

اثر ورق اتصال بادبند بر رفتار اتصال مفصلی تیر به ستون با نبشی بالا و پایین

کامیار باقری نژاد^۱، سید حامد حسینی^۲، مسعود کافی^۳

۱- دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

۲- دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه تکنولوژی مالزی

۳- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندر انزلی

k.bagherinejad@iauc.ac.ir

خلاصه

در اتصالات سازه های فلزی به صورت کلی دو نوع اتصال مفصلی و گیردار در نظر گرفته میشود. در تئوری، در اتصالات گیردار چرخش وجود ندارد و اتصالات مفصلی نیز قادر به انتقال لنگر نمیباشند. ولی در واقعیت، در اتصال گیردار انعطاف پذیری کمی وجود دارد که باعث چرخش جزئی اتصال میگردد و همچنین اتصالات مفصلی ظرفیت کمی در انتقال لنگر از خود نشان میدهند. در این تحقیق با استفاده از شبیه سازی به روش اجزای محدود، اثر لچکی های مثلثی و ذوزنقه ای شکل بر نمودار ممان - دوران در اتصال تیر به ستون با نبشی بالا و پایین بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان میدهد که وجود لچکی در ناحیه اتصال موجب افزایش سختی و تغییر رفتار مفصلی اتصال میگردد و این نوع اتصال میتواند به عنوان اتصال گیردار تلقی گردد.

کلمات کلیدی: اتصال مفصلی، اتصال نیمه صلب، ورق اتصال بادبند

۱. مقدمه

نوع اتصال تیر به ستون به طور مستقیم بر عملکرد سازه های فولادی در برابر بارهای وارده تاثیر گذار است. در گذشته نوع اتصالات به صورت ایده ال در نظر گرفته میشد. به عنوان مثال اتصال کاملاً صلب که در آن هیچگونه چرخشی در برابر بار وارده در تیر به وجود نمی آمد و اتصال مفصلی که هیچگونه لنگری را از خود منتقل نمیکند. به علت اینکه اتصالات، نیروهای برشی و لنگرهای بزرگی را تحمل و منتقل مینمایند، انواع مختلف رفتار اتصال تاثیر به سزایی در نتایج تحلیل سازه دارد.

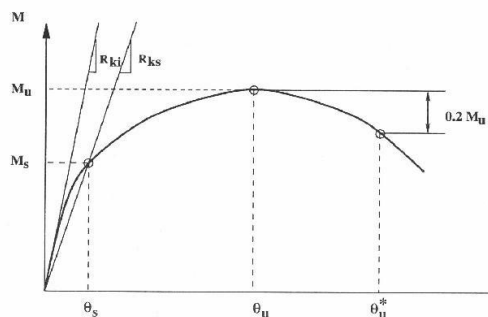
۱.۲. طبقه بندی اتصالات

به طور کلی سه پارامتر مقاومت، شکل پذیری و سختی در آیین نامه ها [۱] برای طبقه بندی اتصالات معرفی شده است. در شکل ۱ انواع پارامترهای مختلف طبقه بندی اتصالات با استفاده از نمودار لنگر-دوران برای اتصال نیمه صلب نشان داده شده اند. بر اساس پارامترهای فوق سه نوع اتصال گیردار، نیمه گیردار و ساده قابل تعریف میباشند.

مقاومت اتصال از مقایسه مقاومت تیر و مقاومت اتصالی که با تیر در ارتباط است بدست می آید. اگر مقاومت تیر از مقاومت اتصال تجاوز نماید ارجحیت از مقاومت به شکل پذیری تغییر میکند [۲].

اگر تغییر شکل ها در اتصال مد نظر باشند، شکل پذیری عامل بسیار مهمی در اتصال خواهد بود. در واقع شکل پذیری مهمترین عامل در اتصالات با مقاومت جزئی میباشد [۲].

