



# بررسی و مقایسه تحلیلی عملکرد تناوبی اتصالات پیچی تیر به ستون با صفحه انتهایی و سپری اتصال با تغییر آرایش افقی پیچهای ستونی

محسن گرامی<sup>۱</sup>، وحید صابری<sup>۲</sup>، حمید صابری<sup>۳</sup>  
(دریافت: ۸۸/۷/۱۵، پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۵)

## چکیده

دو نوع از اتصالات تیر به ستون پیشنهادی پس از زلزله نورتریج، اتصالات پیچی با صفحه انتهایی و سپری اتصال می باشد. در این مقاله بصورت تحلیلی به بررسی و مقایسه عملکرد تناوبی این اتصالات در اثر تغییر پارامتر فاصله افقی پیچهای اتصال به بال ستون تا خط مرکزی جان تیر با مدلسازی اجزاء محدود هشت نمونه زیر سازه اتصال، در نرم افزار ANSYS.Ver10 پرداخته شده است. نتایج بیان میدارد که در طرح این اتصالات بر مبنای ضوابط آیین نامه AISC برای مقاطع یکسان تیر و ستون، ظرفیت خمشی و سختی الاستیک اتصال با سپری نسبت به اتصال با صفحه انتهایی بیشتر بوده، درحالیکه میزان استهلاک انرژی کل آنها تقریباً یکسان است. نهایتاً از بررسی تحلیلی پارامتر فوق مشخص شد، با توجه به حساسیت رفتاری و احتمال تغییر مد خرابی اتصال پیچی با سپری اتصال تحت بار تناوبی نسبت به آرایش افقی پیچهای اتصال به ستون در مواردی که احتمال ضعف در اجرا می رود، علیرغم بیشتر بودن ظرفیت خمشی اتصال با سپری، طرح اتصال پیچی با صفحه انتهایی توصیه میگردد.

## کلمات کلیدی

عملکرد تناوبی اتصالات، اتصالات پیچی تیر به ستون، صفحه انتهایی، سپری اتصال، آرایش پیچ

## Analytical Assessment and Comparison of Cyclic Behavior of End Plate and T-stub Bolted Connections Due to Horizontal Arrangement Variation of Column Bolts

Mohsen Gerami, Vahid Saberi, Hamid Saberi

### ABSTRACT

Two kinds of Post-Northridge proposed beam-to-column connections are End palte and T-stub bolted connections. The aim of this paper is assessment and comparison of cyclic behavior of the mentioned connections due to horizontal variation of column bolts from centerline of beam web by finite element modeling of eight mentioned connections substructures in ANSYS, ver10. The results show that, if the mentioned connections are designed for equal sections of beam and column according to the AISC code, T-stub connection will have more moment resistance capacity and elastic stiffness than End plate connection while they have equal total energy dissipation approximately. Finally, analytical inspection on the mentioned parameter represented, attention to the behavior sensitivity and failure mode variation probability for bolted T-stub connection under cyclic load due to this partameter variation, despite T-stub connection has more moment resistance capacity, it is recommended to design bolted End plate connection rather than T-stub connection in cases that a weak construction is probable.

### Key words

Cyclic Behavior Connections, Bolted Beam-to-Column Connections, End Plate, T-stub, Bolt Arrangement

۱. استادیار و مدیر گروه پژوهشی فناوری های نوین، دانشگاه سمنان، [mgerami@semnan.ac.ir](mailto:mgerami@semnan.ac.ir) (نویسنده مسئول)

۲. کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان، [saberi.vahid@gmail.com](mailto:saberi.vahid@gmail.com)

۳. کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان، [saberi.hamid@gmail.com](mailto:saberi.hamid@gmail.com)



قابهای خمشی، کاربرد وسیعی در نقاط زلزله خیز داشته و توانایی بالایی را در استهلاک انرژی دارند. در طراحی لرزه ای این قابها، هدف تشکیل مفصل پلاستیک در تیر و جلوگیری از وقوع آن در ستون بعلافت حفظ پایداری جانبی سازه می باشد. قابهای خمشی باید توانایی بالایی را در انتقال لنگر و برش بین تیر و ستون داشته باشند، لذا اتصال جان پیچی - بال جوشی (BWFF) بعنوان اتصالی که عملکرد آن تحت بار لرزه ای مناسب است، پیشنهاد گردید. پس از وقوع زلزله (Northridge(1994)، مشخص گردید که عملکرد این نوع اتصال ضعیف بوده است [۱].

دو نوع از اتصالات پیشنهادی جایگزین، اتصالات پیچی تیر به ستون با صفحه انتهایی و سپری اتصال بوده است. از آنجاییکه جوشکاری این نوع اتصالات در کارخانه و تحت نظارت کافی و شرایط مطلوب انجام میشود، دستیابی به جوش با کیفیت بالا در این نوع اتصالات نسبت به اتصال جوش در کارگاه ساده تر خواهد بود.

## ۲- هدف و روند انجام تحقیق

با توجه به اینکه تغییر پارامترهای طرح اتصالات پیچی تیر به ستون با صفحه انتهایی و سپری اتصال از جمله فاصله افقی پیچهای اتصال به ستون تا خط مرکزی جان تیر که گاهی ناشی از ضعف در اجراست، تاثیرات بسزایی در عملکرد تناوبی این اتصالات دارند، لذا درک صحیحی از محدوده تاثیرپذیری رفتار این اتصالات با تغییر این پارامتر، طراح را در انتخاب نوع اتصال یاری میکند. در این مقاله پس از تایید صحت شیوه مدلسازی با مقایسه نتایج تحلیلی مدل اجزاء محدود این اتصالات با نتایج مدلهای آزمایشگاهی متناظر، اقدام به ساخت شش مدل اجزاء محدود با تغییر پارامتر مذکور کرده و به بررسی و مقایسه نتایج تحلیل آنها از جمله ظرفیت خمشی، سختی الاستیک، حداکثر بازشدگی در صفحه انتهایی یا سپری اتصال، استهلاک انرژی و تغییرات تنش در پیچ های ستونی اتصال می پردازیم.

## ۳- شیوه مدلسازی و معتبرسازی آن

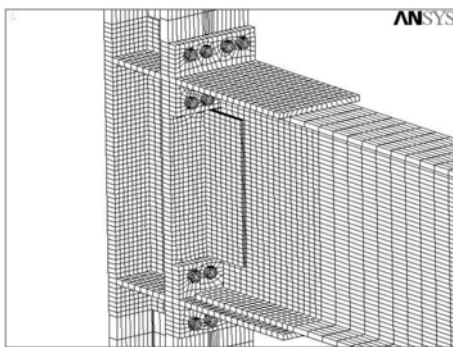
از آنجاییکه بررسی تحلیلی صورت پذیرفته در این مقاله معطوف بر عملکرد تناوبی اتصالات پیچی تیر به ستون با صفحه انتهایی و سپری اتصال میباشد، صحت و دقت مدلسازی با مقایسه نتایج حاصل از مدلهای اجزاء محدود دو نمونه آزمایشگاهی Specimen 1 (اتصال با سپری) که توسط Popov و همکاران در سال ۲۰۰۲ [۲] و 4E-1.5-1.25-24 (اتصال با صفحه انتهایی) که توسط Sumner و همکاران در سال ۲۰۰۳ [۳] تحت بار تناوبی ارزیابی شدند، تایید میشود.

