

بررسی رفتار اتصالات قاب بتنی تقویت شده با پلیمرهای مسلح با الیاف

مهدی شادمند^{1*}، آرش سیاری²

1- دانشجوی دکتری مهندسی عمران - سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، Shadmand90@gmail.com

2- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، Sayari_51@yahoo.com

چکیده

بررسی زلزله های مخربی که در سالهای اخیر رخ داده اند، نشان دهنده این است که اتصالات تیر به ستون نقش بسیار مهمی در پایداری سازه های بتنی دارند. از اینرو در سالهای اخیر آئین نامه های معتبر توجه ویژه ای به طراحی لرزه ای اتصالات بتنی نموده اند. با این وجود، بسیاری از ساختمانهای موجود که ضوابط آیین نامه های جدید طراحی را برآورده نمی سازند، در برابر بارهای لرزه ای ضعیف بوده و در زلزله های محتمل بعدی در معرض آسیب های شدید قرار دارند. یکی از روش های نوین که در سال های اخیر مورد توجه صنعتگران قرار گرفته، مقاوم سازی سازه ها با استفاده از الیاف FRP می باشد. در پژوهش حاضر به بررسی عددی رفتار اتصالات قاب بتنی تقویت شده با پلیمرهای مسلح با الیاف FRP پرداخته شده است. بدین منظور در ابتدا یک قاب بتنی یک دهانه دو طبقه با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ABAQUS مدل سازی و سپس در مرحله بعد به تقویت محل اتصال تیر به ستون با پلیمرهای مسلح با الیاف (FRP) در دو حالت مقاوم سازی در محل اتصال تیر به ستون در راستای 45 و به صورت کامل پرداخته و مورد مقایسه و بررسی قرار می گیرند. نتایج حاصله نشان می دهد که تقویت اتصالات با استفاده از پلیمرهای مسلح با الیاف FRP، منجر به افزایش ظرفیت نهایی سازه می گردد و از سوی دیگر با توجه به منحنی بار - جابجایی، اختلاف میزان جابجایی جانبی قابل تحمل حالت بدون مقاوم سازی با مقاوم سازی با FRP در راستای 45 درجه در محل اتصال قاب بتنی برابر 34 درصد و اختلاف میان حالت بدون مقاوم سازی با مقاوم سازی با FRP در کل محل اتصال قاب بتنی برابر 46 درصد می باشد و در نتیجه استفاده از الیاف FRP منجر به بهبود رفتار و عملکرد اتصالات قاب بتن مسلح در مقاوم سازی اجزای سازه ای می گردد.

واژه های کلیدی: مقاوم سازی، اتصالات بتنی، پلیمرهای مسلح با الیاف (FRP)، قاب بتن مسلح، اجزای محدود، ABAQUS

1- مقدمه

زمین لرزه پدیده ای است طبیعی و غیر قابل اجتناب، تحقیقات و گزارش های موجود در زمینه شکست سازه های بتنی در اثر زمین لرزه نشان می دهد که اغلب سازه ها در اتصالات دچار ضعف و شکست شده اند. هنگام وقوع زمین لرزه اتصال تیر به ستون در سازه های قاب خمشی مسلح، دچار تنش های زیادی می شود. بر اثر این تنش ها بطور معمول گره اتصال دچار آسیب شده و حتی در بعضی موارد دچار گسیختگی می شود. سازه های بتن آرمه به عنوان بخش گسترده ای از سازه ها، چنانچه بر حسب محاسبات دقیق و روابط شکل پذیری، طراحی و اجرا شوند، ساختمان های بسیار مطلوبی خواهند بود. اما کیفیت ساخت در برخی ساختمان ها به دلایل مختلف بسیار نامطلوب است. کیفیت بد بتن، آرماتورگذاری نامناسب، اجرای بد بتن ریزی، مصالح نامرغوب و... از مشکلات این سازه می باشد. علاوه بر این، رعایت ضوابط شکل پذیری، در طراحی و ساخت این بناها ضروری می باشد.

زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد که در ساختمان‌های بتنی که سیستم لرزه ای آنها، فقط قاب خمشی است، در مقایسه با قاب‌هایی که از دیوار برشی بهره می‌گیرند، عملکرد ضعیف‌تری دارند. علت این امر تمرکز تخریب در اتصالات است و به دلیل ضعف ذاتی اتصالات بتنی، آسیب‌پذیری این نوع سازه‌ها زیاد می‌باشد.

حرکت استمراری علم در عرصه مهندسی سازه موجب گردیده است تا مقاوم سازی در سال‌های اخیر با استفاده از روش‌های نوین و مصالحی جدید، که در پیشینه طولانی ساخت و ساز، سابقه نداشته است، مورد استفاده قرار گیرد. در میان این نوآوری‌ها، مواد کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف (FRP¹) از جایگاه ویژه برخوردار می‌باشد، تا آنجا که از نظر برخی متخصصان، FRP را باید مصالح ساختمانی هزاره سوم نامید. کامپوزیت FRP که در ابتدا در صنایع هوا و فضا به کار برده شد، با داشتن ویژگی‌های ممتازی چون نسبت بالای مقاومت به وزن، دوام در برابر خوردگی و سرعت و سهولت در حمل و نصب، دریچه‌ای نو پیش روی مهندسان عمران گشوده است، به گونه‌ای که امروزه سازه‌های متعددی در سراسر دنیا با استفاده از این مواد تقویت شده‌اند [1].

