

## بررسی رفتار اتصالات بتنی تقویت شده با کمک الیاف FRP

مصطفی خانزادی

استادیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

بهروز حسنی

دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود

وحید احمدی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه علم و صنعت ایران

[vd.ahmadi@gmail.com](mailto:vd.ahmadi@gmail.com)

### چکیده:

در این مقاله آنالیز غیرخطی برای بررسی اثرات استفاده از الیاف FRP بر روی اتصالات بتنی و بهبود مقاومت برشی، خمشی و شکل پذیری ناحیه اتصال انجام می‌شود. به اتصال بارهای جانبی و بارهای ثقلی اعمال می‌گردد. اتصال با کمک نرم افزار ANSYS به صورت سه بعدی شبیه سازی می‌شود. در این بررسی دو نمونه اتصال مینا طرح و با کمک الیاف که به صورت‌های گوناگون بر روی وجوه اتصالات چسبانده می‌شود تقویت می‌شوند. جواب‌های بدست آمده نشان می‌دهد در حالتی که الیاف علاوه بر تقویت ناحیه کششی تیر، با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق در اطراف تیر نیز چسبانده می‌شود و همزمان ستون به صورت دور پیچ با کمک الیاف تقویت گردیده است بهترین حالت برای افزایش ظرفیت برشی تیر را ایجاد کرده و شکل پذیری ناحیه اتصال نیز بهبود می‌یابد. همچنین نتایج تحقیق حاضر حاکی از رفتار مناسب اتصالات با نسبت زیاد آرماتور طولی تیر در برابر بارهای وارده بود به طوری که کلیه اتصالات تقویت شده با میزان حداکثر آرماتور توانستند مقاومت خمشی و برشی بهتری را از خود نشان دهند.

واژه های کلیدی: الیاف FRP، اتصال بتنی، نمونه مینا

## ۱- مقدمه :

نمونه مبنا برابر و  $40 \times 40$  سانتی متر در نظر گرفته می‌شود. طول تیر به کار رفته برابر ۲ متر و طول ستون از هر طرف برابر  $3/15$  متر می‌باشد. پوشش آرماتورها در همه نقاط برابر و به مقدار ۵ سانتی متر خواهد بود.

در این بررسی ۴ نمونه اتصال تیر به ستون که در ناحیه اتصال با کمک الیاف FRP تقویت شده است، برای تقویت نمونه های مبنا تعریف می‌شود این ۴ حالت به ترتیب در شکل زیر تعریف می‌شود:

۱- الیاف L شکل روی اتصال (شکل الف)

۲- الیاف U شکل زیر تیر (شکل ب)

۳- الیاف چسبیده در دو طرف تیر (شکل ج)

۴- دور پیچ کردن تیر و ستون (شکل د)

در شکل یک حالات تقویت این نمونه ها نشان داده شده است .

با کمک شکل ۱ و ترکیب حالات آن با یکدیگر ۹ حالت تقویت برای هر یک از نمونه ها بدست می‌آید. حالات بدست آمده تقویت شده برای هر نمونه با حالت اتصال مبنای همان نمونه مقایسه می‌شود. در جدول شماره ۲ حالات تقویت هر یک از نمونه ها آورده شده است. طول الیاف به کار رفته بر روی تیر برابر ۲۴ یا ۸۰ سانتی متر (طولی که امکان تشکیل مفصل پلاستیک در آن وجود دارد). و بر روی ستون برابر ۱۲۰ سانتی متر (تقریباً ثلث طول کلی ستون و منطقه‌ای که آرماتورگذاری ویژه طبق ضوابط آیین نامه در آن نیاز است). می‌باشد. الیاف به کار رفته از نوع CFRP بوده و فقط در یک راستا گسترده می‌شوند. ضخامت الیاف به کار رفته سه میلی‌متر می‌باشد که در سه لایه یک میلی‌متری استفاده شده‌اند. ضریب کشسانی الیاف در راستای قوی تر برابر ۶۲۰۰۰ مگاپاسکال می‌باشد. فرق مدل‌های ارایه شده S8 و S9 با مدل های S7 و S6 که در جدول مشاهده می‌شود زاویه قرار گیری الیاف بر روی وجوه کناری تیر است که در این نمونه‌ها الیاف با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق قرار قرار گرفته‌اند.

در جدول شماره دو حرف کوچک S جهت سهولت استفاده شده است و نشان دهنده نوع دوم اتصال مبنا خواهد بود. حروف H در جدول طول پوششی الیاف بر روی ستون و حرف L طول پوششی الیاف بر روی تیر خواهد بود.

