

کاربرد ورق ها FRP در مقاوم سازی تیرهای بتن آرمه و بررسی نحوه گسترش ترک و انواع گسیختگی آنها

امیر حسین رفیعی¹، محمد صالح حزینی²، ارسلان خسروی زاده³، فرهاد آهی⁴

1 و 2: دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه

3: دانشجوی کارشناسی مهندسی معماری، دانشگاه رازی کرمانشاه

Amir_h_r65@yahoo.com

خلاصه

کامپوزیت های FRP یکی از مواد جدید برای مقاوم سازی، سازه های بتن آرمه می باشند. از ورق های FRP برای تقویت خمشی، برشی، پیچشی و ترکیب آنها استفاده می شود این روش تقویت سازه ها امکان باربری بیشتری را در سازه ها ایجاد می کند اما تغییرات خاصی نیز در رفتار اعضای تقویت شده ایجاد میکند. در این مقاله پس از معرفی این کامپوزیتها به بررسی روشهای اجرای این مواد در تیرهای بتن آرمه پرداخته شده است. در ادامه با توجه به تغییرات خاص مورد اشاره در رفتار تیرهای تقویت شده به تحلیل و گسترش ترکهای منجر به گسیختگی و شناسایی انواع گسیختگی در اینگونه تیرها به خصوص نوع رایج و خطرناک گسیختگی Delamination پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: کامپوزیت، FRP، مقاوم سازی، تنش برشی، Delamination

مقدمه

یکی از سازو کارهای جدید برای تقویت و تسلیح سازه های بتن آرمه ورق های FRP است. FRP ها دسته ای از مصالح جدید ساختمان به نام کامپوزیت هستند که به منظور تقویت، تسطیح و جایگزینی در سازه های بتن آرمه به کار می روند این مواد از دو قسمت تشکیل شده اند: فیبر و ماتریس که نوعی رزین است و برای چسباندن دسته های الیاف به کار می رود بنابراین خواص مکانیکی و شیمیایی این کامپوزیت ها به خواص این دو بخش بر می گردد. امروزه به طور عمده سه نوع فیبر کربن، شیشه و آرمید برای تولید FRP به کار می رود از جمله خواص مهم این کامپوزیت ها می توان به رفتار الاستیک تا مرحله شکست، مقاومت کششی بالا در جهت الیاف و مقاومت در برابر خوردگی اشاره کرد. البته آنچه که در مورد خود فیبرها به اثبات رسیده است این که فیبرهای آرمید و شیشه در محیط هایی که محلول آلكالین وجود دارد (0) بخصوص داخل بتن (مورد تهاجم واقع می شوند. برعکس فیبرهای کربن در مقابل حملات شیمیایی ناشی از آلكالین ها و کلرورها کاملاً مقاوم بوده و در اکثر محیطها خواص خود را حفظ می کنند ضمناً FRP های کربنی دارای سختی نسبتاً بالایی در مقایسه با سایر محصولات هستند.

FRP ها در شکل آرماتور ورق تولید می شوند که در اینجا به بررسی رفتار گسیختگی تیرهای تقویت شده با ورقه های FRP می پردازیم . اما قبل از آن باید بدانیم که تیرهای بتنی چگونه با این ورقه ها تقویت می شوند .

روشهای تقویت تیرهای بتن آرمه با ورق های FRP :