پلیمرهای مسلح با الیاف یک ماده‌ی مرکب و کامپوزیتی است که از فیبر یا الیاف تقویتی و ماتریس (ماده‌ی در برگیرنده) یا رزین از جنس پلیمر تشکیل شده است. پلیمرهای تقویت شده به وسیله الیاف FRP به عنوان یک جایگزین برای روش‌های مقاوم‌سازی قدیمی مانند چسباندن صفحات فولادی، افزایش سطح مقطع و پیش تنیدگی خارجی برای سازه‌های بتنی پدیدار شده است [2].

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 [3]. 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 برابر خوردگی بهترین جایگزین برای دیگر مصالح در روش های تقویت سازه ها می باشد. برای تقویت خمشی تیرها و شاتیرهای بتنی، FRP به صورت ساده به سطح کششی تیر یا شاتیر چسبانده می شود. ورق های FRP شامل فیبرهای با مقاومت بالا نظیر شیشه یا کربن در یک ملات اپوکسی می باشند [4]. 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 [5]. در سال های اخیر تحقیقات متعددی در زمینه امکان استفاده از کامپوزیتهای پلیمری در تقویت لرزه ای و همچنین در جلوگیری از خوردگی سازه های چوبی، فولادی و بتن آرمه انجام شده است. براساس این تحقیقات استفاده از کامپوزیت ها به عنوان تکنیک مؤثری در تعمیر و بهسازی سازههای بتن آرمه و حتی سازه های فولادی و چوبی و سازه های بنایی معرفی شده است.

یکی از کاربردهای موفق استفاده از الیاف FRP، تقویت ظرفیت باربری و شکل پذیری سازه های بتن آرمه با استفاده از پوشش های خارجی چسبیده به محل اتصال تیر به ستون می باشد.

این نوع تقویت در هر دو نوع تقویت لرزه ای و نیز جلوگیری از خوردگی اتصال در محیط های خورنده مؤثر است. در این فرآیند چندین لایه از کامپوزیت به سطح آماده شده بتن به شکل دورپیچ و یا طولی، برای تقویت شکل پذیری یا ظرفیت باربری دور اتصال چسبانده می شوند. دامنه استفاده از کامپوزیت های FRP در تقویت سازه ها به سایر اجزاء سازه های از قبیل تیرها و دالها نیز کشیده شده است. برای تقویت این اجزاء، ورقه ها یا تسمه های FRP در زیر، بالا و پهلو تیرها یا دال های بتن آرمه چسبانده می شوند. در تیرها و دال ها عمدتاً میتوان تقویت یا بهسازی خمشی، برشی و پیچشی این اجزاء را انتظار

¹ Fiber Reinforced Polymer or Plastic

داشت. علاوه بر این، بهسازی قابلیت بهره برداری تیرها و دال ها با استفاده از پوشش های FRP نیز از مسائلی است که در سال های اخیر مورد توجه محققین مختلف بوده است. جدیدترین زمینه تحقیقاتی در عرصه تقویت سازه ها با استفاده از کامپوزیت های FRP را میتوان استفاده از این ورقه ها در بهسازی خواص اتصالات دانست. علاوه بر استفاده های یاد شده، کاربرد بسیار مهم دیگری از پوشش های FRP، تقویت سازه های خاص از قبیل پل ها است. پایه ها و عرشه های پل از اجزاء سازه های هستند که تقویت آنها با استفاده از پوشش های FRP تحقیقات زیادی را به خود متوجه ساخته است.

2- محصور کردن بتن با استفاده از الیاف FRP

سیستم های مقاوم سازی FRP باید براساس تحمل بارهای کششی طراحی شوند، در عین حال باید سازگاری کرنشی را با بتن سطح زیرین خود داشته باشند. در تقویت کننده های FRP نباید به مقاومت در برابر بارهای فشاری آنها تکیه کرد. با این وجود می توان تحمل آنها را در مقابل فشار ناشی از اعمال لنگرهای خمشی متناوب یا تغییر در نحوه بارگذاری قابل بررسی دانست. اما در هر حال از مقاومت فشاری اجزای تقویت کننده FRP صرف نظر می شود [6].

2-1- اصول طراحی

توصیه های طراحی براساس اصول حالت طراحی حدی پایه گذاری شده است. این روش بر مبنای دو سطح ایمنی حالت حدی بهره برداری (تغییر شکل زیاد، ترک خوردگی) و حالت طراحی نهایی (شکست، گسیختگی، خستگی) می باشد [6]. در تعیین مقاومت اسمی عضو، حالت های شکست ممکن و تنش ها و تغییر شکل های حاصله در هر یک از مصالح در نظر گرفته می شود. برای ارزیابی قابلیت خدمت رسانی عضو اصول مهندسی مانند نسبتهای مدولی و سطح مقطع های تغییر شکل داده شده (معادل)، استفاده می شوند.

برای سیستم های FRP که به منظور بهسازی لرزه ای سازه ها طراحی می شوند، توصیه می گردد از اصول طراحی براساس ظرفیت استفاده شود. در این روش فرض می شود که سازه باید به ظرفیت کامل خود برسد و لازم است که اعضا قادر به تحمل و مقاومت در برابر برش اعمالی باشند. طراحی سیستم های FRP بخصوص در مواقعی که برای اتصالات مورد استفاده قرار می گیرند، باید به گونه ای باشد که اعضا دارای مقاومت لرزه ای از طریق اتلاف انرژی وارده بوده و ظرفیت تغییر شکل آنها براساس آیین نامه هایی با فرض سطوح برش پایه محاسبه شود [6].

