

سوگندنامه

بدین وسیله تصریح می‌نمایم که تنها مؤلف این پایان نامه می‌باشم. کار توضیح داده شده در این پایان نامه قبلاً برای مدرک دانشجویی در این دانشگاه یا هر دانشگاه دیگری ارائه نشده است، جز اینکه به آن اشاره شده باشد. آنچه که حاضر است نسخه کاملی از پایان نامه شامل تجدید نظرهای نهایی مورد نیاز می‌باشد.



دانشگاه شمال

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته عمران - سازه

عنوان پایان نامه:

مدلسازی منحنی لنگر - دوران برای اتصال وصله تیر مقاطع
مستطیلی توخالی تحت اثر لنگر خمشی و نیروی محوری

استاد راهنما:

دکتر مرتضی حسینعلی بیگی

استاد مشاور:

مهندس سعید فلاحیان

نگارش:

سید محمد حسن کاظمی سنگدهی

تابستان ۱۳۹۰

قدردانی

بدین وسیله قدردانی و سپاس صمیمانه خود را از استاد راهنمای عزیز و گرانقدر این پایان نامه جناب آقای دکتر مرتضی حسینعلی بیگی به خاطر حمایت‌ها و تشویقات ایشان، صبر و بردباری و راهنمایی‌های ارزشمندشان اعلام می‌دارم. آموزش‌ها و راهنمایی‌های مداوم ایشان از سال‌های دور تاکنون مرزهای دانش سازه‌ای مرا گسترش داده و می‌دهد.

و سپاس ویژه از استاد مشاور این پایان نامه جناب آقای مهندس فلاحیان به خاطر حمایت‌های ایشان که در جمع‌آوری و تدوین این تحقیق شامل حال من گردید.

در نهایت از خانواده و دوستان عزیزتر از جانم که با عشق بی‌پایان و حمایت‌های بی دریغشان در طول سالیان مرا یاری نمودند. تشویق و حمایت ایشان همواره انگیزه جهت تاب آوردن در مقابل فشارها و سختی‌های روزگار را به من بخشیده است.

تقدیم

به والدینم، همسر و دخترم و دوستان همیشهام ...

چکیده

مطالعه اتصالات خمشی صفحه انتهایی پیچی، شامل اتصال تیر به ستون و تیر به تیر، امروزه کاملاً رایج است. ساختمان‌هایی که چنین اتصالاتی را بکار می‌برند به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و شناخت عمومی مزایای ارزشمند این اتصالات در حال رشد و افزایش است. کار تحقیقاتی گزارش شده در این پایان نامه، نتایج تحلیل‌های پارامتری متعددی را برای تعیین منحنی لنگر- دوران اتصالات صفحه انتهایی خمشی پیچی مقاطع مستطیلی تو خالی* (RHS) با دو ردیف پیچ، به کمک مدل‌سازی اجزای محدود** (FEM) ارائه می‌کند. مطالعات آزمایشگاهی پیشین، روی ارتباط لنگر و دوران، تحت خمش خالص متمرکز شده‌اند. در این پروژه خصوصاً مطالعه عددی در مورد تأثیرات خمش به علاوه بار فشاری محوری در نظر گرفته شد. در ابتدا یک مدل عمومی سه بعدی اجزای محدود برای این اتصالات، تحت خمش خالص آماده شده است. برای تأیید مدل‌سازی، خروجی‌ها با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌شوند. مقایسه بین نتایج بدست آمده از مدل‌سازی و نتایج آزمایشگاهی اتصال، درستی و دقت مدل را نشان می‌دهد. پس از تأیید مدل، تعداد زیادی تحلیل‌های اجزای محدود، مبتنی بر بارها و ترکیبشان تعریف شده‌اند. سپس در همه موارد منحنی‌های لنگر- دوران برای پیش‌بینی سختی اولیه، لنگر نهایی و سایر مشخصه‌های اتصال ارائه شده‌اند. علاوه بر این تحقیق حاضر دیدگاهی را در خصوص تعیین سختی اولیه منحنی لنگر- دوران با استفاده از فرمول بندی عددی ایجاد می‌کند. نتایج رابطه پیشنهادی برای حالت خمش خالص که بر اساس نتایج چندین اتصال با ابعاد متغیر استخراج شده از دقت کافی برخوردار است.

کلمات کلیدی: اتصال صفحه انتهایی خمشی، مقطع مستطیلی تو خالی، مدل‌سازی اجزای محدود، منحنی لنگر- دوران، سختی اولیه

