



# بررسی رفتار استاتیکی و لرزه‌ای وصله ستون پیشنهادی آیین‌نامه ایران

نازلی اسعدی<sup>۱</sup>، یوسف حسین زاده<sup>۲</sup>  
(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۲۵، تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۰۶)

## چکیده

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. بنابراین درک صحیح از رفتار اتصال برای طراحی ایمن و اقتصادی آن ضروری است. در این مقاله رفتار استاتیکی و لرزه‌ای وصله پیشنهادی آیین‌نامه ایران بررسی و با رفتار وصله‌های متعارف مقایسه می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود رفتار استاتیکی و چرخه‌ای سه نوع وصله اتکایی، پوششی با ورق پرکننده و پوششی با تبدیل مقطع مورد بررسی قرار گرفته و مکانیزم خرابی، پایداری و نحوه گسیختگی اتصالات بررسی می‌شود. نتایج تحقیق نشان می‌دهد وصله ستون پیشنهادی مبحث دهم، بیشترین تمرکز تنش را در قسمت ورق‌های تبدیل داشته و مقاومت کمتری نسبت به ستون وصله شده با ورق پرکننده و ورق پوششی دارد. مکانیزم خرابی غالب در ستون‌های مورد بررسی، کمانش موضعی در قسمت ورق‌های تبدیل و یا سایر قسمت‌های ستون می‌باشد.

## کلمات کلیدی

ستون فولادی، وصله ستون، مدل اجزاء محدود، کمانش موضعی، ظرفیت محوری ستون

## Investigation of Static and Seismic Behavior of Recommended Column Splice of Iran Code

N. Asadi, Y. Hosseinzadeh

### ABSTRACT

The performance of connections has a significant importance in a steel structure. Designing and executing of connections without adequate accuracy can cause failure not only on the connection but even on the connection members. As a result this may have destructive effects on the whole structure. So an accurate perception of connection behavior is necessary for a safe and economical design. In this paper, static and seismic behavior of recommended splice Iran National Code is examined and contrast with behavior common splices. With finite element software, static and seismic behavior three types of splices including bearing, covering with filler plate and covering with section transfer and the collapse performance, the way of connection fracture, cyclic and static resistance of connected column are considered in this paper. The results of investigation show that recommended column splice mentioned in the 10th, has the most Focus stress of transfer part and low resistance than spliced column with filler plate and covering plate. The collapse performance of examined columns is of local buckling in transfer plate or other part of columns.

### KEYWORDS

Steel column, Column splice, Finite element model, Local buckling, Axial capacity of column

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه تبریز، n.asadi89@ms.tabrizu.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir



وصله‌ها به دو صورت وصله‌های تماسی و وصله‌های غیر تماسی بکار برده می‌شوند [۳]. در وصله‌های تماسی، مقاطع در تماس باید به خوبی گونیا و سنگ زده شوند تا تماس کافی بین دو مقطع برقرار شود. در این نوع وصله‌ها نیروها به صورت مستقیم از طریق تماس فیزیکی منتقل می‌شوند. هنگامی که مقطع ستون‌ها به وسیله سنگ‌زنی آماده نشده و علاوه بر نیروی محوری، لنگر نیز وجود داشته باشد و همچنین پیوستگی مورد نیاز است، این وصله‌ها نمی‌توانند بکار روند. در وصله‌های غیر تماسی نیازی به آماده‌سازی مقاطع نمی‌باشد. در این نوع وصله‌ها نیروها از طریق ورق‌ها، پیچ و جوش منتقل می‌شوند [۳].

