



دانشکده عمران

# ارزیابی عددی اندرکنش دال بتنی سقف با اتصال فولادی نیمه صلب

تهیه و تدوین: بهرام گراوند

استاد راهنما

پروفسور سید امیرالدین صدرنژاد



تقدیم به

مادر مهربانم که هر چه دارم از اوست،

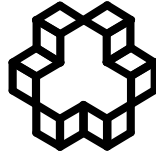
و

پدر عزیزم که وجودش هستی بخش ماست،

و همچنین آنان که با ابزار دانش در راه ستایش و رستگاری انسان می کوشند و

به سوی هدفی والا ره می سپارند و روز و شب پیوسته در خیال خویش

وظیفه‌ای مشخص دارند با عشقی بزرگ.



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده عمران

## تاییدیه هیئت داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان ارزیابی عددی اندرکنش دال بتنی سقف با اتصال فولادی نیمه صلب توسط آقای بهرام گراوند صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش سازه مورد تایید قرار می دهند.

امضا	دکتر سید امیرالدین صدرنژاد	۱- استاد راهنما
امضا	دکتر شاه کرمی	۲- ممتحن خارجی
امضا	دکتر فرزین کلانتری	۳- ممتحن داخلی
امضا	آقای دکتر	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی

## اظهار نامه دانشجو

موضوع پایان نامه:

ارزیابی عددی اندرکنش دال بتنی سقف با اتصال فولادی نیمه صلب

اساتید راهنما: پروفسور سید امیرالدین صدرنژاد

نام دانشجو: بهرام گراوند

شماره دانشجویی: ۸۶۰۲۲۹۴

اینجانب بهرام گراوند دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد، به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چهارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضا دانشجو :

تاریخ :

## فرم حق تکثیر و مالکیت نتایج

- ۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری به صورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.  
ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.
- ۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.  
همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## تشکر و قدردانی

... و چنانکه به نادر افتد که مردمی که نجارت ناآموخته تختی نیک تواند تراشید، به نادر افتد که مردمی منطقی ناآموخته علمی مکتسب بر وجهی کامل حاصل تواند کرد. بل، همچنانکه بیشتر مردم که نجارت ندانند قادر باشند بر آنک چوبی بتراشند اما واثق نباشند به آنک آن چوب به آن تراشیدن به اصلاح آید یا نیاید، بلکه تباه شود، بیشتر مردم که منطقی ندانند در معانی تصرفی توانند کرد، اما واثق نباشند به آنک از آن تصرف علمی حاصل شود یا نشود، بلکه در حیرت بیفزاید، یا در ضلالت افکند. و نه هرکه کاری کند داند که چه میکند، یا چه میباید کرد، بلکه بسیار کسان باشند که در کارها شروع کنند بر سبیل خبط. و همچنین باشد حکم کسانی که طلب علوم کنند و بر صناعت منطقی واقف نباشند.

خواجه نصیرالدین طوسی

اکنون که مرحله‌ای دیگر از دوران تحصیل را به پایان می‌رسانم، فرصت را مغتنم شمرده و بر خود لازم می‌دانم از پدر و مادر عزیز و مهربانم که همواره مشوق من بوده‌اند، تشکر و قدردانی کنم.

همچنین، از استاد راهنمای ارجمندم، جناب آقای پروفسور سید امیرالدین صدرنژاد که راهنمای اینجانب در دوره‌ی کارشناسی ارشد بوده‌اند و هدایت این پایان‌نامه را بر عهده داشته‌اند، کمال تشکر و سپاس را دارم.

در انتها، وظیفه خود می‌دانم که از زحمات کلیه‌ی معلمین، دبیران و اساتید خود در تمام مقاطع مختلف تحصیلی، تقدیر و تشکر نمایم.

## چکیده

در این رساله اثر دال بتنی سقف بر میزان سختی اتصالات نیمه‌صلب فولادی تحت بارگذاری مونوتونیک با استفاده از روش‌های عددی بررسی شده است. اتصال فولادی مورد بررسی، یک اتصال پیچی نیمه‌صلب با نبشی در بالا و پایین اتصال می‌باشد. نتایج رفتار لنگر- دوران به دست آمده از روش عددی برای این اتصال با آزمایش‌های انجام شده توسط محققین دیگر مقایسه گردید، که انطباق خوبی بین نتایج ملاحظه می‌شود.

