

بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال با سخت‌کننده پیرامونی پیشنهادی در قاب‌های خمشی

عادل یونسی^۱ و امید رضایی فر^{۲*}

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲	جهت تأمین صلبیت اتصال در سیستم قاب خمشی از ورق‌های پیوستگی در تراز بال‌های تیر استفاده می‌شود. در ستون‌های قوطی شکل بعلت بسته بودن مقطع، اجرای آن دشوار بوده و از قابلیت اعتماد چندانی برخوردار نیست. تحقیق حاضر به معرفی یک اتصال جدید با سخت‌کننده‌های خارجی می‌پردازد. در اتصال پیشنهادی از سخت‌کننده‌های خارجی دوزنقه‌ای شکل در تراز بال‌های تیر استفاده شده است تا ضمن انتقال ایمن نیرو از تیر به ستون بتواند ضوابط لرزه‌ای اتصال را به خوبی برآورده نماید. اتصال مذکور در دو حالت با ستون قوطی شکل خالی و پر شده با بتن بررسی شده و آنالیز حساسیت ضخامت سخت‌کننده‌ها انجام شده است. جهت نیل به اهداف تحقیق از نرم‌افزار ANSYS استفاده شده است. در مدل‌سازی مقاطع فولادی از المان SHELL و جهت مدل‌سازی بتن از المان SOLID استفاده شده است. پارامترهایی که در تحقیق حاضر جهت بیان کفایت اتصال مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از: مقاومت، درصد گیرداری، رفتار چرخه‌ای اتصال، شکل پذیری، جذب انرژی و توزیع تنش در بر اتصال. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که اتصال معرفی شده ضوابط لرزه‌ای اتصال را به خوبی تأمین می‌نماید و با توجه به افزایش عرض بال تیر در نواحی اطراف ستون مفصل پلاستیک را به منطقه امن و کنترل شده‌ای داخل تیر هدایت می‌کند.
پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴	
واژگان کلیدی:	
قاب خمشی، ورق پیوستگی، سخت‌کننده خارجی، ستون قوطی، CFT.	

۱- مقدمه

با توجه به رشد روز افزون جمعیت و محدود بودن فضای شهری جهت ساخت‌وساز، استفاده از ساختمان‌های بلند مرتبه گسترش یافته است. از آنجایی که فولاد دارای نسبت مقاومت به وزن بالایی است، ساختمان فولادی مورد توجه طراحان و سازندگان قرار گرفته است. ستون بعنوان مهم‌ترین عضو سازه جهت تحمل بارهای ثقلی و جانبی در سازه‌های قاب خمشی باید دارای ممان اینرسی بالا در دو جهت باشد. ستون‌های قوطی شکل دارای مقطع متقارن و ممان اینرسی بالا در دو جهت می‌باشند. کاربرد ستون‌های قوطی پر شده با بتن (CFT)^۲ به اوایل سال ۱۹۰۰ باز می‌گردد. هنگامیکه شماری از پل‌ها و ساختمان‌ها با بکار بردن ستون‌های CFT ساخته شده‌اند. تعدادی از آنها عبارتند از: تقاطع جهت‌دهنده بزرگراه آلموندبری در

انگلستان، خطوط راه‌آهن چارلروی بلژیک، اتحادیه کارگری بین‌المللی در ژنو و یک ورزشگاه در مارتیگنی-بوری در سوئیس. بعلت خواص ویژه‌ای که اینگونه ستون‌ها دارند شناسایی رفتار آنها حائز اهمیت می‌باشد. حدود ایجاد شده توسط قالب فلزی، خواص بتن را با قرار دادن بتن تحت یک حالت سه‌محوری بهبود می‌بخشد و از طرفی از کمناش داخلی لوله فولادی توسط بتن جلوگیری می‌کند. خواص افزایش یافته CFT ها می‌تواند بر حسب رفتار مختلط بین لوله فولادی و هسته بتنی بیان شود.

آئین‌نامه‌های طراحی، جهت انتقال مناسب بار از تیر به ستون، تعبیه ورق‌های پیوستگی در تراز بال‌های تیر در جان ستون را پیشنهاد می‌کنند. اجرای این ورق‌ها در ستون‌های H، بعلت باز بودن مقطع، دسترسی آسان و جوش کامل ورق‌ها به وجوه ستون ایمن می‌باشد، اما در ستون‌های

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: orezayfar@semnan.ac.ir

۱. دکتری عمران-سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

² Concert Filled Tube

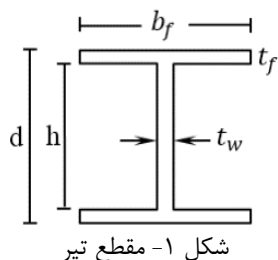
قوطی شکل بعلت بسته بودن مقطع، اجرای این ورق‌ها مشکل بوده و ممکن است گاهاً جوش بعد چهارم ورق به ستون فراموش شود و یا با برشکاری و جوشکاری زیاد جهت مونتاژ ورق همراه باشد. در ستون‌های فولادی پر شده با بتن علاوه بر موارد فوق‌الذکر جهت بتن‌ریزی ستون باید در سطح ورق پیوستگی سوراخی تعبیه شود که به نوبه خود سبب کاهش عملکرد ورق پیوستگی می‌شود، بر همین اساس استفاده از سخت‌کننده‌های خارجی بعنوان جایگزین، توسط محققین پیشنهاد شده، تا ضمن برآورده نمودن ضوابط لرزه‌ای آئین‌نامه، مشکلات مربوط به اجرای دشوار و نامطمئن ورق‌های پیوستگی را مرتفع نمایند.