2-2- محدودیت های مقاوم سازی

لازم است ملاحظات دقیقی برای تعیین محدودیت های مقاوم سازی اختصاص داده شود. این محدودیت ها به دلیل تضمین عدم فروریختن سازه و وقوع دیگر گسیختگی های سیستم FRP که ناشی از آتش سوزی، خرابکاری یا دیگر دلایل است، می باشد. برای این منظور بعضی از طراحان و سازندگان سیستم، توصیه کرده اند که باید اعضای سازه ای مقاوم سازی نشده، بدون نصب تقویت کننده های FRP ظرفیت تحمل کافی برای مقاومت در برابر مقدار مشخصی از بار را داشته باشند. براساس این ایده در حوادثی که منجر به خرابی در سیستم FRP می گردد، سازه هنوز قادر به مقاومت مناسبی در برابر بارها بدون اینکه دچار ریزش شود، خواهد داشت [6].

2-3- کاربری های لرزه ای

سهم عمده مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها مربوط به تقویت ستون ها می باشد. سیستم های FRP با دورپیچ کردن ستونها، باعث بهبود ظرفیت فشاری بتن، کاهش طول وصله و افزایش مقاومت برشی می گردند. هنگامی که تیرها یا کف ها در

قاب‌های ساختمانی در نواحی زلزله خیز تقویت می‌شوند، باید مقاومت و سختی تیر، کف و ستون به طور جداگانه جهت اطمینان از اینکه مفصل پلاستیک نزدیک ستون و اتصال صورت نگیرد، کنترل شود.

2-3-1- تقویت خمشی

اتصال مصالح FRP به ناحیه کششی بتن با راستای الیاف در جهت طولی یک عضو خمشی، باعث افزایش مقاومت خمشی آن عضو می‌گردد. در طراحی این حالات باید رفتار قاب تقویت شده با در نظر گرفتن کاهش قابل توجه چرخش و انحنای در قسمتهای تقویت شده مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در این وضعیت تأثیر بارهای متناوب بر مصالح FRP نیز باید بررسی شود [6].

فرضیات زیر در محاسبات تقویت خمشی مقطع بتنی با به کار بردن سیستم FRP به کار می‌رود:

- محاسبات طراحی براساس ابعاد واقعی موجود، نحوه‌ی استقرار میلگردها و خصوصیات مصالح عضو تقویت شده می‌باشد.
- کرنش در بتن و FRP متناسب با فاصله آنها از محور خنثی است به عبارتی شکل مقطع قبل و بعد از بارگذاری تغییر نمی‌کند.

- هیچ نوع لغزش نسبی بین FRP و بتن رخ نمی‌دهد.
- تغییر شکل برشی در لایه چسب، با توجه به ضخامت خیلی کم آن، نادیده گرفته می‌شود.
- حداکثر کرنش فشاری بتن 0/003 فرض می‌گردد.
- از مقاومت کششی بتن صرف‌نظر می‌شود.
- رابطه تنش - کرنش FRP تا نقطه شکست آن، به صورت الاستیک خطی فرض می‌شود.

2-3-2- حالات گسیختگی خمشی

مقاومت خمشی یک مقطع تقویت شده به حالت شکست آن بستگی دارد. حالات گسیختگی خمشی زیر برای یک مقطع مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- 1- خرد شدن بتن فشاری قبل از جاری شدن فولاد
 - 2- شکست لایه های FRP به دنبال جاری شدن فولاد کششی
 - 3- خرد شدن بتن فشاری به دنبال جاری شدن فولاد کششی
 - 4- جدا شدن FRP از لایه زیرین بتن
 - 5- جدا شدگی پوشش بتن در سطوح کششی یا برشی
- در بعضی حالات از ابتدا مشکل است که نوع گسیختگی تشخیص داده شود بنابراین ابتدا یک حالت شکست فرض شده و پس از تحلیل، بررسی می‌شوند که این حالت رخ می‌دهد یا نه. اگر فرض اولیه نادرست باشد، یک حالت گسیختگی دیگر فرض شده و تحلیل تکرار می‌گردد با توجه به روند به کار رفته در این آیین نامه حالت چهارم گسیختگی نادیده گرفته می‌شود در واقع فرض بر این است که با به کار بردن مهارهای کافی با طول مناسب و کافی برای اتصال، مصالح FRP به حداکثر ظرفیت خود می‌رسند [6].

2-3-3- تقویت پیچشی

این قسمت دربردارنده ضوابط کلی استفاده از مصالح FRP به عنوان رکابی‌های خارجی، به منظور افزایش مقاومت برشی و پیچشی مقاطع بتن آرمه می‌باشد. در این روش صفحات FRP به وجوه جانبی تیر چسبانده می‌شود بطوریکه راستای الیاف عمود بر محور طولی تیر یا مورب باشد. برای داشتن رکابی خارجی U شکل، مصالح FRP بصورت ممتد روی دو وجه جانبی و

زیر تیر نصب می شود که این امر سبب بهبود مهار تقویتی خمشی FRP نیز می گردد. از آنجائیکه طول موجود برای نصب رکابی های FRP به ارتفاع تیر محدود می شود، بتن موجود باید از کیفیت مناسبی برخوردار باشد، سطح بتن باید متناسب با نیازمندیهای مصالح FRP مورد استفاده و در صورت لزوم ترمیم شود. به منظور پرهیز از گسیختگی رکابی های FRP در اثر تمرکز تنش در گوشه های مقطع تیر، این گوشه ها باید به شعاع حداقل 35 میلیمتر گرد شوند [6].