* *Rectangular Hollow Section*

** *Finite Element Modeling*

فهرست مطالب

۱	کلیات و مروری بر مطالعات انجام شده	فصل اول:
۲	کلیات	۱-۱
۴	اتصالات خمشی با صفحه انتهایی	۲-۱
۶	مروری بر مطالعات انجام شده	۳-۱
۸	ساختار پایان نامه	۴-۱
۹	مطالعه مدل‌سازی اجزای محدود و صحت‌یابی مدل	فصل دوم:
۱۰	مقدمه	۱-۲
۱۰	مدل اجزای محدود	۲-۲
۱۰	تشریح مدل	۳-۲
۱۲	شرایط مرزی و بار	۴-۲
۱۳	خواص مصالح و مواد	۵-۲
۱۵	مشخصات هندسی نمونه‌های آزمایشی	۶-۲
۱۶	نمونه عددی	۷-۲
۱۷	نتیجه‌گیری	۸-۲
۱۹	مطالعه پارامتریک اتصالات وصله تیر مقاطع <i>RHS</i> تحت خمش خالص	فصل سوم:
۲۰	مقدمه	۱-۳
۲۰	تشریح مطالعه	۲-۳
۲۲	تشریح پارامترها	۳-۳
۲۹	تأثیر ضخامت صفحه	۴-۳
۳۴	تأثیر اندازه پیچ	۵-۳
۴۰	تأثیر درجه پیچ	۶-۳
۴۴	نتیجه‌گیری	۷-۳
۴۵	مطالعه پارامتریک اتصالات وصله تیر مقاطع <i>RHS</i> تحت ترکیب لنگر خمشی و نیروی محوری	فصل چهارم:
۴۶	مقدمه	۱-۴
۴۶	جزئیات بارگذاری	۲-۴
۴۷	پیش‌بینی تأثیرات بار محوری فشاری	۳-۴
۴۷	نتایج خمش به علاوه بار محوری فشاری	۴-۴
۵۴	نتیجه‌گیری	۵-۴
۵۵	فرمول بندی عددی رفتار اتصالات وصله تیر مقاطع <i>RHS</i> تحت خمش خالص	فصل پنجم:
۵۶	مقدمه	۱-۵
۵۶	شکل ریاضی رگرسیون	۲-۵
۵۷	معادله نظریه <i>Eurocode-3</i>	۳-۵
۵۹	سختی اولیه معادل پیچ	۴-۵
۶۰	نتیجه‌گیری	۵-۵

۶۱	نتیجه‌گیری و پیشنهادات	فصل ششم:
۶۲	نتیجه‌گیری	۱-۶
۶۲	پیشنهادات	۲-۶
۶۴		مراجع
	مطالعات <i>Wheeler</i> روی طراحی مدل برای اتصالات صفحه انتهایی خمشی پیچی با استفاده از	پیوست الف:
۶۷	<i>RHS</i>	
۶۷	کلیات	الف-۱
۶۷	تحلیل خطوط تسلیم	الف-۲
۶۹	روش <i>T-Stub</i> اصلاح شده	الف-۳
۷۱	جمع‌بندی و نتیجه‌گیری	الف-۴
۷۲	منحنی‌های لنگر- دوران (تحت خمش خالص)	پیوست ب:

فهرست علائم

ν	ضریب پواسون
ϵ_y	کرنش تسلیم
ϵ_p	کرنش خمیری
ϵ_u	کرنش نهایی
σ_y	تنش تسلیم
σ_p	تنش خمیری
σ_u	تنش کششی نهایی
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	تنش‌های اصلی
σ_f	تنش <i>von-Mises</i>
E	مدول الاستیسیته
E_p	مدول پلاستیسیته
E_t	مدول کار سختی
A	اندازه صفحه
t_p	ضخامت صفحه
d_{bolt}	قطر پیچ
a_e	فاصله از لبه صفحه تا مرکز حفره پیچ
a_i	فاصله بین مرکز پیچ‌ها و بال مقطع
d_s	اندازه تیر
t_s	ضخامت تیر
a_w	اندازه جوش
G	درجه پیچ
K_i	سختی معادل اجزای اتصال
K_{I0}	ضریب سختی معادل پیچ‌های تحت کشش
$K_{ini-bolt}$	سختی اولیه معادل پیچ در کشش
$\alpha_i, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$	ضرایب بی بعد
p_i	پارامترهای اندازه بی بعد
S_{ini}	سختی دورانی اولیه اتصال
B	پهنای <i>RHS</i>
Bul	مقاومت کششی اندازه‌گیری شده پیچ منفرد
σ_{ubolt}	تنش نهایی پیچ
C	فاصله از خط جان مقطع تا مرکز حفره پیچ
d	عمق <i>RHS</i>

d'	عمق اصلاح شده مقطع
D_p	عمق صفحه انتهایی
σ_{ub}	تنش تسلیم پیچ
M_{ip}	ممان پلاستیک صفحه انتهایی در نقطه i در مدل $T-Stub$
m_p	ممان پلاستیک صفحه انتهایی در واحد طول
M_{yl}	ممان تسلیم اتصال بر مبنای تحلیل خط تسلیم
N	تعداد پیچ کششی
S	طول ساق جوش
S_o	فاصله از بال مقطع تا مرکز حفره پیچ
S'_o	فاصله اصلاح شده از بال مقطع تا مرکز حفره پیچ
w_{eq}	عرض معادل صفحه انتهایی