از آنجایی که رفتار اتصال در برابر بارهای وارده غیرخطی میباشد، سختی اولیه اتصال (R_{ki}) مطابق پیشنهاد AISC به طور کامل رفتار اتصال در برابر بارهای بهره برداری را شرح نمیدهد [۲]. سختی متقاطع (R_{ks}) نزدیک به رفتار خطی اتصال گویاتر میباشد. سختی متقاطع به صورت $R_{ks} = M_s / \theta_s$ تعریف میگردد که در آن M_s بیانگر میزان اسمی بار و θ_s دوران متناظر با آن میباشد. برای طبقه بندی اتصال بر اساس خواص سختی آن ضریب $\alpha = R_{ks}L / (EI)_{beam}$ تعریف شده است.



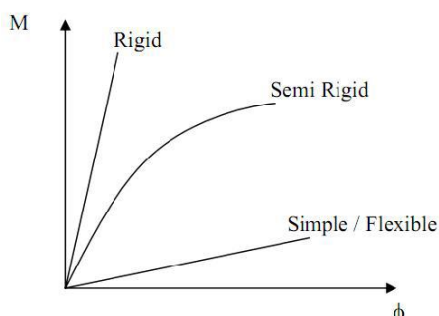
شکل ۱ پارامترهای ممان - دوران برای اتصالات نیمه صلب متداول

۱.۳ اتصال گیردار

در اتصال گیردار هنگام اعمال نیرو هیچگونه دورانی در اتصال به وجود نمی آید. قابهای با این نوع اتصال قاب خمشی نامیده میشوند. در قاب خمشی لنگر گیرداری انتهایی توسط اتصال از تیر به ستون منتقل میگردد.

۱.۴ اتصال نیمه گیردار

مقاومت در برابر لنگر در اتصال نیمه گیردار بین اتصال ساده و اتصال گیردار می باشد. اتصالات نیمه گیردار برای ایجاد درجه اندرکنش مشخص بین اعضا بر اساس مشخصه لنگر - دوران نقطه اتصال طراحی میگردند. شکل ۲ منحنی لنگر - دوران اتصال نیمه صلب را که بین اتصال گیردار و ساده واقع شده است را نشان میدهد.



شکل ۲ اتصال نیمه صلب بین اتصال ساده و گیردار

۱.۵ اتصال ساده

اتصالات ساده تنها قادر به تحمل نیروی برشی میباشند. در واقع اتصال ساده مقاومتی در برابر لنگر از خود نشان نداده و در برابر اعمال بار به صورت آزادانه دوران میکند. در برخی از کشور ها سازه ها بر اساس اتصال ساده طراحی میشوند و در عمل اتصالاتی با عملکرد نیمه صلب ساخته میگردند. این فرایند میتواند در طراحی سازه مخاطره آمیز باشد.

۲. تاریخچه تحلیل به روش اجزای محدود اتصالات نیمه صلب

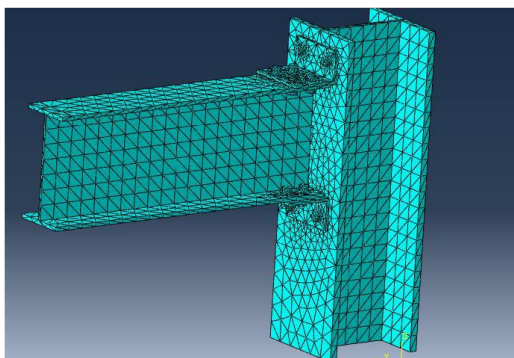
استفاده از تحلیل غیر خطی به روش اجزای محدود، یکی از ماهرترین روش های شبیه سازی در بیان رفتار اتصال میباشد. محققان زیادی مطالعه عددی و آزمایشگاهی بر روی اتصالات با ورق انتهایی پیچی انجام داده اند [۳]. به علت محدودیتهای آزمایشگاهی، محاسبات عددی به کمک اجزای محدود نیز برای اتصالات نیمه صلب به ندرت صورت گرفته است. یکی از جامعترین و کاملترین مطالعات آزمایشگاهی به همراه تحلیل به

روش اجزای محدود توسط عزیزی نمینی در سال ۱۹۸۵ صورت گرفته است. عزیزی نمینی از منحنی بار-تغییر شکل حاصل از نتایج آزمایشگاهی و تحلیل به روش اجزای محدود استفاده نمود و آنها را تبدیل به منحنی مماس-دوران کرد [۴]. هر چند مدل اجزای محدود عزیزی نمینی قدیمی بوده و به علت کاهش حجم محاسبات ساده سازی شده بود، تلاشهای مجددی برای بررسی نتایج همان آزمایشها توسط محققان صورت گرفته است [۳].

