

مطالعه تاثیر الیاف فولادی بر ظرفیت خمشی تیرهای بتن سبک تقویت شده با ورق CFRP

رحمت مدن دوست^۱، کامران رحیمی^۲

^۱دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

Rmadandoust@yahoo.com ۰۹۱۱۳۳۱۴۹۷۰

^۲کارشناس ارشد عمران-سازه

Rahimikamran@yahoo.com ۰۹۳۸۸۱۵۶۱۲۵

Rahimikamran@yahoo.com

چکیده

مصالح FRP دارای خواص منحصر به فردی نظیر نسبت مقاومت به وزن بالا می باشند که اجرای سازه را تسهیل نموده و خواص مکانیکی المان های سازه ای تقویت شده با آن را بهبود می بخشد. اما آن چه که مانع استفاده حداکثری از ظرفیت باربری ورق های FRP می شود، مود شکست رایج و محتمل در تیرهای تقویت شده تحت بارگذاری خمشی یعنی " پدیده جداسازی ورق از سطح بتن " می باشد. همان طور که می دانیم منشا تمام جداسازی ها در وجود ناپیوستگی های بتن می باشد که با افزایش عرض ترک، این ناپیوستگی شدت یافته و در تیر بتنی تقویت شده منجر به جداسازی ورق FRP از سطح کششی آن می شود. از این رو یکی از اقدامات موثر و مفید در کنترل ناپیوستگی های بتن، افزودن الیاف به آن می باشد. وظیفه اصلی الیاف در بتن، جلوگیری از گسترش ترک هایی است که اغلب موجب ساییدگی سطح بتن می شوند. در این مطالعه پس از افزودن الیاف فولادی به بتن سبک و تقویت تیرهای بتن مسلح با ورق CFRP، پدیده جداسازی ورق از سطح بتن و درصد افزایش ظرفیت باربری تیرها مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر در طرح، ۶ تیر بتن مسلح الیافی که در ساخت آنها از بتن های حاوی سنگدانه سبک لیکا و الیاف فولادی استفاده شده است، در ابعاد مقطع ۱۶۰×۱۰۰ میلی متر و طول ۱۲۰۰ میلی متر ساخته شده و سطح کششی آنها با یک لایه ورق CFRP تقویت شد. نتایج به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد که افزودن الیاف فولادی به بتن، ضمن افزایش شکل پذیری و انعطاف پذیری تیرها، عرض ترک ها را کاهش داده و پدیده جداسازی ورق از سطح بتن را به تاخیر انداخته است. نتایج حاصل از آزمایش ها روی تیرهای بتن سبک تقویت شده با ورق نیز حاکی از افزایش چشمگیر خیز وسط دهانه تا ۲۱،۱۸ میلی متر و ظرفیت باربری نهایی تا ۱۰۷ کیلونیوتن می باشد.

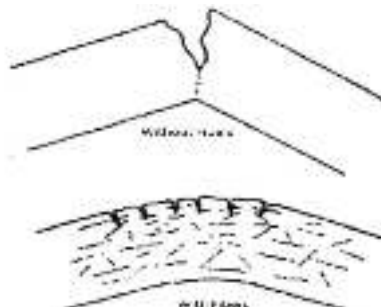
واژه های کلیدی: الیاف فولادی، ورق CFRP، بتن مسلح، ظرفیت باربری، پدیده جداسازی ورق از سطح بتن

کد B

۱. مقدمه

استفاده از سیستم FRP برای بهسازی و تقویت سازه های بتنی اولین بار در سال ۱۹۸۴ در سوئیس مورد استفاده قرار گرفت که در آن ورق های CFRP جهت مقاوم سازی تیرهای بتنی آزمایش شد [۱]. تکنولوژی چسباندن ورق های FRP برای اولین بار توسط میر و همکاران [۲] در سال ۱۹۹۳ مورد بررسی قرار گرفت. آنها در یک آزمایشگاه تحقیقاتی در کشور سوئیس از آزمایش هایی که از سال ۱۹۸۴ بر روی تیرهای بتن مسلح تقویت شده با ورق های CFRP آغاز شده بود، به تکنولوژی فوق دست یافتند. پس از آن پژوهشگران تلاش های زیادی برای توسعه و گسترش کاربرد مواد FRP انجام داده اند که اکنون نتیجه تحقیقات آنها تدوین آیین نامه، مجموعه گزارشات و راهنماهای مختلف مانند؛ انجمن مهندسين ژاپن، سازمان بین المللی سازه های بتنی، انجمن استاندارد کانادا^۲ و انجمن بتن آمریکایی باشد. مقاوم سازی سازه های آسیب دیده با استفاده از ورق های FRP در اثر نیروی زلزله، در سال های اخیر نیز مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است همان طور که اسلام و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۵ با تقویت برشی تیرهای بتن مسلح دو سر ساده تاثیرات مثبت تقویت تیر در بهبود ظرفیت خمشی و برشی آن را گزارش کردند [۳]. به همین منظور در مطالعاتی تجربی پیرامون بررسی مقاومت خمشی تیرهای بتن مسلح در شرایط تقویت با ورق های FRP تارک حسن و ریزکالا [۴] افزایش ظرفیت خمشی تیرهای تقویت شده را حدود ۵۳ درصد [۴] و باروس و فورتس [۵] ۹۱ درصد گزارش نمودند. علاوه بر این باروس و فورتس به این نتیجه رسیدند که ۶۲ تا ۹۱ درصد از ظرفیت باربری ورق در افزایش مقاومت خمشی تیر استفاده شد که نشان داد ورق CFRP می تواند سطوح تنش در المان های مقاوم شده با آن را بسیج کند تا مقاومت کششی افزایش یابد [۵].

رشد و گسترش ترک های خمشی و خمشی - برشی ناشی از بارگذاری در تیر بتنی علت اصلی وقوع پدیده جداشدگی ورق از سطح بتن می باشد که یکی از محتمل ترین مود شکست های تیرهای بتن مسلح تقویت شده با ورق FRP تحت بارگذاری خمشی است. به طور کلی می توان همه انواع جداشدگی ها را در وجود ناپیوستگی دانست که با افزایش عرض ترک، این ناپیوستگی تشدید و نهایتاً به جداشدگی ورق تقویتی از سطح بتن منجر می شود [۶]. در واقع جداشدگی میانی به دلیل وجود ترک های عرضی در تیر ایجاد شده و ایجاد ترک های خمشی و یا خمشی - برشی در محل تنش های خمشی و برشی حداکثر اجتناب ناپذیر است [۷ و ۸]. در این راستا مطابق شکل ۱-۱ استفاده از الیاف بطور اتفاقی و در جهات مختلف در مخلوط بتن [۹] موجب می گردد توزیع ترک در روند بارگذاری کنترل شود. الیاف با کنترل ترک های ایجاد شده و مقاومت در مقابل تورق سطح بتن [۹] از جداشدگی پوشش بتن جلوگیری می کند و در صورت عبور الیاف عمود بر لبه های ترک، یکپارچگی بتن تا تغییر شکل های زیاد با پل زدن الیاف بین ترک ها حفظ می شود [۱۰]. در این شرایط ترک های نواحی با تنش بالا مهار شده، پدیده جداشدگی ورق به تاخیر افتاده یا حذف می گردد. با تاخیر در پدیده جداشدگی ورق، امکان استفاده حداکثری از ظرفیت باربری ورق FRP مهیا شده و بدین ترتیب ظرفیت باربری تیر تقویت شده نیز افزایش می یابد.



