1th.Miaad University National Conference on
Civil Engineering , Architecture

۱۵-December 2017, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran

مقایسه رفتار اتصالات کامپوزیت بتنی حاوی نانوسیلیس و نانولوله کربنی

محمدرضا حیاتی فر [۱]*، علی نادری [۲] امیر نادی [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد الیگودرز ، گروه عمران ، الیگودرز ، ایران m.reza.hayati@yahoo.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد الیگودرز ، گروه عمران ، الیگودرز ، ایران ali.naderi56@yahoo.com
۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد خرم آباد ، گروه عمران ، خرم آباد ، ایران amirnadi2000@yahoo.com

چکیده

با توجه به استفاده از ستون های CFT در ساختمان های بلند مرتبه و عملکرد این دسته از ستون ها در مقابل زلزله در این مقاله رفتار لرزه ای اتصالات مربوط به این ستون ها در برابر زلزله مورد مطالعه قرار گرفته است . رفتار مناسب بتن و فولاد در کنار یکدیگر در ساختمان های نیمه بلند و بلند می تواند استفاده از این گونه تیرها و ستون ها را امری اجتناب ناپذیر نماید زیرا از خاصیت های فولاد و بتن هر دو در جهت ایجاد سازه ای مقاوم استفاده می شود . استفاده از فناوری های نو در صنعت ساختمان از جمله استفاده از نانولوله کربنی و نانوسیلیس به عنوان مواد افزودنی در بتن موجب افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن خواهد شد . در تحقیق مقایسه ای بین رفتار اتصالات کامپوزیت پرداخته خواهد شد و در اتصال تیر به ستون باکس از بتن حاوی نانولوله کربنی 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 و نانوسیلیس می باشد که می تواند شکل پذیری اتصال را افزایش دهد و مقاومت خمشی اتصال حاوی نانوسیلیس را تا حدود ۱۵درصد و مقاومت خمشی اتصال حاوی نانولوله کربنی را تا حدود ۲۵ درصد افزایش دهد .

واژه‌های کلیدی: اتصال ، نانولوله کربنی ، نانوسیلیس ، کامپوزیت بتنی

۱- مقدمه

ستونهای مرکب علاوه بر مزایای سازه ای دارای مزایای اجرایی مانند سرعت ساخت بالا نیز میباشند. با این وجود استفاده از فولاد تنها ، در ساختن ستونها مخصوصا در سازه های بلند ، غالبا غیر اقتصادی می باشد. همچنین سازه های بلند با ستون های فولادی معمولا دارای تغییر شکل های جانبی نسبتا بزرگ بوده و درمقابل آتش سوزی مقاومت پایینی دارند. همچنین استفاده از بتن تنها ، در ستونهای ساختمان های بلند، در طبقات پائین فضای بیشتری را اشغال نموده و بعلت ترد و شکننده بودن بتن ، سازه حاصل دارای شکل پذیری کمتری بوده و در نتیجه در بارهای لرزه ای ، افت مقاومت در سازه بوجود خواهد آمد. ترکیب هوشمندانه این دو مصالح ، یک سیستم موثر و کاراتر را نتیجه می دهد (۱و۲) . بتن در ستونهای فولادی در ابتدا

به عنوان لایه ای محافظ در برابر ضربه و به ویژه آتش سوزی مورد استفاده قرار گرفت. (۳) به این دلیل که مقاطع فولادی در حرارت شدید ، بسیار آسیب پذیر ودر مواجه با آتش به سرعت خواص مکانیکی - مقا ومتی خود را از دست می دهند .

ابتدایی ترین مطالعاتی که بر روی ستون های مرکب انجام گرفته توسط (Burr) در سال ۱۹۱۲ بود ، پس از آن افراد بسیاری در این زمینه مطالعات و آزمایشات زیادی را انجام داده اند و به نتایج تئوری متفاوتی دست یافته اند . تقویت ستون ها با جداره فولادی با استفاده از ورق به طور تجربی اولین بار در سال ۱۹۹۰ انجام گرفت و آزمایشات افزایش ظرفیت باربری و لرزه ای قابل توجهی را نشان داد بنابراین از این فناوری به طور گسترده، به ویژه در کاربری های لرزه ای استفاده می شود(۴) .

