افزایش ظرفیت باربری جانبی دیوار برشی بازشودار با استفاده از پلیمر مسلح شده به الیاف در تیر پیوند

مهدی شادمند [1]*، ارسطو هدایت نسب [2]

1- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، Shadmand90@gmail.com
2- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، Arastoo762@yahoo.com

چکیده

تیرهای پیوندِ متداول در دیوارهای برشی بازشو دار که دارای آرماتورهای طولی و عرضی برای تحمل نیروی برشی و لنگر خمشی هستند، بر اساس تحقیقات انجام شده معمولا قادر به تامین ضوابط لرزه ای نمی باشند و عملکرد لرزه ای چندان مناسبی از خود نشان نمی دهند. روش های گوناگونی جهت مقاوم سازی و تقویت این تیرهای عمیق وجود دارد که یکی از جدیدترین آنها استفاده از پلیمرهای کربنی مسلح شده به الیاف (CFRP) می باشد. در مقاله حاضر به منظور افزایش ظرفیت باربری جانبی دیوارهای برشی بازشودار، به بررسی اثر نوارهای CFRP در تیر پیوند پرداخته شده است. برای رسیدن به این هدف یک دیوار برشی دارای بازشو به روش المان محدود شبیه سازی گردید و تیر پیوند آن در سه حالت مختلف به لحاظ آرایش قرارگیری (موازی، موازی- عمودی و 45 درجه) توسط نوارهای CFRP مقاوم سازی گردید. نتایج حاصل نشان می دهد که استفاده از نوار های CFRP در تیرهای پیوند، یک راهکار مقاوم سازی مناسب در جهت افزایش ظرفیت باربری دیوارهای برشی بازشودار می باشد و در میان آرایش های چیدمانی در نظر گرفته شده، آرایش 45 درجه ئر مقایسه با سایر حالت ها بهینه تر می باشد.

واژه‌های کلیدی: دیواربرشی بازشودار، تیر پیوند، پلیمرهای کربنی مسلح شده به الیاف، روش المان محدود، CFRP

1- مقدمه

این مقاوم سازی سازه های بتن مسلح بنا به دلایلی چون افزایش بارهای وارد شده در دوره بهره برداری، آسیب یا از بین رفتن سازه و کمبود های احتمالی در طراحی و ساخت، ضروری است [1و2]. تقویت سازه ها یکی از مهمترین دغدغه های مهندسین عمران در عصر حاضر می باشد؛ چون قدمت بسیاری از سازه ها زیاد بوده و تخریب شدن آنها آسیب های فراوانی به اقتصاد کشورها اعمال می کند. از سوی دیگر با توجه به عمر مفید کم سازه ها و بناهای نوساخت در مناطق نامناسب از نظر آب و هوایی موجب شده تا مهندسین به فکر جایگزینی مصالح جدید به جای مصالح موجود باشند [3]. خوردگی فولاد موجود در سازه های بتن آرمه، سنگین بودن سازه های مسلح شده با فولاد، مقاومت کمتر در مقابل عوامل خارجی اسید و باز از جمله معایبی است که می توان برای سازه های بتنی مسلح شده با فولاد نام برد. این بود که در دهه 80 میلادی مهندسان عمران به استفاده از الیاف پلیمری جهت تقویت سازه های بتنی روی آوردند.

مقام سازی اعضای سازه های بتن مسلح با استفاده از نوارهای پلیمری مسلح توجه بسیاری از محققین را خصوصاً در دهه گذشته به خود جلب کرده است. استفاده از ورق های فولادی خصوصاً در چند دهه ی اخیر بیانگر مفید بودن این روش و تکنیک می‌باشد. اولین کاربرد عملی آن در انگلستان در تقویت پل‌ها گزارش شده است [4]. معایب استفاده از ورق های فولادی در تقویت برشی تیرهای بتن آرمه که شامل مشکلات حمل‌ونقل، طریقه کارکردن با آن ها، زنگ‌زدگی صفحات و ...

