

# ارزیابی مکانیکی یک اتصال نیمه صلب فولادی جدید

سیدحسین حسینی لواسانی<sup>۱\*</sup>، عرفان یونسی<sup>۲</sup>

۱- استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، عمران سازه، دانشگاه آزاد، واحد رودهن

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱۱/۲۰]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۲/۳۰]

lavasani@khu.ac.ir

**چکیده:** امروزه اتصالات نیم صلب نقش ارزنده‌ای در سازه‌های فولادی بر عهده دارند. یکی از عواملی که نشان دهنده میزان صلب در اتصالات دارد منحنی لنگر- چرخش است. از این رو می‌توان در محاسبات اجزاء محدود برای به دست آوردن نمودارهای منحنی لنگر- چرخش که اثر غیرخطی در پاسخ اتصالات را نشان می‌دهد پارامترهای مختلف روی رفتار اتصالات ارزیابی شده است. در این مطالعه خواص مکانیکی و رفتاری یک اتصال نیمه صلب جدید بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با تغییراتی از قبیل تغییر در تعداد پیچ‌ها یا کاهش لاغری ورق‌های بالایی و پایینی قابلیت پوشش رده‌های مختلف مقاومتی را در این اتصال جدید دارد. همچنین این اتصال توانایی جذب انرژی و تحمل تغییرشکل‌های زیاد در مقایسه با سایر اتصالات نیمه صلب هم رده‌ی مقاومتی را دارد.

**واژگان کلیدی:** اتصال نیمه صلب، روش المان محدود، انعطاف پذیری اتصال، مقاومت اتصال، شکل‌پذیری اتصال

## ۱- مقدمه

در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در مهندسی زلزله، دیده می‌شود که ظرفیت خمشی تنها معیار برای اتصالات سازه‌ای نیست. بلکه اتصالات باید دارای ظرفیت‌های (اتلاف) انرژی داشته باشند تا در برابر نیروهای زلزله و در یک حالت شکل‌پذیر مقاومت کنند. به لحاظ اینکه طراحی لرزه‌ای اتصالات نیمه‌صلب با توجه به ویژگی‌های ذاتی آن به عنوان راه حلی مناسب توصیه شده و از آنجایی که طراحی اتصال نیمه صلب باید مطابق با رفتار واقعی آنها انجام گیرد. پس در این مقاله بررسی رفتار لرزه‌ای یک اتصال نیمه صلب جدید مدل بررسی شده است. در این خصوص Wilson و More در سال ۱۹۱۷ تحقیقات انعطاف پذیری پرچی را بررسی کردند [۱]. در سال ۱۹۴۳ Batho و Rowen روشی را که امروز تحت عنوان Beamline نامیده می‌شود برای آنالیز

قاب‌های شامل اتصالات نیمه‌گیردار معرفی کردند [۲]. Livsely و Weaver، ۱۹۶۴، Gere و Lightfoot، ۱۹۶۵ و Lemessurier ۱۹۷۴ روش آنالیز رفتار خطی اتصالات نیمه صلب را ارائه کردند [۳]. در سال ۱۹۷۰ Romstad و Subraminar روشی برای آنالیز قاب‌های نیمه‌گیردار با استفاده از مدل دو خطی از رفتار اتصالات توسعه دادند [۴]. Gerestle و Moncarz در سال ۱۹۸۱ انعطاف پذیری غیر خطی اتصالات تحت تاریخچه بارگذاری متغییر را بیان کردند [۵]. در سال ۱۹۸۶ Lui و Chen یک تکنیک تکراری افزایش بار برای تعیین منحنی بار تغییر شکل قاب با اتصالات نیمه‌گیردار را معرفی کردند [۶]. Kim و Chen در سال ۱۹۹۸ طراحی کاربردی از اتصالات نیمه صلب با نبشی را ارائه دادند [۷]. O, Malley و Dhillon در سال ۱۹۹۹ روش کامپیوتری و آنالیز ماتریسی را بررسی کردند [۸].