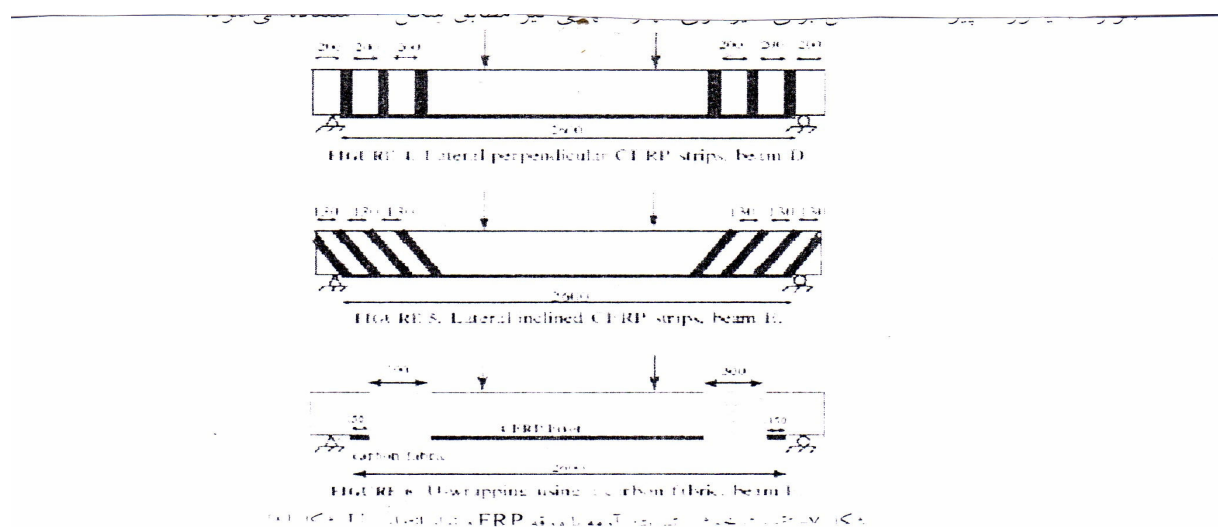
از ورق های FRP برای تقویت خمشی ، برشی ، پیچشی و ترکیب آنها در اعضای باربر و غیربار بر سازه های بتن آرمه استفاده می شود . از سال 1960 تقویت سازه های بتنی با ورقه های فولادی رواج پیدا کرد و مطالعات تئوریک و آزمایشگاهی زیادی در این زمینه و همچنین در مورد مهار بندی انتهای ورق ها انجام شد که نتایج آن به صورت یک روش در تقویت دالها و تیرها به کار رفت . میر در سال 1987 مطالعاتی به منظور استفاده از CFRP برای مصارف ترمیمی انجام داد و نشان داد که این مواد می تواند جایگزین مناسب صفحات فولادی شوند . از سال 1990 به منظور افزایش ظرفیت سازه های بتنی از ورقه های CFRP استفاده شده است .

این ورقه ها هم به منظور تقویت خمشی و هم به منظور تقویت برشی تیرها با استفاده از انواع خاصی از چسب ها بر روی بدنه خارجی تیرها چسبانده شده و در دوانتهای آنها مهار می شود . به علت تصادفی بودن خواص بتن توصیه می شود که پوشش ها در سه طرف و به صورت پیوسته اجراء شوند .

مراحل نصب یک ورق FRP به شرح زیر است :

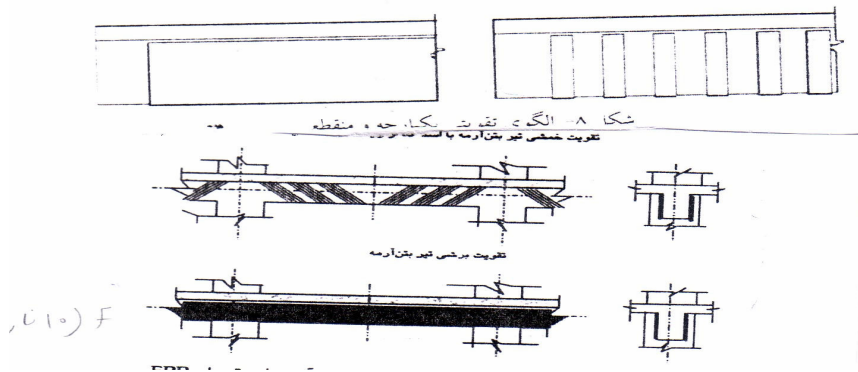
- 1- مالیدن پرایمر یا لایه اولیه و آستری
- 2- پر کردن ناپیوستگی ها و خلل فرج با بتونه
- 3- مالیدن رزین یا چسب
- 4- قرار دادن ورق های FRP در محل مورد نظر
- 5- مالیدن لایه فوقانی یا چسب
- 6- به کار بردن پوشش محافظ

در شکل 1 تقویت تیر بتن آرمه در برابر خمشی با انواع مهار انتهایی نشان داده شده است .