محققین زیادی بر روی اتصالات بتنی و مقاوم کردن آنها توسط الیاف FRP کار کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به مسلم قباره، پانتلایدز، گرگی و پروین اشاره کرد. قباره از ژاکت‌های فولادی برای تقویت اتصالات استفاده کرد، مسلم از دور پیچ کردن کامل اتصالات با الیاف کامپوزیتی برای بهسازی لرزه‌ای اتصالات بتنی استفاده کرد. وی در این بررسی مشاهده نمود که این امر به صورت چشم‌گیری بر روی شکل‌پذیری اتصال و افزایش مقاومت خمشی اتصال اثر گذاشته و موجب افزایش آن شده است. همچنین پروین و گراناتا در چندین تحقیق آزمایشگاهی و ساخت مدل های رایانه‌ای به بررسی تاثیرات استفاده از الیاف FRP بر رفتار اتصالات بتن آرمه پرداخته‌اند. در تحقیقات این محققین عموماً افزایش مقاومت خمشی مد نظر بوده است.

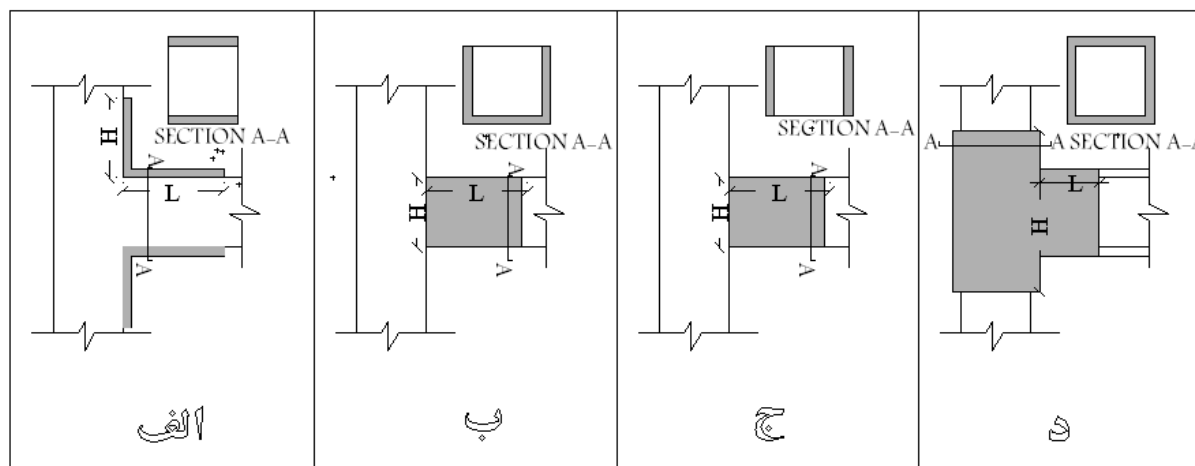
بسیاری از اتصالات موجود امروزی که بر اساس آیین نامه‌های قدیمی طراحی و اجرا شده‌اند، نمی‌توانند جوابگوی نیازهای امروزی باشند به همین خاطر در هنگام وقوع زلزله بسیار ضعیف عمل کرده و رفتار مناسبی را از خود نشان نمی‌دهند. در این بررسی با کمک الیاف FRP، دو اتصال خارجی مورد تقویت قرار می‌گیرند. الیاف FRP به صورت خارجی بر روی اتصالات چسبانده می‌شود تا با کمک این الیاف بتوان میزان نیروی قابل تحمل توسط اتصال را افزایش داد.

## ۲- مدل های ساخته شده در این تحقیق:

در این بررسی، دو نمونه اتصال مبنا که مطابق آیین نامه بتن ایران (آبا) دارای حد شکل‌پذیری متوسط می‌باشند و منطق تیر ضعیف - ستون قوی در مورد آنها رعایت شده است مورد تقویت قرار می‌گیرند. تفاوت دو نمونه مبنا، فقط از نظر میزان آرماتور طولی و عرضی و فواصل آنها با یکدیگر است. در جدول شماره ۱ این دو نمونه مبنا آورده شده است. همانطور که در جدول ملاحظه می‌گردد، در نمونه مبنا شماره ۲ میزان آرماتور عرضی در محل اتصال و همچنین قطر آرماتور طولی با نمونه اول متفاوت است؛ در نمونه دوم تمامی مقادیر با ظرفیت حداکثر مطابق ضوابط آیین نامه بتن ایران ارایه گردیده است. ابعاد تیر و ستون در هر دو

جدول شماره یک- نحوه آرایش آرماتورها در اتصال مبنا

نام نمونه	نسبت آرماتور طولی تیر	نسبت آرماتور طولی ستون	آرماتور عرضی تیر در ناحیه اتصال	آرماتور عرضی ستون در سایر نواحی	آرماتور عرضی تیر در سایر نواحی	آرماتور عرضی ستون در ناحیه اتصال
۱	$0.4\rho_{max}$	2.65%	$\Phi 10 @ 10cm$	$\Phi 10 @ 15cm$	$\Phi 10 @ 15cm$	$\Phi 10 @ 7.5cm$
۲	$\rho_{max}$	2.65%	$\Phi 10 @ 8cm$	$\Phi 10 @ 10cm$	$\Phi 10 @ 15cm$	$\Phi 10 @ 7.5cm$



شکل شماره یک- حالات تقویت اتصال مبنا

محسوب می‌شود (بسته به کششی یا فشاری بودن تنش‌های اصلی). پس از ترک خوردن المان ضریب کشسانی در راستای عمود بر ترک برابر صفر منظور گردیده و حل ادامه می‌یابد. پس از خرد شدن کامل بتن ضریب کشسانی در همه راستاها صفر فرض می‌شود و حل متوقف می‌گردد.

