

ارزیابی تأثیر فاصله آزاد انتهایی و استفاده از سخت‌کننده‌ها در صفحه اتصال بر عملکرد فشاری مهاربندهای قطری

موسی محمودی صاحبی^{۱*}، آرش زارع زاده مهریزی^۲، علیرضا شیرپور^۳

- ۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

اعضای مهاربندهای قطری باید بتوانند نیروی فشاری قابل توجهی را تحمل کنند. اتصال این اعضا به تیر و ستون نقش مهمی در مقدار این نیرو دارد. این اتصال به گونه‌ای طراحی می‌شود که با کمانش آزادانه عضو، مشکلی برای اتصال کناری بوجود نیاید و یا با تقویت صفحه اتصال از خسارات ناشی از کمانش احتمالی عضو در محل اتصال صفحه جلوگیری نماید. برای ارزیابی رفتار لرزه‌ای و کمانشی مهاربندها در حالت‌های مختلف، ۵ قاب یک طبقه تک دهانه با مهاربند قطری در نرم‌افزار المان محدود آباکوس بررسی شده است. ابتدا با استفاده از آنالیز کمانش به بررسی بار بحرانی عضو مهاربندی و به تبعیت از آن ضریب طول مؤثر مهاربند پرداخته شده است، سپس با در نظر گرفتن نقص اولیه براساس آنالیز کمانش، نمونه‌ها تحت آنالیز غیرخطی پس‌کمانش قرار گرفته و نتایج حاصل از منحنی‌های برش پایه-تغییر مکان، تنش و کرنش نمونه‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. در ۲ مدل اول اثرات محل انقطاع مهاربند و در ۳ مدل دیگر اثرات استفاده از انواع سخت‌کننده‌ها در ورق اتصال مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بیانگر افزایش شکل‌پذیری قاب در اثر رعایت فاصله آزاد توصیه شده توسط آیین‌نامه‌های معتبر ساختمانی و جلوگیری از خرابی پیش از موعد اتصال ورق گوشه در اثر استفاده صحیح از سخت‌کننده‌ها است.

کلمات کلیدی: سخت‌کننده صفحه اتصال، اتصال کناری، ضریب طول مؤثر، مهاربند قطری، فاصله آزاد انتهایی.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
10.22065/jsce.2017.85865.1171					
http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.85865.1171	۱۳۹۷/۰۸/۳۰	۱۳۹۶/۰۶/۲۴	۱۳۹۶/۰۶/۲۴	۱۳۹۶/۰۶/۱۰	۱۳۹۶/۰۲/۲۳
موسی محمودی صاحبی m.mahmoudi@srttu.edu				*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

Evaluation of end clearance and using stiffeners on gusset plate effect on the compressive performance of diagonal bracing systems

Mussa Mahmoudi ^{1*}, Arash Zarezadeh Mehrizi ², Alireza Shirpour³

1- Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

2- Master of civil engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

3- Master of civil engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

ABSTRACT

The braced frame is used in steel structures to confront lateral loads. In Iran, braced frames, especially concentrically braced frames are more commonly used due to their high levels of rigidity and ease and speed of construction. The bracing member of this system bears considerable amounts of load, and thus it needs to be properly connected to the main frame members to display a satisfactory performance. Gusset plates are used to implement such connections. Due to the need for ductility of concentrically braced frames, researchers have conducted extensive research on factors influencing ductility of these structures and especially their connections. The brace end clearance is one of the factors influencing this parameter. It is also possible to influence the connection and frame performances by using stiffeners on gusset plates. This connection is designed to either prevent problems caused to the end-connection through free buckling of a member or reinforcing the gusset plate to reduce damages caused by possible buckling of a member at the connection location. In this research, 5 one-span one-story frames with diagonal braces were modeled in ABAQUS finite element method software. The effects of brace end clearance and effects of stiffeners on gusset plates were studied in the first 2 models and the other 3 models, respectively. First, a buckling analysis was carried out to study brace critical load and the brace effective length coefficient. Afterwards, considering the initial imperfection determined by buckling analysis, the samples were exposed to post-buckling nonlinear analysis and results of the base shear-displacement and stress-strain curves were compared. Comparison results revealed that by considering the brace end clearance recommended by reputable building codes it is possible to increase ductility and prevent early failure of corner joint plates. Proper use of stiffeners also may improve performance of lateral connections and the braced frame.

ARTICLE INFO

Received: 13/05/2017

Revised: 01/09/2017

Accepted: 15/09/2017

Keywords:

Gusset plate stiffener

End-connection

Effective length coefficient

Diagonal bracing

End clearance

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2017.85865.1171

*Corresponding author: Mussa Mahmoudi Sahebi.

Email address: m.mahmoudi@srttu.edu

۱- مقدمه

بررسی اثرات نیروهای ناشی از زلزله یا باد در سازه که از حیث تغییرات و راستای عمل با دیگر بارها نظیر بارهای ثقلی متفاوت هستند، گستره جدیدی در علم بارگذاری سازه‌ها ایجاد نمود. به همین علت انتقال چنین بارهایی، که تحت عنوان بارهای جانبی شناخته شده‌اند، نیازمند سیستم باربر متفاوتی نسبت به سیستم باربر ثقلی می‌باشند. شیوه‌های بسیار متنوعی برای ایجاد چنین سیستمی پیشنهاد شده است که رایج‌ترین آن‌ها سیستم قاب خمشی، سیستم دیوار برشی، سیستم مهاربندی یا ترکیبی از این سیستم‌هاست. در این میان کاربرد مهاربندها به عنوان سیستم باربر جانبی به دلیل سهولت و سرعت ساخت و نصب، کاهش میزان مصالح به کار برده شده در سیستم باربر جانبی (نسبت به سیستم دیوار برشی)، همخوانی بیشتر با تغییر شکل‌های سازه در طبقات فوقانی (نسبت به سیستم دیوار برشی) و دلایل متعدد دیگر در ساختمان‌های فولادی رایج گردیده است.