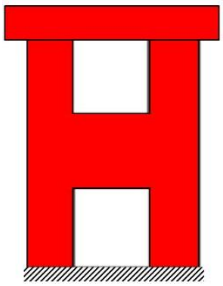
می‌باشد، این تکنیک را تبدیل به یک روش قدیمی در قیاس با روش استفاده از ورق های FRP می‌سازد. استفاده از این ورق ها جهت برطرف کردن معایب ناشی از تقویت با ورق های فولادی از اواسط دهه 1980 معمول و متداول گردید. FRP به عنوان مصالحی با وزن سبک مقاومت بالا و خوب در برابرخوردگی بهترین جایگزین برای دیگر مصالح در روش های تقویت سازه ها می باشد. برای تقویت خمشی تیرها و شاهتیرهای بتنی، FRP به صورت ساده به سطح کششی تیر یا شاهتیر چسبانده می شود. ورق های FRP شامل فیبرهای با مقاومت بالا نظیر شیشه یا کربن در یک ملاط اپوکسی می باشند [5]. امروزه مصالح کامپوزیتی جهت تقویت و تعمیر سازه های بتنی کاربرد فزاینده ای یافته اند. گاه برخی از پژوهشگران به کارگیری ورق های FRP را به علت سهولت اجرا به جای صفحات تقویتی فولادی توصیه می نمایند [6]. پژوهش های وسیعی به صورت تئوری، آزمایشگاهی و عددی در زمینه ی رفتارسنجیِ برشی و خمشی تیرهایِ بتنی تقویت شده ی خارجی توسط محققین صورت گرفته است، که در ادامه به تعدادی از به مهم ترین نتایج و دستاورد های حاصل از آنها اشاره می شود.

در یک مطالعه تئوری و آزمایشگاهی مدها و مکانیسم های شکست در اعضای بتن مسلح تقویت شده با ورق های CFRP موجود در نزدیک سطح، مورد بررسی قرار گرفت. ورق های CFRP اشاره شده دارای ضخامت های 6 و 12 میلیمتر بودند و دو نوع بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا مورد آزمایش قرار گرفتند و مدهای شکست آنها مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آزمایشگاهی یا نتایج مدل های عددی با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت [7]. در مطالعه ای تئوری، مهم ترین ویژگی های یک مدل عددی المان محدود با هدف پیش بینی و توزیع مناسب ورق های پلیمری مسلح در نزدیک سطح تیرهای بتن مسلح معرفی گردید [8]. در یک مطالعه آزمایشگاهی مقاوم سازی تیرهای بتن مسلح با استفاده از پلیمرهای کربنی مسلح شده به الیاف انجام شد. در مطالعه اشاره شده ظرفیت باربری و شکل پذیری تیرهای بتن مسلح معمولی با تیرهای بتن مسلح مقاوم سازی شده با CFRP مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین اثرات تغییر در پارامترهایی نظیر ضخامت الیاف و نحوه آرایش قرار گیری آن ها در تیر ارزیابی گردیدند. نتایج حاصل نشان دادند که استفاده از پوشش های CFRP در قسمت کششی بتن با توجه به افزایش قابل ملاحظه مقاومت کششی بتن می تواند در بهبود ظرفیت باربری تیر بتن مسلح نقش تاثیرگذاری را داشته باشند [9]. در یک مطالعه تجربی رفتار و عملکرد تیرهای عمیق بتن مسلح دارای بازشو که با استفاده از پوشش های CFRP مسلح شدند مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور هشت تیر عمیق بتن مسلح دارای پوشش های CFRP خارجی مورد آزمایش قرار گرفتند. از جمله پارامترهای مورد بررسی در مطالعه اشاره شده نحوه قرار گیری پوشش های CFRP بود که با زوایای قرار گیری مختلف در تیر جانمایی گردیدند. نتایج تجربی حاصل شده نشان داد که استفاده از نوارهای CFRP متصل شده به صورت خارجی می تواند باعث افزایش ظرفیت نهایی برشی شود و از سوی دیگر عرض ترک های برشی را محدود کرده و سبب می شود که سختی تیرهای بتن مسلح عمیق دارای بازشو افزایش یابد [10].

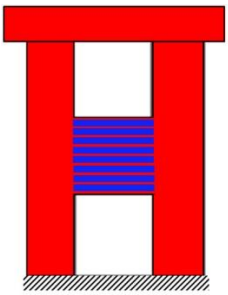
در مطالعه حاضر به منظور افزایش ظرفیت باربری جانبی دیوارهای برشی بازشودار، به بررسی اثر نوارهای CFRP در تیر پیوندِ دیوارهای برشی پرداخته شده است. در ادامه حالت های مورد بررسی معرفی و روند مربوط به مدلسازی آنها به طور کامل تشریح خواهد شد.