## ۲- مدل سازی و آنالیز

به منظور بررسی رفتار اتصال خمشی پیشنهادی در این کار، اتصالات نیمه صلب جدید شبیه سازی شده و ویژگی های رفتاری آن ها تحت بارگذاری چرخه ای بررسی شده است. در تمامی مدل ها از تیر با مقطع IPE200 به طول ۱۲۰ سانتی متر و ستون با مقطع IPB300 به طول ۲۰۰ سانتی متر استفاده شده است. تمام ابعاد به دست آمده برای اجزا اتصال منطبق بر اصول طراحی سازه است. نمونه های ساخته شده اتصال پیشنهادی، از اتصال ۴ عدد صفحه افقی به همراه دو عدد صفحه قائم تشکیل شده است (شکل ۱). صفحات افقی بالایی و پایینی با سازوکار مشابه اتصال صلب با ورق روسری-زیرسری یک کوپل نیروی فشاری و کششی را از صفحه عمودی متصل به تیر به صفحه عمودی متصل به ستون منتقل می کنند. طراحی صفحات افقی بالایی و پایینی بر اساس کنترل کشش و فشار است. طول این صفحات باید به گونه ای انتخاب شود که این ورق در صفحه خود دچار کمناش قبل از تسلیم نشود. ابعاد صفحات قائم نیز مانند اتصال با صفحات انتهایی بر اساس کنترل برش و همچنین انتقال نیروی اهرمی انجام می شود.

اولین اتصال ساخته شده به صورت ۴ پیچی است (اتصال n1). به منظور بررسی ویژگی های رفتاری این اتصال دو نمونه اتصال دیگر نیز ساخته شده است. در اتصال n2 به جای استفاده از صفحات بالا و پایینی با ضخامت ۱۵ میلی متری از صفحات با ضخامت ۸ میلی متری استفاده شد. در اتصال n3 علاوه بر این کاهش ضخامت از صفحات انتهایی دو پیچی (پیچ های داخلی) استفاده شده است.

شکل ۱- مدل اتصال نیم صلب جدید که به صورت مقارن نیمی از آن در مدل سازی بکار گرفته شده است.

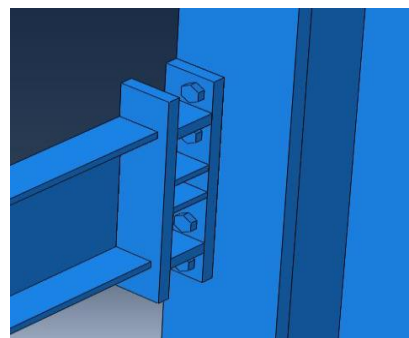


Fig. 1. the novel semi connection.

## ۳- چگونگی مدل سازی

در مدل سازی با نرم افزار اجزاء محدود (آباکوس) سعی شده است اندرکنش بین اجزا تا حد امکان منطبق بر واقعیت باشد. اتصالات پیچی به صورت دقیق مدل شده و اندرکنش بین سطح پیچ و سوراخ به صورت اصطکاکی سخت با ضریب اصطکاک ۰/۳ با امکان جداشوندگی بعد از باربرداری مدل شده است. همچنین جوش های گوشه به صورت یک منشور با مقطع مثلثی مدل شده است. درجایی که از جوش شیاری استفاده شده است، با توجه به اینکه مقاومت این نوع جوشکاری مانند فلز مادر است، دو قطعه اتصال به یکدیگر چسبانده شده اند. برای مش بندی المان ها از المان C3D8R استفاده شده است.