در سال های اخیر مقالات زیادی در مورد تکنولوژی ستون های مرکب پر شده با بتن انتشار یافته است. نتایج نشان می دهد که در مورد ستون های مرکب پر شده با بتن با مقاومت بالا (HSC) به تحقیقات آزمایشگاهی بیشتری احتیاج می باشد (۵) . 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 سازهای و اثر محصور شوندگی در هسته بتنی به شدت تحت تأثیر چسبندگی بین جداره فولادی و هسته بتنی قرار می گیرد (۶) . آلوستاز و اشنایدر (۷و۸) به بررسی قاب های خمشی پرداختند که نتیجه آن شد که اتصال مستقیم تیر به ستون موجب اعوجاج شدید در چشمه اتصال می گردد.

با وجود نوآوری های متعدد در انواع الیاف مورد استفاده در بتن مسلح شده با الیاف اما تا کنون مطالعات کمی بر روی کامپوزیت های بتن/ نانو لوله صورت گرفته است . پیشرفت های قابل توجهی در ارتباط با اثر تقویتی نانو لوله ها گزارش شده است . عمدتا این مطالعات بر روی ارزیابی افزایش خواص مکانیکی چسبندگی بتن که با نانولوله ها فراهم شده ، متمرکز شده اند . با توجه به اینکه در سال های اخیر به روش های تولید نانو لوله های کربنی توجه زیادی شده است و همچنین ارزش گذاری نانو لوله ها بر اساس خواص مکانیکی از جمله نسبت طول به شعاع و خلوص می باشد ، لازم است که در انتخاب نانو لوله های کربنی بهینه توجه خاصی را مد نظر قرار دهیم (۹و۱۰) .

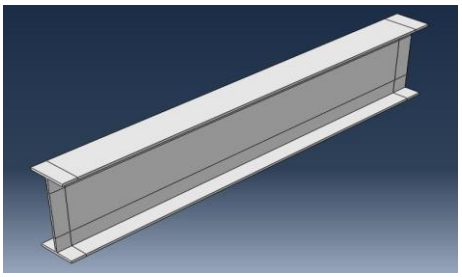
افزودن مقداری نانو سیلیس در سیمان موجب افزایش مقاومت خمشی و فشاری بتن می شود . همچنین به علت انعطاف پذیری بالا، نانوسیلیس به عنوان جذب کننده شوک عمل کرده و مانع ویرانی ساختمان ها و سازه های بتنی می شود (۹و۱۰) .

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.

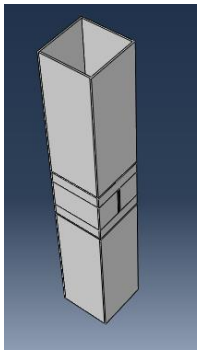
تعریف رفتار سطح مشترک بین بتن و فولاد از اهمیت بالایی در این مدل سازی برخوردار است. بدین منظور در جهت نرمال از تماس سخت و در جهت مماسی از مدل اصطکاکی استفاده شده است. در این مطالعه از اندرکنش به صورت تماس و جدایش استفاده شده، به طوریکه در قسمت بال فشاری، بتن مقاومت میکند و در قسمت بال کششی امکان جدایش 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 H 500*200*10*16 می باشد که اعداد به ترتیب معرف ارتفاع تیر ، عرض بال تیر ، ضخامت جان تیر و ضخامت بال تیر می باشد .



