

روش بهینه در تقویت خمشی تیر بتنی با استفاده از پارچه های کربن

کد (B)

حامد جهانگیری ، حمید وارسته پور

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی ، واحد علوم تحقیقات خراسان رضوی نیشابور

استادیار موسسه آموزش عالی صنعت آب و برق

Hamed_jahangiri67@yahoo.com، Hamid_v_p@yahoo.com

چکیده :

با توجه به خصوصیات مناسب در مقاومت مصالح FRP و هزینه بالا در اجرا ، استفاده بهینه از آن می تواند نقشی مهم در صرفه جویی اقتصادی این مصالح در سازه های بتنی داشته باشد . هدف از تحقیق حاضر ارائه یک روش ابداعی و مقایسه چند روش مختلف نصب کامپوزیت FRP آزمایش شده ، در شرایط یکسان آزمایشگاهی و مقایسه با نمونه تحلیلی نرم افزار آباکوس ، جهت طراحی تیرهای بتنی تقویت شده بر اساس اصول بهینه سازی می باشد. به این منظور ۷ نمونه تیر بتنی مسلح به عرض ۱۵۰ ، ارتفاع ۲۰۰ و طول ۱۵۰۰ میلی متر تحت آزمایش بارگذاری خمشی چهار نقطه ای قرار گرفت . پس از بررسی نتایج تئوریک ، روش ابداعی ارائه شد که در این روش تقویت به صورت L شکل تا ۸ سانتی متر بالاتر از پوشش بتن ، علاوه برافزایش ظرفیت خمشی منجر به تعویق انداختن جداشدگی زودرس در تیر مورد آزمایش شد.

واژه های کلیدی : بهینه سازی ، کامپوزیت FRP ، تیر بتنی ، گسیختگی زودرس ، ظرفیت خمشی

۱-مقدمه:

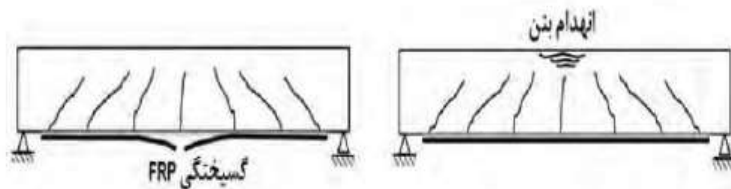
بتن وساختمان های بتنی از جمله سیستم های ساختمانی می باشند که در ایران به وفور مورد استفاده قرار میگیرند. این دسته از ساختمان ها در اثر ضعف سازه ، مرور زمان و همچنین اشکالات اجرایی نیاز به بهسازی و مقاومسازی پیدا می کنند. روش های مختلفی برای بهسازی و مقاوم سازی این دسته از ساختمان ها موجود است و یکی از این روش ها استفاده از الیاف FRP می باشد.

از ورق های FRP جهت تقویت خمشی ، برشی ، پیچشی و محصور شدگی استفاده می شود. از جمله مسائل پیش روی مهندسان و محققان پیرامون استفاده از ورق های FRP در مقاوم سازی خمشی تیرهای بتنی ، مکانیزم گسیختگی عضو و نیز پدیده ای به نام جداسازی سطحی (Debonding) می باشد.

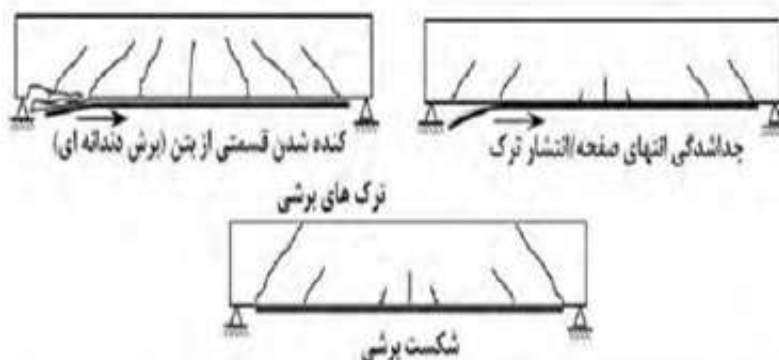
در تقویت تیر با ورق های FRP ، مسئله قابل بررسی آن است که حالات گسیختگی عمدتا به دلیل تمرکز تنشهای برشی و نرمال سطح اتصال بتن وصفحه FRP در نقاط کنده شدن FRP و همچنین گسترش ترک های خمشی در طول تیر رخ می دهد. به کار بستن لایه FRP در زیر تیر منجر به تغییر حالت یک المان خمشی از حالت انعطاف پذیر به شکننده خواهد شد. شاید ویژگی های منحصر بفرد این مصالح از جمله وزن کم ، دوام زیاد ، در مقابل خوردگی ، مقاومت کششی بسیار زیاد و اجرای ساده موجب جایگزینی سریع آن با روش سنتی متداول شده است . ورق های FRP در انواع مختلف و با خصوصیات مکانیکی متفاوت به عنوان یک مسلح کننده ی خارجی در وجوه مورد نظر اعضای بتنی نصب می شوند و نقش باربری اضافی را بر عهده دارد.