شانموگام و همکاران [۱]، جزو اولین گروه‌هایی بودند که در بحث جایگزینی ورق‌های پیوستگی و یافتن سخت‌کننده خارجی مناسب گام برداشتند. در روند تحقیق، سخت‌کننده‌های مختلفی را مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها نمونه‌ها را بصورت آزمایشگاهی و تحلیلی مورد مطالعه قرار داده‌اند و معیارهای یک اتصال ایمن و مقاوم را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج مبین این مطلب است که استفاده از سخت‌کننده خارجی T شکل از نظر مقاومت، گیرداری، رفتار لنگر-دوران، رفتار غیرخطی و دیگر پارامترها بهترین عملکرد را در بین سایر اتصالات به خود اختصاص داده و جایگزین بسیار مناسبی برای اتصال با ورق پیوستگی داخلی می‌باشد. علاوه بر این بر اساس مطالعات روابط طراحی نیز توسط این تیم تحقیقاتی ارائه شده است. نوع دیگر اتصالات با سخت‌کننده خارجی توسط میرقادری و ترابیان [۲ و ۳] ارائه شده است. اتصال معرفی شده یک اتصال جدید به شکل ورق‌های قطری و قائم گذرنده می‌باشد. اتصال مدنظر ضمن تأمین ضوابط لرزه‌ای موردنظر، سبب حذف ورق پیوستگی از داخل ستون شده و مسیر انتقال بار جایگزین مناسب ایجاد می‌نماید. تحقیق مورد نظر به صورت آزمایشگاهی و اجزا محدودی صورت گرفته است و نهایتاً روش طراحی جدید برای این اتصال معرفی شده است. دیگر مطالعات انجام گرفته بر روی اتصال تیرهای I شکل به ستون قوطی برای مناطق لرزه خیز می‌توان به مطالعات عددی و آزمایشگاهی انجام شده توسط گوسوامی و مورتی [۴] اشاره نمود. در این مطالعات جهت تقویت اتصال از ورق‌های لچکی مورب بر روی بال‌های فوقانی و تحتانی تیر استفاده شده است و رفتار اتصال پیشنهادی با اتصالات معمول مقایسه گردیده است. علاوه بر این مطالعات وسیع

عددی و آزمایشگاهی بر روی اتصال تیرهای قوی با استفاده از ناودانی‌های متصل بر روی بال‌های فوقانی و تحتانی تیر توسط کامر و راثو [۵ و ۶] انجام گرفته است که علت آن فائق آمدن بر مشکل اجرای دشوار و نامطمئن اتصالات با ورق پیوستگی بوده است. نتایج تحقیق بصورت منحنی‌های هیستریزس و مکانیک شکست ارائه شده است. نتایج مبین این است که اتصال مذکور از شکل‌پذیری و انرژی جذب مناسبی برخوردار است و قابلیت استفاده برای قاب‌های نیمه صلب را نیز دارا می‌باشد. مالک و حاجی‌فتحعلی [۷] بر روی عملکرد اتصال تیر I شکل به ستون قوطی در حالت‌های مختلف در حضور و عدم حضور ورق‌های پیوستگی با و بدون بتن پرکننده و همچنین استفاده از ورق‌های مثلثی پیرامونی با و بدون جوش این ورق‌ها به گوشه‌ی ستون‌ها در انواع مختلفی از سخت‌کننده‌ها مطالعاتی انجام داده‌اند. در حیطه‌ی مطالعات انجام شده و نمونه‌های بررسی شده مشخص شده است که در اتصال با ورق‌های مثلثی پیرامونی سختی و شاخص‌گیری قابل ملاحظه‌ای ارائه گردیده است و در صورت استفاده از بتن داخل ستون در چنین اتصالی، شاخص‌گیری اتصال افزایش می‌یابد. ویژگی‌های هندسی اتصال دارای ورق مثلثی پیرامونی منجر به ایجاد قابلیت تشکیل مفصل پلاستیک در تیر و موقعیت انتهای ورق‌های اتصال به فاصله‌ی مکفی و کنترل شده از بر ستون شده است. مطالعات آزمایشگاهی که در مورد اندرکنش لنگر خمشی و نیروی محوری انجام شده است شامل مطالعات صورت گرفته توسط دنی و همکاران [۸]، والد و اسوارس [۹]، داسیلوا و همکاران [۱۰]، دلیما و همکاران [۱۱]، فان و همکاران [۱۲] و هارمزا و همکاران [۱۳] است، تمرکز اصلی این مطالعات روی سختی چرخشی اتصال و زوال آن تحت بار چرخه‌ای بوده و اثر نیروی محوری فشاری روی زوال سختی چرخشی بوده است و علاوه بر این رفتار نهایی اتصال تحت افزایش بار چرخه‌ای و نیروی محوری ثابت نیز تعیین شده است. نتایج آزمایشات صورت گرفته نشان می‌دهد که حضور یک نیروی بزرگ در تیر بطور قابل ملاحظه‌ای سبب اصلاح پاسخ اتصال می‌شود.

از آنجایی که در اتصال با ورق پیوستگی باید ضلع چهارم ستون به صورت غیریکپارچه (سه تکه) و یا با جوش شیبی در راستای ورق‌های پیوستگی اجرا شود، بنابراین از نظر اجرایی دشوار بوده و گاهاً بعلت عدم جوش ضلع چهارم ورق

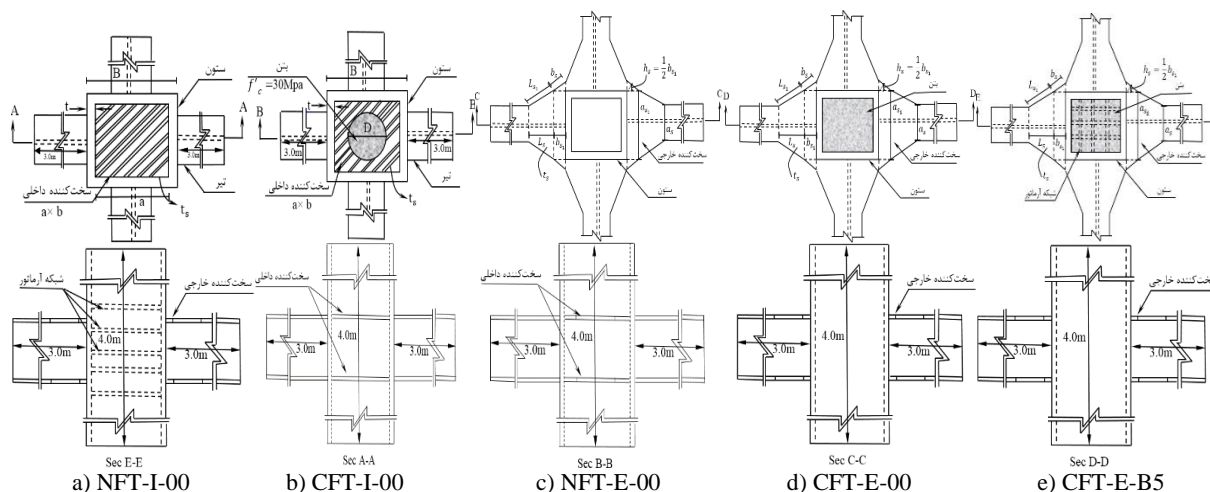
میلی‌متر و ارتفاع کلی ۴۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد که به دو صورت با و بدون بتن مورد ارزیابی قرار گرفته است. تیر مورد استفاده مقطع I شکل بوده که دارای بال‌های ۲۰۰×۱۵ میلی‌متر و جان ۴۰۰×۸ میلی‌متر است. شبکه‌های داخلی از آرماتوهای با قطر مقطع ۲۵ میلی‌متر می‌باشند. سایر مشخصات هندسی مدل‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. قابل ذکر است که مدل CFT-E-B5 همان اتصال پیشنهادی تحقیق است. در مدل‌های با بتن جهت انتقال مناسب و ایمن بار (برش و خم) از جداره فولادی خارجی به هسته بتنی داخلی از برشگیرهای نبشی در فواصل ۵۰ سانتی‌متری در طول ستون و در چهار وجه آن استفاده شده است. مقطع تیر و جزئیات نمونه‌ها در اشکال (۱) و (۲) نشان داده شده است.