### ۳- معرفی سازه‌های مدل سازی شده و مصالح مورد استفاده در نمونه‌های تحلیلی

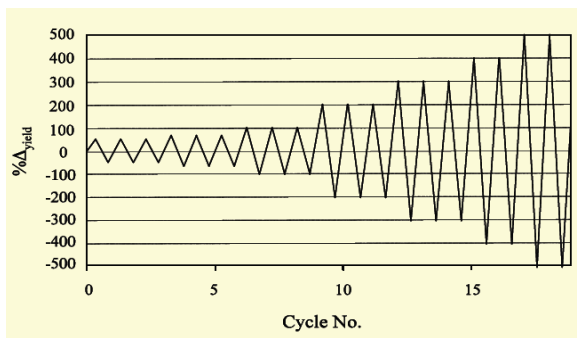
ستون‌های مدل سازی شده دارای مقاطع  $2 \times 40 \times 40$  و  $2 \times 35 \times 35$  سانتی‌متر و به طول ۳ متر می‌باشند که بوسیله وصله به یکدیگر متصل می‌شوند. تکیه‌گاه‌ها در قسمت پایینی ستون بصورت مفصلی ثابت و در قسمت بالا مفصلی غلتکی می‌باشند. در ستون‌های وصله شده بوسیله صفحات انتهایی و ورق پوششی و فیلر، طول مقطع بزرگ ۱۲۰ سانتی‌متر و طول مقطع کوچکتر ۱۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. در ستون‌های وصله شده بوسیله تبدیل مقطع، طول مقطع بزرگ ۶۰ سانتی‌متر و طول مقطع کوچک با دو قطعه جدا از هم به ترتیب ۴۵ و ۱۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. ورق‌های وصله به وسیله جوش به ستون‌ها متصل شده‌اند. شکل (۱) بصورت شماتیک مدل سازه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به عدم وجود آزمایش، برای درستی مدل سازی و انتخاب تکیه‌گاه‌های مناسب، ستون تحلیل کمانشی شده و بار کمانشی با ۱/۶۱٪ اختلاف با بار حاصل از رابطه تئوری بار اولر بدست آمده است. و تاییدی بر مدل اجزاء محدود می‌باشد. در معرفی خواص مصالح بکار رفته در این مدل سازی، تمام قطعات به جز پیچ‌ها و نوار جوش از نوع مصالح فولادی می‌باشند. با توجه به ویژگی‌های مسئله، بایستی سه مجموعه برای مشخصات مصالح فولادی، پیچ و جوش به نرم‌افزار معرفی گردد.

فلسفه طراحی سازه‌ها بر این اصل استوار است که تیرها و ستون‌ها به نحو مناسبی به یکدیگر متصل شوند تا بتوانند با عمل یکپارچه خود در مقابل نیروهای وارده، شرایط مقاومت، بهره‌برداری و ظرفیت را تامین کنند. اتصالات وظیفه انتقال نیرو از یک عضو سازه به عضو دیگر را انجام می‌دهند. در طراحی یک اتصال سازه فولادی علاوه بر حصول اطمینان از نحوه صحیح انتقال نیرو، به اجرا و امکانات ساخت آن باید توجه نمود. این موضوع در مورد سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اتصالات ستون‌ها به یکدیگر به کمک وصله‌ها صورت می‌پذیرد که به شکل‌های مختلفی قابل اجرا می‌باشند. در وصله ستون‌های با ابعاد مقطع متفاوت، باید اختلاف ابعاد دو ستون را با گذاردن ورق پرکننده در بر ستون فوقانی پر نمود اما مبحث دهم مقررات ملی ایران [۱] توصیه می‌کند به جای استفاده از ورق‌های پرکننده، ابتدا مقطع بزرگتر با شیب ۱:۶ به مقطع کوچکتر تبدیل شده و سپس اتصال با ورق پوششی برقرار می‌گردد. در این مقاله، نخست سه نوع وصله ستون طراحی شده و در نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS مدل سازی شده است.

