌شود که دریفت خطی قاب‌های خمشی معمولاً ۰/۰۱ رادیان می‌باشد. چرخش غیرخطی تقریباً معادل دریفت غیرخطی در نظر گرفته می‌شود. بنابر این سه نوع قاب خمشی باید با زاویه های دریفت ۰/۰۴ و ۰/۰۲ و ۰/۰۱ رادیان سازگاری داشته باشند. [۳]

۲-۳-۱- زوایای دریفت کنترل کننده در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای AISC 2002 [۶] و AISC2005 [۳]

FEMA350 [۴] دو معیار را برای تعیین زاویه دریفت کنترل کننده برای قاب‌های خمشی ویژه پیشنهاد می‌کند زاویه دریفت" کاهش مقاومت "یعنی زاویه‌ای که در آن زاویه یا خرابی اتصال رخ می‌دهد یا مقاومت اتصال به کمتر از ظرفیت اسمی پلاستیک تیر کاهش می‌یابد. زاویه دریفت "نهایی" زاویه‌ای می‌باشد که در این زاویه میزان آسیب

اتصال به حدی شدید است که توانایی اتصال برای پایداری تحت بارهای ثقلی نامعلوم می‌باشد. برای قاب‌های خمشی ویژه زاویه دریفت کنترل کننده کاهش مقاومت ۰/۰۴ رادیان و زاویه دریفت نهایی ۰/۰۶ رادیان می‌باشد. مقاومت در زاویه دریفت ۰/۰۴ رادیان نباید به کمتر از مقاومت خمشی اسمی تیر کاهش یابد. در شکل (۲-۶) این رفتار را مشاهده می‌کنید. لازم به ذکر است که چرخش پلاستیک ۰/۰۳ رادیان برای قاب‌های با دریفت الاستیک ۰/۰۱ رادیان معادل زاویه دریفت ۰/۰۴ رادیان می‌باشد. شکل (۲-۶) در آیین‌نامه لرزه‌ای AISC 2002 ارائه شده است. به نظر می‌رسد در این شکل لنگر در محور ستون در نظر گرفته شده است.



شکل ۲-۶: معیار ارائه شده برای قابهای خمشی ویژه در آیین‌نامه لرزه‌ای AISC2002[۶]

۲-۳-۲- شرایط قاب خمشی ویژه در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای AISC2002 [۶] و AISC2005 [۳]

- اتصال باید حداقل توانایی تحمل تا زاویه دریفت ۰/۰۴ رادیان را داشته باشد.
- مقاومت خمشی اتصال در وجه ستون در زاویه دریفت ۰/۰۴ رادیان حداقل ۸۰ درصد M_p تیر متصل به آن باشد.