2- معرفی حالت های مورد بررسی

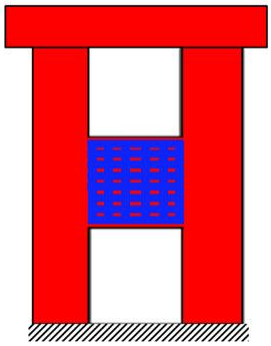
در این مطالعه، یک دیوار برشی بازشودار بتن مسلح در چهار حالت مختلف به روش المان محدود با استفاده از نرم افزار Abaqus [11] شبیه سازی شده است. شکل های (1) تا (4) تصاویر شماتیک از حالت های مورد بررسی را نشان می دهند. در حالت اول یک دیوار برشی بازشودار در حالت بدون مقاوم سازی، در حالت دوم یک دیوار برشی که تیر پیوند آن توسط ورق های CFRP موازی تیر همبند، در حالت سوم یک دیوار برشی که تیر پیوند آن توسط ورق های CFRP به صورت موازی و عمود بر تیر پیوند و در حالت چهارم یک دیوار برشی که تیر پیوند آن توسط ورق های CFRP که نسبت به تیر با زاویه 45 درجه قرار گرفته است، شبیه سازی می گردند. بررسی رفتار و تاثیری که پوشش CFRP بر رفتار دیواربرشی بتن مسلح بازشودار می گذارد به عنوان مهم ترین هدف تحقیق می باشد.



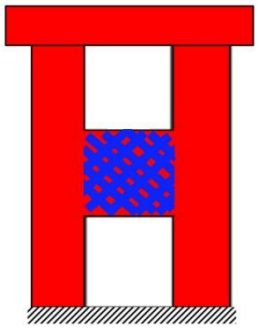
شکل1 : نمایی شماتیک از دیوار برشی بازشودار در حالت CFRP بدون استفاده از نوار



شکل2 : نمایی شماتیک از دیوار برشی بازشودار در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت موازی با تیر پیوند



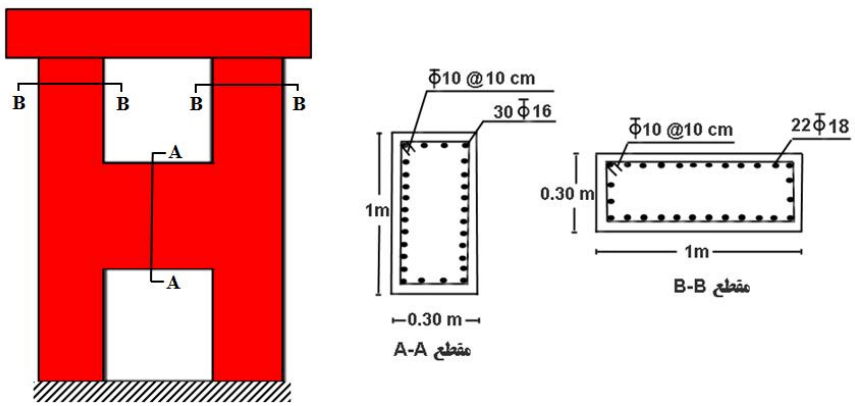
شکل3: نمایی شماتیک از دیوار برشی بازشودار در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت موازی و عمود بر تیر پیوند



شکل4 : نمایی شماتیک از دیوار برشی بازشودار در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت زوایه 45 درجه نسبت به تیر پیوند

3- تعریف مشخصات ابعادی و مصالح مورد استفاده

دیوارهای برشی مورد مطالعه دارای ارتفاع 3/00 متر و عرض 4 متر می باشد. عرض تیرپیوند برابر 2 متر می باشد. ستون های اطراف تیر پیوند دارای عرض 1 متر هستند که به وسیله دو شبکه میلگرد های فولادی به قطر 18 میلیمتر در فواصل 10 سانتیمتری مسلح شده اند. همچنین تیر پیوند نیز توسط میلگردهای طولی به قطر 16 میلیمتر مسلح گردیدند که در فواصل 10 سانتیمتری دارای خاموت هایی به قطر 10 میلیمتر می باشند (شکل 5). ضخامت ورق های CFRP مورد استفاده برابر 1 میلیمتر و جرم مخصوص آن برابر 1536 نیوتن بر متر مربع و ضریب پوآسون آن برابر 0/25 و مدول الاستیسیته آن نیز برابر 105×2/4 مگاپاسکال می باشد. بتن مورد استفاده در تیرصلب دارای مقاومت 250 و تیرپیوند دارای مقاومت 150 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد.



شکل5 : جزئیات فولادگذاری دیواربرشی بازشو دار مورد مطالعه

4- مدلسازی المان محدود دیوارهای برشی بازشودار

مطالعه اجزای محدود به کمک نرم افزار اجزای محدود Abaqus انجام گردید. Abaqus توانایی بررسی مدل های عددی ویژه ای را برای پاسخ غیرخطی بتن تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی دارد. در ادامه جزئیات مربوط به مدلسازی ارائه خواهد شد. برای تعریف رفتار بتن از مدلسازی ترک خوردگی Concrete damage plasticity استفاده شده است [12]. این مدل دو فرض اصلی در مکانیزم گسیختگی در نظر می گیرد که شامل ترک خوردگی کششی و خرد شدگی فشاری می باشد.

