استفاده از FRP در ترمیم تیر ترک خورده بتنی تحت بار گذاری پیچشی استاتیکی

محدثه انبارلویی*
دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

چکیده

امروزه بتن دارای کاربرد گسترده ای در صنعت می باشد، اشنایی با روش‌های ترمیم اجزا ئ قطعات بتنی به منظور جلوگیری از گسترش ترک و فروپاشی سازه به منظور وارد نیامدن خسارت های جبران ناپذیر، بسیار ضروری است. از این رو روش‌های متعددی به این منظور بررسی و مطالعه گردیده است از جمله این روش‌ها استفاده از مصالح FRP می‌باشد. اف آر پی (FRP) مخفف عبارت"Fiber Reinforced Polymer" است. لیاف موجود در کامپوزیت اف آر پی (FRP) استحکام و سفتی ترکیب را فراهم می‌کند و رزین‌ها نقش انتقال بار وارده به الیاف و همچنین چسبانندگی الیاف به یکدیگر را دارند. کامپوزیت اف آر پی امروزه برای مقاوم سازی با FRP در برابر زلزله و جایگزین مناسبی برای تقویت سازه‌ها با روش‌های قدیمی مانند ژاکت فولادی و بتنی می‌باشد.این پژوهش به بررسی ترمیم تیر ترک خوردگی بتنی تحت بارگذاری پیچشی استاتیکی با استفاده از مصالح FRP پرداخته است. نتایج نشان می دهد که استفاده از این روش ترمیم قادر است که سبب افزایش مقاومت پیچشی تیر بتنی گردد و مقاومت پیچشی تیر ترک خورده بتنی را ۱۷،۶۸ برابر کند.

کلمات کلیدی
FRP، پیچش، تیر بتنی، ترمیم، ترک

The use of FRP in repairing concrete beams with cracked under torsional loading

Mohadeseh Anbarlouie *
Faculty of Civil Engineering, Iran university of science and technology, Tehran, Iran.

*Corresponding author's email address:
mohadeseh.anbarlouie@edu.ikiu.ac.ir

Abstract

Today, concrete has widespread applications in the industry. Familiarity with methods of repairing concrete components is essential to prevent the spread of cracks and collapse of structures, thereby avoiding irreparable damages. Therefore, various methods have been studied and investigated for this purpose, including the use of FRP materials. FRP stands for "Fiber Reinforced Polymer." The fibers in FRP composite provide strength and stiffness to the combination, while resins play a role in load transfer to the fibers and adhesion of fibers to each other. FRP composite is now used for seismic retrofitting and is a suitable alternative for strengthening structures compared to traditional methods such as steel and concrete jackets. This study focuses on repairing cracked concrete beams under static torsional loading using FRP materials. The results indicate that this repair method can significantly increase the torsional strength of the concrete beam, increasing it by 17.68 times.

Keywords
FRP, torsion, concrete beam, repair, crack

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
3 (2), 2019
دوره ۳، شماره ۲
تابستان ۱۳۹۸
فصلنامه پژوهشی
مهندسی و مدیریت ساخت

۱- مقدمه

مواد فیبرهای پلیمری تقویت‌شده که مخفف (Fiber Reinforcement Polymer) است و در مسائل مرتبط با مقاوم‌سازی و پوشش سازه‌های بتنی و فلزی کاربرد دارند، از دو جزء اساسی تشکیل می‌شوند؛ فایبر (الیاف) و رزین (ماده چسباننده). در دنیای امروز پروژه‌های ترمیم، بازسازی و مقاوم‌سازی بسیار فراگیر شده و نکات و مسائل جدیدی مطرح‌شده که با استفاده از نشریه¬های سیستم FRP قابل‌حل هستند.