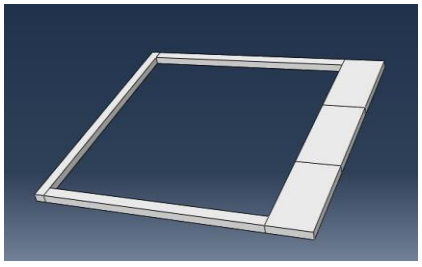
شکل ۱: تیر مدل سازی شده در برنامه آباکوس

دومین قطعه مدل سازی شده ستون می باشد که از نوع باکس با ابعاد ۱۵*۵۰۰*۵۰۰ می باشد .



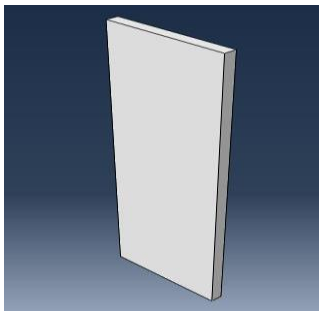
شکل ۲: ستون مدل سازی شده در برنامه آباکوس

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



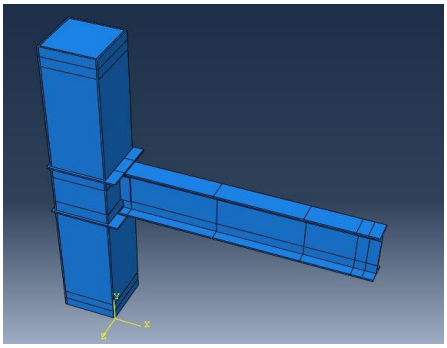
شکل ۳: ورق کنارگذر مدل سازی شده در برنامه آباکوس

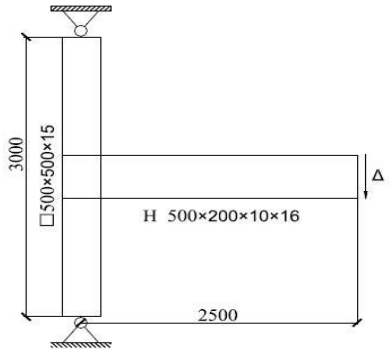
در شکل (۴) نیز ورق های برش گیر اتصال تیر به ستون نشان داده شده اند .



شکل ۴: ورق برشگیر مدل سازی شده در برنامه آباکوس

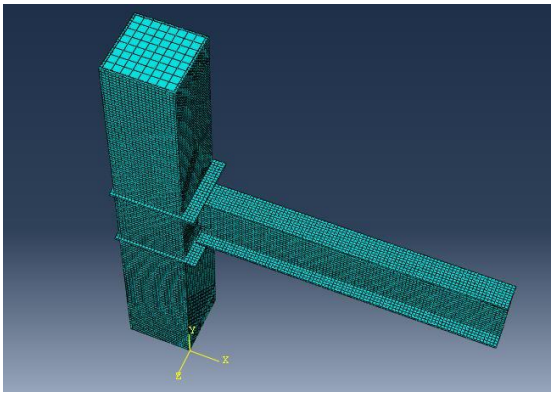
نمای کلی اتصال تیر به ستون در شکل (۵) آورده شده است .





شکل۵ : 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 .