مدلهای آزمایشگاهی زیرسازه اتصال یک تیر کناری هستند. در نمونه با سپری اتصال، تیر توسط دو سپری به صورت پیچی به بال ستون متصل میگردد و ساق سپری نیز بواسطه جوش و پیچ به بال تیر متصل میشود، برای انتقال برش از برشگیر جوش شده به بال ستون، پیچ شده به جان تیر استفاده شده است. در نمونه اتصال با صفحه انتهایی، تیر با جوش نفوذی کامل به صفحه انتهایی و صفحه انتهایی نیز با پیچ به بال ستون متصل شده است. ابعاد و هندسه تیر و ستون و اجزاء اتصال دقیقاً مطابق نمونه های آزمایشگاهی مدل شدند، لیکن در نمونه اجزاء محدود با سپری اتصال، بدلیل لغزش ناچیز بین ساق سپری و بال تیر و نیز برشگیر و جان تیر بواسطه جوش و پیچهای اصطکاکی، این اجزاء بصورت پیوسته مدل شدند. در نمونه با صفحه انتهایی نیز، به دلیل اتصال صفحه انتهایی به تیر با جوش نفوذی کامل، این دو بخش در مدل اجزاء محدود بصورت پیوسته مدل شدند. مش بندی مدلها با المان Solid 45 از سری المانهای سه بعدی نرم افزار صورت پذیرفت، شکل (۱). این المان دارای هشت گره بوده که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی می باشد. این المان دارای خواص پلاستیسیته، سخت شوندگی کرنشی، تغییر مکانها و کرنشهای بزرگ بوده و خواص ارتوتروپیک را هم می پذیرد، همچنین بارگذاری فشار و حرارت را نیز قبول میکند. بمنظور افزایش دقت نتایج، اندازه المانها در حوالی چشمه اتصال کوچکتر

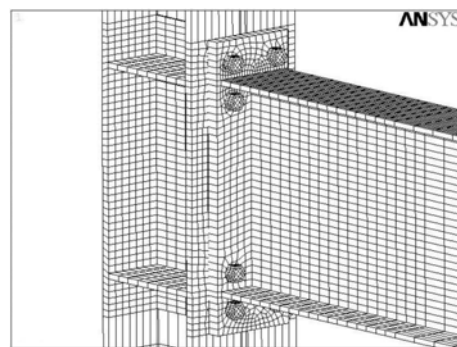


سطح زیرین آن تعداد گره های آن ممکن است کاهش یابد. عملکرد این المان انتقال نیرو در تماس فشاری بوده، لذا هیچ نیرویی در حالت کششی انتقال نمی یابد. همچنین این المان توانایی مدل کردن اصطکاک کولمب را نیز دارد [۴]. مصالح بکاررفته برای مدلسازی مطابق جدول (۱) و بر اساس مشخصات آزمایشگاهی نمونه ها میباشد. بارگذاری نیز بصورت تناوبی و بر اساس بار آزمایشگاهی به انتهای تیر در نمونه ها اعمال گردید.

اختیار شده است. برای ملاحظه اندرکنش در سطوح تماسی این اتصالات، از المان Contact 174 و Target 170 استفاده شده است. از این المانها در محل تماس سر پیچ و بال ستون، مهره پیچ و بال سپری یا صفحه انتهایی، بدنه پیچ و سوراخ ایجاد شده همچنین بال سپری یا صفحه انتهایی و بال ستون استفاده شده است. هندسه المانهای تماسی همانند المان حجم یا پوسته زیرین آن است و دارای هشت گره میباشد که بسته به



ب) مش بندی نمونه تحلیلی Specimen 1



الف) مش بندی نمونه تحلیلی 4E-1.5-1.25-24

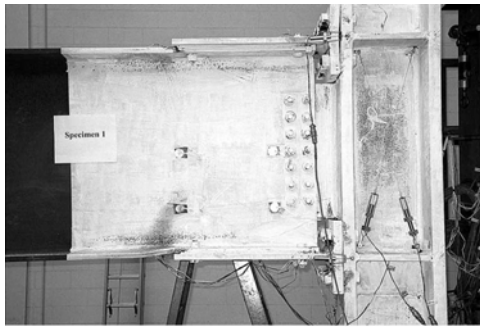
شکل (۱): مش بندی نمونه های تحلیلی برای معتبرسازی نتایج تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی

جدول (۱): مصالح مورد استفاده در مدلسازی نمونه های تحلیلی برای معتبرسازی نتایج تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی

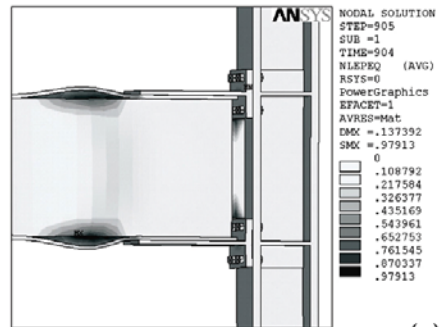
مصالح	محل استفاده	کرنش	تنش (MPa)
ASTM A36	صفحه انتهایی	0.001276	262
		0.01403	262
		0.153	476
ASTM A572 Gr50	تیر، ستون، سپری اتصال	0.00178	361
		0.0196	361
		0.2134	488
A490	پیچ	0.00386	794
		0.0135	1035
		0.0309	1035
		0.2	1048

و نمونه با سپری اتصال نیز، کمانش و جاری شدگی در بال و جان تیر در انتهای ساق سپری روی داده است.

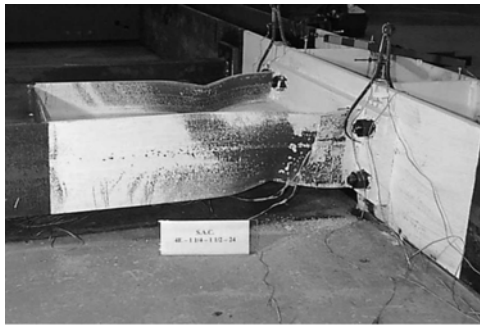
همانطور که در شکل (۲) ملاحظه میگردد، همانند نمونه های آزمایشگاهی، در نمونه با صفحه انتهایی مفصل پلاستیک در فاصله ۳۰cm از بر ستون در تیر تشکیل شده



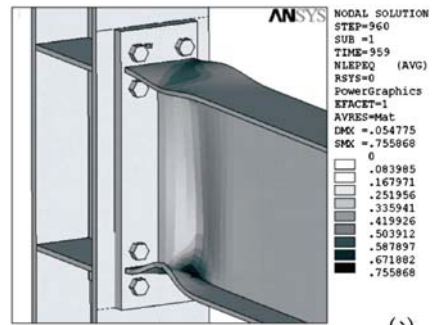
(الف)



(ج)

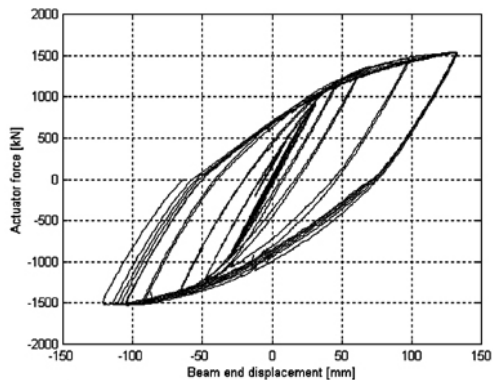


(ب)

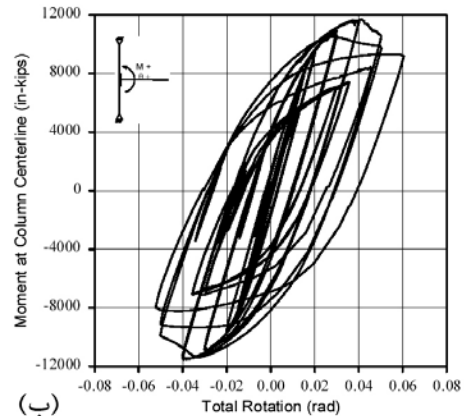


(د)