برای بررسی اندرکنش دال بتنی سقف با اتصال نیمه‌صلب انتخاب شده، از دو دال بتنی مسطح و ماهیچه‌ای در اطراف ستون، استفاده شده است. دال‌های بتنی سقف با استفاده از آرماتورهای طولی کاملاً مسلح شده و به وسیله‌ی برشگیرهای مناسب به بال تیر متصل شده‌اند.

در نهایت رفتار لنگر- دوران و ظرفیت خمشی اتصالات مرکب در دو حالت بارگذاری تحت لنگر خمشی مثبت در هر دو طرف اتصال و بارگذاری با لنگر منفی در طرفین اتصال، با استفاده از روش‌های عددی بدست آمده است. و سرانجام منحنی‌های لنگر- دوران حالات مختلف اتصال، با هم مقایسه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بارگذاری مونوتونیک، منحنی لنگر- دوران، اتصال نیمه‌صلب فولادی، ظرفیت خمشی، دال بتنی مسطح، دال بتنی ماهیچه‌ای، روش عددی.



## فهرست مطالب

فصل اول	۱۱
مقدمه	۱۱
۱-۱ مقدمه ای بر اتصالات نیمه صلب	۱۲
۱-۱-۱ طبقه بندی اتصالات	۱۴
۲-۱-۱ اتصالات از دیدگاه آیین نامه ها	۱۵
۲-۱ مقدمه ای بر سازه ها با سقف مرکب	۱۷
فصل دوم	۲۱
مروری بر کارهای انجام گرفته	۲۱
۱-۲ روشهای مطالعه اتصالات پیچی	۲۲
۱-۱-۲ بررسی های آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی اتصالات دوبل نبشی نشیمن	۲۲
۲-۱-۲ بررسی های عددی صورت گرفته در مورد اتصالات نبشی نشیمن	۲۵
۲-۲ اتصالات مرکب	۳۲
۱-۲-۲ خواص مکانیکی مواد	۳۹
۲-۲-۲ توصیف مدل	۴۰
۳-۲-۲ معرفی مدلهای مورد مطالعه	۴۴
۴-۲-۲ مقایسه بین نتایج مدلها	۴۶
۵-۲-۲ رسم منحنی های لنگر- دوران مدلها	۴۷
۶-۲-۲ اثر استفاده از بتن در اتصال	۴۸
۷-۲-۲ اثر استفاده از سخت کننده در اتصال	۴۹
۸-۲-۲ اثر استفاده از آرماتور در دال بتنی سقف	۵۰
فصل سوم	۵۲
مدلسازی اجزاء محدود سه بعدی اتصالات	۵۲
۱-۳ مدل اجزای محدود	۵۳
۲-۳ مدلسازی اجزای اتصال	۵۳
۱-۲-۳ مدلسازی پیچ ها	۵۳

۵۴	۲-۲-۳ مدلسازی نبشی ها
۵۵	۳-۲-۳ مدلسازی تیر
۵۵	۴-۲-۳ مدلسازی ستون
۵۷	۵-۲-۳ مدلسازی سطوح تماس و لغزش نسبی اجزای اتصال
۵۸	۶-۲-۳ بارگذاری مدل
۶۱	۷-۲-۳ پیش تنیدگی پیچ ها
۶۱	۸-۲-۳ مشخصات مکانیکی اجزای اتصال
۶۲	۹-۲-۳ شرایط مرزی
۶۴	۳-۳ نتایج تحلیل مدل اجزای محدود
۶۴	۱-۳-۳ توزیع تنش های پیش تنیدگی
۶۵	۲-۳-۳ توزیع تنش های نبشی ها و تغییرشکل آنها
۶۸	۴-۳ بررسی کارایی و دقت روش اجزای محدود
۷۰	<b>فصل چهارم</b>
۷۰	<b>مدلسازی اجزاء محدودی دال بتنی سقف با اتصالات نیمه صلب</b>
۷۱	۱-۴ مقدمه
۷۱	۲-۴ ثنوری رفتار تیرهای مرکب
۷۵	۳-۴ مزایا و معایب سقف های مرکب
۷۶	۴-۴ مدل اجزاء محدود اتصال مرکب
۷۷	۱-۴-۴ برشگیرها
۷۷	۲-۴-۴ آرمانتورهای دال
۷۸	۳-۴-۴ دال بتنی
۷۹	۴-۴-۴ مدلسازی سطوح تماس و لغزش نسبی بین اجزای اتصال
۷۹	۵-۴-۴ مشخصات مکانیکی اجزای اتصال
۸۵	۵-۴ مدل اجزای محدود اتصال مرکب با دال بتنی ماهیچه ای
۸۷	۶-۴ نتایج تحلیل اجزای محدود اتصال مرکب با دال تخت تحت لنگر منفی
۸۷	۱-۶-۴ توزیع تنش ها در پیچ ها
۸۹	۲-۶-۴ توزیع تنش ها در نبشی ها و دال بتنی سقف
۹۱	۳-۶-۴ کرنش های پلاستیک
۹۲	۴-۶-۴ منحنی لنگر- دوران اتصال با دال تخت و مقایسه آن با اتصال فولادی