شکل ۱-۱- استفاده از الیاف در ساخت بتن

1- JSCE
2-fib
3-CSA
4-ACI

اگرچه افزودن الیاف فولادی به بتن باعث بهبود خواص مقاومتی و شکل پذیری آن می گردد [۱۱-۱۵] اما میزان الیاف اضافه شده به مخلوط بتن باید مقدار مشخص و بهینه ای داشته باشد. طبق مطالعات صورت گرفته توسط محققین افزودن ۰٫۹ [۱۶] تا یک [۱۷] درصد حجمی بتن از الیاف فولادی باعث ایجاد شرایط ایزوتروپی و کاهش ضعف شکنندگی [۱۸] بتن شده و موجب کنترل [۱۹] و جلوگیری از [۲۰] رشد ترک های بتن [۱۹] و افزایش مقاومت کششی، خمشی و سختی به وسیله انتقال تنش در عرض مقطع یک ترک در بتن می شود [۲۰]. چگونگی تقویت بتن توسط الیاف، به شکل انتقال تنش از ماتریس به الیاف توسط برش سطحی است و اگر سطح الیاف آجدار باشد، روند مزبور به صورت درگیری میان الیاف و ماتریس خواهد بود. با ترک خوردن ماتریس، تنش میان الیاف و ماتریس تقسیم می گردد و از آن پس کل تنش به طور فزاینده ای به الیاف انتقال می یابد [۱۸]. نتایج به دست آمده در برخی پژوهش ها نشان می دهد که مقاومت فشاری بتن الیافی در اثر افزودن الیاف نه تنها بهبود پیدا نمی کند، بلکه در مواردی کاهش مقاومت را نیز به همراه دارد. [۲۰] با این حال در پژوهش کاربهاو و ورایس [۲۱] افزایش ۲۱ درصدی مقاومت فشاری و در پژوهش سان و همکاران [۲۲] افزایش ۳۳ درصدی در نمونه های حاوی حجم بالای الیاف گزارش شده است. از طرفی افزایش ۲۳ درصدی مقاومت فشاری در هنگام استفاده از الیاف فولادی قلاب دار، در برخی مطالعات نتیجه شده است [۲۳]. اما تاثیر الیاف فولادی بر مقاومت خمشی بتن مسلح الیافی، بیشتر از مقاومت کششی و فشاری است تا آنجا که افزایش بیشتر از ۱۰۰ درصد در آن نیز گزارش شده است. مقاومت خمشی اغلب به w/d وابسته هست که در آن d نسبت ابعادی و w درصد وزن الیاف است. همانطور که انتظار می رود الیاف تغییر شکل یافته بسیار موثرتر از الیاف مستقیم می باشد. باید ذکر شود که برای w/d بیشتر از ۶۰۰، بخاطر کارایی ناکافی و توزیع غیر همگن الیاف، مشخصات مخلوط نامطلوب خواهد بود [۲۴].

عامل دیگری که در تاخیر پدیده جدایش ورق و افزایش ظرفیت باربری تیر تقویت شده موثر است، آماده سازی سطحی بتن می باشد. تاکنون روش های متفاوت آماده سازی سطحی در مطالعات تجربی پژوهشگران آزمایش شده و نتایج آنها ثبت شده است. آیین نامه ACI-440 [۲۵]. ضوابطی جهت نصب ورق FRP در روش آماده سازی سطحی مرسوم یا نصب خارجی (EBR) ارائه داده است. روش فوق علی رغم افزایش محسوس ظرفیت خمشی تیر، قادر به حذف پدیده جدایش ورق نمی باشد لذا در سال ۲۰۰۹ مستوفی نژاد و محمودآبادی [۲۶] در دانشگاه صنعتی اصفهان، روش شیارزنی را به عنوان روش جایگزین آماده سازی سطحی مرسوم به منظور تقویت خمشی تیرهای بتنی با هدف حذف و یا به تاخیر انداختن پدیده جدایش کامپوزیت های FRP از سطح نمونه بتنی ارائه دادند [۲۶]. از این رو محققین (مدندوست و رحیمی) مقاله حاضر در مطالعه ای تجربی [۲۷] به بررسی ظرفیت باربری تیرهای بتن سبک تقویت شده با ورق CFRP در شرایط آماده سازی سطحی مختلف (روش نصب خارجی و روش شیارزنی) پرداخته و نتیجه گرفتند استفاده از روش شیارزنی پدیده جدا شدگی ورق را به تاخیر انداخته و موجب افزایش ظرفیت باربری تیرها می گردد. اما همان طور که پیشتر اشاره شد علت اصلی جداشدگی ورق و کاهش ظرفیت باربری تیر تقویت شده، رشد و گسترش ترک های خمشی و خمشی - برشی ناشی از بارگذاری در تیر بتنی می باشد لذا در این مطالعه، با افزودن الیاف فولادی به تیرهای بتن سبک مورد مطالعه در مقاله مدندوست و رحیمی [۲۷]، تاثیر این روش بر افزایش زمان چسبندگی ورق به سطح بتن و ظرفیت باربری تیر بتن مسلح تقویت شده با ورق CFRP مورد آزمایش قرار گرفته است.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۲-۱ مشخصات تیرها، لوازم و تجهیزات آزمایش

به منظور کسب نتایج دقیق و به حداقل رساندن خطای آزمایشگاهی، شرایط آزمایش از ساخت و تقویت تا تحت بارگذاری قرار دادن تیرهای بتن مسلح در این مطالعه کاملاً یکسان و مشابه با پژوهش مدندوست و رحیمی [۲۷] می باشد.

۱- اقداماتی که به منظور فراهم کردن بستری مناسب جهت اتصال ورق FRP به سطح بتن برای افزایش کارایی عضو تقویت شده [۲۸] و اجتناب از خرابی در ناحیه سطح مشترک بتن با رزین انجام می گیرد، اصطلاحاً آماده سازی سطحی بتن نام دارد [۲۹].