۲-حالت های گسیختگی:

به طور کلی گسیختگی به سه دسته خمشی ، برشی ، جداسازی تقسیم بندی می شوند و در حالات جزئی تر به گسیختگی خمشی یا پارگی FRP ، گسیختگی خمشی با خرد شدن بتن ، گسیختگی برشی ، جداسازی پوشش بتن ، جداسازی بین سطحی ورق انتهایی ، جداسازی بین سطح ناشی از ترک میانی خمشی ، جداسازی بین سطحی ناشی از ترک برشی - خمشی ، جداسازی بین سطحی در فاصله بین شیارها تقسیم بندی می شوند.



شکل ۱-۲: گسیختگی های معمولی تیر بتنی تقویت شده دربار نهایی



شکل ۲-۲: حالت های مختلف گسیختگی زودرس تیر بتنی تقویت شده دربار نهایی

۳- پیشینه پژوهش:

سابقه خمشی تیرهای بتن آرمه با تکیه گاه های ساده با چسباندن ورق های FRP به وجه کششی تیر بهبود می یابد. در تیرهای بتن آرمه ی تقویت شده با ورق های FRP، به دلیل جداسازی زودرس و ناگهانی ورق، ممکن است تیر به ظرفیت نهایی خود نرسد.

در سال های اخیر پژوهش های بسیاری در زمینه ی عامل های رویداد پدیده ی جداسازی و ایجاد دیرکرد در آن با کمک روش های گوناگون انجام شده است. با این همه، این موضوع هنوز از اصلی ترین موضوع ها در زمینه کاربرد ورق های FRP در مقاوم سازی می باشد که نظر پژوهشگران بسیاری را به خود جلب کرده است که به اختصار در زیر بیان شده است:

در سال ۱۳۹۰ هجری شمسی مستوفی نژاد و مقدس بیدآبادی با بررسی نمونه هایی از تیرهای بتن و تقویت آن با ورق های CFRP با روش شیار زنی و آماده سازی سطحی متعارف و آزمایش ۴ نقطه ای تیرهای مذکور به این نتیجه رسیدند که روش شیار زنی در تغییر مکانیسم جداسازی زودرس و نیز افزایش ظرفیت باربری تیر موثرتر است. [۱] این تحقیق سعی می شود ضمن رسیدن به اهداف فوق، سرعت در اجرا که منجر به اقتصادی بودن طرح می گردد را نیز با تغییر روش تقویت مورد نظر قرار دهد.

در سال ۱۳۹۱ هجری شمسی صدر ممتازی و رستمی عتیق تعداد ۹ عدد تیر بتنی که ۸ عدد آن در یک لایه و یک جهت با ورق CFRP تقویت شده بود و انتهای آن با روشهای تعبیه سوراخ در زیر ورق و دور پیچ کردن انتهای ورق به صورت U شکل را مورد آزمایش خمشی قرار دادند که نتایج به دست آمده نشان دهنده افزایش ظرفیت باربری به میزان ۲۶ و ۳۲ درصد و افزایش شکل پذیری به میزان ۷۷ و ۹۰ درصد گردید. [۲] که در این تحقیق به ارائه روش دیگر جهت افزایش موارد فوق پرداخته می شود.

