



هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران

۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸

دانشگاه شیراز

شیراز



CODE: S4196

بررسی پارامترهای تأثیرگذار در برش تیرهای مقاوم سازی شده با الیاف CFRP با استفاده از روش المان محدود

صادق صابرتنها^۱، حمید رضا ناصری^۲ منصور قلعه نوی^۳

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد زاهدان

۲-استادیار دانشگاه بیرجند

۳-استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

Sabertanha@yahoo.com

خلاصه

امروزه با توجه به تغییر کاربری سازه و یا خطاهای ساخت و محاسبات و همچنین تغییر کاربری سازه ها نیاز به تقویت خارجی سازه بیشتر احساس می گردد. روش های مقاوم سازی متنوع بوده اما تمامی سعی مهندسان استفاده از آسان ترین، ارزان ترین و مقاوم ترین روش بوده است. که مقاوم سازی با FRP ها به دلیل خواص تقویتی که دارند از قبیل (مقاومت کششی بالا، وزن کم، مقاومت بالا) امروزه بحث اصلی مهندسان برای مقاوم سازی است. در این تحقیق به بررسی پارامترهای موثر در تقویت برشی تیرهای بتنی مقاوم شده با الیاف کربن به روش اجزاء محدود پرداخته شده است. برای این منظور ۱۶ تیر با نرم افزار ANSYS مدل سازی شده است. ۴ تیر با یک لایه CFRP با درصدهای مختلف آرماتور طولی، ۴ تیر با دو لایه CFRP با درصدهای مختلف آرماتور طولی، ۳ تیر با تعداد لایه های مختلف CFRP، ۴ تیر...

واژه های کلیدی: مقاوم سازی، ANSYS، CFRP، تقویت برشی، تیر بتنی



بررسی پارامترهای تأثیرگذار در برش تیرهای مقاوم سازی شده با الیاف CFRP با استفاده از روش المان محدود

صادق صابر تنها^۱، دکتر حمید رضا ناصری^۲، دکتر منصور قلعه نوی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد زاهدان

۲- استادیار دانشگاه بیرجند

۳- استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

Sabertanha@yahoo.com

Nasseri_birjand@Yahoo.fr

Ghalehnovi@eng.usb.ac.ir

چکیده

امروزه با توجه به تغییر کاربری سازه و یا خطاهای ساخت و محاسبات و همچنین تغییر کاربری سازه ها نیاز به تقویت خارجی سازه بیشتر احساس می گردد. روش های مقاوم سازی متنوع بوده اما تمامی سعی مهندسان استفاده از آسان ترین، ارزان ترین و مقاوم ترین روش بوده است. که مقاوم سازی با FRP ها به دلیل خواص تقویتی که دارند از قبیل (مقاومت کششی بالا، وزن کم، مقاومت بالا) امروزه بحث اصلی مهندسان برای مقاوم سازی است. در این تحقیق به بررسی پارامترهای موثر در تقویت برشی تیرهای بتنی مقاوم شده با الیاف کربن به روش اجزاء محدود پرداخته شده است.

برای این منظور ۱۶ تیر با نرم افزار ANSYS مدل سازی شده است. ۴ تیر با یک لایه CFRP با درصدهای مختلف آرماتور طولی، ۴ تیر با دو لایه CFRP با درصدهای مختلف آرماتور طولی، ۳ تیر با تعداد لایه های مختلف CFRP، ۴ تیر با یک لایه CFRP با زوایای مختلف الیاف و یک تیر با آرماتور طولی ۱۸ به عنوان شاهد مدل سازی شده اند. در نهایت تنش گسیختگی و خیز وسط تیرها با یکدیگر مقایسه و مورد بررسی قرار گرفت، و نتایج به صورت گراف ها و جداولی ارائه گردیده است.