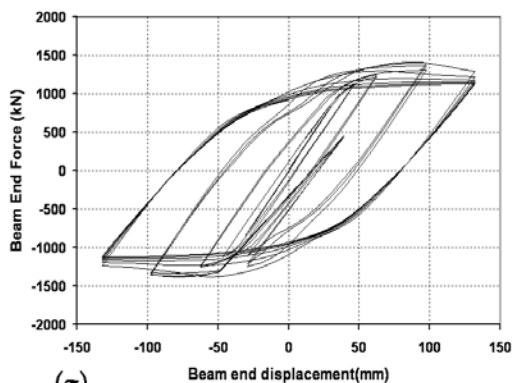
شکل (۲): (الف و ب) - نمایی از نمونه های آزمایشگاهی Specimen 1 [۲] و 4E-1.5-1.25-24 [۳] پس از آزمایش  
ج و د) کرنش پلاستیک معادل در انتهای بارگذاری نمونه های تحلیلی Specimen 1 و 4E-1.5-1.25-24



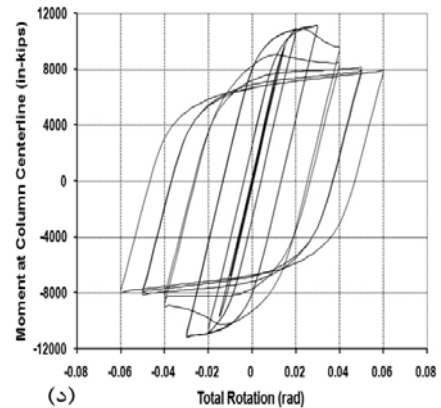
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل (۳): (الف و ب) هیستریزس های بدست آمده از آزمایش نمونه های Specimen 1 [۲] و 4E-1.5-1.25-24 [۳]  
ج و د) هیستریزس های بدست آمده از تحلیل نمونه های Specimen 1 و 4E-1.5-1.25-24

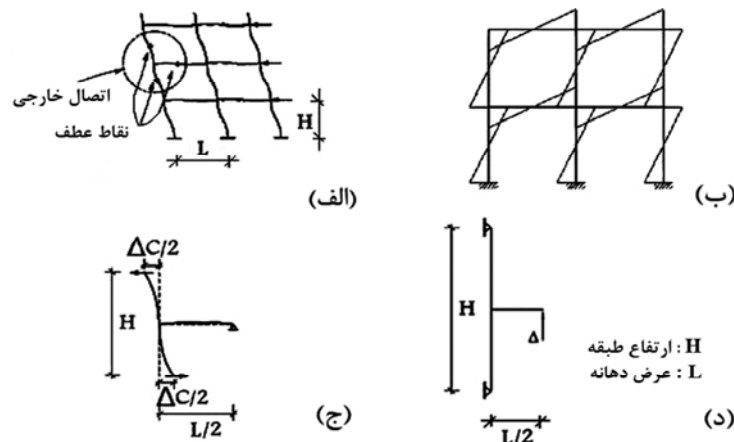


با مقایسه هیستریزیس های (لنگر در خط مرکزی ستون - دوران کل) در نمونه با صفحه انتهایی و (نیرو-جابجایی در انتهای تیر) در نمونه با سپری اتصال بدست آمده از نمونه های تحلیلی و آزمایشگاهی شکل (۳)، انطباق قابل ملاحظه ای در رفتار آنها مشاهده میگردد. حداکثر لنگر در مرکز ستون بدست آمده از آزمایش نمونه با صفحه انتهایی و حداکثر بار اعمالی بدست آمده از آزمایش نمونه با سپری اتصال بترتیب برابر  $11703 \text{ in.kips}$  و  $1535 \text{ kN}$  بوده در حالیکه میزان محاسبه شده تحلیلی از نمودارها بترتیب معادل  $11094 \text{ in.kips}$  و  $1441 \text{ kN}$  ارزیابی شده است که نشانگر اختلاف  $5/2$  و  $6$  درصدی در مقادیر حداکثر بوده و موید دقت مناسب در شیوه مدلسازی است.

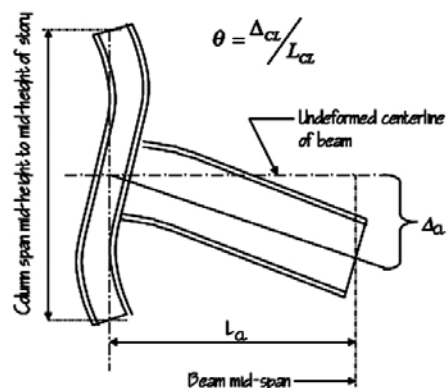
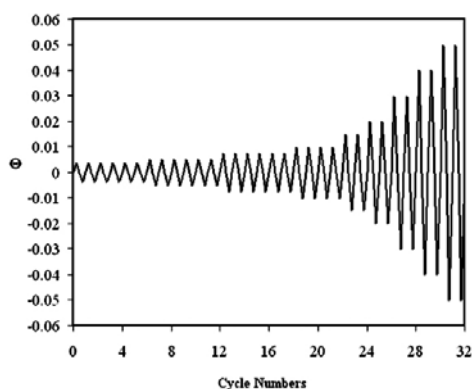
#### ۴- معرفی نمونه های تحلیلی اجزاء محدود

در شکل (۴)، تغییرشکل یک قاب خمشی به همراه دیاگرام لنگر خمشی این قاب تحت بارهای جانبی نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، مقدار لنگر در وسط دهانه های تیر و ستون برابر صفر است و نقاط وسط دهانه های تیر و ستون، تحت بارهای جانبی، نقاط عطف سازه هستند. در محل نقاط عطف سازه، بر خلاف لنگر، مقدار برش مخالف صفر است، بنابراین به منظور مطالعه رفتار اتصالات خمشی، به جای مدل کردن کل قاب که بسیار دشوار و وقت گیر است، می توان

اتصال را از محل نقاط عطف جداسازی کرده و با قرار دادن تکیه گاه های مفصلی و غلتکی، برای تحمل برش وارده در این نقاط، زیرسازه بدست آمده را مدل سازی و تحلیل نمود. نمونه های مورد ارزیابی زیرسازه اتصال یک تیر کناری میباشد، شکل (۴) [۵]. مقطع تیر در کلیه نمونه ها IPE550 با طول  $4/5$  متر و ستون IPB450 با طول  $3$  متر و در نمونه های با سپری اتصال، وصله سپری برشی از مقطع IPB500 اختیار شده است. مشخصات مقاطع طبق استاندارد دین آلمان میباشد. مصالح مورد استفاده برای مدلسازی نمونه ها مطابق مشخصات جدول (۲) میباشد. طبق پیشنهاد FEMA 350 [۶]، بارگذاری استاندارد SAC مطابق شکل (۵) با جزئیات ارائه شده در جدول (۳) به نمونه ها اعمال شد. بمنظور بررسی تاثیر پارامتر فاصله افقی پیچهای اتصال به ستون تا خط مرکزی جان تیر (C) در شکل (۶))، دو نمونه مرجع TS-R (T-Stub-Reference) بصورت اتصال پیچی تیر به ستون با سپری اتصال و EP-R (End Plate-Reference) با صفحه انتهایی بر اساس ضوابط AISC [۷]، طرح شدند. سایر نمونه ها با نامگذاری عمومی  $TS \pm \Delta c$  و  $EP \pm \Delta c$  با کاهش و افزایش این فاصله نسبت به نمونه مرجع مطابق شکل (۷) با مشخصات جدول (۴) مدلسازی شدند. در این نامگذاری  $+\Delta c$  و  $-\Delta c$  بترتیب بیانگر افزایش و کاهش فاصله افقی پیچهای اتصال به ستون تا خط مرکزی جان تیر به میزان  $\Delta$  نسبت به نمونه های مرجع متناظر است.