- Externally Bonded Reinforcement

در مطالعه حاضر، 6 عدد تیر بتن مسلح سبک که در آن الیاف فولادی به کار رفته است، ساخته و آماده تقویت شد (شکل ۱-۲). بدین منظور تیرهای ساخته شده پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و ۲۸ روز در آب نگهداری شدند. پس از گذشت زمان لازم برای خشک شدن سطح کششی تیرها (با توجه به اینکه محل آزمایش در شهرستان رشت بود، زمان لازم برای خشک شدن سطح کششی تیرها کمی بیشتر از زمان معمول شد). اقدامات مربوط به تقویت و آماده سازی سطحی آن ها صورت گرفت. جزئیات طرح مخلوط بتن های ساخته شده در جدول ۱-۲ آمده است. برای طرح مخلوط بتن های ساخته شده از سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان هگمتان به وزن مخصوص ۳,۱۵ گرم بر سانتی متر مکعب، از ماسه رودخانه ای و گردگوشه تحت عنوان ماسه ۰-۶ کارخانه لوله سازی شمال که وزن مخصوص آن در حالت اشباع با سطح خشک ۲۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و جذب آب ۲,۴ درصد بوده و از لیکا به قطر ۳ تا ۱۲ میلی متر محصول کارخانه لیکا ساوه، برای ساخت بتن استفاده و جهت مسلح کردن تیرها، برای خمش از دو میلگرد فولادی به قطر ۱۰ میلی متر در ناحیه های کششی و فشاری و در برش از خاموت هایی به قطر و فاصله ۸ و ۵۰ میلی متر استفاده شد. الیاف مورد استفاده در این پژوهش مطابق شکل ۲-۲، با هندسه مستقیم در انتها قلاب دار ساخت شرکت Durocem بوده و دارای طول و قطر ۵۰ و ۰,۸ میلی متر، ضریب ارتجاعی ۲۰۰ گیگا پاسکال و وزن مخصوص 7850 Kg/m^3 می باشد.

برای جلوگیری از شکست ترد بتن سبک که یکی از مهم ترین نتایج محققین بوده است [۳۰]، شیاری به عمق و عرض 8×10 میلی متر در ناحیه فشاری آن ایجاد شد و با رزین اپوکسی دو جزئی درون آن پر شد. با هدف رسیدن به نتایج حاصل از خمش، طرح تیر طوری صورت گرفت که ظرفیت خمشی از ظرفیت برشی پایین تر باشد. تیرها تحت آزمایش بارگذاری ۴ نقطه ای استاتیکی خمشی قرار گرفتند. مراحل آزمایش در آزمایشگاه سازه دانشکده فنی دانشگاه گیلان انجام شد و از دستگاه تست خمش تا ظرفیت ۳۰۰ کیلونیوتن، کرنش سنج (LVDT) برای محاسبه خیز میانی تیرها در وسط تیر و دستگاه دیتا لاگر GL۲۲۰-۸۲۰-APS برای ثبت داده ها استفاده شد. محاسبه تغییرات کرنش ورق متناسب با بار وارده توسط یک کرنش سنج الکتریکی در وسط تیر (ناحیه خمش خالص) صورت گرفت. برای تقویت تیرها از ورق کربنی SikaWrap.۲۰۰C به مقاومت کششی ۳۹۰۰ مگاپاسکال و کرنش نهایی ۱,۵ درصد و رزین اپوکسی دو جزئی Sikadur.۳۳۰ به مقاومت کششی ۳۰، مدول الاستیسیته خمشی ۳۸۰۰، مدول الاستیسیته کششی ۴۵۰۰ مگاپاسکال و کرنش نهایی ۰,۹ استفاده شد.



شکل ۱-۲: تیرهای بتن مسلح ساخته شده در آزمایشگاه

جدول ۱-۲ الف : طرح مخلوط بتن های ساخته شده برای مطالعه حاضر

بتن	سیمان kg/m ³	آب kg/ m ³	شن kg/m ³	ماسه kg/m ³	لیکا (kg/m ³) (۳-۶) mm (۶-۱۲،۵)	مقاومت مشخصه MPa	الیاف فولادی kg/m ³	فوق روان کننده kg/ m ³
سبک الیافی	۳۶۰	۱۴۰	۰	۵۵۰	۴۲۰-۲۰۰	۲۷،۶۲	۷۸،۵	۱،۶

جدول ۱-۲ ب : طرح مخلوط بتن های ساخته شده پژوهش مدندوست و رحیمی [۲۷]

بتن	سیمان kg/m ³	آب kg/m ³	شن kg/ m ³	ماسه kg/ m ³	لیکا (kg/m ³) (۳-۶) mm (۶-۱۲،۵) -	مقاومت مشخصه MPa	الیاف فولادی kg/m ³	فوق روان کننده kg/ m ³
معمولی	۳۰۰	۱۵۰	۹۹۰	۹۹۰	۰	۲۲	-	-
سبک	۳۶۰	۱۴۰	۰	۵۵۰	۴۲۰-۲۰۰	۲۳	-	-



شکل ۲-۲- الیاف فولادی مصرفی

۲-۲ تقویت تیرها

در شکل ۲-۳ نوع تقویت تیرها نمایش داده شده است. تیرهای SFLWCB به عنوان تیر شاهد ساخته شدند. سطح کششی تیرهای SFLWCB-EBR توسط یک لایه ورق CFRP تقویت شد. بدین منظور پس از ساخت تیرها، سطح کششی بتن، با فرچه سنگ تروست طوری ساییده گردید تا لایه ضعیف و سست بتن برداشته شده و سنگدانه های آن نمایان گشت. سپس آلودگی و گرد و خاک سطح با آب شست و سو داده شد و منافذ سطحی با رزین پر شد. پس از خشک شدن سطح، ورق CFRP به طول و عرض ۹۰۰×۶۰ میلی متر با رزین اپوکسی دو جزئی روی آن چسبانده شد. از آن جایی که در تیرهای بتن سبک تقویت شده به روش نصب خارجی، پدیده جداشدگی ورق از سطح بتن رخ داد، از روش شیارزنی برای تقویت استفاده شده و تیرهای SFLWCB-GM ساخته و تقویت شدند. بدین منظور در روش GM، ابتدا سطح کششی بتن با فرچه سنگ تروست ساییده شد تا لایه ضعیف بتن برداشته شود و سپس سه شیار طولی به طول و عرض ۹۰۰×۸ و به عمق ۱۰ میلی متر در سطح کششی ایجاد شد و پس از شست و سوی این ناحیه، ورق به طول و عرض ۹۰۰×۶۰ میلی متر روی سطح کششی با رزین چسبانده شد. ناحیه فشاری تیرهای بتن سبک هم با رزین اپوکسی تقویت شدند (در تیرهای شاهد تقویت فشاری انجام نشد). بدین منظور یک شیار به عمق و عرض ۸×۱۰ میلی متر در طول سطح فشاری تیر ایجاد شد و پس از شست و سوی این ناحیه، رزین اپوکسی درون شیار ریخته شد.



الف) آماده سازی سطح کششی تیرهای بتن مسلح به روش نصب خارجی و شیارزنی

- ۱- تیر کنترل بتن سبک وزن حاوی الیاف فولادی که مخفف Steel Fiber LightWeight Concrete Beam می باشد.
- ۲- تیرهای ساخته شده از بتن سبک وزن الیافی که به روش نصب خارجی یا EBR آماده سازی سطحی شده اند.
- ۳- تیرهای ساخته شده از بتن سبک وزن الیافی که به روش شیارزنی طولی یا GM آماده سازی سطحی شده اند.