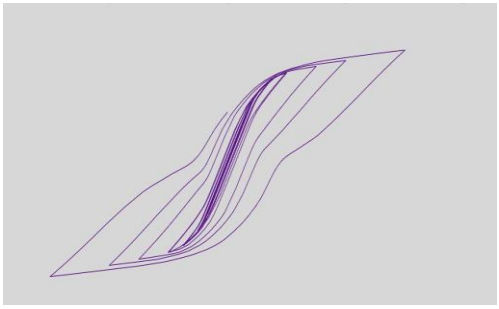


شکل۶ : مش بندی اتصال مدل سازی شده در برنامه آباکوس

۳- صحت سنجی اتصال

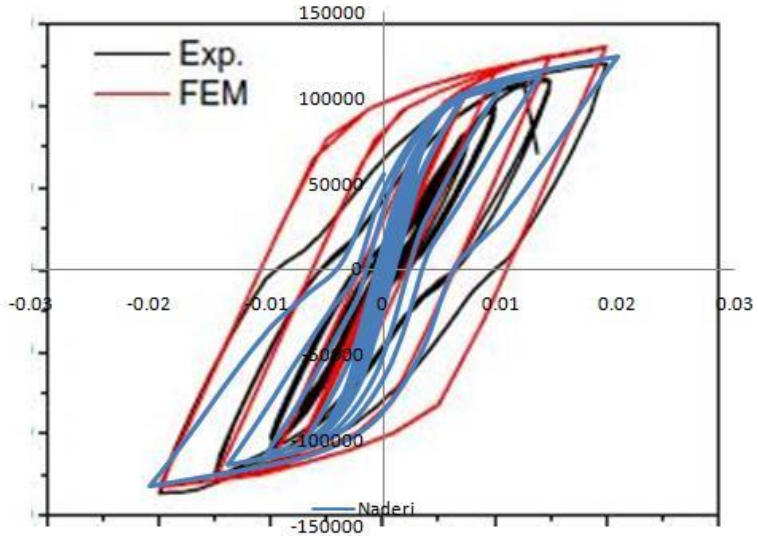
به منظور اطمینان از صحت نتایج تحلیل، مدل اجزاء محدود در این مطالعه با پاسخ چرخه ای اتصال نمونه TD-L که توسط یوجی و همکاران (۲۰۱۵) آزمایش شده صحت سنجی گردیده است.

شکل ۷ نمودار چرخه ای تولید شده از نرم افزار آباکوس را نشان می دهد .



شکل ۷: منحنی هیسترزیس حاصل از تحلیل نرم افزاری اتصال

شکل ۸ مقایسه منحنی هیسترزیس 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.

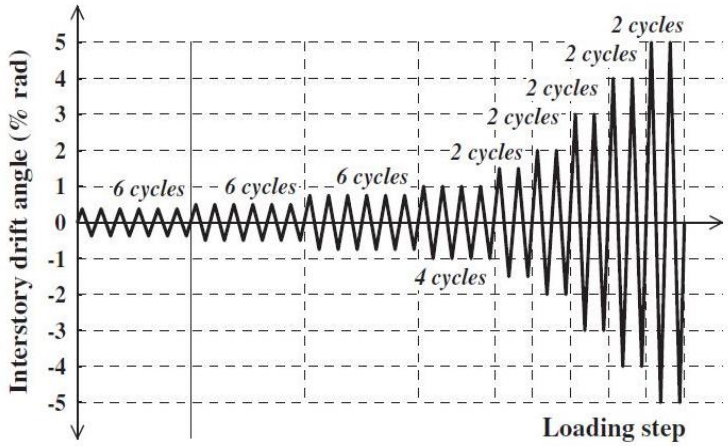


شکل ۸: مقایسه منحنی هیسترزیس تحلیلی و آزمایشگاهی نمونه TD-L یوجی و همکارانش (۲۰۱۵)

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 سینماتیک 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 مورداستفاده 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.