به ستون از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار نبوده و انتقال بار به خوبی صورت نمی‌گیرد، بر همین اساس اتصال با سخت‌کننده خارجی جهت جایگزینی پیشنهاد شده است. در تحقیق حاضر به ارائه یک اتصال جدید با سخت‌کننده‌های خارجی دوزنقه‌ای شکل با ستون‌های قوطی شکل خالی و پر شده با بتن پرداخته شده است. مشابه اتصال مذکور در آیین‌نامه‌های معتبر دنیا ارائه شده است اما تفاوت اصلی آن این است که در حدفاصل بین بال‌های تیرهای کنار هم از ورق مثلی استفاده شده که سبب یکپارچگی و صلبیت بیشتر اتصال شده و در انتقال ایمن بار کمک شایانی می‌کند. علاوه بر این جهت بهبود کارایی اتصال و تاثیر توامان شبکه‌های آرماتور و سخت‌کننده‌های پیرامونی نوعی اتصال جدید معرفی شده است. در ادامه کارایی این اتصال با روش‌های سنتی صلب نمودن اتصال مقایسه شده است.

۲- معرفی مدل‌ها

در این مقاله ۵ مدل با سخت‌کننده‌های داخلی و خارجی ارائه و بررسی شده است. ستون مورد نظر بصورت قوطی شکل مربعی با ابعاد ۴۵۰ میلی‌متر و ضخامت ورق ۲۵



الاستوپلاستیک می‌توان استفاده کرد. در این تحقیق برای مدل کردن رفتار فولاد از منحنی دوخطه الاستوپلاستیک نشان داده شده در شکل (۳) استفاده شده است. فولاد انتخاب شده از نوع معمول فولاد مورد استفاده در ایران یعنی ST37 می‌باشد. قابل ذکر است رفتار در نظر گرفته شده برای آرماتور و ورق‌های فولادی کاملاً مشابهت دارد.

۳- فرضیات مدل‌سازی

۳-۱- مشخصات مصالح و مدل

در مدل‌های مورد نظر مصالح موجود فولاد و بتن می‌باشد. فولاد دارای منحنی تنش-کرنش الاستوپلاستیک است. با توجه به این که تحلیل غیرخطی مصالح مورد نظر می‌باشد، مدل‌سازی رفتار بعد از تسلیم نیز لازم است. در برنامه ANSYS برای مدل کردن رفتار فولاد از انواع منحنی‌های

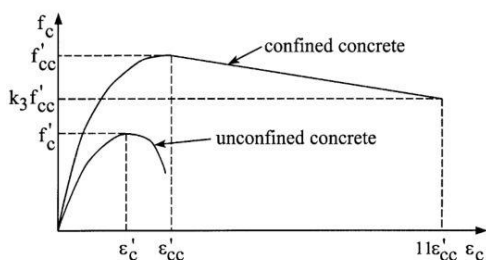
جدول ۱- معرفی مدل‌ها

سخت‌کننده‌ها		NFT-I-00	CFT-I-00	NFT-E-00	CFT-E-00	CFT-E-B5
سخت‌کننده داخلی		*	*	-	-	-
	Ts	15	15	-	-	-
	Axb	400x400	400x400	-	-	-
	D	-	210	-	-	-
سخت‌کننده خارجی		-	-	*	*	*
	ts	-	-	15	15	15
	bs	-	-	212	212	212
	bsl	-	-	150	150	150
	ls	-	-	500	500	500
	lsl	-	-	515/4	515/4	515/4
	as	-	-	200	200	200
	asl	-	-	450	450	450

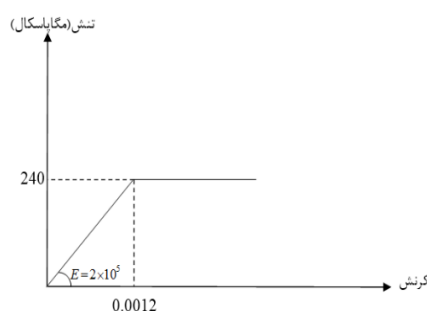
روابط f_1 معرف فشار حصورشدگی اطراف هسته بتنی می‌باشد. همچنین با توجه به این که مصالح بکار گرفته شده فولاد می‌باشد، معیار تسلیم، فون مایسز انتخاب شده است. قانون سخت‌شوندگی نیز ایزوتروپیک انتخاب شده است.

$$f'_{cc} = k_4 f'_c + k_1 f_1 \quad (1)$$

$$\epsilon'_{cc} = \epsilon'_c \left(1 + k_2 \frac{f_1}{f'_c} \right) \quad (2)$$



شکل ۴- منحنی تنش کرنش بتن محصور شده [۱۴]



شکل ۳- منحنی الاستوپلاستیک فولاد

برای مصالح بتنی با توجه به اینکه بتن داخل ستون در عمل به بتن محصور شده تبدیل می‌شود، بنابراین در اینجا تلاش شده که این موضوع در انتخاب ضوابط و منحنی رفتاری تنش-کرنش بتن (شکل ۴) نیز لحاظ گردد و رابطه متناظر با آن نیز در روابط (۱) و (۲) ارائه شده است. در روابط مذکور مطابق تحقیقات ریچارت و همکاران [۱۵]، K_1 و K_2 به ترتیب ۴/۱ و ۲۰/۵ و K_4 کوچکتر از ۱ می‌باشند. در این

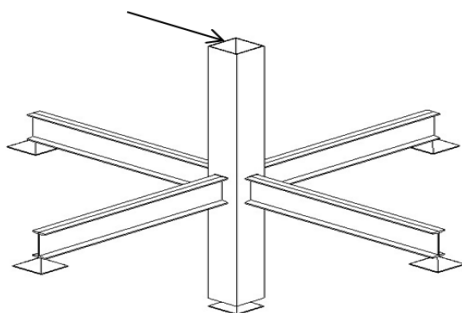
جدول ۲- مشخصات مصالح مصرفی

مصالح	تنش تسلیم (MPa)	تنش نهایی (MPa)	مقاومت مشخصه (MPa)	مدول الاستیسیته (MPa)	نسبت پواسون	وزن مخصوص (kN/m^3)
فولاد	240	370	-	2×10^5	0.3	78.55
بتن	-	-	30	0.27×10^5	0.2	24.00