پ) تیرهای تقویت شده با ورق CFRP

ب) تقویت ناحیه فشاری تیرهای بتن سبک

شکل ۲-۳: روند تقویت تیرهای بتن سبک مسلح الیافی

۳. ارائه نتایج و تحلیل

۳-۱: مشاهدات آزمایشگاهی

با توجه به شکل ۱-۳ الف تیر SFLWCB پس از بارگذاری خمشی در اثر انهدام بتن فشاری گسیخته شد؛ البته به علت وجود الیاف، پس از شکست نیز تیر بارگذاری شده و جابه جایی وسط دهانه آن افزایش یافت. به گونه ای که الیاف در موقعیت عمود بر لبه ترک های خمشی قرار گرفت و با پل زدن بین آنها، یکپارچگی بتن را تا تغییر شکل های زیاد حفظ کرد. مطابق شکل ۱-۳ ب تخریب بتن فشاری در تیر SFLWCB کم تر از تخریب ناحیه فشاری تیرهای CB و LWCB می باشد.

عامل اصلی در وقوع شکست تیرهای CB-EBR و LWCB-EBR مطابق شکل ۲-۳ ب به صورت جداشدگی ورق از سطح بتن و رشد ترک های خمشی و خمشی-برشی در نواحی با تنش بالا گزارش شده است. با توجه به شکل ۲-۳ الف با وجود اینکه الیاف فولادی عرض و عمق ترک های خمشی میانی را کاهش داده و از وقوع جداشدگی ورق ممانعت به عمل آورده اما به علت ضعف روش EBR در آماده سازی سطحی مطلوب، مود شکست در این تیر هم جداشدگی ورق به ثبت رسید. مشابه تیرهای بتن معمولی و سبک وزن فاقد الیاف، ورق چند ثانیه پس از جداشدگی پاره شد اما به علت وجود الیاف وقوع پدیده جداشدگی و پاره شدن پس از آن با تاخیر صورت گرفت. بتن فشاری در نواحی تقویت نشده دچار انهدام جزئی شد اما این اتفاق به علت وجود رزین و الیاف، مانع از ادامه بارگذاری نشد.

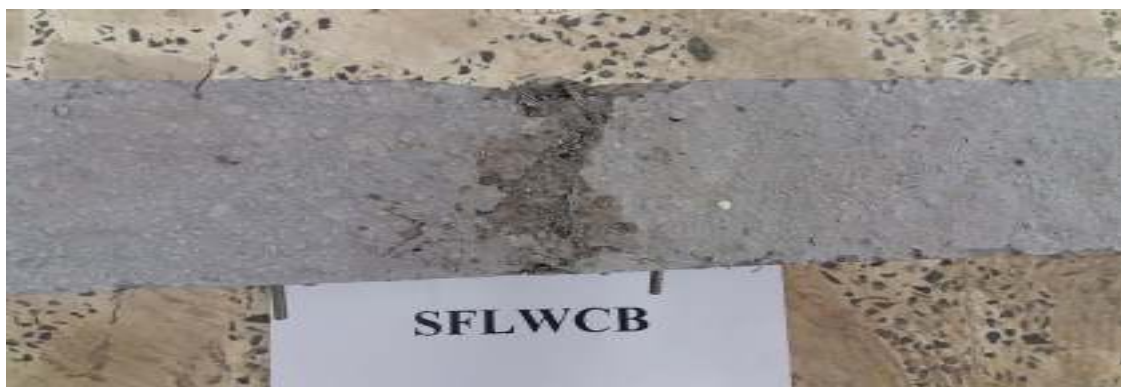
مطابق شکل ۳-۳ الف ورق CFRP در نقطه زیر بار متمرکز سمت راست دچار پارگی شد. با توجه به شکل ۳-۳ ب مود شکست مانند تیرهای CB-GM و LWCB-GM بود با این تفاوت که به علت وجود الیاف، پوشش بتن جدا نشد. نیمی از بتن فشاری در ناحیه خمش خالص تخریب شد اما به علت وجود رزین تقویت کننده بارگذاری متوقف نشد. از آن جایی که رزین به تنهایی شکل پذیر نبوده و رفتار ترد از خود نشان می دهد در بخش های وسیعی از ناحیه فشاری ترک خورده و در نقطه متناظر با نقطه پارگی ورق کنده شد.

۱- تیر کنترل بتن معمولی که مخفف Concrete Beam می باشد.

۲- تیر کنترل بتن سبک وزن که مخفف LightWeight Concrete Beam می باشد.

۳- تیرهای ساخته شده از بتن های معمولی و سبک وزن فاقد الیاف که به روش نصب خارجی یا EBR آماده سازی سطحی شده اند.

۴- تیرهای ساخته شده از بتن های معمولی و سبک وزن فاقد الیاف که به روش شیازنی طولی سراسری یا GM آماده سازی سطحی شده اند.



الف) مود شکست تیر SFLWCB



ب) مود شکست تیرهای بتن سبک فاقد الیاف و بتن معمولی در مطالعه مدندوست و رحیمی [۲۷]
شکل ۱-۳: مود شکست تیرهای بتن مسلح شاهد



الف) مود شکست تیر SFLWCB - EBR



ب) مود شکست تیرهای بتن سبک فاقد الیاف و بتن معمولی در مطالعه مدندوست و رحیمی [۲۲]
شکل ۲-۳: مود شکست تیرهای بتن مسلح تقویت شده به روش EBR



الف) مود شکست تیر SFLWCB - GM

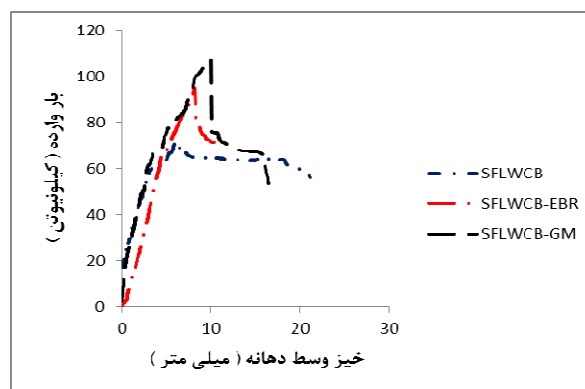


ب) مود شکست تیرهای بتن سبک فاقد الیاف و بتن معمولی در مطالعه مدندوست و رحیمی [۲۲]
شکل ۳-۳: مود شکست تیرهای بتن مسلح تقویت شده به روش GM