### ۳-۱- مشخصات مصالح بکار گرفته شده

#### ۳-۱-۱- فولاد

در حال حاضر، مدل های تنش کرنش فولاد معمولاً به صورت دو خط مستقیم و یا فرم های چندخطی تعریف شده است. این مدل ها، با این حال، نمی تواند شرایط بارگذاری چرخه ای را به درستی نشان دهند. در این کار از مدل ارائه شده به وسیله Chaboche [۹] که به صورت یک مدل ترکیبی از سخت شدگی همسان<sup>۱</sup> و سینماتیک<sup>۲</sup> استفاده می شود. این مدل در Abaqus به عنوان یک مدل ساختاری پلاستیسیته در قالب یک مدل سخت شونده همسان و سینماتیک غیرخطی تعریف شده است. پارامترهای مدل ساختاری گفته شده را می توان با برازش داده های حاصل از تست آزمایشگاهی به دست آورد. با توجه به عدم انجام آزمایش در این کار از مقادیر عددی ارائه شده در مرجع [۹] که برای فولاد Q345B به دست آمده است، استفاده می شود (جدول ۱). همچنین مدول یانگ<sup>۳</sup> و نسبت پواسون<sup>۴</sup> برای همه اجزای فولادی به ترتیب به مقدار ۲۰۶ گیگاپاسکال و ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

1 Isotropic  
2 Kinematic  
3 Young's Modulus  
4 Poisson Ratio

جدول ۱- پارامترهای مدل Chaboche مربوط به فولاد

$\gamma_4$	$C_4$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$	$C_3$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$	$C_2$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$	$C_1$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$b$	$Q_\infty$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma  _0$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
29	14500	34	28540	116	67730	175	79930	1.2	210	3633

Table1: the parameters of Steel Chaboche model

این مدل سازی تنها مربوط به جوش های گوشه مدل شده است و در جایی که از جوش شیاری استفاده شده باشد، اتصال دو فلز به صورت پیوسته در نظر گرفته شده و جوش شیاری به صورت مجزا مدل نمی شود.

### ۳-۲-۱- پروتکل بارگذاری

نیرو مطابق پروتکل بارگذاری ارائه شده به وسیله ی ATC-SAC [11] که در حقیقت جایگزین زلزله های واقعی است به نمونه ها اعمال شده است (شکل ۳). این پروتکل مربوط به زلزله های دور از گسل است. این نیرو از طریق جابه جایی در انتهای تیر اعمال می شود که از ضرب پروتکل بارگذاری (جدول ۴) در مقدار طول تیر (۱۲۰ سانتی متر) به دست می آید.

شکل ۳- پروتکل بارگذاری SAC

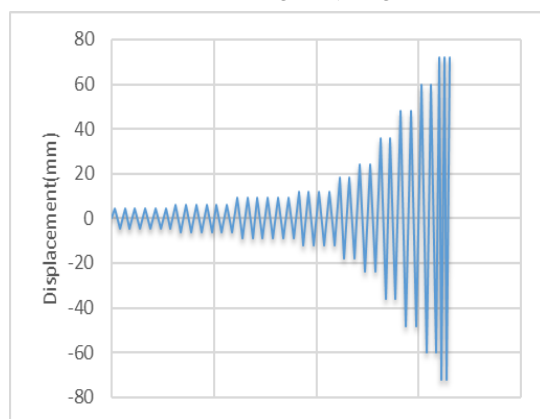


Fig. 3. loading protocol of SAC

جدول ۴- پروتکل بارگذاری SAC

cycle	rotation (rad)	NO
1	0.00375	6
2	0.005	6
3	0.0075	6
4	0.01	4
5	0.015	2
6	0.02	2
7	0.03	2

Table. 3. loading protocol of SAC

### ۳-۱-۲. مدل سازی پیچ پر مقاومت

به منظور مدل سازی رفتار پیچ های پر مقاومت A10.9 از منحنی تنش کرنش الاستوپلاستیک چندخطی مطابق با (شکل ۲) استفاده شده است. ضریب پواسون این پیچ ها برابر با ۰/۳ بوده و از مدل سخت شدگی سینماتیک برای بیان رفتار سخت شوندگی استفاده شده است.