در مناطق لرزه‌خیز، یکی از اصول طراحی سازه‌ها این است که سازه سختی جانبی کافی برای کنترل جابجایی بین طبقات را داشته باشد. این اصل به منظور جلوگیری از صدمه دیدن اعضای غیرسازه‌ای در ساختمان‌ها است. هم‌چنین در زلزله‌های کوچک و متوسط عناصر سازه باید در محدوده ارتجاعی قرار داشته و مقاومت کافی داشته باشند به نحوی که خرابی در سازه به وجود نیاید. بر این اساس در طراحی سازه‌ها برای مقابله با نیروهای جانبی تأمین سختی و قابلیت جذب انرژی به طور هم‌زمان مورد نظر طراحان می‌باشد. در همین راستا علاوه بر شکل هندسی قاب، شکل هندسی مهاربندها و اتصالات آن‌ها نقشی غیر قابل انکار دارد.

برای دستیابی به یک سازه ایمن و کارا لازم است، اعضای اصلی آن نظیر تیرها و ستون‌ها به نحو مناسبی به یکدیگر متصل شده تا بتوانند با عمل یکپارچه خود بهره‌وری مورد نظر را تأمین کنند. دو وظیفه عمده اتصالات در سازه‌ها را می‌توان انتقال نیرو بین اعضای سازه جهت ارضای شرایط تعادل و تأمین یکپارچگی و انسجام بین اعضای مختلف آن جهت تأمین شرایط سازگاری بیان کرد. بررسی دقیق عملکرد اتصالات در یک سازه فولادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و عدم دقت در طراحی و اجرای اتصالات در سازه‌های فولادی نه تنها موجب خرابی در خود اتصال می‌شود، بلکه اثرات ویران‌کننده‌ای نیز بر اعضای سازه و در نتیجه کل سازه خواهد داشت. بر اساس اطلاعات موجود، اغلب ویرانی‌ها در سازه‌های فولادی در اثر ضعف عملکرد اتصالات گزارش شده است. بنابراین درک صحیح و آگاهی کاملی از رفتار اتصال، نحوه انتقال نیروها و اثرات آن بر رفتار کلی سیستم سازه‌ای ضروری است [۱].

متداول‌ترین روش برای اتصال انتهایی عضو مهاربندی همگرا به اعضای اصلی قاب استفاده از صفحه اتصال است. با توجه به این‌که قاب‌های فولادی مهاربندی شده بدون در نظرگیری اثر صفحه اتصال مورد طراحی قرار می‌گیرند و این عضو سازه در مرحله جداگانه‌ای بدون توجه به تأثیرات متقابلش با قاب طراحی می‌شود، ممکن است نتایج این طراحی با آنچه در واقعیت اتفاق می‌افتد متفاوت باشد و ظرفیت مورد نظر از طریق صفحه اتصال تأمین نشود. هم‌چنین کمناش خارج از صفحه مهاربند تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای را به قسمت اتصالات و به خصوص صفحه اتصال تحمیل می‌نماید [۲].

مطابق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان اتصال مهاربندی‌ها باید علاوه بر تأمین مقاومت کششی و فشاری مورد نیاز، با کمناش مهاربندی‌ها هم سازگاری داشته باشند. به همین منظور باید یکی از این الزامات را برآورده نمایند. حالت اول اتصال اعضای مهاربندی باید دارای مقاومت خمشی مورد نیاز برابر $1/1 R_y M_p$ باشد که در آن، M_p لنگر خمشی پلاستیک مقطع عضو مهاربندی حول محور کمناش بحرانی مقطع است. حالت دوم سازگاری با دوران غیرالاستیک حاصل از تغییر شکل‌های پس از کمناش در خارج از صفحه است. این عمل از طریق مهیا نمودن شرایط کمناش بحرانی مهاربندی در خارج از صفحه قاب و قطع مهاربندی به اندازه دو برابر ضخامت صفحه اتصال (۲t) قبل از خط تکیه‌گاهی ورق اتصال (خط آزاد خمش) صورت می‌پذیرد [۳].

برای طراحی ورق گاست یک روش ساده، معقول و در عین حال دقیق مورد نیاز بود. ویتور روش عرض مؤثر بر پایه توزیع تنش در داخل ورق گاست با زاویه ۳۰ درجه را پیشنهاد کرد [۴] و در ادامه تورنتون نوار ستونی با عرض واحد در داخل عرض مؤثر ویتور را

پیشنهاد کرد [۵]. اولین آزمایشات مهم و اساسی انجام شده بر روی اتصالات سیستم‌های مهاربندی در سازه‌های فولادی در فاصله سال‌های ۱۹۸۳ تا ۱۹۸۸ توسط ژورناله و چاکرابارتی در دانشگاه آلبرتا انجام گردید که در آن اثر زاویه مهاربند و ضخامت صفحه اتصال در ۶ نمونه با ابعاد واقعی سنجیده شد و مشخص شد که صفحه اتصال و نوع اتصال می‌تواند نقش مهمی در رفتار مهاربند داشته باشد [۷و۶]. همچنین ورق ممکن است در معرض تغییر شکل‌های خارج از صفحه قرار بگیرد که جهت ایجاد ظرفیت دوران پلاستیک، فاصله آزاد خطی دو برابر ضخامت ورق گاست از خط آزاد خمش پیشنهاد شد [۹و۸]. در ادامه مطالعات بیشتری روی فاصله آزاد انتهایی انجام شد. خروجی این مطالعات پیشنهاد فاصله آزاد بیضوی شکل [۱۰و۱۱] و فاصله آزاد سه خطی [۱۲] بود که ورق‌های گاست فشرده تری را نتیجه می‌دهند. استفاده از فولاد یا مقاومت تسلیم پایین در ورق گاست و اضافه کردن سخت‌کننده شیاری شکل به آن نیز بررسی شد و نتایج نشان دادند که اضافه کردن سخت‌کننده می‌تواند باعث افزایش مقاومت فشاری و ظرفیت تغییر شکل شود [۱۳]. همچنین سخت‌کننده‌ها می‌توانند رفتار پس‌کمانشی را بهبود بخشند [۱۴].

