

مقاوم‌سازی تیر خمشی بتن مسلح با روکش الیاف فلزی قلاب‌دار

حسین بابایی^{۱*}، محمدعلی دشتی رحمت آبادی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - سازه، گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد - ایران، babaei.hossein63@yahoo.com

۲- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد - ایران، dashti1804@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق تقویت خمشی تیرهای بتن مسلح با استفاده از الیاف فلزی قلاب‌دار مورد بررسی قرار می‌گیرد. هفت عدد نمونه تیر آزمایشگاهی به عرض مقطع ۱۰۰ میلیمتر، ارتفاع ۱۵۰ میلیمتر و طول ۲۱۰۰ میلیمتر با درصد فولاد کششی یکسان ساخته شد.

یک نمونه بعنوان تیر شاهد نمونه کنترل تقویت نشده، سه نمونه در حالت شکست فشاری که دو نمونه ضخامت ۳۰ میلیمتر و یک نمونه به ضخامت ۱۵۰ میلیمتر روکش شده اند و سه نمونه در حالت شکست کششی و مطابق با ضخامت‌های نمونه فشاری مورد آزمایش قرار گرفتند که درصد الیاف استفاده شده برای نمونه‌ها معادل ۵٪ وزن سیمان مصرفی می‌باشد.

آزمایشها به صورت خمش دو نقطه‌ای انجام شد.

نمونه‌های تقویت شده نسبت به نمونه کنترلی دارای مقاومت و سختی خمشی بیشتر و همچنین شکل پذیری و تغییر مکان بیشتر بودند که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مقاومت شکست حالت فشاری بیشتر از مقاومت شکست حالت کششی است و میزان جذب انرژی کلیه تیرها نسبت به تیر شاهد افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: الیاف فلزی قلاب‌دار - بتن مسلح - تقویت خمشی - آزمایش (حالت فشاری - کششی).

۱- مقدمه

بدلائل مختلف از جمله عدم اجرای صحیح بتن، عدم بکارگیری آرماتورهای برشی و خمشی بطور مناسب، تغییر نحوه استفاده از سازه، احتمال شکست نامطلوب در اعضای سازه همانند تیرها، ستونها، اتصالات و ... می‌تواند وجود داشته باشد. هر یک از این اعضا باید مقاوم در برابر بارها و نیروهای مختلف بوده و قابلیت ارائه رفتار نرم را از خود داشته باشند.

تیرهای بتنی مسلح باید بنحوی طراحی شوند تا بتوانند مقاومت خمشی را بطور کامل دارا بوده و شکست خمشی نرم را فراهم آورند. شکست برشی بصورت شکست کششی قطری در اعضای بتن مسلح، از نوع شکست ترد بحساب می‌آید. بنابراین، یک تیر بتن مسلح باید دارای مقاومت برشی کافی بوده تا اطمینان از شکست نرم خمشی حاصل شود.

۲- انواع شکست خمشی

بر پایه‌ی مطالعات انجام گرفته توسط محققان مختلف، انواع شکست خمشی نمونه‌های تقویت شده عبارتند از: (۱) تسلیم فولادهای طولی به همراه گسیختگی پلیمرهای الیافی (۲) خرد شدن بتن در فشار قبل از گسیختگی پلیمرهای الیافی (۳) جدا شدن انتهای پلیمرهای الیافی از سطح بتن به همراه پوشش بتن روی میلگردهای طولی (۴) جدا شدن انتهای پلیمرهای الیافی از سطح بتن به همراه قسمتی از پوشش بتن (۵) جدا شدن پلیمرهای الیافی از سطح بتن به همراه قسمتی از پوشش بتن به علت ترک خمشی (۶) جدا شدن پلیمرهای الیافی از سطح بتن به همراه قسمتی از پوشش بتن به علت ترک خمشی - برشی.

جدا شدن انتهای پلیمرهای الیافی از سطح بتن (حالت‌های ۳ و ۴) به علت ایجاد تمرکز تنش‌های برشی و قائم در انتهای ورق‌های پلیمری الیافی می‌باشد. مقدار تنش برشی ماکزیمم در انتهای صفحه‌ی پلیمری الیافی با افزایش ضخامت ورق‌های پلیمری الیافی و مدول الاستیسیته‌ی چسب، افزایش و با افزایش ضخامت لایه‌ی چسب کاهش می‌یابد. همچنین، مقدار تنش کششی قائم ماکزیمم، با افزایش ضخامت لایه‌ی چسب کاهش می‌یابد.



