



مقایسه رفتار اتصالات کامپوزیت حاوی نانوسیلیس و بتن معمولی

محمد رضا حیاتی فر^{۱*}، امیر نادی^۲

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد الیگودرز، گروه عمران، الیگودرز، ایران m.reza.hayati@yahoo.com
۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم آباد، گروه عمران، خرم آباد، ایران amirnadi2000@yahoo.com

چکیده

استفاده از ترکیب مصالح در ساخت سازه ها به منظور سبک سازی، افزایش کارایی و سرعت ساخت متداول شده است. در این میان ستونهای فولادی پر شده با بتن در مقایسه با ستونهای مدفون در بتن دارای مزایایی از قبیل عدم نیاز به قالب بندی و میلگرد گذاری، اثر محصورکنندگی فولاد بر بتن، شکل پذیری و جذب انرژی بالا، کاهش افت و خزش بتن، سرعت ساخت بالا و ظرفیت باربری مناسب هستند. استفاده از فناوری های نو در صنعت ساختمان از جمله استفاده از نانوسیلیس به عنوان مواد افزودنی در بتن موجب افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن خواهد شد. در تحقیق حاضر به بررسی رفتار اتصالات کامپوزیت پرداخته خواهد شد و در اتصال تیر به ستون باکس از بتن معمولی و بتن حاوی نانوسیلیس استفاده می شود و رفتار لرزه ای این دو نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیلی به دست آمده نشان دهنده بهتر بودن رفتار لرزه ای تیر و ستون حاوی بتن دارای نانولوله کربنی می باشد که می تواند شکل پذیری اتصال را افزایش دهد و مقاومت خمشی اتصال را تا ۱۵ درصد افزایش دهد.

واژه های کلیدی: اتصال، بتن معمولی، نانولوله کربنی، کامپوزیت

۱- مقدمه

ترکیب خصوصیات فولاد و بتن در یک مقطع موجب گسترش روز افزون استفاده از ستون های CFT گردیده است. خصوصیات فولاد از جمله سرعت نصب و شکل پذیری بالا و خصوصیات بتن از جمله مقاومت فشاری و مقاومت در برابر آتش سوزی با یکدیگر ترکیب شده و اتصال مناسبی را تشکیل می دهند. ستون های قوطی نسبت به سایر مقاطع می توانند عملکرد بهتری داشته باشند و بتن موجود در ستون باکس دارای محصورشدگی قابل ملاحظه ای می باشد و این خود سبب افزایش مقاومت فشاری مقطع می گردد. تا کنون اتصالات ستون CFT مختلفی ایجاد شده است و در بسیاری از موارد تیر مستقیماً به ستون متصل شده است (۲ و ۱). آلوستاز و اشناپدر (۳ و ۴) به بررسی قاب های خمشی پرداختند که نتیجه آن شد که اتصال مستقیم تیر به ستون موجب اعوجاج شدید در چشمه اتصال می گردد. اتصالات پیچ شده یا ترکیبات اتصالات پیچ شده و جوش شده می تواند از مشکلات مربوط به خرابی جوش ترد و شکننده جلوگیری کنند (۵ و ۶ و ۷).

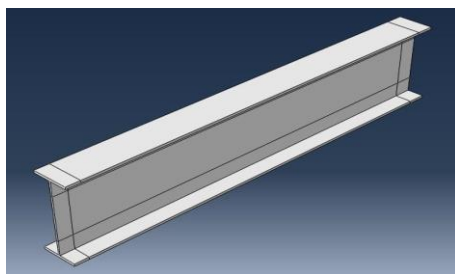


در کشور ما شناخت چندانی در مورد مقاطع مرکب و عملکرد آنها وجود ندارد و کارهای اجرایی (جز در موارد خاص) در این راستا صورت نگرفته است. در اکثر سازه‌های با مقاطع مرکب از اتصالات مفصلی با سیستم باربر جانبی بادبند یا دیوار برشی استفاده گردیده و به دلیل فقدان راهنمای طراحی و دتایل اجرایی مناسب از ظرفیت خمشی اتصال تیر به ستون استفاده نمی شود. با توجه به اینکه ایران کشوری لرزه خیز می باشد ضروری است تا در مورد عملکرد سازه‌های در حال ساخت بازبینی دقیقی صورت گیرد و تلاش شود تا با کاربرد مقاطع مرکب عملکرد سازه ها بهبود یابد برای این منظور باید تحقیقات جامع و کاملی در مورد مقاطع کامپوزیت و اتصالات آنها صورت گیرد و به موجب آن تغییرات شگرفی در صنعت ساخت و ساز ایران حاصل شود و باعث بهبود عملکرد سازه ها در برابر بارهای جانبی گردد .

