



## بررسی آزمایشگاهی بهترین امتداد قرارگیری الیاف شیشه ای در بتن مسلح شده با الیاف (TRC) و تاثیر آن در میزان جذب انرژی ضربه ای

علیرضا مردوخ پور<sup>1</sup>، حسین جاماسبی<sup>2</sup>

1- استادیار گروه عمران و مهندسی آب، 2- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

[Alireza.mardookhpour@yahoo.com](mailto:Alireza.mardookhpour@yahoo.com)

### خلاصه

استفاده از الیاف شیشه ای علاوه بر بهسازی مقاومت برشی سازه های بتن مسلح، روش نوینی برای افزایش مقاومت ضربه ای بتن مسلح تلقی میشود. در تحقیق حاضر بتن مسلح شده با الیاف شیشه ای (GFRP) که با 25 درصد حجمی توسط الیاف شیشه، در هر سه بعد مسلح شده است، تحت بارگذاری ضربه ای معینی قرار میگیرد و ظرفیت جذب انرژی و مقاومت برشی آن در دو حالت مسلح و غیر مسلح بررسی میگردد. نتایج حاصل از آزمایشات مبین آن است که ظرفیت جذب انرژی در سازه بتنی مسلح شده با الیاف شیشه ای حدود 80 تا 90 درصد نسبت به حالت غیر مسلح، افزایش میابد.

**کلمات کلیدی:** الیاف شیشه ای، بار ضربه ای، بتن مسلح، جذب انرژی، مقاومت برشی

### 1. مقدمه

به طور کل هدف مسلح کردن بتن با الیاف شیشه ای (GFRP) یا الیاف کربنی (CFRP) به طور اخص افزایش مقاومت بتن در زمینه مقاومت خمشی میباشد. (2 و 8). در هر دو مورد مذکور ورقه های الیاف تسلیح، به طور خارج از قطعه بتنی به سطح جداره چسبانده میشوند تا مقاومت خمشی افزایش یابد. (7). در مقاله حاضر، الیاف شیشه ای به صورت تصادفی و همه جانبه (در هر سه بعد قطعه)، به صورت 25 درصد حجمی قطعه بتن، در داخل یک تیر بتن مسلح، تعبیه میشوند تا تاثیرات مثبت آن در مقاومت برشی و جذب انرژی ضربه ای عرضه گردند.

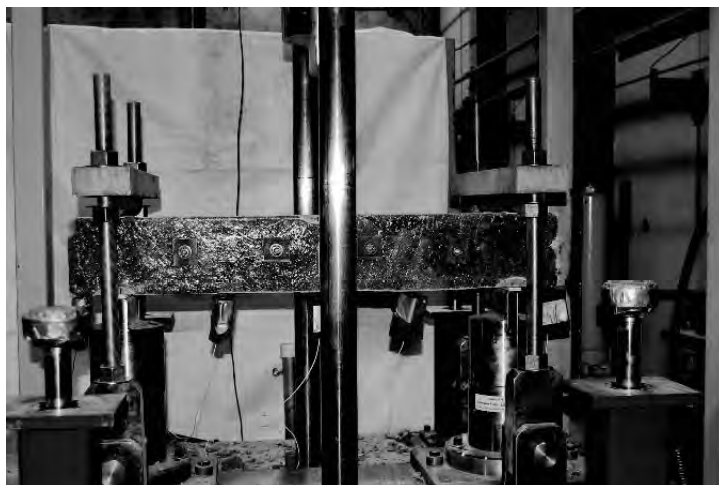
### 2. مواد و روش انجام آزمایش

برای بررسی تاثیر الیاف شیشه ای در جذب انرژی بارهای ضربه ای و افزایش مقاومت برشی تیرهای بتن مسلح، در تحقیق حاضر، از الیاف شیشه ای به طول ثابت 32 میلیمتر و حجم حدود 25 درصد در ساخت قطعه بتن مسلح استفاده شده به گونه ای که دانسیته متوسط قطعه حاصله معادل 1473 کیلوگرم بر متر مکعب با انحراف معیار 0/9 درصد حاصل گردیده است. ویژگیهای سازه ای بتن مسلح شده با الیاف نیز به شرح جدول (1) میباشد.