یابد. این حالت شکست به صورت آزمایشگاهی، تحلیلی و مدل های اجزای محدود در مراجع [۵-۱] بررسی شده است. حالت دیگر از شکست های خمشی نام برده شده، جدا شدن پلیمرهای الیافی از سطح بتن به همراه قسمتی از پوشش بتن به علت ترک خمشی- برشی یا ترک خمشی می باشد. این نوع شکست بستگی به رفتار تنش پیوستگی- لغزش بین ورق های پلیمری الیافی و بتن دارد و در اعضای لاغر و اعضایی که با لایه ی نازکی از ورق های پلیمری الیافی تقویت شده اند، محتمل تر است. همچنین، خوردگی فولادهای طولی و کاهش ناگهانی در سطح مقطع فولادهای طولی در محل لنگرهای خمشی و نیروهای برشی بزرگ، احتمال این نوع شکست را افزایش می دهد [۷ و ۶]. لذا با توجه به در دست نبودن منابع کافی در خصوص مقاوم سازی تیر با الیاف فلزی از منابع جایگزین استفاده شده است.

۳- برنامه آزمایش ها

برای آزمایش مقاومت خمشی ۷ نمونه تیر $210 \times 10 \times 15$ سانتی متر که مطابق استاندارد ASTM C293 ساخته شده است.

۳-۱- مصالح مصرفی

میلگرد مصرفی

میلگرد مصرفی کششی دربالا و پایین تیر $\phi 8$

میلگرد برشی (خاموت) $\phi 4 @ 3 \text{ CM}$

سیمان

سیمان مورد استفاده در این پایان نامه سیمان پرتلند نوع II کارخانه اردستان (بدون ذرات نانو و میکروسیلیس) مطابق با استاندارد ایران می باشد.

۳-۲- طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن روکش تیر در جدول ۱ نشان داده شده است.


جدول ۱- جزییات اختلاط بتن مصرفی (Kg/m^3)

آب	نخودی	ماسه	سیمان
۲۰۰	۹۰۰	۸۵۰	۳۲۰

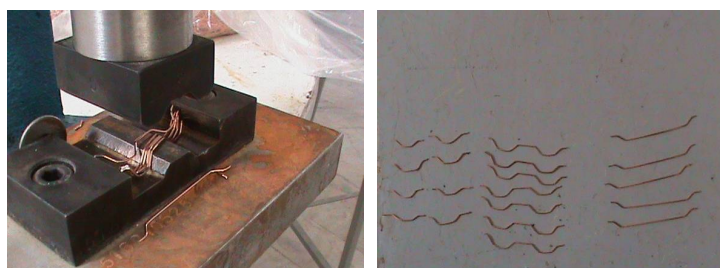
در این پروژه از الیاف فلزی که در دو انتها قلاب دار هستند استفاده شد این الیاف محصول کشور ایران از کارخانجات شهر زنجان که مشخصات آن در جدول ارائه شده است:

که در آزمایش فوق این الیاف را توسط قطعه ساخته شده و بوسیله دستگاه پرس بطور کاملاً مساوی به دو قسمت تبدیل می کنیم تا الیاف کوتاهتر شده واز آن برای روکش تیر مسلح استفاده می شود.

جدول ۲- مشخصات الیاف به کار برده شده کوتاه

شکل الیاف	طول	قطر	ضخامت	ارتفاع قلاب انتهایی
	۱۲/۵ mm	۰/۸۰	۰	۲/۵ mm $\pm 10\%$

که در شکل ۱ الیاف مذکور مشاهده می گردد.