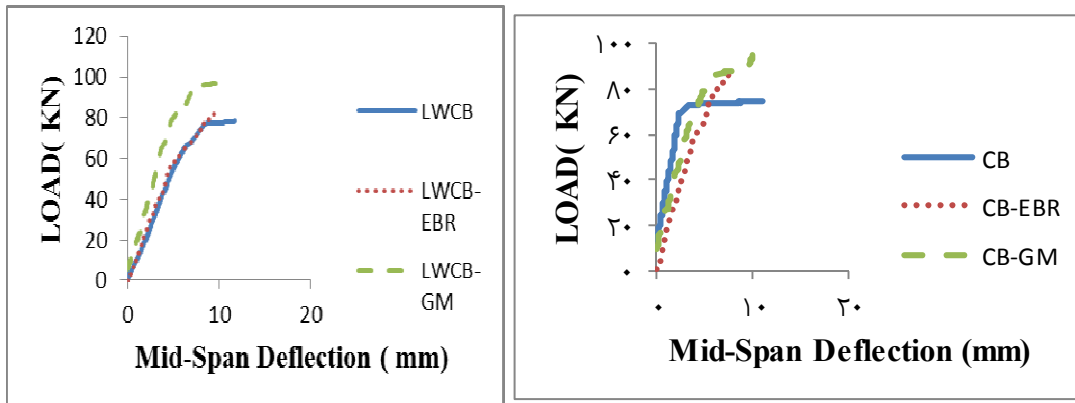
۳-۲: نمودار بار - خیز وسط دهانه تیرهای بتن مسلح

نمودار بار - خیز وسط دهانه تیرهای بتن مسلح در شکل ۳-۴ به همراه خلاصه نتایج در جداول ۳-۱ تا ۳-۳ نمایش داده شده است. همانند تیرهای بتن معمولی و سبک بدون الیاف، در تیر شاهد خیز نهایی بیشتری رخ داده و استفاده از ورق CFRP، خیز نهایی تیرهای بتن سبک الیافی تقویت شده با ورق را کاهش داده است. خیز نهایی تیر بتن سبک الیافی در روش شیارزنی ۲۲ و در روش نصب خارجی ۴۶،۹۳ درصد نسبت به تیر شاهد کاهش یافته است. از طرفی خیز نهایی تیرهای بتن سبک الیافی تقویت شده به روش GM، نسبت به روش تقویت EBR ۴۶،۹۷ درصد افزایش داشته که نشان دهنده افزایش شکل پذیری در روش شیارزنی نسبت به روش نصب خارجی می باشد. نکته قابل توجه افزایش چشم گیر خیز نهایی در تیرهای بتن سبک الیافی نسبت به تیرهای بتن معمولی و بتن سبک بدون الیاف می باشد. این افزایش نسبت به تیر معمولی ۷۵،۷۷ و نسبت به تیر بتن سبک بدون الیاف ۵۰،۴۳ درصد گزارش شده است. ظرفیت باربری نهایی تیرهای بتن سبک الیافی تقویت شده به روش GM نسبت به تیر شاهد ۴۹،۲۸ و در روش EBR، ۳۲،۰۶ درصد افزایش یافته است. می توان نتیجه گرفت که روش شیارزنی علاوه بر بهبود چسبندگی ورق به سطح بتن، موجب افزایش باربری تیر نیز می شود. با مقایسه ای ساده می توان دریافت که باربری در روش شیارزنی نسبت به روش نصب خارجی، حدود ۱۳ درصد افزایش داشته است که همین نکته تاییدی است بر این مدعا که روش شیارزنی نسبت به روش نصب خارجی نتایج بهتری دارد. در اثر افزودن الیاف فولادی به بتن سبک ظرفیت باربری نهایی تیرها درصد افزایش بیشتری داشته است. به طوری که نسبت به تیر بتن سبک بدون الیاف در روش شیارزنی ۹،۹۷ و در روش نصب خارجی ۱۰،۲۳ درصد افزایش گزارش شد. با توجه جداول ۳-۱ تا ۳-۳ و مقایسه نتایج تاثیر افزودن الیاف به بتن سبک در شکل پذیری تیرهای بتنی نتیجه شد که این پارامتر نسبت به تیرهای فاقد الیاف به طور محسوس و چشم گیری افزایش داشته است. این مقدار نسبت به تیرهای بتن معمولی در بهترین حالت در حدود ۶۶ درصد و در تیرهای بتن سبک فاقد الیاف در بهترین حالت ۱۱۶ درصد افزایش داشته است. نکته حائز اهمیت تاثیر ورق CFRP در کاهش شکل پذیری تیرها نسبت به تیر شاهد می باشد که در تیرهای بتن سبک الیافی در روش نصب خارجی ۵۳ و در روش شیارزنی ۲۴ درصد کاهش داشته ایم. از این نتایج هم می توان دریافت روش شیارزنی شکل پذیری تیر بتنی را نسبت به روش نصب خارجی کمتر کاهش داده که دلیلی دیگر از برتری این روش نسبت به روش نصب خارجی می باشد.

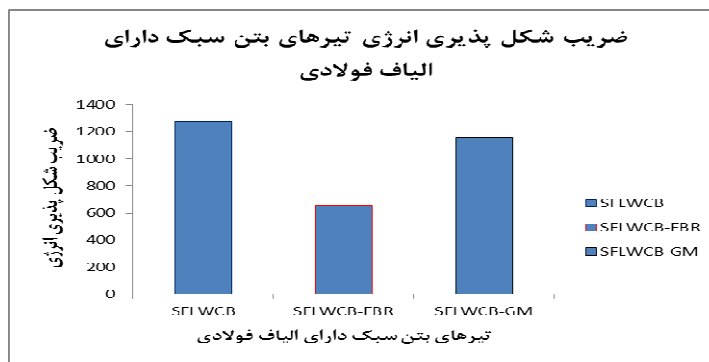
از آن جا که تیر SFLWCB با ضریب شکل پذیری جذب انرژی ۱۲۷۰ نسبت به تیرهای دیگر که با بتن های متنوع ساخته شده اند، بیشترین شکل پذیری جذب انرژی را کسب کرد، لذا نمودار میله ای مقایسه ضریب شکل پذیری جذب انرژی تیرهای بتن سبک حاوی الیاف فولادی در شکل ۳-۵ ارائه می گردد. تیر کنترل به دلیل عدم تقویت با ورق دارای سختی پایین و به دلیل وجود الیاف فولادی دارای خیز نهایی وسط دهانه بالا می باشد. این موضوع علی رغم ظرفیت باربری نهایی پایین تیر کنترل مانع از افزایش ضریب جذب انرژی تیر نشده است. در میان تیرهای تقویت شده، روش شیارزنی در مقایسه با روش نصب خارجی استهلاک انرژی بیشتری داشته است. بنابراین با تقویت تیر به روش شیارزنی و افزودن الیاف فولادی به بتن سبک می توان خاصیت ترد شکنی تیرهای تقویت شده با ورق را کاهش داده و بدین ترتیب از خواص مقاومتی آن استفاده کرد.