مطالعه اثر چسبندگی بین جداره فولادی و هسته بتنی در سه حالت بارگذاری مختلف، تحلیل‌های عناصر محدود با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای ضریب اصطکاک بین هسته بتنی و جداره فولادی توسط جانسون و همکاران در سال ۲۰۰۲ انجام شده است. نتایج نشان داد، وقتی که بار فقط به مقطع بتنی اعمال می شود، رفتار سازه‌های و اثر محصور شونده در هسته بتنی به شدت تحت تأثیر چسبندگی بین جداره فولادی و هسته بتنی قرار می گیرد (۸) .
افزودن مقداری نانو سیلیس در سیمان موجب افزایش مقاومت خمشی و فشاری بتن می شود . همچنین به علت انعطاف پذیری بالا، نانوسیلیس به عنوان جذب کننده شوک عمل کرده و مانع ویرانی ساختمان ها و سازه های بتنی می شود (۹ و ۱۰) .

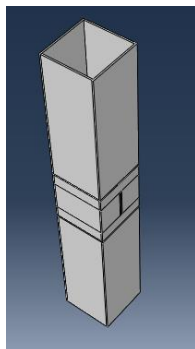
۲- مدل سازی اتصال

اتصال تیر به ستون باکس با استفاده از نرم افزار اجزای محدود آباکوس ABAQUS 6.13 مورد بررسی قرار گرفته است (۱۱) . برای مدل سازی تیر، ستون و سخت کننده ها از المان های C3D8R استفاده شده است . همه المان های فولادی و بتنی به صورت Solid مدل شده اند . همچنین در تحلیل اجزاء محدود معیار تسلیم فون مایسز در نظر گرفته شده است.
تعریف رفتار سطح مشترک بین بتن و فولاد از اهمیت بالایی در این مدل سازی برخوردار است. بدین منظور در جهت نرمال از تماس سخت و در جهت مماسی از مدل اصطکاکی استفاده شده است. در این مطالعه از اندرکنش به صورت تماس و جدایش استفاده شده، به طوریکه در قسمت بال فشاری، بتن مقاومت میکند و در قسمت بال کششی امکان جدایش بال مقطع فولادی ستون CFT از بتن وجود دارد. همچنین امکان نفوذ بتن و فولاد در یکدیگر وجود ندارد. در مدل سازی بتن از بتن آسیب دیده پلاستیک در نرم افزار استفاده شده است. این مدل برای شرایط بارگذاری چرخه ای مناسب می باشد. در این بخش نحوه مدل سازی قطعات و همچنین نوع قطعات مورد استفاده توضیحاتی ارائه می شود .
اولین قطعه ای که مدل سازی شده است تیر می باشد . تیر مورد استفاده از نوع $16*10*200*500$ H می باشد که اعداد به ترتیب معرف ارتفاع تیر ، عرض بال تیر ، ضخامت جان تیر و ضخامت بال تیر می باشد .



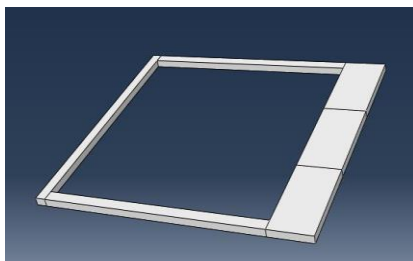


شکل ۱: تیر مدل سازی شده در برنامه آباکوس
دومین قطعه مدل سازی شده ستون می باشد که از نوع باکس با ابعاد ۱۵*۵۰۰*۵۰۰ می باشد .



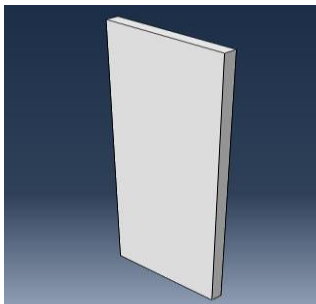
شکل ۲: ستون مدل سازی شده در برنامه آباکوس

قطعه مدل سازی شده بعدی نیز ورق کنارگذر می باشد که کار اتصال تیر به ستون را به عهده دارد و به صورت یک کمر بند دور ستون قرار می گیرد .