۹۳	۷-۴ نتایج تحلیل اجزای محدود اتصال مرکب با دال بتنی تخت تحت لنگر مثبت
۹۳	۱-۷-۴ توزیع تنش ها در پیچ ها و نبشی ها
۹۶	۲-۷-۴ کرنش های پلاستیک
۹۸	۳-۷-۴ منحنی لنگر- دوران اتصال مرکب با دال تخت و مقایسه ای این منحنی در دو حالت لنگر مثبت و لنگر منفی
۹۹	۸-۴ نتایج تحلیل اجزای محدودی اتصال مرکب با دال ماهیچه ای تحت لنگر منفی
۱۰۰	۱-۸-۴ منحنی لنگر - دوران اتصال مرکب با دال بتنی ماهیچه ای تحت لنگر منفی
۱۰۱	۹-۴ نتایج تحلیل اجزای محدود اتصال مرکب با دال ماهیچه ای تحت لنگر مثبت
۱۰۴	۱-۹-۴ کرنش های پلاستیک
۱۰۵	۲-۹-۴ مقایسه منحنی های لنگر - دوران اتصالات مرکب با دال بتنی تخت و ماهیچه ای
۱۰۶	۱۰-۴ بررسی وضعیت تنش ها در دال بتنی، تحت لنگر خمشی مثبت
۱۰۸	۱۱-۴ تنش ها در میلگردها و خاموت در اتصال ماهیچه ای، تحت لنگر خمشی منفی
۱۱۱	<b>فصل پنجم</b>
۱۱۱	<b>نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۱۱۲	۱-۵ بحث و نتیجه گیری
۱۱۳	۲-۵ پیشنهادات

## فهرست اشکال و جداول

- شکل (۱-۱): طبقه بندی اتصالات..... ۱۵
- شکل (۲-۱): سازه با سقف مرکب..... ۱۸
- شکل (۳-۱): نمونه ای از منحنی لنگر- دوران یک اتصال..... ۱۹
- شکل (۴-۱ الف): چرخش اتصال..... ۲۰
- شکل (۴-۱ ب): چرخش ستون..... ۲۰
- شکل ۱-۲: منحنی هیستریزیس مربوط به تسلیم خمشی پایه قائم نبشی و گسیختگی کششی پیچ ها [۶]..... ۲۳
- شکل (۲-۲): مدهای شکست و مکانیزم های تسلیم اتصالات نبشی نشیمن [۶]..... ۲۴
- جدول (۱-۲): مشخصات هندسی مدل های اتصال برای تحلیل اجزا محدود [۱۰]..... ۲۷
- شکل (۳-۲): پارامترهای متغیر اتصال [۱۰]..... ۲۸
- شکل (۴-۲ a): مش بندی پیچ مدل A<sub>۱</sub> [۱۰]      شکل (۴-۲ b): مش بندی مدل A<sub>۲</sub> [۱۰]..... ۲۹
- شکل (۵-۲): منحنی لنگر- دوران مدل S<sub>۱۴</sub> با نیروی پیش تنیدگی متغیر [۱۱]..... ۳۱
- شکل (۶-۲): جزئیات آزمایشگاهی نمونه ۱ [۲۳]..... ۳۵
- شکل (۷-۲): جزئیات نمونه های آزمایشگاهی ۲ و ۳..... ۳۶
- شکل (۸-۲): جزئیات نمونه های آزمایشگاهی ۴ و ۵..... ۳۷
- شکل (۹-۲): مدل سه بعدی اتصال فولادی و اتصال مرکب [۲۳]..... ۳۸
- شکل (۱۰-۲): تغییر شکل سه بعدی اتصال در امتدادهای اصلی و فرعی [۲۳]..... ۳۸
- جدول (۲-۲): خصوصیات مکانیکی مقاطع تیر و ستون [۲۳]..... ۳۹
- جدول (۳-۲): خصوصیات مکانیکی بتن [۲۳]..... ۳۹
- شکل (۱۱-۲): مدل اجزاء محدودی اتصال..... ۴۰
- شکل (۱۲-۲): منحنی تنش- کرنش فولاد [۲۳]..... ۴۱
- شکل (۱۳-۲): منحنی تنش- کرنش پیچ ها و میلگردها [۲۳]..... ۴۲
- شکل (۱۴-۲): نمونه های آزمایشگاهی ۱ و ۲ بعد از انجام آزمایش [۲۳]..... ۴۲
- شکل (۱۵-۲): نمونه آزمایشگاهی ۳ قبل و بعد از انجام آزمایش [۲۳]..... ۴۳
- جدول (۴-۲): خلاصه نتایج آزمایشگاهی [۲۳]..... ۴۳
- شکل (۱۶-۲): جزئیات مدل در نظر گرفته شده [۲۴]..... ۴۵

