

نویسندگان گرامی:

جناب آقای/سرکار خانم: دکتر محمود میری، دکتر منصور قلعه نوی، محسن راشکی  
بدین وسیله گواهی می شود مقاله شما با کد و ۱۰۱۵۴ با عنوان:

«اثر اتصالات بر رفتار ستیزش قاب های خمشی کوتاه با اتصالات دوگانه»

در اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت ها که در تاریخ ۵ و ۶ آبان ۱۳۸۸ در محل دانشکده فنی دانشگاه تهران برگزار شد، توسط کمیته ی علمی کنفرانس مورد پذیرش واقع شده و ضمن درج در مجموعه مقالات، به صورت پوستری در کنفرانس ارائه شده است.

از درگاه یزدان پاک توفیق روز افزون جنابعالی را در عرصه ی علم و عمل مسألت می نمایم.

دکتر مسعود تابش

مدیر قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت ها - دانشگاه تهران

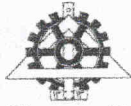
و رئیس کنفرانس

**THE FIRST NATIONAL CONFERENCE  
ON ENGINEERING AND MANAGEMENT OF INFRASTRUCTURES**

WWW.NCEMI.IR

CERTIFICATE

مجری: شرکت آری گروه بین المللی راهبران



## اثر اتصالات بر رفتار هیستریزیس قاب های خمشی کوتاه با اتصالات دوگانه

دکتر محمود میری، استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان

MMIRI@HAMOON.USB.AC.IR

دکتر منصور قلعه نوی، "محسن راشکی

"RASHKI.MOHSEN@GMIL.COM. GHALEHNOVI@YAHOO.COM"

### چکیده

در این مقاله، اثر اتصالات در قاب های خمشی کوتاه برای حالت های مختلف اتصال: صلب، نیمه صلب و اتصالات توام صلب و نیمه صلب (دوگانه)، به وسیله مقایسه رفتار هیستریزیس این قاب ها مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، رفتار لرزه ای قاب های سه طبقه به نمایندگی از قاب های کوتاه با اتصالات مختلف برای رکورد ثبت شده از زمین لرزه مخرب نورتریج، تحت آنالیز دینامیکی غیر خطی قرار گرفته و اثر اتصالات موجود در قاب از طریق مشاهده رفتار هیستریزیس هر طبقه و متعاقبا رفتار کل قاب، مورد ارزیابی قرار گرفته است. بررسی نتایج نشان میدهد استفاده از اتصالات نیمه صلب به دلیل رفتار غیرخطی، توانایی استهلاک انرژی و افزودن شکل پذیری مناسب به قاب، عملکرد سازه را به لحاظ استهلاک انرژی و کاهش نیروهای تحمیل شده به سازه بهبود بخشیده و قابهای با اتصالات دوگانه عملکرد مناسب تری نسبت به قاب های با اتصالات صلب در زمین لرزه ها به همراه خواهند داشت.

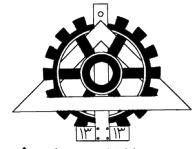
### کلمات کلیدی

قاب خمشی، اتصالات دوگانه، رفتار هیستریزیس، زمین لرزه



قطب علمی مهندسی و  
مدیریت زیرساختها

مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساختها  
دانشکده فنی دانشگاه تهران - آبان ماه ۱۳۸۸



پردیس دانشکده های فنی  
دانشکده مهندسی عمران

## اثر اتصالات بر رفتار هیستریزیس قاب های خمشی کوتاه با اتصالات دوگانه

دکتر محمود میری، استادیار گروه عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان  
MMIRI@HAMOON.USB.AC.IR

دکتر منصور قلعه نوی، استادیار گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد  
GHALEHNOVI@UM.AC.IR

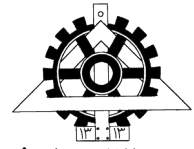
محسن راشکی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان  
RASHKI.MOHSEN@GMAIL.COM