شکل ۲- مدل رفتاری پیچ پر مقاومت

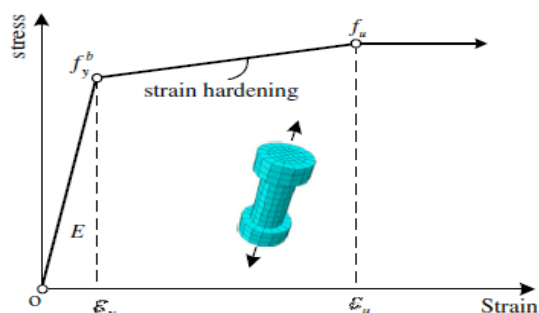


Fig. 2: Constitutive model of high strength bolts

جدول ۲- مقادیر عددی مشخصات مصالح پیچ پر مقاومت

$E_s$ (Mpa)	$F_y$ (Mpa)	$F_u$ (Mpa)	$\epsilon_u$
206000	990	1160	0.138

Table 2. The numerical values of material properties High strength bolts

### ۳-۱-۳- مدل سازی جوش اتصال جدید

چون در بعضی از مدل ها از اتصالات جوشی استفاده شده، باید ویژگی های چرخه ای فلز جوش در نرم افزار وارد شود. برای این منظور از مدل Lemaitre-Chaboche استفاده شده است. پارامترهای این مدل با توجه به آزمایش های انجام شده در مرجع [10] مطابق با (جدول ۳) به نرم افزار معرفی شده است.

جدول ۳- پارامترهای مدل چرخه ای جوش

$\sigma  _0$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$C_1$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$	$Q_\infty$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$b$
5720	1450	8	154	5

Table 3. cyclic parameters of welding material

ظرفیت تحمل لنگر آن‌ها کمتر از ظرفیت تحمل تیر متصل به آن است [13].

شکل ۴- منحنی لنگر چرخش اتصال نیمه صلب پیشنهادی (n1)

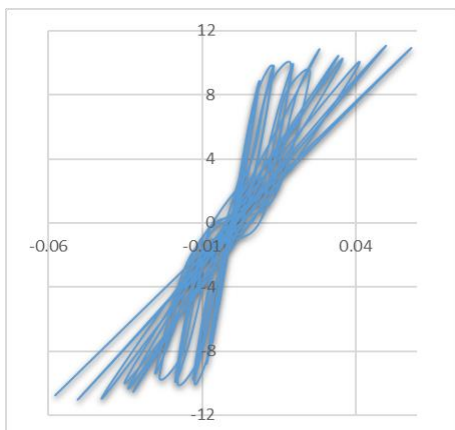


Fig. 4: Moment-rotation curve of semi-rigid connections of (n1)

شکل ۵- منحنی لنگر چرخش اتصال نیمه صلب پیشنهادی (n2)

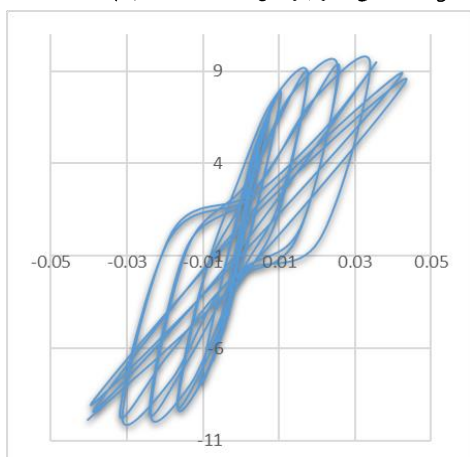


Fig. 5: Moment-rotation curve of semi-rigid connections of (n2)

شکل ۶- منحنی لنگر چرخش اتصال نیمه صلب پیشنهادی (n3)