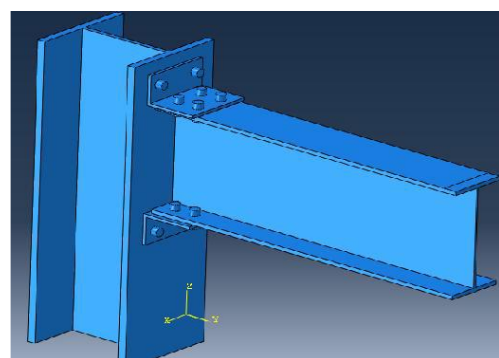
کار آزمایشگاهی دیگری بر روی اتصال نیمه صلب توسط آیدین در سال ۲۰۱۵ صورت گرفته است [۵]. در این آزمایش، نبشی بالا و پایین بدون نبشی دویل جان مورد بررسی قرار گرفتند. این نتایج در حال حاضر با هیچ تحلیل به روش اجزای محدودی مقایسه نشده است. تلاش های دیگری بر روی مدل اجزای محدود اتصالات نیمه صلب توسط اکبر پیرموز صورت گرفته است. در این تحقیق، پیرموز [۶] از نبشی دویل جان با پیچ به بال ستون متصل شده بودند و با جوش به جان تیر متصل شده بودند استفاده کرد. به علاوه، رافائل ۲۰۰۱ [۷] نبشی بالا و پایین را با استفاده از مدل سه بعدی اجزای محدود برای بررسی رفتار این نوع اتصال مورد مطالعه قرار داد.

۳. مدل اجزای محدود

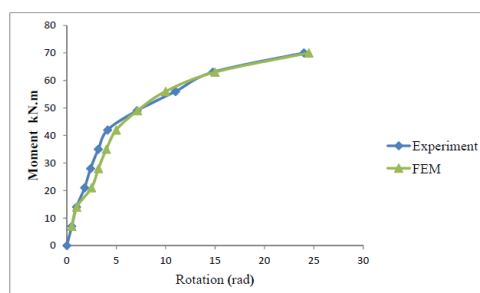
برای ایجاد مدل المان محدود در بررسی اتصال تیر به ستون فلزی و ترسیم منحنی لنگر-دوران حاصل از تحلیل، نرم افزار آباکوس انتخاب شد. همچنین راست آزمایی نتایج حاصل از مدل اجزای محدود با استفاده از نتایج آزمایشگاهی صورت گرفته توسط عزیزی نمینی [۴] انجام شد. شکل ۳ و ۴ مدل اجزای محدود به همراه مش بندی نمونه عزیزی نمینی را در نرم افزار آباکوس نشان میدهند. نمودار مماس-دوران حاصل از نتایج تحلیل در نرم افزار آباکوس در شکل ۵ با نمودار مماس-دوران حاصل از نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده اند.



شکل ۳ مش بندی مدل اجزای محدود نمونه عزیزی نمینی در آباکوس



شکل ۴ مدل اجزای محدود نمونه عزیزی نمینی در آباکوس

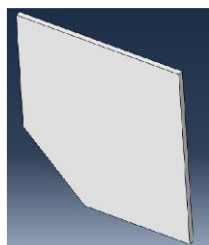


شکل ۵ مقایسه منحنی مماس - دوران تحلیل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی

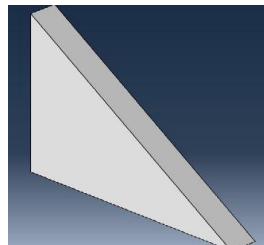
۳.۱. مشخصات نمونه های مورد بررسی در تحلیل به روش اجزای محدود

در این تحقیق چهارده نمونه مطابق مشخصات درج شده در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفتند. تیر و ستون مدل شده در کلیه نمونه ها به ترتیب IPE300 و BOX300x300x20 mm میباشد. همچنین نبشی مورد استفاده در مدل برای قسمت نشیمن و فوقانی به ترتیب

L80x80x8 و L140x140x14 میباشند که بر اساس طراحی به روش LRFD انتخاب شده اند. مشخصات لچکی های مثلثی و ذوزنقه ای شکل نیز در جدول ۲ قابل مشاهده میباشند. به علاوه طول تیر ۴۵۰۰ میلیمتر و ارتفاع ستون ۳۰۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شدند. در شکل های ۶ و ۷ به ترتیب لچکی های مثلثی و ذوزنقه ای شکل در مدل قابل مشاهده میباشند.



