

برای مشاهده و دریافت مقالات بیشتر به پایگاه علمی همکلاسی به نشانی زیر مراجعه نمایید :
www.Hamkelasy.com

آشنایی با روشهای تقویت خمشی و برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP و مکانیزمهای گسیختگی محتمل

ایمان الیاسیان- کارشناس ارشد سازه
iman.elyasian@Gmail.com

چکیده :

با توجه به احتمال ضعف تیرهای اصلی برخی از سازه ها چون تابلیه پلها در برش و خمش به دلیل افزایش بار ترافیکی لزوم آشنایی با برخی از روشهای تقویت آنها با ورقه FRP و انواع مودهای شکست در حالات تقویت ضروری است .
کلید واژه ها : تیر بتن آرمه - ورقه FRP - تقویت خمشی و برشی - مکانیزم گسیختگی

مقدمه :

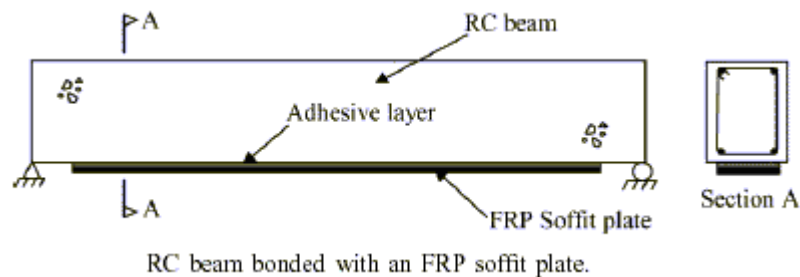
اولین تحقیقات در زمینه تقویت خمشی تیر بتن آرمه توسط پروفیسور Meier در سال 1980 در آزمایشگاه مرکزی تست مصالح سوئیس انجام شد . روشهای سنتی تقویت چون استفاده از پس تنیدگی خارجی، ورقه های فولادی پیوند و . . . هر کدام ضعفهایی در روند اجرا دارند که به کمک آنها نمی توان به مقاومت مورد نظر رسید از اینرو در دهه های اخیر تحقیقات در زمینه تقویت اعضای باربر سازه ای چون تیر با ورقه های FRP بجای ورقه های فولادی رشد چشمگیری داشته و به مقایسه به معایب و مزایای هر دو روش پرداخته شده است .

1- مقاوم سازی خمشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP Flexural Strengthening of Beams

1-1. مقاوم سازی خمشی تیر بتن آرمه با ورقه زیرین FRP (FRP Soffit Plate) :

بدین صورت انجام می شود که ابتدا سطح زیرین تیر که قرار است ورقه FRP به آن چسبانده شود را آماده نموده و سطوح ضعیف را برداشته تا دانه های بتن نمایان شده و جهت پیوند مناسب آماده گردد . سپس ورقه های دست ساز¹ را به کمک چسب به سطح مورد نظر تیر می چسبانند در طی این روند می توان از ورقه های پیش ساخته یا مهارهای U شکل برای کاهش ریسک عدم پیوند ورقه استفاده کرد .

¹Wet-Lay-Up



شکل-1 تیر بتن آرمه با ورقه FRP تحتانی [3]

ورقهای زیرین خود به 3 قسم 1- ورقه های زیرین تنیده نشده **Unstressed Soffit Plates**

2- ورقه های زیرین تنیده نشده با مهار انتهایی **End Anchorage for Unstressed Soffit**

Plates

3- ورقه های پیش تنیده زیرین **Prestressed Soffit Plates** تقسیم می شود .

1-1-1. مقاوم سازی با ورقه های زیرین تنیده نشده Unstressed Soffit Plates

پر کاربرد ترین حالت می باشد واکثر تحقیقات روی این روش متمرکز شده است . 3 روش جهت چسباندن ورقه ها به کف تیر بتن آرمه وجود دارد.

1- ورقه های پیش ساخته FRP با فرایند **Pultrusion Prefabricated / Pultruded FRP**

Plates

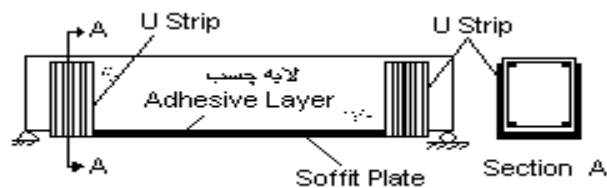
2- ورقه های آماده شده در محل (دست ساز) **Wet-Lay-Up**

3- روش تزریق چسب **Resin infusion**

در روش اول ورقه ها به اندازه لازم بریده شده و به سطح زیرین تیر بتن آرمه چسبانده می شوند ، این روش دارای درجه اطمینان بالایی از نظر یکنواختی مواد و کنترل کیفیت می باشد . روش دستی دارای کاربرد بیشتری است این روش ارزاتر می باشد و در آن رزین را ابتدا به سطح بتن کشیده ، سپس لایه فیبری را بوسیله غلتک به سطح بتن می چسبانند . این روش به ناصافی سطح بتن حساس است و این ناصافیها سبب عدم پیوند مناسب FRP و جدایی ورقه از بتن می گردد . روش تزریق چسب نیز خصوصیات مشابه با روش دست ساز دارد ولی کاربرد محدودی دارد .