محور مختصات می‌باشد. این المان قابلیت مدل‌سازی اجزای با ضخامت متغیر را نیز دارا می‌باشد. المان SOLID65 برای مدل‌سازی اجزای سه بعدی بتن مسلح یا غیر مسلح بکار می‌رود. این المان قابلیت ترک خوردگی در هنگام اعمال تنش‌های کششی و همچنین قابلیت خردشدگی در هنگام اعمال تنش‌های فشاری را دارد. مشخصه این المان خصوصیات غیر خطی و قابلیت ترک خوردگی و خردشدگی در سه جهت عمود بر هم و همچنین

برای مدل کردن فولاد از المان‌های مختلفی از جمله SHELL, SOLID می‌توان استفاده کرد. در این تحقیق از المان پوسته‌ای سه بعدی چهار گره‌ای SHELL181 استفاده شده است. این المان اثرات هر دو تغییرشکل خمشی و غشایی را به خوبی در نظر می‌گیرد. المان دارای ۶ درجه آزادی در هر گره می‌باشد که شامل ۳ درجه آزادی انتقالی U_x , U_y و U_z در امتداد سه محور مختصات و ۳ درجه آزادی دورانی ROT_x , ROT_y , ROT_z حول سه

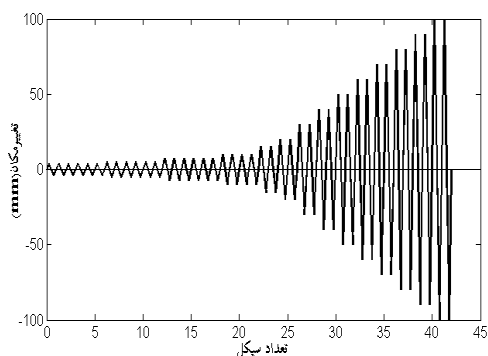
صورت اعمال نیرو و تغییرمکان افقی در بالای ستون می باشد. نمای کلی اتصال در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶- نمای کلی اتصال و نحوه اعمال بار به آن

۳-۳- بارگذاری مدل‌ها

تحلیل‌های انجام شده در این تحقیق بر دو نوع استوار بوده که شامل آنالیز استاتیکی تک‌آهنگ که به صورت افزایشی است و آنالیز هیستریزیس که به صورت رفت و برگشتی می‌باشد. اساس تحلیل تک‌آهنگ بصورت کنترل بار بوده و اساس تحلیل هیستریزیس بصورت کنترل تغییرمکان می‌باشد. نمودار تاریخچه زمانی بارگذاری مطالعه حاضر منطبق بر الگوی بارگذاری SAC97 [۱۷] می‌باشد که جرئیات آن در شکل (۷) نشان داده شده است. قابل ذکر است، از آنجایی که الگوی بارگذاری SAC97 براساس سیکل-دوران است جهت تبدیل آن به سیکل-تغییرمکان، اختلاف دوران دو سر ستون را در ارتفاع ستون ضرب نموده تا مطابق شکل (۷) الگوی تغییر یافته حاصل شود.

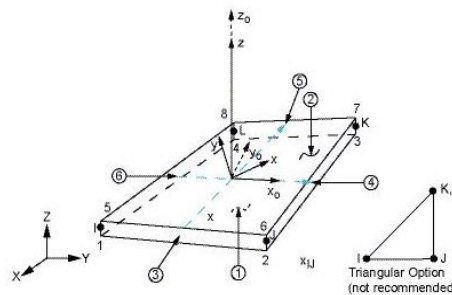


شکل (۷) نمودار تاریخچه زمانی بارگذاری SAC97 [۱۷]

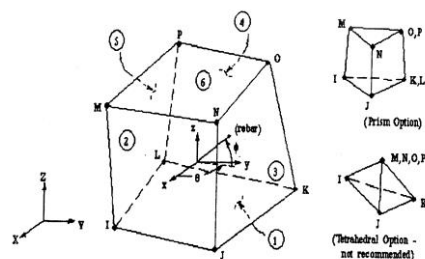
۴- صحت‌سنجی تحلیلی مدل

علیرغم اینکه مطالعات آزمایشگاهی دارای دقت و اعتبار بالایی می‌باشند ولی با توجه به اینکه هزینه‌بر و زمانبر بوده و نیاز به امکانات و تجهیزات خاص دارند کمتر مورد توجه محققین قرار می‌گیرند. بر همین اساس استفاده از نرم-افزارهای اجزاءمحدود جهت مطالعه مورد توجه قرار گرفتند. باتوجه به اینکه هدف از مدل‌سازی در نرم‌افزار بدست آوردن

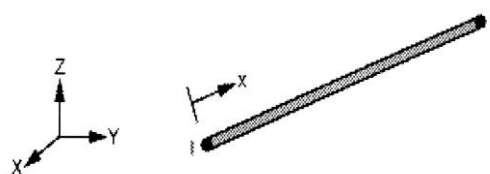
قابلیت مدل کردن تغییر شکل‌های پلاستیک و خزش می‌باشد. Link8 یک المان با رفتار خریایی و دارای قابلیت‌های کشش و فشار می‌باشد. این المان دارای دو گره و هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی در جهات x , y و z می‌باشد (U_x, U_y, U_z). همچنین این المان قابلیت مدل کردن پلاستیسیته و خزش را نیز دارد.



SHELL181 (الف)



SOLID65 (ب)



Link8 (ج)

شکل (۵) مشخصات المان‌های مورد استفاده [۱۶]

در تمامی مدل‌های با بتن جهت اتصال بین بتن و میلگردها و بتن با جداره فولادی از المان تماسی Glue استفاده شده است.