فهرست جداول

۱۵	جزئیات اتصال صفحه انتهایی	۱-۲
۱۵	جزئیات مقطع اسمی	۲-۲
۱۵	جزئیات پیچ	۳-۲
۱۷	نتایج اتصالات صفحه انتهای	۴-۲
۲۲	خواص مواد تیر و صفحه انتهایی	۱-۳
۲۲	خواص مواد پیچ	۲-۳
۲۴	اندازه‌های پارامترهای هندسی	۳-۳
۲۵	شرایط حدی برای پارامترهای هندسی	۴-۳
۲۶	جزئیات مطالعه پارامتری عددی (ابعاد به میلیمتر)	۵-۳
۳۰	اثر ضخامت صفحه روی خصوصیات منحنی لنگر- دوران	۶-۳
۳۶	ضرایب مهم خصوصیات منحنی‌های لنگر- دوران تغییرات اندازه پیچ در مدل هر گروه	۷-۳
۴۰	تأثیر اندازه پیچ روی خصوصیات منحنی لنگر- دوران	۸-۳
۴۹	تأثیر نیروی محوری فشاری روی خصوصیات منحنی لنگر دوران مدل ۳۸	۱-۴
۴۹	تأثیر نیروی محوری فشاری روی خصوصیات منحنی لنگر دوران مدل ۹۱	۲-۴
۵۸	توصیف عبارت P_i و آمار آن در معادله پارامتریک	۱-۵
۵۹	پارامترهای نمای سوار کردن منحنی	۲-۵

فهرست نمودارها

۳	مشخصه‌های منحنی لنگر- دوران	۱-۱
۴	نمونه‌هایی از اتصالات صفحه انتهایی لب به لب	۲-۱
۵	نمونه‌هایی از اتصالات صفحه انتهایی لبه دار	۳-۱
۶	نمونه‌هایی از اتصالات صفحه انتهایی خمشی پیچی با استفاده از <i>RHS</i>	۴-۱
۱۱	مدل سه بعدی اجزای محدود	۱-۲
۱۱	طرح پیچ با سر شش گوش	۲-۲
۳-۲	رفتارهای مصالح ایده‌آل شده به کار رفته در تحلیل اجزای محدود برای: (الف) تیرو صفحه انتهایی (ب)	
۱۳	پیچ با مقاومت بالا	۳-۲
۱۴	طرح عمومی صفحه انتهایی	۴-۲
۱۶	مقایسه بین نتایج روش اجزای محدود سه بعدی و نتایج روش <i>Wheeler</i> (نمونه شماره ۱)	۵-۲
۱۶	مقایسه بین نتایج روش اجزای محدود سه بعدی و نتایج روش <i>Wheeler</i> (نمونه شماره ۲)	۶-۲
۲۱	قاعده اساسی تیر و صفحه انتهایی با مواد پلکانی یا قطعه قطعه (تقریب چهار خطی)	۱-۳
۲۱	معادلات تنش- کرنش سه خطی برای پیچ	۲-۳
۲۳	طراح عمومی صفحه انتهایی در مطالعه پارامتریک	۳-۳
۲۹	منحنی لنگر- دوران برای مدل‌های ۱۷ و ۲۱ و ۲۳	۴-۳
۳۱	توزیع تنش و کرنش <i>von-Mises</i> برای مدل ۱۷ (الف) تنش در کل مدل (ب) کرنش پلاستیک	۵-۳
۳۱	توزیع تنش و کرنش <i>von-Mises</i> برای مدل ۲۳ (الف) تنش در کل مدل و پیچ کششی (ب) کرنش	۶-۳
۳۲	پلاستیک	۳۲
۷-۳	تأثیر ضخامت صفحه: $a_i=50\text{ mm}, a_e=50\text{ mm}, a_w=10\text{ mm}, d_s=100\text{ mm}, A=300\text{ mm}$	
۳۳	پیچ <i>M22</i>	۳۳
۸-۳	تأثیر ضخامت صفحه: $a_i=125\text{ mm}, a_e=75\text{ mm}, a_w=15\text{ mm}, d_s=200\text{ mm}, A=600\text{ mm}$	
۳۳	و پیچ <i>M36</i>	۳۳
۹-۳	تأثیر ضخامت صفحه: $a_i=95\text{ mm}, a_e=125\text{ mm}, a_w=16.5\text{ mm}, d_s=260\text{ mm}, A=700\text{ mm}$	
۳۴	و پیچ <i>M30</i>	۳۴
۱۰-۳	تأثیر اندازه پیچ روی منحنی لنگر- دوران گروه ۱: $a_i=50\text{ mm}, a_e=50\text{ mm}, a_w=63\text{ mm}$	
۳۷	$d_s=100\text{ mm}, t_p=12, A=300\text{ mm}$	۳۷
۱۱-۳	تأثیر اندازه پیچ روی منحنی لنگر- دوران گروه ۱۹: $a_i=75\text{ mm}, a_e=125\text{ mm}, a_w=10\text{ mm}$	
۳۷	$d_s=100\text{ mm}, t_p=20, A=600\text{ mm}$	۳۷
۱۲-۳	توزیع تنش و کرنش <i>von-Mises</i> برای مدل ۱: (الف) تنش در کل مدل و پیچ کششی (ب) کرنش	
۳۸	پلاستیک	۳۸
۱۳-۳	توزیع تنش و کرنش <i>von-Mises</i> برای مدل ۶: (الف) تنش در کل مدل و پیچ کششی (ب) کرنش	
۳۹	پلاستیک	۳۹
۱۴-۳	تأثیر درجه پیچ روی منحنی لنگر- دوران مدل‌های ۳۴ و ۴۶ و ۵۷ و ۶۸ با درجه پیچ به ترتیب معادل	
۴۱	۳۵۰ و ۴۰۰ و ۴۵۰ و ۵۰۰	۴۱