1-1-2. مهار انتهایی برای ورقهای تنیده نشده : End Anchorage for Unstressed Soffit Plates

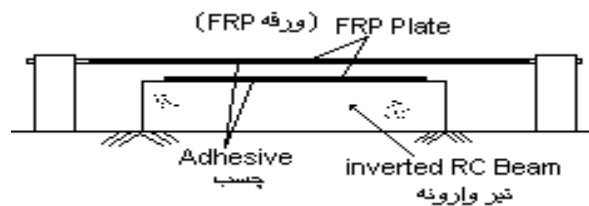
برای جلوگیری از گسیختگی عدم پیوند یا عدم چسبندگی (debonding) مهار مکانیکی می تواند نصب شود استفاده از تسمه U شکل فولادی یا از جنس FRP معمولترین نوع این مهارها می باشد. این تسمه ها می توانند با پیچ Bolt یا چسب Bond به انتهای تیر متصل شود. در روش پیچی، اتصال بتن با FRP مستقیماً با پیچ صورت می گیرد. مهار انتهایی از جنس FRP می تواند به صورت دستی به شکل دورپیچ کامل یا نسبی نصب گردد.



شکل-2 تیر بتن آرمه تقویت شده با ورقه FRP با نوار مهار انتهایی U شکل [1] 1-1-3. ورقهای پیش تنیده زیرین Prestressed Soffit Plates

ورقهای FRP ساخته شده با فرایند Pultrusion¹ را می توان به صورت پیش تنیده به تیر بتن آرمه متصل کرد. مهمترین مزیت استفاده از ورقهای پیش تنیده این است که قبل از وارد شدن بار به سازه ظرفیت باربری سازه را افزایش می دهد و سبب کاهش عرض ترکها می شود. از آنجایی که مقاومت کششی FRP بالا است لذا پیش تنیدگی منجر به کاربرد مؤثر آن می گردد. پیش تنیدگی نسبت به پارامتر کارگر حساس بوده و دقت بخصوصی جهت طراحی و نصب سیستم مهاربندی انتهایی نیاز دارد این روش به دلیل محدودیت تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی که در این زمینه انجام شده است هنوز در مراحل آغازین می باشد. در این روش پس از آماده کردن سطح زیرین تیر، ورقه تا یک سطح موردنظر کشیده شده، سپس سطح زیرین تیر و ورق را با چسب آغشته می کنند. و تیر را بلند کرده تا در ورق فشار ایجاد شود. پس از این که چسب کمی خود را گرفت به کمک گیره ها و مهارهای مکانیکی انتهایی کشیده و پس از آن که چسب خود را گرفت این قیدهای مکانیکی انتهایی را آزاد می کنند.

¹ - فرایند پلترورن : با این روش لمینیت ها یا ورقهای پوششی با مقطع عرضی و طول معین ساخته می شود در این روش حین کشیدن نوار فیبر رزین یا ماتریس که معمولاً از پلی استر یا وینیل استر می باشد با گرمای الکتریکی به کمک روغن داغ به فیبر اضافه می شود و اتاقک پیش گرمایشی فرکانس رادیویی کنترل کننده ضخامت در زمان عمل آوری می باشد.



شکل-3 روند نصب ورقه FRP پیش تنیده [1]

2- مقاوم سازی برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP Shear Strengthening of Beams

گسیختگی های برشی و خمشی از مهمترین مد های گسیختگی برای تیرهای تقویت نشده می باشند. گسیختگی خمشی به دلیل نرم بودن عموماً بر گسیختگی برشی به دلیل ترد بودن ارجح می باشد. زیرا در گسیختگی نرم امکان باز توزیع تنش وجود دارد و می تواند هشدار برای کاربر باشد. در حالی که در گسیختگی ترد و ناگهانی به دلیل عدم اختار قبلی می تواند سبب فاجعه گردد. در مقاوم سازی خمشی به کمک ورقه های خارجی FRP نشان داده شده که شکل پذیری تیر نسبت به حالت مقاوم سازی نشده بسیار کمتر می باشد. با این وجود این مد گسیختگی از گسیختگی برشی نرمتر می باشد. بنا بر این یک تیر مقاوم سازی شده باید دارای ظرفیت برشی کافی بوده به طوری که به ظرفیت خمشی برسد. زمانی که یک تیر بتن آرمه در برش ضعف داشته باشد یا ظرفیت برشی آن از ظرفیت خمشی تیر کمتر باشد پس از انجام مقاوم سازی خمشی، مقاوم سازی برشی باید مورد توجه قرار گیرد. باید دانست که اندازه گیری ظرفیت برشی تیر مقاوم سازی شده بسیار مهم می باشد. مقاوم سازی برشی، برخی مواقع نقشی کلیدی در استراتژی مقاوم سازی برای ساختمان های بتن آرمه را بازی می کند. به هر حال چند روش سنتی برای مقاوم سازی برشی تیرها وجود دارد. اخیراً استفاده از نوارهای FRP بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در کنار سایر نتایج عالی FRP ها از جمله مقاومت در مقابل خوردگی و مقاومت بالا در مقابل وزن کم انعطاف پذیری FRP ها جهت فیت