در این تحقیق المان‌های الیاف به صورت مواد ناهمسان (aniso) مدل می‌شود؛ این ماده در سه راستای متعامد مقاومت تسلیم متفاوت دارد. جهت سهولت در طراحی و آنالیز، فرض بر آن است که هیچگونه لغزشی میان الیاف و بتن بستر وجود ندارد. به عبارت دیگر در هنگام مدل‌سازی گره‌های الیاف را به گره‌های ایجاد شده در بتن بستر بسته و مانع حرکات و جابجایی‌های الیاف بر روی بستر می‌شویم، این روش مدل‌سازی در مورد آرماتورهای عرضی نیز استفاده شده‌است. پس از مدل‌سازی

در این بررسی جهت مدل‌سازی بتن از المان SOLID65 استفاده می‌شود، این المان خاصیت وارد کردن ترک خوردگی در بتن را دارا می‌باشد، همچنین در این المان می‌توان میزان آرماتور را در سه راستای عمود بر هم به صورت درصدی از حجم المان بیان کرد که از این خاصیت جهت مدل‌سازی آرماتورهای طولی استفاده می‌شود، برای مدل‌سازی آرماتورهای طولی از المان LINK8 و جهت مدل‌سازی الیاف FRP المان SOLID46 استفاده می‌شود. مدل‌های ترک که در این بررسی استفاده می‌شود، مدل پخش شده (Smearred) و معیار شکست مورد استفاده معیار شکست شماره ۵ پارامتری ویلیام-

وارنک در نرم افزار ANSYS می‌باشد. بر اساس این معیار چنانچه وضعیت تنش‌های اصلی در یک المان به سطح شکست از نقطه نظر محاسباتی برسد، آن المان ترک‌خورده یا خرد شده

الیاف دور پیچ به ستون	الیاف چسبیده به دو طرف تیر		الیاف U شکل زیر تیر		الیاف L شکل		نمونه مینا		نام اتصال
	L (mm)	H (mm)	L (mm)	H (mm)	L (mm)	H (mm)			
No					۸۰۰	۱۲۰۰	✓	✓	S1,S1-s
Yes							✓	✓	S2,S2-s
Yes					۸۰۰	۱۲۰۰	✓	✓	S3,S3-s
No			۸۰۰	۱۲۰۰			✓	✓	S4,S4-s
Yes			۸۰۰	۱۲۰۰			✓	✓	S5,S5-s
No	۸۰۰	۱۲۰۰					✓	✓	S6,S6-s
Yes	۸۰۰	۱۲۰۰					✓	✓	S7,S7-s
Yes			۸۰۰	۱۲۰۰			✓	✓	S8,S8-s
No			۸۰۰	۱۲۰۰			✓	✓	S9,S9-s

سوق پیدا می کند، در ناحیه کشش منحنی تنش، کرنش بتن تقریباً به صورت الاستیک و خطی تغییر می کند تا به ماکزیمم مقاومت کششی می رسد و بعد از آن در بتن ترک خوردگی رخ می دهد، مقاومت بتن به تدریج کاهش پیدا می کند تا به صفر می رسد. در این بررسی از نرمی مجدد بتن چشم پوشی گردیده است. [6]

در این مطالعه و بررسی فرض بر این خواهد بود که رفتار بتن بعد از نقطه پنجم کاملاً خمیری شده و بر این اساس می توان از محاسبه و در نظر گرفتن رفتار بتن در ناحیه بعد از نقطه پنجم چشم پوشی کرد.

ضریب کشسانی بتن در این بررسی برابر  $10^5 * 2/23$  در نظر گرفته می شود. مقدار  $f'_c$  فرض شده در این تحقیق برابر  $200 \frac{kg}{cm^2}$  برای نمونه استوانه ای فرض می شود. میزان مقاومت تسلیم الیاف برابر  $4000 \frac{kg}{cm^2}$  فرض شده است. در نقطه یک میزان تنش برابر  $f'_c * 0/3$  یا  $60 \frac{kg}{cm^2}$  می باشد. با توجه به رابطه خطی تنش و کرنش میزان کرنش آن برابر  $0/0003$  بدست می آید. کرنش نهایی در مقاومت فشاری  $\epsilon_0$  می باشد که مقدار آن برابر  $10^{-3} * 1/79$  خواهد بود. نقاط ۲ و ۳ با استفاده از معادله تقریبی تنش و کرنش در ناحیه غیر خطی بتن محاسبه می شوند.

