ارائه روشی جهت جلوگیری از وقوع پدیده شکست زودرس در تقویت خمشی تیرهای بتن آرمه مسلح با استفاده از پارچه های کربن و شیشه

حمید وارسته پور
استادیار و عضوهیئت علمی موسسه آموزش عالی صنعت آب و برق
hamid_v_p@yahoo.com

میلاد بادران
دانشجوی دکتری عمران-سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان
Miladbaderani@gmail.com

چکیده

این پژوهش به بررسی موارد استفاده پلیمرهای مسلح شده با الیاف(FRP) که به عنوان مصالح مقاوم در تقویت تیرهای بتن مسلح میباشد ، پرداخته است . اگرچه استفاده از پارچه کربن و شیشه با چسب دارای مزایای بسیاری است، اما در بیشتر مواقع گسیختگی که رخ میدهد بدون نشانه و یا با نشانه های کم میباشد ، که به آن گسیختگی زودرس(Debonding) میگویند.

هدف این پژوهش اندازه گیری مقاومت خمشی تیرهای بتن مسلح که با پارچه های کربن بصورت کلاسیک و سایر تیرها که با پارچه های کربن و شیشه بصورت L شکل تقویت شده اند، میباشد . بخش آزمایشگاهی این پژوهش شامل تست ۸ نمونه تیر آزمایشگاهی که با پارچه های کربن و شیشه تقویت شده اند و تحت آزمایش خمش ۲ محوره (فشار ۴ نقطه ای) قرار گرفته اند ، میباشد.

نتایج بیانگر این موضوع بود که تقویت تیرها بصورت L شکل باعث افزایش مقاومت خمشی و تعویق پدیده شکست زودرس در مقایسه با روش کلاسیک میباشد.

واژه های کلیدی: الیاف کربن ، الیاف شیشه ، تقویت خمشی تیر بتنی ، جداشدگی زودرس ، Debonding

مقدمه

استفاده از کامپوزیتFRP، به عنوان یک گزینه عملی نسبت به روش‌ها و فنون مقاوم سازی مرسوم و متداول در سازه های بتنی به طور روزافزون در حال توسعه می‌باشد . گستره این نوع مقاوم سازی برای تقویت عملکرد اجزاء سازه شامل تیر ، دال ، ستون و سایر اجزای بتنی میباشد.کاربرد کامپوزیتFRPدر مقاوم سازی سازه های بتن مسلح امروزه نگهداری از سازه ها به دلیل هزینه ساخت و تعمیر بسیار حائز اهمیت می باشد ، با مطالعه رفتار سازه های بتنی مشخص می شود عوامل متعددی مانند: اشتباهات طراحی و محاسبه، عدم اجرای مناسب تغییر کاربری سازه ها، آسیب دیدگی ناشی از وارد شدن بارهای تصادفی، خوردگی بتن و فولاد و شرایط محیطی از دوام آنها می کاهد ضمناً تغییر آیین نامه های ساختمانی (باعث تغییر در بارگذاری و ضرایب اطمینان می شود) نیز سبب ارزیابی و بازنگری مجدد طرح و سازه می گردد تا در صورت لزوم بهسازی و تقویت شود. سیستمهای الیاف مسلح شده پلیمری(FRP) برای تقویت سازه های بتنی پدیدار شده و به عنوان یک جانشین برای روش های سنتی از قبیل چسباندن صفحات فولادی، افزایش سطح مقطع با بتن ریزی مجدد و پیش تنیدگی خارجی می باشد .با توجه به معایب این روشها مانند بازدهی کم و یا نیاز به امکانات و فن آوری خاص امروزه روش های مقاوم سازی با استفاده از کامپوزیت توسعه روز افزون دارد .محدودیت استفاده و کاربرد کامپوزیت در مهندسی ساختمان به قیمت بالای آنها برمی گردد البته هزینه و قیمت آنها به تدریج رو به کاهش می باشد به این ترتیب استفاده از آنها بیشتر و بیشتر خواهد شد. استفاده ازFRP در زمینه مقاوم سازی، هر چند که هزینه بالایی در بردارد، اما با توجه به هزینه اجرای کم و نیز سایر مزایایFRP، در کل به صرفه ترین و موثر ترین راه مقاوم سازی سازه های بتنی امروزه به شمار میرود.