شدن با سایر شکل ها و گوشه ها همواره برای مقاوم سازی سودمند واقع شده اند مطالعات

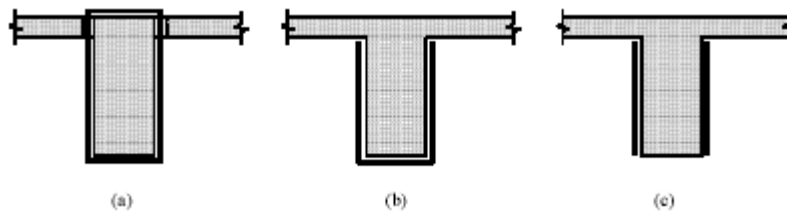
بر روی مقاوم سازی برشی از سال 1990 شروع شده است و همچنان ادامه دارد.

1-2. **انگوهای مختلف تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP**¹
به طور کلی 3 نوع الگوی پیوند در تقویت برشی در تیرها وجود دارد

1- ورقه FRP دور تا دور تیر را در برگرد² مطابق شکل 4- (a)

2- پوشش U شکل³ FRP مطابق شکل 4- (b)

3- ورقه FRP دو طرف تیر چسبانده شود⁴ مطابق شکل 4- (c)



شکل 4- انواع الگو برای تقویت عرضی با [FRP]2

الگوی (c) که ورقه FRP دو بر تیر چسبانده می شود رایجترین الگو می باشد .

الگوی (b) یا FRP U Wrap روشی عملی برای افزایش مقاومت برشی مقاطع بتن آرمه می باشد ولی در نواحی لنگر مثبت عمدتاً موثر می باشد . چون در نواحی لنگر منفی ترکهای اولیه

عمدتاً در نزدیکی دال بتن آرمه رخ داده و این الگوی تقویتی قادر به کنترل و جلوگیری از گسترش ترکهای اولیه نبوده ، بنابراین این ترکها باز شده و این الگوی تقویتی تأثیری در کنترل ترک در ناحیه لنگر منفی ندارد . الگوی (a) که پوشش دور تا دور می باشد موفق ترین الگوی تقویت برشی است ولی

به دلیل مسائل اجرایی و عدم دسترسی کامل به دور تا دور امکان اجرای این الگو به دلیل وجود دال بتن آرمه کم است .

پوششها و توزیع ورقه را در تقویت برشی به 2 بخش 1- یکپارچه 2- منقطع تقسیم می

کنیم (مطابق شکل-5). الگوی نوارهای منقطع یا Strips امکان تبخیر آب بتن ، عمل آوری و

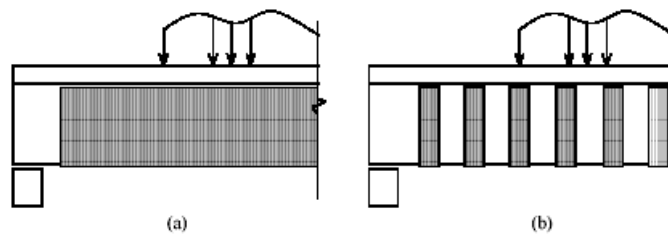
¹ Various schemes for wrapping transverse FRP reinforcement

(FRP wrapped entirely around the beam-2

FRP U Wrap

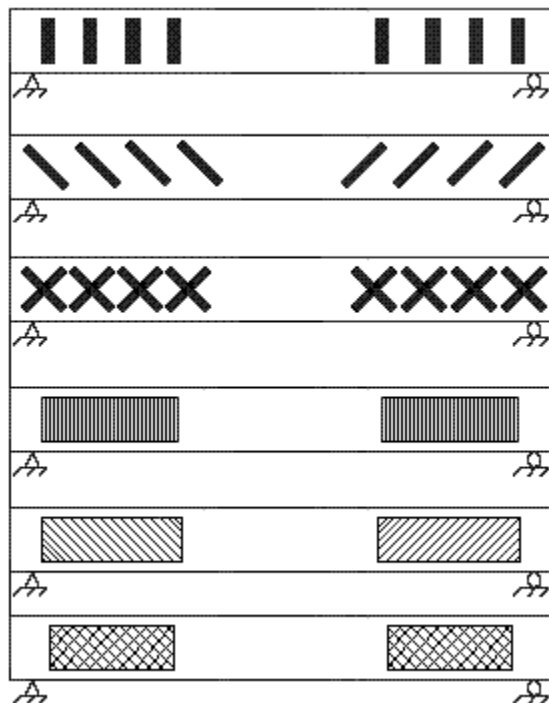
4-FRP bonded to the two sides of the beam-3

مصرف کمتر FRP را فراهم می سازد ولی از نظر اجرایی مشکلات خاص خود را داشته از طرفی امکان تشکیل مود گسیختگی خطرناک عدم پیوند یا چسبندگی De-bonding در این حالت بیشتر است.