نمونه های پیشنهادی، تمامی آنها با کمک نرم افزار ANSYS (ویرایش ۱۰) آنالیز غیرخطی می گردند. از مهم ترین پارامترهای تاثیرگذار در انجام تحقیق و تحلیل قطعات بتنی در نظر گرفتن معیار شکست و ضریب انتقال برش در ترک های باز و بسته می باشد. بر اساس مطالعات محققین، این ضریب برای ترک های بسته کمتر از یک و در نمونه های تقویت نشده در حدود  $0/15$  تا  $0/25$  در نظر گرفته می شود. لذا ضریب انتقال برش در حدود  $0/2$  برای ترک های باز و بسته در نظر گرفته می شود.

از نکات بارز انجام این بررسی در نظر گرفتن شرایط اجرایی در اجرایی در حل مساله می باشد. به طوری که در قسمت هسته اتصال، خاموت های عرضی تیر مدل سازی نشده و فقط آرماتورهای طولی تیر در داخل ستون امتداد یافته است. همچنین طول همپوشانی آرماتورهای طولی ستون در محل اتصال در حدود  $100$  سانتی متر می باشد.

جهت مدل سازی بتن از بخش میانی منحنی BANGASH به صورت شکل ۲ استفاده می شود. بر اساس تحقیقات BANGASH بعد از آنکه ماکزیمم مقاومت فشاری  $\sigma_{cu}$  در بتن حاصل شد؛ منحنی مقاومتی بتن شروع به نزول کرده و به سوی ابتدا نرمی بتن و سرانجام شکست بتن در کرنش نهایی  $\epsilon_{cu}$

وارد می‌شود. ضرایب بارهای جانبی برابر یک و منفی یک می‌باشد که با توجه به نمودار ارایه شده در شکل ۴ به اتصال وارد می‌شود.

خروجی‌هایی که از هر نمونه گرفته می‌شود در جداول و نمودارهای مربوط به هر نمونه آورده شده‌است. برای انجام آنالیز نمونه‌ها از یک دستگاه رایانه Pentium4-2400 استفاده شده‌است و برای آنالیز هر نمونه به طور متوسط ۱۵ تا ۲۲ ساعت زمان صرف شده است.

### ۳- نتایج بدست آمده :

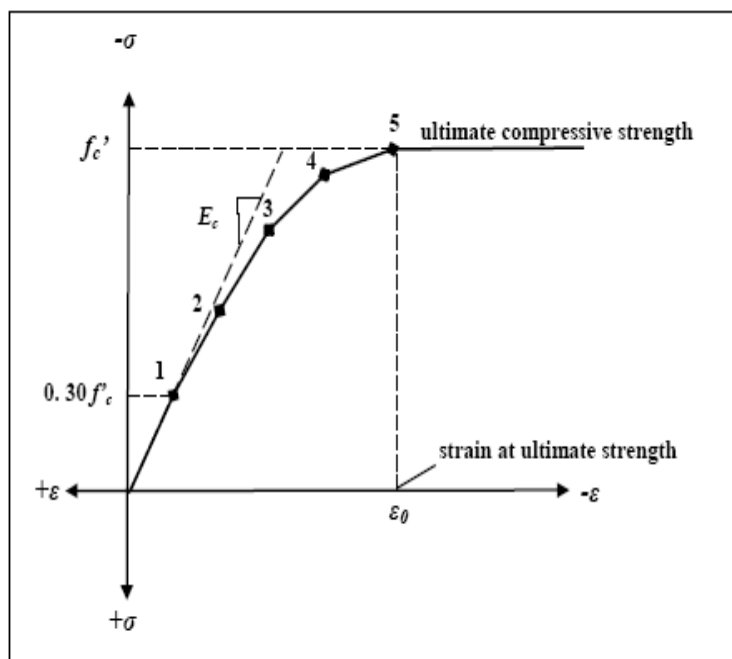
بعد از انجام آنالیز غیرخطی نمونه‌های ساخته شده با کمک نرم افزار المان محدود ANSYS، برای هر نمونه نمودار نیرو - جابجایی به طور مجزا ترسیم گردید و تعداد سیکل و بارگذاری جانبی طی شده برای هر نمونه نیز مورد بررسی قرار گرفت. نکته حایز اهمیت در این بررسی آن است که هیچ یک از نمونه‌ها نتوانستند کل سیکل‌های بارگذاری جانبی تعریف شده را با موفقیت طی کنند. علت را در انتخاب بتن با مقاومت کم، طول زیاد بازوی لنگر بارجانبی تا آکس اتصال، صرف نظر از حالت

میزان کرنش در این نواحی به ترتیب برابر  $0.00062$  و  $0.000984$  و  $0.001347$  و تنش بدست آمده در این نقاط برابر  $123/9$  و  $168/5$  و  $192/1$  کیلوگرم بر سانتی متر مربع خواهد بود.