شکل (۴): قاب خمشی تحت اثر بار جانبی، الف) دیاگرام تغییرشکل قاب خمشی، ب) دیاگرام لنگر خمشی قاب، ج) اتصال خارجی جداسازی شده از محل نقاط عطف، د) زیرسازه مورد استفاده در ارزیابی تحلیلی نمونه ها [۵]



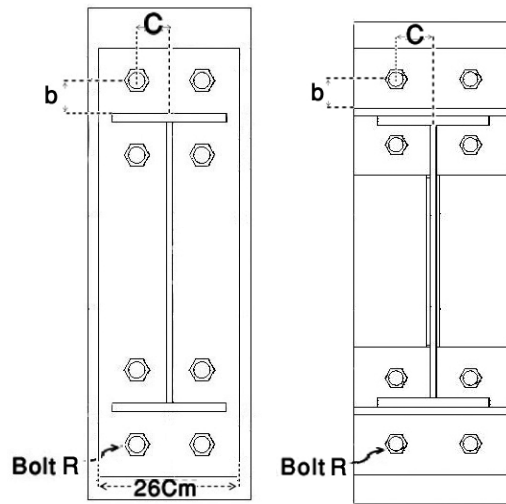
شکل (۵): بار تناوبی استاندارد SAC و نحوه اعمال آن به نمونه ها طبق پیشنهاد FEMA350 [۶]

جدول (۲): مصالح مورد استفاده در مدلسازی نمونه های تحلیلی

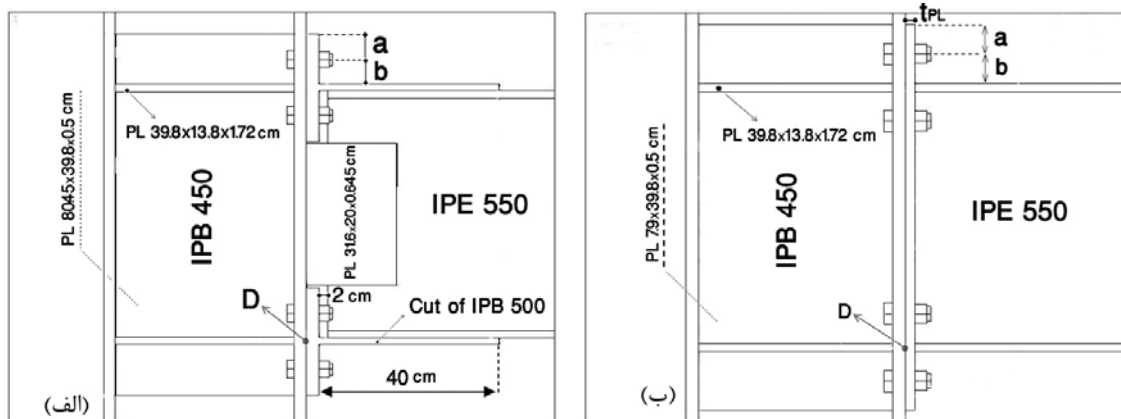
مصالح	محل مورد استفاده	کرنش	تنش (MPa)
ST37	تیر، ستون، صفحه انتهایی و سپری اتصال	0.001143	240
		0.02	240
		0.18	360
		0.2	370
		0.35	370
A490	پیچ	0.00386	794
		0.0135	1035
		0.0309	1035
		0.2	1048

جدول (۳): جزئیات بار تناوبی اعمالی به نمونه ها طبق استاندارد SAC [۶]

گام بارگذاری	زاویه دوران $\theta$ (rad)	تعداد سیکل ها	تغییر مکان اعمالی به انتهای تیر (cm)
1	0.00375	6	0.95
2	0.005	6	1.26
3	0.0075	6	1.89
4	0.01	4	2.53
5	0.015	2	3.79
6	0.02	2	5.05
7	0.03	2	7.58
8	0.04	2	10.1
9	0.05	2	12.63



شکل (۶): معرفی پارامتر (C)



شکل (۷): جزئیات عمومی نمونه های تحلیلی، الف) نمونه های با سپری اتصال، ب) نمونه های با صفحه انتهایی

جدول (۴): جزئیات نمونه های تحلیلی

نمونه	تعداد پیچ حول هر بال تیر	قطر پیچ $D_b$ (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	ضخامت صفحه انتهایی $t_{pl}$ (cm)	ضخامت بال سپری اتصال (cm)	تنش پیش تنیدگی $S_p$ (MPa)
TSR	4	2.7	5.8	5.475	7	-	2.8	570
TS-3C	4	2.7	5.8	5.475	4	-	2.8	570
TS+3C	4	2.7	5.8	5.475	10	-	2.8	570
EPR	4	3	6	6	6	3.3	-	570
EP-1.5C	4	3	6	6	4.5	3.3	-	570
EP+1.5C	4	3	6	6	7.5	3.3	-	570

جدول (۵): خلاصه نتایج ظرفیت خمشی و سختی الاستیک نمونه های تحلیلی

نمونه	$M_{max}$ (kN.m)	$\frac{M_{max}}{M_{maxR}}$	$M_Y$ (kN.m)	$\theta_Y$ (rad)	$R_{in}=M_Y/\theta_Y$ (MN.m/rad)	$\frac{R_{in}}{R_{inR}}$	$\frac{S_{Bmin}}{S_{BminR}}$	$\frac{S_{Bmin}}{S_P}$
TSR	931	1.000	805	0.0075	107.3	1.00	1.00	0.34
TS-3C	650	0.700	390	0.0043	90.7	0.85	0.96	0.32
TS+3C	930	0.999	799	0.0075	106.5	0.99	0.98	0.33
EPR	766	1.000	716	0.0075	95.5	1.00	1.00	0.93
EP-1.5C	766	1.000	723	0.0075	96.4	1.01	0.99	0.92
EP+1.5C	766	1.000	704	0.0075	93.9	0.98	0.95	0.98

جدول (۶): خلاصه نتایج استهلاک انرژی و حداکثر بازشدگی نقطه D در نمونه های تحلیلی

نمونه	استهلاک انرژی کل $E_{total}$ (kJ)	$\frac{E_{total}}{E_{totalR}}$	$E_{Beam}$ (%)	$E_{EPI}$ or $E_{T-Stub}$ (%)	$E_{Shear\ tab}$ (%)	حداکثر بازشدگی در نقطه D $Gap_{max}$ (mm)	$\frac{Gap_{max}}{Gap_{maxR}}$
TSR	670	1.000	81	16	2	4.8	1.00
TS-3C	487	0.730	0	83	16	3.3	0.68
TS+3C	672	1.003	79	17	2	5.7	1.18
EPR	655	1.000	100	0	-	1.3	1.00
EP-1.5C	673	1.030	100	0	-	0.8	0.61
EP+1.5C	624	0.950	100	0	-	1.7	1.38