۳-۲- شرایط مرزی

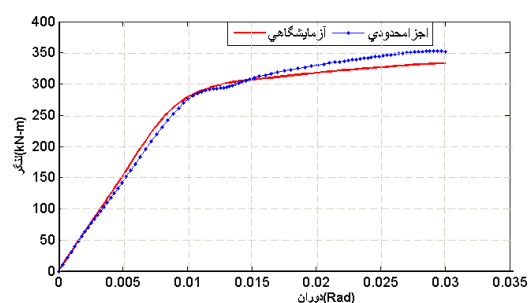
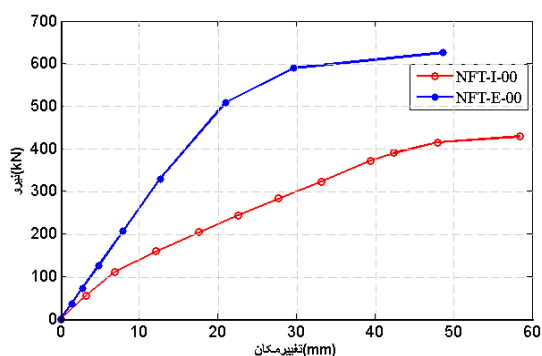
مدل بکار رفته به این صورت بوده که چهار تیر هر کدام به طول ۳ متر از چهار طرف به یک ستون قوطی به طول ۴ متر متصل می‌شوند. انتهای هر کدام از تیرها و پای ستون روی تکیه‌گاه مفصلی قرار دارد. برای جلوگیری از تمرکز تنش در انتهای هر کدام از تیرها و پای ستون تمامی گره‌ها را به هم زوج کرده تا یکپارچه عمل کنند. شرایط مرزی در این تحقیق به گونه‌ای است که تمامی درجات آزادی انتقالی در انتهای تیرها و پای ستون مقید شده‌اند و اعمال بار به

صورت منحنی ممان- دوران ارائه شده است. نتایج اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی موجود در مقاله شانموگام و همکاران مقایسه شده است، تطابق خوب نتایج صحت کار مدل‌سازی را تأیید کرده است (میزان خطا حدود ۴/۵ درصد). جدول ۳ جزئیات مدل را نشان می‌دهد. مقایسه منحنی ممان- دوران آزمایشگاهی و تحلیلی نمونه سخت شده با سخت‌کننده T در شکل (۸) و نمای کلی آزمایش در شکل (۹) ارائه شده است. واسنجی صورت گرفته برای بررسی بارافزون بوده و از آنجایی که بررسی اتلاف انرژی و رفتار چرخه‌ای از اهداف اصلی تحقیق نبوده لذا بررسی واسنجی منحنی هیستریزس صورت نگرفته است.

رفتار واقعی سازه با تقریب قابل قبول می‌باشد، عوامل مختلفی مانند: نوع المان، اندازه مش، شرایط تکیه‌گاهی، نوع رفتار مصالح و... روی رفتار نهایی مدل تأثیر می‌گذارند. بنابراین انتخاب صحیح موارد ذکر شده سبب افزایش دقت حل می‌شود. جهت بررسی و تأیید صحت کار مدل‌سازی با نرم‌افزار ANSYS، باید نتایج حاصل از تحلیل اجزای- محدود با نتایج آزمایشگاهی معتبر سنجیده شود. در این تحقیق برای تأیید مدل‌سازی از یک نمونه آزمایشگاهی ارائه شده توسط شانموگام و همکاران [۱] استفاده شده است. نمونه با سخت‌کننده خارجی T توسط نرم‌افزار ANSYS مدل و آنالیز شده و نتایج حاصل به

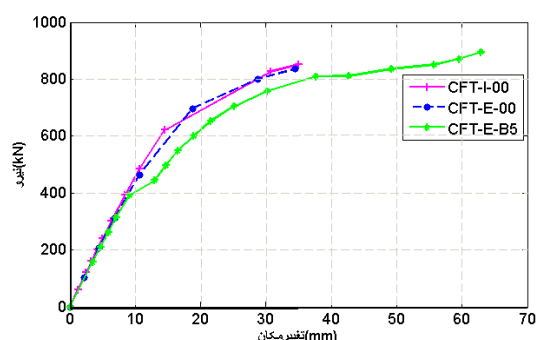
جدول ۳- جزئیات نمونه [۱]

نام نمونه	ابعاد تیر $mm \times mm \times (Kg / m)$	ابعاد ستون $mm \times mm \times (Kg / m)$	نوع سخت‌کننده	مقاومت نهایی نمونه و مدل ($kN - m$)	درصد اختلاف
MT1	$305 \times 165 \times 38.69$	$250 \times 250 \times 9$	T (طول ۳۰۰ میلی‌متر)	۳۳۵ و ۳۵۰	۴/۵



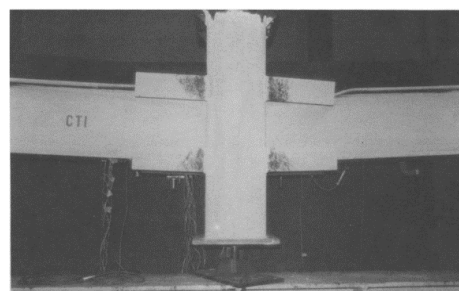
شکل ۸- منحنی ممان- دوران نمونه با سخت‌کننده خارجی T

شکل ۱۰- منحنی بار- تغییر مکان مدل‌های فاقد بتن



شکل (۱۱) منحنی بار- تغییر مکان مدل‌های با بتن

اشکال (۱۰) و (۱۱) منحنی بار تغییر مکان مدل‌ها را نشان می‌دهند. همان‌طور که از شکل (۱۰) پیداست جانمایی سخت‌کننده خارجی به جای ورق پیوستگی تأثیر چندانی روی رفتار کلی اتصال ندارد. به نظر می‌رسد حضور بتن سبب شده تا عملکرد اتصال مجزا از نوع سخت‌کننده باشد. از طرفی



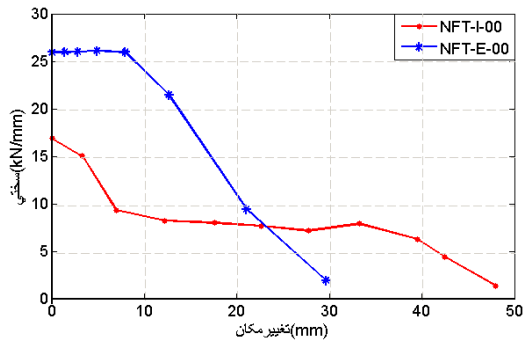
شکل ۹- آزمایش مدل با سخت‌کننده T [۱]

۵- بررسی نتایج

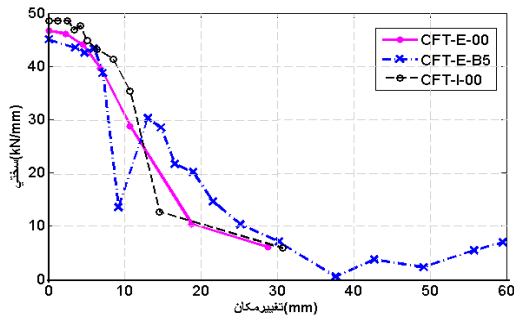
۵-۱- آنالیز تک‌آهنگ

بار بصورت افزایشی به ستون اعمال شده تا به مرحله اضمحلال برسد. تغییر مکان در هر مرحله به ازای افزایش بار ثبت شده و منحنی بار-تغییر مکان اتصالات رسم می‌شود، (شکل ۱۰). پارامترهای مقاومت نهایی، گیرداری و شکل‌پذیری از منحنی‌ها استخراج می‌شوند.