2-3-4 تقویت برشی

روش مطرح شده در این بند بر پایه آیین نامه بتن ایران می باشد و مقاومت برشی نهایی تأمین شده توسط بتن V_c و مقاومت برشی نهایی تأمین شده توسط آرماتور برشی V_s از آن آیین نامه به دست می آیند که مقاومت برشی تأمین شده توسط مصالح FRP، V_{frp} ، برای لحاظ کردن سهم تقویت برشی FRP به آن اضافه شده است. مقاومت برشی نهایی مقطع V_r با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود [6]:

$$V_r = V_c + V_s + V_{frp} \quad (1)$$

که در این رابطه V_c و V_s از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$V_c = 0.02 f_c \sqrt{f_c} b_w d \quad (2)$$

$$V_s = f_s A_v f_y \frac{d}{s} \quad (3)$$

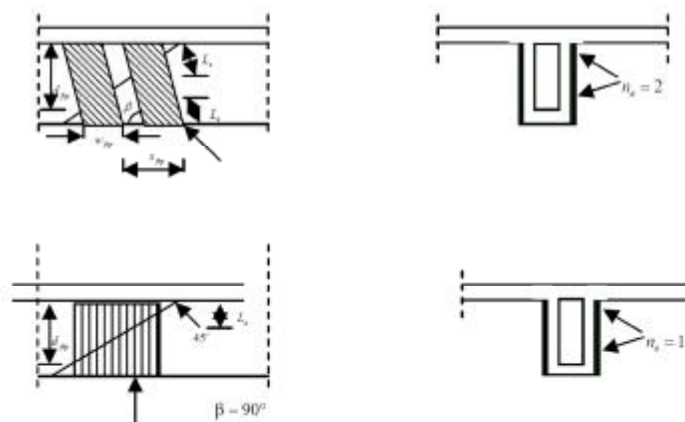
سهم مصالح FRP از برش بصورت زیر تعیین می شود:

$$V_{frp} = \frac{f_{frp} E_{frp} e_{frp} A_{frp} d_{frp} (\sin b + \cos b)}{S_{frp}} \quad (4)$$

که در رابطه بالا داریم:

$$A_{frp} = 2 t_{frp} W_{frp} \quad (5)$$

در روابط فوق S_{frp} فاصله بین تقویت های برشی FRP، W_{frp} پهنای این تقویت ها و b زاویه آن ها با محور طولی عضو می باشند. عمق موثر رکابی های FRP، d_{frp} فاصله انتهای آزاد زیر دال یا تیر تا زیر خاموتهای فولادی در نظر گرفته می شود و در حالتی که مقطع بطور کامل دور پیچ شده باشد برابر h (ارتفاع تیر) فرض می شود. (شکل 1)



شکل 1: تقویت برشی تیر با رکابی های FRP [6]

3- مدلسازی اجزای محدود اتصالات بتنی تقویت شده با پلیمرهای مسلح با الیاف

روش اجزاء محدود یک ابزار قوی برای حل عددی محدوده وسیعی از مسایل مهندسی است. دامنه ی کاربرد آن شامل طیف وسیعی از تحلیل تنش و تغییر شکل برای سازه ی ساختمان، پل و بسیاری از مسائل مکانیکی می شود. در روش اجزاء محدود، محیط پیوسته به اجزاء هندسی ساده و کوچکتري که جزء محدود نامیده می شود، تقسیم می گردد. این عمل را جزء بندی کردن و نقطه مشترک اجزا را گره می نامند. مشخصات مصالح و تنش های داخلی بر حسب تغییر مکان های مجهول گوشه های هر یک از این اجزاء تعریف می گردد. با توجه به ترتیب قرارگیری اجزا در کنار یکدیگر، معادلات آنها بر هم سوار شده و با منظور کردن نیروهای خارجی و شرایط تکیه گاهی در محل گره ها، معادلات تعادل کل سیستم به دست می آید. این معادلات نیروهای گره ای را به تغییر مکان های گره ای ربط می دهند و ثابت های آنها مشخصات هندسی و الاستیک اجزاء محدود می باشند. با حل این معادلات تغییر مکان های گره ای و در پی آن تنش های داخلی محاسبه می شوند. ایده پایه برای روش اجزاء محدود، از لزوم تحقیق دقیق سازه هواپیما پایه ریزی شد. در سال 1941 میلادی، هرنیکوف² روشی برای حل مسائل تئوری الاستیسیته بر پایه ی روش شبکه بندی ارائه کرد [7]. مقاله کورنت³ که در آن از انتروپله ی چند جمله ای در روی اجزاء مثلثی برای حل مسائل پیچش استفاده کرده بود، در سال 1943 منتشر شد [8]. ترنر⁴ و همکاران، ماتریس سختی را برای خرپا، تیر و سایر اجزاء تعیین کرده و نتایج کار خود را در سال 1956 منتشر ساختند [9]. نام اجزاء محدود اولین بار توسط کلاف⁵ در سال 1960 مورد استفاده قرار گرفت [10]. در سال 1963، المان محدود به عنوان یک روش ویژه و یک قانون علمی مهم پذیرفته شد. این امر منجر به پژوهش های بیشتر در این زمینه گردید تا جایی که علاوه بر مسائل سازه ای، در حل مسائل انتقال حرارت و مکانیک سیالات نیز به کار گرفته می شود. در ابتدای دهه 1970، تحلیل المان محدود به عنوان یک روش عددی عمومی برای حل هر نوع سیستم معادله های دیفرانسیل، جای خود را باز کرد [11]. در آن زمان، این روش همچنان به صورت محدود به کار گرفته می شد، چرا که کامپیوترهای قوی چندان در دسترس نبودند و انجام این گونه حل های پیچیده عددی توسط انسان، تا حدودی مشکل به نظر می رسید. امروزه پیشرفت های روش اجزاء محدود در دو زمینه رابطه سازی اجزاء محدود جدید و همچنین کاربردی کردن استفاده از آن با نوشتن برنامه های کامپیوتری دنبال گشته و با وجود نرم افزارهای متعددی که در این حوزه طراحی شده اند، استفاده از مزیت های این روش قدرتمند برای پژوهشگران در دانشگاه ها و مهندسان در صنایع مختلف میسر شده است. در این میان یکی از جامع ترین و قدرتمند ترین نرم افزارهای اجزاء محدود مهندسی، نرم افزار Abaqus [12] می باشد که در چند سال اخیر با استقبال بیشتری توسط محققین و پژوهشگران رشته های مختلف مهندسی مواجه شده است. Abaqus یک مجموعه از برنامه های مدلسازی بسیار توانمند می باشد که مبتنی بر روش اجزاء محدود، قابلیت حل مسائل از یک تحلیل خطی ساده تا پیچیده ترین مدلسازی غیر خطی را دارا می باشد. این نرم افزار از مجموعه المان های بسیار گسترده ای تشکیل شده، به طوریکه هر نوع هندسه ای را می توان به صورت مجازی توسط این المان ها مدل کرد. همچنین دارای مدل های مواد مهندسی بسیار زیادی است که در مدلسازی انواع مواد با خواص و رفتار گوناگون نظیر فلزات، لاستیک ها، پلیمرها، کامپوزیت ها، بتن تقویت شده و همچنین مواد موجود در زمین نظیر خاک و سنگ، می تواند مورد استفاده قرار گیرد. این نرم افزار با توجه به محیط کاربر پسند نسبت به سایر نرم افزارهای مشابه، در سال های اخیر کاربران زیادی را به خود جذب کرده و قابلیت تحلیل سازه های فلزی، بتنی، تحلیل مخازن سیالات با لحاظ نمودن اندرکنش آب و سازه، سدهای بتنی و خاکی و نیز تحلیل های خزش وابسته به دما و نیز دینامیکی خطی و غیر خطی و نیز دینامیک سیالات و ... را دارا می باشد.