کلید واژه ها: مقاوم سازی، ANSYS، CFRP، تقویت برشی، تیر بتنی

۱. مقدمه

امروزه در دنیا بسیاری از سازه های زیربنایی که در گذشته ساخته شده اند نیاز به ترمیم و تقویت سازه ای دارند. که لزوم اصلاح سریع آن ها مورد تأکید فراوان مهندسان قرار دارد. از روش های مقاوم سازی می توان به دور پیچ کردن با فولاد، افزایش سطح مقطع با بتن ریزی و اضافه کردن آرماتور FRP نام برد که می توانند بوسیله آنها تعمیر و تقویت شوند. روش های فوق الذکر به جز روش استفاده از FRP ها، از روش های متداول و مرسوم می باشند که برخی از آنها سالیان درازی است که برای تقویت سازه های بتنی استفاده می گردد.

FRP ها به دلیل خواص تقویتی که دارند (مقاومت کششی بالا، وزن کم، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت خستگی، میرایی بالا و.....) نسبت به ورق های فولادی کاربرد بیشتری در تقویت و ترمیم اعضای باربر سازه ای پیدا کرده اند به گونه ای که می توان گفت در صورتی که یک پنجم وزن ورقه های فولادی را دارد ولی ۱۰ برابر مقاومت آن بیشتر است.



دلایل استفاده از FRP می توان به ۴ دسته عمده تقسیم کرد

- ۱- خطای محاسباتی در طراحی
- ۲- اشتباه در ساخت و اجرا
- ۳- تغییر در بهره برداری
- ۴- کاهش سطح مقطع آرماتور برشی و از بین رفتن بر اثر خوردگی به مرور زمان

۲. معرفی FRP

FRP یا پلیمر تقویت شده با الیاف (Fiber Reinforced Polymer) نیز نسل جدیدی از این مواد می باشد که کاربردی فراتر از مهندسی عمران داشته و در صنایع هواپیماسازی، فضاوردی، کشتی سازی کاربرد عملی خود را نشان داده است.

ساختار FRP از دویخس اصلی شامل الیاف fibers مقاوم کننده و ماده ای موسوم به ماتریس matrix یا ماده زمینه می باشد. پرکننده filler نیز جهت تغییر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بکار می رود مانند رسانایی و حرارت. الیاف که نقش اصلی آن باربری است نیرو را به شکل کششی تحمل می کنند. تنوع الیاف و شیوه قرار گیری آنها در FRP باعث پدید آمدن خواص مکانیکی متفاوتی برای FRP می شود. مهم ترین ویژگی های الیاف را می توان به شکل زیر برشمرد:

- خصوصیات FRP همچون سختی و مقاومت کاملاً وابسته به نوع الیاف است.
 - الیاف نقش عنصر باربر را در ماده مرکب ایفا می کنند.
 - رسانایی و نارسانایی الکتریکی FRP به نوع الیاف بستگی دارد.
- فایبر ممکن است از جنس شیشه، آرامید، کربن و یا وینیلون باشد که در اینصورت محصولات کامپوزیت مربوطه به ترتیب به نام های، GFRP, AFRP, CFRP, VFRP مشخص می گردند.

۳. تقویت برشی توسط الیاف FRP

گسیختگی های برشی و خمشی از مهم ترین مد های گسیختگی برای تیرهای تقویت نشده می باشند. گسیختگی خمشی عموماً بر گسیختگی برشی ارجح می باشد، زیرا که اولی نرم و دومی ترد می باشد. گسیختگی نرم اجازه می دهد که تنش باز توزیع شود و این خود می تواند هشدار برای کاربر باشد.

در صورتی که گسیختگی برشی و ترد باشد، می تواند بصورت ناگهانی سبب فاجعه گردد. در مقاوم سازی خمشی به کمک ورقه های خارجی FRP شکل پذیری تیر نسبت به حالت مقاوم سازی نشده بسیار کمتر می باشد. با این وجود این مد گسیختگی خمشی از گسیختگی برشی نرم تر 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 ناقص 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 از 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 جهت فیت شدن با سایر شکل ها و گوشه ها همواره برای مقاوم سازی سودمند واقع شده اند.

در شکست تیرهای بتن آرمه تقویت شده با صفحات FRP مکانیزم های مختلف شکست، از جمله گسیختگی صفحات FRP، خرد شدگی بتن، شکست برشی بتن و ترک خوردگی در محل اتصال چسب با بتن، گزارش شده است.