تأثیر درجه پیچ روی منحنی لنگر- دوران مدل‌های ۸۱ و ۹۰ و ۹۵ با درجه پیچ به ترتیب معادل ۵۵۰ و ۴۵۰ و ۵۰۰	۱۵-۳
..... ۴۱	
توزیع تنش و کرنش <i>von-Mises</i> برای مدل ۳۴: (الف) تنش در کل مدل و پیچ کششی (ب) کرنش پلاستیک	۱۶-۳
..... ۴۲	
توزیع تنش و کرنش <i>von-Mises</i> برای مدل ۶۸: (الف) تنش در کل مدل و پیچ کششی (ب) کرنش پلاستیک	۱۷-۳
..... ۴۳	
توزیع تنش و کرنش برای خمش تنها	۱-۴
..... ۴۸	
توزیع تنش و کرنش برای خمش و فشار	۲-۴
..... ۴۸	
مقایسه بین منحنی‌های لنگر- دوران برای خمش به علاوه سطوح مختلف نیروی محوری فشاری برای مدل ۳۸	۳-۴
..... ۵۰	
مقایسه بین منحنی‌های لنگر- دوران برای خمش به علاوه سطوح مختلف نیروی محوری فشاری برای مدل ۹۱	۴-۴
..... ۵۰	
توزیع تنش و کرنش <i>von-Mises</i> برای مدل ۳۸ ($P=0$) (الف) تنش در کل مدل و پیچ کششی (ب) کرنش پلاستیک	۵-۴
..... ۵۱	
توزیع تنش و کرنش <i>von-Mises</i> برای مدل ۳۸ ($P = 0.5\sigma_y$) (الف) تنش در کل مدل و پیچ کششی (ب) کرنش پلاستیک	۶-۴
..... ۵۲	
تأثیر ضخامت صفحه، مقایسه بین مدل‌های ۱۷ و ۲۱ و ۲۳ با t_p معادل ۲۰ و ۲۵ و ۳۰ ($P = 0.5\sigma_y$)	۷-۴
..... ۵۳	
تأثیر اندازه پیچ برای گروه ۱ ($P = 0.5\sigma_y$)	۸-۴
..... ۵۳	
تأثیر درجه پیچ برای مدل ۳۴ و ۴۶ و ۵۷ و ۶۸ با درجه پیچ معادل ۵۰۰ و ۴۵۰ و ۴۰۰ و ۳۵۰ ($P = 0.5\sigma_y$)	۹-۴
..... ۵۴	
مقایسه مدل اجزای محدود سه بعدی و مدل نیروی هماهنگ، سختی اولیه معادل پیچ	۱-۵
..... ۶۰	
مودهای خط تسلیم گسیختگی	الف-۱
..... ۶۷	
مدل <i>T-Stub</i>	الف-۲
..... ۷۰	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱	ب-۱
..... ۷۲	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲	ب-۲
..... ۷۲	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۳	ب-۳
..... ۷۲	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۴	ب-۴
..... ۷۲	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۵	ب-۵
..... ۷۳	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۶	ب-۶
..... ۷۳	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۷	ب-۷
..... ۷۳	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۸	ب-۸
..... ۷۳	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۹	ب-۹
..... ۷۳	
منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۰	ب-۱۰
..... ۷۳	

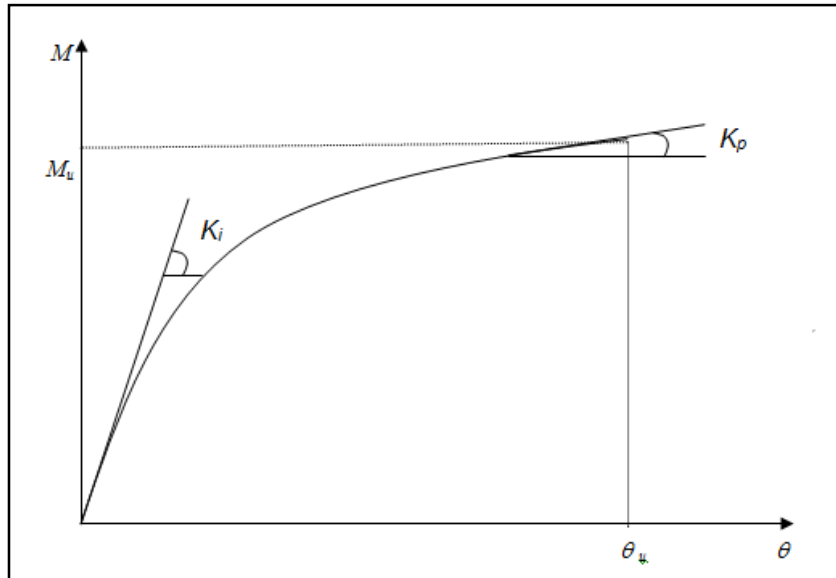
۷۴	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۱	ب-۱۱
۷۴	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۲	ب-۱۲
۷۴	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۳	ب-۱۳
۷۴	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۴	ب-۱۴
۷۴	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۵	ب-۱۵
۷۴	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۶	ب-۱۶
۷۵	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۷	ب-۱۷
۷۵	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۸	ب-۱۸
۷۵	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۱۹	ب-۱۹
۷۵	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۰	ب-۲۰
۷۵	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۱	ب-۲۱
۷۵	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۲	ب-۲۲
۷۶	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۳	ب-۲۳
۷۶	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۴	ب-۲۴
۷۶	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۵	ب-۲۵
۷۶	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۶	ب-۲۶
۷۶	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۷	ب-۲۷
۷۶	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۸	ب-۲۸
۷۷	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۲۹	ب-۲۹
۷۷	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۳۰	ب-۳۰
۷۷	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۳۱	ب-۳۱
۷۷	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۳۲	ب-۳۲
۷۷	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۳۳	ب-۳۳
۷۷	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۳۴	ب-۳۴
۷۸	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۳۵	ب-۳۵
۷۸	.....	منحنی لنگر- دوران برای گروه ۳۶	ب-۳۶