در طراحی اعضای فشاری دو روش مد نظر قرار می‌گیرد. در روش اول اتصال به گونه‌ای طراحی می‌شود که کمانش آزادانه عضو، مشکلی برای اتصال کناری صفحه اتصال به تیر و ستون به وجود نیابد. در روش دوم صفحه اتصال به کمک سخت‌کننده‌ها تقویت می‌شود تا کمانش احتمالی عضو، خسارتی در محل اتصال صفحه به تیر و ستون ایجاد نکند. در این تحقیق پس از بررسی اثر رعایت و عدم رعایت فاصله آزاد انتهایی، سخت‌کننده‌هایی جهت تقویت صفحه اتصال پیشنهاد و بررسی شده‌اند. برای این منظور ۵ قاب یک طبقه و یک دهانه با مهاربند قطری انتخاب و رفتار آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- روش تحقیق

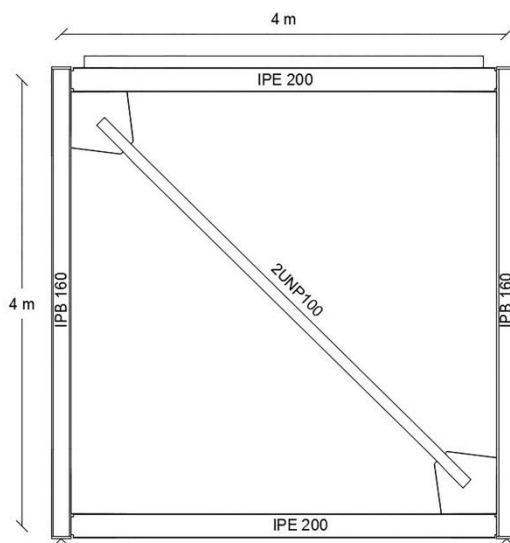
ابتدا برای هر پنج مدل آنالیز کمانش انجام می‌شود و مقادیر ویژه و مودهای کمانش به دست می‌آید. با توجه به مقدار ویژه مود اول که مود بحرانی کمانش بوده و احتمال وقوع آن بیشتر است، مقدار بار بحرانی هر مدل محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از فرمول اولر ضریب طول مؤثر مدل‌ها به دست می‌آید.

مودهای کمانشی سیستم توسط آنالیز از نوع کمانش تعیین شده و از روی مقادیر ویژه نیروی بحرانی محاسبه می‌شود و به دنبال آن ضریب طول مؤثر مهاربند محاسبه می‌گردد. سپس نتایج مربوطه شامل شکل مودها به صورت نقص اولیه در یک مدل جدید معرفی می‌شوند. در این تحقیق نمونه‌ها تحت دو آنالیز قرار گرفته‌اند، اولی برای تعیین مودهای کمانشی و دومی برای تحلیل رفتار پساکمانشی. به دلیل ناپایداری سازه در این مرحله از آنالیز Static Riks [۱۵] استفاده می‌شود. این روش باعث می‌شود که تعادل در معادله نیوتون-رافسون در امتداد یک کمان صورت گیرد. این روش می‌تواند از وقوع واگرایی، حتی در هنگامی که شیب نمودار نیرو-تغییر مکان صفر یا منفی شود جلوگیری کند.

(شکل ۱) نمای کلی قاب مهاربندی شده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مشخصات ستون‌ها، تیرها، مهاربند و صفحه اتصال در همه مدل‌ها یکسان است. این مدل‌ها دارای دو ستون با مقطع IPB160، دو تیر با مقطع IPE200 و مهاربند با مشخصات مقطع 2UNP100 هستند. ارتفاع طبقه همه قاب‌ها ۴ متر و طول دهانه آن‌ها نیز ۴ متر است. ضخامت صفحه اتصال مورد استفاده در همه مدل‌ها ۱/۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. در این تحقیق برای تمامی قطعات از فولاد S235 استفاده شده که خصوصیات آن با توجه به استاندارد EN1993-1-1 در (جدول ۱) ارائه شده است [۱۶].

جدول ۱: خصوصیات فولاد S235

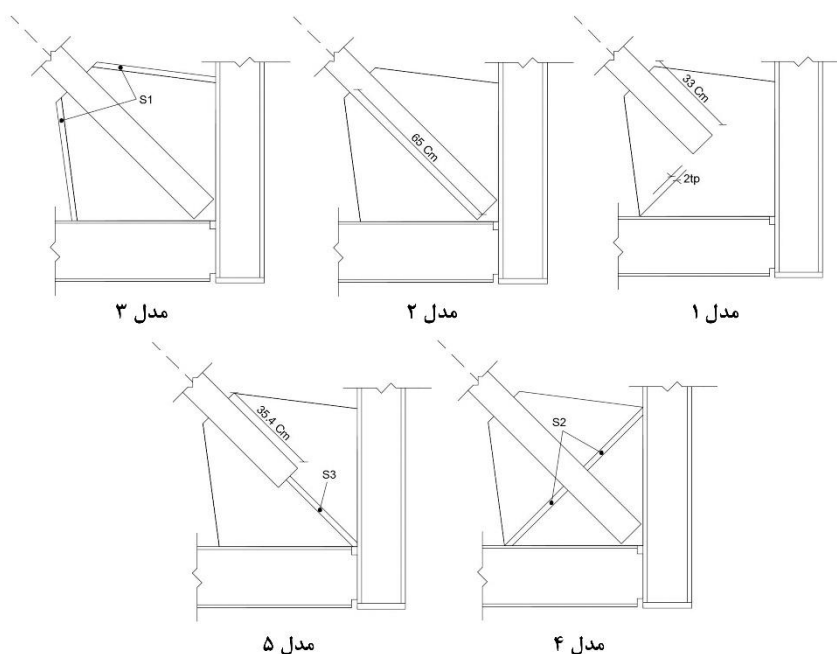
Standard and Steel grade	t ≤ 40 mm			
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	E [N/mm ²]	ν
S235	235	360	210000	0.3



شکل ۱: قاب انتخابی برای مطالعه در این پژوهش

تمامی قاب‌های مدل شده دارای اتصالات ساده هستند. برای شبیه‌سازی اتصال مفصلی بین تیر و ستون، ۸۰ درصد از جان تیر امتداد یافته و به ستون متصل شده است [۱۷]. همچنین برای طراحی اتصال کناری نیز از ضوابط آیین‌نامه اتصالات در سازه‌های فولادی استفاده شده است.