### ۲- تعریف وصله ستون

انتقال نیروها از یک عضو سازه به عضو دیگر آن بوسیله اتصالات یا وصله‌ها صورت می‌گیرد. در اجرای سازه‌های فولادی شرایطی پیش می‌آید که ناگزیر از وصله ستون‌ها به یکدیگر هستیم. مثلاً اغلب ستون‌های طبقات بالاتر سازه تحت اثر نیروی داخلی کمتر نسبت به ستون‌های طبقات پایین می‌باشند و می‌توان مقاطع آن‌ها را از نیمرخ‌های سبکتر و کوچکتری انتخاب نمود، بنابراین اجرای وصله ضروری می‌باشد. استفاده از وصله به صورت خلاصه می‌تواند به دلایل محدود بودن طول استاندارد نیمرخ‌های فولادی به ۱۲ متر، تغییر مقطع نیمرخ به علت تغییر نیروهای طراحی در طبقات مختلف و مشکلات حمل و نقل اعضای فولادی با طول بلند باشد [۲]. به طور کلی





شکل (۲): نمودار بارگذاری Curree به صورت جابجایی در مقابل زمان ATC-24 [۶]

#### ۴- طراحی وصله

هر سه نوع وصله مطابق آیین‌نامه ایران طرح و سپس قطعات، در نرم‌افزار ABAQUS مدل سازی شد. برای بررسی بیشتر با ثابت نگه داشتن مقطع پایینی و تغییر ابعاد مقطع بالایی، هر دو نوع وصله با دو لاغری دیگر (به ابعاد  $۳۲ \times ۳۲ \times ۲$  و  $۳۷ \times ۳۷ \times ۲$ ) نیز طراحی و مدل سازی شده است. بر روی سازه‌های مدل سازی شده تحلیل لرزه‌ای و تحلیل ریکس انجام شده است. از ذکر جزئیات طراحی وصله‌ها خودداری نموده و ابعاد نهایی وصله‌های طراحی شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

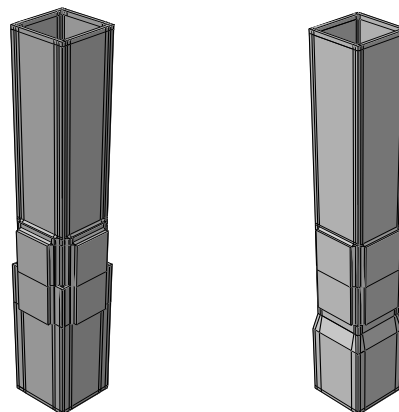
جدول (۲): ابعاد وصله‌های طراحی

| نمونه        | ابعاد ستون (cm)           |                            |                           |
|--------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
|              |                           | $۳۷ \times ۳۷ \times ۲$    | $۳۵ \times ۳۵ \times ۲$   |
| وصله نوع a   | $۷۲ \times ۲۸ \times ۳$   | $۷۰ \times ۲۸ \times ۲/۸$  | $۶۲ \times ۲۴ \times ۳$   |
| وصله نوع b   | $۷۶ \times ۲۵ \times ۳/۵$ | $۷۰ \times ۲۴ \times ۳/۴$  | $۶۶ \times ۲۰ \times ۳/۸$ |
| ورق پرکننده  | $۴۲ \times ۲۹ \times ۱/۵$ | $۴۰ \times ۲۸ \times ۲/۵$  | $۳۷ \times ۲۴ \times ۴$   |
| صفحه انتهایی | $۶۰ \times ۶۰ \times ۱/۷$ | $۶۰ \times ۶۰ \times ۲/۱۵$ | $۶۰ \times ۶۰ \times ۲/۷$ |
| پیچ          | $\Phi ۲۹$                 | $\Phi ۲۸$                  | $\Phi ۲۷$                 |

#### ۵- بررسی حداکثر تمرکز تنش

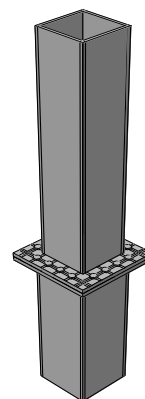
در نقاط بارگذاری، محل تغییر ناگهانی در سطح مقطع عرضی و یا تغییرات تند در شکل هندسی، توزیع تنش یکنواخت نبوده و این ناپیوستگی‌ها موجب ایجاد تمرکز تنش می‌شوند. تنش در نقاط تمرکز تنش را از طریق آزمایش و یا روش‌های پیشرفته تحلیلی نظیر روش اجزاء

جدول (۱) مقادیر تنش‌ها و کرنش‌های نمودار تنش-کرنش مصالح را نشان می‌دهد. بارگذاری ستون‌ها به صورت شرایط مرزی و ایجاد تغییر مکان تابع زمان مطابق شکل (۲) است. برای اعمال نیرو، نقطه مرجع بالای ستون را انتخاب کرده و مقدار  $u_z$  یعنی تغییر مکان در جهت عمود بر سطح مقطع ستون، با ضریب یک وارد شده است.