۱)مروری بر مطالعات گذشته

بسیاری از محققان در داخل و خارج کشور ، تلاش های بسیاری را در زمینه کارهای تئوری موجود بر رفتار تنش در انتهای صفحه متمرکز شده اندبا این حال مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که گسیختگی زودرس ممکن است با باز شدن ترک های خمشی و برشی آغاز شوند.

در سال ۱۳۹۱ هجری شمسی صدر ممتای و رستمی عتیق تعداد ۹ عدد تیر بتنی که ۸ عدد آن در یک لایه و یک جهت با پارچه های کربن تقویت شده بود و انتهای آن با روش های تعبیه سوراخ در زیر ورق و دورپیچ کردن انتهای ورق به صورت U شکل را مورد آزمایش خمشی قرار دادند که نتایج بدست آمده نشان دهنده افزایش ظرفیت باربری به میزان۲۶ و ۳۶ درصد و افزایش شکل پذیری به میزان ۷۷ و ۹۰ درصد گردید. (۱) که در این تحقیق با استفاده از پارچه های کربن و شیشه با روش دیگری جهت افزایش موارد فوق پرداخته می شود.

در سال ۱۳۹۳،وارسته پور و آدریانی با بررسی نمونه هایی از تیرهای بتنی تقویت شده با پارچه های کربن که در آنها پدیده گسیختگی زودرس، شکافته شدن پوشش بتن و جدا شدن سطح مشترک بتن و صفحه تقویتی ،به این نتیجه رسیدند که با ارایه روشی جدید مبنی بر اینکه اگرورق تقویتی تیر بتنی را تا ۵ میلی متر بالاتر از کاور زیر تیر تحت خمش ۴ نقطه ای ، پدیده جداشدگی زودرس را به تعویق می افتد ، به اینصورت که در یکی از نمونه ها شاهد حذف پدیده جدا شدگی و شکست در ناحیه فشاری هستیم. (۲) که در این تحقیق با روش دیگری سعی در بهینه کردن ظرفیت خمشی و افزایش تغییر مکانها داریم.

در سال ۱۳۹۴،وارسته پور و اسکناطی با بررسی نمونه هایی از تیرهای بتنی تقویت شده با پارچه های شیشه که در آنها پدیده گسیختگی زودرس، شکافته شدن پوشش بتن و جدا شدن سطح مشترک بتن و صفحه تقویتی ،به این نتیجه رسیدند که با ارایه روشی جدید مبنی بر اینکه اگرورق تقویتی تیر بتنی را تا ۵ میلی متر بالاتر از کاور زیر تیر تحت خمش ۴ نقطه ای ، به این نتایج میرسیم :که از لحاظ هزینه استفاده از پارچه های شیشه اقتصادی نیست ، شکل پذیری مقطع کم میشود، افزایش ظرفیت خمشی داریم وبا پدیده شکست زودرس مواجه میشویم.(۳) اما مقصود ما در این تحقیق هم اقتصادی بودن طرح میباشد و همچنین خواهان افزایش تغییر شکلها هستیم.

در سال ۱۳۹۴،وارسته پور و کرمانی با ارایه روشی ترکیبی، منظور از ترکیبی ،ترکیبی از حالت کلاسیک و روش L شکل چسباندن پارچه های شیشه میباشد که در جهت افزایش ظرفیت مقطع بتنی و افزایش تغییر شکلها استفاده میگردد.که در اینجا نمونه های تحت آزمایش ، ۶ نمونه هستند که با استفاده از دستگاه خمش ۴ نقطه ای تحت آزمایش قرار میگیرند.که نتیجه به اینصورت است که ظرفیت باربری تیر در مقایسه با سایر روشها در خمش و بدون تقویت ۱۰٪ و ۴۰٪ افزایش داشته است.(۴) که در این تحقیق با روش دیگری سعی در بهینه کردن ظرفیت خمشی و افزایش تغییر مکانها داریم.

درسال ۲۰۱۰حاج رسولی ها،به بررسی تاثیر عمق و عرض شیار طولی و نیز مقاومت فشاری نمونه ها برای جلوگیری وقوع پدیده جداشدگی زودرس در نمونه ها ی بتنی فاقد آرماتور و تقویت شده با پارچه های کربن پرداختند که نتایج نشان داد که افزایش عمق و عرض شیار بر بار گسیختگی نهایی کنترل جداشدگی زودرس اثر مثبت دارد. .