جزئیات ۵ مدل مورد بررسی بدین صورت است که در مدل اول فاصله آزاد خطی دو برابر ضخامت صفحه اتصال از خط آزاد خمش در محل قطع مهاربند رعایت شده است. در مدل دوم مهاربند تا انتها امتداد یافته است. در مدل سوم سخت‌کننده لبه‌ای به مدل دوم اضافه شده است. مدل چهارم از ترکیب سخت‌کننده در راستای خط آزاد خمش با مدل دوم ساخته شده است. در مدل پنجم یک سخت‌کننده در راستای مهاربند، جایگزین قسمت انتهایی آن شده است. (شکل ۲) تصویر این ۵ مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۲: جزئیات نمونه‌ها

اتصال کف قاب، مفصلی در نظر گرفته شده است و تغییر مکان، در سه جهت بسته می‌شود. برای جلوگیری از کمانش تیرها و ستون‌ها، این اعضا در جهت خارج از صفحه مقید شده‌اند. برای بارگذاری به صورت مونوتونیک از قطعه صلبی که به صورت سراسری روی بال تیر بالایی قاب قرار می‌گیرد، استفاده شده است. این قطعه انتقال نیرو از دال را شبیه‌سازی خواهد کرد. به دلیل اینکه بارگذاری به صورت مونوتونیک در نظر گرفته شده است از سخت شدگی ایزوتروپیک استفاده شد.

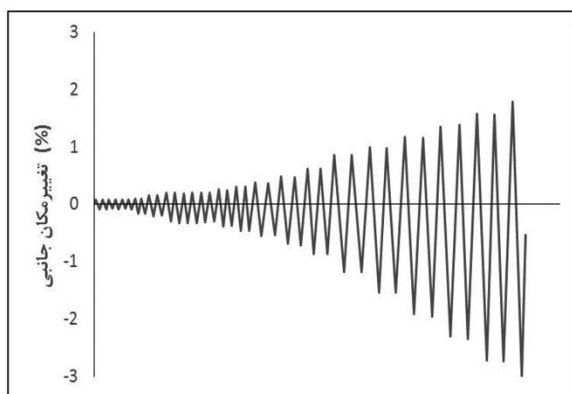
المان انتخابی برای مدل‌سازی صفحات در نرم‌افزار Abaqus المان S4R است. این المان یک المان خطی با چهار گره است که از روش انتگرال کاهش یافته برای حل انتگرال‌ها استفاده می‌کند این المان در هر گره دارای شش درجه آزادی تغییر مکان و دوران است. همچنین برای بقیه قطعات از المان C3D8R استفاده شد. این المان یک المان سه بعدی با هشت گره است که از روش انتگرال کاهش یافته برای حل انتگرال‌ها استفاده می‌کند. این المان در هر گره دارای سه درجه آزادی تغییر مکان در جهت محوره‌های X، Y و Z است. در نواحی اتصال که از اهمیت بیشتری برخوردار هستند مشابه با تحلیل‌های یو و همکاران در سال ۲۰۰۷ از المان با اندازه ۲۵ در ۲۵ میلی‌متر و در سایر نواحی از المان با اندازه بزرگ‌تر استفاده شده است [۱۸].

۳- اعتبارسنجی

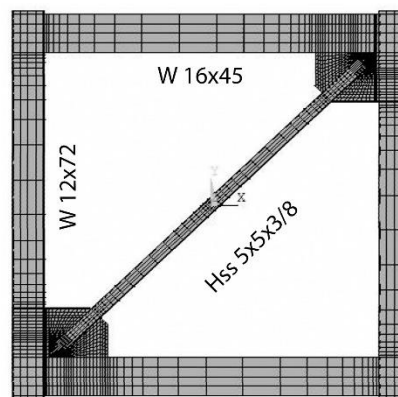
برای اطمینان از درستی شبیه‌سازی غیرارتجاعی رفتار نمونه‌ها، به کمک یک نمونه آزمایشگاهی، اعتبارسنجی انجام شد. این نمونه مربوط به تحقیقات یو و همکاران است که هم به صورت آزمایشگاهی و هم به صورت نرم‌افزاری بررسی شده است [۱۹].

این مدل شامل یک قاب یک طبقه یک دهانه به ارتفاع و عرض دهانه ۳/۶۶ متر است. برای ستون‌ها از مقطع W12x72 و برای تیرها از مقطع W16x45 استفاده شده است. برای مهاربند نیز مقطع HSS 5x5x3/8 به کار گرفته شده و فاصله آزاد خطی دو برابر ضخامت صفحه اتصال رعایت شده است. ضخامت صفحه اتصال مورد استفاده ۱۲/۸ میلی‌متر و ابعاد لبه‌های آن ۸۶۳/۶ و ۷۶۲/۰ میلی‌متر است. تیرها و ستون‌ها در راستای خارج از صفحه مقید شده‌اند.

فولاد تعریف شده برای تیر و ستون و صفحه اتصال متفاوت است. مقاومت تسلیم تیر ۴۱۰، ستون ۴۱۴ و صفحه اتصال ۸۲۱ مگاپاسکال و مقاومت نهایی آن‌ها نیز به ترتیب ۵۱۶، ۵۰۵ و ۸۷۶ مگاپاسکال می‌باشد. (شکل ۳) مشخصات نمونه آزمایشگاهی و چرخه بارگذاری اعمال شده را نشان می‌دهد.