مش بندی یا شبکه بندی که به نمایندگی از مدل مورد مطالعه قرار می گیرد، به اندازهٔ کافی خوب می باشد به طوری که این اطمینان را به وجود می آورد که نیروهای اعمال شده به طور دقیق محاسبه شوند. شکل المان های مربوط به مش بندی از نوع Hex و تکنیک آن از نوع Structed که مش بندی منظم می باشد، است.

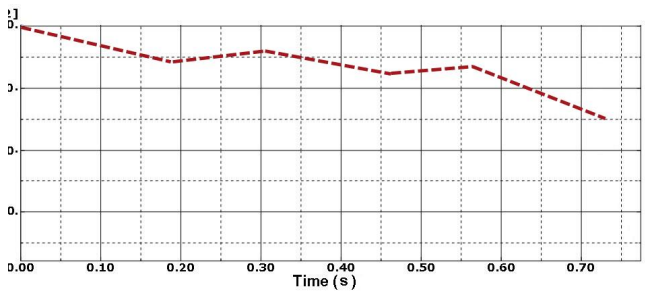
در مدلسازی تیر از المان های Beam استفاده گردید. این المان ها، از المان های سازه ای معمول قابل استفاده در نرم افزار Abaqus می باشند و اعضایی هستند که گره های آن در حالت دو بعدی دارای دو درجه آزادی انتقالی و یک درجه آزادی دورانی و چنانچه در فضا باشند، دارای سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی هستند. این المان ها دارای مقاومت خمشی، برشی، پیچشی و محوری می باشند. برتری مهم المان های Beam ساده بودن از لحاظ هندسی و تعداد درجات آزادی کم این المان ها می باشد. همچنین در مدلسازی میلگردها نیز از المان truss استفاده شده است. در مدلسازی الیاف های CFRP نیز از المان Shell که خواص یک ناحیه ی پوسته ای را مشخص می کند، استفاده گردید. یک پوسته Shell عبارتست از ماده ای که یکی از ابعاد آن در مقایسه با دو بعد دیگر قابل صرف نظر کردن بوده و از توزیع تنش در طول آن بعد صرف نظر می شود.

از آنجا که مصالح مورد استفاده در مدل تیر مورد نظر شامل بتن، فولاد و الیاف می باشند، لذا می بایست اندرکنش و تماس های بین سطوح به نحوی مناسب شبیه سازی گردد. برای این منظور از طریق ماژول Interaction که معمولا برای تعریف تماس ها و اندرکنش بین سطوح مورد استفاده قرار می گیرد، قید Tie برای تعریف اندرکنش بین فولاد و بتن و الیاف استفاده گردید. این قید از جمله قید های کاربردی در مهندسی عمران می باشد که می توان از آن برای یکپارچه سازی آرماتور و بتن، که در آن هر دو با المان های Solid مدل شده اند، استفاده نمود.

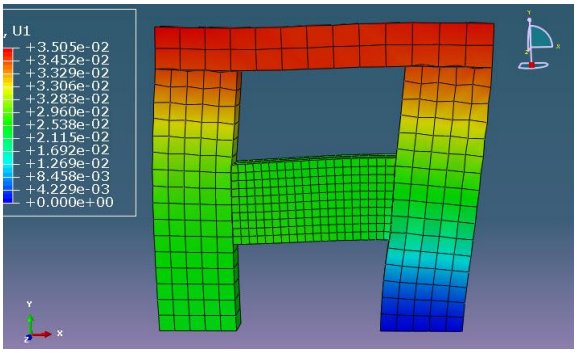
بارگذاری اعمال شده برروی دیواربرشی به صورت جانبی و از طریق کنترل جابجایی انجام شد و مساله غیر خطی نیز با استفاده از یک روش عددی دینامیکی [13] به منظور غلبه بر مشکل متداول همگرایی در جریان مدلسازی حل گردید.

5- بررسی رفتار دیوارهای برشی بازشودار مورد مطالعه

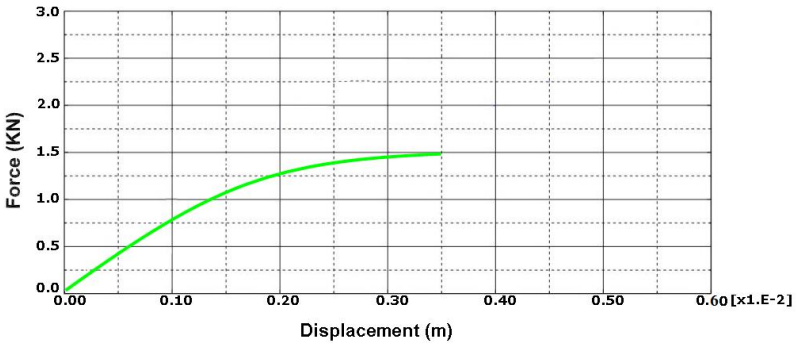
برای بررسی رفتار دیوارهای برشی بازشودار مورد مطالعه برای هر حالت، سه خروجی که به ترتیب شامل جابجایی دیواربرشی در امتداد افقی، نیروهای برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر همبند و منحنی بار- جابجایی می باشند، ارائه شده است و مقادیر بیشینه در مشخص گردید و در انتها در قالب نمودارهای ستونی با یکدیگر مقایسه شدند.