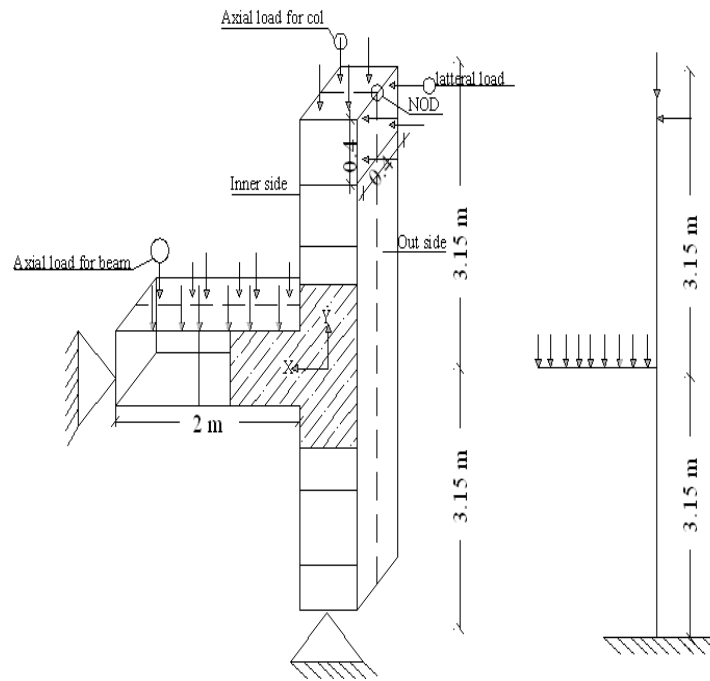
بارهایی که بر روی اتصال وارد می‌شود به دو دسته، بارهای ثقلی و جانبی قابل تقسیم کردن هستند. بارهای ثقلی به صورت گسترده بر روی تیر و ستون وارد شده و مقدار آنها به ترتیب برابر  $3/6$  و  $47$  تن می‌باشد. بار وارده بر تیر به صورت گسترده در واحد طول می‌باشد و بار وارد بر ستون در انتهای آزاد ستون به صورت متمرکز بر روی آن وارد می‌شود.

بار جانبی وارده که در شکل ۳ نشان داده شده است از نوع چرخشی می‌باشد که در سطح مقطعی برابر  $0.16$  متر مربع در انتهای آزاد ستون بر آن وارد شده است. بار جانبی چرخشی وارد بر اتصالات در شکل ۴ نشان داده شده‌است.

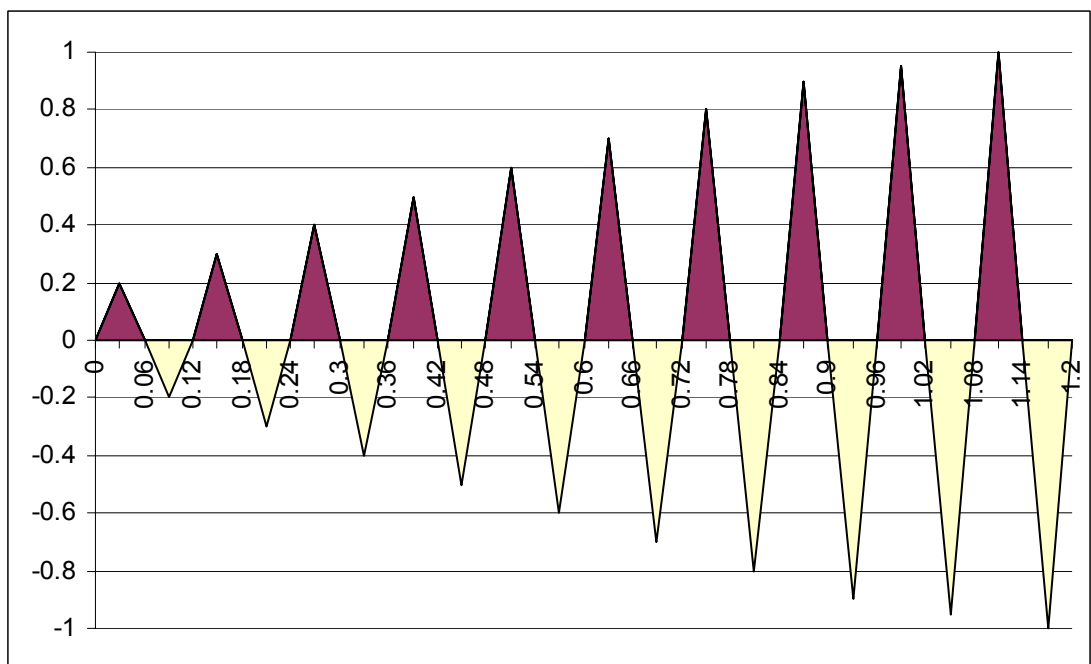
مطابق تعریف انجام شده در این بررسی، بار جانبی چرخشی عبارت است از: بار توزیع شده افزایشی  $\times$  ضرایب بارهای جانبی  $\times$  سطح معین جایی که بارها توزیع شده‌اند، بار جانبی وارده به اتصال در  $10$  سیکل متوالی به صورت کششی و فشاری به اتصال



شکل ۲ - بخش مورد استفاده منحنی BANGASH در مقاومت فشاری برای این مطالعه [6]



شکل ۳- اتصال مرجع تیر به ستون [1]