فصل اول

کلیات و مروری بر مطالعات انجام شده

مطالعه و استفاده از اتصالات صفحه انتهایی مقاوم خمشی، شامل وصله تیر به تیر و اتصال تیر به ستون به دهه ۱۹۶۰ میلادی بر می‌گردد. اتصالات صفحه انتهایی به چند دلیل بسیار اقتصادی هستند. استفاده از اتصال صفحه انتهایی، نصب سازه‌های فولادی را ساده می‌کند، به این دلیل که جوش بصورت کارخانه‌ای و پیچ کاری به صورت کارگاهی صورت می‌گیرد و مدت زمان ساخت کاهش می‌یابد. همچنین تکنیک‌های طراحی و ساخت دقیق و مناسب صفحه انتهایی خمشی، آنرا برای استفاده در ساختمان‌های چند طبقه از نظر اقتصادی ممکن و عملی می‌سازد. به این موارد، مزایای معماری و سهولت استفاده به عنوان مقاطع کامپوزیت اضافه می‌گردد.

اتصالات سازه‌ای خصوصاً اتصالات پیچی به کار رفته در ساختمان‌های فولادی رفتار غیرخطی کاملاً آشکار و متمایزی از خود نشان می‌دهند. اندرکنش بین قسمت‌ها تغییر شکل‌های الاستوپلاستیک، تماس و لغزش را شامل می‌شود. طبیعتاً به جهت این رفتار پیچیده، تحلیل معمولاً به طور تقریبی و با ساده سازی انجام می‌گردد. بخش‌های آزمایشگاهی و عددی مجدداً سازمان داده شده تا پاسخ حقیقی بدست آید و سپس با عبارتهای ریاضی متناسب با مشخصه‌های اتصال سازه‌ای، مدل می‌شود. نیروهای عمومی منتقل شده از طریق اتصالات می‌تواند نیروهای محوری و برشی، لنگر خمشی یا پیچشی باشد. اتصالات معمول وصله خمشی در سازه‌های فولادی، اتصالات پیچی صفحه انتهایی و اتصالات پیچی با (جان و/یا بال) نبشی اتصال و اتصالات جوشی را شامل می‌شود. صلبیت خمشی اتصال نقش مهمی در رفتار سازه‌های فلزی دارد و تحقیقات زیادی در مورد انواع متفاوت اتصالات، در خصوص تحقیق و بررسی روی ارتباط لنگر- دوران آنها متمرکز می‌شود. رفتار این اتصالات با یک منحنی دوران در مقابل لنگر که ارتباط بین لنگر خمشی مربوطه (M) و دوران متناسب بین اعضاء (θ) را نشان می‌دهد بیان می‌شود. این منحنی همانگونه که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است چهار مشخصه اصلی سازه‌ای اتصال را مشخص می‌کند: لنگر مقاوم (M_{II})، سختی دورانی (K_i یا K_p) و ظرفیت دورانی (θ_{II}).