از جمله مهترین کاربردهای FRP در پروژه‌های ترمیم و باسازی می‌توان به استفاده از FRP در ترک‌خوردگی و چمع شدگی بتن ناشی از خوردگی، جداشدگی سنگدانه‌های بتن و ضعف اتصالات بتن اشاره کرد. در سال ۲۰۰۰ ,Xiao و Wu نتایج تجربی خود را بر روی ۲۷ ستون استوانه ای که آن‌ها را با پلیمر فیبر کربن تقویت شده ,(CFRP) پوشش داده بودند و تحت فشار محوری آزمایش کرده بودند را اعلام نمودند. نتایج آن ها به این شرح بود که استفاده از پلیمر فیبر کرین تقویت شده، علاوه بر افزایش مقاومت فشاری، انعطاف پذیری بتن را نیز افزایش می‌دهد. Wu. [۱] و همکارانش آزمایش هایی بر روی ستون های مربعی و دایره ای پوشیده شده با FRP انجام دادند و اهمیت گردگوشه بودن نمونه را در سطح مقطع ورق های CFRP بیان نمودند. از گذشته تا کنون ، مطالعات متعددی در زمینه ترمیم و تعمیر بتن توسطFRP صورت گرفته و انجام شده استValdmanis.[۲] و همکارانش به بررسی رفتار مکانیکی بتن محصور شده توسط ورق‌های CFRP پرداختند و نتیجه گرفتند که در این روش باید کاهشی به میزان ۵۰٪ در مقاومت نهایی فرض گرد .[۳]

محققان ایرانی آقای پنجه پور و همکارانش به بررسی استوانه آسیب دیده HSE که توسط ورق هایCFRP ترمیم شده است پرداختند.کارهای تجربی آن ها نشان داد که CFRP مقاومت در برابر تشدید تغییر شکل محوری ستون استونه ای، ناشی از فشار تک محوره را افزایش می‌دهد. به علاوه جذب انرژی در نمونه‌ی پوشیده شده با CFRP سه برابر جذب انرژی در سایر نمونه‌ها بود.[۴]

۲- مواد و مصالح استفاده شده و شرح انجام آزمایش

تعداد ۶ عدد تیر بتن آرمه با ابعاد ۱۵×۱۵×۱۲۰ سانتی متر که هرکدام به ۴ عدد آرماتور فولادی به قطر ۸ میلی متر مجهز بودند با استفاده از بتن خودمتراکم به منظو داشتن مقاومت بالا و عدم نیاز به ویبره کردن تیرها، ساخته شد. بتن ساخته شده پس از برداشتن اطلاعاتی از جمله اندازه گیری چگالی و اسلامپ بتن تازه، که به ترتیب دارای اعداد ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و ۵۶ سانتی متر بودند، در داخل قالب ریخته شد و به منظور رسیدن به مقاومت ۵۶ روزه در داخل محلول آب-آهک قرار گرفت. از سویی دیگر برای به دست آوردن مقاومت فشاری تیرهای بتنی ساخته شده با پر نمودن سه عدد قالب استوانه ای به قطر ۱۵ سانتی متر و قرار دادن آن ها همراه تیرهای بتنی در داخل محلول آب-آهک، مقاومت فشاری تیرها اندازه گیری شد. این مقاومت فشاری برابر ۶۱،۶ مگاپاسکال بود. پس از رسیدن تیرها به مقاومت ۵۶ روزه به منظور ایجاد ترک بر روی آن ها برای انجام عملیات ترمیم اقدام به انجام محاسبات لنگر ترک خوردگی پیچشی مطابق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان[۵] گشت. این محاسبات به قرار جدول ۱. می باشد.

جدول ۱ محاسبه لنگر ترک خوردگی پیچشی با استفاده از روابط مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان

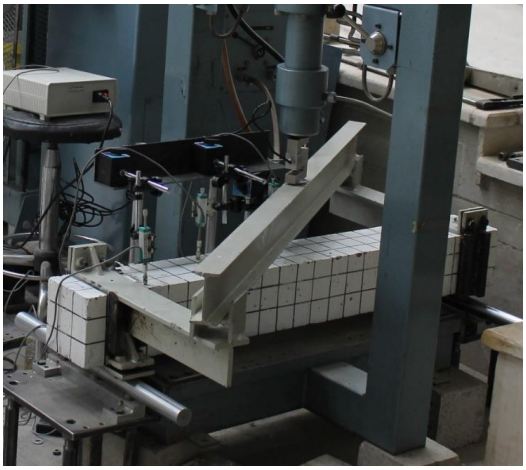
۰،۱۵	b(m) عرض سطح مقطع
۰،۱۵	d(m) طول سطح مقطع
۰،۰۲۵	AC(m2) مساحت سطح مقطع
۰،۶۵	Øc
۰،۶	Pc(m) محیط سطح مقطع
۶۱،۶	fC(µpa) مقاومت ۵۶ روزه نمونه بتنی
۱،۵۷	Vc(µpa) مقاومت برشی نمونه بتنی
۲۶۴،۸۹	Tcr(kg.m) لنگر ترک خوردگی پیچشی

در جدول ۱، Tcr و VC به فرمول(۱) و (۲) می‌باشند.

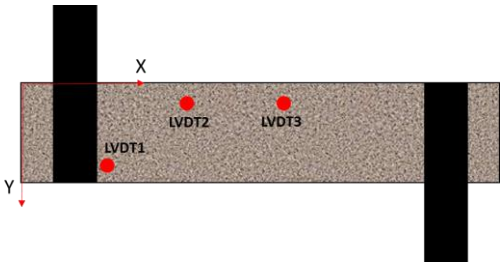
$$Tcr=(2Ac^2)/(Vc*Pc) \quad (۱)$$

$$Vcr=\sqrt{0.2fc} \quad (۲)$$

با به دست آوردن لنرگ ترک خوردگی برابر با ۲۶۴،۸۹ کیلوگرم متر، چهار عدد از تیرهای بتنی را به دستگاه انتقال پیچش منتقل کرده و با نصب لودسل و تغییر مکان یا بهایی که در فواصل LVDT#3 ,LVDT#2(36.5,2.5) ,LVDT#1(15.5,12.5) ,۵۸) ۵،۲،۵) آن‌ها اقدام به بارگذاری تا مرحله لنگر ترک خوردگی شد.(شکل ۱.الف و ۱.ب)



شکل ۱ (الف) بارگذاری تیر تحت نیروی پیچشی



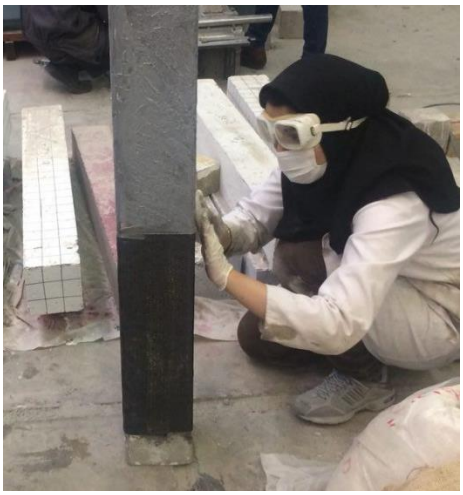
شکل ۱ (ب) محل LVDT های قرار گرفته بر روی تیرها

پس از بارگذاری چهار تیر بتنی تا لنگر ترک خوردگی، ۲ تا از آن ها مجددا برای به دست آوردن لنگر با قی مانده در داخل بتن ترک خورده به جهت مقایسه آن با نمونه ترمیم شده، بارگذاری شد و دو تای دیگر نیز توسط FRP ترمیم گردیدند.روش ترمیم بدین شرح بود که ابتدا بتن ها با دستگاه فرز سنگ موجود در آزمایشگاه، ساب زده شدند(شکل۲) تا تمام برجستگی ها و پستی و بلندی های روی بتن گرفته شود، به علاوه با این عمل گوشه های بتن که حالت تیز داشتند، از حالت تیزی خارج شدند. سپس تیرهای بتنی ساب زده شده ایستاده نگه داشته شدند و توسط دستگاه دمنده تمامی سطوح آن‌ها از گرد و غبار احتمالی پاک گردیدند تا آماده زدن چسب گردند. سپس سطح آن‌ها کاملا با چسب اپوکسی سیکادور ۳۳۰ که یک چسب دوجزیی با نسبت ۱ به ۴ بود با استفاده از کاردک مخصوص، پوشانده شد (شکل ۳)، .سپس ورقهای FRP را که دارای عرض ۰/۴۹ متر بودند را به طول۰/۶۳ متر بریده شد (محیط بتن که دارای سطح مقطع۰/۱۵×۰/۱۵متر بود، برابر۰/۶متر بود، ۰/۰۳ متر هم به منظور هم پوشانی دو لبه ورق FRP در نظر گرفته شد). و دور تا دور بتن در دو ردیف چسبانده شد.(یک ورق در بالا و یک ورق در پایین هر بتن به کار برده شد) پس از چسباندن ورق های FRP به سرتاسر بتن و به فاصله ۰/۱ متر از لبه در هر سمت، مجددا روی FRP ها چسب زده شد تا چسبندگی کافی ایجاد گردد (شکل۴).