همچنین نشان داده شد ، روش شیارزنی در مقاومتهای فشاری پایین بتن کارایی بهتری دارند باتوجه به اینکه تقویت خمشی برای تیرهایی اجرا میشود که ممکن است بتن آن دارای مقاومت فشاری بالایی باشد و ما قادر به تغییر مقاومت فشاری آن نیستیم،(۵) این تحقیق به دنبال بررسی روش جدید است که برای کل بتنها عملکرد مورد قبول داشته باشد.

۱-۲)انواع جداشدگی

از آنجا که این پدیده طیف گسترده ای از انواع عضوهای تقویت شده برای انواع حالات را دربر می گیرد و به عوامل متعددی بستگی دارد،دسته بندی های مختلفی نیز از آن ارائه شده است.در حالت کلی می توان جداشدگی را به دو دسته شاخص تقسیم بندی نمود.دسته اول که شکست در لایه چسب رخ می دهد و دسته دوم که شکست در بتن رخ می دهد.در شکل ۱ به صورت شماتیک انواع گسیختگی را نشان می دهد. (۶)

در ادامه به بررسی بیشتر انواع جداشدگی می پردازیم.

شکل ۱-۱)انواع جداشدگی ها در سیستم بتن آرمه تقویت شده با FRP

این نوع جداشدگی از رایج ترین انواع آن به شمار می رود که بیشترین مطالعات در این زمینه را به خود اختصاص داده است.این پدیده ممکن است همراه با کنده شدن لایه پوشش بتن نیز باشد.این جداشدگی به وسیله ترکی از انتهای ورق آغاز میشود و به تدریج توسعه می یابد،شناخته می شود.(۷)

۱-۲-۱)جداشدگی در محل ترک های خمشی

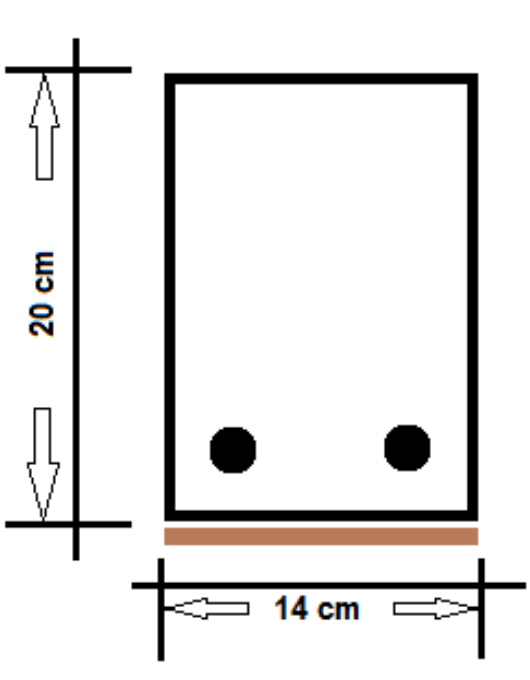
این نوع جداشدگی در مواقعی که تغییر ناگهانی در مقطع و یا تغییر در میزان فولاد اصلی تیر یا دال بنا به دلیلی از جمله خوردگی آرماتور خمشی وجود دارد،این نوع جدا شدگی رخ می دهد.بروز ترک باعث جدایی قسمتی از کامپوزیت ها و تمرکز تنش در نقاطی می شود که هنوز به عضو متصل هستند.این نوع جداشدگی به سرعت به دو طرف گسترش می یابد و ظرفیت باربری عضو افت می کند.(۸)