شکل ۶ لچکی ذوزنقه ای شکل



شکل ۷ لچکی مثلثی شکل

نوع بار در نظر گرفته شده از نوع گسترده بوده و مقدار آن بر اساس طراحی به روش LRFD و بیشترین مقداری که توسط مقطع IPE300 قابل تحمل است (۵۲,۴۷ KN/m) در نظر گرفته شده است.

جدول ۱ مشخصات مدل های مورد بررسی

شماره نمونه	مشخصات اتصال
۱	نبشی جان
۲	نبشی جان با ورق ذوزنقه ای در بالا و پایین
۳	نبشی نشیمن
۴	نبشی بالا و پایین
۵	نبشی بالا و پایین با ورق مثلثی ۱۰ میلیمتری
۶	نبشی بالا و پایین با ورق مثلثی ۱۵ میلیمتری
۷	نبشی بالا و پایین با ورق مثلثی ۲۰ میلیمتری
۸	نبشی بالا و پایین با ورق ذوزنقه ای در بالا
۹	نبشی بالا و پایین با ورق ذوزنقه ای در بالا
۱۰	نبشی بالا و پایین با ورق ذوزنقه ای در پایین
۱۱	نبشی بالا و پایین با ورق ذوزنقه ای در پایین
۱۲	نبشی بالا و پایین با ورق ذوزنقه ای در بالا و پایین
۱۳	نبشی بالا و پایین با ورق ذوزنقه ای در بالا و پایین
۱۴	نبشی بالا و پایین با ورق ذوزنقه ای در بالا و پایین

جدول ۲ مشخصات لچکیهای مثلثی و ذوزنقه ای اتصال (واحدها به میلیمتر میباشند)

شماره مدل	لچکی ذوزنقه ای پایین			لچکی ذوزنقه ای بالا					لچکی مثلثی		
	جوش به تیر	جوش به ستون	پایه	ارتفاع	جوش به تیر	جوش به ستون	ضخامت	پایه	ارتفاع	ضخامت	پایه
۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۰	۱۲۶
۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۵	۱۲۶
۷	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰	۱۲۶
۸	-	-	-	-	۲۵۰	۲۵۰	۱۲	۳۸۸	۳۸۰	-	-
۹	-	-	-	-	۲۰۰	۲۰۰	۱۲	۳۳۸	۳۳۰	-	-

۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-	۴۴۰	۴۴۰	۱۲	۲۵۰	۲۵۰
۱۱	-	-	-	-	-	-	-	-	۳۹۰	۳۹۰	۱۲	۲۰۰	۲۰۰
۱۲	-	-	-	۳۸۰	۳۸۸	۱۲	۲۵۰	۲۵۰	۴۴۰	۴۴۰	۱۲	۲۵۰	۲۵۰
۱۳	-	-	-	۳۳۰	۳۳۸	۱۲	۲۰۰	۲۰۰	۳۹۰	۳۹۰	۱۲	۲۰۰	۲۰۰
۱۴	-	-	-	۳۳۰	۳۳۸	۱۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۹۰	۳۹۰	۱۰	۲۰۰	۲۰۰

۳,۲. خواص مواد

تنش تسلیم و تنش نهایی تیر و ستون و نبشی برای کلیه اتصالات به ترتیب ۲۳۵ مگاپاسکال و ۳۷۶ مگاپاسکال در نظر گرفته شدند. منحنی تنش- کرنش دوحطی الاستو پلاستیک با سخت شدگی ایزوتروپیک با مدول الاستیسیته ۲۰۶ گیگاپاسکال و ضریب پواسون ۰,۳ در مدل ها فرض شدند.