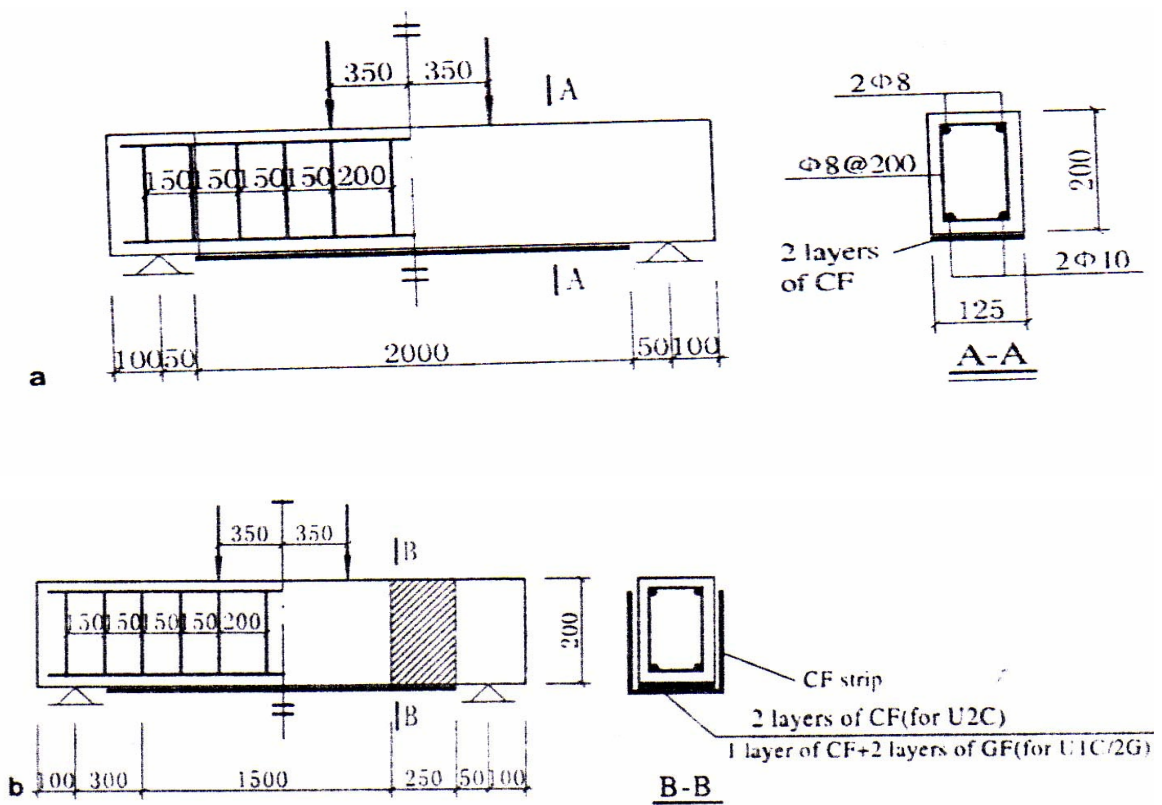


شکل 1- روش های تقویت خمشی تیرهای بتن آرمه با کامپوزیت FRP

مطالعات انجام گرفته در زمینه تقویت برشی تیرهای بتن آرمه محدود تراز بررسی های تقویت خمشی آنها با مواد کامپوزیت می باشند . در هنگام تقویت برشی می توان از الگوی ورق یکپارچه یا Laminate و نوارهای منقطع یا Strips استفاده کرد . (شکل 2) . گاهی اوقات نیز لازم است که تیر برای هر دو حالت خمش و برش تقویت شود . لازم به ذکر است که در این حالت جنس ورقه های تقویت خمشی (معمولاً CFRP) با جنس ورقه های تقویت برشی (معمولاً CFRP) متفاوت است . این حالت تقویت را می توان در شکل 3 مشاهده کرد .



شکل ۲ - تقویت برشی تیرهای بتن آرمه با کامپوزیت FRP



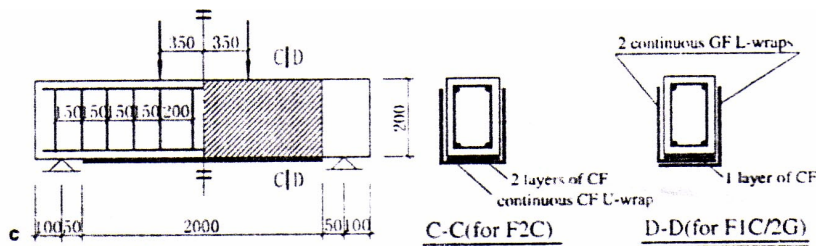


Figure 3. Dimensions and cross-sections (mm): (a) U2C beam; (b) U2C beam and ULC/2G beam; (c) F2C beam and FIC/2G beam.