² Hernikoff

³ Courant

⁴ Turner

⁵ Clough

با توجه به این نکته که بهبود رفتار اتصالات یکی از مسائل مهم و مورد بحث در مهندسی عمران می باشد، بنابراین در مطالعه ی حاضر نیز به منظور بررسی هر چه دقیق تر جهت مدلسازی اتصالات بتنی تقویت شده با ورقهای FRP از روش اجزاء محدود به کمک نرم افزار Abaqus استفاده می گردد.

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 [13]. این مدل دو فرض اصلی در مکانیزم گسیختگی در نظر می گیرد که شامل ترک خوردگی کششی و خرد شدگی فشاری می باشد.

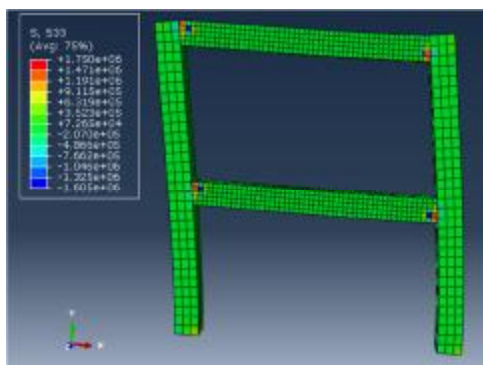
مش بندی یا شبکه بندی که به نمایندگی از مدل مورد مطالعه قرار می گیرد، به اندازه کافی خوب می باشد به طوری که این اطمینان را به وجود می آورد که نیروهای اعمال شده به طور دقیق محاسبه شوند. شکل المان های مربوط به مش بندی از نوع Hex و تکنیک آن از نوع Structed که مش بندی منظم می باشد، است.

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 اعضای 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 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 FRP 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 نظر کردن بوده و از توزیع تنش در طول آن بعد صرف نظر می شود.

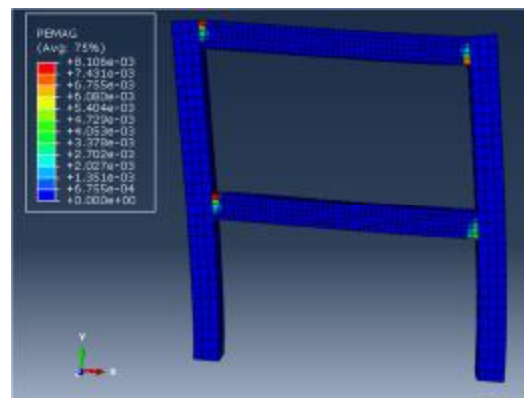
در ادامه برای مدلسازی اجزای محدود اتصال تیر به ستون ساختمان بتنی، در ابتدا محل اتصال بدون مقاوم سازی و بار دیگر با استفاده از پلیمرهای مسلح با الیاف مقاوم سازی گردیده و شکل پذیری محل اتصال تیر به ستون مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرند.

4- خروجی های حاصل از تحلیل اتصالات بتنی تقویت شده با پلیمرهای مسلح با الیاف

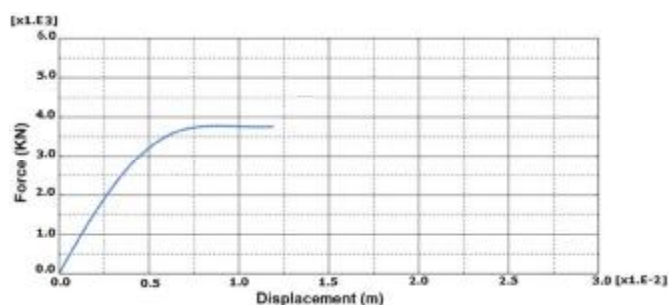
برای بررسی رفتار اتصالات بتنی تقویت شده با پلیمرهای مسلح با الیاف مورد مطالعه برای هر حالت، چهار خروجی که به ترتیب شامل شاخص خرابی، تنش فون میسز، جابجایی محل اتصال در امتداد قائم و منحنی بار- جابجایی می باشند، ارائه شده است و در انتها با یکدیگر مورد مقایسه و بررسی قرار می گیرند .