۲)مشخصات نمونه آزمایشگاهی

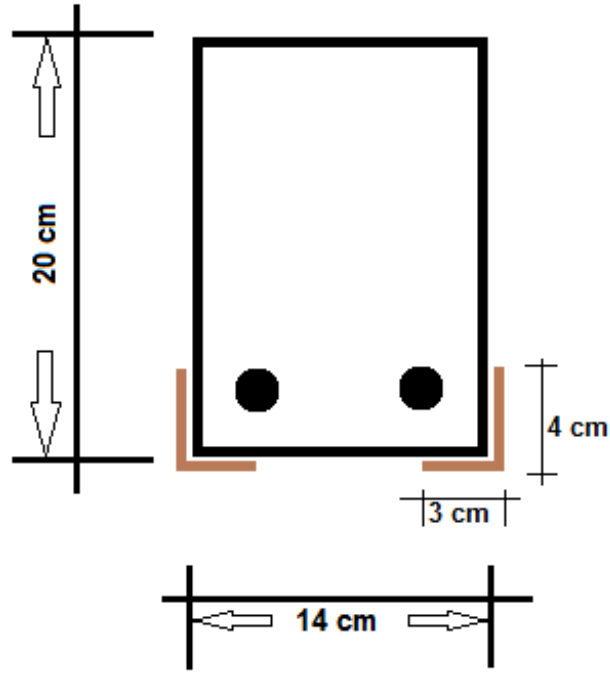
پس از انتخاب سنگدانه ها و سیمان مناسب، شروع به ساخت ۸ نمونه تیر بطول ۱۵۰ سانتی متر، عرض ۱۴ سانتی متر و ارتفاع ۲۰ سانتی متر، که توسط میلگرد آجدار شماره ۸ از نوع AIII بعنوان خاموت در فواصل ۱۰ سانتی متری و ۲ عدد میلگرد آجدار شماره ۱۰ از نوع AIII در پایین مقطع و دو عدد میلگرد شماره ۶ از نوع AI در بالا جهت حفظ فواصل خاموت ها و آرماتورهای طولی تقویت می گردد که طبق استاندارد DIN آلمان تولید شده است و انتخاب دانه بندی سیمان مورد استفاده از نوع تیپ I طبق استاندارد ASTM D422-63 می باشد.

از بتن تولید شده نمونه هایی جهت آزمایش اندازه گیری مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه گرفته شده که کلیه مراحل طبق استاندارد ASTM C33 انجام می گیرد.

پس از نگهداری تیرهای تولید شده در حوضچه آب به مدت ۲۸ روز نمونه ها طبق استاندارد ACI440 ، ۳ نمونه تیر توسط پارچه های شیشه به گونه ای که لبه انتهای آن با ارتفاع های ثابت به صورت L شکل اما به ترتیب با ۱ و ۲ و ۳ لایه در هر طرف و ۴ عدد تیر توسط پارچه های کربن بصورتی که ۲ تیر بصورت کلاسیک به ترتیب با ۲ لایه و ۳ لایه و ۲ تیر دیگر نیز به ترتیب با ۲ لایه و ۳ لایه در هر طرف به صورت L شکل ، به سطح نمونه تیر بتنی چسبانده می شوند و ۱عدد تیر به عنوان نمونه شاهد آماده می شود.(۹)



شکل۲- ۱)تقویت تیر بروش کلاسیک



شکل۲- ۲)تقویت تیر بروش L شکل

شکل۲-۳)آرماتور بندی مقطع

شکل ۲- ۴)بتن ریزی

شکل ۲- ۵)نصب پارچه های کربن و شیشه

شکل۲- ۶)دستگاه تست خمشی

شکل ۲- ۷)تیر B1 پس از انهدام

در ایـن آزمـایش تیرهـای بتنـی بـا جـک هیـدرولیکی تحـت بـارگزاری چهـار نقطـه ای در آزمایشـگاه کـف قـوی دانشـگاه فردوسی مشهد،تحت بارگذاری به صورت کنترل بار با نرخ ۱۰ کیلوگرم بر ثانیه قرار گرفته و شکسته شد.

نمونه ها به شرح ذیل می باشد:

B1 : نمونه شاهد بوده که بدون هیچ گونه تقویت آزمایش می گردد.

B2 : نمونـه ای مـی باشـد کـه طبـق روش L شـکل بـا یـک لایـه پارچـه شیشـه در زیـر و ادامـه آن بصـورت اورلـب در کنـار تیر تقویت شده است.

B3 : نمونه ای می باشد کـه طبـق روش L شـکل بـا دو لایـه پارچـه شیشـه در زیـر و ادامـه آن بصـورت اورلـب در کنـار تیـر تقویت شده است.