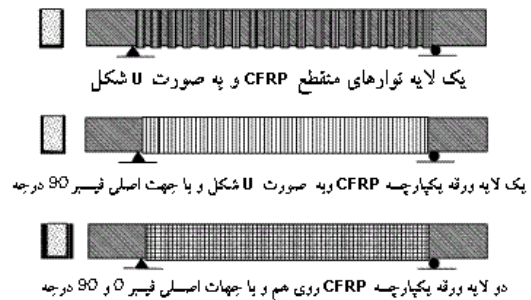
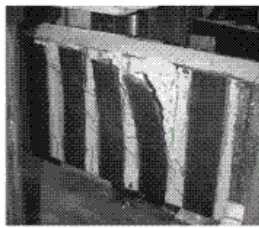


شکل 5- الگوی یکپارچه یا منقطع [2]

به طور کلی می تواند جهت نوارهای تقویت یا *Strips* و جهت فیبرهای اصلی در حالت یکپارچه متغیر بوده حتی از 2 نوار عمود برهم یا 2 لایه با فیبرهای عمود برهم (حالت ضربدری) خصوصاً تحت بارهای سیکلی استفاده می شود .



شکل 6- الگوهای مختلف تقویت برشی تیر با ورقه [4] FRP



شکل 7- نمایش برخی از الگوهای تقویت برشی با ورقه 5 CFRP

در جداول زیر به مقایسه انواع الگوهای برشی تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP

پراداخته شده است . **جدول 1- جدول مزایا و معایب الگوهای مختلف پیوند**

[FRP 4]

نوع پیوند	مزایا	معایب
پیوند کناره یا دو طرفه	کاربرد آسان ، نیاز به کمترین مقدار FRP برای افزایش اندک ظرفیت برشی	بسیار آسیب پذیر در مقابل گسیختگی عدم پیوند
ژاکت های U شکل	استفاده از مهار پایینی U شکل عالی است . آسیب پذیری کمتر در مقابل گسیختگی عدم پیوند و تأثیر متوسط مؤثر برای مهار مکانیکی در تقویت خمشی FRP	ممکن است به مهار مکانیکی U شکل در انتهای آزاد نیاز باشد
دورپیچ کامل	کمترین آسیب پذیری در مقابل گسیختگی عدم پیوند ، تأثیر عالی برای مهار مکانیکی در تقویت خمشی FRP	چنانچه دست کم دسترسی به یک طرف تیر ممکن نباشد اجرای آن امکانپذیر نیست یا مشکل است

جدول 2- معایب و مزایای توزیع مختلف ورقه ها [4]

توزیع ورقه ها	مزایا	معایب
نوارها STRIPS	انعطاف پذیری در کنترل مقدار FRP امکان صرفه جویی مواد و یکنواختی لایه چسب براحتی بدست می آید	بسیار پرزحمت
صفحه ها / ورق	آسانی کاربرد درمحل محافظت از تیر درمقابل تهاجمات جوی اگر به طور	کاهش انعطاف پذیری در کنترل مقدار FRP یکنواختی

لایه چسب به سختی بدست
می آید
کامل تیر رابپوشاند
ها
Plates/Sheets

جدول 3- مزایا و معایب جهتهای مختلف فیبر [4]

جهت فیبر	مزایا	معایب
عمودی ($\beta = 90$)	راحتی کاربرد مؤثر برای تقویت برشی معکوس	اثر کم برای کنترل ترکهای برشی در مقایسه با نوارهای مورب
مورب غالب ($\beta = 45$)	بسیار مؤثر برای کنترل ترکهای برشی	برای کاربرد به صورت ژاکت U شکل و دورپیچ کامل غیر ممکن است
نوارها / صفحات 2 جهته ($\beta = 0$) یا ($\beta = 45$) (90) (135)	بسیار مؤثر برای کنترل ترکهای برشی مؤثر برای تقویت برشی معکوس	مقدار فیبر زیادی نیاز دارد

3- مودهای گسیختگی و رفتار مرسوم Failure Modes and Typical Behavior

3-1. گسیختگی خمشی: Flexural Failure

اگر انتهای ورقه FRP بصورت مناسب مهار شده باشد، ظرفیت نهایی خمشی تیر همراه با گسیختگی خمشی ورقه یا بر اثر خرد شدن بتن فشاری رخ می دهد. این موضوع بسیار شبیه مد گسیختگی خمشی کلاسیک تیر بتن آرمه است و تنها به دلیل ترد بودن رفتار ورقه FRP کمی تفاوت وجود دارد. گسیختگی ورقه FRP همراه با جاری شدن میلگردهای فولادی است. به هر صورت چنانچه میلگردهای فولادی فاصله زیادی از وجه کششی داشته، (به تار خنثی نزدیک باشند) ممکن است جاری نشوند. تیری که بر اثر خرد شدن بتن فرو می ریزد می تواند علتش زیاد بودن مقدار FRP و ترد شکستن قطعه باشد، ضمناً با مهار انتهای مناسب می توان جلوی گسیختگی زود هنگام عدم چسبندگی مناسب یا debonding را گرفت.