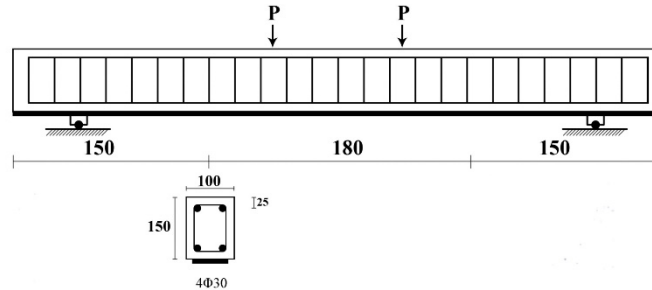


شکل ۱- نحوه کوتاه کردن الیاف فلزی بلند



مقاوم سازی تیر مسلح خمشی

برای روکش تیر با الیاف فلزی فقط از اختلاط سیمان و ماسه همراه با ۵٪ الیاف فلزی کوتاه مطابق شکل ۱ استفاده شده است. تیرها را با ضخامت‌های ۳ و ۱/۵ سانتیمتر روکش می‌کنیم. بدین صورت که ابتدا تیرهای عمل آوری شده در آب را بیرون آورده و بعد از خشک شدن روی تیرها را بوسیله برس سیمی خوب تمیز کرده و کمی مرطوب می‌کنیم. سپس روی تیرها را با استفاده از مخلوط ماسه و سیمان با ۵٪ الیاف کوتاه فلزی پر می‌کنیم. بعد از اینکه بتن روکش شده کاملاً خودش را گرفت دوباره تیرها را جهت عمل آوری به مدت ۲۸ روز در آب قرار می‌دهیم.



شکل ۲- نمونه تیر مسلح

رسم مقطع تیر



شکل ۳- نحوه مقاوم‌سازی تیر مسلح با روکش

۴-۳- نحوه انجام آزمایش

نمونه‌ها بعد از زمان عمل آوری بصورت خمش دو نقطه ای در دو حالت شکست فشاری و حالت شکست کششی بار گذاری شد. تغییر مکان وسط نمونه‌ها با استفاده از یک تغییر شکل سنج اندازه گیری شد. و اطلاعات مربوط به بارها و تغییر مکانها توسط دو عدد دوربین بطور همزمان برداشت شد، و نمودار بار تغییر مکان توسط برنامه اکسل رسم شد.



شکل ۴- نحوه بارگذاری آزمایش تیر خمشی مسلح

به دلیل زیاد شدن طول تیر یک عدد ناودانی ۱۸ را انتخاب کرده بطوریکه بالهای ناودانی به سمت پایین باشد، آنرا روی دستگاه جک قرار داده محکم می‌کنیم و برای اینکه در مراحل آزمایش ناودانی دچار تغییر شکلی نشود مانند شکل ۴ دوطرف آنرا با ورق جوش داده تا کاملاً صلب شود.



شکل ۵- نحوه شکست تیر شاهد





شکل ۶- نحوه آزمایش تیر فشاری و شکست تیر



شکل ۷- نحوه آزمایش تیر کششی و شکست تیر و گسیختگی فولاد کششی





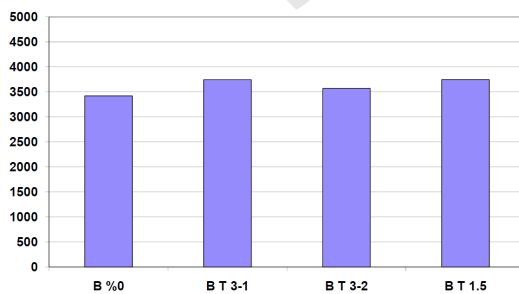
شکل ۸- تیر خمشی مسلح روکش شده با الیاف فلزی

۴- بررسی و تحلیل نتایج آزمایش

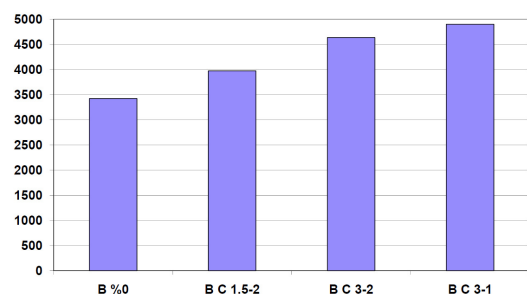
این قسمت نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها خمشی نمونه‌های تیر شامل مقاومت خمشی، است که تیرها را بصورت فشاری و کششی مورد آزمایش قرار می‌دهیم، که نتایج آن در جدول ۳ بدست آمده است.

