Archive of SID

مجله بین المللی علوم مهندسی، شماره ۳ ، جلد۱۶، پاییز ۱۳۸۴، صفحه ۸۱- ۷۳
دانشگاه علم وصنعت ایران

بررسی رفتار غیر خطی اتصال پیچی با صفحه انتهایی

غلامرضا قدرتی امیری، ابراهیم ثنایی و محمد جمال زاده

چکیده: در این تحقیق اثر پارامترهایی نظیر ضخامت صفحه انتهایی، قطر پیچ و فاصله پیچها از بال و جان تیر بر رفتار غیرخطی اتصال پیچی با صفحه انتهایی مورد بررسی قرار می گیرد. بدین منظور جهت آنالیز غیر خطی اتصالات مدل شده از نرم افزار ANSYS استفاده گردیده و جهت بررسی صحت مدل ارائه شده نتایج بدست آمده از مدل با نتایج حاصل از یک نمونه آزمایشگاهی مقایسه شده است که نتایج حاکی از صحت مدلسازی می باشد. جهت بررسی اثر پارامترهای مذکور بر رفتار اتصال، سی مدل با هندسه های متفاوت ایجاد شده و تحت آنالیز غیر خطی قرار گرفته اند که برای هر اتصال منحنی لنگر- دوران رسم شده و با هم مقایسه گردیده اند.
نتایج حاصل از بررسی رفتار مدلها نشانگر این نکته است که ضخامت صفحه انتهایی، آرایش هندسی سوراخ ها و پیچ ها در صفحه سر، ضخامت بالها و جان ستون، وجود یا عدم وجود سخت کننده و تغییر قطر پیچ ها در میزان مقاومت و سختی اتصال بطور متفاوت موثر می باشد. نتایج نشان می دهد که با افزایش ضخامت صفحه سر و نزدیک تر شدن پیچ ها به جان تیر سختی اتصال افزایش می یابد . همچنین افزایش قطر پیچ ها نیز در زیاد شدن سختی اتصال موثر است اما تغییرات دو پارامتر قبل سختی اتصال را بیشتر تحت تاثیر قرار می دهد.

واژه های کلیدی: اتصال پیچی، صفحه انتهایی، منحنی لنگر- دوران، آنالیز غیر خطی

۱. مقدمه

طراحی اتصالات سازه به وضوح مهمترین قسمت پروسه یک طراحی کامل است. در این بین مهم است که روش طراحی بر اساس فرضییاتی که بیانگر رفتار واقعی اتصال است استوار شود چرا که بدون آگاهی از رفتار اتصال غیر ممکن است بتوان رفتار حقیقی سازه را پیش بینی کرد. در اوایل تحقیقات در این زمینه به علت عدم وجود دانش کافی در مورد رفتار حقیقی اتصالات در سازه ها و اطلاعات مربوط به سختی و مقاومت اتصال روشهای طراحی بسیار محدود بوده و بر اساس ساده سازیهای کلی بنا می شدند. به علت در دسترس نبودن اطلاعات مورد نیاز در مورد مشخصات لنگر- دوران اتصالات، سعی در طراحی اتصالات نیمه گیردار نیز چندان موفقیت آمیز نبود. در مورد اتصال پیچی با صفحه سر محققین زیادی ناحیه کشش اتصال را با استفاده از مدلهای T شکل (T-stubs) مورد بررسی قرار داده اند. [1] عده ای دیگر نیز از اثرات یک یا چند جز مهم اتصال مثل انعطاف پذیری بال ستون، گل پیچ و مهره و یا جاری شدن مصالح در مدل کردن اتصال تیر به ستون صرفنظر کرده اند[2].

با پیشرفت تکنولوژی کامپیوتری، کریشنامورتی [3] برای اولین بار جهت آنالیز صفحات به هم متصل از روش المان محدود استفاده کرد. او با استفاده از آنالیز المان محدود تعداد زیادی از اتصالات با هندسه های متفاوت، روابطی برای منحنی لنگر- دوران و روشی نیز جهت طراحی این اتصالات ارائه کرد که در سال ۱۹۸۰ نتایج کار ایشان در آئین نامه AISC [4] منعکس شد. تارپی و کاردینال [5] در سال ۱۹۸۱ بر اساس آنالیزهای المان محدود خطی و آزمایشهایی که انجام داده بودند، رابطه لنگر- دوران- مقاومت را برای اتصال با صفحه سر بدون سخت کننده پیشنهاد کردند. نترکت و زاندونینی [6] روشهای موجود برای پیشگوئی رفتار لنگر- دوران اتصال تیر به ستون را بر اساس روشهای برازش منحنی روی نتایج آزمایش، مدلهای مکانیکی و رفتاری و انواع مختلف شبیه سازی عددی، بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که پیش بینی منحنی لنگر دوران اتصال با دقت معقول و مناسب محدود می باشد.

مقاله در تاریخ ۱۳۸۱/۱۰/۲۴ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۲/۸/۲۰ به تصویب نهایی رسیده است.

دکتر غلامرضا قدرتی امیری، دانشیار دانشکده *مهندسی عمران*، قطب مطالعات بنیادی در مهندسی سازه ها، دانشگاه *علم و صنعت ایران*.
ghodrati@iust.ac.ir
دکتر ابراهیم ثنایی، استاد دانشکده *مهندسی عمران*، دانشگاه *علم و صنعت ایران*. ebrahimsanaei@yahoo.com
محمد جمال زاده، کارشناس ارشد سازه دانشگاه *علم و صنعت ایران*.
jamalzade_m@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

روشهای اولیه طراحی بر اساس روابط ساده استاتیکی و فرضهائی بود که در آنها جهت ایجاد تعادل وجود یکسری نیروی اهرمی (Prying) مسلم فرض می شد. این روشها اغلب بر پایه مدلهای T شکل بودند. اما در اغلب مطالعات اخیر، جهت بسط معادلات طراحی از روش المان محدود و آنالیز رگرسیون چند متغیره استفاده شده است. خرابی یک اتصال با صفحه انتهائی، ممکن است بر اثر جاری شدن صفحه سر در خمش و برش، گسیختگی پیچ یا جوش، شکست جان ستون در برش و یا پلاستیسیته بیش از حد بال ستون در خمش رخ دهد. پیچها اکثراً تحت کشش قرار میگیرند، هر چند در صفحات نازک بر اثر تغییر شکل صفحه سر مقداری خمش دو محوره نیز ایجاد میشود و پیچهای واقع در قسمت توسعه یافته صفحه بر اثر عمل اهرمی (Prying Action) نیرویشان افزوده می شود. بنابراین یک مدل که تمامی اجزاء و رفتارها را شامل باشد، لزوماً باید سه بعدی بوده و تحلیل غیر الاستیک بر روی این مدل باید امکان پذیر باشد[7].