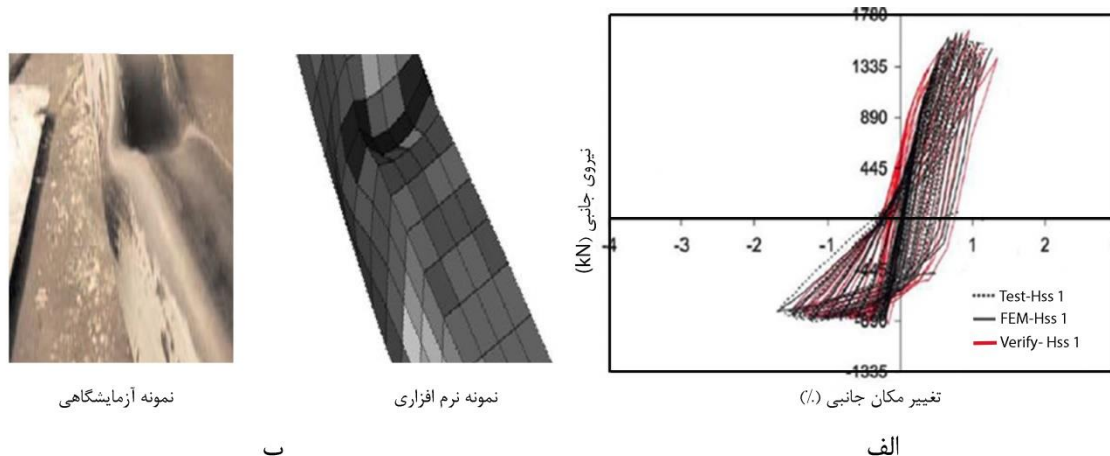
ب



الف

شکل ۳: الف) مشخصات نمونه آزمایشگاهی (ب) تاریخچه بارگذاری

(شکل ۴) مقایسه بین نمودار هیستریزیس نمونه‌های آزمایشگاهی و نرم‌افزاری یو و همکاران با نتایج حاصل از نرم افزار آباکوس را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمودار به دست آمده از نرم‌افزار آباکوس با اختلاف مناسبی رفتار مدل را پیش‌بینی کرده و قابل قبول است. هم‌چنین گسترش تنش و نحوه کمانش در میانه عضو مهاری با دقت بسیار بالایی پیش‌بینی شده است.



شکل ۴: الف) نمودارهای هیستریزیس (ب) کمانش میانه مهاربند

۴- کمانش خطی

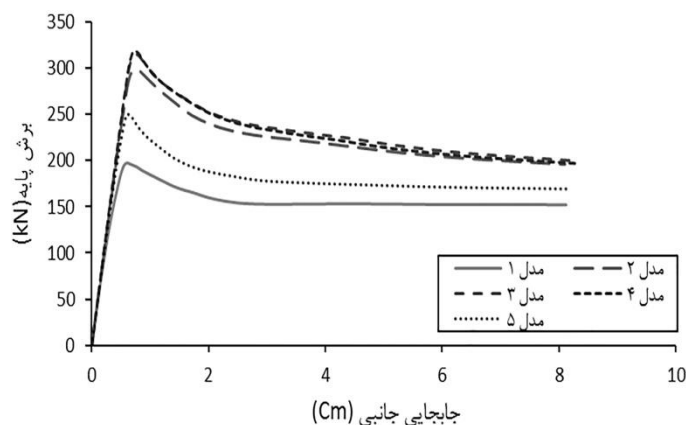
ابتدا نتایج مربوط به آنالیز کمانش خطی و ضریب طول مؤثر اعضا بررسی می‌شود و سپس نتایج آنالیز غیرخطی و رفتار پس‌کمانشی ارزیابی می‌گردد. در (جدول ۲) ضریب طول مؤثر به دست آمده برای ۵ مدل نمایش داده شده است. با افزایش طول مهاربند در مدل ۲ و هم‌چنین استفاده از سخت‌کننده در مدل ۳ و ۴، مقدار ویژه و به تبعیت از آن بار بحرانی افزایش یافته و منجر به کاهش ضریب طول مؤثر شده است. در مدل ۵ جایگزین کردن بخشی از مهاربند با سخت‌کننده بار بحرانی را کاهش و ضریب طول مؤثر را افزایش داده است. دلیل این افزایش و کاهش در مقدار ویژه را می‌توان به افزایش و کاهش سختی ارتباط داد. البته مقادیر جدول فوق فقط مربوط به کمانش خطی است و اثرات غیرخطی لحاظ نشده است.

جدول ۲: ضریب طول مؤثر مدل‌ها

مدل	مقدار ویژه	بار بحرانی (ton)	طول مهاربند (cm)	ضریب طول مؤثر
۱	۳۲۲/۱۳	۴۵/۹۷	۴۶۱/۸۹	۰/۹۳
۲	۶۷۱/۵۹	۹۵/۸۴	۵۲۶	۰/۵۷
۳	۸۰۶/۷۳	۱۱۶/۴۲	۵۲۶	۰/۵۱
۴	۸۴۲/۳۸	۱۲۱/۵۶	۵۲۶	۰/۵
۵	۵۸۶/۰۳	۸۴/۵۷	۴۶۶/۶۹	۰/۶۸