در سال ۱۳۹۴، وارسته پور و کرمانی با ارائه روشی ترکیبی، منظور از ترکیبی، ترکیبی از حالت کلاسیک و روش L شکل چسباندن ورق CFRP 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 خمشی ۴ نقطه ای تحت آزمایش قرار میگیرند. که نتیجه به اینصورت است که ظرفیت باربری تیر در مقایسه با سایر روشها در خمشی و بدون تقویت ۱۰٪ و ۴۰٪ افزایش داشته است. [۳]

در سال ۱۳۹۴ هجری شمسی وارسته پور و اسکاناطی که هدفشان از این پژوهش به تعویق انداختن یا تا حد امکان حذف پدیده جداسازی زودرس بود که برای رسیدن به این هدف تیرهای بتنی به روش معمول با الیاف FRP تقویت و تحت آزمایش خمشی چهار نقطه ای قرار دادند که نتایج حاکی از ایجاد شکست زودرس بود و پس از بررسی تئوریک، روش جدیدتری ارائه کردند که در این روش تقویت تا ۵ میلی متر بالاتر از پوشش زیر تیر با استفاده از الیاف FRP تحت خمشی چهار محوری ادامه پیدا کرد که منجر به حذف این پدیده در یکی از تیرها و تعویق این پدیده در بقیه تیرهای مورد آزمایش گردید. [۴]

لام و تنگ در سال ۲۰۰۴ به بررسی و مقایسه ی کرنش پارگی نهایی کامپوزیتها CFRP، GFRP در شرایط مختلف پرداختند. آزمایشات انجام شده شامل آزمایش کششی نمونه های تخت کامپوزیتی، آزمایش دو تکه کردن حلقوی کامپوزیت و آزمایشات فشاری روی نمونه های استوانه های دورپیچ چسبیده به تیر به کار می رود، بسیار کمتر از کرنش نهایی به دست آمده از آزمایش نمونه های تخت است [۵].

در سال ۲۰۱۰ میلادی حاج رسولی ها، به بررسی تاثیر عمق و عرض شیار طولی و نیز مقاومت فشاری نمونه ها برای جلوگیری از وقوع پدیده جداسازی زودرس در نمونه های بتنی فاقد آرماتور و تقویت شده با ورق CFRP پرداختند که نتایج نشان داد که افزایش عمق و عرض شیار بر بار گسیختگی نهایی کنترل جداسازی زودرس اثر مثبت دارد. همچنین نشان داده شد، روش شیار زنی در مقاومت های فشاری پایین بتن کارایی بهتری دارند. [۶] با توجه به اینکه تقویت خمشی برای تیر هایی اجرا می شود که ممکن است بتن آن دارای مقاومت فشاری بالایی باشد و ما قادر به تغییر مقاومت فشاری آن نیستیم، این تحقیق به دنبال بررسی روش جدید است که برای کل بتن ها عملکرد مورد قبول داشته باشد.

در سال ۲۰۱۱ میلادی شاملی، با انجام آزمایشات بر روی تیرهای بتنی غیر مسلح تقویت شده با ۱ و ۲ و ۳ لایه CFRP به روش بدون آماده سازی سطحی، با آماده سازی سطحی، شیار زنی و روش نصب سطحی ورق داخل شیار به بررسی هر کدام از روش ها پرداخت. تیرهای

تقویت شده با روش آماده سازی سطحی نسبت به بدون آماده سازی سطحی در ۳ و ۲ و ۱ لایه CFRP به ترتیب میزان ۱۶۱/۳ و ۱۶۱/۴ و ۱۰۱/۹ درصد و نیز روش نصب سطحی ورق داخل شیار میزان ۱۶۷/۵ و ۱۸۱/۴ و ۱۴۰/۴ درصد افزایش در باربری را نشان می دهد. [۷] این تحقیق بر آن است که جهت بالا بردن ظرفیت باربری مقطع به روش ساده تر و کاراتر برای استفاده خارج از محیط آزمایشگاه نایل آید.

۴- مشخصات نمونه آزمایشگاهی:

در این پروژه تحقیقاتی ۷ نمونه تیر بتنی با ابعاد ۱۵۰*۲۰۰*۱۵۰ میلی متر، هر کدام توسط ۲ میلگرد طولی از نمره ۱۰ آجدار از نوع AIII در پایین مقطع، خاموت نمره ۸ به فاصله ۱۰ سانتی متر از نوع AII و یک میلگرد طولی دیگر بدون آج از نوع AI در بالای مقطع به جهت حفظ فواصل بین خاموتها ساخته گردید.