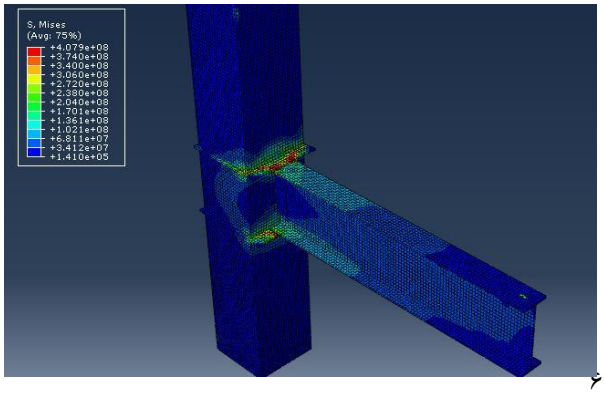


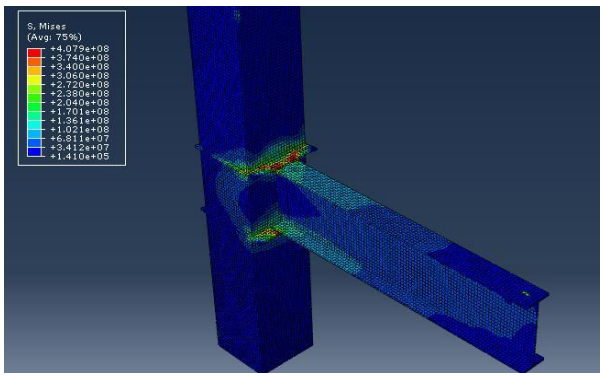
شکل ۹ : بارگذاری چرخهای استفاده شده در تحلیل بر اساس پروتکل

بارگذاری تا تغییر مکان نسبی طبقه به میزان ۰/۰۳ رادیان انجام گردیده است. بدین ترتیب که برای هر یک از تغییر مکانهای نسبی طبقه به میزان ۰/۰۰۳۷۵ ، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۰۷۵ رادیان به ترتیب ۶ سیکل چرخه ای، برای تغییر مکان نسبی ۰/۰۱ رادیان ، ۴ سیکل چرخه ای و برای تغییر مکان نسبی ۰/۰۱۵ ، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ رادیان نیز به ترتیب دو سیکل چرخه ای درنظر 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 قرارگرفته است. حلقه های هیسترزیس تمامی نمونه ها پایدار بوده و رفتار مناسبی را نشان می دهد. در شکل ۱۰ مقایسه ای بین تنش فون مایسز در نمونه حاوی بتن حاوی نانوسیلیس و بتن حاوی نانولوله کربنی انجام شده است .

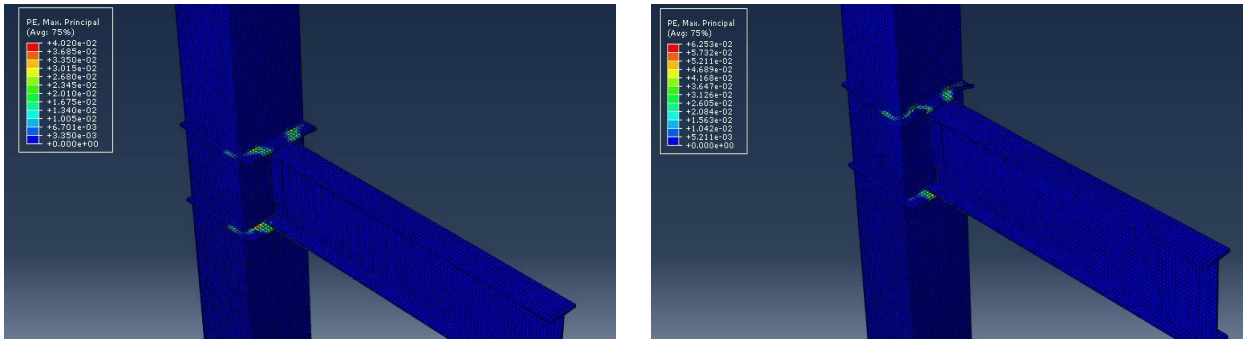




شکل ۱۰: تنش فون مایسز اتصال با بتن حاوی نانوسیلیس و اتصال با بتن حاوی نانولوله کربنی به ترتیب از راست به چپ