مطالعات بر روی مقاوم سازی برشی از سال ۱۹۹۰ شروع شده است.



۴. پارامترهای مؤثر در تقویت برشی با ورقه FRP

تقویت برشی تیر با FRP بستگی به موارد زیر دارد:

۱- خصوصیات FRP و چسب

۲- مقدار و نوع FRP

۳- جهت قرارگیری الیاف ورقه FRP با محور عضو

۴- تعداد لایه های ورقه FRP

۵- تنش و کرنش نهایی FRP

۶- تنش برشی چسب

۷- طول چسبندگی ورقه FRP

۸- ضخامت ورقه FRP

خصوصیات عضو بتنی

۱- مقاومت موجود بتن

۲- طبیعت بارگذاری

۳- تأثیر نسبت دهانه برشی به عمق مؤثر

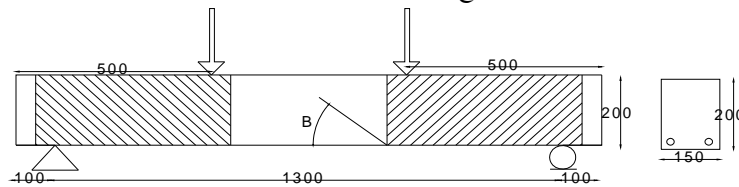
۴- آرایش و نسبت آرماتور برشی یا خاموت

۵- آرایش و نسبت آرماتور طولی

۶- هندسه عضو و ابعاد آن

۵. مدل سازی عددی

در این قسمت به توضیح مدل سازی انجام گرفته می پردازیم. تمامی تیرها دارای ابعاد یکسان و وضعیت میلگردگذاری مشابه می باشند. کلیه تیرهای مدل سازی شده فاقد آرماتور برشی می باشد. برای تقویت برشی با FRP از حالت تقویت به صورتی که ورقه FRP به دو طرف تیر چسبانده می شود و رایج ترین الگو می باشد استفاده گردیده است، تکیه گاه ها از نوع ساده و بارگذاری به صورت متمرکز و متقارن می باشد. (شکل ۱)



شکل ۱- شکل تیرهای مدل سازی شده

تیر بتنی با ورقه CFRP تقویت می شود به دلیل مدول الاستیسیته بالا CFRP نسبت به فولاد و تغییر شکل نهایی کم دارای رفتار ترد با شکل پذیری کم و مقاومت برشی بالا است.

فرض گردیده گسیختگی تیر بعد از گسیخته شدن CFRP صورت گیرد.

در این تحقیق از Ansys. v. 10 و نوع تحلیل روش اجزای محدود غیرخطی می باشد. از المان 65 solid جهت مدل سازی بتن مسلح و المان link 8 جهت مدل سازی آرماتور خمشی و 46 solid جهت مدل سازی FRP استفاده گردیده است.

مقاومت ۲۸ روزه بتن ۲۵ Mpa مدول الاستیسیته فولاد ۲۱۰ Gpa، ضخامت لایه های CFRP ۱.۳ میلیمتر و مدول الاستیسیته ۲۴۰ Gpa می

باشد

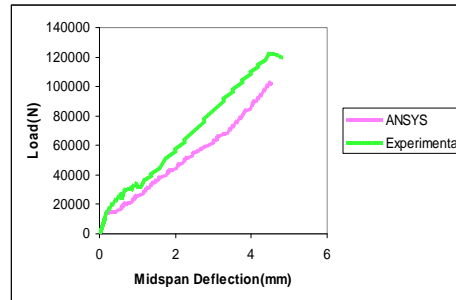
تیرها به چهار گروه تقسیم بندی می گردند.

۱- گروه یک تیرهایی که با یک لایه CFRP مقاوم سازی برشی گردیده اند و قطر میلگردهای طولی متفاوت می باشد.

۲- گروه دو تیرهایی که با دو لایه CFRP مقاوم سازی برشی گردیده اند و در قطر میلگردهای طولی متفاوت می باشد.