اتصالات است.



شکل ۱۲- منحنی زوال سختی مدل‌های فاقد بتن



شکل ۱۳- منحنی زوال سختی مدل‌های با بتن

از شکل (۱۲) نتیجه می‌شود، مدل با سخت‌کننده خارجی دارای سختی اولیه به مراتب بالاتری نسبت به مدل با ورق پیوستگی است ولی نرخ کاهش سختی آن نیز بیشتر است و نهایتاً در لحظه اضمحلال سختی باقی مانده اتصالات تقریباً یکسان است. در مدل‌های با بتن موضوع کمی متفاوت است، بگونه‌ای که سختی اولیه هر سه مدل تقریباً مشابه بوده و نرخ کاهش سختی دو مدل با سخت‌کننده خارجی و ورق پیوستگی نیز یکسان می‌باشد اما مدل پیشنهادی دارای تغییرات نوسانی در سختی بوده که علت این امر روی کار آمدن شبکه‌ها در حین باربری است که سبب افزایش سختی در تغییر مکان ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر می‌شوند.

حضور ۵ شبکه آرماتور افقی در چشمه اتصال سبب افزایش مقاومت نهایی و طاقت اتصال شده و نهایتاً منجر به افزایش شکل‌پذیری و اتلاف انرژی خواهد شد. در حالتی که ستون فاقد بتن (شکل ۱۰) می‌باشد، سخت‌کننده خارجی عملکرد به مراتب بهتری نسبت به ورق پیوستگی داشته و سطح زیر منحنی بیشتری می‌دهد و معیارهای لرزه‌ای را بخوبی تأمین می‌کند. مقادیر لرزه‌ای اتصالات در جدول ۴ ارائه شده است. استفاده از سخت‌کننده خارجی در مدل فاقد بتن سبب افزایش حدود ۴۶/۱ درصدی مقاومت اتصال، و حدود ۱ درصدی گیرداری شده است، اما از آنجایی که سبب سخت‌تر شدن اتصال می‌شود، شکل‌پذیری اتصال کاهش یافته است. از طرفی، هنگامیکه این مدل‌ها در حضور بتن مورد مقایسه قرار گرفتند نتایجی مشابه بررسی فوق بدست می‌آید، با این تفاوت که در مدل پیشنهادی (CFT-E-B5) تمامی پارامترها بخصوص شکل‌پذیری افزایش قابل توجهی نشان می‌دهند. علاوه بر این از مقادیر جدول ۴ نتیجه می‌شود که حضور بتن در مدل‌های مشابه سبب افزایش مقاومت و گیرداری اتصال می‌شود و شکل‌پذیری نیز در تمامی مدل‌ها جز مدل با سخت‌کننده خارجی، کاهش نشان می‌دهد. این مطلب بیانگر نقش سخت‌کننده‌های داخلی (ورق پیوستگی و شبکه آرماتور) در ایجاد شکل‌پذیری مناسب است. علاوه بر این حضور شبکه‌های آرماتور در چشمه اتصال سبب بهبود تمامی پارامترهای اتصال شده است، که بیانگر مناسب بودن اتصال پیشنهادی جهت جایگزینی با ورق پیوستگی است.

۵-۱-۱- زوال سختی

تمامی مدل‌ها با گذشت زمان و افزایش بار دچار زوال می‌شوند و توانایی خود را در باربری از دست می‌دهند. منحنی‌های اشکال (۱۲) و (۱۳) بیانگر چگونگی کاهش سختی در

جدول ۴- مقادیر پارامترهای لرزه‌ای

نام مدل‌ها	درصد گیرداری (R %)	درصد تغییرات	تغییر مکان (میلیمتر)		شکل‌پذیری μ	درصد تغییرات	مقاومت نهایی $P_{max} (kN)$	درصد تغییرات	
			تسلیم	حد نهایی					
فاقد بتن	NFT-I-00	93.37	10.21	59.24	5.82	-4.30	42.84	+46.10	
	NFT-E-00	94.11	+0.79	8.82	49.15		5.57		62.59
پر شده با بتن	CFT-I-00	93.48	+2.43	7.61	35.83	4.71	-5.31	84.36	+0.86
	CFT-E-00	95.75		7.85	35.00	4.46		85.09	
	CFT-E-B5	96.18		+2.89	8.92	62.80		7.04	

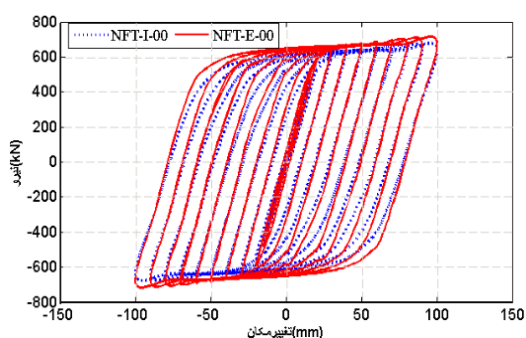
۵-۱-۲- مطالعه پارامتریک

از آنجایی که در تحقیق حاضر مدل‌های با سخت‌کننده خارجی پیشنهاد شده‌اند تا جایگزین ورق‌های پیوستگی شوند لازم است تا آنالیز حساسیت روی ضخامت سخت‌کننده‌ها انجام شود تا رفتار این اتصال در

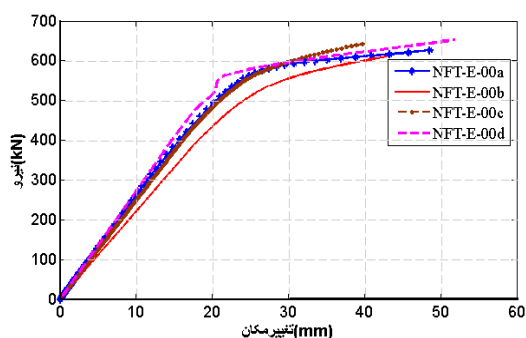
ضخامت‌های متفاوت بررسی شود. جدول ۵ ابعاد مدل‌های بررسی شده را نشان می‌دهد. مدل‌های جدول ۵ در نرم‌افزار مدلسازی و تحلیل شده‌اند که نتایج تحلیل به صورت منحنی‌های بار-تغییرمکان در اشکال (۱۴) و (۱۵) ارائه شده است.