۴. نتایج تحلیل نمونه ها به روش اجزای محدود

تحلیل غیرخطی بر روی اتصال مورد نظر در کلیه مدل های مورد بررسی توسط نرم افزار آباکوس صورت گرفت و جهت بررسی رفتار اتصال نمودار ممان-دوران ترسیم گردید. به علت اینکه نرم افزار آباکوس به صورت مستقیم نمودار ممان-دوران را ترسیم نمیکند، به کمک خروجی های مربوط به هر گام بار گذاری و تغییر مکان متناظر با آن در نقاط مختلف نمودار مورد نظر ترسیم گردید.

۴,۱. دوران (چرخش)

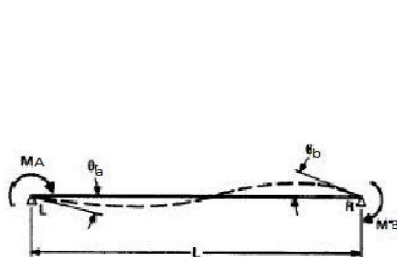
جهت محاسبه دوران در انتهای تیر، تغییر مکان افقی در نقاط بالا و پایین تیر محاسبه شدند و با استفاده از رابطه ۱ دوران متناظر با آن بدست آمد. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، θ دوران مربوط به اتصال، h ارتفاع تیر و ϵ_1 و ϵ_2 به ترتیب تغییر مکان افقی مربوط به بال بالا و پایین تیر میباشند.

$$\theta = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{h} \quad (۱)$$

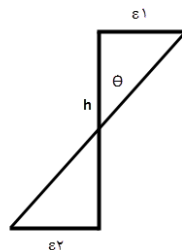
۴,۲. ممان (لنگر)

پس از محاسبه دوران با استفاده از رابطه ۲ میزان لنگر متناظر با دوران محاسبه گردید. در این رابطه M_a لنگر در محل اتصال، E مدول الاستیسیته، I و L مربوط به خواص هندسی تیر و θa دوران مربوط به آن نقطه میباشد. در شکل ۹ لنگر و دوران مرتبط با رابطه ۲ نشان داده شده اند.

$$M_a = M_f a + \frac{EI}{L} \theta a \quad (۲)$$



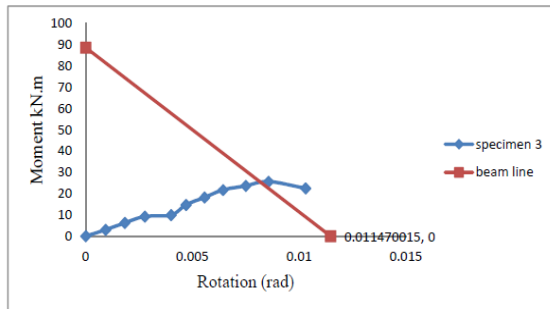
شکل ۹ ممان و دوران در معادله تغییر شکل



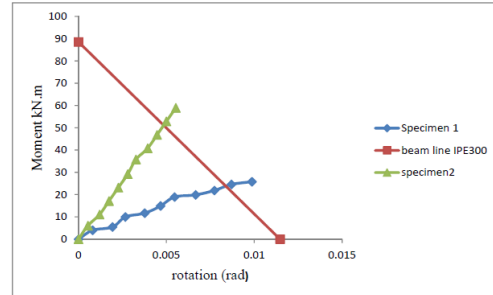
شکل ۸ محاسبه دوران

۴,۳. منحنی های ممان-دوران

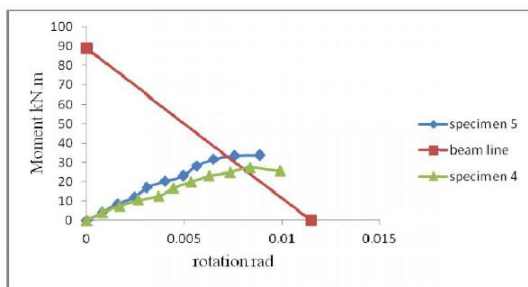
شکل های ۱۰ الی ۱۷ منحنی ممان-دوران برای نمونه های تحلیل شده در نرم افزار آباکوس را نشان میدهند.