در سال ۱۹۹۳ شربورن و بهاری [2] با در نظر گرفتن یک مدل کامپیوتری دو بعدی با المانهای تنش مسطح برای تیر و ستون و ساقه پیچ مطالعاتی را در مورد اتصالات پیچی با صفحه سرانجام دادند. در یک مدل دو بعدی اثرات تنش متقاطع در نظر گرفته نمی شود و پیچها در امتداد خط جان تیر و ستون قرار می گیرند در صورتی که در واقع پیچها در بال ستون و در یک فاصله ای از جان ستون عمل می کنند. این محدودیتها در رفتار صفحه انتهایی نازک در حالتی که تسلیم در اثر خمش دو محوره رخ می دهد، تاثیر بسزائی دارد با این همه وقتی صفحه انتهائی به حد کافی ضخیم باشد، در آن صورت تغییر شکل صفحه سر عمدتاً شامل حرکت جسم صلب بوده و مدل دو بعدی جواب قابل قبولی ارائه خواهد داد. [7] برای اجتناب از طبقه بندی اتصالات به صفحات انتهائی ضخیم و نازک و همچنین برای مطالعه توزیع و بزرگی نیروهای اهرمی و الگوی تغییر شکل اتصال در سال ۱۹۹۴ شربورن و بهاری یک مدل سه بعدی با استفاده از المانهای صفحه ای برای اتصال با صفحه ایجاد نموده و مورد بررسی قرار دادند. آنها بدین منظور از نرم افزار ANSYS [8] بهره گرفتند.

ازآنجائی که در مطالعات صورت گرفته تمام اجزای اتصال پیچی به صورت دقیق مدل نشده و از وجود یک یا چند جزء صرفنظر شده است، لذا برای بررسی رفتار واقعی اتصال در تحقیق حاضرسعی در ارائه یک مدل سه بعدی المان محدود برای اتصال پیچی با صفحه انتهائی شده است که تمام اجزای آن بطور دقیق مدل شده اند تا با استفاده از آن و بعد از اطمینان به صحت مدل بتوان تاثیر پارامترهای نظیر ضخامت صفحه انتهائی، قطر پیچ، آرایش هندسی پیچها، تاثیر سخت کننده های ستون و ... را بر روی رفتار غیر خطی اتصال مورد بررسی قرار داد.

۲. مبانی نظری

یک سازه فولادی از ترکیب اعضای سازه ای منفصل از هم تشکیل شده است. در این سازه ها برای اینکه بار بتواند به سمت فونداسیون جریان یابد لازم است تا انتهای اعضای مختلف به طرز مناسبی به همدیگر وصل شده و کل مجموعه بصورت یکپارچه عمل کند که این وظیفه بر عهده اتصالات می باشد. بدین منظور اتصالات باید به گونه ای طراحی شوند که طرح آنها متضمن ایمنی، اقتصادی بودن و اجرائی بودن آنها باشد. در آنالیز سیستمهای سازه ای فرض بر این است که سیستم بصورت یکپارچه عمل نماید، چرا که عملکرد صحیح سیستم در عمل، بستگی به یکپارچگی آن خواهد داشت. لذا برای تامین یکپارچگی لازم استفاده از اتصالات مناسب و کارآمد ضروری خواهد بود. در واقع حتی اگر تیرها و ستونها محافظه کارانه طراحی شده باشند در صورت عدم استفاده از اتصالات مناسب، سیستم به صورت یکپارچه عمل نکرده و ایمنی لازم را در برابر نیروهای قائم و جانبی نخواهد داشت. هر اتصالی دارای قدری گیرداری است یعنی هر اتصالی به میزان معینی در برابر تغییر زاویه اولیه بین قطعات متصل شده مقاومت می کند. آئین نامه ایران در مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمانی ایران [۹] جهت طراحی و آنالیز سازه های فولادی، سه نوع سیستم سازه ای را معرفی می کند که عبارتند از:

گروه (۱): قابهای خمشی که در آنها فرض می شود اتصالات تیر و ستون به اندازه کافی صلب است به طوری که در تغییر شکل قاب، زاویه اولیه بین تیر و ستون ثابت باقی می ماند.

گروه (۲): قابهای ساده که در آنها فرض می شود اتصالات تیر و ستون بدون گیرداری است. در مورد بار قائم، اتصال تیرها و شاهتیرها فقط برای انتقال برش تعبیه شده است و می تواند تحت اثر بار قائم آزادانه دوران کند.

گروه (۳): قابهای نیمه صلب (انتهای قطعات دارای گیرداری نسبی) که در آنها فرض می شود اتصال انتهای تیرها و شاهتیرها دارای ظرفیت خمشی به مقداری مشخص و قابل اطمینان، بین صلبیب گروه (۱) و انعطاف پذیری گروه (۲) می باشد.

در عمل هیچگاه زاویه بین اعضا بطور مطلق ثابت نمانده و همچنین هیچ نوع مفصلی نمی توان یافت که لنگر در آن صفر باشد، لذا لازم است تا مرزها و کمیتهای قابل سنجش برای تفکیک این سه نوع اتصال و سیستمهای مربوطه مشخص شود. بهترین معیاری که برای تفکیک و طبقه بندی در مراجع مختلف استفاده شده است، منحنی لنگر- دوران اتصال می باشد. چون اتصالی نمی توان یافت که کاملاً صلب و یا کاملاً ساده باشد، لذا از نظر علمی اتصالات را بر اساس درصد گیرداری ایجاد شده توسط اتصال طبقه بندی می

www.SID.ir

Archive of SID

کنند. قاعده متعارف برای این طبقه بندی بدین شرح زیر است: اگر گیرداری اتصال بیش از ۹۰درصد گیرداری اتصال کاملاً صلب باشد، آنرا اتصال صلب گویند. یعنی در این نوع اتصال دوران به اندازه ۱۰ درصد اتصال ساده قابل قبول است. این نوع اتصالات باید از صلبیت کافی برخوردار باشند تا بتوانند در عمل زاویه بین تیر و ستون را در محدوده مشخصی نگه دارند. اگر گیرداری اتصال بین ۲۰ تا ۸۰ درصد اتصال کاملاً صلب باشد آنرا نیمه صلب گویند.