### چکیده

در این مقاله، اثر اتصالات در قاب های خمشی کوتاه برای حالت های مختلف اتصال: صلب، نیمه صلب و اتصالات توام صلب و نیمه صلب (دوگانه)، به وسیله مقایسه رفتار هیستریزیس این قاب ها مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور، رفتار لرزه ای قاب های سه طبقه به نمایندگی از قاب های کوتاه با اتصالات مختلف برای رکورد ثبت شده از زمین لرزه مخرب نورتریج، تحت آنالیز دینامیکی غیر خطی قرار گرفته و اثر اتصالات موجود در قاب از طریق مشاهده رفتار هیستریزیس هر طبقه و متعاقبا رفتار کل قاب، مورد ارزیابی قرار گرفته است. بررسی نتایج نشان میدهد استفاده از اتصالات نیمه صلب به دلیل رفتار غیرخطی، توانایی استهلاک انرژی و افزودن شکل پذیری مناسب به قاب، عملکرد سازه را به لحاظ استهلاک انرژی و کاهش نیروهای تحمیل شده به سازه بهبود بخشیده و قابهای با اتصالات دوگانه عملکرد مناسب تری نسبت به قاب های با اتصالات صلب در زمین لرزه ها به همراه خواهند داشت.

### کلمات کلیدی

قاب خمشی، اتصالات دوگانه، رفتار هیستریزیس، زمین لرزه



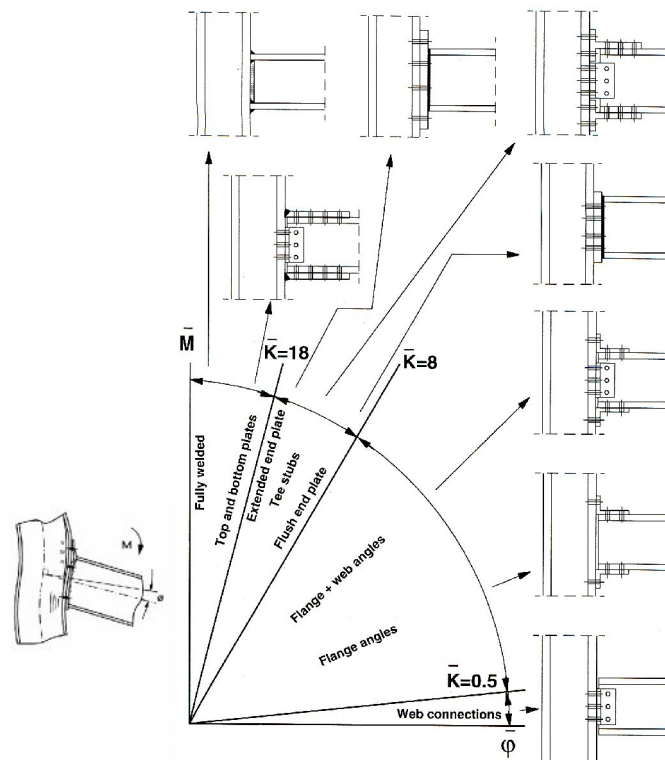
## مقدمه

برای اینکه یک سازه بتواند بارهای جانبی را با ضریب اطمینان کافی تحمل نماید باید دو عامل سختی کافی و شکل پذیری مناسب را دارا باشد. هم اکنون استفاده از سیستم قاب خمشی به دلیل سادگی اجرا و نیز شکل پذیری مناسب به عنوان سیستم متداول لرزه ای به شکل گسترده ای در مناطق لرزه خیز مورد استفاده قرار میگیرد که یکی از مهمترین و موثرترین اجزای سازه در این سیستم، اتصالات میباشند که به لحاظ تامین شکل پذیری و سختی، رفتار سازه را به ویژگی های آن اتصالات وابسته میسازند. با پیشرفت دانش مهندسی در چند دهه اخیر، و نیز بررسی آسیب پذیری سیستم ها قاب خمشی جوشی در زمین لرزه های گذشته، مطالعه و بررسی روی اتصالات مناسب و جایگزین، پژوهشگران را به سمت مطالعه روی رفتار اتصالات نیمه صلب پیچ و مهره سوق داده است.

بسته به میزان دوران تیر و ظرفیت اتصال، آیین نامه ها سه نوع کلی اتصال برای این سازه ها معرفی شده اند، اتصال صلب که درصد گیرداری آن بیش از ۹۰٪ میباشد، اتصال مفصل که درصد گیرداری آن کمتر از ۲۰٪ و اتصال نیمه صلب که درصد گیرداری آن بین ۲۰٪ الی ۹۰٪ اتصال گیردار است. (۱، ۲، ۳). یکی دیگر از مشخصات اتصال و کنترل کننده رفتار و متعاقباً پدیده مکانیسم در قاب، مقاومت اتصال می باشد. عموماً با کنترل لنگر تسلیم در اتصال برای هر قابی، می توان پیش بینی نمود در زمان وقوع زمین لرزه های شدید، نخست اتصال جاری شود و تیر در محدوده الاستیک باقی بماند، که این ویژگی خود می تواند یکی از معیارهای پیش بینی رفتار سازه باشد. [۱]