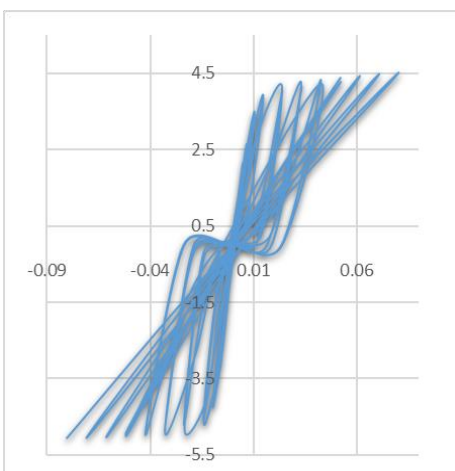


Fig. 6: Moment-rotation curve of semi-rigid connections of (n3)

## ۴- مقایسه اتصالات نیمه صلب

### ۴-۱- انعطاف‌پذیری اتصال

از آن جایی که صلیبیت اتصال را به وسیله‌ی شیب مماس بر منحنی  $M-\theta$  می‌توان به دست آورد. ضریب صلیبیت سکانت در بارهای سرویس،  $K_{serv}$ ، معیار مناسبی برای سنجش تغییر مکان‌ها و حرکت جانبی قاب‌ها است و مقدار آن را می‌توان بر اساس زاویه دورانی معادل  $0.0025$  رادیان تعیین کرد. منحنی لنگر-چرخش اتصالات مدل‌شده در شکل‌های زیر آورده شده است. در هر حال میزان صلیبیت اتصال هنگامی معنی‌دار است که با میزان صلیبیت اعضای متصل شده به آن مقایسه شود. طبق آیین‌نامه فولاد آمریکا [12]، اتصالی در یک قاب با حرکت جانبی هنگامی به‌عنوان اتصال صلب در نظر گرفته می‌شود که کمیت بدون بعد  $\alpha = K_{serv}L/EI$  برای آن بزرگ‌تر از ۲۰ باشد. این طبقه‌بندی برای مقادیر مختلف  $\alpha$  به‌صورت زیر است:

۱- اتصال تمام صلب است اگر  $\alpha > 20$

۲- اتصال نیمه صلب (مهار نسبی) است اگر  $2 \leq \alpha \leq 20$

۳- یک اتصال ساده است اگر  $\alpha < 2$

بر این اساس و در نظر گرفتن یک دهانه ۵ متری برای تیر، مقادیر  $\alpha$  متناظر با هر اتصال محاسبه شده و در (جدول ۵) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، همچنین اتصال پیشنهادی n1 دارای بیشترین درصد صلیبیت در میان اتصالات نیمه صلب است. کاهش تعداد پیچ‌های اتصال اثر کاهنده‌ی بیشتری در مقدار صلیبیت اتصال دارد، به گونه‌ای که با نصف کردن ضخامت ورق‌های فوقانی و تحتانی میزان صلیبیت تنها ۹٪ کاهش داشته، اما با نصف کردن تعداد پیچ‌ها میزان صلیبیت حدود ۶۴٪ کاهش داشته است. همچنین اتصال n3 دارای کمترین میزان صلیبیت است و مقدار صلیبیت آن در رده اتصال پیچی نبشی نشیمن با نبشی جان است.

### ۴-۲- مقاومت اتصال

اصولاً اتصالات با مقاومت کامل شامل اتصالاتی است که ظرفیت تحمل لنگر آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی ظرفیت تحمل لنگر (لنگر پلاستیک) تیر متصل به آن است و همچنین اتصالات با مقاومت جزئی (ناقص) نیز اتصالاتی هستند که

جدول ۵- نتایج عددی نمونه‌های حل شده

connection	Mu/Mp	( $\alpha$ )	Rotation(rad)	Strength( t.m)	Kind of conn.
n1	1.36	14.64	0.058	11	Semi connection
n2	1.22	13.01	0.044	9.9	Semi connection
n3	0.56	4.38	0.081	4.5	Semi connection

Table5: Numerical result of case studies.