3-2. گسیختگی برشی Shear Failure :

تیرهای بتن آرمه معمولی برای گسیختگی در مد خمشی که مد نرمتری نسبت به مد گسیختگی برشی که مد تردتری است طراحی می شوند و توجه به این نکته ضروری است که گسیختگی برشی بر اثر تقویت مد خمشی ممکن است رخ دهد. در بعضی مواقع برای اطمینان از این که گسیختگی خمشی قبل از گسیختگی برشی اتفاق افتد مقاوم سازی برشی و خمشی توأم انجام می شود.

4. انواع مودهای گسیختگی خمشی

1- گسیختگی ناشی از پارگی ورقه FRP¹

2- گسیختگی ناشی از خردشدگی بتن ناحیه فشاری²

3- گسیختگی برشی³

FRP Rupture Failure 2-Crushing of Compressive Concrete Failure
Plate-end Debonding Failure 5-Concrete Cover Separation-4

3-Shear Failure-1¹

مود اول اگر اتفاق افتد تقویت خمشی ایده آل خواهیم داشت زیرا نه تنها مد گسیختگی نرم بوده بلکه از حداکثر ظرفیت خمشی تیر نیز استفاده شده است ولی مود دوم به دلیل خرد شدن بتن ناحیه فشاری ترد می باشد. توجه شود که بر اثر تقویت خمشی ممکن است تیر دچار گسیختگی ترد برشی شود که بایستی با تقویت برشی و خمشی توأم جلوی این مد ناگهانی را گرفت.

4- گسیختگی ناشی از عدم پیوند انتهایی ورقه⁴ : این گسیختگی زود رس بوده و نمی گذارد تیر به ظرفیت خمشی مطلوب خود برسد. در این حالت ورقه از سطح بتن در انتهای تیر جدا می شود و این مود می تواند با گسیختگی ناشی از جدایش پوشش بتنی ترکیب شود

5- گسیختگی ناشی از جدایش پوشش بتنی⁵ : این گسیختگی بر اثر بوجود آمدن ترک در محل یا نزدیکی انتهای ورقه، در اثر بالابودن تنش برشی و نرمال در اثر قطع ناگهانی ورقه در این محل رخ می دهد. وقتی ترک در نزدیکی یا محل انتهای ورقه بوجود می آید، این ترک در سطح کششی مسلح شده به صورت افقی منتشر شده و در راستای فولادهای کششی مسلح کننده، توسعه یافته و سبب جدا شدن پوشش بتنی می شود.

6- گسیختگی ناشی از عدم پیوند درون وجهی انتهایی ورقه¹: عدم پیوند بین چسب و تیر که از انتهای ورقه توسعه می یابد. دیاگرام بار-تغییر مکان این مود شبیه گسیختگی جدایش بتن است و تحقیقات نشان می دهد گسیختگی از این نوع به دلیل بالا بودن تنش نرمال و برشی در نزدیکی یا محل انتهای ورقه به گونه ای که از مقاومت تیر در ضعیف ترین بخش تیر بالاتر می باشد. به دنبال آن، یک لایه نازک بتن معمولاً به سطح ورقه بتن چسبیده و می توان گفت گسیختگی در بتن مجاور بتن چسبیده به ورقه FRP رخ می دهد. خطر تشکیل این مود بر اثر نامرغوب بودن چسب و ناهمئاری سطح بتن تشدید می شود.

1- Plate-end Interfacial Debonding Failure-1
2- Intermediate Crack-induced Interfacial Debonding Failure-2
3- Intermediate Flexural Crack-induced Interfacial Debonding Failure-3
4- Intermediate Flexural Shear Crack-induced Interfacial Debonding Failure-4

7- گسیختگی ناشی از ترکهای وسط به انضمام عدم پیوند درون وجهی² :

گسیختگی عدم پیوند ممکن است در اثر ترک خمشی یا ترکیب ترک خمشی- برشی در فاصله ای دورتر از انتهای ورقه شروع شود و به سمت انتهای ورق توسعه یابد . این نوع گسیختگی غالباً در بتن مجاور چسب رخ می دهد و می تواند به دوشکل گسیختگی ناشی از ترک خمشی میانی به انضمام عدم پیوند درون وجهی و گسیختگی ناشی از ترک خمشی- برشی میانی به انضمام عدم پیوند درون وجهی باشد و این نوع گسیختگی بیشتر در تیرهای سطحی و غیر عمیق بیشتر از گسیختگی عدم پیوند در انتهای ورقه رایج است .