B4 : نمونه ای می باشد که طبق روش L شـکل بـا سـه لایـه پارچـه شیشـه در زیـر و ادامـه آن بصـورت اورلـب در کنـار تیـر تقویت شده است.

B5 : نمونه ای است که طبق روش کلاسیک با دو لایه پارچه کربن تقویت شده است.

B6 : نمونه ای است که طبق روش کلاسیک با سه لایه پارچه کربن تقویت شده است.

B7 : نمونه ای می باشد کـه طبـق روش L شـکل بـا دو لایـه پارچـه کـربن در زیـر و ادامـه آن بصـورت اورلـب در کنـار تیـر تقویت شده است

B8: نمونه ای می باشد کـه طبـق روش L شـکل بـا سـه لایـه پارچـه کـربن در زیـر و ادامـه آن بصـورت اورلـب در کنـار تیـر تقویت شده است.

مشخصات بتن که در هر متر مکعب مورد استفاده قرار گرفته است به شرح ذیل است:

جدول ۲-۱)مشخصات بتن مصرفی(۹)

نوع مصالح مصرفی	سیمان	آب	ماسه	نخودی	بادامی
میزان مصرف (kg/m*3)	416.657	214.281	1339.256	291.66	494.036

جدول(۹) ۲-۲) مشخصات کامپوزیتها

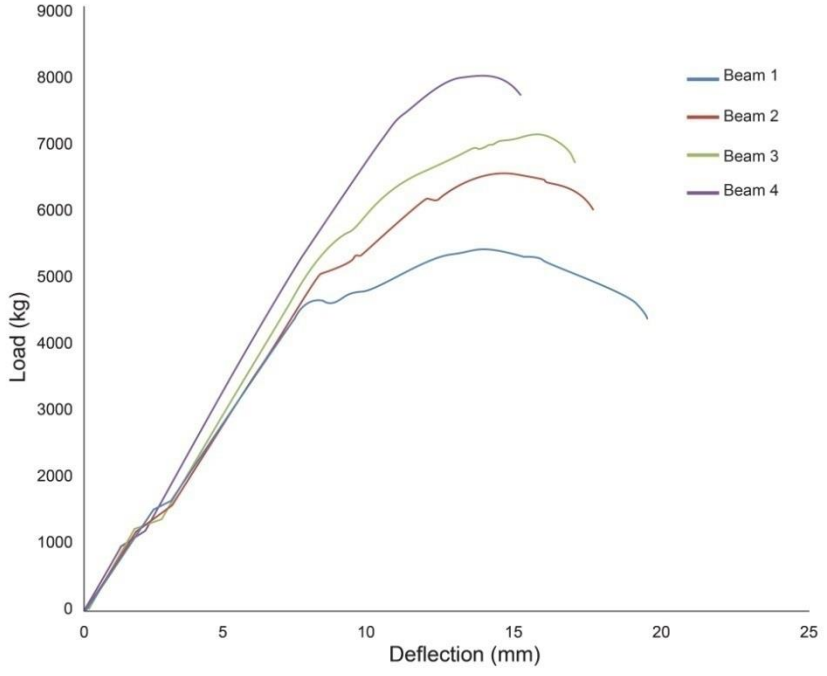
جنس الیاف	مقاومت کششی نهایی High Strength (MPa)	مدول الاستیسیته Modulus OF Elasticity (Gpa)	ضخامت Thickness (mm)
Carbon Fiber	4900	230	0/11
Glass Fiber	2060	118	0/16

نحوه انجام آزمایش به این صورت است کـه همـه تیرهـای ایـن آزمـایش بـه صـورت دو سـر مفصـل و تحـت بارگـذاری خمشـی چهار نقطه ای قرار گرفته اند.بارگذاری بـه صـورت کنتـرل تغییـر بـار کـه بـا نـرخ ۱۰ کیلـوگرم بـر ثانیـه اعمـال شـده و نمـودار بار-تغییر مکان به وسیله دستگاه جک ۱۰۰ تنی ثبت می گردد.(۹)