جدول ۵- ابعاد هندسی مدل‌های NFT-E-00 و CFT-E-B5 برای آنالیز حساسیت

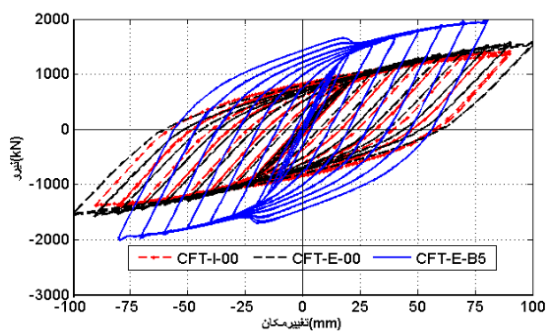
نام مدل	حالات مورد بررسی	ضخامت بال (mm)	ضخامت جان (mm)
NFT-E-00	NFT-E-00a	15	8
	NFT-E-00b	10	8
	NFT-E-00c	20	8
	NFT-E-00d	20	10
CFT-E-B5	CFT-E-B5a	15	8
	CFT-E-B5b	10	8
	CFT-E-B5c	20	8
	CFT-E-B5d	20	10



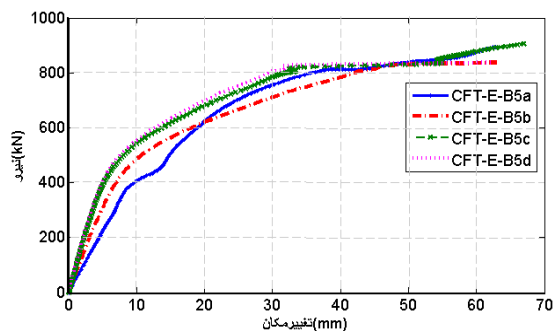
شکل ۱۴- منحنی هیستریز بار-تغییرمکان مدل‌های فاقه بتن



شکل ۱۵- منحنی بار-تغییرمکان حالات مختلف NFT-E-00



شکل ۱۶- منحنی هیستریز بار-تغییرمکان مدل‌های با بتن



شکل ۱۷- منحنی بار-تغییرمکان حالات مختلف NFT-E-B5

از منحنی‌های اشکال (۱۴) و (۱۵) نتیجه می‌شود که افزایش ضخامت جان سبب افزایش گیرداری اولیه اتصال شده ولی افزایش ضخامت بال (سخت‌کننده) تاثیر زیادی روی گیرداری اولیه اتصال ندارد، بلکه فقط سبب افزایش تغییر مکان نهایی اتصال شده که منجر به افزایش شکل-پذیری اتصال می‌شود.

چرخه‌ای بصورت کنترل تغییر مکان قرار گرفته‌اند و نتایج بصورت منحنی‌های هیستریز در اشکال (۱۶) و (۱۷) ارائه شده است. مطابق شکل (۱۶) استفاده از سخت‌کننده خارجی سبب عریض‌تر شدن منحنی شده است که استهلاک بیشتر انرژی را در پی خواهد داشت. در مدل‌های CFT، نیز نتایج مشابهی بدست آمده است که مبین کارایی این اتصال است. مدل پیشنهادی دارای سطح زیر نمودار بیشتری است و بیش از سایر مدل‌ها انرژی را مستهلک می‌کند. مطابق شکل (۱۷) استفاده از شبکه‌های آرماتور در

۵-۲- رفتار چرخه‌ای اتصال

جهت پی بردن به رفتار اتصال تحت بارهای رفت و برگشتی و توانایی اتصال در استهلاک انرژی، مدل‌ها تحت بارگذاری

پلاستیسیته از بر ستون به داخل بال تیر انجام می‌گردد. همچنین مقایسه‌ها نشان می‌دهد در مدل‌های دارای ورق پیرامونی، ابتدا ورق پیرامونی در بر اتصال پلاستیک شده و با افزایش بار پلاستیسیته در ورق پیشروی کرده و در انتهای ورق به تیر گسترش می‌یابد و مفصل پلاستیک بطور کامل در تیر تشکیل می‌شود. چنانچه که انتظار می‌رفت، موقعیت مفصل پلاستیک به اندازه‌ی طول ورق دوزنقه‌ای از بر ستون فاصله گرفته است. تنش حداکثر در داخل تیر و با فاصله‌ی مناسب از بر اتصال در محل تشکیل مفصل پلاستیک اتفاق می‌افتد، که این موضوع نشان دهنده‌ی اثر مطلوب تقویت اتصال مورد مطالعه از راه دیافراگم پیرامونی است، که با توجه به فرم دوزنقه‌ای شکل سبب شده است که تشکیل مفصل پلاستیک در موقعیت مناسب و در فاصله‌ای برابر با طول ورق دوزنقه‌ای شکل از بر اتصال ایجاد گردد.

۶- نتیجه گیری

از آنجایی که اجرای ورق‌های پیوستگی مشکل و نامطمئن بوده، لذا محققین و آئین‌نامه‌های طراحی به استفاده از سخت‌کننده‌های خارجی روی آوردند. یکی از سخت‌کننده‌های مورد بررسی در این تحقیق ارائه شده است. در حیطه بررسی‌های صورت گرفته نتایجی بدست آمده که ذیلاً به آنها اشاره خواهد شد:

حضور سخت‌کننده خارجی به جای ورق پیوستگی در مدل فاقد بتن سبب افزایش حدود ۴۶ درصدی مقاومت و یک درصدی گیرداری می‌شود. علاوه بر این رفتار اتصال را تحت بارهای چرخه‌ای بهبود می‌بخشد و سبب استهلاک انرژی می‌شود. اتصال با سخت‌کننده پیرامونی سبب افزایش عرض بال تیر در نواحی اطراف ستون می‌شود و مفصل پلاستیک را به انتهای صفحات پیرامونی منتقل می‌کند و ملزومات ایده تیر ضعیف- ستون قوی را که مدنظر آئین‌نامه‌های طراحی است به خوبی برآورده می‌نماید. اجرای این اتصال در صورت استفاده از ستون‌های CFT براحتی ممکن خواهد بود. نتایج نشان داده که وجود بتن داخل ستون سبب بهبود پارامترهای لرزه‌ای شده و هنگامیکه شبکه‌های آرماتور به آن اضافه می‌شود تمامی معیارها به خوبی تأمین می‌شود که بیانگر مطلوب بودن اتصال جدید پیشنهادی است. علاوه بر این استفاده از شبکه‌های آرماتور در مدل با سخت‌کننده خارجی سبب افزایش ۲۱ درصدی استهلاک انرژی می‌شود که نشان می‌دهد حضور شبکه‌ها در بهبود رفتار چرخه‌ای اتصال بسیار موثرند.