پس از آرماتور بندی تیرها و ساخت قالب سپس با رعایت کاور اقدام به بتن ریزی میکنیم که همگی در یک نوبت بتن ریزی شدند و تعداد ۶ نمونه مکعبی ۱۵۰*۱۵۰*۱۵۰ میلی متر جهت آزمایش اندازه گیری مقاومت فشاری ۲۸ روزه گرفته شده و تیرهای بتنی به همراه نمونه های مکعبی جهت عمل آوری به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب غرقاب شده اند.

هر کدام از این نمونه ها با عناوین B0, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 (نمونه تحلیلی نرم افزار آباکوس) نامگذاری شده است.

در این آزمایش پس از آماده سازی سطحی مناسب (برداشتن شیره بتن توسط فرز با برس سیمی به طوری که سنگدانه ها نمایان شوند) اقدام به چسباندن لایه ها طبق استاندارد ACI440 شده است.

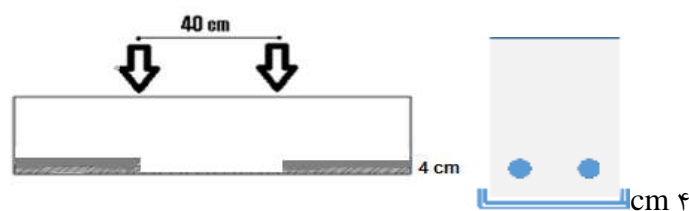
تیرهای بتنی ساخته شده تحت بارگذاری چهارنقطه ای در آزمایشگاه دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد قرار گرفته و بصورت کنترل تغییر مکان با نرخ ۱۰ کیلوگرم برثانیه، وسط دهانه تیر شکسته شد.



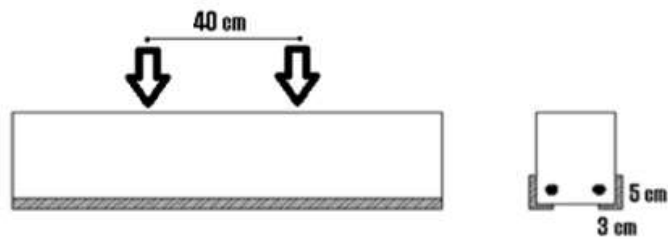
شکل ۴-۱: چسباندن FRP

B0 نمونه شاهد بوده که بدون هیچ گونه تقویت آزمایش می گردد.

B1 نمونه ای که، تقویت تا ۴ سانتی متر بالاتر از زیر تیر توسط دو لایه ورق CFRP در ناحیه برشی (از برتکیه گاه تا زیر بار) انجام میشود.



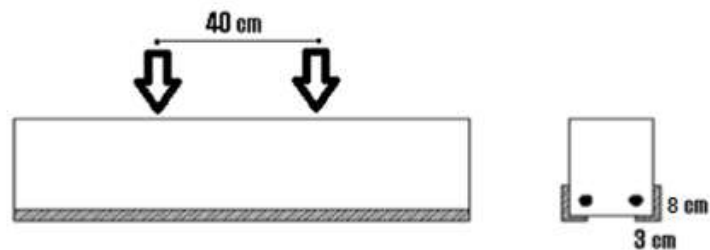
B2 نمونه ای که ، توسط دو لایه L شکل (۵ سانتی متر به سمت بالا و ۳ سانتی متر) در زیر تیر توسط ورق CFRP تقویت میشود.



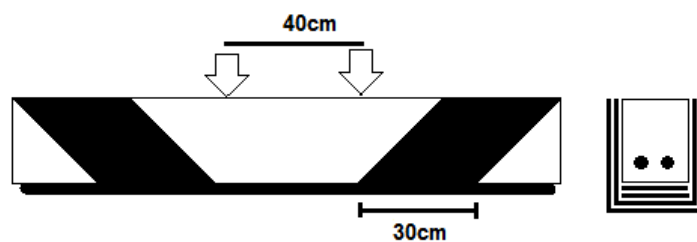
B3 نمونه ای که سه شیار طولی (به عرض ۸ میلیمتر و به عمق ۱۰ میلیمتر با فاصله های مساوی) ایجاد شده ، سپس توسط دو لایه ورق CFRP تقویت میشود.