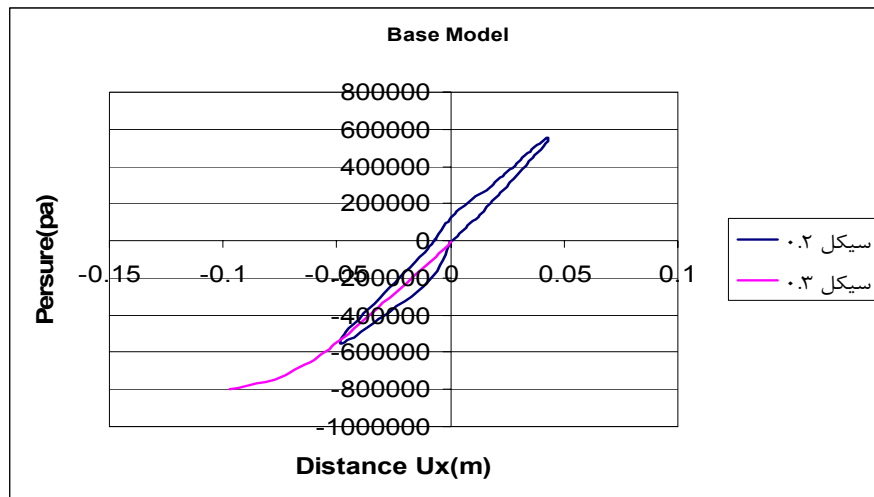


شکل ۴- توالی بارهای چرخشی برای کنترل مدل های تقویت شده [1]

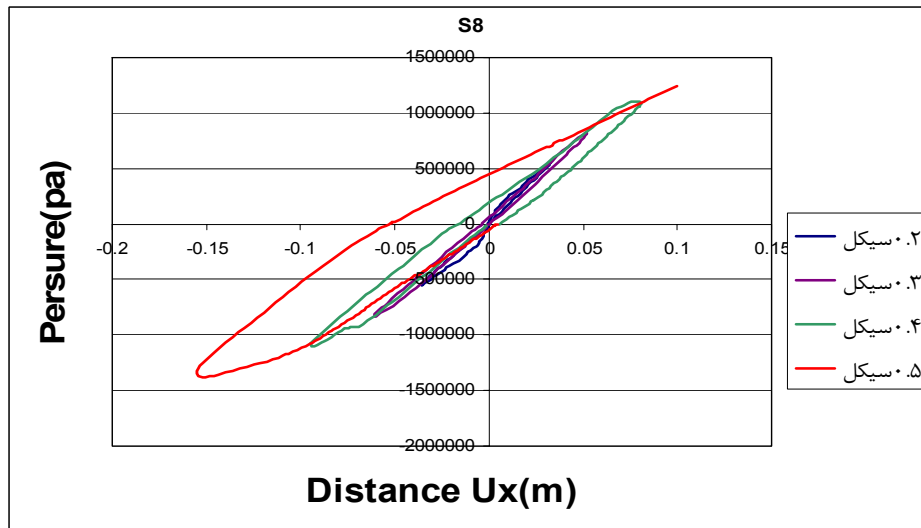
سخت شدن مجدد بتن قبل از شکست در منحنی  $Bangash$  ،  $S$  نشان داده شده است. خواننده جهت مشاهده بقیه نمودارها می تواند به مرجع شماره یک مراجعه نماید . درجدول شماره ۳ درصد جابجایی انتهای آزاد نمونه نسبت به نمونه مینا و نیروی وارده نهایی تا قبل از لحظه شکست آورده شده است.

در نمودارهای زیر دو اتصال مینا و اتصال تقویت شماره ۸ در

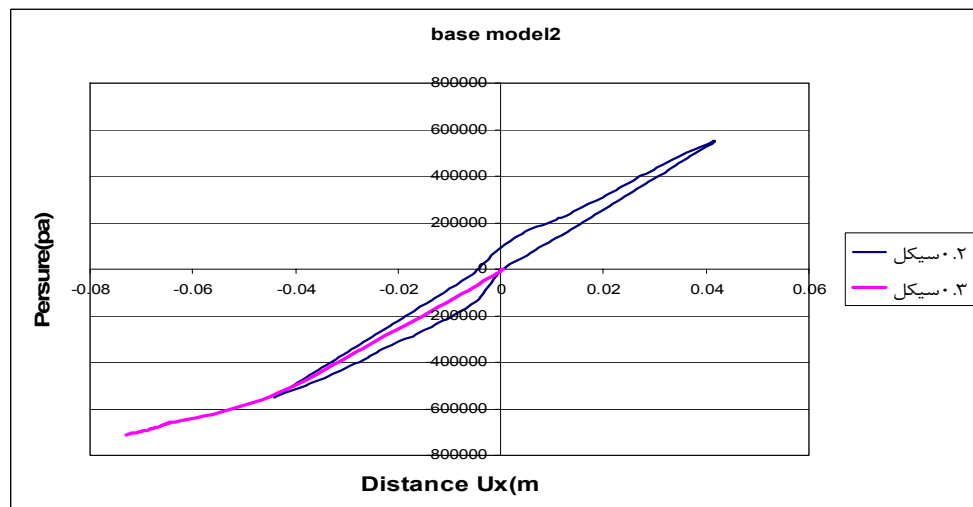
نمودارهای زیر دو اتصال مینا و اتصال تقویت شماره ۸ (S8,S8)