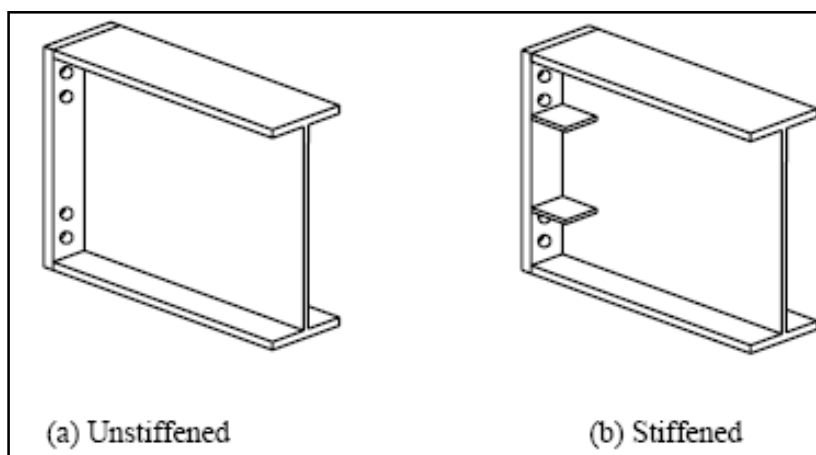
شکل (۱-۱): مشخصه‌های منحنی لنگر- دوران

برای تعیین صلبیت لازم است که از رفتار واقعی اتصال آگاه باشیم. این موضوع دلیل مطالعه جدی تعیین رفتار واقعی اتصالات است. طبقه‌بندی اتصالات بر اساس صلبیت آنها توصیه شده و در آیین نامه‌های معتبری چون *AISC* ارائه می‌گردد. آیین نامه اروپایی طراحی اتصال فولادی در ساختمان‌ها (*Eurocode-3*) [۱]، اتصالات را براساس مقاومت (مقاومت کلی، مقاومت جزیی یا مفصل اسمی) و سختی (صلب، نیمه صلب یا مفصل اسمی) طبقه بندی می‌کند. یک اتصال با مقاومت کلی از خود مقاومتی خمشی نشان می‌دهد که حداقل معادل است با مقاومت خمشی اعضای متصل، در حالی که اتصال با مقاومت جزیی مقاومتی کمتر از اعضاء دارد. اتصالات مفصل اسمی آنقدر شکل‌پذیر هستند که برای اهداف طراحی، به عنوان یک مفصل در نظر گرفته شوند. بدین معنی که این اتصالات از نظر خمشی مقاوم نیستند و سختی دورانی ندارند. از سوی دیگر یک اتصال صلب آنقدر سخت است که تأثیر تغییر شکل آن روی پخش و توزیع نیروهای داخلی و لنگرهای خمشی در سازه را می‌توان نادیده گرفت. یک اتصال نیمه صلب با ملاک‌ها و شاخص‌های یک اتصال صلب یا مفصل تضاربی ندارد. به طور طبیعی اتصالات مفصلی اسمی باید شکل‌پذیر باشند بدین معنی که باید در بعضی مراحل چرخه بارگذاری بدون گسیختگی به صورت خمیری دوران کنند. فلسفه طراحی نیمه صلبیت یا مقاومت جزیی اتصالات، به راه‌حل‌های

ساده‌تر و اقتصادی‌تری منتهی می‌شود. اتصالات پیچی صفحه انتهایی به مقوله نیمه صلبیت یا مقاومت جزئی تعلق دارد [۱]. با وجود انواع مختلف اتصالات، در مراحل تحلیل با هدف ساده سازی بیشتر، اتصالات به صورت گیردار یا مفصلی فرض می‌شوند. اتصالات خمشی صفحه انتهایی متصل به اعضاء با مقطع I شکل به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و مطالعات متعددی برای کشف رفتار این نوع اتصالات انجام شده است. در مقابل، اتصالات صفحه انتهایی متصل به مقاطع تو خالی مستطیلی یا مربعی به طور محدودی مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته‌اند. عنوان اصلی این تحقیق عبارت است از مطالعه روی رفتار لنگر- دوران اتصالات پیچی مقاطع مستطیلی توخالی یا *RHS*.

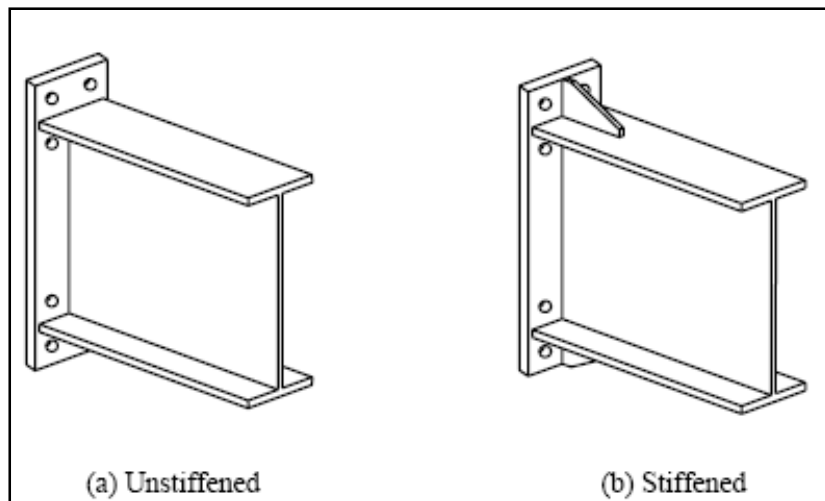
۲-۱ اتصال خمشی صفحه انتهایی

یک صفحه که به انتهای یک تیر، جوش کارخانه‌ای شده و سپس در محل کارگاه با استفاده از پیچ‌های با مقاومت بالا به عضو دیگری پیچ شده است یک اتصال خمشی صفحه انتهایی را شکل می‌دهد. این اتصال برای ساختن یک اتصال تیر به ستون یا تیر به تیر به کار می‌رود. اتصالات صفحه انتهایی می‌تواند به دو نوع عمده دسته‌بندی گردد: هم سطح یا لب به لب، آن گونه که در شکل ۲-۱ نشان داده شده و گسترده یا لبه دار، آن گونه که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.