شکل6 : نیروهای برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر همبند در حالت بدون استفاده از نوار CFRP

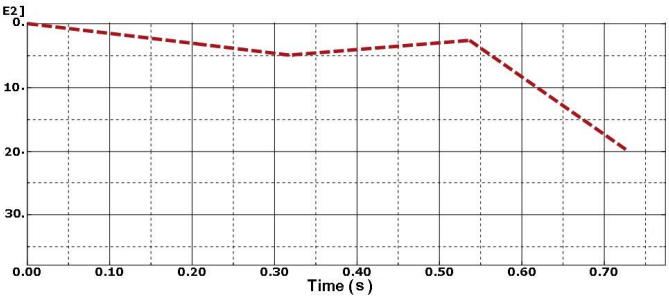


شکل7 : جابجایی دیواربرشی در امتداد افقی در حالت بدون استفاده از نوار CFRP

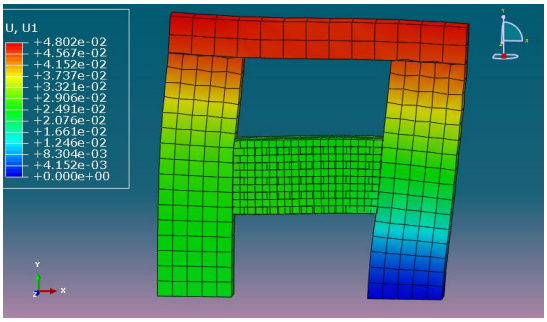


شکل8 : منحنی بار - جابجایی برای حالت بدون استفاده از ورق های CFRP

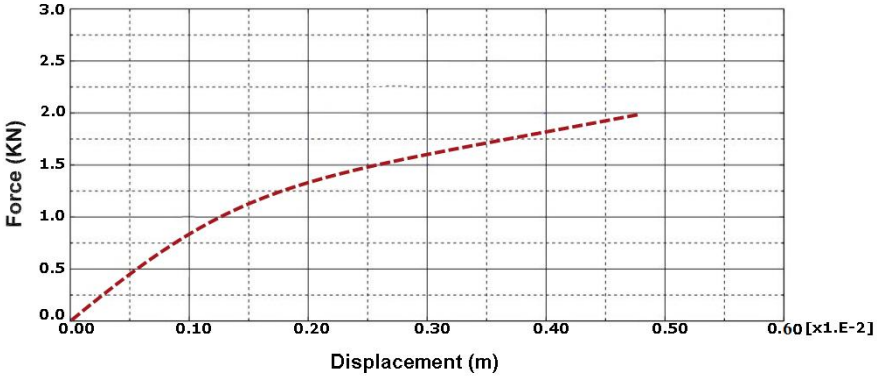
شکل های (6)، (7) و (8) به ترتیب مقادیر نیروی برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر همبند، مقادیر مربوط به جابجایی دیواربرشی بازشودار مورد مطالعه در امتداد افقی و منحنی بار- جابجایی را در حالت اول نشان می دهند. همان طور که در این نمودارها مشاهده می گردد در حالت بدون استفاده از ورق CFRP، بار نهایی دیوار برشی برابر 1500 کیلو نیوتن و جابجایی متناظر با آن برابر 35/05 سانتیمتر می باشد.



شکل9 : نیروهای برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر همبند در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت موازی

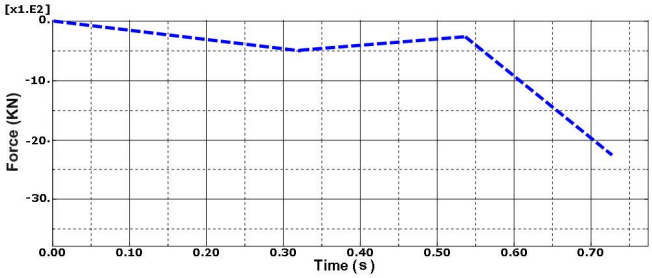


شکل10 : جابجایی دیواربرشی در امتداد افقی در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت موازی