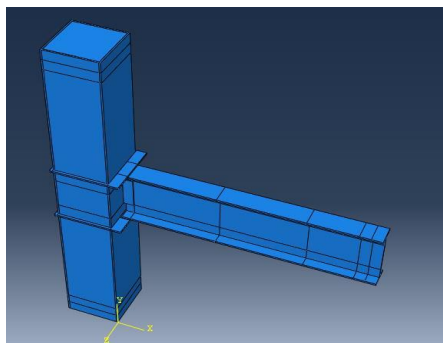
شکل ۳: ورق کنارگذر مدل سازی شده در برنامه آباکوس

در شکل (۴) نیز ورق های برش گیر اتصال تیر به ستون نشان داده شده اند .

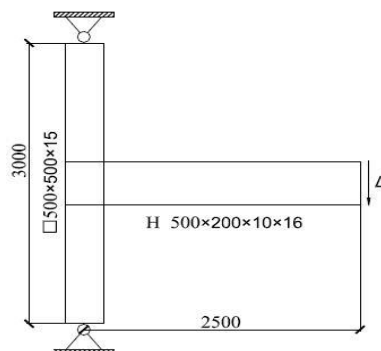


شکل ۴: ورق برشگیر مدل سازی شده در برنامه آباکوس

تیر



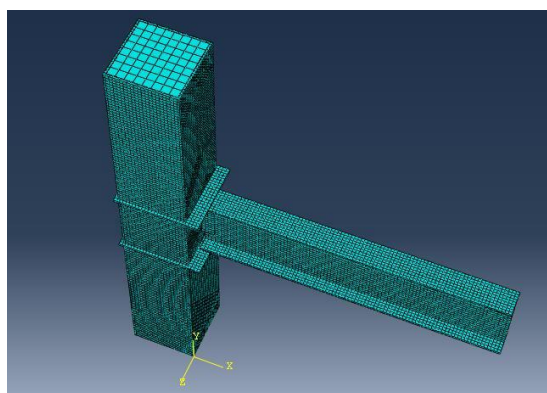
کلی اتصال
شکل (۵)
است .



نمای
به ستون در
آورده شده

شکل ۵: اتصال مدل سازی شده در برنامه آباکوس

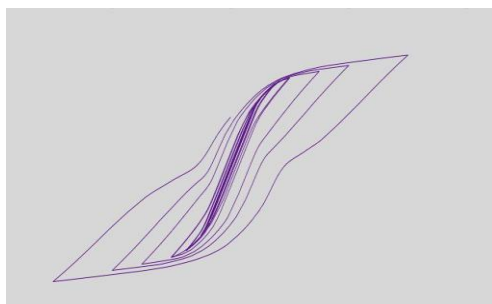
مش بندی اتصال با قطعات C3D8R می باشند و مش بندی کاملا منظم ایجاد شده است و تطابق خوبی بین مش بندی ایجاد شده در مدل سازی اجزای محدود و مش بندی مرجع وجود دارد و در شکل ۶ مدل مش بندی اتصال آورده شده است .



شکل ۶: مش بندی اتصال مدل سازی شده در برنامه آباکوس

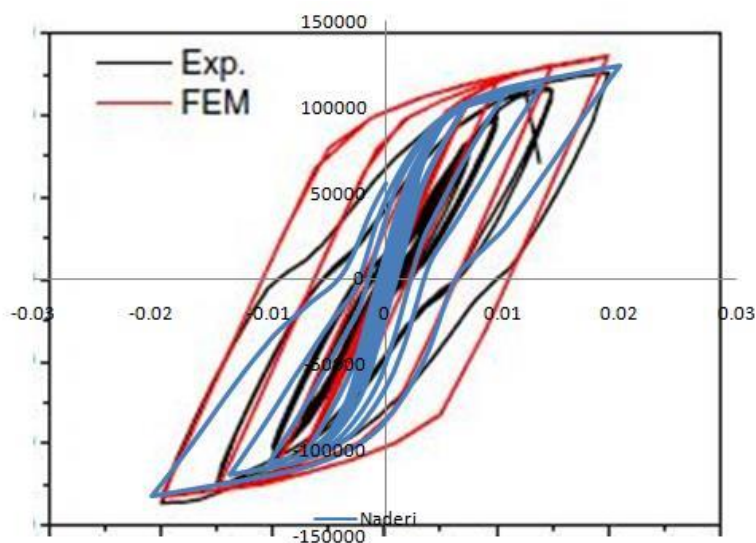
۳- صحت سنجی اتصال

به منظور اطمینان از صحت نتایج تحلیل، مدل اجزاء محدود در این مطالعه با پاسخ چرخه ای اتصال نمونه TD-L که توسط یوجی و همکاران (۲۰۱۵) آزمایش شده صحت سنجی گردیده است. شکل ۷ نمودار چرخه ای تولید شده از نرم افزار آباکوس را نشان می دهد .