شکل (۲-۱): نمونه‌هایی از اتصالات صفحه انتهایی هم سطح یا لب به لب

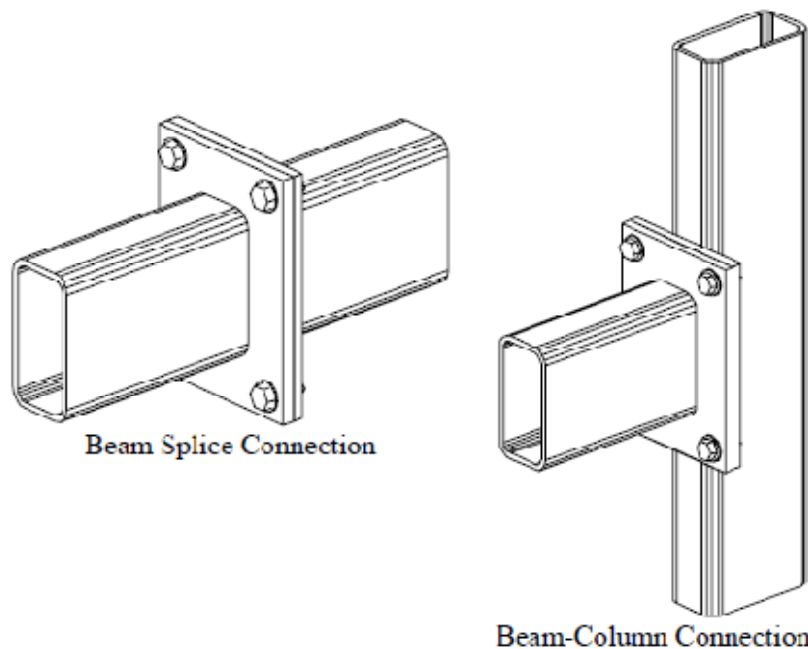
یک اتصال صفحه انتهایی لب به لب دارای یک صفحه انتهایی است که ابعاد آن از لبه‌های بیرونی بال تیر متصل به آن تجاوز نمی‌کند. بنابراین ردیف پیچ‌ها بین بال‌ها قرار می‌گیرند.



شکل (۳-۱): نمونه‌هایی از اتصالات صفحه انتهایی گسترده یا لبه دار

یک اتصال صفحه انتهایی لبه دار دارای یک صفحه انتهایی است که ابعاد آن تا آن سوی لبه‌های بیرونی بال تیر متصل به آن کشیده می‌شود. هر دو صفحه انتهایی لب به لب یا لبه دار می‌توانند تقویت شده یا بدون تقویت باشند. در حالت خاص با کاربرد محدود با اعمال پاره ای تغییرات در اجزای اتصال، اتصالات جدیدی طراحی می‌شوند که تفاوت‌های عمده‌ای با انواع اولیه اتصال دارند. این تغییرات به عنوان نمونه در تغییرات پیچ‌های اتصال، زاویه محورهای اتصال و نیز مقطع تیر است. هر یک از تغییرات مذکور دگرگونی‌های قابل توجهی در رفتار اتصال را سبب می‌شود. تعداد پیچ‌ها در بال کششی و همچنین چیدمان ردیف پیچ‌ها می‌تواند وضع و شکل اتصال صفحه انتهایی خمشی را توصیف کند. اتصالات صفحه انتهایی خمشی بیشتر به واسطه شکل مقطع تیر توصیف می‌شوند. نوع خاصی از اتصالات صفحه انتهایی لبه‌دار، مقاطع *RHS* را به عنوان جایگزین مقاطع *I* شکل که به طور فزاینده‌ای در سازه‌های فلزی استفاده می‌شوند به کار می‌برند. یک کاربرد معمول اتصال صفحه انتهایی خمشی با استفاده از *RHS* در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. به علت فقدان برجستگی و زائده، *RHS* شکل پذیری بالاتری را از خود نشان می‌دهد. این خصوصیات مقاطع *RHS* را به طور ویژه‌ای برای قاب‌های مقاوم خمشی طراحی شده برای بارهای زلزله مناسب می‌سازد. این تحقیق در واقع اتصالات مقاوم خمشی پیچی مقاطع *RHS*

را در سازه‌های قاب فولادی و توصیف رفتار دورانی آنها تحت اثر نیروهای محوری متغیر ترکیبی با خمش را شامل می‌شود.



شکل (۴-۱): نمونه‌هایی از اتصال صفحه انتهایی پیچی با استفاده از RHS

۳-۱ مروری بر مطالعات انجام شده

در طول سالیان، اتصالات فولادی صفحه انتهایی پیچی به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. تست‌های آزمایشگاهی متعددی انجام شدند تا منحنی $M-\theta$ را پیش بینی کنند. روش‌های تحلیلی مبتنی بر تحلیل‌های اجزای محدود می‌تواند به عنوان ابزاری برای تحقیق و درک رفتار اتصال تلقی گردد. مشروط بر اینکه نیازهای یک مدل‌سازی قابل قبول تماماً برآورده شوند. بسیاری از محققین توأمأ هر دو روش را به کار می‌برند. داوتی و مک‌گویر (Douty & McGuire) [۲] تست‌های آزمایشگاهی یکسانی را روی اتصالات صفحه انتهایی ترتیب دادند تا تغییر شکل آنها، طراحی و کاربردشان در سازه‌های خمیری طراحی شده را مطالعه کنند. زوت‌میجر (Zoetemeijer) بر اساس یک سری آزمایش [۳-۵] معیارهایی را برای برآورد ظرفیت تغییرشکل اتصالات پیشنهاد داد. جنکینز (Jenkins) و همکاران [۶] به درک بهتری از رفتار صفحه انتهایی کمک کردند و انواع مختلف اتصال صفحه انتهایی را برای دستیابی به یک اظهارنظر کلی در مورد شاخصه‌های اتصال بدست آمده از مدل‌سازی عددی پیشنهاد دادند. آنها تحلیل اجزای محدود را برای مشخص کردن کامل $M-\theta$ برخی اتصالات