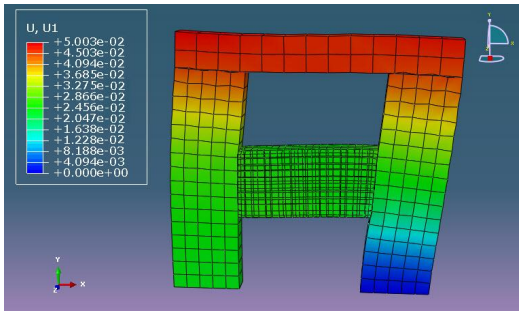


شکل11 : منحنی بار - جابجایی در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت موازی

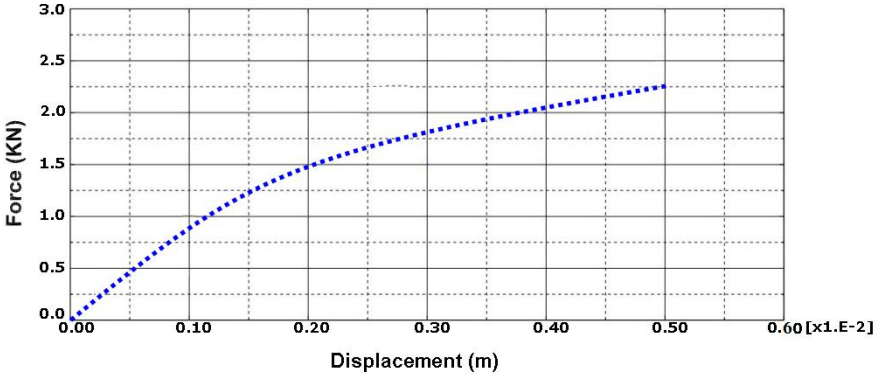
شکل های (9)، (10) و (11) به ترتیب مقادیر نیروی برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر همبند، مقادیر مربوط به جابجایی دیواربرشی بازشودار مورد مطالعه در امتداد افقی و منحنی بار- جابجایی را در حالت دوم نشان می دهند. همان طور که در این نمودارها مشاهده می گردد در حالت استفاده از ورق CFRP به صورت موازی با تیر پیوند، بار نهایی دیوار برشی برابر 2000 کیلو نیوتن و جابجایی متناظر با آن برابر 48/02 سانتیمتر می باشد.



شکل12 : نیروهای برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر پیوند در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت موازی و عمود بر تیر پیوند



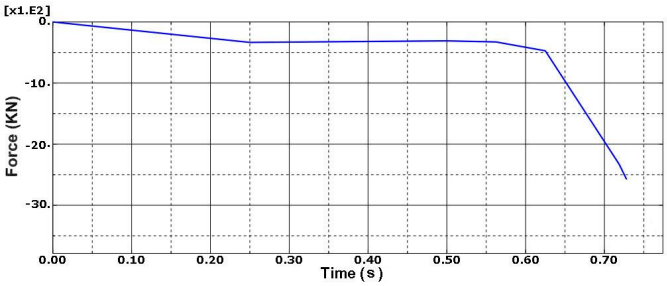
شکل13 : جابجایی دیواربرشی در امتداد افقی CFRP در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت موازی و عمود بر تیرپیوند



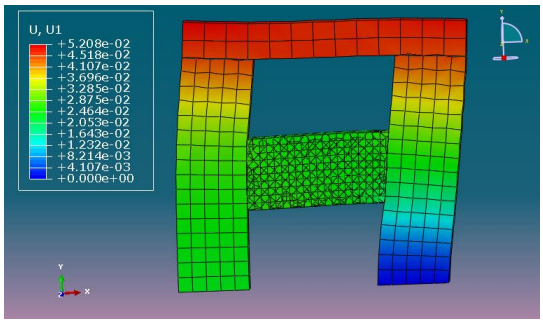
شکل14 : منحنی بار - جابجایی در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت موازی و عمود بر تیرپیوند

شکل های (12)، (13) و (14) به ترتیب مقادیر نیروی برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر همبند، مقادیر مربوط به جابجایی دیواربرشی بازشودار مورد مطالعه در امتداد افقی و منحنی بار- جابجایی را در حالت سوم نشان می دهند.