الف) تیرهای بتن سبک الیافی مربوط به مطالعه حاضر



ب) تیرهای بتن معمولی و بتن سبک فاقد الیاف در مطالعه مدندوست و رحیمی [۲۲]
شکل ۳-۴: نمودار بار - خیز وسط دهانه تیرهای بتن مسلح معمولی و سبک



شکل ۳-۵: ضریب شکل پذیری انرژی تیرهای بتن سبک دارای الیاف فولادی

جدول ۳-۱: نتایج حاصل از نمودار بار - خیز وسط دهانه برای تیرهای بتن سبک الیافی مربوط به مطالعه حاضر
(خیز به میلی متر و ظرفیت باربری به کیلونیوتن)

$\frac{\Delta u}{\Delta y}$	$\frac{P_u}{P_u \text{ کنترل}}$	$\frac{\Delta y}{\Delta y \text{ کنترل}}$	حد گسیختگی		حد جاری شدن		تیرها
			P_u	Δu	P_y	Δy	
۴،۸۰	۱	۱	۷۱،۹۶	۲۱،۱۸	۶۰،۱۰	۴،۴۱	SFLWCB
۲،۲۵	۱،۳۲	۱،۱۳	۹۵،۰۳	۱۱،۲۴	۶۵،۵۳	۴،۹۹	SFLWCB - EBR
۳،۶۶	۱،۵	۱،۰۲	۱۰۷،۴۲	۱۶،۵۲	۶۹،۳۱	۴،۵۱	SFLWCB-GM
-۵۳،۱۲	---	---	۳۲،۰۶	-۴۶،۹۳	۹،۰۳	۱۳،۱۵	درصد تغییرات نسبت SFLWCB - EBR به تیر کنترل
-۲۳،۷۵	---	---	۴۹،۲۸	-۲۲	۱۵،۳۲	۲،۲۷	درصد تغییرات نسبت SFLWCB - GM به تیر کنترل
۶۲،۶۷	---	---	۱۳،۰۴	۴۶،۹۷	۵،۷۷	-۹،۶۲	درصد تغییرات نسبت SFLWCB - GM به SFLWCB-EBR

جدول ۲-۳: نتایج حاصل از نمودار بار - خیز وسط دهانه برای تیرهای بتن معمولی و سبک فاقد الیاف در مطالعه مدندوست و رحیمی [۲۷]
(خیز به میلی متر و ظرفیت باربری به کیلونیوتن)

$\frac{\Delta u}{\Delta y}$	$\frac{P_u}{P_u}$ تیر کنترل	$\frac{\Delta f}{\Delta y}$ تیر کنترل	حد گسیختگی		حد جاری شدن		تیرها
			P_u	Δu	P_y	Δy	
۳,۷۸	۱	۱	۷۲,۳	۱۲,۰۵	۵۰,۵۲	۳,۱۹	CB
۱,۵۳	۱,۹	۱,۵۵	۸۵,۹	۷,۶	۶۴,۷	۴,۹۵	CB- EBR
۲,۲۰	۱,۳	۱,۴۵	۹۴,۷	۱۰,۱۳	۶۳,۹۵	۴,۶۱	CB-GM
۲,۲۲	۱	۱	۶۶,۹	۱۴,۰۸	۴۸	۶,۳۴	LWCB
۱,۷۰	۱,۲۹	۱,۰۰۹	۸۶,۲	۱۰,۹۰	۶۰,۹۵	۶,۴۰	LWCB- EBR
۱,۹۶	۱,۴۶	۱,۰۰۶	۹۷,۶ ۸	۱۲,۵	۶۴,۲۷	۶,۳۸	LWCB- GM

جدول ۳-۳: مقایسه نتایج حاصل از نمودار بار - خیز وسط دهانه در تیرهای حاوی الیاف فولادی (مربوط به مطالعه حاضر) نسبت به تیرهای بتن معمولی و سبک فاقد الیاف در مطالعه مدندوست و رحیمی [۲۷]
(خیز به میلی متر و ظرفیت باربری به کیلونیوتن)

$\frac{\Delta u}{\Delta y}$	حد گسیختگی		حد جاری شدن		تیرها
	P_u	Δu	P_y	Δy	
۲۷	۱	۷۵,۷۷	۱۸,۹	۳۸,۲۴	SFLWCB نسبت به CB
۱۱۶,۲۲	۷,۵۶	۵۰,۴۳	۲۵,۲	-۳۰,۴۴	SFLWCB نسبت به LWCB
۴۷,۰۶	۱۰,۶۱	۴۷,۹	۱,۲۲	۰,۸	SFLWCB - نسبت به CB EBR
۳۲,۳۵	۱۰,۲۳	۳,۱۲	۷,۵۱	-۲۲	SFLWCB - نسبت به EBR LWCB - EBR
۶۶,۳۶	۱۳,۴۳	۶۳,۰۸	۸,۳۸	-۲,۱۷	SFLWCB - نسبت به CB - GM GM
۸۶,۷۳	۹,۹۷	۳۲,۱۶	۷,۸۴	-۲۹,۳۱	SFLWCB - نسبت به GM LWCB -GM

۴- نتیجه گیری

با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی، نمودار بار - خیز وسط دهانه و جداول و شکل های ارائه شده، نتایج زیر قابل استخراج است.

الف) در مطالعات پیشین عموماً برای تاخیر یا حذف پدیده جداشدگی ورق از سطح بتن، از روش های مرسوم و یا روش شیارزنی استفاده شده است. اما در این مطالعه افزودن الیاف به بتن به عنوان روشی ابداعی جهت حذف پدیده جداشدگی ورق مد نظر بوده و در نهایت با کسب بیشترین خیز و ظرفیت باربری در تیرهای بتن الیافی، تاثیر مثبت این روش در حذف و یا تاخیر جداشدگی مورد تاکید مولفین قرار گرفته است. لازم به ذکر است ساخت بتن الیافی به منظور ارزیابی تاثیر الیاف بر پدیده جداشدگی ورق FRP آن چنان مورد توجه محققین قرار نگرفته و بدین ترتیب در زمینه تقویت و بهسازی سازه ها امری نوین محسوب می گردد.

ب) به منظور رفع ضعف شکست ترد در تیرهای بتن سبک تقویت شده با ورق CFRP، ناحیه فشاری پس از ایجاد یک شیار طولی و پر کردن آن با رزین اپوکسی دو جزئی تقویت گردید. پس از بارگذاری خمشی دو رفتار زیر رخ داد:

- ۱- کرنش فشاری بتن مجاور رزین اپوکسی از حد مجاز آیین نامه ای (۰,۰۰۳) بیشتر شده و تحت بارگذاری لهیده شد.
- ۲- رزین موجود در شیار دچار گسیختگی نشده و بخش هایی از آن به صورت جزء های خرد شده و تکه تکه در آمد.

پس استفاده از رزین موجب جلوگیری از انهدام بتن فشاری شده و بدین ترتیب بارگذاری تا پایان شکست ورق در ناحیه کششی ادامه یافت. لازم به ذکر است تقویت ناحیه فشاری تیرهای بتنی با رزین اپوکسی روشی ابداعی توسط مولفین مطالعه حاضر می باشد که مطابق نتایج حاصل شده، موفقیت آمیز بوده است.

پ) در روش نصب خارجی سطح کششی تیرهای بتن مسلح با فرچه سنگ تروست آماده سازی گردید و در نهایت یک لایه ورق CFRP توسط رزین اپوکسی دو جزئی روی آن نصب شد. آماده سازی سطحی تیرهای بتن مسلح به روش نصب خارجی (EBR) توام با افزودن الیاف فولادی به بتن سبک موجب تاخیر در پدیده جداشدگی ورق شد. این تاخیر با کنترل ترک های خمشی و خمشی - برشی در نواحی مستعد تنش بالا به وقوع پیوست.