8- گسیختگی ناشی از ترک خمشی میانی به انضمام از بین رفتن چسبندگی درون**وجهی³**

وقتی يك ترک خمشی اصلی در بتن ایجاد می شود تنش کششی تحمل شده توسط بتن بر اثر ایجاد ترک آزاد شده و به ورقه FRP انتقال می یابد ، به بیان دیگر تنش کششی درون وجهی بین ورقه FRP و بتن در نزدیکی محل ترک به صورت ناگهانی افزایش می یابد. وقتی این تنشها به مقدار بحرانی

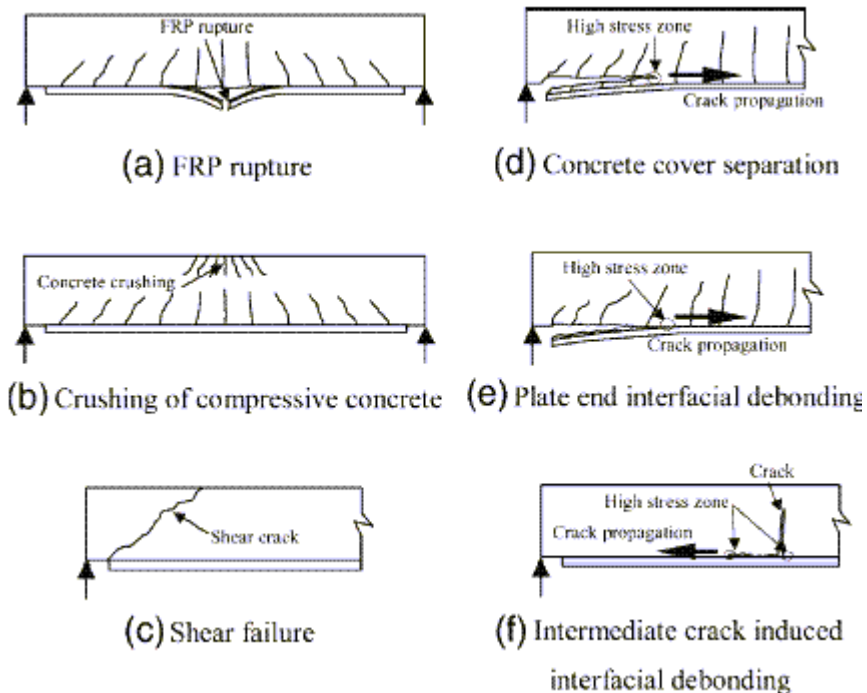
خود می رسند ، عدم پیوند و چسبندگی در محل ترک آغاز شده و به سمت یکی از انتها ها که معمولاً انتهای نزدیک است پیشرفت می کند.

9- گسیختگی ناشی از ترک خمشی- برشی میانی به انضمام عدم پیوند درون**وجهی⁴**

عریض شدن ترك يك نیروی محرك برای انتشار عدم پیوند و چسبندگی می باشد . به هر حال در این حالت در فاصله عمودی بین دو سطح ترك تولید تنش غشایی روی ورقه FRP شده که به سطح درونی بتن نیز گسترش می یابد. به نظر محققان عریض شدن ترك در این مد گسیختگی مهمتر از اثر جابجایی دو سطح ترك بر روی یکدیگر است.

10- گسیختگی های عدم پیوند دیگر¹

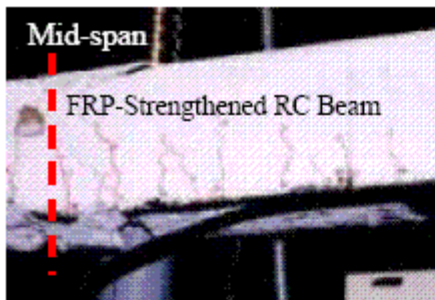
این گونه مدها بر اثر ترکیب دو یا چند بوجود می آید ، به عنوان مثال ترکیب مد گسیختگی عدم پیوند درون وجهی انتهایی ورقه با مد گسیختگی جدایی پوشش بتنی نمونه ای از این ترکیب است



شکل 7- نمایش برخی از مود های گسیختگی خمشی (a) پارگی ورقه (b) FRP خرد شدگی بتن ناحیه فشاری - (c) گسیختگی برشی -- (d) جدا شدن - پوشش بتن- (e) عدم پیوند درون وجهی انتهایی ورق

(f) ترکهای میانی ایجاد کننده عدم پیوند درون وجهی [1]