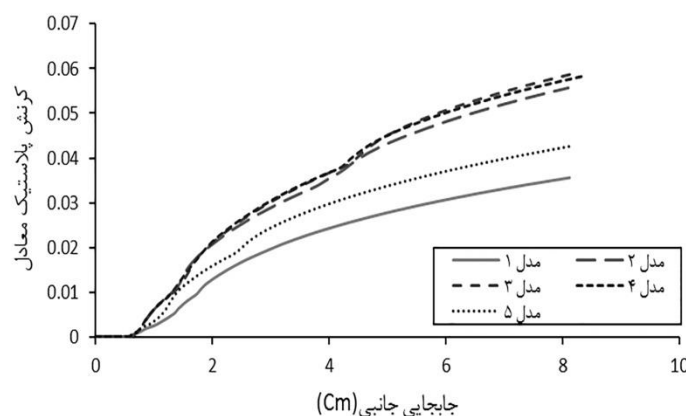
۵- کمانش غیرخطی

شروع این آنالیز نیازمند تعریف نقص اولیه در مهاربند می‌باشد. متداول‌ترین روش برای اعمال نقص اولیه وارد کردن تغییر مکانی معادل یک هزارم طول مهاربند در مرکز این عضو است. در این مقاله جهت اعمال نقص اولیه از مقادیر ویژه کمانشی و شکل مود به صورت شرایط اولیه برای آنالیز پس از کمانش استفاده شده که روش دقیق‌تری است، بدین صورت که درصدی از تغییر شکل بحرانی مهاربند در تمام طول عضو مهاربندی اعمال شده است [۲۰]. این تغییر شکل بحرانی از آنالیز کمانش که در قسمت قبل به آن اشاره شد، حاصل می‌شود. برای مشاهده و مقایسه ظرفیت باربری این پنج مدل نمودار برش پایه برحسب جابجایی جانبی آن‌ها رسم شده است. (شکل ۵) این نمودار را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مشخص است که در حالتی که مهاربند تا انتها امتداد یافته است سختی بیشتر منجر به تحمل نیروی به مراتب بزرگ‌تری می‌شود. استفاده از سخت‌کننده لبه‌ای در مدل سوم و سخت‌کننده در راستای خط آزاد خمش در مدل چهارم هم به ترتیب ۷ و ۱۰ درصد ظرفیت باربری را نسبت به مدل دوم افزایش داده است. در مدل پنجم مقاومت نسبت به مدل دوم ۱۷ درصد کاهش و نسبت به مدل اول ۲۵ درصد افزایش یافته است. شایان ذکر است که نرم‌افزار آباکوس ضعیف‌ها و شکست‌های احتمالی را در نظر نمی‌گیرد و ارزیابی این عوامل نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد.

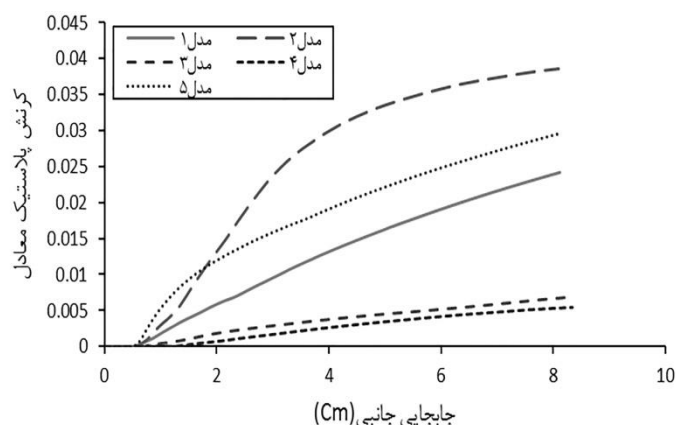


شکل ۵: نمودار برش پایه - جابجایی جانبی مدل‌ها

(شکل ۶) نمودار پوش ماکزیمم کرنش پلاستیک معادل بر حسب جابجایی جانبی در وسط مهاربند و (شکل ۷) نمودار پوش ماکزیمم کرنش پلاستیک صفحه اتصال برحسب جابجایی جانبی را نشان می‌دهد.