## ۱.۱. انواع اتصالات نیمه صلب و ویژگی های آنها

شکل زیر رفتار نسبی لنگر- دوران را برای اتصالات نیمه صلب معمول نشان می دهد. آزمایشات نشان داده است که این اتصالات رفتار غیر خطی برای لنگر- دوران از خود نشان می دهند و در محدوده میان اتصال کاملاً صلب و نیمه صلب واقع می شوند به گونه ای که نبشی نشیمن تک "Single web-angle" تقریباً رفتار مشابه اتصال ساده و اتصال T-Stub، رفتار مشابه اتصال صلب خواهد داشت. این اتصالات به دلیل توانایی کنترل ظرفیت لنگر و نیز ظرفیت چرخش پلاستیک بالا، میتوانند به شکل غیر الاستیک تغییر شکل داده و از انتقال لنگر اضافی تیر به ستون ها ممانعت کنند. این عامل سبب میشود لنگر در تیر به شکل مناسب تری توزیع گردد و نهایتاً تیر در قاب با اتصالات نیمه صلب متوجه لنگر کوچکتری نسبت به اتصالات صلب گردد. اما از طرف دیگر، استفاده از این اتصالات مشکلاتی را نیز به همراه دارد، اتصالات نیمه صلب به دلیل فراهم ساختن آزادی بیشتر برای قاب ها، جابجایی بیشتری را در سازه نیمه صلب نسبت صلب به همراه خواهد داشت.



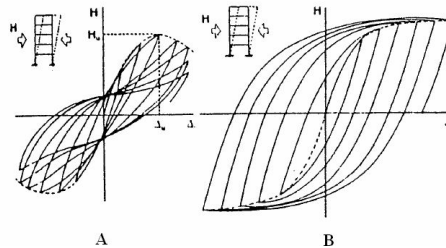
شکل ۱. محدوده تقسیم بندی اتصالات نیمه صلب متناسب با نحوه اجرای اتصالات [۲]

برخی محققان معتقدند به وسیله استفاده ترکیبی از اتصالات صلب و نیمه در یک قاب (قاب با اتصالات دوگانه) میتوان علاوه بر استفاده از مزایای اتصال نیمه صلب، جابجایی این قاب ها را کنترل کرد که در تحقیق حاضر نیز مورد توجه قرار گرفته است. [۲]

## ۲.۱. منحنی هیستریزس قاب

منحنی بار - تغییر شکل قاب تحت اثر بار رفت و برگشتی منحنی هیستریزس نامیده می شود. این منحنی بیانگر رفتار غیرالاستیک یک سیستم می باشد و به طور قابل توجهی توسط مصالح بکار رفته و نوع سیستم سازه ای متأثر می شود و میتواند اطلاعات مهمی در مورد ویژگی های دینامیکی سازه، انرژی پذیری و نحوه رفتار سازه حین اعمال نیرو به سازه، در اختیار بگذارد.

شکل زیر رابطه بار - تغییر مکان را برای دو قاب مختلف نشان می دهد. شکل A یک چرخه ناپایدار (منحنی رفتار چرخه ای کاهنده) و کمی استعداد مقاومت سازه در برابر زلزله را نشان می دهد. بطوریکه ملاحظه می گردد بعد از اینکه تغییر مکان از مقدار متناظر با مقاومت ماکزیمم اضافه تر گردید، مقاومت سیستم زائل شده و چرخه های هیستریزس به شکل له شده درآمده و در نتیجه سختی و مقاومت بر اثر تکرار بارگذاری تنزل پیدا کرده است. برعکس، این روند سازه در رفتاری مطابق شکل B به گونه دیگری عمل می کند عمل می کند که بسیار مطلوب است. این شکل یک چرخه پایدار (منحنی رفتار چرخه ای ثابت) و استعداد خوب رفتار لرزه ای را نشان می دهد که بیانگر شکل پذیری زیاد، ظرفیت بالای اتلاف انرژی و چرخه های پایدار، بدون تنزل مقاومت و سختی است.