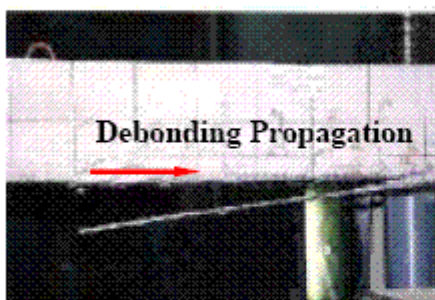
¹Other Debonding Failure Modes-1



(a) Rupture of FRP

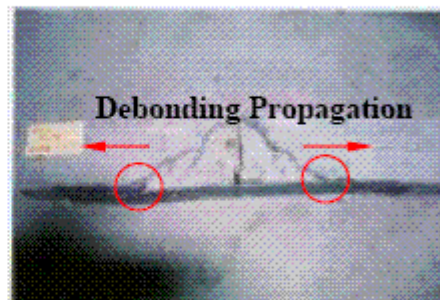


مودهای پارگی ورقه FRP



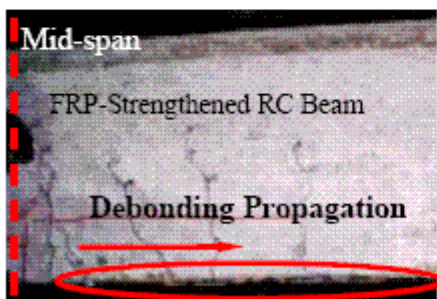
(b) Delamination of FRP at FRP ends

جدایش ورقه FRP در انتهای ورقه



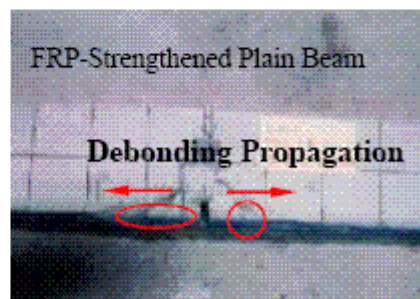
(c) Peeling-off of FRP by Shear Cracks

کنده شدن ورقه FRP در میانه ورقه در اثر ترک برشی



(d) Debonding of FRP Caused by Intermediate Flexural Cracks

گسیختگی عدم پیوند ایجاد شده در ورقه FRP در اثر ترکهای خمشی متوسط



Failure Modes Observed in FRP-Strengthened Concrete Beams

مودهای گسیختگی مشاهده شده در تیر بتن آرمه تقویت شده با ورقه FRP

شکل 8- نمایش شماتیکی برخی از مکانیزمهای گسیختگی در تقویت خمشی [6]

5- انواع گسیختگی برشی در تیر بتن آرمه معمولی

در مورد يك تیر بتن آرمه تقویت نشده مدهای گسیختگی برشی عبارت است .

Flexural برش ناشی از خمش

1- کشش ناشی از برش 2

shear

beam failure گسیختگی تیر عمیق

3- فشار ناشی از برش 4

Deep

کشش ناشی از برش و برش ناشی از خمش برای نسبت دهانه به عمق بزرگ اتفاق می افتد (

برای تیر بتن آرمه معمولی $B/d < 2.5 > 6$) و گسیختگی برشی به ندرت برای $B/d > 6$

اتفاق می افتد. فشار ناشی از برش برای نسبت دهانه به عمق کوچکتر اتفاق می افتد (برای

تیر بتن آرمه معمولی در $B/d < 2.5 > 1$ اتفاق می افتد.) و گسیختگی تیر عمیق برای نسبت

دهانه به عمق $B/d < 1$ اتفاق می افتد .

6- مودهای گسیختگی برشی در تیر تقویت شده

1- گسیختگی برشی با پارگی ورقه FRP¹ :

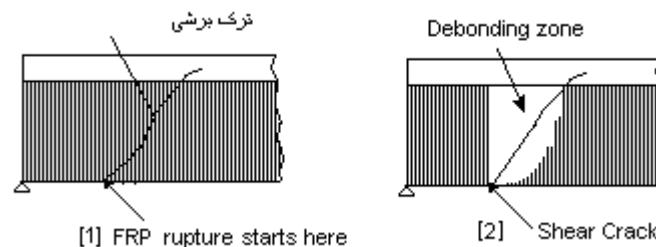
این نوع گسیختگی اغلب اوقات بوسیله يك ترك برشي كشي قطري اتفاق مي افتد . تركهاي خمشي عمودي ابتدا دروجه كشي تير بوجود مي آيند، يك ترك نزيك تكيه گاه ممكن است به سمت محل اعمال بار گسترش يابد و سبب وجود آمدن يك ترك مورب گردد. دربرخي موارد يك ترك مورب ممكن است به صورت ناگهاني رخ دهد همراه با عريض شدن ترك قطري حداكثر كرنش نهايي FRP سرانجام به كرنش نهايي رسیده ، كه غالباً در انتهاي پايين ترك رخ مي دهد. پاره شدن FRP در طول ترك قطري روي سطح بتن رخ داده و سبب گسيختگي كامل تير بصورت ترد مي

گردد . عدم پيوند نسبي FRP در دوسطح كناري تير غالباً قبل از گسيختگي اتفاق مي افتد ولي در

نهایت گسیختگی در اثر پاره شدن FRP رخ می دهد . بنابراین عدم پیوند FRP (FRP (Debonding

نمی تواند بر ظرفیت برشی این مد اثر بگذارد . داده هاي آزمایشي موجود ولي محدود نشان می دهد

که همواره همه تیرهاي دوریچ شده یا برخی از ژاكت شده U شکل در این مد فرو می ریزند .