ب) وصله با ورق پرکننده

الف) وصله با تبدیل مقطع



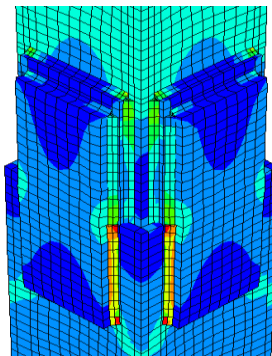
ج) وصله با صفحه انتهایی

شکل (۱): وصله‌های مورد بررسی

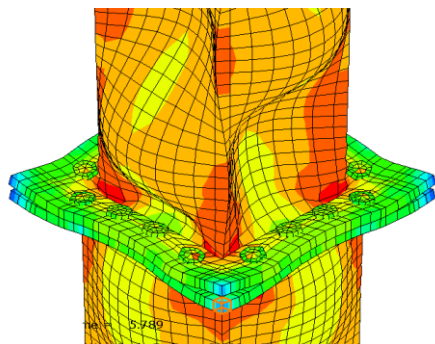
جدول (۱): مشخصات مصالح [۴ و ۵]

| اجزا وصله                 | $\sigma_1$ (MPa) | $\epsilon_1$ | $\sigma_2$ (MPa) | $\epsilon_2$ | $\sigma_3$ (MPa) | $\epsilon_3$ |
|---------------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| ستون، ورق پوششی و پرکننده | ۲۴۰              | ۰/۰۰۱۲       | ۴۲۰              | ۰/۱          | ۴۵۰              | ۰/۱۰۰۸       |
| پیچ A490                  | ۸۰۲              | ۰/۰۰۴۰۱      | ۹۶۲              | ۰/۰۱۲        | ۱۰۶۳             | ۰/۰۳۲۱       |
| جوش                       | ۳۰۰              | ۰/۰۰۱۴       | ۴۲۰              | ۰/۰۰۰۵۷۱     | ---              | ---          |

زیادی می‌باشد. در جدول (۳) مقدار ضریب تمرکز حاصل از تحلیل لرزه‌ای و تحلیل ریکس برای هر سه نوع وصله ستون آورده شده است. مقایسه ضرایب تمرکز با یکدیگر نشان می‌دهد، ضریب تمرکز تنش در ستون وصله شده با تبدیل مقطع در ورق‌های تبدیل و انتهای ستون بالایی در ستون وصله شده با صفحات انتهایی بیشترین مقدار را داشته و بحرانی‌تر است. کمترین ضریب تمرکز تنش نیز مربوط به ستون وصله شده با ورق پرکننده و ورق پوششی می‌باشد.



شکل (۴): تمرکز تنش در ورق‌های پوششی ستون وصله شده با فیلر و ورق پوششی



شکل (۵): تمرکز تنش در انتهای ستون وصله شده با صفحه انتهایی

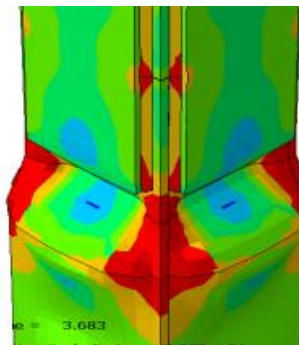
#### ۶- مکانیزم‌های خرابی

تحلیل ستون وصله شده بوسیله تبدیل مقطع در سیکل سوم به علت کماتش موضعی ستون و خرابی ورق‌های تبدیل متوقف می‌شود. تغییر شکل ورق‌های تبدیل حاکی از تنش‌های فشاری زیاد در آن می‌باشد. در این نوع وصله حتی اگر کماتش موضعی اتفاق نیفتد، خرابی ورق‌های

محدود می‌توان تعیین نمود. ضریب تمرکز تنش یا  $K_t$  مطابق رابطه (۱) به صورت نسبت تنش ماکزیمم به تنش اسمی در سطح مقطع ستون تعریف می‌شود. برای محاسبه تنش میانگین یا اسمی در ستون‌های مورد مطالعه، نیروی محوری  $P$  ایجاد شده در تکیه‌گاه ستون بر  $A$  یعنی سطح مقطع ستون تقسیم شده است.