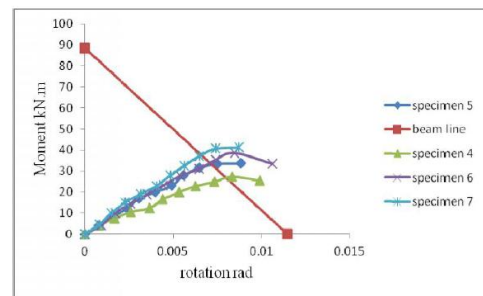
شکل ۱۰ منحنی ممان-دوران مدل ۳



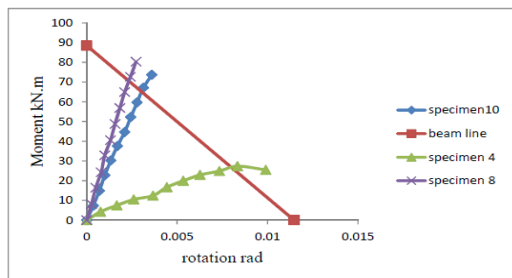
شکل ۱۱ منحنی ممان-دوران مدل ۱ و ۲



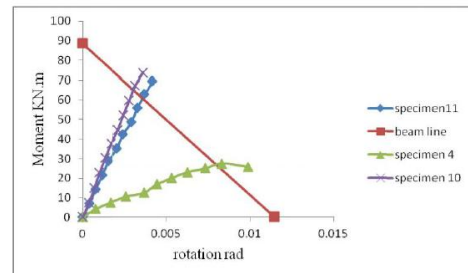
شکل ۱۲ منحنی ممان-دوران مدل ۴ و ۵



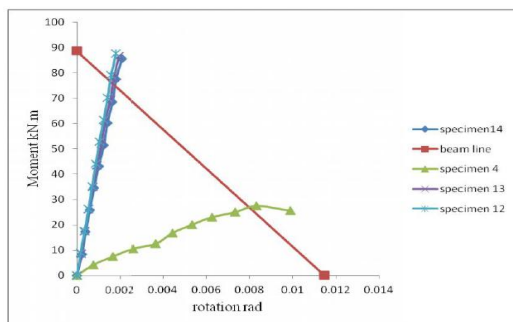
شکل ۱۳ منحنی ممان-دوران مدل ۴ الی ۷



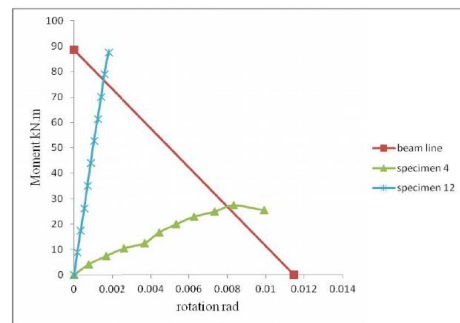
شکل ۱۴ مقایسه منحنی ممان-دوران مدل ۴ و ۸ و ۱۰



شکل ۱۵ مقایسه منحنی ممان-دوران مدل ۴ و ۱۰ و ۱۱

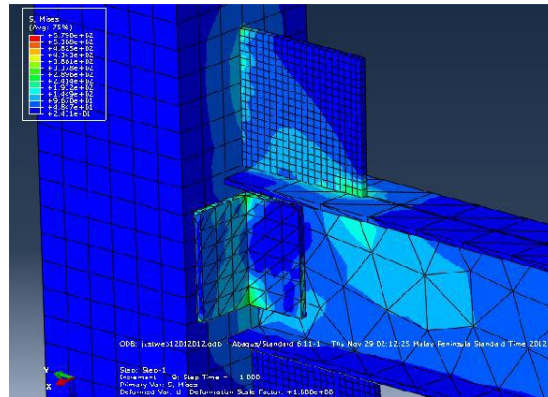


شکل ۱۶ مقایسه منحنی ممان-دوران مدل ۱۲ و ۱۳ و ۱۴



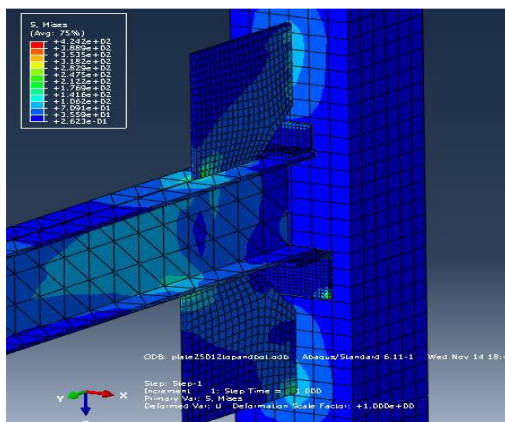
شکل ۱۷ مقایسه منحنی ممان-دوران مدل ۴ و ۱۲