شکل 3- تقویت همزمان برشی و خمشی تیرهای بتن آرمه با کامپوزیت FRP

بررسی نحوه گسترش ترک و انواع گسیختگی در تیرهای تقویت شده با ورق های FRP

همانگونه که می دانیم در سازه های بتن آرمه گسیختگی نرم نوعی مزیت محسوب می شود چراکه در این حالت ، سازه قبل از تخریب کامل با افزایش تغییر شکلهای اعلام خطر می کند . در این نوع گسیختگی ابتدا آرماتورهای کششی تسلیم شده ، سپس به تدریج ناحیه فشاری بتن خرد می شود در سال 1991 فیلیپ و همکاران تحقیقاتی بر روی مقاوم سازی سازه های بتن آرمه با ورق های FRP انجام دادند . نتایج نشان میدهد که چسباندن صفحات FRP مقاومت و سختی تیرهای بتن آرمه را افزایش می دهد اما تیرهای بتن آرمه رفتار نرمی از خود نشان نمی دهند . ارزیابی های مختلفی در مورد تقویت خمشی تیرهای بتن آرمه با صفحات FRP انجام شده است . در تمام این آزمایشات تیر تقویت شده بار نهایی بیشتری را در مقایسه با حالات تقویت نشده تحمل کرده است . با این وجود افزایش مشابهی در بار تسلیم تیر مشاهده نمی شود . به طور کلی مدهای گسیختگی یک عضو بتن آرمه تقویت شده در خمشی با تقویت کننده های FRP چسبانده شده از خارج عضو می تواند به دو دسته تقسیم شود .

- 1) عملکرد بین بتن و FRP تا لحظه ای که بتن در فشار خرد شده و یا FRP در کشش پاره شود .
 - 2) عملکرد بین بتن و FRP قبل از رسیدن به حالت قبل دچار نقص شده و پدیده جدا شدگی رخ می دهد از دیدگاه مکانیک سازه نگرانی اصلی پیرامون تاثیرات و امنیت سیستم جدید تقویت اعضا به پتانسیل گسیختگی ترد در این سیستم بر می گردد در سال های اخیر بسیاری از روشهای محاسباتی تقویت با استفاده از FRP بر مبنای ترک برداشتن فیبرها و یا خرد شدگی بتن بوده است . اما برای گسیختگی به علت جدا شدگی که یکی از حالات رایج شکست می باشد راه حل کامل و موثری ارائه نشده است این در حالی است که بررسی نکردن چنین حالت شکستی می تواند به طور چشم گیری از تاثیرات و عملکرد تقویت کننده ها بکاهد .
- در واقع عامل اصلی در ایجاد پدیده جدا شدگی تنش برشی سطح تماس بتن و لایه FRP است . تحقیقات نشان می دهد که فاصله بین انتهای فیبرها و تکیه گاه ها فاکتور اصلی در تشدید تنش برشی سطح تماس می باشد . همچنین تاثیر طول و ضخامت FRP در تنش های سطح تماس در عملکرد ، الگوی ترک و مد شکست تیر تقویت شده موثر خواهد بود . بنابر آنچه که گفته شد و تحقیقات انجام شده دو مد گسیختگی قبلی را می توان به سه مد افزایش داد بدین صورت که :

- 1) از حالت ورق خارج شدن ورقه FRP (Delamination) و جدا شدن از سطح بتن
- 2) گسیختگی لایه چسباننده
- 3) گسیختگی و شکست در وسط دهانه

خصوصیت دو الگوی شکست اول این است که ترک از دو انتهای فیبرها شروع می شود و شبیه به ترکهای برشی گسترش می یابد . وقتی که نوک ترک به میله های فولادی تسطیح کننده ای می رسد در راستای افق شروع به حرکت می کند . گسیختگی انتهای تیرها عمدتاً تأثیر پذیر از خواص فیزیکی رزین و ساختمان و کیفیت الگوی مهاربندی انتهایی می باشد .

از جمله مهم ترین عوامل ایجاد Delamination و گسیختگی لایه چسبیده را می توان مشاهده کرد . در حقیقت زمانی احتمال وقوع Delamination بیشتر است که فیبر به خوبی چسبیده و مهار شده باشد چرا که مقاومت برشی سطح تماس بتن و رزین می تواند بیش از سه برابر مقاومت برش بتن باشد . تا زمانی که بتن به انتهای فیبر چسبیده است این تنش برشی وجود دارد . بارها شدن انتهای فیبر گرا دیان تنش برشی به فاصله کوتاهی در طول فیبر به وجود می آید مقدار این تنش ها هنگامی که به سمت وسط دهانه می روند به صفر میل می کند ترکیب تنشهای نرمال و برشی به شیبدار شدن ترکها و در نهایت گسیختگی انتهای تیر منجر می شود .