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}} \quad (1)$$

توجه شود که ضریب تمرکز تنش ماکزیمم، حداکثر ضریب به دست آمده در کل گام‌های بارگذاری است. نخست برای ستون وصله شده به وسیله تبدیل مقطع، ضریب تمرکز تنش را محاسبه می‌کنیم. حداکثر تنش در لبه ورق‌های تبدیل بوجود آمده است. همانگونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، گوشه‌های نوک تیز ورق به عنوان عامل افزایش تنش عمل کرده و باعث ایجاد تمرکز تنش در گوشه‌ها و لبه‌های ورق تبدیل شده است.



شکل (۳): تمرکز تنش در ورق‌های تبدیل ستون وصله شده با تبدیل مقطع

در ستون وصله شده با ورق پرکننده و ورق پوششی، حداکثر تنش مطابق شکل (۴) در ورق‌های پوششی ایجاد می‌شود. در این نوع وصله ورق‌های پوششی در ناحیه وصله شده ستون بیشترین تمرکز تنش را دارد.

تمرکز تنش در مدل ستون وصله شده به وسیله صفحات انتهایی، مطابق شکل (۵) در انتهای ستون بالایی در محل اتصال به ورق و در صفحات انتهایی رخ می‌دهد. گوشه‌های ستون در محل اتصال به ورق‌ها ضریب تمرکز زیادی داشته و این قسمت تحت اثر نیروهای فشاری

تبدیل مانع استفاده از حداکثر ظرفیت ستون می‌باشد و ستون از این ناحیه گسیخته خواهد شد. در ستون وصله شده به وسیله ورق‌های پوششی و ورق پرکننده و ستون وصله شده به وسیله صفحات انتهایی مکانیزم خرابی

جدول (۳): مشخصات زمین لرزه‌های به کار رفته

| $K_1$                       |                             |                             | $K_1$                       | نمونه              |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| تحلیل ریکس                  |                             |                             | تحلیل لرزه‌ای               |                    |
| ( $40 \times 40 \times 2$ ) | ( $35 \times 35 \times 2$ ) | ( $32 \times 32 \times 2$ ) | ( $35 \times 35 \times 2$ ) | ستون با تبدیل مقطع |
| ۲/۱۴                        | ۱/۹                         | ۱/۸۶                        | ۲/۷۹                        |                    |
| ۱/۵۳                        | ۱/۴۴                        | ۱/۴۶                        | ۱/۲                         | ورق پوششی          |
| ۱/۴۷                        | ۱/۴۲                        | ۱/۴۹                        | ۱/۱۳۸                       | ورق پوششی          |
| ۱/۴۸                        | ۱/۳۹                        | ۱/۴۷                        | ۰/۹۷۹                       | ورق پرکننده        |
| ۱/۹۷                        | ۲/۲۳                        | ۱/۹۲                        | ۲/۶۱                        | انتهای ستون        |
| ۱/۸۳                        | ۱/۸۵                        | ۱/۶۷                        | ۲/۰۲                        | صفحه انتهایی       |

تبدیل انتقال می‌یابند و ماکزیمم نیروی فشاری در این ناحیه اتفاق می‌افتد. قسمت های میانی ورق خالی از نیرو می‌باشند. در ستون وصله شده با ورق پوششی و ورق پرکننده مطابق شکل (۶-ب) انتقال نیروهای فشاری در نواحی اتصال، از گوشه وصله و ورق پرکننده صورت گرفته است. تغییر جهت نیروها در گوشه‌های اتصال این نکته را یادآوری می‌کند که جوش‌های قلاب، حتما باید اجرا شده و تمهیدات کافی در اجرای آن‌ها صورت گیرد. نحوه انتقال نیروهای داخلی در ستون وصله شده با صفحات انتهایی در شکل (۶-ج) نشان داده شده است. مطابق شکل همه پیچ‌ها به کشش کار می‌کنند و پیچ‌های موجود در گوشه، نیروهای کششی بیشتری تحمل می‌کنند. نیروهای فشاری از گوشه‌های ستون منتقل می‌شوند و این قسمت‌ها بحرانی‌تر می‌باشند.