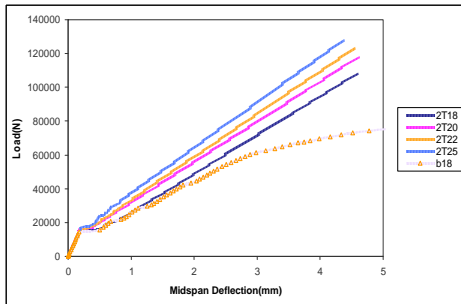
- ۳- گروه سه تیرهایی که تعداد لایه های CFRP که جهت مقاوم سازی برشی به کار گرفته شده است متفاوت می باشد.
- ۴- گروه چهار تیرهایی که زاویه الیاف نسبت به محور تیر تغییر می کند و با یک لایه CFRP مقاوم سازی برشی شده اند.
- جهت بدست آوردن تعداد المان های بهینه در ابتدا تعداد زیادی تیر مدل سازی گردید و نمودار بار-خیز با نتایج آزمایشگاهی آقای مهندس شمالی (۲) مقایسه گردید. (شکل ۲)



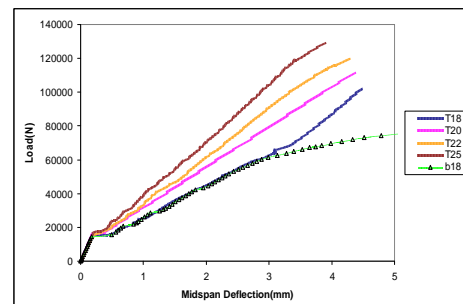
شکل ۲: نمودار بار و خیز و سطر دهانه

۶. بررسی افزایش درصد میلگردهای طولی در تیرهای مقاوم سازی شده با CFRP

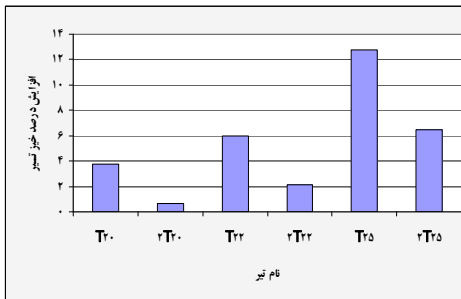
همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود با افزایش درصد میلگردها در تیرهای تیپ اول، نیروی گسیختگی نهایی افزایش و خیز تیر کاهش می یابد. شکل ۴ نیز مربوط به تیرهای تیپ دوم می باشد که در این تیرها نیز مشاهده می شود افزایش درصد میلگردهای طولی باعث افزایش نیروی گسیختگی نهایی و کاهش خیز می گردد. اما در مقایسه انجام گرفته بین تیرهای اول و دوم همانطور که در شکل ۵ و ۶ مشهود است با افزایش تعداد لایه ها از سهم برشی CFRP کاسته می شود.