ت) پس از آماده سازی سطح بتن به روش نصب خارجی شاهد جداشدگی ورق از سطح بتن تحت بارگذاری خمشی بودیم. لذا با هدف رفع ضعف روش نصب خارجی در جداشدگی ورق، از روش جایگزین شیارزنی استفاده شد. بدین منظور سطح کششی تیرهای بتنی با فرچه سنگ تروست مقاوم سازی شده و سپس سه عدد شیار طولی روی آن ایجاد گردید. سپس با استفاده از رزین اپوکسی دو جزئی، یک لایه ورق CFRP روی شیارها نصب شد. در این روش با افزایش سطح مقطع محل پیوند و اتصال مقاوم، مود شکست از جداشدگی به پاره شدن ورق تبدیل شد. استفاده از الیاف فولادی توام با این روش علاوه بر حذف پدیده جداشدگی ورق از سطح بتن، مانع از جداشدگی پوشش بتن نیز شد.

ث) تقویت تیرهای بتن مسلح موجب افزایش بار تسلیم آرماتورهای کششی شده که افزودن الیاف فولادی به بتن سبک در حالت آماده سازی سطحی به روش شیارزنی منجر به کسب بیشترین بار تسلیم شد.

ج) با استفاده از ورق CFRP انعطاف پذیری تیرها کاهش داشته و خیز آن ها افت کرد. اما این افت در حالت شیارزنی کم تر از روش نصب خارجی گزارش شد. بدین ترتیب استفاده از روش شیارزنی موجب کاهش کمتر خیز نهایی تیرهای بتنی تقویت شده می گردد. اما بیشترین خیز نهایی وسط دهانه در حالت افزودن الیاف فولادی به بتن سبک با میزان ۲۱,۱۸ میلی متر در تیر کنترل کسب شد. این پارامتر نسبت به تیرهای بتن معمولی و بتن سبک فاقد الیاف به ترتیب در حدود ۷۶ و ۵۱ درصد افزایش داشت.

چ) بیشترین ضریب شکل پذیری خیز تیرهای بتن مسلح در تیرهای کنترل به علت عدم تقویت ناحیه کششی آن حاصل شد. این ضریب از تقسیم خیز نهایی بر خیز متناظر با لحظه تسلیم آرماتورهای کششی محاسبه شد. در میان تیرهای تقویت شده با ورق، بیشترین مقدار ضریب فوق به ترتیب در حالت افزودن الیاف به بتن در روش های شیارزنی و روش نصب خارجی محاسبه شد. این پارامتر نسبت به تیرهای بتن معمولی و بتن سبک فاقد الیاف به ترتیب ۲۷ و ۱۱۶ درصد افزایش داشته است.

ح) بیشترین ضریب شکل پذیری انرژی تیرهای بتن مسلح در تیر کنترل حاصل شد. این ضریب با محاسبه سطح زیر منحنی بار - تغییر مکان در تمام تیرها به دست آمد. افزودن الیاف فولادی به بتن سبک و آماده سازی سطحی آن با روش شیارزنی، منجر به کسب ضریب جذب انرژی حداکثری در بین تیرهای تقویت شده گشته و موجب استهلاک انرژی بیشتر سازه شد.

۵- منابع و مراجع

- [۱]. ناطقی الهی، فریبرز؛ ملکی، شهرام. (۱۳۸۹). «مقاوم سازی سازه های بتنی با استفاده از FRP»، انتشارات نورپردازان.
- [2]. Meier, U., Dearing, M., Meier, H., Schwegler, G. (۱۹۹۳). «CFRP Bonded Sheets, Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures: Properties and Applications», Edited by Nanni, A., Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- [3]. Islam, M. R., Mansur, M. A., Maalej, M. (۲۰۰۵). «Shear Strengthening of RC Deep Beams Using Externally Bonded FRP Systems», Cement & Concrete Composites, Vol. ۲۷, pp: ۴۱۳-۴۲۰.
- [4]. Hassan, T., Rizkalla, S. (۲۰۰۳). «Investigation of Bond in Concrete Structures Strengthened with Near Surface Mounted Carbon Fiber Reinforced Polymer Strips», Journal of Composites for Construction of ASCE. ISSN ۱۰۹۰-۰۲۶۸, Vol. ۳, pp: ۲۴۸-۲۵۷.
- [5]. Barros, J. A. O., Fortes, A. S. (۲۰۰۵). «Flexural Strengthening of Concrete Beams with CFRP Laminates Bonded into Slits», Cement & Concrete Composites, Vol. ۲۷, pp: ۴۷۱-۴۸۰.
- [۶]. مستوفی نژاد، داود؛ افتخار، محمدرضا. (۱۳۸۸). «اثرات آرایش میلگرد بر نحوه ترک خوردگی و بارجداشدگی ورق در تیرهای بتن آرمه تقویت شده با صفحات CFRP»، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز: دانشگاه شیراز.
- [7]. Said, Hemdan, Wu, Zhishen, (۲۰۰۸). «Evaluating and Proposing Models of Predicting IC Debonding Failure», Journal of Composites for Construction, ASCE, Vol. ۱۲, No. ۳, pp. ۲۸۴-۲۹۹.
- [8]. Liu, I., Oehlers, D. J., Seracino, R., (۲۰۰۴). «Parametric Study of Intermediate Crack (IC) Debonding on Adhesively Plated Beams», Proceedings of the FRP Composites in Civil Engineering, CICE ۲۰۰۴, Seracino (ed), London, ۲۰۰۴.
- [۹]. کیوانی، عبدالله. (۱۳۶۹). بتون مسلح به الیاف فولادی. انتشارات رودکی.
- [10]. Balaguru, Shah. (۱۹۹۲) «Fiber Reinforced Cement Composites», Mc Graw-Hill, USA: New York.
- [11]. Mazaheripour, H., Ghanbarpour, S., Mirmoradi, S., Hosseinpour, I. (۲۰۱۱). «The Effect of Polypropylene Fibers on the Properties of Fresh and Hardened Lightweight Self-Compacting Concrete», Construction and Building Materials, Vol ۲۵, No ۱, pp: ۳۵۱-۵۸.
- [۱۲]. El-Dieb, A. S., Mechanical. (۲۰۰۹). «Durability and Microstructural Characteristics of Ultra-high-Strength Self-Compacting Concrete Incorporating Steel Fiber», Materials and Design, Vol ۳۰, pp : ۴۲۸۶-۹۲.
- [۱۳]. Corinaldesi, V., Moriconi, G. (۲۰۱۱). «Characterization of Self-Compacting Concretes Prepared with Different Fibers and Mineral Additions», Cement and Concrete Composites, Vol ۳۳, pp : ۵۹۶-۶۰۱.
- [۱۴]. Sivakumar, A., Santhanam, M. (۲۰۰۷) «Mechanical Properties of High-Strength Concrete Reinforced with Metallic and Non-Metallic Fibers», Cement and Concrete Composites Vol ۲۹, pp: ۶۰۳-۶۰۸.
- [۱۵]. Fraternali, F., Ciancia, V., Chechile, R., Rizzano, G., Feo, L., Incarnato, L. (۲۰۱۱). «Experimental Study of the Thermo-Mechanical Properties of Recycled PET Fiber-Reinforced Concrete», Composite Structures, Vol 93, pp: 2368-74.