نمودار شماره ۱- نمودار نیرو-جابجایی نمونه مینای شماره یک



نمودار شماره ۲- نمودار نیرو-جابجایی تقویت شماره ۸ نمونه مینای شماره یک



نمودار شماره ۳- نمودار نیرو- جابجایی نمونه مینای شماره دو

۳- در مواردی که ناحیه کششی تیر با استفاده از الیاف تقویت نشده باشد به دلیل نوع بارگذاری، ترک ها در این ناحیه شروع به رشد کرده و سبب توقف آنالیز می شوند. این مسئله حتی هنگامی که وجوه کناری تیر نیز تقویت شود صادق است. (نمونه های S6, S6-s)

۴- پس از بررسی نمونه های تعریف شده و تقویت شده در اتصال مبنای شماره یک می توان اینگونه برداشت کرد که در حالت S2 در صد نیروی قابل تحمل نسبت به بقیه موارد بیشتر است که علت افزایش سختی ستون به دلیل دورپیچ شدن بوسیله الیاف می باشد که منجر به کاهش جابجایی انتهای آزاد ستون و همچنین افزایش جذب نیروی آن می شود. پس از آن بیشترین تعداد گام مربوط به حالتی است که بال های فشاری و کششی تیر نیز تقویت شده باشند که منجر به افزایش ظرفیت خمشی و کششی تیر گردند.

در بررسی دیگری که به عمل آمده، تعداد چرخه های طی شده تا لحظه شکست نمونه مورد تحلیل قرار گرفت در جدول ۴ تعداد چرخه های طی شده تا قبل از شکست نمونه آورده شده است. همانطور که در جدول ملاحظه می گردد در همه نمونه ها تعداد چرخه ها افزایش یافت پس می توان اینگونه تصور کرد که برای هر دو نمونه مبنا میزان تعداد گام های انجام شده از همه تمامی نمونه ها استفاده از الیاف سبب افزایش جذب انرژی بیشتر توسط اتصال شده است که به تبع آن شکل پذیری نمونه ها افزایش یافته است.

همانطور که در جدول شماره ۴ ملاحظه می شود در نمونه شماره ۸ برای هر دو نمونه مبنا میزان تعداد گام های انجام شده از همه نمونه های دیگر بیشتر است که علت زاویه قرارگیری الیاف بر روی وجوه کناری تیر است. هنگامی جهت قرارگیری الیاف تغییر می یابد مدول الاستیسته الیاف در راستای عمود بر الیاف بسیار کمتر از مدول الاستیسته الیاف در راستای الیاف می باشد که این امر سبب می شود با تغییر زاویه قرارگیری آن نسبت به تیر اصلی در مقاومت اتصال و شکل پذیر آن تاثیر مستقیم داشته باشد. در این بررسی منظور از گام در بارگذاری خطوط مورب در هر سیکل بارگذاری است. بنابراین در هر سیکل بارگذاری دو گام فشاری و دو گام کششی وجود خواهد داشت.

لازم به ذکر است در جدول فوق، نیروهای منفی نشان دهنده نیروی فشاری و نیروی مثبت نشان دهنده نیروی کششی می باشد. پس از تقویت ناحیه اتصال میزان جابجایی انتهای ستون در ۹۰٪ موارد کاهش یافته است. همچنین میزان نیروی قابل تحمل توسط اتصال به طرز چشمگیری افزایش داشته و سیکل های بارگذاری بیشتری را نیز طی کرده است. در نمونه S6، S9-s، S6 و S6-s ملاحظه می شود که میزان نیروی قابل تحمل توسط اتصال کاهش یافته است که علت آن قرارگیری الیاف بر روی وجوه کناری تیر می باشد. علت این امر را می توان اینگونه بیان کرد که استفاده از الیاف در این ناحیه به دو دلیل است یکی افزایش مقاومت فشاری و دوم جلوگیری از افزایش عمق ترک های برشی در تیر در مراحل انتهایی بارگذاری؛ اما به دلیل طول زیاد بازوی لنگر بار جانبی و همچنین عدم تقویت ناحیه کششی تیر بر اثر بارهای رفت و برگشتی نواحی کششی زودتر دچار ترک خوردگی شده و آنالیز متوقف می شود. در حدود ۱۰٪ از نمونه ها مشاهده شد که میزان جابجایی نهایی سر آزاد ستون افزایش یافته است که علت آنرا می توان اینگونه بیان نمود که در هنگامی که سختی به سمت صفر هدایت شود تا زمانی که آنالیز نمونه به طور کامل متوقف شود به دلیل آنکه نیرو جانبی وارد به اتصال دائماً در حال افزایش می باشد، به علت ترک خوردگی و کاهش مقاومت بتن موجب افزایش بیشتر جابجایی خواهد شد. همچنین خطای عملیاتی نیز ممکن است سبب این امر گردد.