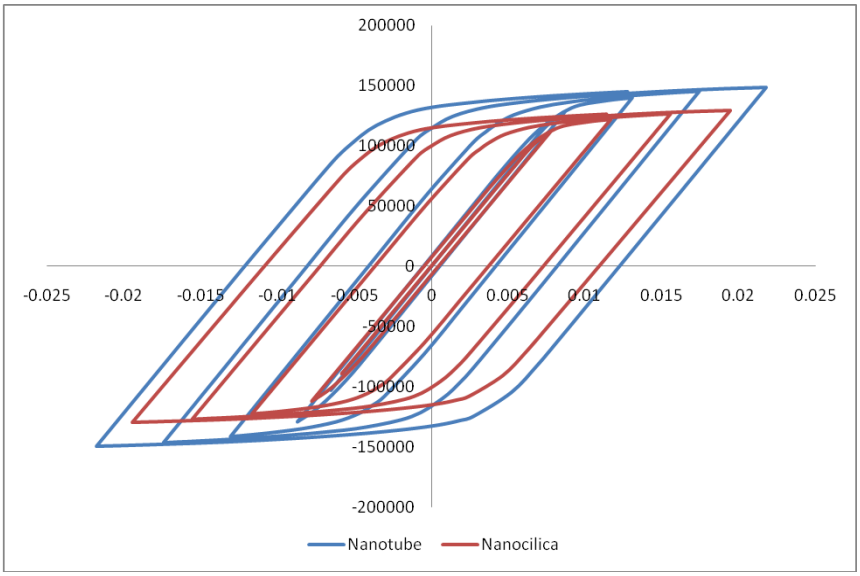
با توجه به توزیع تنش در هر دو اتصال با بتن حاوی نانوسیلیس و بتن حاوی نانولوله کربنی می توان دریافت که وجود نانولوله کربنی و نانوسیلیس می تواند به افزایش مقاومت خمشی اتصال کمک نماید . اما نانولوله کربنی می تواند مقاومت خمشی بیشتری را تحمی کند .

در شکل ۱۱ توزیع کرنش PE را در اتصال می توان مشاهده نمود.



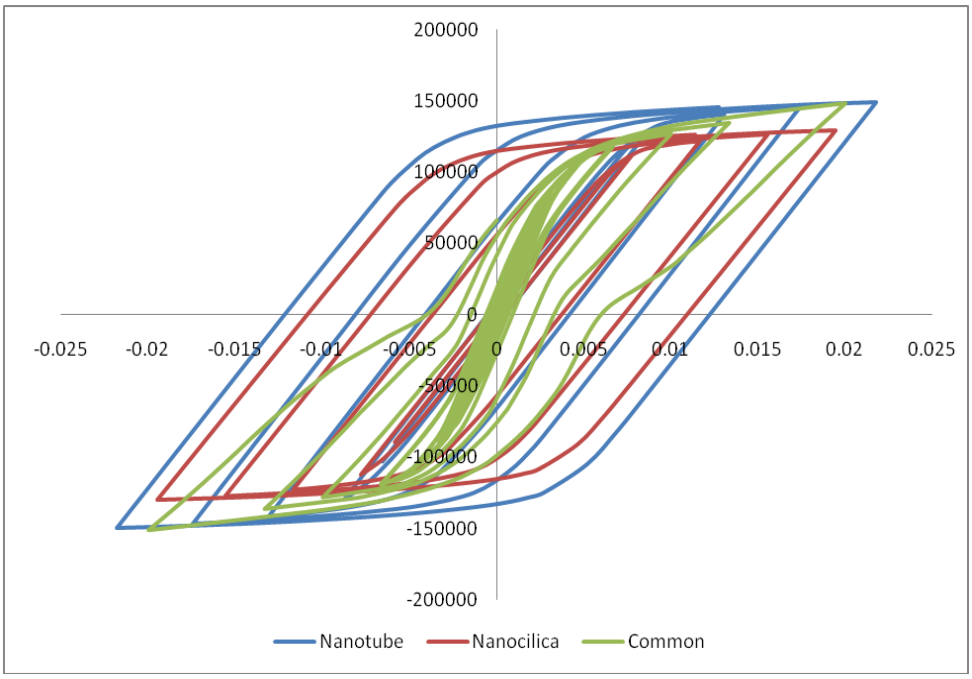
شکل ۱۱: کرنش PE اتصال با بتن حاوی نانوسیلیس و اتصال با بتن حاوی نانولوله کربنی به ترتیب از راست به چپ

وجود نانولوله و نانوسیلیس 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 و نانوسیلیس 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 حاوی نانوسیلیس و اتصال با بتن حاوی نانولوله انجام گرفته است .