#### ۸- نتیجه گیری

در این مقاله، به مقایسه و بررسی ناحیه‌های تمرکز تنش و ضریب تمرکز تنش، مقاومت ستون‌ها در لحظه خرابی، مکانیزم خرابی ستون‌ها و مکانیزم انتقال نیروها در محل وصله‌ها پرداخته شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد:

- تمرکز تنش در هر سه مدل بررسی شده و ضریب تمرکز تنش بدست آمده است. مقایسه این ضرایب

از نوع کماتش موضعی ستون می‌باشد و باعث می‌شود تحلیل لرزه‌ای ستون به ترتیب در سیکل اول و پنجم متوقف شده و ستون نتواند به حداکثر ظرفیت باربری خود برسد. مقدار مقاومت بدست آمده از تحلیل لرزه‌ای و تحلیل ریکس هر یک از ستون‌ها در لحظه خرابی در جدول (۴) آورده شده است. مقایسه مقادیر جدول نشان می‌دهد که ستون وصله شده با ورق پوششی و ورق پرکننده در لحظه خرابی مقاومت بیشتری داشته و نیروی بیشتری تحمل می‌کند.

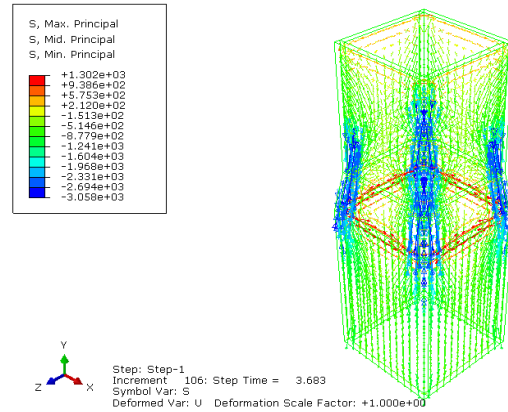
جدول (۴): مقاومت ستون وصله شده در لحظه خرابی

| نمونه | مقاومت (kg)     |                 |
|-------|-----------------|-----------------|
|       | تحلیل لرزه‌ای   | مقاومت ریکس     |
|       | $\lambda=24/24$ | $\lambda=20/96$ |
| a     | ۲۵۵۵۰۴          | ۳۶۹۹۲۵          |
| b     | ۳۱۱۰۰۰          | ۴۴۸۱۳۴          |
| c     | ۲۰۲۰۰۰          | ۳۶۹۸۵۷          |

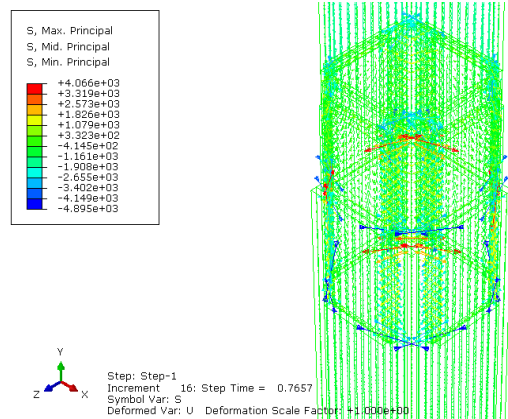
#### ۷- مکانیزم توزیع و انتقال نیروهای داخلی

همانطور که در شکل (۶-الف) نشان داده شده است، در ستون وصله شده با تبدیل مقطع نیروهای فشاری از ستون بالایی به ستون پایینی از لبه و گوشه‌های ورق‌های