#### ۴- نتیجه گیری:

با بررسی دقیق تر جدول شماره سه می توان اینگونه برداشت کرد:

۱- در صورت استفاده همزمان از الیاف به صورت دورپیچ ستون و قرارگیری بر روی تیر میزان نیروی قابل تحمل و همچنین میزان جابجایی انتهای آزاد آن کاهش می یابد که علت آن افزایش سختی ستون و جذب انرژی بیشتر توسط آن است. به همین خاطر میزان شکل پذیری اتصال افزایش خواهد یافت.

۲- در کلیه نمونه ها جواب های بدست آمده برای نمونه مبنای شماره دو که حداکثر میزان آرماتور را مطابق ضوابط آیین نامه آبا دارا می باشد به مراتب بهتر از حالت نمونه مبنای شماره یک است.



**منابع:**

- ۱) احمدی وحید؛ طراحی و تقویت اتصالات در قاب های معمولی بتنی با کمک الیاف FRP پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه دانشگاه علم و صنعت ایران ۱۳۸۷
- 2) Azadeh Parvin ,Shanhong Wu(2008)“Ply angle effect on fiber composite wrapped reinforced concrete beam–column connections under combined axial and cyclic loads“,Composite Structures 82 (2008) 532–538 , Department of Civil Engineering
- 3) ACI 352R-91,"Recommendations for reinforced Concrete Joints in Monolithic Reinforced concrete Structures,"ACI Manual of Practice , 2000
- 4) Ghobarah, A., Aziz, Tarek S. and Ashraf Biddah,“Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Connections Using Corrugated Jacking,” ACI Structural Journal, Vol. 4, No. 3, May-June, 1997, pp. 283- 294
- 5) Mosallam,A. S., “Strength and Ductility of Reinforced Concrete Moment Frame Connections Strengthened with Quasi-Isotropic Laminates,” Composites:PartB, No.31,2000, pp.481-49
- 6) Bangash, M. Y. H., Concrete and Concrete Structures:Numerical Modeling and Applications, Elsevier Science Publishers Ltd., London, England, 1989.

جدول ۳- میزان جابجایی و نیرو وارده به هر اتصال در مقایسه با اتصال مینا

نام نمونه	میزان نیروی وارده	جابجایی وارده	نرخ نیرو	نرخ جابجایی
مینا یک	-۲۹۶۳.۱	. ۷	۱.	۱.
S۱	۶۱۹۸.	- . ۱۳	-۲. ۹	۱.۸۳
S۲	۱۲۸۵ .	- . ۸	-۴.۳۴	۱.۱
S۳	-۱۲۳۵۳.	. ۴	۴.۱۷	- . ۵۵
S۴	-۳۱ ۵.	. ۶	۱. ۵	- . ۸۶
S۵	-۸۹ ۹۸	- . ۸	۳. ۱	۱. ۶
S۶	۲۱۷۶۶	- . ۸	- . ۷۳	۱.۱۴
S۷	-۴۵۲۸.۱	- . ۱۲	۱.۵۳	۱.۶۲
S۸	۴۵۷ .۴	. ۱	-۱.۵۴	-۱.۳۷
S۹	۲۴۸۳.۵	. ۶	- . ۸۴	- . ۸۴
مینا دو	-۲۹۶۳.	- . ۷	۱.	۱.
S۱-s	-۲۹۶۷.۲	- . ۱۳	۱.	۱.۸۳
S۲-s	-۲۳۵۱.۴	- . ۸	۱.۱۳	۱.۱
S۲-s	-۴۴۴۲.	. ۴	۱.۵	- . ۵۵
S۴-s	۳۴۸۴.	. ۶	-۱.۱۸	- . ۸۶
S۵-s	-۴ ۸۱.۳	- . ۹	۱.۳۸	۱.۱۸
S۶-s	۲۸۲۹.	. ۶	- . ۹۶	- . ۸۴
S۷-s	۳۷۴۷.۲	. ۶	-۱.۲۶	- . ۸۶
S۸-s	۳۷۶۵.۱	. ۶	-۱.۲۷	- . ۸۹
S۹-s	-۲۵۶۹.۱	- . ۸	. ۸۷	۱.۱۵

جدول شماره ۴- گام های بارگذاری طی شده برای هر نمونه

نام نمونه	تعداد گام	نام نمونه	تعداد گام
مینا یک	۴	مینا دو	۴
S۱	۶	S۱-s	۸
S۲	۱۵	S۲-s	۹
S۳	۱۲	S۳-s	۱۶
S۴	۴	S۴-s	۷
S۵	۸	S۵-s	۹
S۶	۴	S۶-s	۶
S۷	۱۲	S۷-s	۱۴
S۸	۱۴	S۸-s	۱۴
S۹	۶	S۹-s	۵