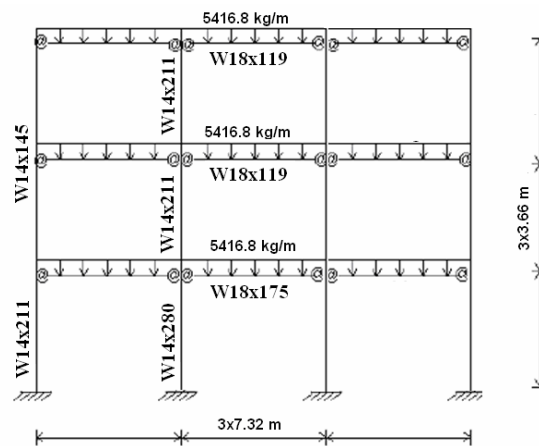


شکل ۲. رفتار هیستریزیس مختلف قاب ها

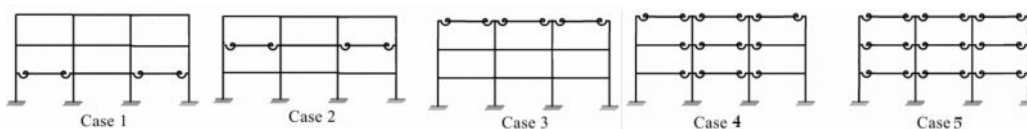
بطوریکه ملاحظه می گردد منحنی های چرخه های یکی از بهترین معیار آگاهی از رفتار غیر خطی رفت و برگشتی سازه های است که عملاً حین وقوع زلزله رخ می دهد. [۴]

### ۳.۱. مشخصات قاب های مورد مطالعه

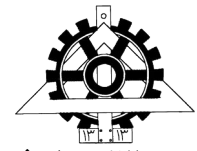
مطابق شکل ۳، ابعاد قاب سه طبقه سه دهانه، طول دهانه و عرض بارگیر ۷،۳۲ متر بوده و ارتفاع طبقات ۳،۶۶ متر انتخاب شده است. برای اتصالات نیز دو درصد گیرداری ۰،۵ و ۰،۷ و مقاومت ممان پلاستیکی نظیر ۰،۸ و ۱،۲ مقاومت تیر در نظر گرفته شده است. تیر ها و ستون ها به ترتیب از فولاد با حد تسلیم ۲۵۰۰ و ۳۴۵۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بوده و ضریب استهلاک قابها ۵ درصد در نظر گرفته شده است. پاسخ ۴ قاب با اتصالات دوگانه صلب - نیمه صلب به همراه قابهای با اتصالات کاملاً صلب و کاملاً نیمه صلب برای زلزله NORTH RIDGE بوسیله آنالیز دینامیکی غیر خطی مورد تحلیل قرار گرفته اند و نتایج حاصله از تحلیل قاب ها با حالت صلب مقایسه شده است.