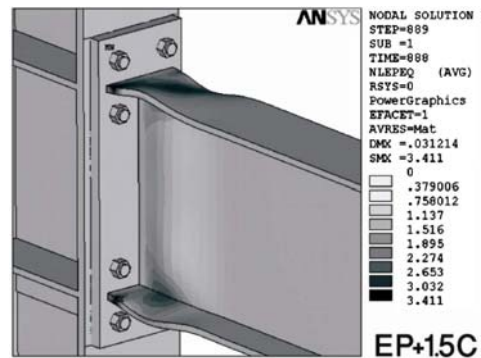
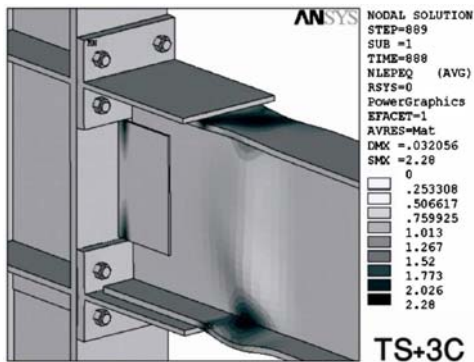
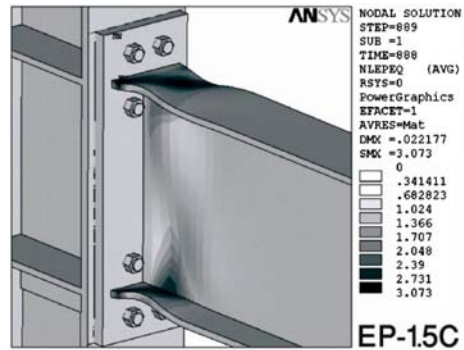
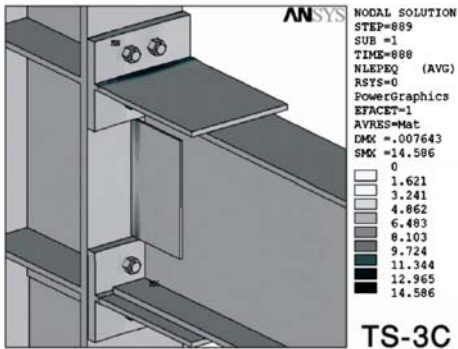
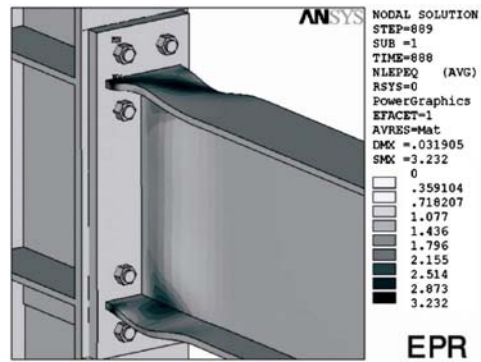
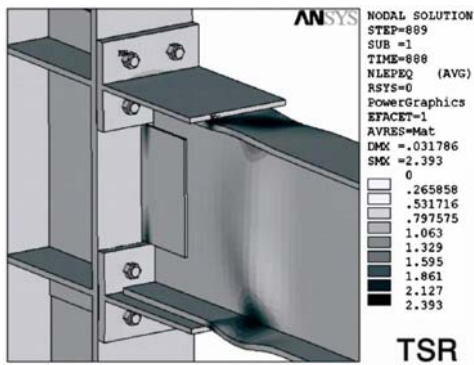
#### ۵- بررسی نتایج حاصل از تحلیل نمونه ها

است. این در حالیست که تنها در نمونه TS-3C با کاهش ۳ سانتی متری فاصله افقی پیچهای ستونی اتصال تا جان تیر نسبت به نمونه مرجع TSR، تغییر مد خرابی را از تشکیل مفصل پلاستیک در تیر به تشکیل مفصل پلاستیک در ساق سپری اتصال شاهد بودیم (شکل ۹). علت این امر را میتوان در افزایش سختی اتصال مجاور بال سپری و متعاقباً افزایش تغییر شکل و پلاستیک شدگی در ساق سپری دانست.

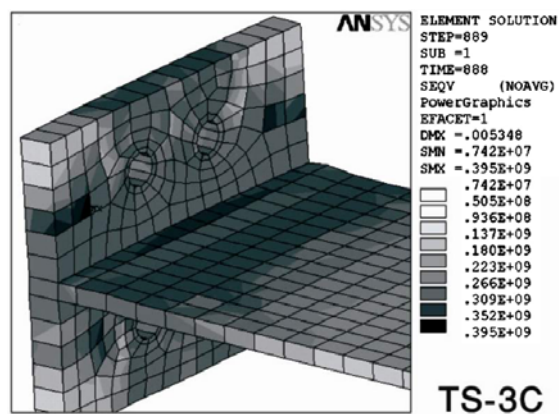
خلاصه ای از نتایج تحلیل نمونه ها در جدول های (۵) و (۶) ارائه شده که بر این اساس نتایج ذیل قابل استنباط است:

- با توجه به شکل (۸) که کرنش پلاستیک معادل این نمونه ها را در گام آخر بارگذاری نشان میدهد، میتوان دریافت که مد خرابی در هر سه نمونه اتصال با صفحه انتهایی، تشکیل مفصل پلاستیک در تیر بوده که حاکی از عدم تقید رفتار کلی این اتصال نسبت به تغییر این پارامتر





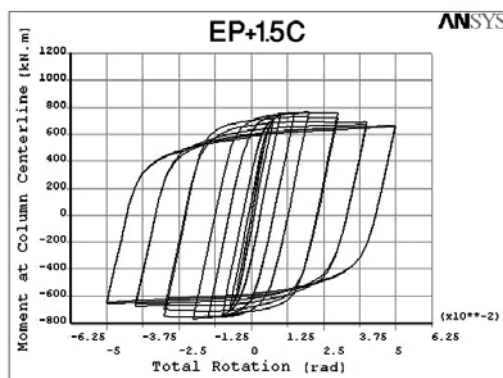
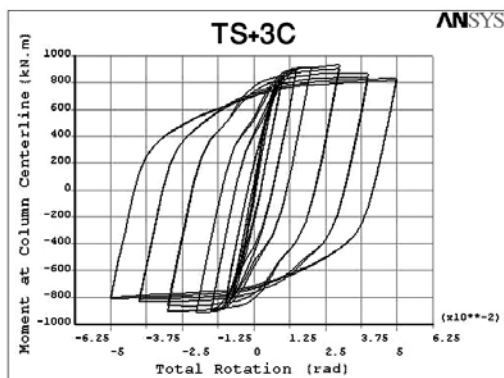
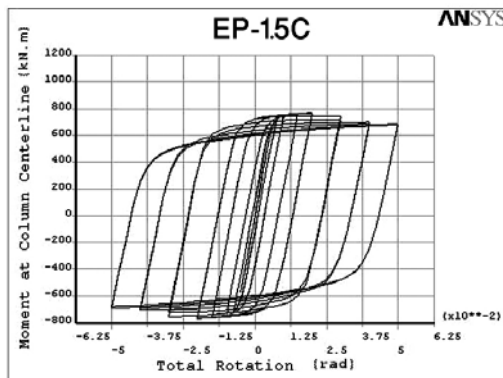
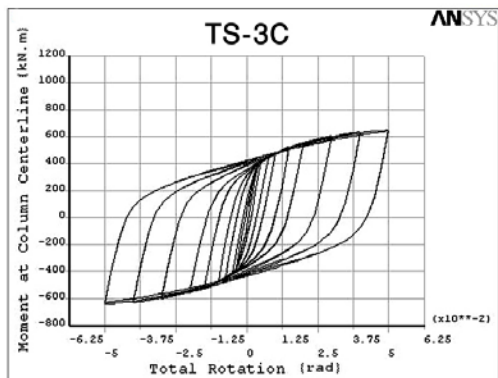
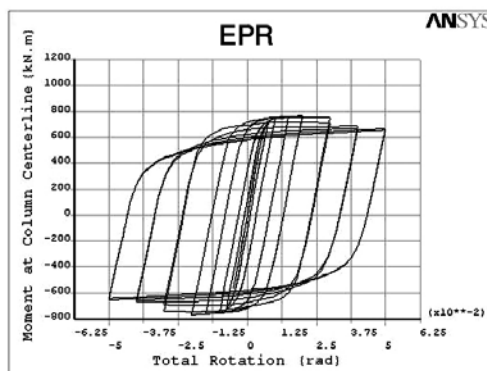
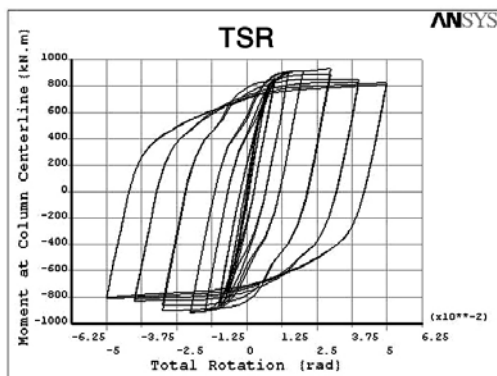
شکل (۸): کرنش پلاستیک معادل در گام آخر بارگذاری نمونه ها



شکل (۹): تنش ون میسر در سپری بالای نمونه TS-3C در گام آخر بارگذاری (Pa)

ظرفیت خمشی اتصال با صفحه انتهایی بعلت عدم تغییر مد خرابی ناچیز بوده در حالیکه در اتصال با سپری، نزدیک کردن پیچ ها به جان تیر بعلت تغییر در عملکرد اتصال منتج به کاهش قابل ملاحظه ظرفیت خمشی اتصال شده است.