مقاومت بالا و توانایی تحمل تغییرشکل‌های دورانی در حدود ۰/۰۴ رادیان بدون کاهش مقاومت، می‌تواند در قاب‌های خمشی ویژه به کار گرفته شود. از نکات برجسته اتصال ساخته شده با توجه به شکل می‌توان به توانایی جذب انرژی و تحمل تغییرشکل‌های زیاد در هر سه اتصال n3 و n2, n1 در مقایسه با سایر اتصالات نیمه صلب مقاومتی اشاره کرد، به گونه‌ای که تنها اتصال نیمه صلب با سپری بالایی و پایینی (اتصال g) قابلیت تحمل چنین تغییر شکل‌هایی را از خود نشان داده است.

شکل ۷- پوش منحنی لنگر- چرخش نمونه‌ها تحت بارگذاری چرخه ای

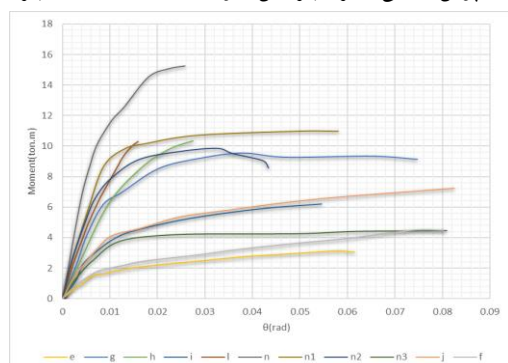


Fig. 7. Envelope of moment-rotation curve samples under cyclic loading

#### ۴-۴- ظرفیت تحمل بار

ظرفیت تحمل بار نمونه‌ها تحت بارگذاری مونوتونیک در (شکل ۸) آورده شده است. در این بارگذاری، تمام نمونه‌ها تحت جابه‌جایی ۱۵ سانتی‌متری در انتهای خود به صورت استاتیکی قرار گرفته‌اند. این نمودارها دارای همخوانی بسیاری با نتایج آزمایش چرخه‌ای است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین نیروی قابل تحمل مربوط به اتصالات n1 و n2 است. این دو اتصال هم‌چنین در ناحیه خطی نیز بیشترین باربری را دارند. باربری اتصالات n1 و n2 و n3 نسبت به

میزان مقاومت اتصالات مدل‌شده برحسب نسبت لنگر نهایی به لنگر پلاستیک تیر (Mu/Mp) مدل‌های نیمه صلب ساخته شده در (جدول ۵) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در میان اتصالات رایج نیمه صلب بیشترین مقاومت مربوط به اتصال صفحه انتهایی است.

در میان اتصالات نیمه صلب پیشنهادی در این مطالعه، اتصال n1 دارای بیشترین مقاومت است. درحالی که کاهش لاغری ورق اتصال بالایی (از طریق کاهش ضخامت) به میزان ۵۰٪، تنها باعث کاهش ۱۱٪ مقاومت نهایی شده است، در صورتی که علاوه بر این کاهش لاغری به جای استفاده از چهار عدد پیچ، از دو پیچ در صفحه انتهایی استفاده شود میزان مقاومت نهایی (اتصال n3) نسبت به اتصال n1 به میزان ۶۰٪ کاهش می‌یابد و اتصال از یک اتصال پر مقاومت به یک اتصال با مقاومت نسبی تبدیل می‌شود. به نظر می‌رسد سازوکار استفاده شده در این اتصال قابلیت پوشش تمام رده‌های مقاومت را دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود می‌توان با تغییراتی از قبیل کاهش تعداد پیچ‌ها یا کاهش لاغری ورق‌های بالایی و پایینی مقدار مقاومت نهایی اتصال را تغییر داد.