شکل ۳. مشخصات بارگذاری و مقاطع



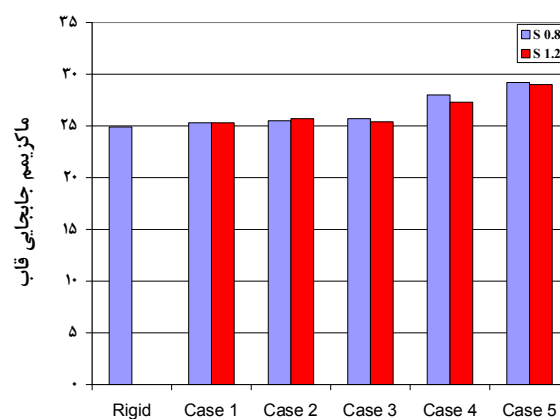
شکل ۴. نمونه قاب های مورد مطالعه



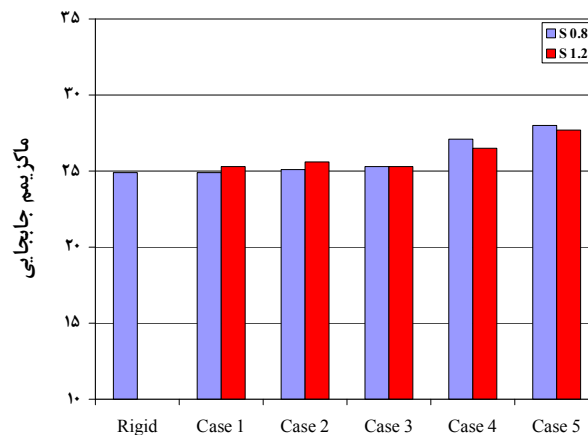
#### ۴.۱. نتایج آنالیز قاب ها

نتایج حاصله از آنالیز قاب ها در نمودارهای ۱ تا ۴ آورده شده است. امکان مقایسه ماکزیمم جابجایی و نمودار ۳ و ۴ ماکزیمم برش پایه قاب ها را برای قاب های با سختی خمشی برابر ۰,۵ و مقاومت های خمشی متفاوت را فراهم میسازد (۰,۸). بیانگر مقاومت خمشی ۰,۸ و ۱,۲ S بیانگر مقاومت خمشی ۱,۲ هر قاب میباشد).

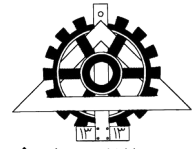
نمودار ۱. مقایسه ماکزیمم جابجایی قاب صلب و قاب های نیمه صلب با سختی خمشی ۰,۵



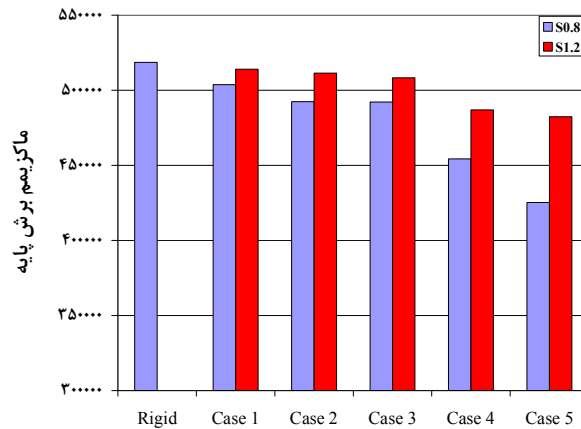
نمودار ۲. مقایسه ماکزیمم جابجایی قاب صلب و قاب های نیمه صلب با سختی خمشی ۰,۷



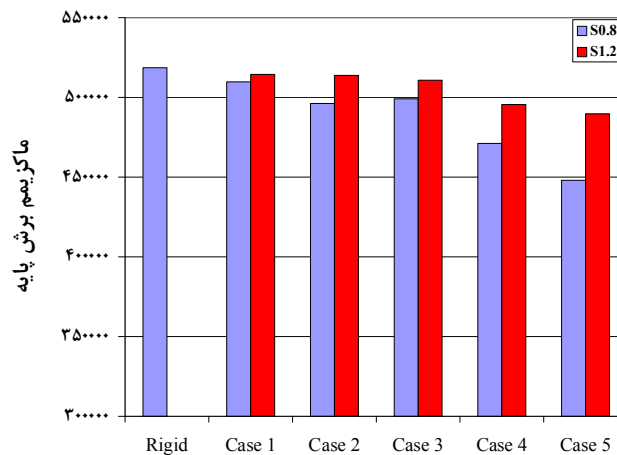
از مقایسه ماکزیمم جابجایی قابها مشاهده میشود مطابق انتظار با افزایش میزان استفاده از اتصالات نیمه صلب جابجایی قاب ها نیز افزایش مییابد که البته میتوان گفت میزان این افزایش جابجایی برای قاب های با مقاومت خمشی ۰,۸ بیشتر بوده و به ۴ سانتیمتر برای قاب های کاملا نیمه صلب رسیده و قاب های با اتصالات دوگانه جابجایی تقریبا مشابه قاب صلب داشته اند.



نمودار ۳. مقایسه ماکزیمم برش پایه قاب صلب و قاب های نیمه صلب با سختی خمشی ۰,۵



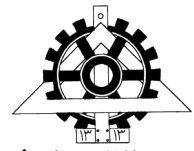
نمودار ۴. مقایسه ماکزیمم برش پایه قاب صلب و قاب های نیمه صلب با سختی خمشی ۰,۷