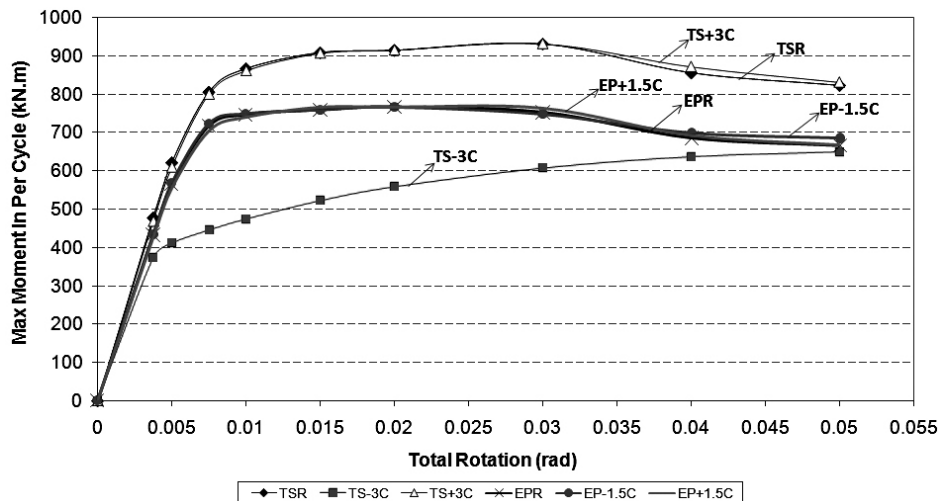
- منحنی های هیستریزیس لنگر - دوران کل نمونه ها در شکل (۱۰) حاکی از آنست که تنها در نمونه TS-3C با کاهش فاصله افقی پیچها تا جان تیر ، ظرفیت خمشی اتصال به میزان ۳۰ درصد نسبت به نمونه مرجع متناظر کاهش داشته و در سایر نمونه ها تغییر محسوسی مشاهده نشد ، لذا تاثیر این پارامتر بر



شکل (۱۰): منحنی های هیستریزیس لنگر-دوران کل نمونه ها

با نزدیک کردن پیچها به جان تیر ، سختی دورانی الاستیک به میزان ۱۵ درصد نسبت به نمونه مرجع متناظر کاهش داشته و تغییر این پارامتر بر سختی دورانی الاستیک سایر نمونه ها تاثیر بسزایی نداشته است.

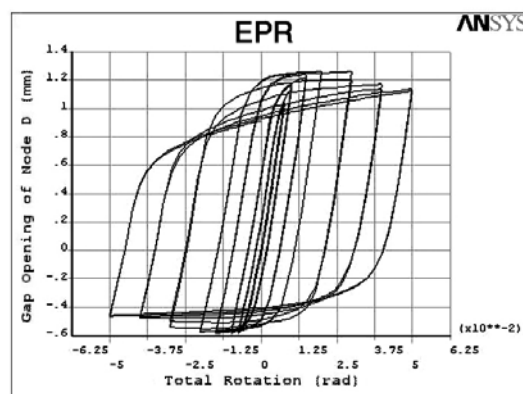
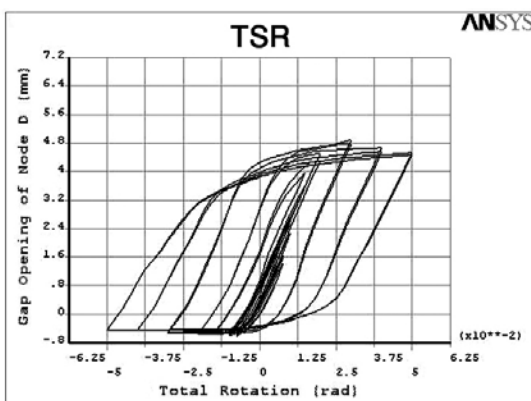
- بر اساس نمودار پوش هیستریزس لنگر- دوران کل نمونه ها در شکل (۱۱) مقادیر لنگر و چرخش متناظر با نقطه تسلیم سازه محاسبه شده است. با محاسبه سختی دورانی الاستیک اتصال ( $R_{in} = M_y / \theta_y$ ) ، برای نمونه ها در می یابیم که تنها در نمونه TS-3C



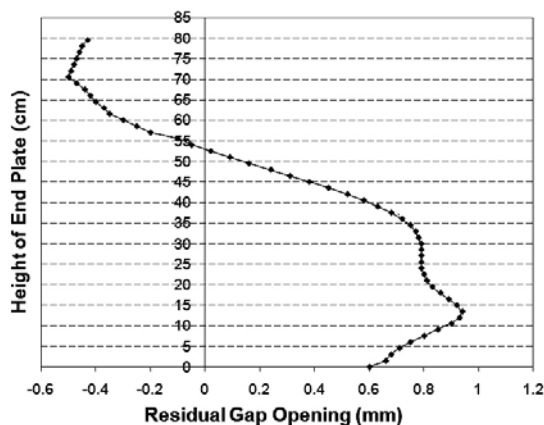
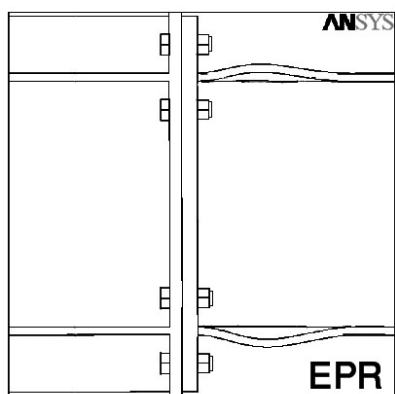
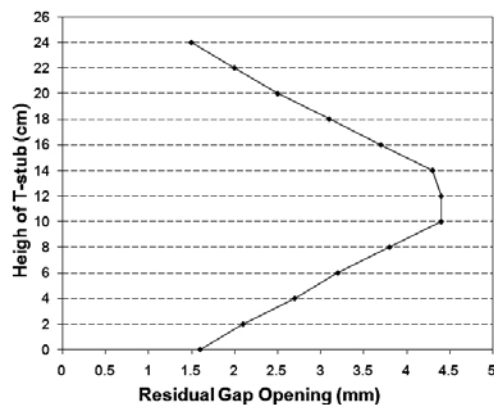
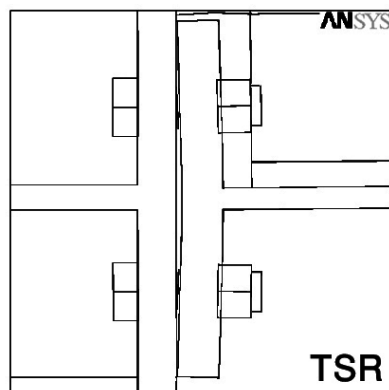
شکل (۱۱): پوش منحنی های هیستریزس لنگر - دوران کل نمونه ها