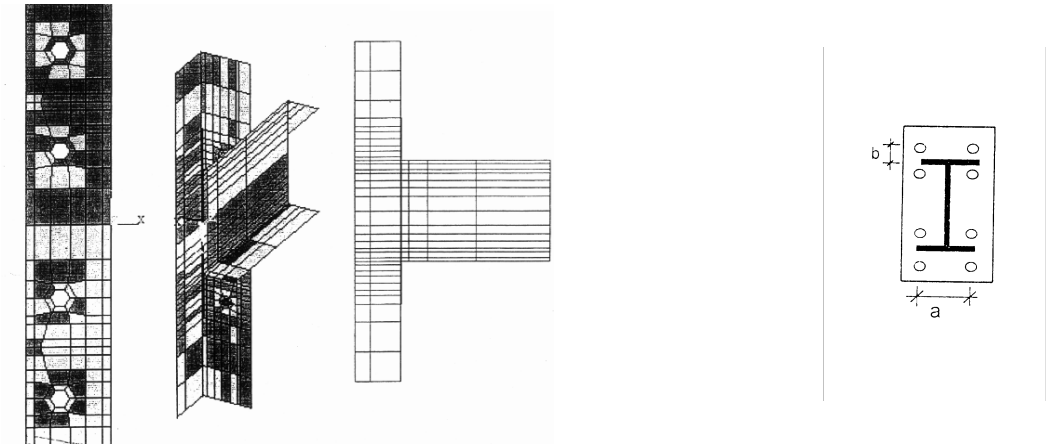
اتصال ساده اتصال نرمی است که باید امکان دوران انتهای تیر را در اثر بار خارجی به مانند آنچه که در یک تیر ساده واقعی نیازمند است، ممکن سازد. اگر چه اتصالات ساده قادر به تحمل اندکی لنگر گیرداری می باشد، اما فرض بر این است که مقدار آن قابل صرفنظر می باشد و این نوع اتصال تنها می تواند برش (و در صورت نیاز نیروی محوری) را تحمل کند. این اتصال باید طوری طرح گردد که بتواند بدون شکست دوران انتهایی تیر را که در نتیجه افت وسط تیر بوجود می آید بپذیرد و آنقدر شکل پذیر باشد که از بوجود آمدن لنگر قابل توجه در انتهای تیر جلوگیری کند. اتصال نیمه صلب اتصالی است که لنگر قابل ملاحظه ای را تحمل می کند. در طراحی، روش متعارف این است که طراح اتصال را یا ساده و یا صلب فرض کند. به این طریق تحلیل را کاملاً ساده نماید. اگر اتصال نیمه صلب را چنین فرض کنیم، امکان تقلیل لنگر محاسباتی تیرها را از دست خواهیم داد.

یکی از راههای بررسی رفتار اتصالات، استفاده از منحنی لنگر- دوران است. این منحنی که میتواند از نتایج آزمایشگاهی (مدل آزمایشی)، کامپیوتری (مدل کامپیوتری) یا تحلیلی (مدل ریاضی) برای هر نوع اتصالی بدست آید، رفتار اتصال یعنی دوران نسبی تیر و ستون را نسبت به تغییرات لنگر نشان می دهد. پس از آن که رفتار یک اتصال نیمه صلب تحت اثر لنگر مشخص شد و برای آن منحنی لنگر -دوران رسم گردید، می توان تحلیل قابهایی که در آنها از این اتصالات بکار رفته را با روشهای ساده ای انجام داد . این امر در تحلیل ماتریسی سازه ها می تواند با اصلاح ماتریس سختی هر یک از تیرها صورت گیرد. در این صورت پس از حل معادلات تعادل، به ترتیب تغییر شکل ها و نیروهای داخلی مجهول بدست می آیند . نکته مهم در این قسمت سختی دورانی اتصالات است که در مقادیر اولیه بارگذاری ثابت بوده و پس از آن سختی رفته رفته کاهش می یابد، بنابراین ماتریس سختی در مقادیر مختلف بارگذاری باید اصلاح شود. در این مورد بجای دنبال کردن مسیر منحنی تغییرات لنگر- دوران، می توان با تبدیل کردن منحنی لنگر- دوران به خطوط صاف به تصاویر قابل قبولی رسید که هر قدر تعداد خطوط زیادتر باشد، نتایج دقیقتری بدست می آید. به این ترتیب ماتریس سختی فقط در دو یا سه یا .... مرتبه اصلاح شده و در هر بار باز توزیع صورت می گیرد[10].

۳. روش تحقیق

جهت مطالعه اثر ضخامت صفحه انتهائی، تغییر قطر پیچ و تغییر آرایش محل سوراخهای صفحه سر بر سختی اتصال پیچی با صفحه انتهائی مطابق شکل ۱ و جدول ۱ سی مدل المان محدود سه بعدی با هندسه های متفاوت تحت آنالیز غیر خطی قرار گرفتند. در تمام مطالعات انجام شده از ضوابط مبحث ده مقررات ملی ساختمانی ایران [۹] و آئین نامه AISC [4] جهت رعات کردن حداقل و حداکثر فاصله پیچها از هم و از لبه صفحه انتهائی، اندازه مهره و گل پیچ و سایر موارد مورد نیاز جهت مدل کردن اتصال استفاده شده است. از آنجائی که جهت تصدیق مدل از نتایج آزمایشگاهی آقای جنکینز [11] استفاده خواهد شد، لذا همانند مطالعات ایشان در تمام مدلها، تیراز نیمرخ IPE24 و ستون از نیمرخ IPB22 در نظر گرفته شده است.