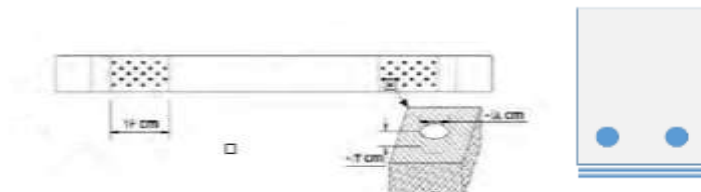
B4 نمونه ای که ، توسط دو لایه L شکل (۸ سانتی متر به سمت بالا و ۳ سانتی متر) در زیر تیر توسط ورق CFRP تقویت میشود.



B5 نمونه ای که ، علاوه بر دو لایه تقویت ورق CFRP سرتاسری از دو لایه ورق CFRP ، U شکل با زاویه ۴۵ درجه و عرض ۳۰ سانتی متر در برتکیه گاه استفاده میشود.



B6 نمونه ای که ، با ایجاد ۲۰ سوراخ به قطر ۸ میلیمتر و عمق ۴ میلیمتر و فاصله ۲۰ میلیمتر از یکدیگر در بر هر تکیه گاه به صورت استوانه ای ایجاد شده سپس توسط دو لایه ورق CFRP تقویت میشود.



آنگاه همه نمونه ها بر روی دستگاه تست خمشی قرار گرفته و به وسیله جک هیدرولیکی بارگذاری میشوند و سپس شروع به اندازه گیری حداکثر تغییر مکان و ثبت آن توسط کامپیوتر گردید .

نوع الیاف FRP مورد استفاده در این تحقیق به شرح جدول زیر می باشد:

جدول ۴-۱ مشخصات کامپوزیت

جنس الیاف	مقاومت کششی نهایی MPa	مدول الاستیسیته GPa	ضخامت mm
CFRP	۴۹۰۰	۲۳۰	۰,۱۱۱

جدول ۴-۲ مشخصات بتن مصرفی

نوع مصالح	آب	سیمان	ماسه	شن
میزان مصرف kg/m ³	۲۰۰	۴۰۰	۷۰۰	۱۰۵۰

جدول ۴-۳ مشخصات رزین مورد استفاده

مقاومت کششی MPa	مدول کششی MPa	مدول خمشی GPa
۳۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰

نحوه انجام آزمایش به این صورت است که همه تیرهای این آزمایش به صورت دو سر مفصل و تحت بارگذاری خمشی چهار نقطه ای قرار گرفته اند . بارگذاری به صورت کنترل تغییر بار که با نرخ ۱۰ کیلوگرم بر ثانیه اعمال شده و نمودار بار-تغییر مکان به وسیله دستگاه چک ۲۰۰ تنی ثبت می گردد.



شکل ۴-۲ نمای از دستگاه بارگذاری

۵-نتایج آزمایشگاه:

جدول ۵-۱ مقایسه نتایج نمونه ها

نحوه شکست	درصد افزایش مقاومت نهایی نصب به حالت تقویت نشده طبق آزمایشات	مقاومت نهایی تئوری kN	مقاومت نهایی آزمایشگاه kN	تغییر مکان نهایی نمونه mm	شماره نمونه
فشاری	-	۵۹,۷	۵۸,۶	۳۱,۰	B0
Debonding	۴۸,۸	۹۹,۷	۸۷,۲	۹,۲	B1
Debonding	۳۲,۰	۷۶,۸	۷۷,۴	۹,۷	B2
Debonding	۵۰,۳	۸۵,۲	۸۸,۱	۹,۷	B3
Debonding	۵۷,۲	۹۳,۰	۹۲,۱	۱۲,۳	B4
Debonding	۳۶,۳	۸۹,۲	۷۹,۹	۸,۷	B5
Debonding	۳۳,۶	۸۵,۲	۷۸,۳	۹,۷	B6

عکس از نمونه ها:



شکل ۵-۱ عکس نمونه B0



شکل ۵-۲ عکس نمونه B1



شکل ۵-۳ عکس از نمونه B2



شکل ۵-۴ عکس از نمونه B3



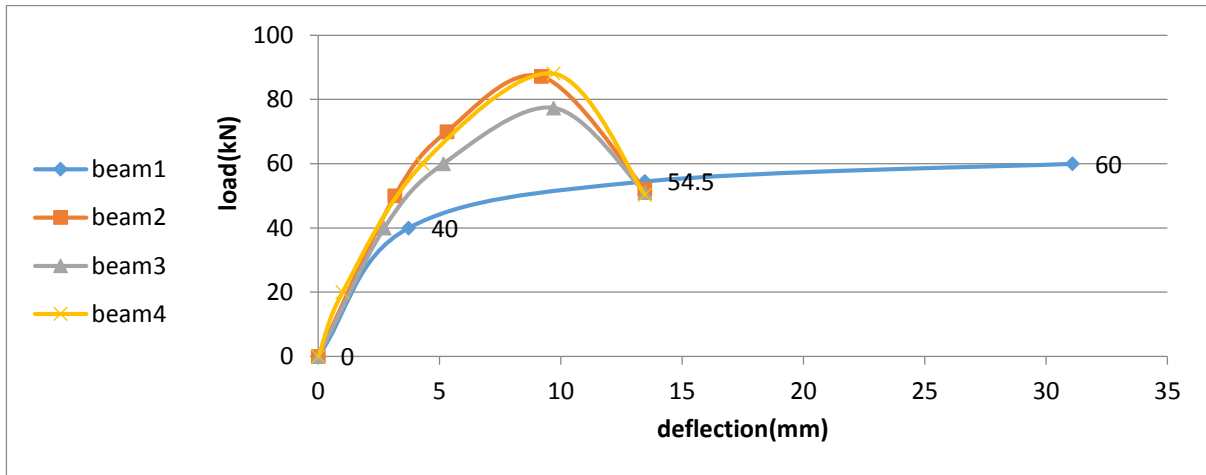
شکل ۵-۵ عکس از نمونه B5



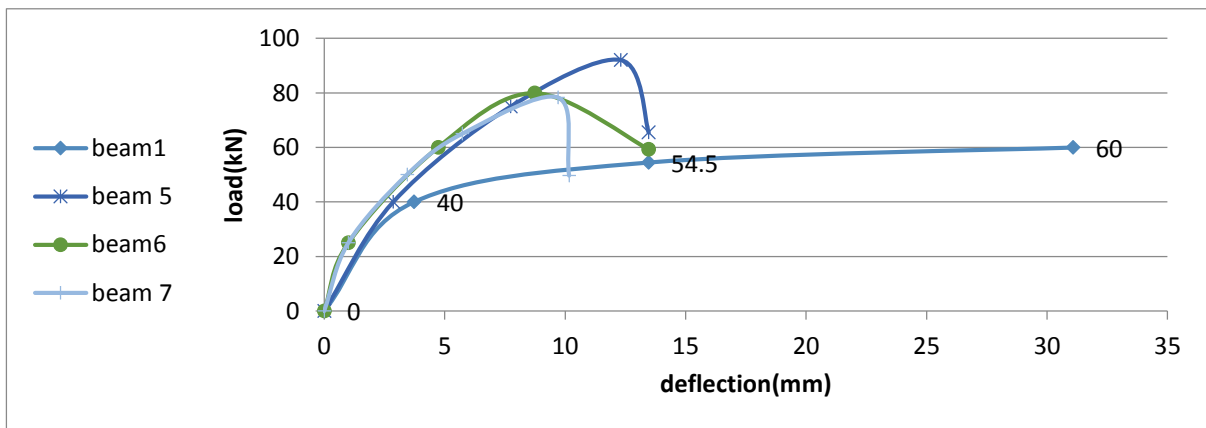
شکل ۵-۶ عکس از نمونه B4



شکل ۵-۷ عکس از نمونه B6



نمودار ۵-۱: مقایسه نمودار B3.B2.B1.B0



نمودار ۵-۲: مقایسه نمودار B6.B5.B4.B0

نتایج نرم افزار آباکوس:

در نرم افزار آباکوس نوارهای FRP به صورت SHELL مدل سازی شده اند و اتصال بین نوارها با بتن و با دیگر نوارها به صورت Tia است.