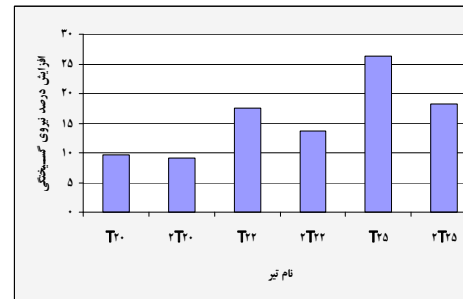
شکل ۴- نمودار بار-خیز تیرهای تیپ دوم



شکل ۳- نمودار بار-خیز تیرهای تیپ اول



شکل ۶- مقایسه نمودار افزایش درصد خیز در تیرهای تیپ اول و دوم

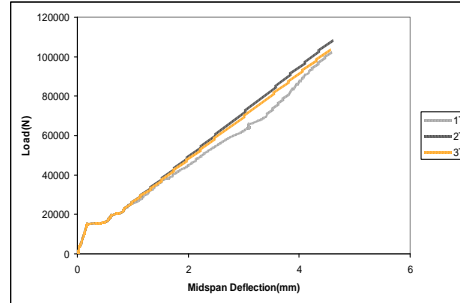


شکل ۵- مقایسه نمودار افزایش درصد نیروی گسیختگی در تیرهای تیپ اول و دوم

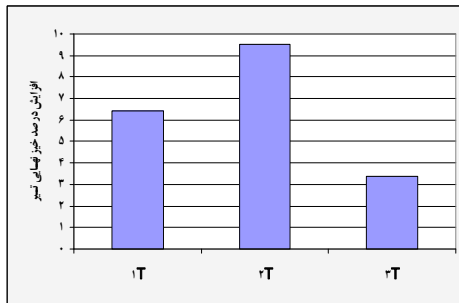


۷. بررسی پارامتر تعداد لایه ها

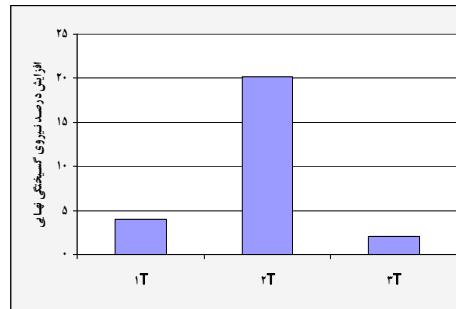
با توجه به شکل ۷ مشاهده می شود که افزایش تعداد لایه ها تا دو لایه باعث افزایش نیروی گسیختگی و افزایش خیز تیر می شود اما افزایش ضخامت لایه از ۲.۶ میلیمتر به ۳.۹ باعث کاهش نیروی گسیختگی تیر و کاهش خیز تیر می گردد در شکل ۹ و ۸ تاثیر افزایش تعداد لایه ها در افزایش درصد نیروی گسیختگی نهایی تیر و خیز نهایی تیر دیده می شود.



شکل 7: نمودار بار - خیز تیرهای تیپ سوم



شکل ۹ - مقایسه نمودار افزایش درصد خیز در تیرهای تیپ سوم

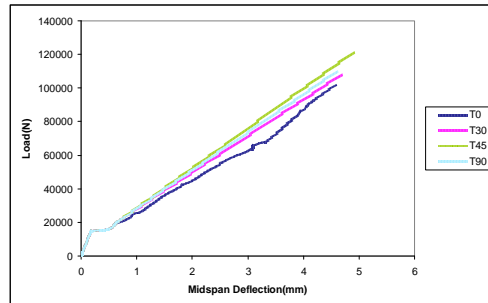


شکل ۸ - مقایسه نمودار افزایش درصد نیروی گسیختگی در تیرهای تیپ سوم

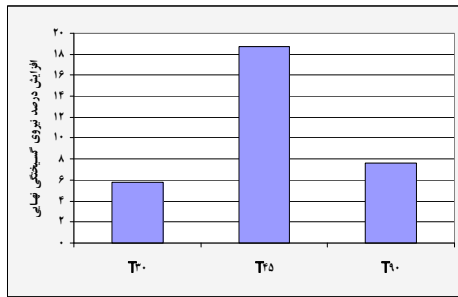


۸. بررسی پارامتر زاویه الیاف نسبت به محور تیر

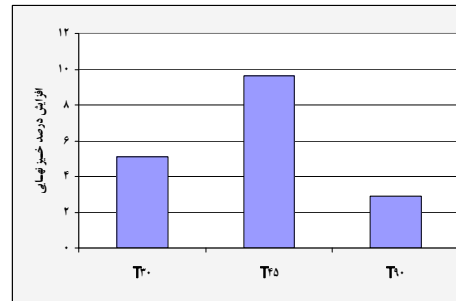
در شکل ۱۰ نمودار بار تغییر مکان وسط دهانه در زوایای ۰، ۳۰، ۴۵ و ۹۰ درجه در تیر بتنی مقایسه گردیده و در شکل نمودار افزایش درصد نیروی گسیختگی نهایی و افزایش خیز نهایی نشان داده شده است.