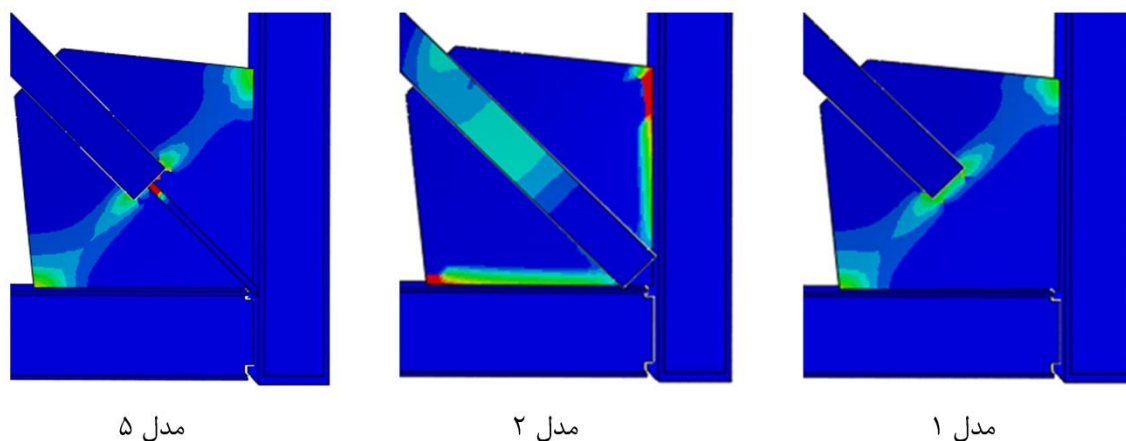


شکل ۶: نمودار کرنش پلاستیک معادل - جابجایی جانبی در وسط مهاربند



شکل ۷: نمودار کرنش پلاستیک معادل - جابجایی جانبی در صفحه اتصال

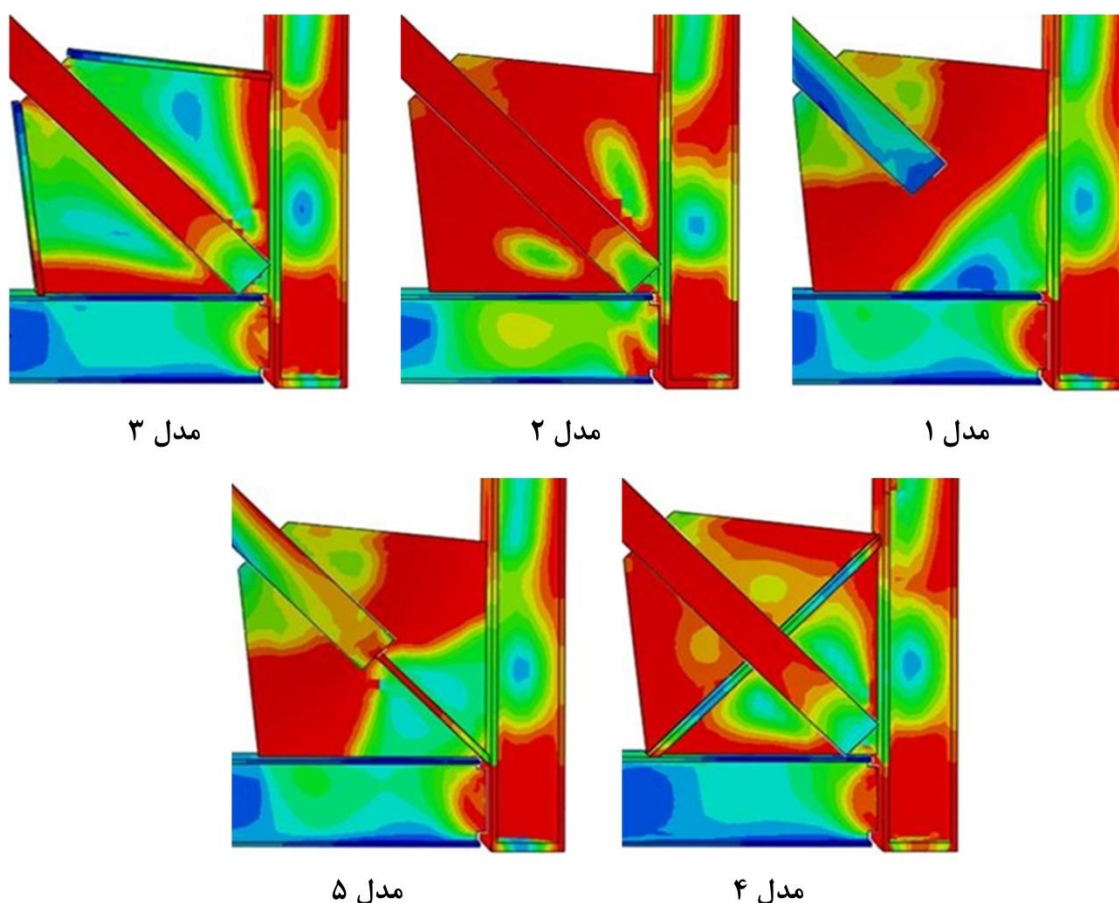
مشاهده می‌شود که در وسط مهاربند کمترین کرنش در مدل ۱ و بیشترین آن در مدل‌های ۳ و ۴ رخ داده است. در صفحه اتصال که حساس‌ترین ناحیه بوده و شامل خطوط جوش اتصال به تیر و ستون است، بیشترین کرنش پلاستیک معادل در مدل ۲ که مهاربند تا انتها امتداد یافته مشاهده می‌شود. همچنین آهنگ افزایش کرنش در این مدل بیشتر از سایر مدل‌ها بوده و این پارامتر خیلی زود به مرز 0.033 رسیده است. جایگزین کردن مهاربند با سخت‌کننده در مدل ۵ کمی شرایط را بهبود بخشیده و کرنش پلاستیک معادل بین مدل‌های ۱ و ۲ قرار گرفته است. استفاده از سخت‌کننده در لبه‌ها و در راستای خط آزاد خمش این پارامتر را به شدت تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش آن شده است. می‌توان گفت این دو نوع سخت‌کننده شکست را از صفحه اتصال و اتصال به میانه مهاربند منتقل می‌کنند. بررسی توزیع کرنش پلاستیک معادل در صفحه اتصال نشان می‌دهد که حداکثر کرنش در مدل ۱ در گوشه‌های ورق گاست و انتهای مهاربند رخ می‌دهد اما در مدل ۲ دقیقاً در طول دو خط جوش اتفاق می‌افتد و زوال زود هنگام اتصال در این حالت رخ می‌دهد. سخت‌کننده در راستای مهاربند در مدل ۵ توزیع کرنش را به مدل ۱ نزدیک کرده است. سخت‌کننده لبه‌ای مدل ۳ نحوه توزیع کرنش را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد و فقط مقدار آن را کاهش می‌دهد اما سخت‌کننده در راستای خط آزاد خمش مدل ۴ توزیع کرنشی، مشابه مدل ۱ دارد. (شکل ۸) نحوه توزیع کرنش پلاستیک معادل در مدل‌های ۱، ۲ و ۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۸: کانتورهای توزیع کرنش پلاستیک معادل در صفحه اتصال

در سالیان گذشته از مفهوم کرنش پلاستیک معادل به صورت‌های گوناگون برای پیش‌بینی شکست استفاده شده است. اخیراً یو و همکارانش با استفاده از معادله کلی ون میزس و اندازه‌گیری کرنش معادل پلاستیک در نمونه‌های آزمایشگاهی و مناطق بحرانی شکست، مقدار 0.271 را برای شروع شکست در وسط مهاربند و 0.33 را در قسمت اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون ارائه کرده‌اند. همچنین آن‌ها اندازه مش را مؤثرترین عامل روی کرنش پلاستیک معادل در مدل‌های نرم‌افزاری معرفی کردند که در این تحقیق از اندازه مش مشابه استفاده شده است. با استفاده از این معیار به صورت تقریبی و با فرض شرایط مشابه اقدام به مقایسه مدل‌ها شده است [۲۱].

بررسی تنش ون میزس در وسط مهاربند و صفحه اتصال نشان می‌دهد که مدل‌های ۳ و ۴ به نسبت سایر مدل‌ها دارای بیشترین تنش در وسط مهاربند و کمترین تنش در صفحه اتصال هستند. این امر انتقال شکست به میانه مهاربند در این مدل‌ها را تأیید می‌کند. (شکل ۹) توزیع تنش در ورق گاست را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که در مدل دوم، امتداد مهاربند تا انتها باعث کم‌شدن کلی ورق شده است که شکست ترد را می‌تواند در پی داشته باشد. استفاده از سخت‌کننده در راستای خط آزاد خمش در مدل ۴ کمی توزیع تنش را بهبود بخشیده است اما همچنان در لبه‌ها کم‌شدن وجود دارد. سخت‌کننده لبه‌ای به نحو مطلوبی توزیع تنش را تحت تأثیر قرار داده و حداکثر تنش فقط در طول خطوط جوش دیده می‌شود. سخت‌کننده در راستای مهاربند نیز توزیع تنش را به مدل ۱ نزدیک کرده است.