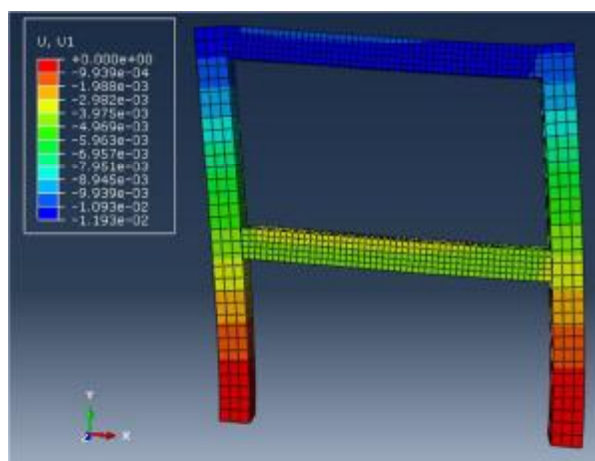
شکل 3: تنش فون میسز قاب بتنی در حالت بدون مقاوم سازی با FRP



شکل 4: شاخص خرابی ایجاد شده در قاب بتنی بدون مقاوم سازی با FRP

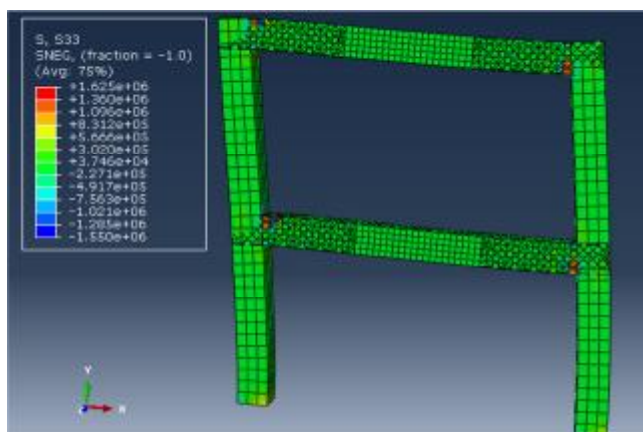


شکل 5: منحنی بار - جابجایی در حالت بدون مقاوم سازی با FRP

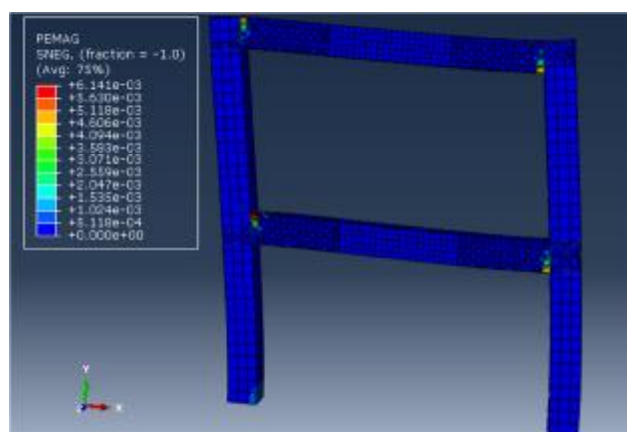


شکل 4: جابجایی قاب بتنی در جهت افقی در حالت بدون مقاوم سازی با FRP

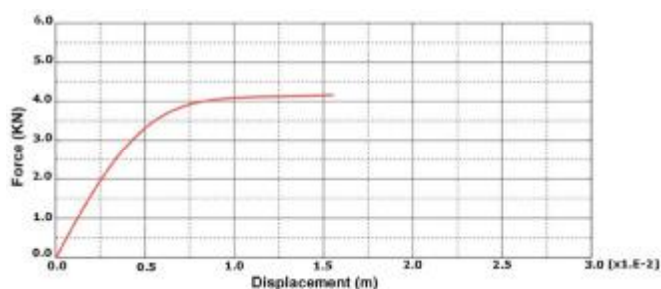
شکل های 2 تا 5 به ترتیب مقادیر شاخص خرابی ایجاد شده در در قاب بتنی، مقادیر مربوط به تنش فون میسر قاب بتنی مورد مطالعه، جابجایی قاب بتنی در جهت افقی و نمودار منحنی بار - جابجایی را در حالت بدون مقاوم سازی با FRP نشان می دهند. همان طور که مشاهده می گردد در حالت بدون مقاوم سازی با FRP، بار نهایی قاب بتنی برابر 3810 کیلو نیوتن و جابجایی متناظر با آن برابر 1/19 سانتیمتر می باشد.