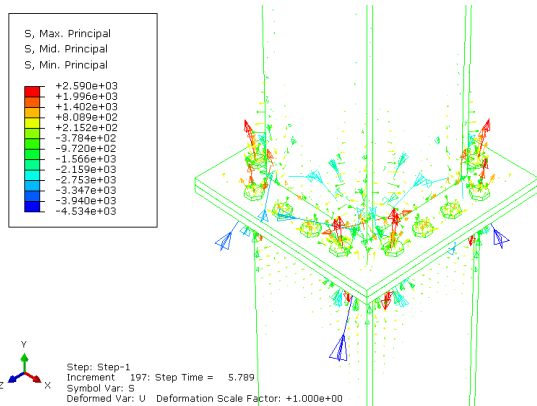
نشان می‌دهد که ضریب تمرکز تنش در ستون وصله شده با تبدیل مقطع در ورق‌های تبدیل بیشترین مقدار را داشته و بحرانی می‌باشد و کمترین ضریب تمرکز تنش مربوط به ستون وصله شده با ورق پوششی و ورق پرکننده می‌باشد.



الف) در ناحیه تبدیل مقطع



ب) در محل وصله، در ستون‌های وصله شده با ورق پوششی و ورق پرکننده



ج) در محل صفحات انتهایی

شکل (۶): نحوه جریان نیروهای داخلی

بررسی تغییر شکل‌ها پس از تحلیل نشان می‌دهد خرابی‌های عمده‌ای که در هر سه مدل بوجود آمده به صورت کماتش موضعی ورق‌های ستون می‌باشد. البته در ستون وصله شده با تبدیل مقطع علاوه بر کماتشی موضعی ستونها، به علت تغییر شکل زیاد ناشی از نیروهای فشاری، ورق‌های تبدیل نیز دچار کماتش موضعی شده و خراب شده‌اند. همچنین مقایسه مقدار نیروها در لحظه خرابی نشان داد که ستون وصله شده با ورق پوششی و ورق پرکننده بیشترین مقاومت را در لحظه خرابی دارد.

در ستون وصله شده با تبدیل مقطع، بیشتر نیروهای فشاری از لبه ورق‌های تبدیل و در ستون وصله شده با ورق پوششی و ورق پرکننده، نیروها در امتداد طول وصله و گوشه ورق پوششی و در ستون وصله شده با صفحات انتهایی، نیروها از گوشه‌های ستون در محل اتصال به ورق منتقل می‌شوند.

ستون‌های مورد مطالعه به علت کماتش موضعی قبل از کماتش کلی، در مقابل بار لرزه‌ای استهلاک انرژی نداشته و رفتار چرخه‌ای نمی‌تواند معیاری برای مقایسه باشد.

بررسی رفتار لرزه‌ای و استاتیکی ستون وصله شده با تبدیل مقطع نشان داد که این وصله پیشنهادی آیین نامه ایران نه تنها مزیتی نداشته، بلکه دارای معایب زیادی از جمله نیاز به نیروی کار ماهر، دشوار بودن ساخت قسمت تبدیل مقطع ستون، کماتش موضعی ورق‌های تبدیل و خرابی ستون در ناحیه تبدیل مقطع می‌باشد.

## ۹- مراجع

[۱] مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم. (۱۳۸۷)، "طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، چاپ دوم.

[۲] ازهری، م. و میرقادی، س.ر. (۱۳۸۵)، "طراحی سازه‌های فولادی"، جلد سوم، چاپ سوم.



[3] Lindner, J. (2008), "Old and new solutions for contact splice in columns", Journal of Constructional Steel Research.

[4] حسین زاده، ی. (۱۳۸۳)، "اثر نیمه‌گیرداری اتصالات بر رفتار اسکلت‌های فولادی"، پایان‌نامه دکتری، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.

[5] Kulak, G.A. and Timler, P.A. (1984), "Tests on Eccentrically Loaded Fillet Welds", Department of civil engineering university of Alberta.

[6] Krawinkler, H. (2009), "Loading Histories for Cyclic Tests in Support of Performance Assessment", 3AESE Conference, San Francisco.