شکل ۱۰- نمودار بار - خیز تیرهای تیپ چهارم



شکل ۱۲- مقایسه نمودار افزایش درصد خیز در تیرهای تیپ چهارم



شکل ۱۱- مقایسه نمودار افزایش درصد نیروی گسیختگی در تیرهای تیپ چهارم

مشاهده می گردد الیاف ها با زاویه ۴۵ درجه نسبت به محور تیر نیروی گسیختگی و خیز بیشتری را تحمل می کند. همچنین مشاهده می گردد الیاف با زاویه ۹۰ درجه نیروی بیشتری را نسبت به حالت ۳۰ درجه FRP جذب نموده اما درصد خیز در حالت ۹۰ درجه نسبت به حالت ۳۰ درجه کمتر می باشد.



۹. نتایج

- ۱- در این تحقیق مشخص گردید که تمام تیرهای مسلح شده با الیاف کربن از خود رفتارخطی نشان می دهند که البته می تواند یک نقطه ضعف برای تیرها محسوب شود.
- ۲- چسباندن ورقه های CFRP به کناره های تیر سبب افزایش ظرفیت برشی تیر می شود.
- ۳- افزایش نسبت آما تورهای کششی در حالتی که پیوند بتن و CFRP بصورت صددرصد باشد باعث تغییر در مد گسیختگی می شود و با افزایش نسبت آما تورهای کششی افزایش نیروی گسیختگی نهایی را باعث می شود و خیر نهایی تیر کاهش می یابد.
- ۴- با مقایسه تیر های تیپ اول با تیرهای تیپ دوم مشخص گردید با افزایش تعداد لایه ها و افزایش قطر میلگردها سهم برشی CFRP کاهش پیدا می کند.
- ۵- افزایش ضخامت ، بیش از یک مقدار معین سبب می شود که بتن در برابر رشد ترک های قطری بین محل بارگذاری و تکیه گاه که منجر به شکست تیر می شوند، مقاومت زیادی کرده و ترک به نواحی تقویت نشده سوق پیدا کند ، همین امر سبب شکست تیر و کاهش مقاومت نهایی آن می شود. همان گونه که در این پژوهش مشاهده می شود افزایش ضخامت بیش از ۲/۶ میلیمتر تأثیری در افزایش مقاومت نهایی نداشته بلکه باعث کاهش مقاومت گردیده است.
- ۶- با توجه به زاویه ای که امتداد الیاف با راستای گسیختگی برشی تشکیل می دهد مشخص گردید که راستای الیاف عمود بر راستای ترک باشد باعث افزایش خیز و نیروی گسیختگی نهایی تیر می شود. گسیختگی برشی ترد بوده بنابراین در تیرها ترکهای قطری با زاویه ۴۵ درجه بیشتر رخ می دهد پس استفاده از الیاف در جهت عمود بر زاویه ترک خورده زاویه ۴۵ درجه منجر به افزایش تأثیر تقویت برشی می گردد.
- ۷- با بررسی زاویه لیاف نسبت به محور تیر مشاهده گردید که بعد از زاویه ۴۵ درجه ، زاویه ۹۰ درجه تیر نیروی گسیختگی بیشتری را متحمل می شود ولی خیز تیر در زاویه ۹۰ درجه نسبت به بقیه زوایا کمتر می باشد.

منابع

۱. Malek, A. and Saadatmanesh, H., Ultimate shear capacity of reinforced concrete beams strengthened with web-bonded fiber-reinforced plastic plates, ACI Structural Journal, No. 4, 95(1998) 391-399.
۲. شمالی، الف، (۱۳۸۴)، « بررسی مقاومت برشی تیرهای بتن آرمه با الیاف کامپوزیتی CFRP » پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی، مشهد.
3. Chajes MJ, Thomson T A Finch ww and Januszka TF (1994) , Flexural Strengtheing of concrete beams using externally bonded composite meaterials, Construct Build Mater 8(3) 191-210
۴. ANSYS Manual Set., ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA 15317, USA, [13] Khalifa et al. Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC flexural members. J.compose.Constr., 2(4), 195-202, 1998.
۵. Chajes M J, Thomson TA and Tarantion B(1995a), Reinforcent of concrete structures using externally bonded composite metertals , in Non- Metallic(FRP)Reinforcement for concrete structures, ed.L Taewe, E& FN Spon ,London ,pp 501-508