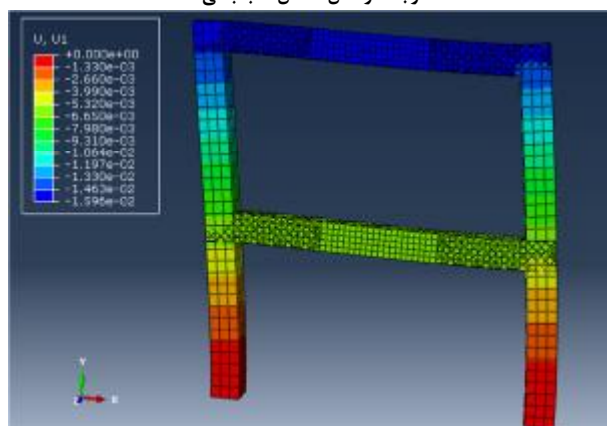
شکل 7: تنش فون میسر قاب بتنی در حالت مقاوم سازی با FRP در راستای 45 درجه درمحل اتصال قاب بتنی



شکل 6: شاخص خرابی ایجاد شده در حالت مقاوم سازی با FRP در راستای 45 درجه درمحل اتصال قاب بتنی

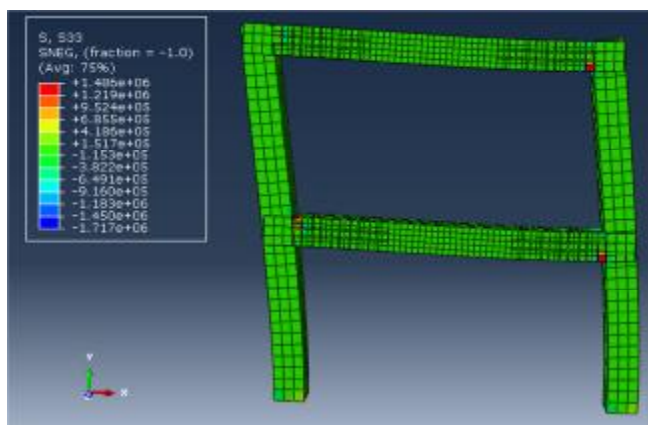


شکل 9: منحنی بار - جابجایی در حالت مقاوم سازی با FRP در راستای 45 درجه درمحل اتصال قاب بتنی

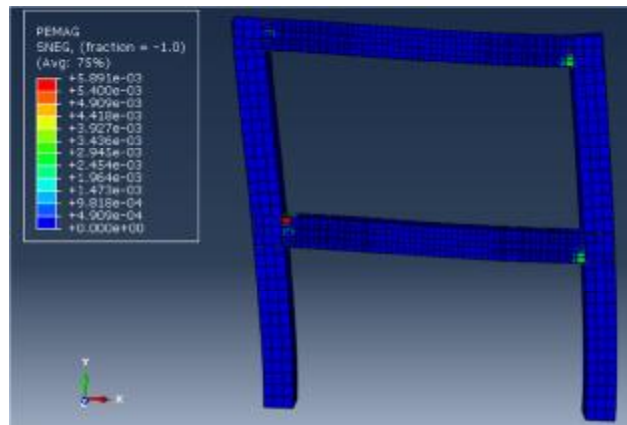


شکل 8: جابجایی قاب بتنی در جهت افقی در حالت مقاوم سازی با FRP در راستای 45 درجه درمحل اتصال قاب بتنی

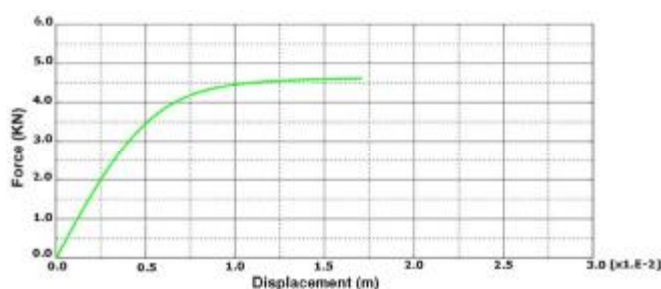
شکل های 6 تا 9 به ترتیب مقادیر شاخص خرابی ایجاد شده در در قاب بتنی، مقادیر مربوط به تنش فون میسز قاب بتنی مورد مطالعه، جابجایی قاب بتنی در جهت افقی و نمودار منحنی بار- جابجایی را در حالت مقاوم سازی با FRP در راستای 45 درجه در محل اتصال قاب بتنی را نشان می دهند. همان طور که مشاهده می گردد در حالت مقاوم سازی با FRP در راستای 45 درجه در محل اتصال قاب بتنی، بار نهایی قاب بتنی برابر 4120 کیلو نیوتن و جابجایی متناظر با آن برابر 1/59 سانتیمتر می باشد.



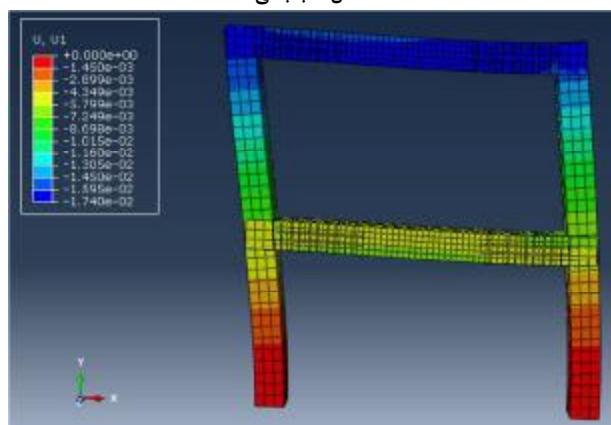
شکل 11: تنش فون میسز قاب بتنی در حالت مقاوم سازی با FRP در کل محل اتصال قاب بتنی