- شکل (۲-۱۷): منحنی لنگر- دوران مدلهای A، A، A [۲۴]..... ۴۹
- شکل (۲-۱۸): منحنی لنگر- دوران نمونه های A و B [۲۴]..... ۵۰
- شکل (۲-۱۹): منحنی لنگر- دوران به ازای درصد آرماتورهای مختلف [۲۴]..... ۵۰
- شکل (۳-۱): جزئیات مش بندی پیچ ها..... ۵۴
- شکل (۳-۲): جزئیات مدلسازی نبشی ها..... ۵۴
- شکل (۳-۳): جزئیات مدلسازی تیر..... ۵۵
- شکل (۳-۴): جزئیات مدلسازی ستون..... ۵۶
- شکل (۳-۵): جزئیات کل مدل..... ۵۶
- جدول (۳-۱): جزئیات مدل آزمایشگاهی..... ۵۷
- شکل (۳-۶): جزئیات مدل آزمایشگاهی A..... ۵۸
- شکل (۳-۷): شکل شماتیک ایجاد لنگر خمشی منفی در اتصال..... ۵۹
- شکل (۳-۸): جزئیات نحوه بارگذاری اتصال..... ۵۹
- شکل (۳-۹): جزئیات بارگذاری در آزمایشگاه..... ۶۱
- شکل (۳-۱۰): منحنی تنش- کرنش اجزای اتصال..... ۶۲
- شکل (۳-۱۱): شرایط مرزی و بارگذاری..... ۶۳
- شکل (۳-۱۲): شرایط مرزی ایجاد شده برای پیچ ها..... ۶۳
- شکل (۳-۱۳): توزیع تنش های پیش تنیدگی و انتقال نیرو بین اجزای اتصال..... ۶۴
- شکل (۳-۱۴): توزیع تنش های فون- مایسز نبشی تحتانی و انطباق آن با مدهای شکست پیشنهادی [۱۳]..... ۶۵
- شکل (۳-۱۵): جزئیات تغییرشکل و توزیع تنش در نبشی تحتانی..... ۶۶
- شکل (۳-۱۶): نمودار تنش- کرنش المان بحرانی در نبشی تحتانی..... ۶۶
- شکل (۳-۱۷): تغییرشکل و توزیع تنش در نبشی فوقانی..... ۶۷
- شکل (۳-۱۸): نمودار تنش- کرنش المان بحرانی در نبشی تحتانی..... ۶۸
- شکل (۳-۱۹): منحنی لنگر دوران اتصال..... ۶۹
- شکل (۴-۱): رفتار تیر ساخته شده از بتن و فولاد با عملکرد غیرمرکب [۲۶]..... ۷۲
- شکل (۴-۲): رفتار تیر ساخته شده از بتن و فولاد با عملکرد مناسب [۲۶]..... ۷۴
- شکل (۴-۳): توسعه نیروهای برشی در محل اتصال بتن و فولاد در اثر عملکرد مرکب تیر [۲۶]..... ۷۴