جدول ۳- مقاومت خمشی تیر مسلح مقاوم سازی شده

درصد نسبت مقاوت تیر بدون روکش با تیر روکش دار	مقاومت خمشی (kg)	درصد الیاف کوتاه	نمونه تیر خمشی
	۳۴۲۲	۰	B %0
۱/۱۶	۳۹۷۳	٪۵	B C 1.5-2
۱/۳۵	۴۶۳۶	٪۵	B C 3-2
۱/۴۳	۴۹۰۰	٪۵	B C 3-1
۱/۰۹	۳۷۴۶	٪۵	B T 3-1
۱/۰۴	۳۵۷۱	٪۵	B T 3-2
۱/۰۹	۳۷۴۷	٪۵	B T 1.5



نمودار ۲- مقاومت کششی (kg) تیر خمشی مسلح مقاوم سازی شده



نمودار ۱- مقاومت فشاری (kg) تیر خمشی مسلح مقاوم سازی شده

همانطوریکه در جدول ۳ مشخص است با توجه به مقاوم سازی تیر با الیاف در حالت کشش در هر دو ضخامت ۱/۵ و ۳CM در صد مقاومت نسبت به تیر ساده مقاوم سازی نشده (بدون روکش) کمتر از درصد مقاومت فشاری در هر دو ضخامت می باشد. و در موارد فشاری تیرمقاومت خمشی بیشتری نسبت به حالت کششی دارد.



متوسط اندیس‌های طاقت خمشی و مقاومت پسماند طاقت خمشی به ترتیب سطح زیر منحنی بار- تغییر شکل، δ ، $5/5\delta$ و $10/5\delta$ تقسیم بر سطح زیر منحنی بار - تغییر مکان حد الاستیک (δ) با اندیس‌های I_p ، I_1 و I_5 نشان می‌دهند. بنابراین این اندیس‌های اولیه رفتار و میزان جذب انرژی را در تغییر شکل‌های کوچک و اولیه نشان می‌دهند در حالی که از اندیس‌های بالاتر مقایسه رفتار تیر در تغییر شکل‌های بزرگ استفاده می‌گردد.

جدول ۴- متوسط اندیس‌های طاقت خمشی تیر مسلح مقاوم سازی شده در حالت کششی

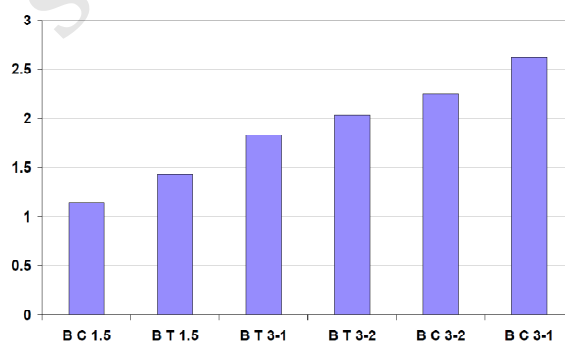
اندیس‌های مقاومت پسماند طاقت خمشی		متوسط اندیس‌های طاقت خمشی			نمونه تیر خمشی
$R_{10\%}$	$R_{5\%}$	I_p	I_1	I_5	I
۱۵/۳	۲۰/۴	۳۲/۸۱	۱۷/۵	۷/۲	B 0%
۱۴/۵۲	۲۱/۰۲	۳۲/۶۹	۱۸/۱۷	۷/۶۶	B T 1.5
۱۴/۰۱	۱۸/۸۸	۳۰/۸۲	۱۶/۸۱	۷/۳۷	B T 3-1
۶/۹۴	۱۴/۱۶	۲۱	۱۴/۰۶	۷	B T 3-2

جدول ۵- متوسط اندیس‌های طاقت خمشی تیر مسلح مقاوم سازی شده در حالت فشاری

اندیس‌های مقاومت پسماند طاقت خمشی		متوسط اندیس‌های طاقت خمشی			نمونه تیر خمشی
$R_{10\%}$	$R_{5\%}$	I_p	I_1	I_5	I
۱۵/۳	۲۰/۴	۳۲/۸۱	۱۷/۵	۷/۲	B 0%
۲۵/۶۲	۲۶/۷۸	۴۷/۴۴	۲۱/۸۲	۸/۴۳	B C 1.5
۱۱/۲	۱۹/۹۲	۲۸/۸۷	۱۷/۶۷	۷/۷۱	B C 3-2
۱۱/۲۸	۱۵/۵۶	۲۸/۶۱	۱۷/۲۳	۹/۵۵	B C 3-1