شکل ۹: کانتورهای توزیع تنش در صفحه اتصال

۸- نتیجه گیری

در این مقاله اثر فاصله آزاد انتهایی و همچنین استفاده از سخت‌کننده در صفحه اتصال با انجام آنالیز کم‌شدن خطی و غیرخطی ارزیابی شد. با بررسی و جمع‌بندی نتایج تحلیل نکات زیر قابل‌ارائه است:

- ویژگی‌های اتصال کناری می‌تواند ضریب طول مؤثر را تحت تأثیر قرار دهد. محل انقطاع مهاربند و نحوه قرارگیری سخت‌کننده‌ها از جمله این ویژگی‌ها هستند. مشاهده شد که امتداد بیشتر مهاربند و همچنین استفاده از سخت‌کننده‌ها، با افزایش سختی، ضریب طول مؤثر را کاهش می‌دهند.
- امتداد مهاربند تا انتها در بررسی‌های اولیه نشان از مقاومت و ظرفیت باربری بالا داد اما در ادامه، مشخص شد میزان کرنش پلاستیک معادل در طول خطوط جوش در این مدل بسیار زیاد بوده و زوال زود هنگام اتصال اجازه استفاده از ظرفیت بالا را نمی‌دهد. همچنین در صفحه اتصال، تنش به مقدار زیاد و در سطح وسیعی وارد شده و کمانش کلی در ورق رخ می‌دهد.
- رعایت فاصله آزاد خطی دو برابر ضخامت صفحه اتصال از خط آزاد خمش سبب استفاده بهینه از ظرفیت قاب و صفحه اتصال شده و شکل‌پذیری را افزایش می‌دهد.
- استفاده از سخت‌کننده لبه‌ای با ضخامت مناسب کرنش پلاستیک معادل در صفحه اتصال را به نحو مناسبی کاهش می‌دهد و نحوه توزیع تنش را بهبود می‌بخشد و از کمانش کلی ورق جلوگیری می‌کند.
- سخت‌کننده در راستای خط آزاد خمش علاوه بر کاهش کرنش پلاستیک معادل، نحوه توزیع کرنش را نیز بهبود می‌بخشد. این حالت بیشترین سختی را در میان همه مدل‌ها دارد و اجازه کمانش ورق را نمی‌دهد. این مدل و سخت‌کننده لبه‌ای تنش و کرنش را در ورق کاهش و در وسط مهاربند افزایش می‌دهند و به نوعی شکست را از ورق گاست به میانه مهاربند منتقل می‌کنند.
- سخت‌کننده در راستای مهاربند تقریباً شرایطی بینابین مدل‌های ۱ و ۲ ایجاد می‌کند. نسبت به مدل ۱ مقاومت را افزایش داده و نسبت به مدل ۲ کرنش پلاستیک معادل را کاهش می‌دهد و با توجه به شرایط می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

- [1] Azhari, M. and Mirghaderi, R. (2014). Limit states design of steel structures (LRFD). Vol. 5, 3th ed, Esfahan: Arkane Danesh.
- [2] Roghani, M. (2002). Linear and nonlinear analysis of moment frame and CBF systems in order to evaluate their performance. M.s, the University of Yazd.
- [3] AISC 360-10. (2010). Seismic provisions for structure steel building. American institute of steel construction, Chicago, IL, USA.
- [4] Whitmore, Richard E. (1952). Experimental Investigation of Stresses in Gusset Plates. Engineering Experiment Station, University of Tennessee, Knoxville.
- [5] Thornton, William A. (1984). Bracing Connections for Heavy Construction. Engineering Journal, AISC 21(3): 139-48.
- [6] Bjorhovde, R. and Chakrabarti, S. K. (1985). Tests of full-size Gusset plate connections. Journal of Structural Engineering, American society of civil engineers, 111(3): 667-683.
- [7] Bjorhovde, R. (1988). Limit states design considerations for Gusset plates. Journal of Constructed Steel Research, 9: 61-73.
- [8] Astaneh-Asl, A., Goel, S. C. and Hanson, R. D. (1985). Cyclic out-of-Plane Buckling of Double-Angle Bracing. Journal of structural Engineering, 111(5): 1135-53.
- [9] Astaneh-Asl, A., Goel, S. C. and Hanson, R. D. (1986). Earthquake-Resistant Design of Double-Angle Bracings. Engineering Journal, 23(4).
- [10] Lehman, D. and Roeder, C. (2008). Improved seismic design of concentrically braced frames and gusset plate connections. ASCE, Structures Congress, pp. 1-10.
- [11] Lehman, D. E., Roeder, C., Herman, D., Johnson, S. and Kotulka, B. (2007). Improved seismic performance of Gusset plate connections. ASCE, Journal of Structural Engineering, Reston, VA.
- [12] Wijesundara, K. K, Rassathi, G. A., Nascimbene, R. and Bolognini, D. (2010). Seismic performance of brace-beam-column connections in concentrically braced frames. ASCE, Structures Congress, pp. 930-942.
- [13] Chen, S. J. and Chang C. C. (2012). Experimental Study of Low Yield Point Steel Gusset Plate Connections. Thin-Walled Structures, 57: 62-69.
- [14] Sheng, N., Yam, C. H. and Lu, V. P. (2002). Analytical Investigation and the Design of the Compressive Strength of Steel Gusset Plate Connections. Journal of Constructional Steel Research, 58(11): 1473-93.
- [15] Simulia, D S. (2013). Dassault Systems, Providence, RI ABAQUS 6.13 User's Manual. Dassault Systems, Providence, RI.
- [16] Eurocode 3: Design of Steel Structure – Part 1-1: General Rules and Rules for Building. EN 1993-1-1 (2005).

- [17] Alipour, M. and Aghakouchak, A. (2013). Numerical analysis of the nonlinear performance of concentrically braced frames under cyclic loading. *International Journal of Steel Structures*, 13(3): 401-419.
- [18] Yoo, J. H., Lehman, D. E. Roeder, C. W. (2007). Influence of Connection Design Parameters on the Seismic Performance of Braced Frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(6): 607-623.
- [19] Yoo, J. H., Roeder, C. W. and Lehman, D. E. (2008). Analytical performance simulation of special concentrically braced frames. *Journal of Structural Engineering*, pp. 881-889.
- [20] Shahbazi, R. Yekrangnia, M. (2014). *Abaqus applied manual with examples for civil engineering*, 2th ed, Tehran: Elme Omran.
- [21] Alipour, M. and Aghakouchak, A. A. (2013). The effect brace end clearance on ductility of concentrically braced frame. *Amirkabir Journal of Science and Research, Civil and environmental engineering*, 45(1): 1-12