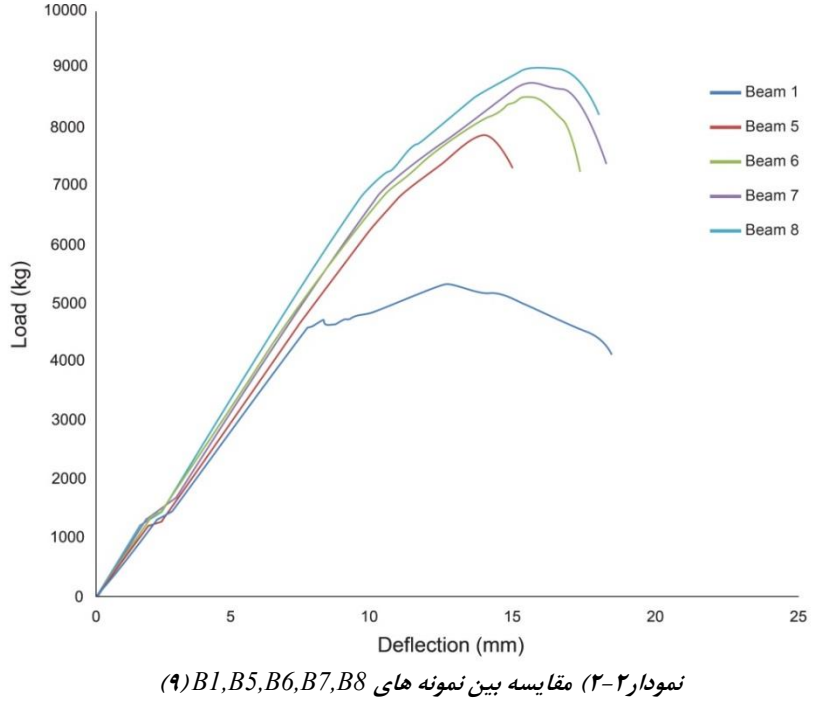
نتایج تیرهـا در جـداول زیـر و اشـکال تیرهـا در اشـکال زیـر و نمـودار بـار -تغییـر مکـان آنهـا در نمـودار زیـر نشـان داده شـده است.

جدول۲-۳)مقایسه نتایج نمونه ها(۹)

شماره نمونه	تغییر مکان نهایی نمونه(mm)	ظرفیت خمشی مقطع طبق محاسبات بعد از تقویت (Kg)	ظرفیت خمشی مقطع طبق آزمایشات بعد از تقویت (Kg)	درصد اختلاف با مقدار تئوریک	نوع شکست
B1	33	5100	5500	%7.27	فشاری
B2	41	6600	6400	%3.03	Debonding
B3	38	7700	7100	%7.79	Debonding
B4	44	8700	7800	%10.34	Debonding
B5	17	9500	7800	%17.89	Debonding
B6	23	10000	8400	%16	Debonding
B7	25	8500	8200	%3.52	Debonding
B8	20	9400	8900	%5.31	Debonding



نمودار۲-۱) مقایسه بین نمونه های B1,B2,B3,B4 (۹)



نمودار۲-۲) مقایسه بین نمونه های B1,B5,B6,B7,B8 (۹)

۳)نتیجه گیری:

با توجه به اینکه همه تیرها در شرایط آزمایشگاهی یکسان تحت آزمایش قرار گرفته اند ، از جداول و نمودار های بدست آمده نتایج زیر بدست می آید:

۱)استفاده از پارچه شیشه باعث می شود ظرفیت خمشی تیر بالا رود اما با توجه به قیمت آن به صرفه نیست.

۲)همان طور که انتظار می رفت شکست زودرس باعث نرسیدن مقطع به ظرفیت خمشی پس از تقویت شده است.

۳)تقویت تیرها به روش L شکل باعث بالا رفتن ظرفیت خمشی مقطع به میزان قابل توجه و به تعویق افتادن پدیده شکست زودرس نسبت به تقویت به روش کلاسیک، در تیرهای تحت خمش گردید.