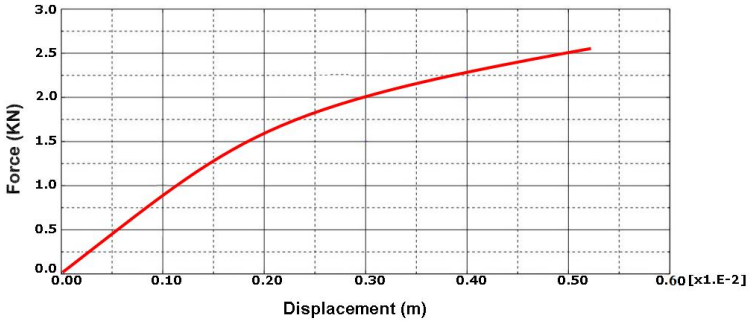
همان طور که در این نمودارها مشاهده می گردد در حالت استفاده از ورق CFRP به صورت موازی و عمود بر تیر پیوند، بار نهایی دیوار برشی برابر 2250 کیلو نیوتن و جابجایی متناظر با آن برابر 50/03 سانتیمتر می باشد.



شکل15 : نیروهای برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر پیوند در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت 45 درجه



شکل16 : جابجایی دیواربرشی در امتداد افقی در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت 45 درجه

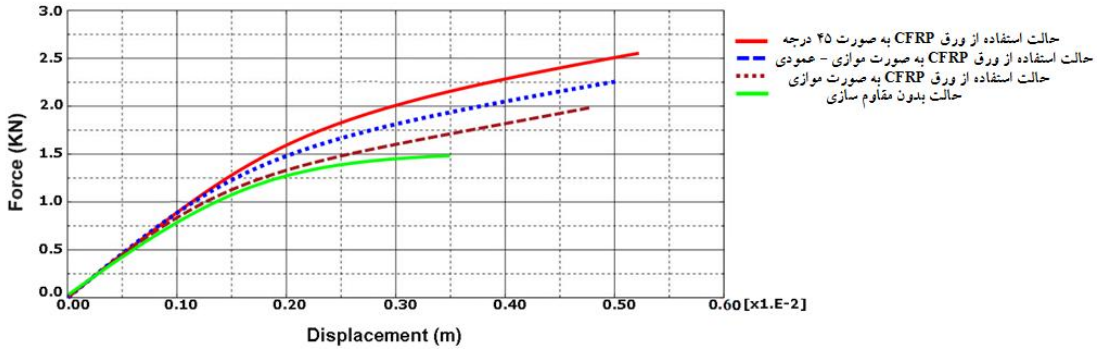


شکل17 : منحنی بار - جابجایی برای حالت بدون استفاده از ورق های CFRP در حالت استفاده از نوار CFRP به صورت 45 درجه

شکل های (15)، (16) و (17) به ترتیب مقادیر نیروی برشی ایجاد شده در دیوارهای برشی پیرامون تیر همبند، مقادیر مربوط به جابجایی دیواربرشی بازشودار مورد مطالعه در امتداد افقی و منحنی بار- جابجایی را در حالت چهارم نشان می دهند. همان طور که در این نمودارها مشاهده می گردد در حالت استفاده از ورق CFRP به صورت 45 درجه نسبت به تیر پیوند، بار نهایی دیوار برشی برابر 2600 کیلو نیوتن و جابجایی متناظر با آن برابر 52/08 سانتیمتر می باشد.

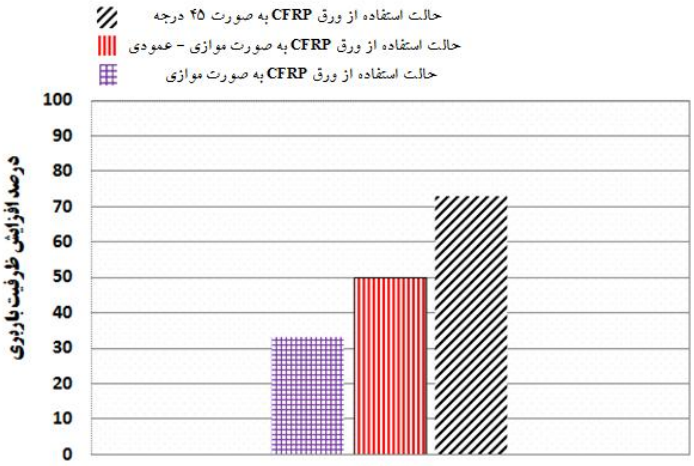
6- نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از روش اجزای محدود به بررسی امکان ارتقای لرزه ای تیرهای پیوند بتن مسلح در دیوارهای برشی بازشودار پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا مدل اجزای محدود یک دیواربرشی بازشودار دارای تیر پیوند شبیه سازی شد و در سه حالت مختف با استفاده از نوارهای CFRP مقاوم سازی گردید و رفتار نیرو تغییر مکانی آنها استخراج شد. در شکل (18) نمودارهای نیرو – تغییر مکان دیوارهای بازشودار مورد مطالعه در قالب یک نمودار ارائه شده است.