توسط محیط گرافیکی سه بعدی که در برنامه ANSYS وجود دارد، می توان مدلسازی هندسی و به دنبال آن مدلسازی المان محدود مورد نظر را انجام داد. منظور از مدلسازی هندسی ایجاد هندسه مدل مورد نظر با مشخص کردن نقاط، سطوح و احجام است که به کمک تعداد زیادی دستورات از پیش آماده شده صورت می گیرد.



شکل ۱. مش بندی کل اتصال، صفحه انتهائی و مدل دو بعدی اتصال

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مشخصات هندسی مدلهای مطالعه شده

Model No.	t (mm)	d (mm)	a (mm)	b (mm)
Mod-1	14	20	100	30
Mod-2	14	20	100	40
Mod-3	14	20	100	50
Mod-4	14	20	130	30
Mod-5	14	20	130	40
Mod-6	14	20	130	50
Mod-7	20	20	100	30
Mod-8	20	20	100	40
Mod-9	20	20	100	50
Mod-10	20	20	130	30
Mod-11	20	20	130	40
Mod-12	20	20	130	50
Mod-13	25	20	100	30
Mod-14	25	20	100	40
Mod-15	25	20	100	50
Mod-16	25	20	130	30
Mod-17	25	20	130	40
Mod-18	25	20	130	50
Mod-19	14	20	130	50
Mod-20	20	16	130	50
Mod-21	25	16	130	50
Mod-22	14	20	130	50
Mod-23	20	24	130	50
Mod-24	25	24	130	50
Mod-25	14	16	130	30
Mod-26	20	16	130	30
Mod-27	25	24	130	30
Mod-28	14	24	130	30
Mod-29	20	24	130	30
Mod-30	25	16	130	30

مدلسازی اجزای محدود در واقع تقسیم بندی مدل هندسی به تعدادی المان کوچک است که بلوک مربوط به محاسبات عددی را آماده می کند. در این قسمت تمام شرایط مرزی و بارگذاریها، شکل المان و تعداد گرههای آن معرفی می شوند. بعد از معرفی اطلاعات لازم، شبکه بندی، تولید المانها و شماره گذاری المانها و گرهها بطور خودکار انجام می گیرد. با توجه به وجود سوراخ در صفحه انتهائی و بال ستون که باعث پیچیدگی مدل کامپیوتری شده و از طرفی لزوم استفاده از یک المان گپ جهت تعریف مرز جدائی بین دو صفحه حکم می کند که مش بندی صفحه انتهائی منظم و منطبق بر مش بندی بال ستون باشد. استفاده از امکانات محیط گرافیکی ANSYS برای ایجاد مدل بسیار وقت گیر و مشکل می باشد. لذا جهت ایجاد مدلها از نرم افزار AUTOCAD استفاده شده است. با توجه به این که اساس نرم افزارمذکور جبر مجموعه هاست، بنابراین دستورات مفیدی جهت ایجاد شکلهای گوناگون و به شکلی راحت، در آن موجود می باشد. بدین جهت برنامه ای موثر تحت عنوان TRANS نوشته شد تا با استفاده از آن براحتی بتوان پس از ترسیم مدل ریاضی اجزای محدود در نرم افزار AUTOCAD تاشه مدل را که شامل المانها و گرههای مربوطه می باشد، برای ورود به برنامه ANSYS استخراج نمود.

۴. آنالیز مدلها

۴-۱. المانهای بکار رفته در مدلسازی نمونه ها توسط ANSYS

شکل عمومی که برای اتصال مطالعه شده در نظر گرفته شده است، شامل یک تیر از نیمرخ IPE24 می باشد که به انتهای آن صفحه مستطیل شکلی دارای چهار ردیف سوراخ است برش شده و این صفحه نیز توسط دو ردیف پیچ هر یک شامل دو عدد پیچ در ناحیه بال کششی و دو ردیف پیچ دیگر نیز مشابه آن در ناحیه بال فشاری تیر به ستونی از نیمرخ IPB22 متصل شده است. (شکل ۱) جهت

www.SID.ir

Archive of SID

مدل کردن بال و جان تیر و ستون، صفحه انتهائی و سخت کننده های جان ستون از المانهای پوسته ای پلاستیک چهار ضلعی و چهار گرهی سه بعدی که در ANSYS تحت عنوان STIF-43 شناخته می شود استفاده شده است. این المان در هر گره دارای شش درجه آزادی است. (سه درجه انتقالی و سه درجه دورانی). ضخامت این المان در گرههای آن تعیین می شود که در حالت کلی می تواند متفاوت باشد. (با تغییرات خطی) این المان می تواند در انواع آنالیزهای غیر خطی مادی و هندسی و ترکیب آنها بکار برده شود. برای مدل کردن گل پیچ و مهره آن المان جامد (SOLOID ELEMENT) هشت گرهی استفاده شده است. این المان در هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی است . از آنجائی که گل پیچ و مهره به شکل یک شش ضلعی تعریف می شوند، ابعاد استاندارد آنها برای مدل قابل تعریف می باشد. جهت مدل کردن ساقه پیچ نیز از شش المان سه بعدی میله استفاده شده است که در هر گره دارای سه درجه آزادی است و دورترین نقاط گل پیچ و مهره را به همدیگر متصل می کند. این المان در ANSYS، LINK10 نام دارد و از خصوصیات این المان، آن است که می تواند تنها تحت کشش یا فشار و یا مجموع آنها عمل کند. در واقع پیچ و مهره به صفحه سر و بال ستون چسبیده نبوده و با آنها بصورت پیوسته نمی باشد، لذا اگر صفحه سر و بال ستون به سمت هم حرکت کنند می توانند از هم عبور کنند که در این صورت جان پیچ هیچ نیروی فشاری تحمل نخواهد کرد، بنابراین برای ارضاء این واقعیت در مدل از خاصیت فقط کششی المان استفاده شده است.