شکل ۱۰ منحنی لنگر-دوران نمونه شماره ۱ و ۲ را نشان میدهد. میزان دوران در نمونه یک مشابه دوران حاصل از محاسبات تئوری تکیه گاه مفصلی میباشد. منحنی لنگر-دوران نمونه دوم نشان میدهد که در صورت استفاده از ورق ذوزنقه ای شکل جهت اتصال بادنبد به اتصال، میزان دوران کاهش پیدا میکند. انتقال تنش توسط لچکی ذوزنقه ای شکل به ستون در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

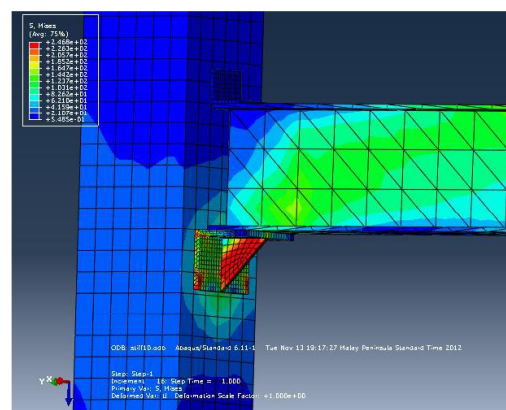


شکل ۱۸ تنش موجود در مدل ۲

در نمونه ۳ که اتصال آن تنها از نبشی نشیمن تشکیل شده است، مطابق نتایج حاصله در شکل ۱۱، رفتار آن به اتصال مفصلی نزدیک است. در شکل ۱۲ منحنی ممان-دوران نمونه های ۴ و ۵ ترسیم شده است. مطابق شکل میزان دوران اتصال نمونه ۴ برابر ۰,۰۰۹۹ رادیان می باشد. مقایسه بین نتایج نمونه ۳ و ۴ نشان می دهد که نبشی بالا تاثیر مستقیم در رفتار اتصال دارد و میتواند تحمل لنگر در اتصال را افزایش دهد. میزان دوران در نمونه پنج برابر ۰,۰۰۸۳۳ رادیان است که ۷۷ درصد دوران حاصل از فرض مفصلی بودن اتصال با محاسبات تئوری می باشد. همچنین ضریب صلبیت برای این نمونه ۳۷,۱۳ درصد است. مطابق آیین نامه AISC هنگامی که ضریب صلبیت بین ۲۰٪ الی ۹۰٪ باشد، رفتار اتصال نیمه صلب در نظر گرفته میشود. مطابق منحنی های لنگر-دوران شکل ۱۳، افزایش ضخامت لچکی مثلی باعث افزایش لنگر قابل تحمل و کاهش دوران میگردد. شکل ۱۹ لچکی مثلی شکل نمونه ۵ و تنش ایجاد شده در آن را نشان داده است.



شکل ۱۹ تنش موجود در مدل شماره ۱۲



شکل ۲۰ تنش موجود در مدل شماره ۵

هنگامی که از لچکی دوزنقه ای شکل در بالای تیر استفاده گردد، رفتار اتصال تغییر کرده و مقداری از لنگر به ستون منتقل میشود. همچنین هنگامی که از ورق دوزنقه ای در پایین تیر استفاده شود میزان دوران ۰,۰۰۳۶ رادیان خواهد بود. در صورت استفاده از ورق دوزنقه ای شکل در بالا و پایین (نمونه ۱۲)، میزان دوران ۰,۰۰۱۸ رادیان بوده و اتصال ۸۸ درصد لنگر گیرداری انتهایی را تحمل خواهد کرد. مطابق طبقه بندی آیین نامه AISC رفتار این نوع اتصال بیشتر شبیه به اتصال گیردار خواهد بود. شکل ۲۰ تنش های موجود و نحوه اتصال لچکی های دوزنقه ای شکل در بالا و پایین تیر را برای نمونه ۱۲ نشان میدهد. جدول ۴,۳ طبقه بندی اتصالات مورد بررسی بر اساس آیین نامه AISC و میزان صلبیت هر یک از آنها را نشان میدهد.