شکل 9- [1] کشش برشی همراه با پاره شدن FRP
[2] گسیختگی برشی ناشی از عدم پیوند FRP [4]

¹ Shear Failure with FRP Rupture -1

2- گسیختگی برشی بدون پارگی ورق FRP¹ :

روند گسیختگی در این مد لزوماً مشابه با گسیختگی برشی ناشی از پارگی FRP می باشد مگر اینکه FRP در گسیختگی ناشی از این مد پاره شود. FRP می تواند حتی مقدار قابل ملاحظه ای بار بعد از فرو ریختن تیر تحمل کند. مثالی از این مد گسیختگی شامل دو تیر تقویت شده با يك ورقه FRP آramیدی است که کرنش نهائی آن ~ % را شامل می شود (Chajes et al. 1995)

AFRP اجازه می دهد که تیر فرو ریخته به تحمل بار قابل ملاحظه ای مبادرت ورزد.

3- گسیختگی برشی ناشی از عدم پیوند یا چسبندگی ورقه FRP² :

گسیختگی يك تیر بتنی تقویت شده ممکن است برای برش در اثر از بین رفتن پیوند بین بتن و FRP بوجود بیاید. زمانی که FRP جهت Delamination آماده میشود ، تیر به سرعت فرو ریزد. شکل پذیری تیر در این مد غالباً محدود می باشد. نتایج آزمایشهای موجود نشان می دهد غالباً همه تیر های تقویت شده با پیوند های FRP کناری و اکثر ژاکت های U شکل در این مد فرو می ریزند .

4- گسیختگی نزدیک مهار مکانیکی³ :

اگر برای مهار FRP در وجوه تیر بتن آرمه از مهارهای مکانیکی استفاده شود، این امکان وجود دارد که در نزدیکی محل مهار شده گسیختگی رخ دهد. بطور مثال مهارهای مکانیکی استفاده شده برای مهار ژاکت های U شکل ، زیر بال های تیر T شکل ممکن است سبب بوجود آمدن Delamination در مجاورت بال شود. معمولاً پیرامون مهارهای مکانیکی هم در ورقه و هم در بتن می تواند سبب گسیختگی های محلی شود. این مد های گسیختگی در مشاهدات آزمایشگاهی انجام شده توسط (Sato et al . 1997) قابل دسترسی می باشد. جهت طراحی

1- Shear Failure without FRP Rupture 2- Shear Failure due to FRP Debonding
3- Failure Near Mechanical Anchors

دقت بیشتری را باید مبذول داشت. این موضوع تا زمان بدست آمدن درکی بهتر از این مد باید رعایت شود .

5- گسیختگی محلی Local Failure

نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات :

- 1- انتخاب الگوی مناسب برای تقویت تیر با توجه به انواع مودهای گسیختگی خمشی و برشی صورت می گیرد لذا شناخت و درک صحیح این مودها و بررسی تحلیلی و ارائه روابط قابل قبول برای آنالیز و طراحی سیستم تقویت با توجه به مود گسیختگی ضروری است.
- 2- حتی المقدور تقویت برشی قبل از تقویت خمشی صورت گیرد یا بصورت توأم صورت گیرد تا احتمال تشکیل مود شکست تردبرشی کاهش یابد
- 3- در تیر تقویت خمشی شده برای کاهش اثرات مودهای گسیختگی موضعی از مهار انتهایی استفاده شود که تحقیقات در این زمینه محدود بوده و لزوم تحقیقات بیشتر در این زمینه بجا است
- 4- به طور کلی تحقیقات کمتری در مورد مودهای گسیختگی نسبت به مودهای خمشی انجام شده خصوصاً درک درست مود Delamination و Debonding برای قضاوت درست از مکانیزم سیستم تقویت ضروری است

منابع :

- [1] – J.G.Teng – J.F. Chen – S.T.Smith – L. Lam "FRP Strengthened RC Structures" .Published by Wiley - 2002
- [2] Chapter 7 Shear Strengthening "- Wabo MBrace Composite Strengthening"- [2] System Design Guide July 2002
- [3] S.T.Smith, J.G.Teng -" FRP-strengthened RC beams. I: review debonding strength - [3] models "-Engineering Structures Elsevier Sep 2001
- [4] ایمان الیاسیان – پایان نامه کارشناسی ارشد سازه دانشگاه یزد بهار 1384 – " بررسی تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP به روش اجزای محدود و به صورت پارامتریک "
- [5] Ahmed Khalifa; Antonio Nanni -" Rehabilitation of rectangular simply supported RC-beams with shear deficiencies using CFRP composites " – Construction and Building Materials Elsevier - January 2002

Hedong Niu; Zhishen Wu, Ibaraki Universiy, Hitachi, Japan "Analytical modeling.-[6]
failure of FRP-strengthened Flexural structures