- شکل ۴-۴: نیمرخ مرکب تحت تاثیر لنگر خمشی منفی [۲۶]..... ۷۶
- شکل (۴-۵): اتصال فولادی همراه دال بتنی..... ۷۶
- شکل (۴-۶): جزئیات و نحوه قرارگیری برشگیرها..... ۷۷
- شکل (۴-۷): جزئیات مدلسازی آرماتورهای دال بتنی..... ۷۸
- شکل (۴-۸): جزئیات مدلسازی دال بتنی..... ۷۹
- شکل (۴-۱۰): مدل بتن غیر مسلح در کشش خالص و کاهش سختی در کرنش های بزرگتر از حد الاستیک..... ۸۱
- شکل (۴-۱۱): بازیابی سختی به هنگام ورود از کشش به فشار [۲۶]..... ۸۲
- شکل (۴-۱۲): عدم تغییر سختی به هنگام ورود از فشار به کشش [۲۶]..... ۸۳
- شکل (۴-۱۳): مدل بارگذاری دلخواه فشاری و کششی تکمحوری [۲۶]..... ۸۴
- شکل (۴-۱۴): اتصال مرکب با دال ماهیچه ای..... ۸۵
- شکل (۴-۱۵): جزئیات خاموت گذاری و آرماتور گذاری در دال بتنی..... ۸۶
- شکل (۴-۱۶): جزئیات اتصال مرکب..... ۸۶
- شکل (۴-۱۷): جزئیات خاموت گذاری در دور ستون..... ۸۷
- شکل (۴-۱۸): توزیع تنش در پیچ های ساق قائم نبشی ها..... ۸۸
- شکل (۴-۱۹): تغییر شکل اتصال..... ۸۸
- شکل (۴-۲۰): توزیع تنش ها در نبشی تحتانی..... ۸۹
- شکل (۴-۲۱): توزیع تنش ها در نبشی فوقانی..... ۸۹
- شکل (۴-۲۲): توزیع تنش ها در اجزای اتصال..... ۸۹
- شکل (۴-۲۳): نمایش کانتورهای تنش در دال بتنی..... ۹۰
- شکل (۴-۲۴): منحنی تنش- کرنش المان بتنی در حالت کششی..... ۹۱
- شکل (۴-۲۵): کرنش پلاستیک در نبشی فوقانی..... ۹۲
- شکل (۴-۲۶): کرنش پلاستیک در نبشی تحتانی..... ۹۲
- شکل (۴-۲۷): منحنی لنگر - دوران اتصال مرکب با دال بتنی تخت تحت لنگر منفی..... ۹۲
- شکل (۴-۲۸): توزیع تنش ها در پیچ ها و نبشی تحتانی..... ۹۴
- شکل (۴-۲۹): توزیع تنش ها در پیچ ها و نبشی فوقانی..... ۹۴
- شکل (۴-۳۰): منحنی تنش- کرنش المان انتخاب شده از نبشی فوقانی..... ۹۴

- شکل (۴-۳۱): توزیع تنشها در دال بتنی..... ۹۵
- شکل (۴-۳۲): منحنی تنش- کرنش المان بحرانی در حالت فشاری..... ۹۵
- شکل (۴-۳۳): توزیع تنشها در اجزای اتصال..... ۹۶
- شکل (۴-۳۴): توزیع کرنش های پلاستیک..... ۹۷
- شکل (۴-۳۵): تنش ها در اجزای اتصال تغییرشکل یافته..... ۹۸
- شکل (۴-۳۶): منحنی لنگر - دوران اتصال مرکب تحت لنگرهای مثبت و منفی..... ۹۸
- شکل (۴-۳۷): تغییرشکل اتصال تحت لنگر منفی..... ۹۹
- شکل (۴-۳۸): توزیع تنش ها در نبشی فوقانی..... ۱۰۰
- شکل (۴-۳۹): توزیع تنش ها در نبشی تحتانی..... ۱۰۰
- شکل (۴-۴۰): تنش ها در پیچ فوقانی ستون..... ۱۰۰
- شکل (۴-۴۱): تنش ها در پیچ تحتانی ستون..... ۱۰۰
- شکل (۴-۴۲): مقایسه منحنی لنگر - دوران دال بتنی ماهیچه ای و دال تخت تحت لنگر منفی..... ۱۰۱
- شکل (۴-۴۳): توزیع تنش ها در اتصال تغییرشکل یافته..... ۱۰۲
- شکل (۴-۴۴): توزیع تنش ها در نبشی فوقانی..... ۱۰۲
- شکل (۴-۴۵): توزیع تنش ها در نبشی تحتانی..... ۱۰۲
- شکل (۴-۴۶): توزیع تنش ها در پیچ فوقانی ستون..... ۱۰۲
- شکل (۴-۴۷): توزیع تنش ها در پیچ تحتانی ستون..... ۱۰۲
- شکل (۴-۴۸): منحنی تنش- کرنش المان مشخص شده در نبشی فوقانی..... ۱۰۳
- شکل (۴-۴۹): توزیع تنش ها و تغییرشکل ها در برشگیرها..... ۱۰۴
- شکل (۴-۵۰): توزیع کرنش های پلاستیک..... ۱۰۴
- شکل (۴-۵۱): مقایسه منحنی های لنگر - دوران اتصالات مرکب با دال بتنی تخت و ماهیچه ای تحت لنگر مثبت..... ۱۰۵
- شکل (۴-۵۲): توزیع تنش ها در دال بتنی ماهیچه ای..... ۱۰۶
- شکل (۴-۵۳): منحنی تنش- کرنش المان بحرانی قسمت ماهیچه ای بتن در حالت فشاری..... ۱۰۷
- شکل (۴-۵۴): نمودار تنش- دوران اتصال برای المان بحرانی در بتن ماهیچه..... ۱۰۸
- شکل (۴-۵۵): تنش در آرماتورها و خاموت در اتصال ماهیچه ای..... ۱۰۹