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

همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود با افزودن نانولوله کربنی و نانوسیلیس 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 و نانوسیلیس در بتن از دستاوردهای دیگر این تحقیق می باشد . با افزودن نانولوله کربنی و نانوسیلیس 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 ۲۵ درصد و وجود نانوسیلیس موجب افزایش مقاومت خمشی به میزان ۱۵ درصد می باشد و افزایش میزان تغییرمکان نسبی (خرخش) به میزان مناسبی گردیده است که این افزایش در تمامی سیکل ها قابل مشاهده می باشد . در شکل ۱۳ مقایسه ای بین نمودار چرخه ای اتصال کامپوزیت بتنی حاوی نانو سیلیس و حاوی نانولوله کربنی و بتن معمولی انجام شده است .



شکل ۱۳: نمودار چرخه ای اتصال با بتن حاوی نانوسیلیس (Nanocilica) و بتن حاوی نانولوله کربنی (Nanotube) و بتن معمولی (common)

۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تاثیر وجود نانوسیلیس و نانولوله کربنی در اتصالات کامپوزیت (CFT) مورد بررسی قرار گرفته است و مقایسه ای بین رفتار لرزه ای اتصال کامپوزیت با بتن حاوی نانولوله کربنی 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 ۲۵ درصد مقاومت خمشی اتصال افزایش یافته است و با افزودن نانوسیلیس مقاومت خمشی حدود ۱۵ درصد افزایش یافته است و مقدار تغییرمکان 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 ;14:408–17 , 1987 .

[2] Shakir KH, Mahmoud MA. Steel beam connections to concrete-filled tubular columns. Sweden: Nordic steel construction conference; June 1995.

[3] Praveen Kamath , Umesh Kumar Sharma a,n , Virendra Kumar , Pradeep Bhargava , Asif Usmani , Bhupinder Singh , Yogendra Singh , Jose Torero , Martin Gillie , Pankaj Pankaj ,Full-scale fire test on an earthquake-damaged reinforced concrete frame. Fire Safety Journal 73 ; 1–۱۹ , ۲۰۱۵.

[4] Sun Y, Jiang D. Analysis of seismic performance of steel moment connection with welded haunch and cover plate research. J Appl Sci Eng Technol ;4(14): 2199–۲۰۴ , ۲۰۱۲.

[5] Shakir KH, Mahmoud MA. Steel beam connections to concrete-filled tubular columns. Sweden: Nordic steel construction conference; June 1995.

[6] Mathias Johansson, Kent Gyltoft. "Mechanical behavior of circular steel concrete composite stub columns",

Journal of Structural Engieering, August , pp 1073-۱۰۸۱ , ۲۰۱۵.

[7] Alostaz YM, Schneider SP. Analytical behaviour of connections to concrete-filled steel tubes. J Constr Steel Res 1996;40:95–127.

[8] Alostaz YM, Schneider SP. Connections to concrete-filled steel tubes.Proceedings of the eleventh world conference on earthquake engineering; PaperNo. 748 , 1996 .

[۹] Bentur, A., and Mindess, S.,, “Fiber Reinforced Cementitious Composites”, Elsevier Applied Science , 56 , pp 89-96 , 1990 .

[10] [4] Wang, G., Zhao, Y. and Yang, G. , “ Mechanical Properties of Carbon Nanotubes ” , Appl. Phys , 69, pp 255–260 , 2006 .

[11].ABAQUS/standard user’s manual,Version 9.7.2 Providence (RI): Hibbitt, Karlsson, & Sorensen, Inc.; ۲۰۰۹.