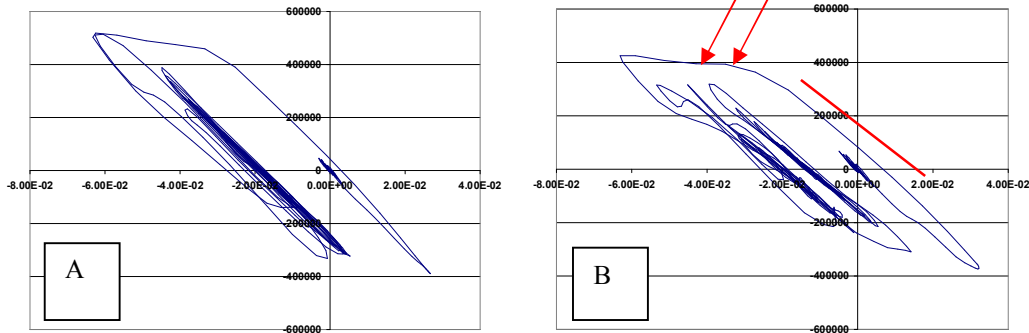
مقایسه میان نتایج برش پایه قاب ها نشان میدهد که همه قاب های با اتصالات نیمه صلب برش پایه کمتری نسبت به اتصالات صلب داشته اند که این فاکتور برای قاب شماره ۵ (کاملا نیمه صلب) با سختی خمشی ۰,۵ و مقاومت خمشی ۰,۸ بیشترین کاهش را داشته و بیش از ۵۰ تن کاهش برش پایه را به همراه داشته است. در این نمودار نشان داده شده است که قاب شماره ۲ در حالت  $S=0,8$ ، با وجود آنکه تعداد اتصالات نیمه صلب آن با قاب شماره ۱ برابر و از قاب ۳ کمتر است، با جابجایی محل اتصالات نیمه صلب، به نسبت برش پایه کمتری را برای قاب به همراه داشته است.

منحنی های زیر امکان مقایسه میان منحنی های هیستریزیس قاب صلب و قاب نیمه صلب با سختی خمشی ۰,۵ و مقاومت خمشی ۰,۸ را برای قاب شماره ۵ در زمین لرزه نورتریج نشان میدهد در نمودار های زیر، B بیانگر قاب نیمه صلب با مشخصات ذکر شده و A رفتار قاب های صلب را نمایش میدهد. این منحنی ها از میان رفتار های مختلف قابها و برای نشان دادن اهمیت بررسی رفتار هیستریزیس قاب ها انتخاب شده اند.