۳۲ درصد کاهش و دور کردن پیچها از جان تیر در نمونه های EP+1.5C و TS+3C بترتیب ۳۸ و ۱۸ درصد افزایش داده است. تغییرشکل ارتفاعی ماندگار لبه صفحه انتهایی و سپری اتصال نمونه های مرجع در گام آخر بارگذاری در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

- با توجه به منحنی های بازشدگی مرکز صفحه انتهایی یا سپری اتصال مجاور بال پایینی تیر (نقطه D) - دوران کل برای نمونه ها در شکل (۱۲) در می یابیم که کاهش فاصله پیچها تا جان تیر در نمونه های EP-1.5C و TS-3C ، بازشدگی حداکثر را نسبت به نمونه های مرجع متناظر بترتیب ۳۹ و



شکل (۱۲): منحنی بازشدگی نقطه D - دوران کل نمونه های مرجع



شکل (۱۳): تغییر شکل ارتفاعی ماندگار لبه صفحه انتهایی و سپری اتصال در نمونه های مرجع

توسط تیر و اتصال را بر حسب تعداد سیکل پلاستیک نشان میدهد، میتوان دریافت که با کاهش فاصله پیچها تا جان تیر در نمونه EP-1.5C، استهلاک انرژی کل به میزان ۳ درصد افزایش داشته است. علت این امر را میتوان در سخت شدگی ناحیه اتصال با نزدیک کردن پیچها به جان تیر و متعاقباً تغییر شکل و پلاستیک شدگی بیشتر تیر در سیکل های یکسان پلاستیک نسبت به نمونه مرجع متناظر دانست. این در حالیست که نزدیک کردن پیچها به جان تیر در نمونه TS-3C علیرغم افزایش تعداد سیکل پلاستیک، بعلت تغییر در عملکرد اتصال و الاستیک ماندن تیر، کاهش ۲۷ درصدی استهلاک انرژی کل را بدنبال داشته است. همچنین دور کردن پیچها از جان تیر در نمونه های EP+1.5C و TS+3C بترتیب با کاهش ۵ و ۲ درصدی استهلاک انرژی کل

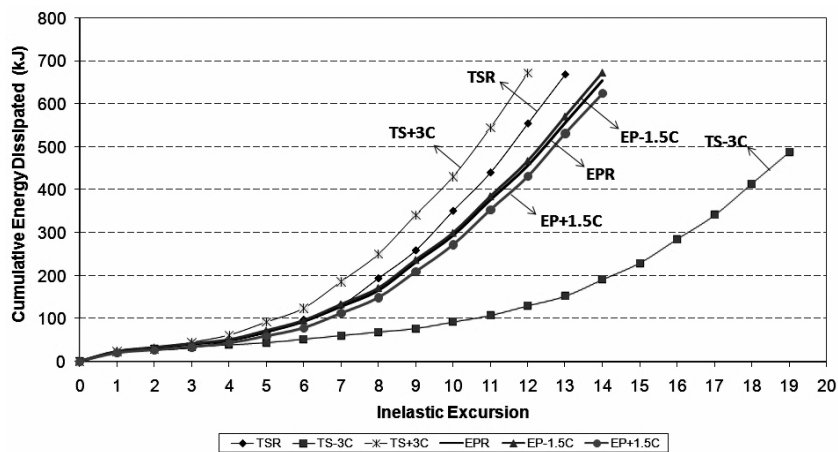
از آنجاییکه مد خرابی در کلیه نمونه های اتصال با صفحه انتهایی، تسلیم شدگی و کماتش موضعی بال و جان تیر بوده، بدین معنا که هیچگونه تسلیم شدگی قابل ملاحظه ای در صفحه انتهایی در انتهای بارگذاری دیده نشد، شکل (۸)، صد درصد استهلاک انرژی توسط تیر صورت پذیرفته است، در حالیکه در نمونه های با سپری اتصال با کاهش فاصله پیچ تا جان تیر در نمونه TS-3C بعلت تغییر مد خرابی، سهم سپری های اتصال در استهلاک انرژی ۶۷ درصد نسبت به نمونه مرجع TSR افزایش یافته و تیر نیز برخلاف نمونه مرجع که ۸۱ درصد در جذب انرژی سهم داشت، الاستیک باقیمانده و هیچ سهمی در استهلاک انرژی نداشته است.

\*- با توجه به شکل (۱۴) که میزان استهلاک انرژی

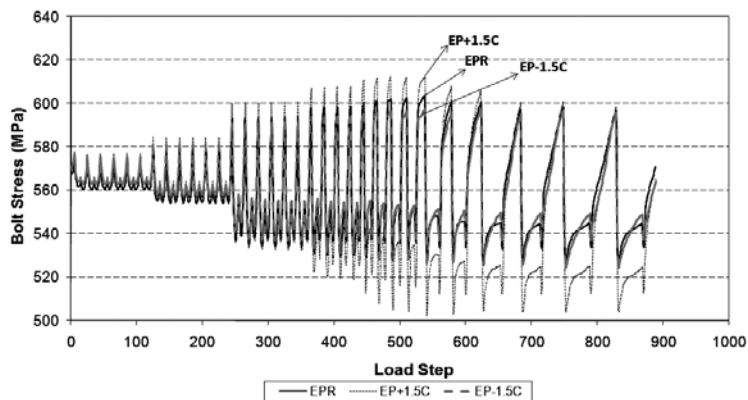
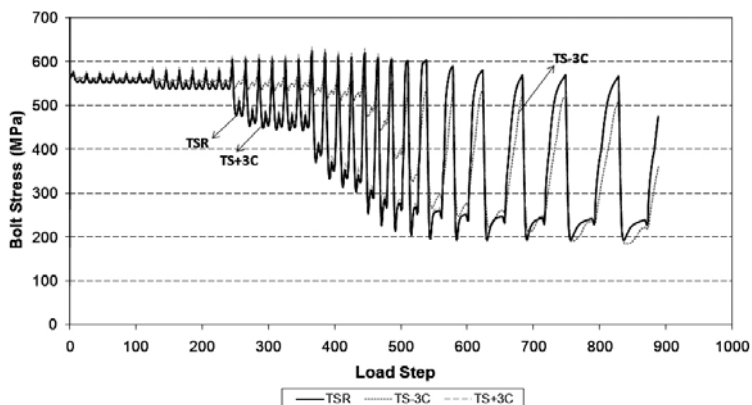
پیچها، تاثیر بسزایی در میزان حداکثر کاهش تنش محوری پیچ ها در طول بارگذاری نداشته است. روند تغییرات تنش پیش تنیدگی پیچ R در طول بارگذاری برای نمونه ها نسبت به نمونه مرجع متناظر در شکل (۱۵) دیده میشود.

نسبت به نمونه های مرجع متناظر همراه بوده است.