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
3 (2), 2019
دوره ۳، شماره ۲
تابستان ۱۳۹۸
فصلنامه پژوهشی
مهندسی و مدیریت ساخت

شکل۲ ساب زدن تیرهای بتنی با دستگاه فرزسنگ به منظور گرد نمودن گوشه‌ها و از بین بردن پستی و بلندی های احتمالی

شکل ۳ چسب زدن سطح بتن به منظور چسباندن FRP



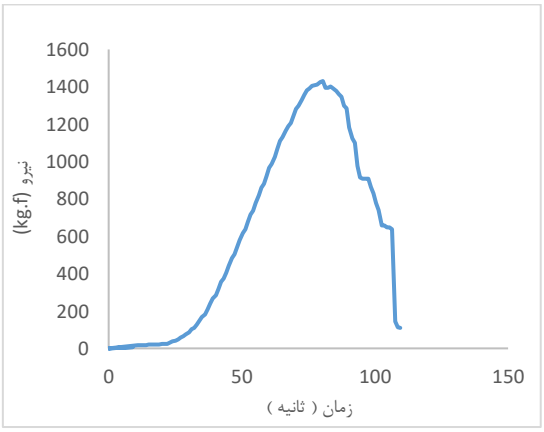
شکل۴ FRP پیچ کردن بتن به منظور ترمیم آن

پس از گذشت دو شبانه روز و رسیدن چسب‌ها به حدکثر مقاومت خود، تیرهای بتنی ترمیم شده مجددا تا مرحله رسیدن به لنگر نهایی بارگذای گردیدند. دو تیر بتنی دیگر که بارگذاری نشده بود نیز به عنوان نمونه شاهد از ابتدا تا رسیدن به لنگر نهایی بارگذاری شد تا ظرفیت پیچشی نهایی تیرهای بتنی ساخته شده به دست آید.