شکل (۴-۵۶): منحنی تنش - کرنش میلگرد..... ۱۰۹

شکل (۴-۵۷): منحنی تنش - کرنش خاموت..... ۱۰۹

شکل (۴-۵۸): منحنی تنش - دوران اتصال برای المان بحرانی خاموت..... ۱۱۰



# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱ مقدمه‌ای بر اتصالات نیمه‌صلب<sup>۱</sup>

آسیب‌پذیری اتصالات خمشی تحت بارگذاری سیکلی شدید در طی زلزله ۱۹۹۴ نورث‌ریچ و ۱۹۹۵ کوبه آشکار گردید. از آن زمان، اتصالات متعددی برای بهسازی و طراحی جدید قابهای خمشی فولادی در مناطق با لرزه‌خیزی بالا ارائه گردید. یکی از اتصالات پیشنهادی اتصالات با پیچهای پر مقاومت بود. بسیاری از اتصالات پیچی که اغلب اتصالات نیمه‌صلب نامیده می‌شوند بسیار انعطاف پذیرتر از اتصالات جوشی متناظر خود می‌باشند. رفتار غیر ارتجاعی اتصالات پیچی ذاتاً پیچیده‌تر از انواع جوشی هستند و این بدلیل متنوع بودن اجزاء متشکله اتصال از قبیل پیچها، نبشی‌ها و ورقها است که باعث گستردگی تنوع دامنه این نوع اتصالات می‌گردد. لذا یک اتصال پیچی رفتار پیچیده-ای بدلیل تنوع مدهای شکست خواهد داشت. با وجود این، اگر طراحی به نحو صحیحی صورت گیرد، اتصال پیچی می‌تواند شکل‌پذیری<sup>۲</sup> بالا و ظرفیت اتلاف انرژی بیشتری داشته باشد چرا که در این صورت شکست ترد<sup>۳</sup> که در اتصال جوشی وجود دارد دیگر نخواهد بود.

برای انجام تحلیل و طراحی سه بعدی قاب نیمه‌صلب، مهم است که رفتار لنگر - دوران اتصالات تیر ستون ارزیابی گردد. تعداد کثیری مطالعات آزمایشی برای تخمین مشخصات روابط لنگر - دوران اتصالات نبشی نشیمن صورت گرفته است. یکی از کارهای تجربی (Azizinamini 1985, Rathbun 1936) برای صحت مطالعات تحلیل بکار رفته است. یکی از مشکلات بررسی رفتار این اتصالات تعیین تنش‌های واقعی و الگوهای تغییرشکل اتصالات تیر به ستون است. معمولاً در تستهای آزمایشگاهی تنشهای اجزا با تبدیل کرنش‌های واقعی و تغییرشکلها در تستهای آزمایشگاهی آسان نیست ولی برای تعیین الگوهای توزیع تنش - تغییرشکل در اتصالات لازم است [۱].