انجام دادند که با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. مشخصه‌بندی سختی دورانی اولیه اتصالات تیر به ستون عنوان اصلی تحقیق داویسون (*Davison*) و همکاران [۷] بوده که تست‌های گوناگونی را روی اتصالات صفحه انتهایی با ضخامت‌های مختلف و سایز یکسان تیر و ستون انجام دادند. یانس (*Janss*) و همکاران [۸] یک سری آزمایشات را به پایان رساندند که بعداً توسط ژاسپارت (*Jaspart*) [۹] به کار گرفته شد تا روشی را برای برآورد مقاومت خمیری و سختی دورانی اولیه اتصالات خمشی پیشنهاد دهد. آگروال (*Aggarwal*) [۱۰] و بووس (*Bose*) و همکاران [۱۱] تست‌های تطبیقی و مقایسه‌ای را روی اتصالات صفحه انتهایی انجام دادند، چرا که آنها رفتار انتقال ممان را مشخصه بندی کردند. به ویژه بووس (*Bose*) و همکاران [۱۱] مودهای مشاهده شده شکست را تشریح کردند که در بر گیرنده گسیختگی صفحات انتهایی، شکست پیچ‌ها، باز شدن پیچ‌ها، شکست جوش و کمانش جان ستون بودند. آنها نتایج این آزمایشات را به کار بردند تا به مدل‌های اجزای محدود برای تحلیل این نوع اتصال اعتبار بخشند. زانون و زاندونینی (*Zanon&Zandonini*) [۱۲] پنج تست استاتیکی را روی اتصالات صفحه انتهایی لبه دار با چهار پیچ کششی و ضخامت صفحه متغیر اجرا کردند. برای اینکه رفتار صفحه انتهایی را از هم جداسازی و تفکیک نمایند نمونه‌ها به یک تیر متقابل با تغییر شکل کم متصل شدند. برسی (*Bursi*) [۱۳] از نتایج این تست‌ها برای برآورد ظرفیت خمشی گسیختگی خمیری اتصالات مورد آزمایش با روش مدل‌سازی عددی استفاده کرد. کریشنامورتی (*Krishnamurthy*) و همکاران [۱۴-۱۶] تحقیق مبسوطی را در مورد بررسی پاسخ دورانی این نوع اتصال، به واسطه تحلیل اجزای محدود، انجام دادند. هدف تحقیقشان توسعه معیارهای طراحی دورانی کاربردی برای اتصالات صفحه انتهایی بود. آنها تحلیل اجزای محدود سه بعدی را روی اتصالات پیچی اجرا کرده و نتایج را به آنالیزهای دو بعدی قبلی مرتبط کردند تا قادر به پیشگویی و تخمین دقیق‌تر مقادیر سه بعدی از نتایج ارزان‌تر دو بعدی باشند. آنها برای تحلیل‌های کامپیوتری معتبر، معادلاتی برای پیش‌بینی رفتار دورانی معمول پیشنهاد دادند. با وجود این آنها از برخی پدیده‌های مهم نظیر شکل‌پذیری بال ستون، کلاهدک و مهره پیچ یا خمیری بودن مواد چشم پوشی کردند. کوکرتی (*Kukreti*) و همکاران [۱۷-۱۹] روی موضوع مشابهی متمرکز شدند. آنها یک روش تحلیلی مبتنی بر نتایج اجزای محدود را برای مشخصه‌بندی رفتار $M-\theta$ این نوع اتصال شرح و بسط دادند. شربورن و بهاری (*Sherbourne&Bahaari*) [۲۰-۲۲] یک سری تحلیل‌های اجزای محدود را برای طراحی اتصالات صفحه انتهایی پیشنهاد دادند. در این شیوه آنها کلیه تأثیرات عمده روی پاسخ کلی، شامل ستون، تیر، مؤلفه‌های پیچ، خاصیت خمیری، سخت‌شدگی کمانشی و پدیده‌های تماس را در نظر گرفتند. برسی و ژاسپارت (*Bursi&Jaspart*) [۲۳-۲۴] توصیه‌هایی در بحث مدل‌سازی اجزای محدود رفتار صفحه انتهایی ارائه نمودند. چانگ و چوی (*Chung&Choi*) [۲۵] یک مدل اجزای محدود سه بعدی اصلاح شده را برای تحقیق و بررسی دقیق رفتار اتصالات صفحه انتهایی ارائه و توسعه دادند. مدل آنها انواع دیگری از غیر خطی بودن نظیر خواص الاستوپلاستیسیته و تماس را توضیح می‌دهد. نخستین تلاش‌ها در استفاده از بیان ریاضی برای تشریح منحنی