#### ۴-۳- شکل‌پذیری اتصال

یک اتصال خمشی در قاب خمشی متوسط توانایی تحمل تغییرشکل‌های دورانی در محدوده غیر ارتجاعی، حداقل به میزان ۰/۰۲ رادیان را بدون کاهش قابل توجه در مقاومت خود را دارد. این مقدار برای اتصالات خمشی در قاب خمشی ویژه برابر با ۰/۰۴ رادیان است.

در (شکل ۷) پوش نمودار لنگر-دوران اتصالات نیمه صلب آورده شده است. در این شکل این سه نمونه با سایر اتصالات نیم صلب رایج مقایسه شده‌اند. اتصال n1 و n2 با توجه به

[2] Xu Lei.(1994). "Optimal Design of Steel Frameworks with Semi-Rigid Connections."Phd Thesis, University of Waterloo,Canada..

[3] Chen,W.F.& Lui,E.M.(1991) "Stability Design of Steel Frames", CRC Press, 380 P.

[4] Xu Lei.(1994). "Optimal Design of Steel Frameworks with Semi-Rigid Connections."Phd Thesis, University of Waterloo,Canada.

[5] Seminary, Ahmad Reza (1377) "Structural analysis of steel with regard to the actual connection", M.S. thesis, Structural Engineering, Department of Civil Engineering Technical University of Mazandaran (in Persian).

[6] W.F. Chen and E.M Lui (1991) "Stability Design of Steel Frames."

[7] Kim, Y.& Chen, W.F. (1998) "Practical Analysis for Partially Restrained Framed Design" , Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 124, No.7,pp. 736-749

[8] Dhillon, B. S. & O'Malley, W. (1999)"Interactive Design of Semirigid Steel Frames" , Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 125,No.5,pp.556-564.

[9] Chaboche JL., (1989), "Constitutive equations for cyclic plasticity and cyclic viscoplasticity", Int.J.Plast, 5(3):247-302

[10] Chi WM,Kanvinde A,Deirelin G.,(2006), Prediction of Ductile Fracture in Welding C onnection using the SMCS Criterion, J.Struct.Eng,132(2), p171-181.

[11] Krawinkler H, Gupta A, Medina R, Luco N, (200), "Loading histories for Seismic Performance Testing of SMRF Components and Assemblies. SAC Joint Venture, Report no.SAC/BD-00/10.Richmond (CA)

[12] American Institute of Steel Construction (AISC) (2005). Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, IL, American Institute of Steel Construction (AISC), Inc.

[13] Ste Fano, M.D., Antonell, D.L., (1992), "Mechanical Models for Semi rigid Connections." In Constrtional Steel Design, Ed., P.J., Dowling, J.E., Hardening, E.Martinez-Romero, Elsevier Applied Science Publishers, London. Pp.276-279

اتصال صلب n به ترتیب برابر با ۸۶، ۸۰ و ۴۳٪ است. کاهش قابل توجه ظرفیت باربری در اتصال n3 ناشی از به کارگیری ۲ پیچ به جای ۴ پیچ است، درحالی که کاهش ضخامت ورق های افقی تأثیر چندانی بر ظرفیت نهایی اتصال نداشته است.