در مورد شکست در وسط دهانه همان گونه که حدس زده می شود گسیختگی اولیه ناشی از ترکهای خمشی در وسط دهانه تیر است . با افزایش بار وارده تعداد ترکها افزایش یافته و شروع به حرکت به سمت بالای تیر می کنند . وقتی ترکهای ناشی از خمش به میله های فولادی می رسند ترکهای برشی افزایش یافته و به سمت دو انتهای تیر گسترش می یابند که در نهایت به جدا شدگی در سطح تماس منجر می شود .

خلاصه و نتیجه گیری :

یکی از ساز و کارهای جدید تقویت و تعمیر سازه های بتن آرمه استفاده از کامپوزیت FRP است که در دو شکل ورق و میلگرد تولید می شوند . این مواد از دو قسمت فیبر و رزین تشکیل شده است و دارای سه نوع عمده CFRP , GFRP , AFRP هستند که به ترتیب از لیبافی به جنس کربن ، شیشه و آرامید ساخته شده اند .

از ورق های FRP در تقویت خمشی ، برشی ، پیچشی و ترکیب آنها در اعضای سازه های بتن آرمه استفاده می شود . این ورقها می توانند جایگزین مناسب ورق های فولادی تقویت کننده باشند چرا که هم سبکترند و هم اقتصادی تر

از دیدگاه مکانیک سازه نگرانی اصلی پیرامون سیستم جدید تقویت اعضا به پتانسیل گسیختگی ترد بر می گردد . تیرهای تقویت شده با ورقه های FRP رفتار نرمی از خود نشان نمی دهند و علت آن تسلیم نشدن FRPها تا لحظه گسیختگی است . این خاصیت میزان تغییر شکل تیرهای بتن آرمه حتی در حالت تسلیم شدن فولاد را محدود می کند و احتمال گسیختگی ترد را بالا می برد .

در کل سه حالت گسیختگی برای تیرهای تقویت شده با ورقه های FRP می توان در نظر گرفت که عبارتند از :

- 1) از حالت ورق خارج شدن ورقه FRP (Delamination)
- 2) گسیختگی لایه چسباننده
- 3) گسیختگی و شکست در وسط دهانه که در هر سه مورد آنچه عامل اصلی گسیختگی است افزایش تنش برش و ترکهای ناشی از برش می باشند .

منابع

1- وارسته پور ، حمید « مواد جدید جهت استفاده در پیش تنیدگی ، مسطح کردن و مقاوم سازی سازه های بتن آرمه » ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران

2) Schilde karsten , seim warner (Experimental and numerical investigations of bond between CFRP and ancrete) .

www. Science Direct . com

19 June 2006

3- مستوفی نژاد ، داوود . حاتمی ، شهاب . « مروری بر تحقیقات مرتبط با مقاوم سازی تیرهای بتن آرمه یا صفحات FRP » خبرنامه داخلی انجمن بتن ایران ، سال چهارم شماره شانزدهم

4) Xiong . Gj , Jiuang .X, J.W.Liu, L.chen . (Away for preventing tension delamination of concrete cover in midspan of FRP strenghted .

www. scienceDirect . com

8 August 2005

5- الیامیان ، ایمان . « تکنیک تسلیح سازه بتن آرمه با FRP »

www. Iran civilconter . com

6- الیامیان ، ایمان . « روشهای مقاوم سازی سازه های بتن آرمه و آشنایی با روش تقویت با ورقه FRP »

www. Irancivilconter. Com

7- دریا بیگی ، سید رضا . « بررسی معایب تقویت خمشی تیرهای بتن آرمه با کامپوزیت FRP و راهکارهای پیشنهادی » خبرنامه داخلی انجمن بتن ایران ، سال چهارم شماره شانزدهم .

8) Li, L.J, Guo . Y.C,F .Liu . J.H.Bungey . (An Experimental and numerical study of the effect of thickness and lenath of CFRP on performance of repaired , reinforced concrete beams)

www. scienceDirect . com

30 June 2005

9- الیامیان ، ایمان . (Delamination) در تقویت خمشی تیر بتن آرمه با ورق FRP چیست ؟

www. Irancivil conter . com