شکل ۷: منحنی هیستریزیس حاصل از تحلیل نرم افزاری اتصال

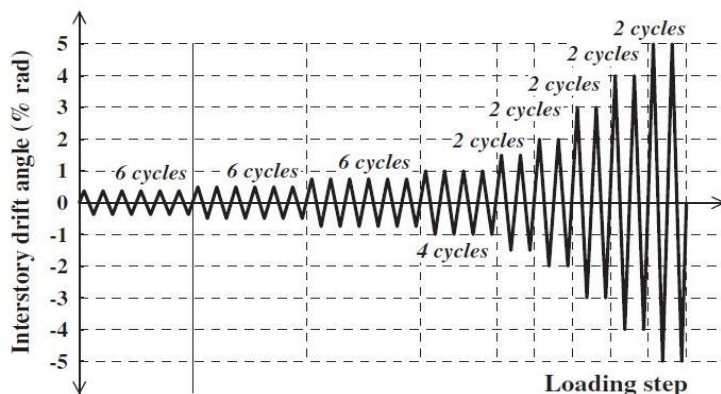
شکل ۸ مقایسه منحنی هیستریزیس نمونه آزمایشگاهی و تحلیلی را نشان می دهد. مشخصات مصالح اندازه گیری شده و گزارش شده توسط شین و همکارانش برای صحت سنجی نمونه ها مورد استفاده قرار گرفته است. همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می شود تطابق خوبی بین نمونه تحلیلی و آزمایشگاهی وجود دارد.



شکل ۸: مقایسه منحنی هیستریزیس تحلیلی و آزمایشگاهی نمونه TD-L یوجی و همکارانش (۲۰۱۵)

۴- مشخصات مصالح و بارگذاری

در مدل سازی نمونه ها رفتار غیرخطی مصالح و المانها در نظر گرفته شده است. در مدل سازی فولاد سخت شدگی سینماتیکی در نظر گرفته شده است. قانون سخت شدگی ایزوتروپیک برای تحلیل های بار افزون و قانون سخت شدگی سینماتیکی برای تحلیل های چرخه ای استفاده می شود تا اثر باوشینگر در نظر گرفته شود. تنش تسلیم برای کلیه قطعات برابر ۳۶۵ نیوتن بر میلی متر مربع و تنش نهایی برابر ۵۲۰ نیوتن بر میلی متر مربع در نظر گرفته شده است. پروتکل بارگذاری مورد استفاده در این تحلیل در شکل ۹ قابل مشاهده می باشد. بارگذاری به صورت چرخه ای و بر اساس شرایط و پروتکل SAC اعمال شده است.

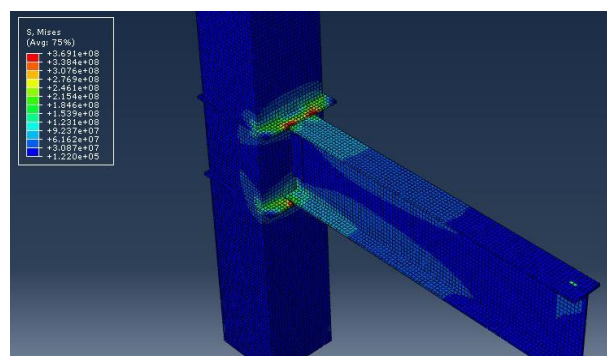
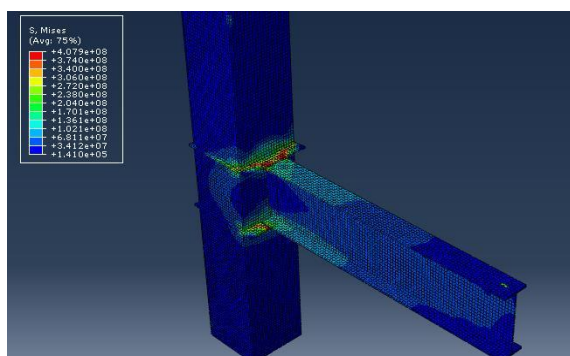