شکل ۸- منحنی بار- تغییر مکان نمونه ها تحت بارگذاری مونوتونیک

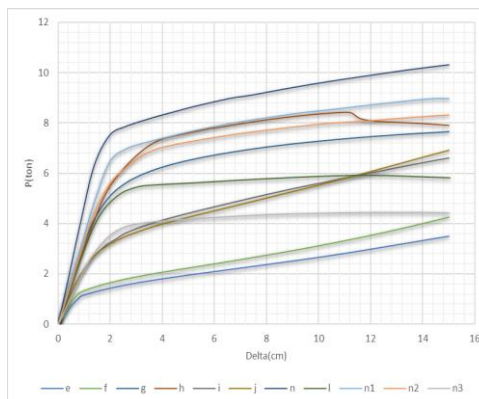


Fig. 8. Envelope of load-displacement curve samples under cyclic loading

## ۵- نتیجه گیری

در این پژوهش جزئیات جدیدی از یک اتصال نیمه صلب ارائه شد و با مدل سازی اجزا محدود ویژگی های رفتاری آن با سایر اتصالات نیمه صلب رایج مقایسه شد. اتصال پیشنهادی با توجه به ضوابط آیین نامه ای در زمره ی اتصالات نیمه صلب قرار گرفت. با توجه به شباهت عملکرد اتصال پیشنهادی به اتصال با ورق انتهایی، مشاهده شد که مهم ترین عامل تأثیرگذار بر ویژگی های رفتاری اتصال پیشنهادی، اتصال پیچی صفحه انتهایی به ستون است. نتایج تحلیل حاکی از شکل پذیری مناسب این اتصال و قابلیت جذب انرژی بالای آن است. همچنین با ایجاد تغییراتی در این اتصال می توان با حفظ شکل پذیر بودن آن، مقدار صلبیت و مقاومت نهایی آن را بسته به شرایط تغییر داد.

## References

## ۶- مراجع

[1] philosophical, K. (1376) "semi-rigid behavior of welded joints in steel structures", M.S. thesis, Structural Engineering, Department of Civil Engineering University of Guilan (in Persian).

# Mechanical Evaluation of a Novel Semi-rigid Steel Connection

H.H.Lavasani<sup>1\*</sup> Erfan Younesi<sup>2</sup>

1. Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran

2. M.S. Student, Dept. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University Roudehen Branch

lavasani@khu.ac.ir

## Abstract:

With regard to the increase of computing power in the past decade, finite element methods have been used to obtain the graphs of rotational moment curves which reflect non-linear effect in connections response. Using finite element methods, the effect of different parameters on connections behavior can be investigated. In this study, several common semi-rigid connections are modeled and their behavioral properties are briefly reviewed. Providing the details related to a new semi-fixed connection, its behavioral properties including hardness, ultimate capacity and ductility are investigated and compared with other modeled connections.

To perform non-linear analyses of connection, the finite element software of Abaqus is used in this study. The main concern in this modeling is to have inter-component interactions with the most consistency with real specifications. Bolted connections and the exact interaction between the bolt surface and the hole are modeled as a hard friction, with friction coefficient of 0.3 with the ability of separating after loading. Also, fillet welds are modeled as a prism with triangular section. Where a groove weld is applied, two connection parts are stuck together, because the strength in this type of welding is like base metal. To mesh the element, C3D8R element is used. The behavior of high strength bolts A10.9, is modeled with the poly-line elasto-plastic stress-strain curve. The force is applied to samples according to the loading protocol presented by ATC-SAC, which in fact expresses real earthquakes.

The proposed connection n1 has the most rigidity values among studied semi-rigid connections. Reducing the number of connection bolts decreases the connection rigidity value. With the half thickness for upper and lower plates, rigidity rate is reduced only 9%; Where half of the considered bolts are used, rigidity rate is reduced by 64%. Connection n3 has the lowest rigidity rate and its rigidity value is in the class of bolted connection in the seat angle to web angle.

In high strength connections, the connection strength is highly related to girder strength, where the plastic joint is formed in girder. Connections with low strength will have the plastic joint in connection. Thus, they are not applicable in flexural resisting frames. Four modes of rigid connection with high strength, semi-rigid connection with high strength, rigid connection with low strength and semi-rigid connection with low strength can be used in flexural resisting structures.

Connection ductility is a key parameter for semi-rigid connections in which deformations are concentrated in connection members.

Results show that the mechanisms discussed for the connections of this research have the ability of covering different classes of strength with the changes such as reducing the number of bolts or reducing the thickness of upper and lower plates. Also this connection has the ability to absorb energy.

**Keywords:** Semi-rigid connections, finite element method, flexible connecting, bonding strength, ductility of connection.