- با توجه به نسبت  $S_{B \min} / S_{B \min R}$  در جدول (۵) که بیانگر نسبت حداقل تنش محوری پیچ R در طول بارگذاری در نمونه ها به نمونه مرجع متناظر می باشد، میتوان ابراز داشت که تغییر فاصله افقی



شکل (۱۴): استهلاك انرژی توسط تیر و اتصال - تعداد سیکل پلاستیک در نمونه ها



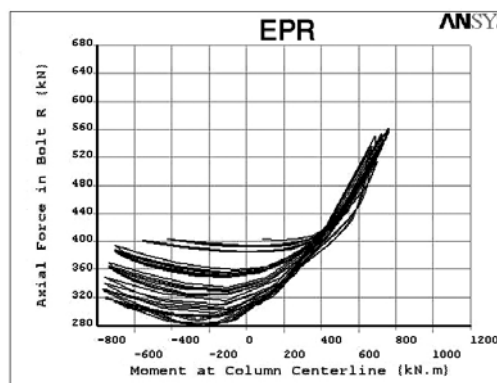
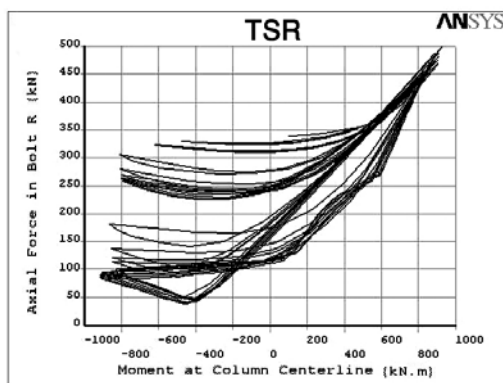
شکل (۱۵): تغییرات تنش پیش تنیدگی پیچ R- گامهای بارگذاری برای نمونه ها

در تیر باشد و صفحه انتهایی، پیچها و جوش الاستیک باقی بمانند[۶].

- نسبت  $S_{B \min}/S_p$  در جدول (۵) که بیانگر حداقل تنش محوری پیچ R در طول بارگذاری به تنش پیش تنیدگی اولیه آن است، در کلیه نمونه ها حاکی از کاهش تنش پیش تنیدگی در طول بارگذاری بوده که این میزان برای نمونه های مرجع TSR و EPR بترتیب با کاهش ۶۶ و ۷ درصدی تنش پیش تنیدگی اولیه همراه بوده است. نمودار نیروی محوری پیچ R - لنگر در خط مرکزی ستون در شکل (۱۶) برای نمونه های مرجع نحوه تغییرات نیروی پیش تنیدگی را در طول بارگذاری نشان میدهد، بر این اساس میتوان ابراز داشت که نیروی پیش تنیدگی در نمونه با سپری اتصال در انتهای بارگذاری کاهش چشمگیری را نسبت به نمونه با صفحه انتهایی داشته است بدین معنا که نیروی پیش تنیدگی اندکی در انتهای بارگذاری در پیچهای اتصال با سپری باقیمانده در حالیکه این میزان در نمونه با صفحه انتهایی قابل ملاحظه می باشد.

- شکل (۱۱) که پوش منحنی های هیستریزس لنگر- دوران کل نمونه های مرجع EPR و TSR را نشان میدهد ، حاکی از آنست که ظرفیت خمشی اتصال با سپری حدود ۲۱ درصد نسبت به اتصال با صفحه انتهایی بیشتر بوده، همچنین میزان حداکثر لنگر اتصال با سپری در دوران ۰/۰۳ رادیان و اتصال با صفحه انتهایی در دوران ۰/۰۲ رادیان رخ داده است. لازم به ذکر است ، سختی الاستیک نمونه اتصال با سپری حدود ۱۲ درصد نسبت به اتصال با صفحه انتهایی بیشتر بوده است.

- با توجه به نمودار شکل (۱۴)، میزان استهلاک انرژی کل دو نمونه مرجع این اتصالات تقریباً یکسان بوده است. این در حالیست که صفحه انتهایی در طول بارگذاری الاستیک باقیمانده و همه استهلاک انرژی توسط تیر صورت پذیرفته، لیکن سپری های اتصال ۱۶ درصد در استهلاک انرژی کل سهم بودند. لازم به ذکر است که FEMA350 نیز معتقد است که طرح اتصالات با صفحه انتهایی بایستی بگونه ای انجام شود که مد خرابی بصورت ترکیبی از تشکیل مفصل پلاستیک در تیر و جاری شدگی چشمه اتصال بوده یا تنها ناشی از ایجاد مفصل پلاستیک



شکل (۱۶): تغییرات نیروی پیش تنیدگی پیچ R- لنگر در خط مرکزی ستون نمونه های مرجع

سپری اتصال در اثر تغییر پارامتر فاصله افقی پیچ های اتصال به بال ستون تا خط مرکزی جان تیر با مدلسازی اجزاء محدود هشت نمونه زیرسازه اتصال در نرم افزار

## ۶- خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله بصورت تحلیلی به بررسی و مقایسه عملکرد تناوبی اتصالات پیچی تیر به ستون با صفحه انتهایی و



با سپری، طرح اتصال پیچی با صفحه انتهایی توصیه می‌گردد.

#### ۷- مراجع

1- Miller, D.K. 1998. Lessons learned from the Northridge earthquake. *Engineering Structures*, 20(4-6): 249-260.

2- Popov, Egor, Takhirov Shakhzod . 2002. Bolted large seismic steel beam-to-column connections Part 1: experimental study, *Engineering Structures* 24 (2002) 1523-1534.

3- Sumner, E.A. 2003. Unified design of extended end plate moment connections subject to cyclic loading ,Ph.D.Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and state university, Blackburg, Virginia.

4- ANSYS User Manual .2005. ANSYS, Inc.

۵- طاحونی، شاپور، "طراحی سازه های فولادی" انتشارات علم و ادب، تهران، ۱۳۷۸.

6- Federal Emergency Management Agency. 2000 . Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings. Report No. FEMA-350. California Universities for Research in Earthquake Engineering.

7- AISC.1980. Manual of steel construction, 8th edition. American Institute of Steel Construction :Chicago

ANSYS.Ver10. پرداخته شد. نتایج تحلیل دو نمونه از این اتصالات برای معتبرسازی شیوه مدلسازی اجزاء محدود با نتایج نمونه های آزمایشگاهی متناظر مقایسه و دقت آن مناسب ارزیابی شد. بررسی نتایج شش نمونه تحلیلی دیگر حاکی از آنست که تغییر پارامتر فاصله افقی پیچ های اتصال به ستون تا خط مرکزی جان تیر در اتصال پیچی تیر به ستون با صفحه انتهایی، مد خرابی را که تشکیل مفصل پلاستیک در تیر بوده تغییر نداده همچنین تغییر بسزایی در ظرفیت خمشی اتصال و استهلاک انرژی کل نداشته است در حالیکه کاهش فاصله افقی پیچها تا خط مرکزی جان تیر در اتصال با سپری منجر به تغییر مد خرابی از تشکیل مفصل پلاستیک در تیر به تشکیل مفصل پلاستیک در ساق سپری اتصال شده و کاهش چشمگیری را در ظرفیت خمشی اتصال و استهلاک انرژی کل بدنال داشته است. لازم به ذکر است که در طرح این اتصالات بر مبنای ضوابط آیین نامه AISC برای مقاطع یکسان تیر و ستون، ظرفیت خمشی و سختی الاستیک اتصال با سپری نسبت به اتصال با صفحه انتهایی بیشتر بوده و در دورانهای بزرگتری نسبت به اتصال با صفحه انتهایی به ظرفیت خمشی خود میرسد، در حالیکه میزان استهلاک انرژی کل آنها تقریباً یکسان است، همچنین سپری های اتصال در استهلاک انرژی سهمیم بوده لیکن صفحه انتهایی در طول بارگذاری الاستیک باقیمانده و همه استهلاک انرژی توسط تیر صورت پذیرفته است. ضمناً نیروی پیش تنیدگی پیچها در هر دو نوع اتصال در انتهای بارگذاری کاهش یافته لیکن میزان این کاهش در اتصالات با سپری نسبت به صفحه انتهایی بسیار چشمگیرتر می باشد.

بنابراین با توجه به حساسیت رفتاری و احتمال بیشتر تغییر مد خرابی اتصال پیچی با سپری نسبت به اتصال با صفحه انتهایی تحت بار تناوبی در اثر تغییر آرایش پیچهای اتصال به ستون ، در مواردی که احتمال ضعف در اجرا می رود، علیرغم بیشتر بودن ظرفیت خمشی اتصال