شکل ۹: بارگذاری چرخهای استفاده شده در تحلیل بر اساس پروتکل

بارگذاری تا تغییر مکان نسبی طبقه به میزان 0.03 رادیان انجام گردیده است. بدین ترتیب که برای هر یک از تغییر مکانهای نسبی طبقه به میزان 0.00375 ، 0.005 و 0.0075 رادیان به ترتیب ۶ سیکل چرخه ای، برای تغییر مکان نسبی 0.01 رادیان ، ۴ سیکل چرخه ای و برای تغییر مکان نسبی 0.015 ، 0.02 و 0.03 رادیان نیز به ترتیب دو سیکل چرخه ای در نظر گرفته شده است.

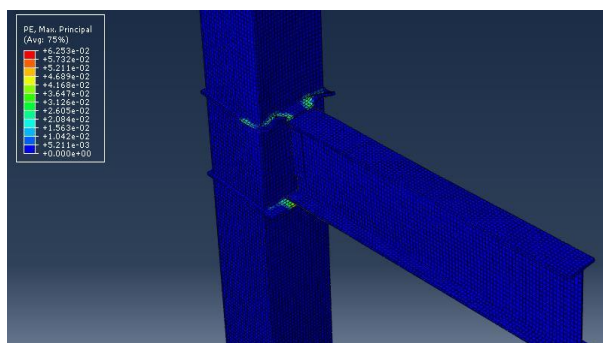
۵- نتایج تحلیل اجزای محدود

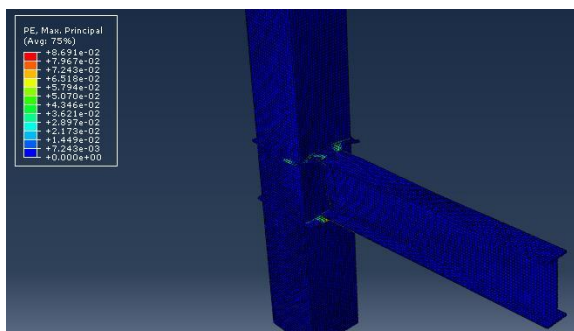
اتصال نشان داده شده در شکل ۷ در این مطالعه، با استفاده از تحلیل اجزاء محدود مورد بررسی قرار گرفته است. حلقه‌های هیستریزیس تمامی نمونه‌ها پایدار بوده و رفتار مناسبی را نشان میدهد. در شکل ۱۰ مقایسه ای بین تنش فون مایسز در نمونه حاوی بتن معمولی و بتن حاوی نانولوله کربنی انجام شده است .



شکل ۱۰: تنش فون مایسز اتصال با بتن معمولی و اتصال با بتن حاوی نانولوله کربنی به ترتیب از راست به چپ

با توجه به توزیع تنش در هر دو اتصال با بتن معمولی و بتن حاوی نانولوله کربنی می توان دریافت که وجود نانولوله کربنی می تواند به افزایش مقاومت خمشی اتصال کمک نماید در شکل ۱۱ توزیع کرنش PE را در اتصال می توان مشاهده نمود.

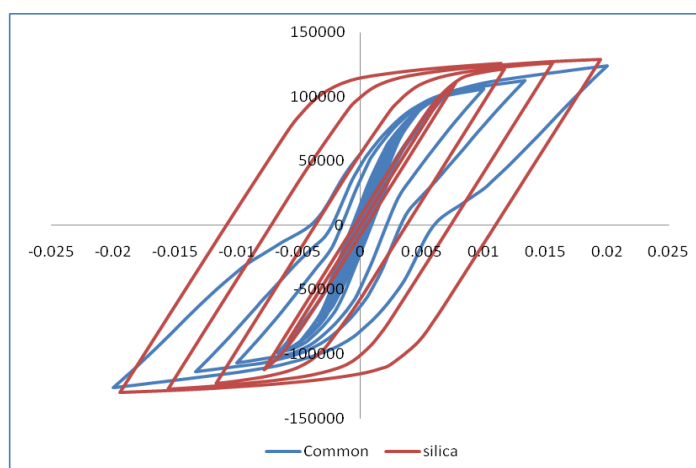




شکل ۱۱: کرنش PE اتصال با بتن معمولی و اتصال با بتن حاوی نانولوله کربنی به ترتیب از راست به چپ

وجود نانولوله می تواند سبب تغییر توزیع کرنش در اتصال گردد و ورق کنارگذر می تواند رفتار چرخه ای بهتری از خود نشان دهد . در این حالت با توجه به افزایش مقاومت فشاری در بتن به واسطه وجود نانولوله های کربنی در چشمه اتصال رفتار بهتری را شاهد هستیم و ورق کنارگذر پایینی که در فشار می باشد دارای کرنش کمتری می باشد .