یکی از مشکلات مدلسازی اتصالات با صفحه انتهائی نامشخص بودن شرایط مرزی در پشت صفحه انتهائی می باشد. واضح است که با افزایش لنگر خمشی در تیر، صفحه انتهائی در نواحی اطراف بال کششی تیر از بال ستون فاصله گرفته، در عوض در بخش فشاری به بال ستون خواهد چسبید. با توجه به این مسئله، شرایط مرزی در پشت صفحه انتهائی در مدت بارگذاری متغیر خواهد بود. وقتی که اتصال با روش المان محدود مدل می شود، این دو صفحه نسبت به هم هیچ شناختی ندارند و پس از اعمال بار این دو صفحه از هم عبور خواهند کرد بدون این که هیچ نیرویی به هم وارد کنند. بنابراین وجود المانی در این بین لازم است تا این دو صفحه نسبت به هم شناخت پیدا کنند. بدین منظور برای مدلسازی مرز بین صفحه انتهائی و بال ستون از المان گپ (GAP) سه بعدی استفاده شده است. این المان در ANSYS، CONTAC 52 نام دارد و در هر گره دارای سه درجه آزادی است. با وجود این المان در مدل در صورت اعمال فشار المان گپ عمل کرده و علاوه بر نگه داشتن دو صفحه به فاصله مورد نظر تعیین شده، نیروهای فشاری موجود در گره های صفحه انتهائی را به گرههای بال ستون انتقال می دهد و در هنگام اعمال بار کششی دو صفحه از هم براحتی جدا خواهند شد بدون اینکه هیچ نیرویی به گرههای هر دو صفحه انتقال پیدا کند. با توجه به اینکه در عمل بر روی سطوح واقعی هیچ ماده ای که به منزله المان گپ باشد وجود ندارد، لذا سختی مصالح این المان می بایست بی نهایت باشد اما بکار بردن سختی بی نهایت باعث بوجود آمدن مشکلات عددی در حل معادلات و همچنین مشکلات همگرائی در مسائل دارای المانهای گپ متعدد می گردد . برای گریز از این مشکلات با توجه به مقالات موجود در این جا مقدار سختی به صورت معادله ۱ در نظر گرفته شده است [2]:

$$K=5AE/nt \qquad (1)$$

که در آن:

A : مساحت صفحه انتهائی

E : مدول الاستیسیته صفحه

n : تعداد المانهای تماسی که دو صفحه را به هم وصل میکنند

t` : کمترین ضخامت بین بال ستون و صفحه انتهائی

۴-۲. رفتار مصالح انتخاب شده در مدلها و بارگذاری

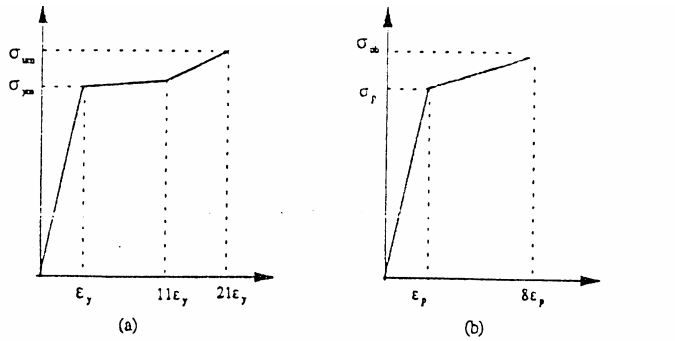
در برنامه ANSYS لازم است که منحنی تنش- کرنش مصالح توسط کاربر معرفی شود. در مدلهای مورد نظر مصالح انتخاب شده فولاد با منحنی تنش کرنش الاستوپلاستیک سخت شونده چند خطی است. برای المانهای جان و بال تیر و ستون، صفحه انتهائی، و سخت کننده های ستون رابطه تنش- کرنش مطابق شکل 2a به صورت کرنش الاستیک سخت شونده درنظر گرفته شده است. سختی مماسی بعد از نقطه تسلیم، ۰.۲٪ مدول الاستیسیته داخلی در نظر گرفته شده و این سختی تا کرنش $11\varepsilon_y$ ادامه داده شده است و تنش نهائی نیز در نقطه $21\varepsilon_y$ می باشد. برای مصالح پیچ شامل سرپیچ، مهره و ساقه پیچ مطابق شکل 2b از یک نمودار دو خطی برای رابطه تنش- کرنش استفاده شده است که خط دوم نقطه تنش PROOF (σ_p) را به نقطه نهائی وصل می کند که تقریباً در کرنش ε_p اتفاق می افتد. (ε_p کرنش متناظر با تنش PROOF میباشد). [2] در بارگذاری نمونه ها به منظور اعمال لنگر از یک توزیع خطی نیرو در انتهای تیر استفاده شده است.

۴-۳. شرایط مرزی

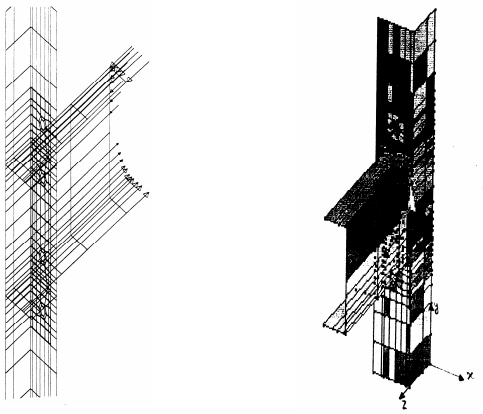
با توجه به متقارن بودن اتصال از لحاظ هندسه و بارگذاری و همچنین برای کاهش مدت زمان آنالیز، یک چهارم اتصال دو سویی مدل شده است (شکل ۳)، چرا که اتصال دوسویی تیر به ستون دو صفحه تقارن دارد. مطابق شکل ۳ یکی از صفحه های تقارن صفحه x-y می باشد که از وسط جان ستون می گذرد و دیگری صفحه تقارن y-z است که از وسط جان تیر و ستون می گذرد. برای اعمال شرایط مرزی هر صفحه تقارن می بایست جابجائی عمود بر آن صفحه و دوران های داخل آن صفحه بسته شوند، لذا در صفحه

www.SID.ir

Archive of SID



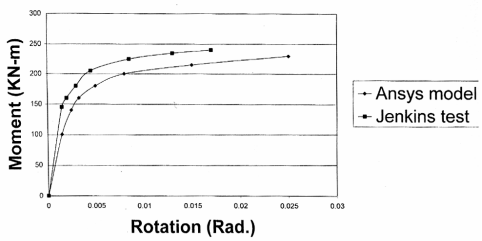
شکل ۲. منحنی تنش- کرنش (a) برای مصالح تیر و ستون و صفحه سر (b) برای اجزای پیچ [2]



شکل ۳. شرایط مرزی اتصال

تقارن x-y جابجائی عمود بر صفحه یعنی U_z و دوران های داخل صفحه یعنی R_x , R_y بسته می شوند. در صفحه y-z نیز جابجائی عمود برآن یعنی U_x و دورانهای داخل صفحه یعنی R_y , R_z بسته شده است. به منظور پایداری سازه تغییر مکان جهت y بر روی جان ستون نیز بسته شده است.