---

<sup>1</sup> Semi rigid

<sup>2</sup> Ductility

<sup>3</sup> Brittle

برای تخمین رفتار لنگر- دوران<sup>۱</sup> اتصالات تیر به ستون بررسی‌های تجربی متعددی توسط Azizinamini و همکارانش در سال ۱۹۸۵، Harper در سال ۱۹۹۰ و دیگران صورت گرفته است. این اتصال اصولاً برای انتقال واکنش قائم تکیه‌گاهی توسط نبشی تحتانی طراحی می‌شود و برای تامین شرایط تکیه‌گاه جانبی برای بال فوقانی تیر از نبش فوقانی استفاده می‌شود. با این حال از نتایج آزمایشات دیده می‌شود که این نوع اتصال نیز قادر به انتقال لنگر تیر به ستون می‌باشد بسیاری از محققان از این کارهای تحقیقاتی برای امتحان میزان صحت بررسی‌های تحلیلی خود برای ارائه مدل‌های ریاضی خود که جزئیات اتصال را به منحنی‌های لنگر - دوران ارتباط می‌دهد استفاده می‌کنند [۲].

علیرغم بسیاری از مطالعات تجربی که تا به حال صورت گرفته است، هنوز نیاز به درک بهتری از مکانیزم‌های مؤثر در رفتار غیرخطی این اتصالات احساس می‌شود. پاسخ غیرخطی منحنی لنگر - دوران اتصالات در اوایل سالهای ۱۹۳۰ مطرح گردید، و با استفاده از روشهایی مانند برازش چند جمله‌ای‌ها، بی‌اسپلین مکعبی و توابع توانی بر روی اطلاعات موجود سعی در ایجاد مدل‌های استاندارد خطی و دو خطی تا مدل‌های پیچیده گردید.

در مطالعات اخیر، روشهای ساده ریاضی برای ارتباط دادن بین جزئیات اتصال و منحنی‌های لنگر- دوران با روش منطبق کردن منحنی‌های نتایج تجربی ایجاد گردیده است. ( Kishi- Chen 1990 - Frye-Morris 1975 LeMessurier (1974), Monforton-Wu (1963), Rathbun (1936) - Lightfoot ) مدل‌های خطی را که در آنها سختی اولیه پارامتر کلیدی را داشت ارائه داده- اند. F.Danesh(1996) رابطه دو خطی را برای تخمین رفتار اتصالات نبشی ارائه داده و در آن اثر تغییرشکل‌های برشی را نیز در نظر گرفته است. مدل دوخطی<sup>۲</sup> ( Tarpy-Cardinal 1981, Lui-Chen ) ( Jones et al.1980-81 ) علیرغم برخی نقایص تقریب بهتری از رفتار اتصال می‌داد. ( Fry-Morris 1975 ) مدل چند جمله‌ای برای انواع مختلف اتصال ارائه دادند. با این

<sup>1</sup> Moment- Rotation

<sup>2</sup> Bilinear

حال این مدل نیز در برخی موارد سختی منفی را نتیجه می‌داد که از نظر فیزیکی غیر ممکن بود [۱].

مدل نمایی<sup>۱</sup> ( Wu-Chen 1990, Yee-Melchers 1986 ) برای بررسی منحنی‌های لنگر- دوران اتصالات ارائه گردید. مدلهایی که از تابع توان استفاده کرده‌اند و مدل توانی نامیده شدند ( Kishi-Chen1990, Colson-Louveau 1983 ) نیز گزارش شده‌اند. دقت این مدلها محدود بوده و برای محدوده کوچکی از دوران اولیه مناسب می‌باشند و استفاده از آنها محدود به بارگذاری مونوتونیک<sup>۲</sup> می‌باشد.

معمولاً روابط لنگر- دوران ارائه شده در بر گیرنده پارامترهایی هستند که از آزمایشات محدود به دست آمده‌اند. فقدان داده‌های تجربی قابل ملاحظه‌ای و پارامتری اجازه ایجاد چنین توابع استاندارد را نمی‌دهد.

#### ۱-۱-۱ طبقه‌بندی اتصالات

ویژگی‌های رفتاری اتصالات تیر به ستون بوسیله‌ی منحنی لنگر- دوران تشریح می‌شود. اتصالات بر اساس سه ویژگی عمده مقاومت، سختی و شکل‌پذیری طبقه‌بندی می‌شوند شکل (۱-۱).

---

<sup>1</sup> Power model

<sup>2</sup> Monotonic