مدل پیشنهادی در تمامی سیکل‌ها مقاومت را افزایش داده، اما بعلت افزایش سختی اتصال تغییرمکان اتصال را در هر سیکل نسبت به مدل‌های مورد بررسی کاهش می‌دهد. بطور کلی مقایسه منحنی هیستریزس نشان می‌دهد که استفاده از سخت‌کننده خارجی به جای ورق پیوستگی رفتاری مشابه دارند. انرژی مستهلک شده توسط اتصالات بر اساس منحنی هیستریزس هر اتصال در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- انرژی مستهلک شده توسط اتصالات

نام مدل‌ها	$E_{(i)} (J)$	$\frac{E_{(i)}}{E_{(NFT100)}} \times 100$
NFT-I-00	25249.19	100
CFT-I-00	19220	76.12
NFT-E-00	25859.69	118.26
CFT-E-00	19800	78.41
CFT-E-B5	27619.14	109.39

حضور بتن در مدل NFT-I-00 سبب کاهش میزان اتلاف انرژی تحت بار چرخه‌ای بعلت آسیب بتن در چرخه‌های میانی می‌شود. اما حضور سخت‌کننده خارجی سبب افزایش حدوداً ۱۸ درصدی میزان اتلاف انرژی می‌شود. در شرایطی که این مدل با حضور بتن بررسی شود، با کاهش میزان اتلاف انرژی همراه خواهد بود که تأییدکننده تأثیر منفی بتن در اتلاف انرژی در چرخه‌های بالا می‌باشد. در مدل پیشنهادی علیرغم وجود بتن، میزان استهلاک انرژی حدوداً ۲۱ درصد بیشتر از مدل CFT-E-00 است که علت آن وجود شبکه‌های آرماتور افقی داخل ستون می‌باشد.

۵-۳- توزیع تنش

توزیع تنش اتصالات پس از تحلیل تک‌آهنگ در شکل (۱۸) ارائه شده است. این شکل بیانگر نحوه توزیع تنش اتصالات در لحظه تشکیل مفصل پلاستیک است. همانطور که پیداست وضعیت تنش در نمونه‌های فاقد سخت‌کننده خارجی بسیار بحرانی‌تر از سایر مدل‌هاست. بطور کلی مکان‌های تشکیل مفصل پلاستیک تیر در انواع اتصال متفاوت می‌باشد، ولی نتایج بیانگر این مطلب است که، در اتصالاتی که پهنای بال تیر آنها در حضور ورق‌های دوزنقه‌ای پیرامونی در نزدیکی اتصال افزایش یافته باشد مفصل پلاستیک از بر ستون فاصله گرفته و به طور کامل در تیر تشکیل می‌گردد. با جا دادن بتن داخل ستون قوطی شکل، کرنش پلاستیک در ستون کاهش یافته و روند گسترش

مراجع

- [1] S. L. Lee, L. C. Ting and N. E. Shanmugam, "Use of external T-stiffeners in box-column to I-beam connections", *Journal of constructional Steel Research*, Vol. 26, 1993, pp. 77-98.
- [2] Sh. Torabian, S. R. Mirghaderi and F. Keshavarzi, "Moment-connection between I-beam and built-up square column by a diagonal through plate", *Journal of constructional steel research*, Vol. 70, 2012, pp. 385-401.
- [3] S. R. Mirghaderi, Sh. Torabian, and F. Keshavarzi, "I-beam to box-column connection by a vertical plate passing through the column", *Engineering Structures*, Vol. 32, No.8, 2010, pp. 2034-2048.
- [4] R. Goswami and C. V. R. Murty, "Externally reinforced welded I-Beam-to Box- Column seismic connection". *Journal of Engineering Mechanics ASCE*, Vol. 136, No.1, 2010, pp. 23-30.
- [5] S. R. Kumar Satish and D. V. Prasada Roa, "RHS beam-to-column connection with web opening- experimental study and finite element modeling", *Journal of constructional steel research*, Vol. 62, 2006, pp. 739-746.
- [6] D.V. Prasada Roa and S. R. Satish Kumar, "RHS beam-to-column connection with web opening-parametric study and design guidelines", *Journal of constructional steel research*, Vol. 62, 2006, pp. 747-756.
- [7] Sh. Mallek and M. Hajifathali, "Study the behavior of beam to box column", *Civil Engineering Infrastructure (Tehran university - Iran)*, Vol. 44, No.10, 2010, pp. 237-252.
- [8] L. Dunai, Y. Fukumoto, and Y. Ohtani, "Behaviour of steel-to-concrete connections under combined axial force and cyclic bending", *Journal of constructional steel research*, Vol. 36, No.2, 1996, pp. 121-147.
- [9] F. Wald and M. Švarc, "Experiments with end plate joints subject to moment and normal force. Contributions to experimental investigation of engineering materials and structures" CTU reports, Vol. 2, No.3, 2001, pp. 1-13.
- [10] L. S. D. Silva, de L.R. O. Lima., P. C. G. D. S. Vellasco, and S. A. L. D. Andrade, "Behaviour of flush endplate beam-to-column joints under bending and axial force", *Journal of constructional steel research*, Vol. 4, No. 2, 2004, pp. 77-94.
- [11] L. R. O. D. Lima, L. S. D. Silva, P. C. G. D. S. Vellasco, and S. A. L. D. Andrade, "Experimental evaluation of extended endplate beam-to-column joints subjected to bending and axial force", *Engineering Structures*, Vol. 26, No.10, 2004, pp. 1333-1347.
- [12] F. Fan, H. Ma, G. Chen, and S. Shen, "Experimental study of semi-rigid joint systems subjected to bending with and without axial force", *Journal of constructional steel research*, Vol. 68, No.1, 2012, pp. 126-137.
- [13] C. Haremza, A. Santiago, and L. S. D. Silva, "Experimental behaviour of heated composite steel-concrete joints subject to variable bending moments and axial forces", *Engineering Structures*, Vol. 51, 2013, pp. 150-165.
- [14] J. B. Mander., M. J. N Priestley, and R. Park, "Theoretical stress-strain model for confined concrete". *Journal of Structural Engineering*, ASCE; Vol. 114, No.8, 1998, pp. 1804-1823.
- [15] F. E. Richart, A. Brandtzaeg, and R. L. Brown, "A study of the failure of concrete under combined compressive stresses", *Bulletin 185*, Champaign (IL): University of Illinois Engineering Experimental Station, 1928.
- [16] ANSYS, ANSYS Manual Set (2003), ANSYS Inc, Southpoint 275 Technology Drive, Canonsburg, PA, 15317, USA.
- [17] P. Clark, "Protocol for Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of Beam-column Connection Test and other Experimental Specimen", SAC Joint Venture, Sacramento, California, 1997.