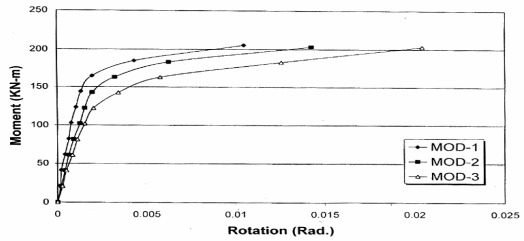
پس از ایجاد مدل، بارگذاری و اعمال شرایط مرزی آنالیز غیر خطی بر روی یکی از مدلها انجام شده وجهت تصدیق مدل، نتایج حاصل از آن با نتایج آزمایشگاهی حاصل از مطالعات آقای جنکینز [11] مقایسه شده است که مطابق شکل(۴) تطابق نسبتاً خوبی بین نتایج حاصل از آزمایش و مدل المان محدود مشاهده می گردد.



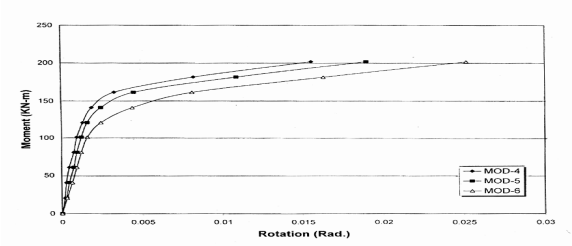
شکل ۴. مقا یسه منحنی لنگر- دوران حاصل از مدل المان محدود و آزمایشهای جنکینز [11]

۵. بحث و بررسی نتایج

در بررسی انجام شده روی مدلهای MOD-1 تا MOD-6 مشخص شد که با نزدیک شدن پیچها به بال تیر سختی اتصال افزایش یافته و اتصال لنگر بیشتری را در چرخش یکسان تحمل می کند. این موضوع برای سایر مقادیر ضخامت صفحه انتهائی (t)، a و قطر پیچها (d) نیز صادق است که در شکلهای ۵ تا ۱۰ نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش فاصله b سختی کاهش می یابد و با افزایش فاصله پیچها از جان تیر نیز شیب منحنی های لنگر- دوران کم می شود که این حاکی از کاهش سختی اتصال است. با ثابت بودن فاصله a افزایش ضخامت صفحه انتهائی باعث افزایش میزان لنگر تحمل شده در چرخش یکسان می شود. یعنی با افزایش ضخامت صفحه سر سختی اتصال زیاد می گردد.



شکل ۵. منحنی لنگر- دوران با b متغیر(t=14, a=100)



شکل ۶. منحنی لنگر- دوران با b متغیر (t=14, a=130)

شکل شماره ۱۱ مقایسه بین اتصالات با قطرهای متفاوت پیچ را برای صفحه سر به ضخامت ۱۴ میلیمتر نشان میدهد. در این شکل

www.SID.ir

Archive of SID

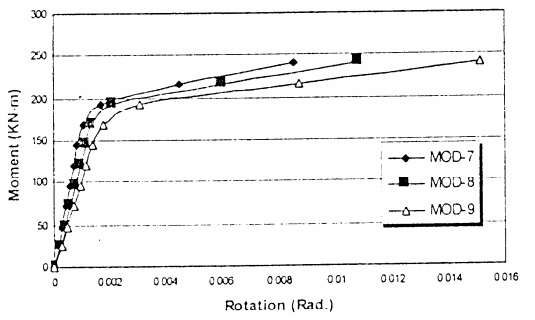
مشاهده می شود که اولاً با افزایش قطر پیچ سختی اتصال افزایش و ثانیاً در ضخامت های پائین تاثیر قطرهای بالای پیچ در اتصال کاهش می یابد . با مشاهده شکلهای ۱۲ و ۱۳ می بینیم که با افزایش ضخامت صفحه سر تاثیر پیچها بیشتر است که این می تواند به دلیل صلبیت خمشی کمتر صفحه انتهائی به ضخامت ۱۴ میلیمتر نسبت به صفحه ۲۰ میلیمتر باشد. در نتیجه رفتار اتصالبیشتر متاثر از رفتار صفحه انتهائی خواهد بود. شکل های ۱۴ تا ۱۶ نیر همین موضوع را برای b های کمتر نشان می دهند. شکل ۱۷ تاثیر قابل ملاحظه سخت کننده ها را در اتصالات تیر به ستون پیچی با صفحه انتهائی را نشان می دهد. اتصال بدون سخت کننده نسبت به اتصال با سخت کننده به ویژه در مرحله نهائی بارگذاری ، انعطاف پذیرتر می باشد.

۶. خلاصه نتایج

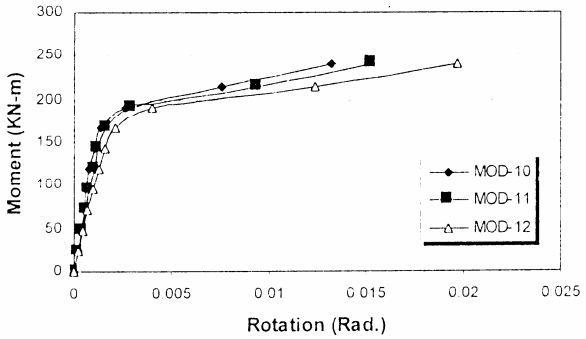
در این تحقیق اثر پارامترهایی نظیر ضخامت صفحه انتهایی، قطر پیچ و فاصله پیچها از بال و جان تیر بر رفتار غیرخطی اتصال پیچی با صفحه انتهایی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید:

۱- با افزایش ۴۳ درصدی ضخامت صفحه انتهائی، سختی اتصال حدود ۲۰ درصد افزایش می یابد. با ۱۵ درصد افزایش مجدد ضخامت صفحه انتهائی، مشاهده می شود سختی اتصال حدود ۱۵ درصد دیگر افزایش می یابد. لذا نتیجه می شود ضخامت صفحه انتهائی به شدت سختی اتصال را تحت تاثیر قرار می دهد. کاهش فاصله پیچها از جان تیر مستقل از ضخامت صفحه انتهایی باعث افزایش سختی اتصال می شود اما این میزان افزایش در مقایسه با تاثیر ضخامت صفحه انتهائی کمتر می باشد برای مثال با کاهش ۳۳ درصد فاصله پیچها از جان تیر فقط حدود ۵ درصد به سختی اتصال افزوده می شود.