جدول ۳ طبقه بندی اتصالات بر اساس آیین نامه AISC و مقاومت اتصال

شماره مدل	صلبیت	نوع اتصال
۱	٪ ۲۶,۴۰	نیمه گیردار (نزدیک به رفتار مفصلی)
۲	٪ ۵۶,۴۷	نیمه گیردار
۳	٪ ۲۸	نیمه گیردار (نزدیک به رفتار مفصلی)
۴	٪ ۳۰,۹۱	نیمه گیردار
۵	٪ ۳۷,۱۳	نیمه گیردار
۶	٪ ۳۸,۱۶	نیمه گیردار
۷	٪ ۴۱,۷۰	نیمه گیردار
۸	٪ ۷۸,۷۲	نیمه گیردار
۹	٪ ۷۴,۴۰	نیمه گیردار
۱۰	٪ ۷۳,۴۱	نیمه گیردار
۱۱	٪ ۸۵,۱۷	نیمه گیردار (نزدیک به رفتار گیردار)
۱۲	٪ ۸۲,۶۰	نیمه گیردار (نزدیک به رفتار گیردار)
۱۳	٪ ۸۵,۱۷	نیمه گیردار (نزدیک به رفتار گیردار)
۱۴	٪ ۸۲,۶۰	نیمه گیردار (نزدیک به رفتار گیردار)

۵. نتیجه گیری

نتایج زیر با استفاده از نمودار ممان-چرخش حاصل از تحلیل به روش اجزای محدود با نرم افزار آباکوس بدست آمدند:

(۱) با توجه به نمودار ممان-چرخش فرض مفصلی بودن اتصال تیر به ستون با نبشی بالا و پایین در صورت وجود لچکی صحیح نیست و این اتصال با توجه به شکل لچکی رفتار نیمه صلب در لچکی های مثلثی شکل و یا صلب در لچکی دوزنقه شکل را دارد.

(۲) بر اساس نمودار ممان-چرخش، ضخامت لچکی در میزان چرخش اتصال تاثیر دارد. ضریب صلبیت در نمونه های با لچکی مثلث شکل مورد بررسی بین ۳۱ تا ۴۷ درصد بودند.

(۳) وجود لچکی های دوزنقه ای شکل، اتصال مفصلی تیر به ستون با نبشی بالا و پایین را تبدیل به اتصال گیردار میکند. در واقع ۸۰ درصد لنگر گیرداری موجود در انتهای تیر، به ستون منتقل میگردد.

مراجع:

۱. AISC, *Load and Resistance Factor Design*, ۲۰۰۵, Chicago: AISC, American Institute of Steel Construction Inc.
۲. Chen, W.F.G., Y. and Liew,, *Stability Design of Semi-Rigid Frames*, ۲۰۰۰, John Wiley and SonsInc.: New York.
۳. Lee, S.S.M., T.S., *Moment-Rotation model of semi-rigid connections with angles*. Engineering structures, ۲۰۰۲, ۲۴(PP. ۲۲۷-۲۳۷).
۴. Azizinamini, A., Bradburn, J.H., and Radziminski, J.B., *Static and Cyclic Behavior of Semi-Rigid Steel Beam-Column Connections*, ۱۹۸۵, Department of Civil Engineering, University of South Carolina,
۵. Aydın, A.C., et al., *Experimental assessment of the semi-rigid connections behavior with angles and stiffeners*. Journal of Constructional Steel Research, ۲۰۱۵, ۱۱۴: p. ۳۴۸-۳۳۸
۶. Pirmoz, A., et al., *Moment-rotation behavior of bolted top-seat angle connections*. Journal of Constructional Steel Research, ۲۰۰۹, ۶۵(۴): p. ۹۸۴-۹۷۳
۷. Pucinotti, R., *Top-and-seat and web angle connections: prediction via mechanical model*. Journal of Constructional Steel Research, ۲۰۰۱, ۵۷(۶): p. ۶۹۶-۶۶۳