جدول ۶- نسبت انرژی جذب شده نمونه‌ها به تیر شاهد (بدون روکش)

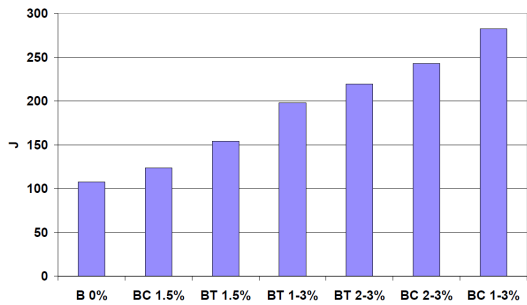
۱/۱۴	B C 1.5
۱/۴۳	B T 1.5
۱/۸۲	B T 3-1
۲/۰۳	B T 3-2
۲/۲۵	B C 3-2
۲/۶۲	B C 3-1



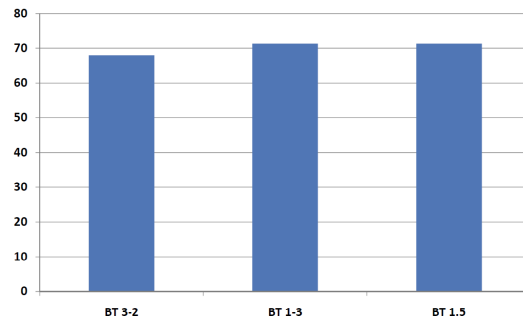
نمودار ۳- درصد جذب انرژی تیر خمشی مسلح

همانطور که در جدول ۶ و نمودار ۳ نشان داده شده است میزان درصد جذب انرژی در حالت های فشاری بیشتر از حالت شکست کششی می باشد.





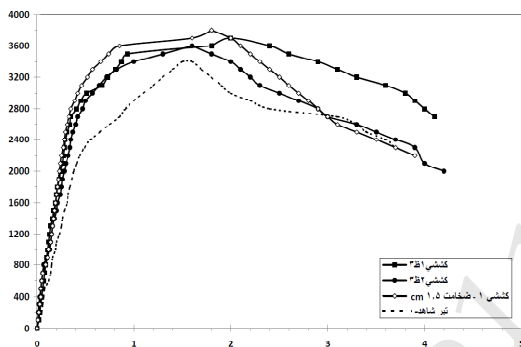
نمودار ۵- میزان انرژی جذب شده تیر خمشی مسلح مقاوم سازی شده



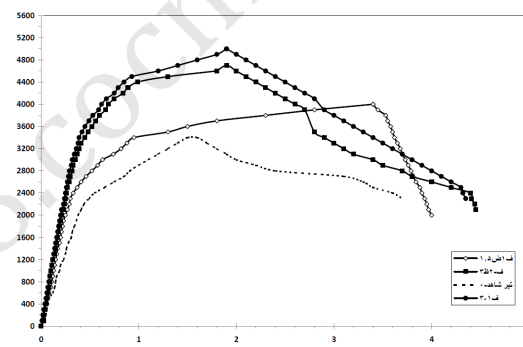
نمودار ۴- مقاومت کششی تیر خمشی مسلح مقاوم سازی شده

با توجه به نمودار ۵ مشخص می شود که میزان انرژی جذب شده کلیه تیرها نسبت به نمونه شاهد بیشتر می باشد و میتوان گفت با انجام مقاوم سازی بر روی تیرها سختی بیشتری ایجاد شده و تیرها مقاومت بیشتری را تحمل می کنند.

نمودار تیر خمشی مسلح مقاوم سازی شده



نمودار ۷- تیر خمشی مسلح مقاوم سازی شده (حالت کششی)



نمودار ۶- تیر خمشی مسلح مقاوم سازی شده (حالت فشاری)

با توجه به نمودارهای خمشی برای درصدهای مختلف آزمایش شده مشاهده می شود که در مراحل اولیه بار گذاری (قبل از ترک خوردگی خمشی) نمودارهای بار- تغییر مکان نمونه ها تقریباً بر هم منطبق هستند.