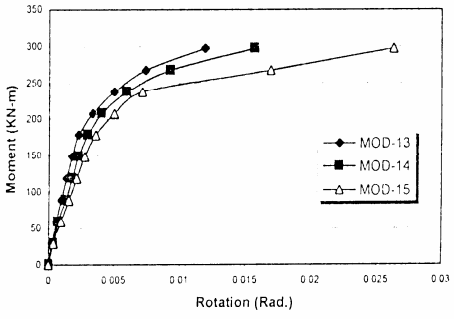
۲- کاهش فاصله پیچها از بال تیر نیز باعث افزایش سختی می شود اما این افزایش در مورد اتصالاتی که در آنها فاصله پیچها از جان تیر بیشتر است کمتر می باشد. برای مثال در حالتی که b = 30 mm است، کاهش درصدی فاصله پیچها از جان تیر باعث ۱۰ درصد افزایش سختی می گردد. اما همین میزان کاهش فاصله در مورد اتصالی که در آن فاصله پیچها از بال تیر b = 50 mm است، باعث ۶ درصد افزایش سختی اتصال می گردد.



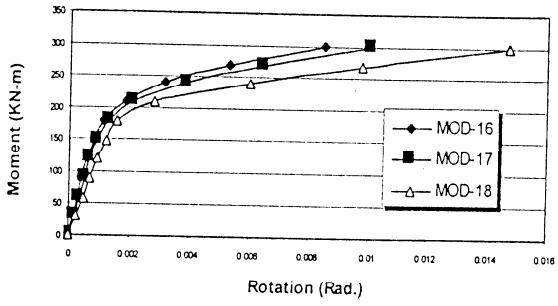
شکل ۷. منحنی لنگر- دوران با b متغیر (t=20, a=100)



شکل ۸. منحنی لنگر- دوران با b متغیر (t=20, a=130)



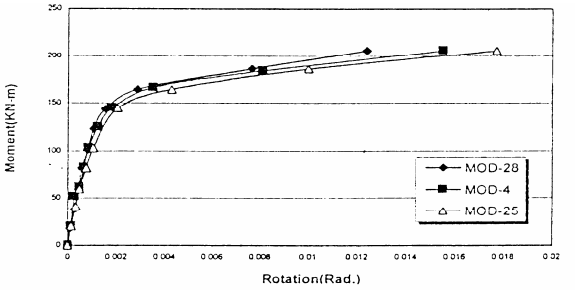
شکل ۹. منحنی لنگر- دوران با b متغیر(t=25, a=100)



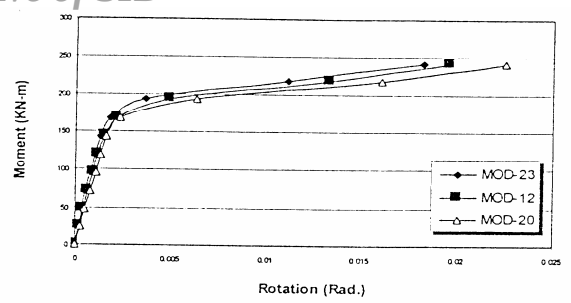
شکل ۱۰. منحنی لنگر- دوران با b متغیر (t=25, a=130)

www.SID.ir

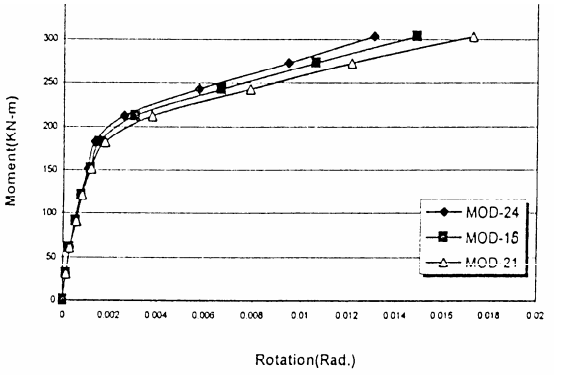
Archive of SID



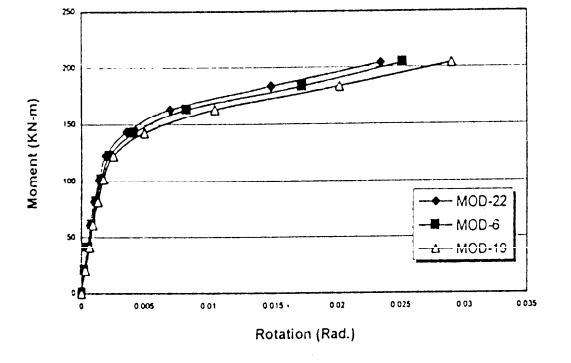
شکل ۱۱. منحنی لنگر- دوران با d متغیر (t=14, a=100)



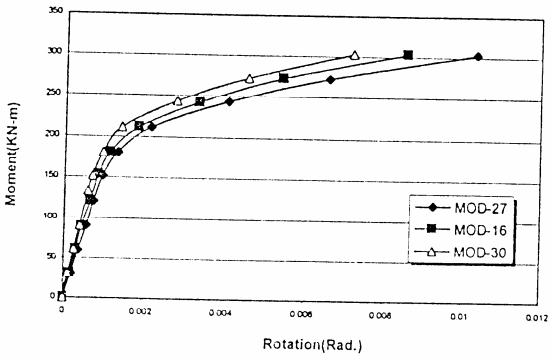
شکل ۱۲. منحنی لنگر- دوران با d متغیر (t=20, a=130)