شایان ذکر است همان‌طوری که در جداول و نمودار فوق مشاهده می‌گردد، با تقویت نمونه تیرها به روش L شکل (بدون افزایش درصد FRP) به این نتیجه می‌رسیم ظرفیت مقطع نسبت به حالت کلاسیک بیشتر میشود ،که در تیر B7 میزان ظرفیت خمشی در روش آزمایشی بسیار نزدیک به روش تئوریک می‌باشد و می‌توان گفت که این روش تقویت علاوه بر نزدیکتر شدن ظرفیت خمشی به نتایج محاسباتی، باعث به تأخیر افتادن در شکست تیر شده است. پس می‌توان گفت این روش تقویت ، روش مناسبی در جهت بهینه تر کردن تقویت خمشی تیرهای مسلح بتنی است. همچنین از دیگر مزایای آن میتوان به عدم نیاز به عملیات گسترده آماده سازی سطح و سرعت در اجرا اشاره نمود . (۹)

قدردانی

شایسته است از همکاری و هم اندیشی گروه محترم مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد و آزمایشگاه مجهز دینامیک سازه دانشگاه فردوسی مشهد که تمامی آزمایشات انجام شده این پروژه با استفاده از امکانات و تجهیزات به روز آن آزمایشگاه محترم محقق گردیده است، قدردانی نمایم و نهایت سپاس را دارم.

منابع و مراجع

[۱] صدر ممتاز،ع،رستمی عتیق،ه،" بررسی تاثیر نحوه اتصال انتهای ورق های CFRP بر نحوه شکست تیرهای بتنی مسلح تقویت شده درخمش"،چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران،تهران،

[۲]وارسته پور, ح., رضایی آدریانی, م.ع.(۱۳۹۳) ،"حذف شکست زودرس تیربتنی تقویت شده با FRP", ششمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران.

[۳] وارسته پور, ح., اسکناطی, ا.ر.(۱۳۹۴)،"افزایش ظرفیت خمشی تیر بتن آرمه با استفاده از الیاف کامپوزیت شیشه", هفمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران.

[۴]وارسته پور, ح., کرمانی, ف.(۱۳۹۴)،"روش جدید تقویت تیر بتنی با استفاده از الیاف کربن ", هفمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران.

[۵]مستوفی نژاد, د., حاج رسولیها, م.ج.(۱۳۸۹)،"بررسی عوامل تاثیرگذار بر عملکرد روش شیار زنی در کنترل جداشدگی ورق FRP از سطح بتن", پنجمین کنگره ملی عمران.

[6] Collot V.spadaed G. and swamy R.M.2004."structural Model to predict the failure Behavior of platted reinforced concrete Beams".journal of composites for construction, ASCE. Vol8. No4.104_122

[۷]مستوفی نژاد، داود،اردلان"ارزیابی طول موثر ورق تقویتی FRP بر سطح بتن بر اساس آنالیز میدان کرنش به روش سرعت سنجی تصویری ذرات". (PIh) پایان نامه کارشناسی ارشد سازه.دانشکده صنعتی اصفهان.

[8] Kim D.and sebastian w.M.2002." parametric study of Bond Failure in concrete Beams Elternally strengthened with fiber Reinforced polymer plates".Magazine of concrete Re search.Vol 54.No I.47_59.

[۹]وارسته پور،بادران،میلاد" ارائه روشی جهت جلوگیری از وقوع پدیده شکست زودرس در تقویت خمشی تیرهای بتن آرمه با استفاده از الیاف کربن و شیشه".پایان نامه کارشناسی ارشد سازه.دانشگاه آزاد علوم و تحقیقات خراسان رضوی

An Experimental Method To Preserve Fast Fracture Phenomenon In Bending Of Carbon And Glass Reinforced Concrete Beams

Hamid Varaste poor
Assistant professor of higher education institute of water and electricity industry

Milad Baderan
Ph.D student of civil engineering-structural ,Semnan Islamic Azad University

Abstract

This research work has been carried out in order to investigate the application of fiber reinforced polymer (FRP) laminates or fabrics as strengthening materials for reinforced concrete beams . Although the exploiting of carbon and glass fibers with adhesive binder has many merits, most of the fracture mode occur without any prior sign called as premature rupture. The study aims the determination of 4-point bending strength of reinforced concrete beams using classical method with carbon fabrics and L-shaped fiber reinforcing method. The experimental part of the study involved with testing of eight reinforced concrete beams strengthened with FRP which were subjected to a 4-point bending test. The results have been demonstrated that employing the L-shaped technique will increase the bending strength and will delay the premature rupture in L-shaped reinforced beams compared with the classical methodKeywords: Blast load, Reinforced Concrete frame, Shear wall, Finite element method.