CFRP به صورت الاستیک رفتار میکند و در آباکوس نوع متریال تعریف شده از نوع Lamina است و جزئیات رفتار الاستیک به صورت زیر است:

E1 : 181 MPa

E2 : 10.3 MPa

Nu : 0.28

G12 : 71.7 MPa

G13 : 71.7 MPa

G23 : 33.29 MPa

GFRP به صورت الاستیک رفتار میکند و در آباکوس نوع متریال تعریف شده از نوع Lamina است و جزئیات رفتار الاستیک به صورت زیر است:

E1 : 4.3 MPa

E2 : 8.9 MPa

Nu : 0.27

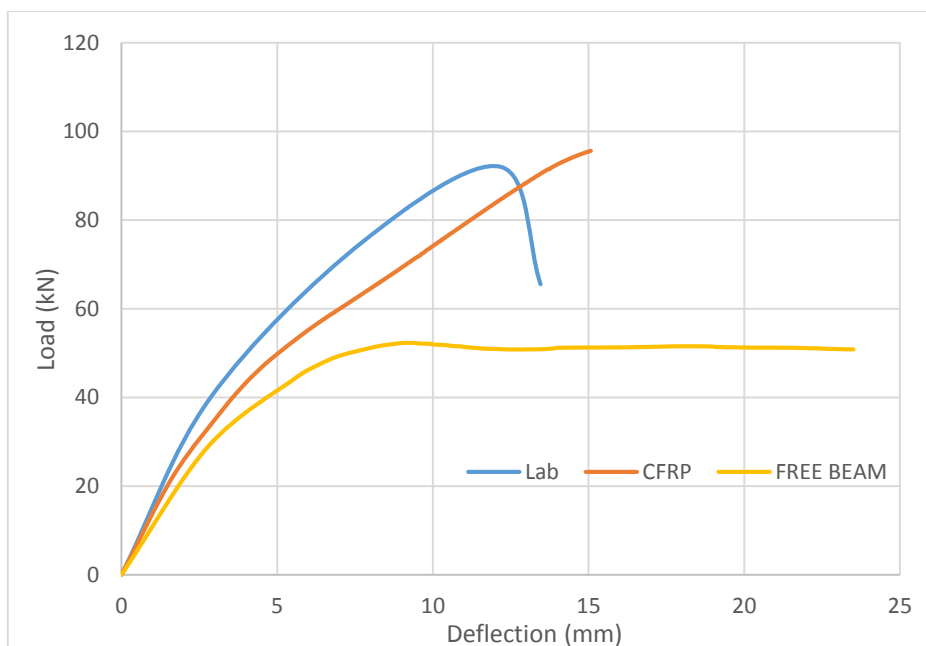
G12 : 4.5 MPa

G13 : 4.5 MPa

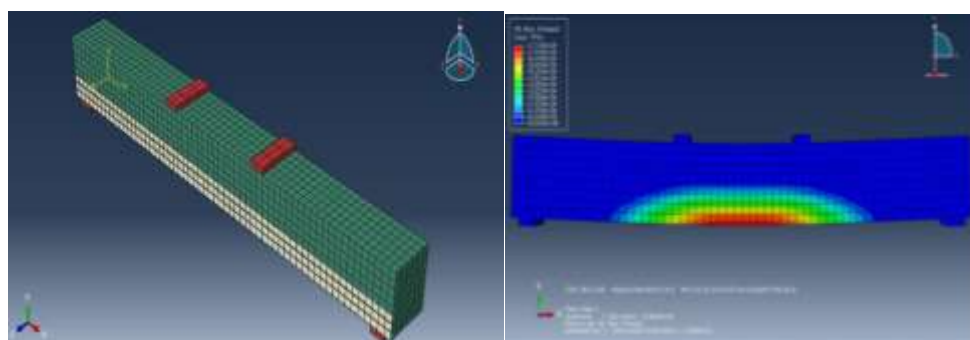
G23 : 3.18 MPa

نکته : اندیس های E و G جهت مختصات را نشان میدهد . جهت 1 راستای طولی نوار ها ، جهت 2 راستای عرضی نوارها و جهت 3 راستای ضخامت نوار است.