[۱۶]. قاسم زاده موسوی نژاد، سید حسین؛ گنجه خسروی، بنیامین؛ شمسی خرطومی، پیمان. (۱۳۹۴). «مطالعه مقاومت کششی و خمشی بتن حاوی سبکدانه در ترکیب با الیاف های_سیلیکا و فولادی»، کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین در مهندسی عمران، معماری، محیط زیست و مدیریت شهری، تهران.

https://www.civilica.com/Paper-CAECONF۰۱-CAECONF۰۱_۲۹۹.html

[۱۷]. حاجی رفیعی، مهدی؛ تسنیمی، عباسعلی. (۱۳۹۳). «بررسی مشخصات مکانیکی بتن سبک سازه ای مسلح به الیاف فولادی»، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، بابل.

[۱۸]. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۸). تاثیر الیاف فولادی در کنترل ترک های کششی بتن.

[۱۹]. افضلی نیز، اویس، معصومی، علی. (۱۳۹۶). بتن های مسلح الیافی. انتشارات شرکت نانو نخ و گرانول سیرجان، صنایع فولاد عرفان. ص ۱۹۰-۱.

[۲۰]. نویل، آدام. (۱۳۸۶). تکنولوژی بتن، (ترجمه «رمضان پور، علی اکبر؛ شاه نظری، محمدرضا.»)، انتشارات علم وصنعت.

[21]. Karihaloo, B. L., de Vriese, K. M. B. (۱۹۹۹). «Short-Fiber Reinforced Reactive Powder Concrete», in Reinhardt, H. W., Naaman, A. E. (eds) «High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPRCC ۳)», RILEM Proceedings PRO ۶, RILEM Publication, Bagnex, pp: ۵۳-۶۳.

[22]. Sun, W., Liu, S. B., Lai, J. (۲۰۰۳). « Study on the Properties and Mechanism of Ultra-High Performance Ecological Reactive Powder Concrete», in Naaman, A. E., Reinhardt, H. W. (eds) «High Performance Fiber Reinforced Cement Composites», RILEM Proceedings PRO ۳۰, RILEM Publication, Bagnex, pp: ۴۰۹-۴۱۷.

[23]. Williamson, G. (۱۹۷۴). «The Effect of Steel Fibers on the Compressive Strength of Concrete », J. American Concrete Institute, Vol ۴۴, pp: ۱۹۵-۲۰۸.

[24]. Johnston, C. D. (۱۹۷۴). « Steel Fiber Reinforced Mortar and Concrete : A Review of Mechanical Properties», J. American Concrete Institute, Vol ۴۴, pp: ۱۲۷-۱۴۲.

[25]. ACI Committee ۴۴۰ (۲۰۰۲). ACI ۴۴۰.۲R-۰۲. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. Farmington Hills, American Concrete Institute.

[26]. Mostofinejad, D., Mahmoudabadi, E. (۲۰۱۰). «Grooving as Alternative Method of Surface Preparation to Postpone Debonding of FRP Laminates in Concrete Beams», Journal of Composites for Construction, ASCE, Vol. ۱۴, No. ۶.

[۲۷]. مدندوست، رحمت و رحیمی کامران، ۱۳۹۶، مطالعه ظرفیت خمشی تیرهای بتن سبک تقویت شده با ورق CFRP در شرایط

آماده سازی سطحی مختلف، نهمین کنفرانس ملی بتن، تهران، انجمن بتن ایران، https://www.civilica.com/Paper-NCCICI۰۹-NCCICI۰۹_۰۳۰.html

[NCCICI۰۹_۰۳۰.html](https://www.civilica.com/Paper-NCCICI۰۹-NCCICI۰۹_۰۳۰.html)

[28]. ACI ۵۴۶R-۹۶. Concrete Repair Guide. American Concrete Institute.



یازدهمین کنفرانس ملی بتن
۱۴،۱۵،۱۶ مهرماه ۱۳۹۸
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



[29]. Hutchinson, A. R., Quinn, J. (۱۹۹۹). «Strengthening of Reinforced Concrete Structures Using Externally- Bonded FRP Composites in Structural and Civil Engineering», Edited by Hollaway, L. C., Leeming, M. B., Woodhead Publishing, Cambridge, UK.

[۳۰]. صدر ممتازی، علی.، مومنی نژاد، کسری. (۱۳۹۳). " رفتار خمشی تیرهای بتنی مسلح با سنگدانه لیکا تقویت شده به وسیله میلگرد های GFRP به روش NSM". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، گیلان.



یازدهمین کنفرانس ملی بتن
۱۴،۱۵،۱۶ مهرماه ۱۳۹۸
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



The Effect Of Steel Fibers On Flexural Capacity Of Lightweight Concrete Beams Reinforced By CFRP Sheet

Rahmat Madandoust^۱, Kamran Rahimi^۲

1- Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Guilan

۲-Master of Structures

1-Email: Rmadandoust@yahoo.com

Tel: 09113314970

۲-Email: Rahimikamran@yahoo.com

Tel: ۰۹۳۸۸۱۵۶۱۲۵

Coad: B

Abstract

FRP materials have unique properties such as high ratio of resistance-to-weight that facilitate the performance of the structure and improve the mechanical properties of the structural elements reinforced with CFRP. But common failure in reinforced beams under flexural loading “ debonding ” prevents the maximum utilization of the bearing capacity of FRP sheets. As we know, all the separation in the presence of concrete originate of discontinuities, which, as the increasing the crack width, this discontinuity intensifies and the FRP sheet is detached from tensile surface in the reinforced concrete beam. Therefore, one of the effective measures in controlling concrete discontinuities is to add fibers to concrete. The primary task of fibers is to prevent the expand of cracks due to concrete abrasion. In this study, steel fibers were added to lightweight concrete and RC beams were reinforced by CFRP sheet. Debonding phenomenon and the increment of bearing capacity of RC beams was evaluated. For this purpose, ۶ RC beams containing lightweight and steel fibers with dimension of ۱۲۰۰*۱۰۰*۱۶۰ mm were built and was strengthened them with a layer CFRP sheet. The results of laboratory studies indicate that the adding steel fibers to concrete, increases beam ductility, reduces crack width, and delays the debonding. The results of the tests on lightweight reinforced concrete beams also showed a dramatic increase in mid span up to ۲۱،۱۸ mm and ultimate bearing capacity of up to ۱۰۷ kN.

Keywords: Steel Fiber , CFRP sheet , Reinforced Concrete , Bearing Capacity, Debonding Phenomenon