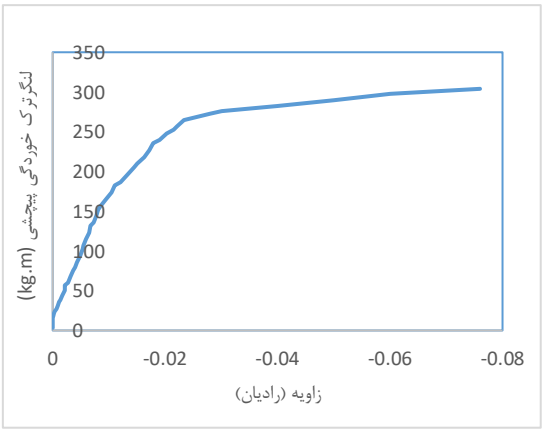
۳- نتایج

۳-۱-بارگذاری نمونه شاهد

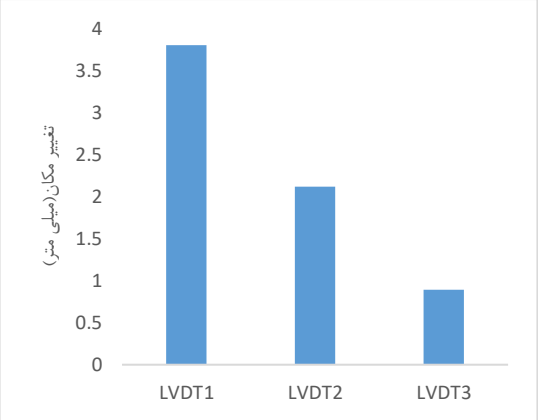
همانطور که ذکر گردید به منظور به دست آوردن ظرفیت پیچشی نهایی تیرهای بتنی ساخته شده، دو عدد از تیرهای بتنی از ابتدا تا مرحله لنگر نهایی بارگذاری گردیدند، نمودار نیرو برحسب زمان، لنگر بر حسب زمان، و تغییر مکان قرائت شده توسط سه LVDT برای نمونه شاهد میانگیری شده به ترتیب مطابق نمودار ۱،نمودار۲، و نمودار ۳ است. مطابق این نمودارها نمونه شاهد در نیرویی برابر ۱۴۳۰,۶۶ کیلوگرم و با لنگر ۳۰۴,۰۲ کیلوگرم متر که معادل با زاویه پیچشی۰,۰۷۶ رادیان است به حداکثر ظرفیت پیچشی خود می‌رسد.



نمودار۱ نمودار نیرو بر حسب زمان برای نمونه شاهد



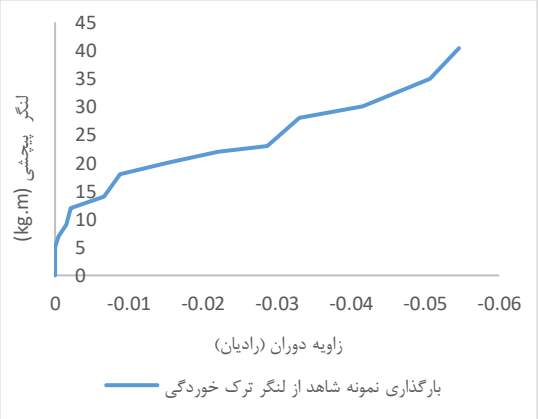
نمودار ۲ نمودار لنگر ترک خوردگی پیچشی بر حسب زاویه پیچش برای نمونه شاهد



نمودار ۳: نمودار میله‌ای برای سه LVDT استفاده شده برای نمونه شاهد

۲-۳-بارگذاری نمونه ترک خورده بتنی

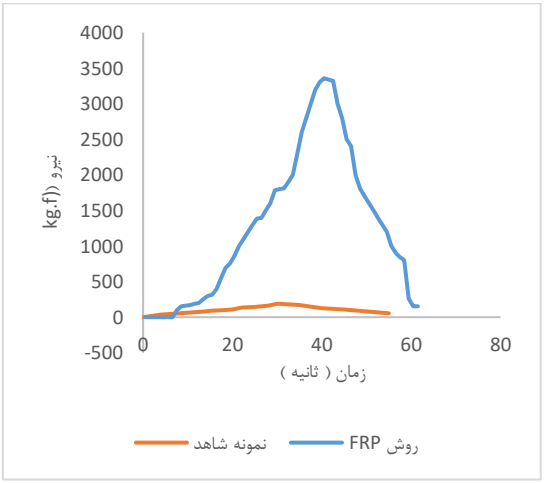
به منظور به دست ظرفیت باقی مانده در لنگر ترک خورده بتنی دو تیر بارگذاری شده تا مرحله رسیدن به لنگر ترک خوردگی مجددا بارگذاری شد و نمودار نیرو بر حسب و لنگر ترک خوردگی بر حسب زمان برای نمونه میانگیری شده به قرار نمودارهای ۴ است. مطابق این نمودارها لنگر باقی مانده در تیر ترک خورده برابر ۴۰,۳۹ کیلوگرم متر و معادل با زاویه پیچشی ۰,۰۰۵ رادیان است به حداکثر ظرفیت پیچشی خود می‌رسد.