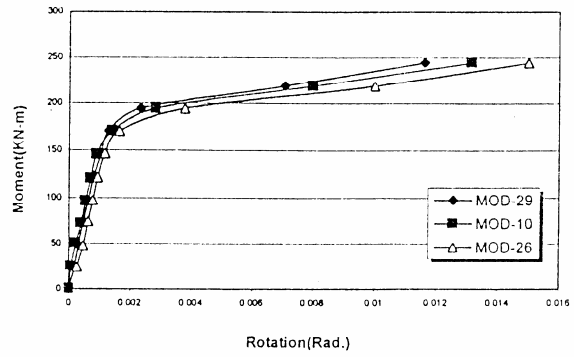
شکل ۱۳. منحنی لنگر- دوران با d متغیر (t=25, a=100)



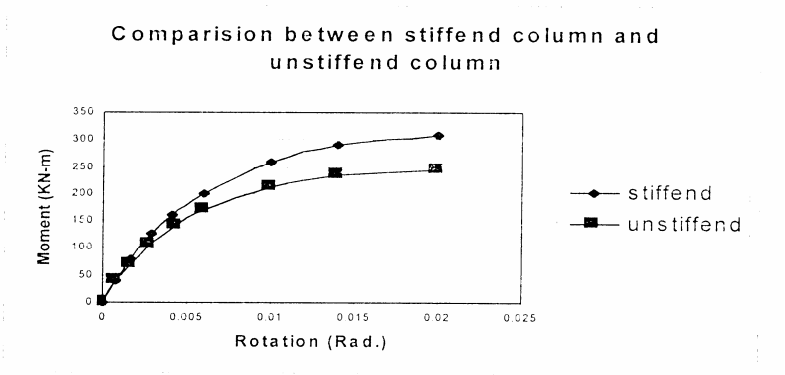
شکل ۱۴. منحنی لنگر- دوران با d متغیر (t=14, a=130)



شکل ۱۵. منحنی لنگر- دوران با d متغیر (t=25, a=130)



شکل ۱۶. منحنی لنگر- دوران با d متغیر (t=20, a=130)



شکل ۱۷. مقایسه منحنی لنگر- دوران اتصال با ستون دارای سخت کننده و بدون آن

www.SID.ir

Archive of SID

۳- افزایش قطر پیچها در مقایسه با سایر پارامترها تاثیر کمتری در افزایش سختی اتصال دارد اما همین اثر نیز در مورد اتصالاتی که صفحه انتهائی به ضخامت ۱۴ میلیمتر است، افزایش قطر پیچها حدود ۳ درصد سختی اتصال را افزایش می دهد اما در همین اتصال با صفحه انتهائی به ضخامت ۲۵ میلیمتر، افزایش قطر پیچها سختی اتصال را حدود ۵ درصد افزایش می دهد.

۴- در اتصالات تیر به ستون پیچی با صفحه انتهائی سخت کننده های ستون تاثیر قابل ملاحظه ای در رفتار اتصال دارند و اتصال بدون سخت کننده نسبت به اتصال با سخت کننده انعطاف پذیرتر است.

مرا جع

[1].Chasten, C.P., Lu, L.-W. and Driscoll, G.C., "*Prying and Shear in End-plate Connection Design*", Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 5, 1992, pp. 1295-1310.

[2].Bahari, M.R. and Sherbourne, A.N.,"*Structural Behavior of End-plate Bolted Connection to Stiffend Columns*", Journal of Structural Engineering, Vol. 122, No. 8, 1996, pp. 926-935.

[3].Krishnamurty, N., Huang, H.-T., Jeffrey , P.K. and Avery, L.K., "*Analytical M-O Curves for End-plate Connection*", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 105, No. 1, 1979, pp. 133-145.

[4].American Institute of Steel Construction (AISC), AISC Code.

[5].Chio, C.-K. and Chung, G.-T., "*Refined Three-Dimentional Finite Element Model for End-plate Connection*", Journal of Structural Engineering, Vol . 122, No. 11, 1996, pp. 1307-1316.

[6].Nethercot, D.A. and Zandonini, R., "Methods of Prediction of Joint Behavior: Beam-to-Column Connection", in: *Stractural Connections, Stability and Strength*, R. Naayanan, ed., Elsevier Applied Science Publishers, London, 1989, pp. 23-62.

[7].Sherbourne, A.N. and Bahaari, M.R., "*3D Simulation of End-plate Bolted Connection*", Journal of Structural Engineering, Vol . 120, No. 11, 1994, pp. 3122 -3136.

[8].Swanson Analysis Systems, Inc., ANSYS 5.4 Program, PA, 1997.

[۹] وزارت مسکن و شهرسازی، مقررات ملی ساختمانی ایران مبحث ۱۰: *"طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان"*.

[10].Bursi, O.S. and Jaspart, J.P., "*Benchmarks for Fintie Element Modeling of Bolted Steel Connection*", Journal of Costructional Steel Research, Vol. 43, No. 1, 1977, pp. 17-42.

[11].Jenkins, W.M., Tong, C.S. and Presscott, A.T., "*Moment-Transmitting End-plate Bolted Connection in Steel Construction, and a Proposed Basis for Flush End-plate Design*", Journal of Structural Engineering, Vol. 164A, No. 5, 1986, pp. 121-132.

فهرست علائم

a	فاصله افقی پیچها از همدیگر
A	مساحت صفحه انتهائی
b	فاصله قائم پیچها از همدیگر
d	قطر پیچ
E	مدول الاستیسیته صفحه انتهائی
ε_p	کرنش متناظر با تنش proof
ε_y	کرنش حد تسلیم
K	سختی المان گپ (Gap)
n	تعداد المانهای تماسی که صفحه انتهائی را به بال ستون وصل میکنند
R_x	دوران گره حول محور x
R_y	دوران گره حول محور y
R_z	دوران گره حول محور z
σ_p	تنش proof
σ_y	تنش حدتسلیم
t	ضخامت صفحه انتهائی
t'	کمترین ضخامت بین بال ستون و صفحه انتهائی
U_x	جابجائی گره در جهت x
U_y	جابجائی گره در جهت y
U_z	جابجائی گره در جهت z

www.SID.ir