درصد افزایش مقاومت نهایی نصب به حالت تقویت نشده طبق آباکوس	نتایج نرم افزار آباکوس	مقاومت نهایی آزمایشگاه kN	تغییر مکان نهایی نمونه mm	شماره نمونه
-	۵۶,۰	۵۸,۶	۳۱,۰	B0
۷۰,۵	۹۵,۵	۹۲,۱	۱۲,۳	B4



شکل مقایسه نمودار B4 آزمایشگاهی با نرم افزار آباکوس



شکل ۵-۸ عکس تحلیل نرم افزار آباکوس

نتیجه گیری:

با توجه به اینکه همه تیرها در شرایط آزمایشگاهی یکسان تحت آزمایش قرار گرفتند و همان طور که از جداول و نمودارهای فوق مشاهده گردید نتایج زیر بدست می آید:

۱- تقویت نمونه به روش L شکل نتایج بهتری به ما میدهد که میزان ظرفیت خمشی در روش آزمایشی بسیار نزدیک به روش تئوری و نرم افزاری می باشد و برای تقویت تیرها در عملیات اجرایی میتوان از محاسبات تئوری و نرم افزاری کمک گرفت. بنابراین می توان گفت این روش تقویت روش مناسبی در جهت بهینه تر کردن تقویت در تیرهای مسلح بتنی می باشد. عدم نیاز به عملیات گسترده آماده سازی سطح و سرعت در اجرای آن از دیگر مزیت‌های این روش می باشد.

۲- استفاده از ورقهای FRP ظرفیت خمشی تیر را بالا برده ولی مقرون به صرفه نیست.

۳- شکست زودرس باعث نرسیدن مقطع به ظرفیت خمشی پس از تقویت شده است.

منابع و ماخذ:

- [۱] مستوفی نژاد، د.، مقدس بیدآبادی، ا.ر.، "تاثیر روش شیار زنی به جای آماده سازی سطحی در تغییر مکانیزم گسیختگی خمشی تیرهای بتنی تقویت شده با FRP"، سومین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۰.
- [۲] صدر ممتاز، ع.، رستمی عتیق، ه.، "بررسی تاثیر نحوه اتصال انتهای ورق های CFRP بر نحوه شکست تیرهای بتنی مسلح تقویت شده در خمش"، چهارمین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، ۱۳۹۱.
- [۳] وارسته پور، ح.، کرمانی، ف.، "روش جدید تقویت تیر بتنی با استفاده از الیاف کربن"، هفتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، ۱۳۹۴.
- [۴] وارسته پور، ح.، اسکناطی، ا.ر.، "افزایش ظرفیت خمشی تیر بتن آرمه با استفاده از الیاف کامپوزیت شیشه"، هفتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، ۱۳۹۴.
- [5] Lam.L,Teng.J.G2004 "Ultimate Condision of fiber reinforced polymer-confined concrete",Journal of Composites for Construction,ASCE,8,539-548
- [۶] مستوفی نژاد، د.، حاج رسولیهها، م.ج.، "بررسی عوامل تاثیر گذار بر عملکرد روش شیار زنی در کنترل جدایش ورق FRP از سطح بتن"، پنجمین کنگره ملی عمران، مشهد، ۱۳۸۹.
- [7] Mostofinjad, D., Shameli, M., "Performance of EBROG method under Multilayer FRP sheets for flexural strengthening of concrete beams", The 12th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-12), Hong Kong, china ۲۰۱۰ .

Optimum Method for Reinforced Flexural Concrete Beams With Use Of Carbon Fiber

According suitable characteristic of FRP in strength of material and high costs, optimized use of this can play a key role in economic savings of this material buildings .The aim of this paper is to present an innovation method and compare several different ways to install comp onsite FRP tested in similar laboratory conditions and compared with ABAQUS software analysis, design of reinforced concrete joists, based on the principles is optimized .

To do this, 7 armed concrete joists with diamention of 150mm width, 200mm height and 1500mm length, were tested under a 4 curving points loading. After analyzing the results, an innovation method was presented in which "L" shape strengthening up to 8cm over the concrete cover, was done, besides increasing curving capacity which leads to delay in early disruption in tested joist .

Keywords: optimizing, CFRP composite, early disruption, curving capacity