نمودار ۴ بارگذاری نمونه شاهد از لنگر ترک خوردگی

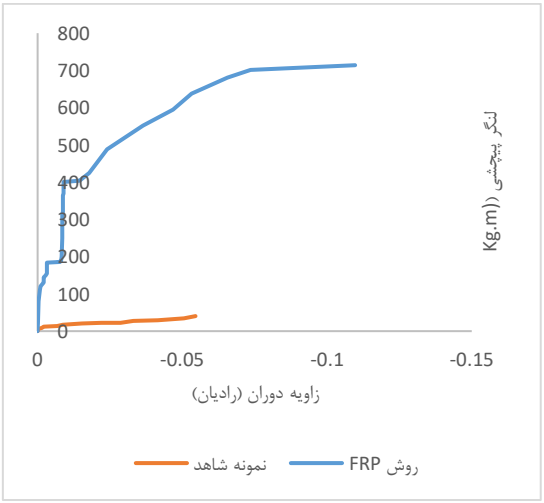
۳-۳-بارگذاری نمونه ترمیم شده با FRP

نمودار۵، نمودار نیرو بر حسب زمان برای بارگذاری مجدد نمونه شاهد از مرحله لنگر ترک خوردگی (لنگر باقی مانده در بتن پس از بارگذاری تا مرحله لنگر ترک خوردگی) و نمونه ترمیم شده با روش FRP است. مطابق شکل، تیر با این روش ترمیم در ۴۰,۵ امین ثانیه پس از شروع بارگذاری با بار ۳۳۶۰ کیلوگرم به حداکثر ظرفیت نهایی پیچشی خود می‌رسد. از مقایسه این نمونه با نمونه شاهد می‌توان نتیجه گرفت که روش فوق سبب افزایش مقاومت پیچشی سازه شده است لیکن در مدت زمان کمتری نسبت به نمونه شاهد به حداکثر مقاومت خود رسیده است و زودتر از نمونه شاهد، واژگون گردیده است. به عبارتی روش فوق توانسته نیروی پیچشی متحمل شده توسط بتن اولیه (بارگذاری نشده) را ۲,۳۴ برابر کند.



نمودار ۵ نمودار نیرو بر حسب زمان برای نمونه ترمیم شده با روش اف آر پی و نمونه شاهد

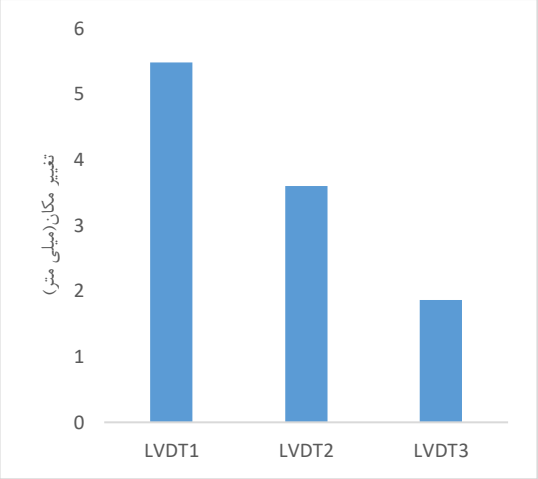
نمودار ۶، نمودار لنگر پیچشی بر حسب زاویه پیچش برای بارگذاری مجدد نمونه شاهد از مرحله لنگر ترک خوردگی (لنگر باقی مانده در بتن پس از بارگذاری تا مرحله لنگر ترک خوردگی) و نمونه ترمیم شده با روش FRP است مطابق نمودار، تیر یاد شده در لنگری برابر با ۷۱۴ کیلوگرم متر و با زاویه۰,۱۰۸۶۸ رادیان به حداکثر ظرفیت نهایی پیچشی خود رسیده است.