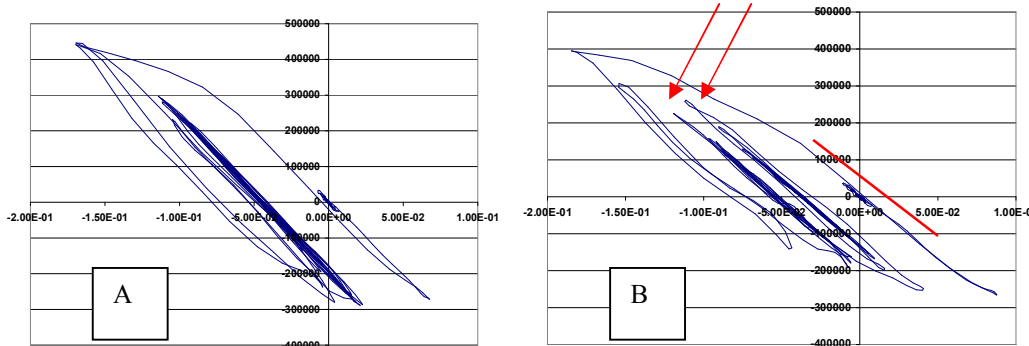




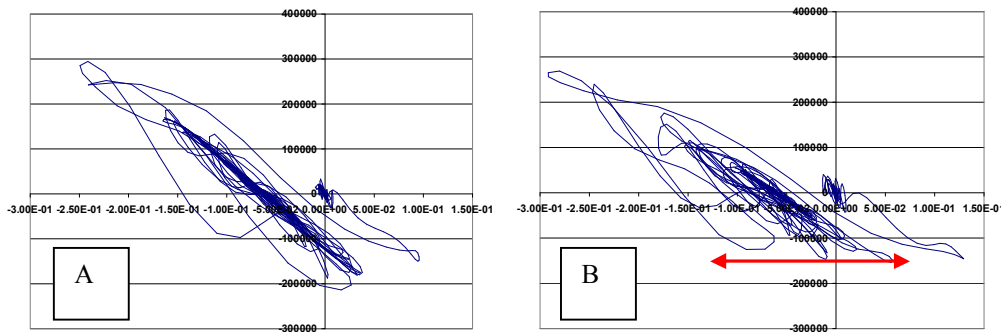
منحنی ۱. منحنی هیستریزیس طبقه دوم



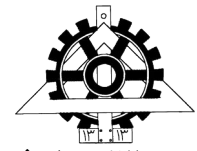
منحنی ۲. منحنی هیستریزیس طبقه اول



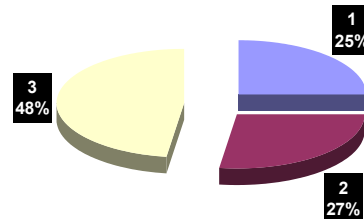
منحنی ۳. منحنی هیستریزیس کل قاب



در مقایسه منحنی های هیستریزیس دو قاب چنانکه نشان داده شده است مشاهده میشود قاب نیمه صلب شماره ۵ تحت نیروی برش بسیار کمتری نسبت به قاب صلب وارد ناحیه پلاستیک شده و این امر رفتار سازه را طی چرخه های بعد تحت تاثیر قرار داده به شکلی که قاب طی مدت این لرزه حالت های خمیری بسیار متفاوتی را نسبت به قاب صلب تجربه کرده است. این حالت در منحنی نهایی کل قاب نیز قابل مشاهده است و ناپایداری نسبی قاب را میتوان برای این حالت از صلبیت در قاب کاملا نیمه صلب ۵ بیان داشت. با بررسی منحنی هیستریزیس سایر قاب ها مشاهده شد این اتفاق برای قاب شماره ۴ با ویژگی اتصال مشابه ( سختی خمشی ۰.۵ و مقاومت خمشی ۰.۸ ) نیز رخ داده است، لیکن سایر قاب ها رفتار مناسبی از خود نشان داده اند. نمودار ۵ تقسیم بندی کار انجام شده برای قاب نیمه صلب شماره ۵ مذکور را در زمین لرزه نورتریج نشان میدهد. چنانکه اتصالات طبقه اول ۲۷٪، اتصالات طبقه ۲ و ۳، ۴۸٪ و نهایتا تیر و ستون مجموعا ۲۵٪ در کار الاستو-پلاستیک کل برای این قاب نقش داشته اند. این در حالی است که در حالت صلب تمام کار الاستو-پلاستیک انجام شده توسط تیر و ستون انجام گرفته است.



نمودار ۵. تقسیم بندی کار انجام شده برای قاب نیمه صلب



### نتیجه گیری

نتایج نشان میدهد به لحاظ کاهش نیروی برش پایه اتصالات نیمه صلب نقش بسیار موثری در عملکرد قاب داشته اند و افزایش جابجایی ایجاد شده برای قاب های با این اتصالات در مقایسه با نقش آنان در کاهش برش پایه چندان زیاد نیست.

– سختی چرخشی و مقاومت اتصال هرکدام نقش زیادی در رفتار قاب های خمشی در زمان وقوع لرزه های شدید دارا هستند و عملکرد سازه را تحت تاثیر ویژگی های اتصال قرار میدهند.

– استفاده ناصحیح این اتصالات به منظور کاهش برش پایه سازه میتواند عملکرد سازه را به مخاطره بیندازد که این امر با مشاهده رفتار هیستریزیس قاب به راحتی قابل تشخیص است. آیین نامه ها استفاده از اتصال نیمه صلب با مقاومت خمشی کمتر از مقاومت اتصال (که در مقاله حاضر با  $S_{0.8}$  مقاومت مورد بررسی قرار گرفت) را توصیه نمیکنند، که یکی از دلایل آن بروز رفتار های پیش بینی نشده از سازه است که در این مقاله نیز مورد توجه قرار گرفت.

– ترکیب صحیح اتصالات صلب و نیمه صلب میتواند به شکل مناسبی عملکرد سازه را بهبود بخشد و معایب کاربرد اتصالات صلب به تنهایی در سازه را بهبود ببخشد.

### مراجع

- [۱] European Committee for Standardization, "European Prestandard," Eurocode ۳: Design of steel structures," Eurocode ۳, ۲۰۰۲.
- [۲] Theodor Krauthammer, ۲۰۰۷, "Modern Protective Structures," Department of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology
- [۳] Mazzolani and V.Piluso, "Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames", Edmundsbury Press, ۱۹۹۶.
- [۴] W Chen and N.Kishi, (۱۹۹۰), "Moment-Relation of Semi-Rigid Connections With Angles," Journal of Structural Engineering, Vol ۱۱۶