در شکل ۱۲ نمودار چرخه ای اتصال نشان داده شده است و مقایسه ای بین رفتار لرزه ای اتصال با بتن معمولی و اتصال با بتن حاوی نانولوله انجام گرفته است .



شکل ۱۲: نمودار چرخه ای اتصال با بتن معمولی (common) و بتن حاوی نانولوله کربنی (Nano)

همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود با افزودن نانولوله کربنی به بتن در اتصال کامپوزیت شاهد رفتار لرزه ای مناسب تر و منحنی به اصطلاح چاق تری می باشیم . افزایش شکل پذیری اتصال به سبب وجود نانولوله کربنی در بتن از دستاوردهای دیگر این تحقیق می باشد . با افزودن نانولوله کربنی به بتن و استفاده آن در اتصال کامپوزیت شاهد پایداری بهتری در نمودار چرخه ای اتصال می باشیم . وجود نانولوله کربنی سبب افزایش مقاومت خمشی نمونه به نسبت حدود ۱۵ درصد و افزایش میزان تغییرمکان نسبی (خرخش) به میزان مناسبی گردیده است که این افزایش در تمامی سیکل ها قابل مشاهده می باشد .



۶- نتیجه گیری

در این مطالعه تاثیر وجود نانوسیلیس در اتصالات کامپوزیت (CFT) مورد بررسی قرار گرفته است و مقایسه ای بین رفتار لرزه ای اتصال کامپوزیت با بتن معمولی و اتصال کامپوزیت با بتن حاوی نانوسیلیس ، انجام شده است . کلیه قطعات در نرم افزار اجزای محدود آباکوس مدل سازی شده اند و نرم افزار آباکوس به خوبی می تواند رفتار اتصال را مدل سازی نماید . پر کردن مقاطع فولادی توخالی با بتن موجب افزایش ظرفیت باربری ، سختی و شکل پذیری می گردد و با افزودن نانولوله کربنی ، به میزان حدودا ۱۵ درصد مقاومت خمشی اتصال افزایش یافته است و مقدار تغییر مکان نسبی نیز شکل مناسب تری یافته است به طوری که منحنی چرخه ای به اصطلاح چاق تر شده است و موجب افزایش شکل پذیری اتصال گردیده است .

مراجع

- [1] Dunberry E, LeBlanc D, Redwood RG. Cross-section strength of concrete-filled HSS columns at simple beam connections. *Can J Civ Eng* 1987;14:408–1۷.
- [2] Shakir KH, Mahmoud MA. Steel beam connections to concrete-filled tubular columns. Sweden: Nordic steel construction conference; June 1995.
- [3] Alostaz YM, Schneider SP. Analytical behaviour of connections to concrete-filled steel tubes. *J Constr Steel Res* 1996;40:95–127.
- [4] Alostaz YM, Schneider SP. Connections to concrete-filled steel tubes. Proceedings of the eleventh world conference on earthquake engineering; 1996 [Paper No. 748].
- [5] Leon R. Developments in the use of partial restraint frames in the United States. Control of semi-rigid behaviour of civil engineering structural connections. COST C1. Liege, 17–19 September 1998;95–104.
- [6] Swanson JA, Leon RT. Bolted steel connections: tests on T-stub components. *ASCE J Struct Eng* 2000;126(1):50–6.
- [7] Swanson JA, Leon RT. Stiffness modeling of bolted T-stub connection components. *ASCE J Struct Eng* 2001;127(5):498–505.
- [7] Geng, Y.L. and Pei, M.W. Xiaohua, z. (2005). Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated nanocilica. 43, 1239.
- [8] Vander, W. and Randall, L. (2002). Optimization of Flame Synthesis for Nanocilica Using Supported Catalyst. *Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 106(51), pp. 51.
- [9]. ABAQUS/standard user's manual, Version 9.7.2 Providence (RI): Hibbitt, Karlsson, & Sorensen, Inc.; 2009.