نمودار ۶ نمودار لنگر پیچشی بر حسب زاویه پیچشی برای نمونه شاهد و نمونه ترمیم شده با روش FRP

مبحث دیگر، بررسی تغییر مکان تیر ترمیم شده با روش FRP و آنالیز داده های آن است، نمودارآن مطابق نمودار(۴-۶) می‌باشد. با توجه به این نمودار، تیر در نزدیکی محل دستک دارای بیشترین تغییر مکان به عدد ۵/۴۸۴ میلی متر و در وسط دهانه دارای کمترین تغییر مکان به عدد ۱/۸۶۸ میلی متر می‌باشد و در محلی ما بین این دو محل دارای تغییر مکانی به عدد ۳/۵۹۵ میلی متر می‌باشد. در شکل ۵، تیر ترمیم شده به وسیله این روش، پس از بارگذاری کامل ورسیدن به لنگر نهایی نشان داده شده است.

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
3 (2), 2019
دوره ۳، شماره ۲
تابستان ۱۳۹۸
فصلنامه پژوهشی
مهندسی و مدیریت ساخت



نمودار۷: نمودار تغییر مکان LVDT های استفاده شده برای نمونه ترمیم شده با روش FRP

شکل ۸: نمونه تیر بتنی ترمیم شده به روش FRP، پس از بارگذاری کامل ورسیدن به لنگر ترک خوردگی نهایی

۴- بحث و نتیجه گیری و پیشنهادات

استفاده از روش FRP در ترمیم تیر ترک خورده بتنی تحت اثر نیروی پیچشی بسیار کارآمد و موثر است. این روش سبب افزایش مقاومت پیچشی لنگر ترک خورده بتنی و حتی بتن ترک نخورده می گردد. لیکن به علت مشکلاتی از جمله هزینه‌های بالای اجرا و خرید مصالح، پیشنهاد می‌شود در هنگام ملاحظه ترک بر روی بتن، ضرورت یا عدم ضرورت استفاده از روش بررسی گردد.به طور خلاصه نتایج این پژوهش بر این محورهاست:

۱.ترمیم به روش FRP روشی موثر در جهت افزایش مقاومت پیچشی تیر ترک خورده بتنی می‌باشد.

۲. نمونه شاهد، نمونه تیر بارگذاری شده از لنگر ترک خوردگی و نمونه تیر ترمیم شده با روش FRP ه ترتیب در لنگرهایی برابر ۳۰۴,۱۶، ۴۰,۳۹ و ۷۱۴ کیلوگرم متر به حداکثر ظرفیت پیچشی خود رسیدند نیروی معادل این نمونه ها در این لنگر برابر ۱۴۳۰,۶۶، ۱۹۰,۰۷و ۳۳۶۰ کیلوگرم بود.

۳.با توجه به روابط مقاومت مصالح با افزایش زاویه پیچشی نیروی پیچشی نیز افزایش میابد در نتیجه مقدار زیاد زاویه پیچشی گواه انجام صحیح عمل ترمیم و مقاوم بودن سازه است. از این رو تیر نمونه شاهد، نمونه تیر بارگذاری شده از لنگر ترک خوردگی و نمونه تیر ترمیم شده با روش FRP به ترتیب در زاویه‌های پیچشی ۰,۰۸،۰,۰۰۵ و ۰,۱۱ رادیان به حداکثر ظرفیت پیچشی خود رسیدند.

۵- مراجع

[1] Xiao, Y. and Wu, H., 2000. Compressive behavior of concrete confined by carbon fiber composite jackets. Journal of materials in civil engineering, 12(2), pp.139-146.

[2] Wu, G., Lü, Z.T. and Wu, Z.S., 2006. Strength and ductility of concrete cylinders confined with FRP composites. Construction and building materials, 20(3), pp.134-148.

[3] Valdmanis, V., De Lorenzis, L., Rousakis, T. and Tepfers, R., 2007. Behaviour and capacity of CFRP-confined concrete cylinders subjected to monotonic and cyclic axial compressive load. STRUCTURAL CONCRETE-LONDON-THOMAS TELFORD LIMITED-, 8(4), p.187.

[4] Panjehpour, M., Farzadnia, N., Demirboga, R. and Ali, A.A.A., 2016. Behavior of high-strength concrete cylinders repaired with CFRP sheets. Journal of Civil Engineering and Management, 22(1), pp.56-64.

[۵] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان،"طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه".ویرایش ۱۳۹۲