شکل 18: مقایسه رفتار نیرو تغییر مکانی مدل های دیوارهای برشی بازشودار مورد مطالعه

نتایج حاصل نشان می دهد که با افزودن نوارهای CFRP به طرفین تیرهای پیوند، رفتار نیرو – تغییر مکانی آنها ارتقا داده شده و ظرفیت تغییر شکلی بالائی حاصل میشود و بکارگیری نوارهای CFRP در ارتقای رفتار لرزه ای تیرهای پیوند میتواند موثر واقع شود. نمودار شکل 18 نشان می دهد که میزان جابجایی قابل تحمل دیوار برشی بازشودار مورد مطالعه پس از اضافه نمودن ورق های CFRP به ترتیب برای حالت های 45 درجه، موازی – عمودی و در نهایت موازی به میزان 48، 42 و 37 درصد نسبت به حالت بدون مقاوم سازی افزایش یافته است.



شکل 19: درصد افزایش ظرفیت باربری جانبی دیوارهای برشی بازشودار مورد مطالعه پس از مقام سازی

همچنین مطابق نمودار ستونی و مقایسه ای شکل (19) که درصد افزایش ظرفیت باربری دیوارهای برشی بازشودار مورد مطالعه را نشان می دهد، استفاده از نوار های CFRP، حداقل منجر به افزایش 33 درصدی و حداکثر باعث افزایش 73 درصدی ظرفیت باربری جانبی شده است و استفاده از نوار CFRP به صورت 45 درجه در مقایسه با سایر حالات منجر به افزایش باربری جانبی بیشتری شده است.

مراجع

[1] American Concrete Institute. ACI Committee 440, (2008) “ Guide for the design and construction of externally bonded FRP system for strengthening concrete structures ”. Farmington Hills, MI: ACI 440.2R-08.

[2] Galki, G. and Myers, J., (2001),"Limitation of use of waterjets in CoccreteSubstrat Preparation", American Waterjet Conference, No. 53, Minneapolis, USA.

[3] بابایی، محمد، لکی روحانی، علی، مقایسه روش های نوین مقاوم سازی تیرهای بتنی (میلگردهای FRP به روش NSM) با روش های قدیمی، ششیمن کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، 1390.

[4] Jones, R., Swamy, R.N., and Charif, A., (1988). Plate Separation and Anchrage of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plate. The Structural Engineer, Vol. 66, No.5, pp 85-94.

[5] حاجتی مدارایی, عطاءاله؛ سیدحسین قاسم زاده موسوی نژاد و علی سیف، مقاوم سازی تیرهای بتن مسلح با پوشش CFRP به روش اجزای محدود، همایش ملی مهندسی عمران ، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران، مرکز توسعه پایدار علم و صنعت فرزین، دانشگاه شهید بهشتی، 1393.

[6] Yue-Iin, H., Jong-hwei, W., Tsong, Y., Chein-hsing, H., and Yiching, L. Strengthening Reinforced Concrete Beams using Prestressed Glass Fibre¬Reinforced Polymer - Part I: Experimental Study. Journal of Zhejiang University Science, Vol. 6A(3), pp 166-174.2005.

[7] Firas Al-Mahmoud , Arnaud Castel b, Raoul François, Failure modes and failure mechanisms of RC members strengthened by NSM CFRP composites –Analysis of pull-out failure mode, Composites: Part B 43 (2012) 1893–1901, doi:10.1016/j.compositesb.2012.

[8] Belal Almassri a, Joaquim A.O. Barros b, Firas Al Mahmoud c, , Raoul Francois a, A FEM-based model to study the behaviour of corroded RC beams shear-repaired by NSM CFRP rods technique, http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.06.030.2015 .

[9] Kharatmol, R. Sananse, P. Tambe, R and Raksha J. Strengthening of Beams Using Carbon Fibre Reinforced Polymer, International Journal of Emerging Engineering Research and Technology ,Volume 2, Issue 3, PP 119-125, ISSN 2349-4395 (Print) & ISSN 2349-4409 2014.

[10] Abduljalil,B, S., Shear Resistance Of Reinforced Concrete Deep Beams With Opening Strengthened By CFRP Strips, Journal of Engineering and Development, Vol. 18, No.1, January, ISSN 1813- 7822. 2014.

[11] ABAQUS theory manual. Pawtucket, R.I: Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc.;(2011). Version 6.11 .

[12] Romanbabu M. Oinam, Dipti Ranjan Sahoo and Rahul Sindhu, " Cyclic Response of Non-ductile RC Frame with Steel Fibers at Beam-Column Joints and Plastic Hinge Regions,".2014.

[13] Teng, G. J. and Chen, j. F. and Lam, L., FRP Strengthened RC Structural, Published by John Wiley and Sons Ltd. 2002.