به تدریج با افزایش بار، نمونه های تقویت شده سختی بیشتری از خود نشان می دهند با توجه مقاومت های تیر خمشی مسلح مشاهده می شود که نمونه های خمشی که بصورت فشاری تقویت شده است، مقاومت بیشتری از نمونه های تقویت شده در حالت کششی از خود نشان می دهد و درصد مقاومت بیشتری نسبت به دیگر نمونه ها دارد. با توجه به شکلهای (۵ الی ۷) در تمام نمونه ها به دلیل ایجاد تمرکز تنش برشی و قائم بر روی تیر مقاوم سازی شده (روکش شده) ابتدا ترک مورب در پوشش بتن اتفاق می افتد که با افزایش بار ترک ایجاد شده در امتداد آرماتورهای کششی گسترش پیدا کرده و سبب ایجاد شکست ناگهانی در نمونه ها می شود، به طوریکه آرماتورها نیز دچار گسیختگی می شود.

و همانطوریکه در نمودارهای بار-تغییر مکان نشان داده شده است در لحظه شکست نهایی و در حالی که بار کاهش می یابد دچار تغییر شکل های بزرگ تری می شویم و همین باعث حرکت نمودارها به سمت پایین می شود.

همچنین طبق نمودار ۶ برای حالت فشاری مشاهده می شود که با تقویت تیر با ضخامت ۱.۵cm بار حداکثر قابل تحمل نمونه نسبت به نمونه شاهد (بدون روکش) تقویت نشده افزایش یافته و همچنین تغییر مکان نظیر بار حداکثر نمونه تقویت شده از نمونه شاهد هم بیشتر می باشد.

برای تیرهای با ضخامت ۳cm نسبت به تیر شاهد و نمونه های تقویت شده با ضخامت ۱.۵cm مقدار بار حداکثر و تغییر مکان بیشتر بدست می آید.

در نمودار ۷ برای حالت کششی نیز مشاهده می شود که با تقویت تیر با ضخامت های مختلف بار قابل تحمل نمونه ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته و تغییر مکان نمونه ها نیز بیشتر می شود.



۵- نتیجه گیری

در این تحقیق اثر الیاف فلزی در تقویت خمشی تیرهای بتن مسلح مطالعه گردید. بر اساس اطلاعات بدیت آمده از انجام آزمایش‌ها، نتایج زیر به دست آمده است:

استفاده از الیاف در مقاوم سازی تیرها ضخامت های $1/5$ و 3cm باعث افزایش باربری شده که حاصل آن در حالت شکست فشاری بیشتر از حالت شکست کششی می باشد.

در آزمایش مقاومت خمشی مشاهده می شود که نسبت درصد جذب انرژی نمونه‌های مقاوم سازی شده نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است به طور مثال نمونه‌های فشاری از نمونه‌های کششی انرژی بیشتری را جذب می کنند.

۶- منابع

- [1] Maalej, M., Bian, Y. "Interfacial Shear Stress Concentration in FRP-Strengthened Beams", Composite Structures, Vol.54, 2001, pp. 417-426 .
- [2] Malek, A.M., Saadatmanesh, H, Ehsani, M.R. "Prediction of Failure Load of R/C Beams Strengthened With FRP Plate Due to Stress Concentration at the Plate End", Act Structural Journal. Vol.95, No.1. 1998, pp. 142-152 .
- [3] Ye, J.Q. "Interfacial Shear Transfer of RC Beams Strengthened by Bonded Composite Plates". Cement & Concrete Composite, Vol.23. 2001, pp. 411-417 .
- [4] Ascione, L., Fen, L. "Modeling of Composite/Concrete Interface of RC Beams Strengthened with Composite Laminates", Composites Part H: Engineering, Vol.31, 2000, pp. 535-540.
- [5] Lau, K.T., Dutta, P.K., Zhou, L.M., Hui, D. "Mechanics of Bonds in an FRP Bonded Concrete Beam". Composites Part B: Engineering, Vol.32, 2001, pp. 49J-502 .
- [6] Teng, J.G., Smith, S.I., Yao, J .. Chen, J.F. "Intermediate Crack-induced Debonding in RC Beams and Slabs", Construction and Building Materials, Vol.17, 2003, pp. 447-462 .
- [7] Sebastian, "I.M. "Significance of Midspan Debonding Failure in FRP-Plated Concrete Beams", Journal of Structural Engineering, ASCE. Vol.127, No.7, 2001, pp. 792-798.