شکل 10: شاخص خرابی ایجاد شده در حالت مقاوم سازی با FRP در کل محل اتصال قاب بتنی



شکل 13: منحنی بار- جابجایی در حالت مقاوم سازی با FRP در کل محل اتصال قاب بتنی



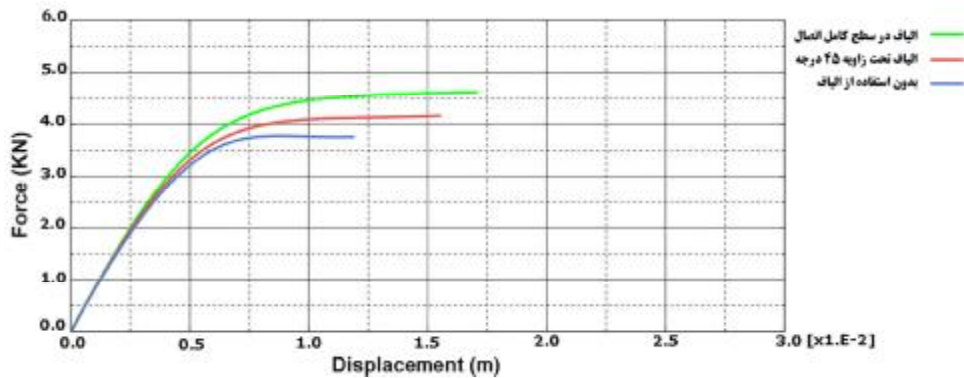
شکل 12: جابجایی قاب بتنی در جهت افقی در حالت مقاوم سازی با FRP در کل محل اتصال قاب بتنی

شکل های 10 تا 13 به ترتیب مقادیر شاخص خرابی ایجاد شده در در قاب بتنی، مقادیر مربوط به تنش فون میسز قاب بتنی مورد مطالعه، جابجایی قاب بتنی در جهت افقی و نمودار منحنی بار- جابجایی را در حالت مقاوم سازی با FRP در کل محل اتصال قاب بتنی را نشان می دهند. همان طور که مشاهده می گردد در حالت مقاوم سازی با FRP در کل محل اتصال قاب بتنی، بار نهایی قاب بتنی برابر 4615 کیلو نیوتن و جابجایی متناظر با آن برابر 1/74 سانتیمتر می باشد.

5- نتیجه گیری

نرم افزار ABAQUS قابلیت های مناسبی جهت مدلسازی رفتار اتصالات تیر به ستون بتنی تقویت شده با ورق های FRP در اختیار کاربر قرار می دهد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ABAQUS رفتار اتصالات با در نظر گرفتن اثر

اندرکنش بین سطوح مدل‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور مقایسه رفتار حالات مختلف در قرارگیری جهت پلیمرهای مسلح با الیاف، سه حالت بدون در نظر گرفتن الیاف، استفاده از الیاف در سطح کامل و استفاده از الیاف تحت زاویه 45 درجه در محل اتصال تیر به ستون در قاب بتن مسلح مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت.



شکل 14: منحنی بار-جابجایی در حالات مختلف در محل اتصال قاب بتنی

شکل 14 منحنی بار-جابجایی در حالات مختلف محل اتصال قاب بتنی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد می‌گردد که میزان جابجایی قابل تحمل قاب بتنی مورد مطالعه پس از اضافه نمودن ورق های FRP به ترتیب برای حالت های در سطح کامل، 45 درجه و در نهایت بدون استفاده از الیاف به ترتیب برابر 1/74، 1/59 و 1/19 می باشد. همچنین اختلاف میان حالت بدون مقاوم سازی با مقاوم سازی با FRP در راستای 45 درجه در محل اتصال قاب بتنی برابر 34 درصد و اختلاف میان حالت بدون مقاوم سازی با مقاوم سازی با FRP در کل محل اتصال قاب بتنی برابر 46 درصد افزایش یافته است، به عبارتی در حالت استفاده از FRP در کل محل اتصال، قاب بتن مسلح از شکل پذیری بیشتری نسبت به حالات دیگر برخوردار است.

مراجع

- [1] دریابیگی، سید رضا، تقویت و بهسازی سازه های بتنی با مصالح FRP مفاهیم و کاربرد، انتشارات علم و ادب، 1390.
- [2] دریابیگی، سید رضا، آئین نامه های طراحی استفاده از مصالح FRP جهت مقاوم سازی سازه های بتنی، انتشارات علم و ادب، 1391.
- [3] Jones, R., Swamy, R.N., and Charif, A., (1988). Plate Separation and Anchorage of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Epoxy-Bonded Steel Plate. The Structural Engineer, Vol. 66, No.5, pp 85-94.
- [4] 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.
- [5] 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).
- [6] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP، نشریه شماره 345، 1385.
- [7] Hrnkoff, A. Solution of problems in elasticity by the framework method. J. Appl Mech. Trans. ASME, Vol 8, ppl69-174, 1941.
- [8] Courant, R. Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibration. Bull. Am. Math. Soc. Vol 49, ppl43, 1943.

- [9] Turner, M. J. Stiffness and deflection analysis of complex structures. CLOUGH, R. W. J. Aero. Sci. Vol 23, No 9, pp. 805-823,1956. MARTIN, H. C. TOPP, L. J.
- [10] Clough, R. W. The finite element method in plane stress analysis- J. Sturcture Div., ASCE, Proc. 2nd Conf Electronic Computation, pp 345-378,1960.
- [11] Weaver, W., "Finite Element for structural Analysis," (1983), Prentice Hall.
- [12] ABAQUS theory manual. Pawtucket, R.I: Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc.; Version 6.11, 2011.
- [13] Corley, W. Gene; Sozen. Mete A.; Thornton. Charles H.; and Mlaker, Paul F., "The Oklahoma City Bombing Improving Building Performance Through Multi-Hazard Mitigation.