جدول (1) - ویژگیهای سازه ای بتن مسلح شده با الیاف

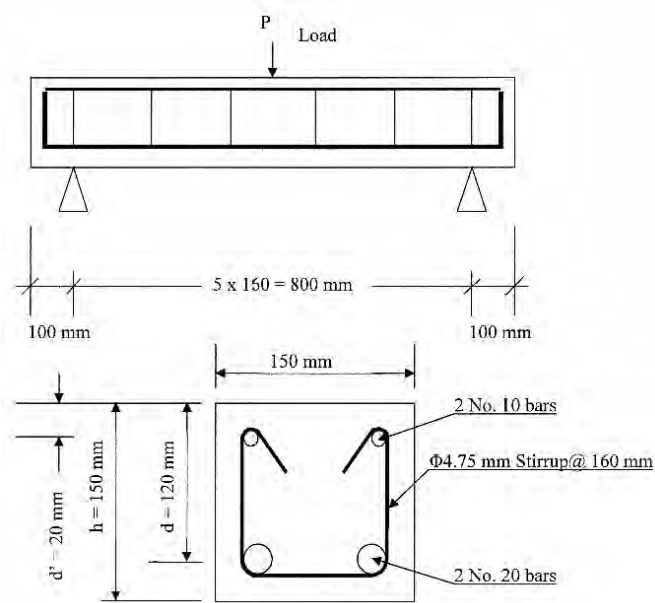
ویژگیهای کششی قطعه بتن GFRP	مقدار	واحد
مقاومت کششی نهایی	69	مگا پاسکال
ضریب ارتجاعی کششی	14	گیگا پاسکال
کرنش در گسیختگی نهایی	0/63	درصد

ماشین مورد استفاده [شکل (1)] برای ایجاد ضربه با ظرفیت 14/5 کیلو ژول نیز برای اعمال ضربه مورد استفاده قرار گرفته است. در این دستگاه جرم 591 کیلوگرم از ارتفاع 2/5 متری بر روی قطعه بتن GFRP رها میشود .



شکل (1) - دستگاه ایجاد ضربه بر روی بتن GFRP

تعداد 8 قطعه بتن مسلح برای بررسی رفتار قطعه بتن در برابر ضربه ساخته شده که 3 قطعه از آنها بدون تسلیح و مقاومسازی ، تحت برخورد ضربه ای از ارتفاعهای 60 و 80 سانتیمتر که به ترتیب با سرعت 3/43 m/s و 3/96 m/s برخورد نمودند در نظر گرفته شدند. تعداد 5 قطعه باقیمانده ابتدا با الیاف شیشه ای مسلح گردیده که 1 قطعه تحت سرعت برخورد 3/43m/s و مابقی تحت سرعت برخورد 3/96 m/s مورد بررسی قرار گرفتند. مقاطع بتنی مورد استفاده در آزمایش به شرح شکل (2) میباشند.



شکل (2) - مقطع تیر بتن مسلح در آزمایشات برخورد ضربه ای

### 3- بحث در نتایج

بر مبنای آیین نامه طراحی سازه های بتنی کشور کانادا، قطعه بتنی نشان داده شده در شکل (2)، میتواند باری حدود 100/2 کیلو نیو تن را تحمل نماید. (6). باید متذکر گردید که در تیر فوق مقدار آرماتور برشی کمتر از محاسبات مد نظر و تعبیه گردید تا گسیختگی تیر تحت برش و زودتر از گسیختگی خمشی صورت پذیرد. جدول (2) جزئیات طرح تیرهای بتن مسلح مورد آزمایش را ارائه میدهد. حداکثر بارنهایی که توسط هر تیر حمل میشود در جداول (3) ارائه شده اند. در این تحقیق نسبت انرژی جذب شده به انرژی اعمال شده بر قطعات در دامنه 80 تا 98 درصد قرار میگیرد. این جداول نشان میدهند که استفاده از الیاف شیشه ای در تیر بتن مسلح مقاومت مقاومت ضربه ای را افزایش میدهند. همچنین بر طبق جداول مذکور، تسلیح سه بعدی با الیاف شیشه ای حداکثر مقاومت برشی و جذب انرژی را نسبت به تسلیح دو بعدی به همراه دارد. (4 و 1). در آزمایشات انجام شده گسیختگی هیچیک از قطعات ناشی از گسیختگی برشی مشاهده نمی شود. ضریب افزایش دینامیکی مدول ارتجاعی تیرهای بتنی GFRP و نسبت تنش دینامیکی به تنش استاتیکی نیز در جداول (4) و (5) ارائه گردیده اند.



جدول (2) - جزئیات طرح تیرهای بتن مسلح مورد آزمایش

Beam Designation	Drop Height mm	Sprayed GFRP Thickness mm	3 Sided
PI-600	600	NA	-----
PI-800-1	800	NA	-----
PI-800-2	800	NA	-----
SI-3S-800-1	800	150	1.9
SI-3S-800-2	800	150	2.8
SI-3S-800-3	800	150	3.2
SI-3S-800-4	800	150	6.2
PI-3S-600	600	150	10.7

**Note:**

P: Plain RC beam (no sprayed GFRP was applied).

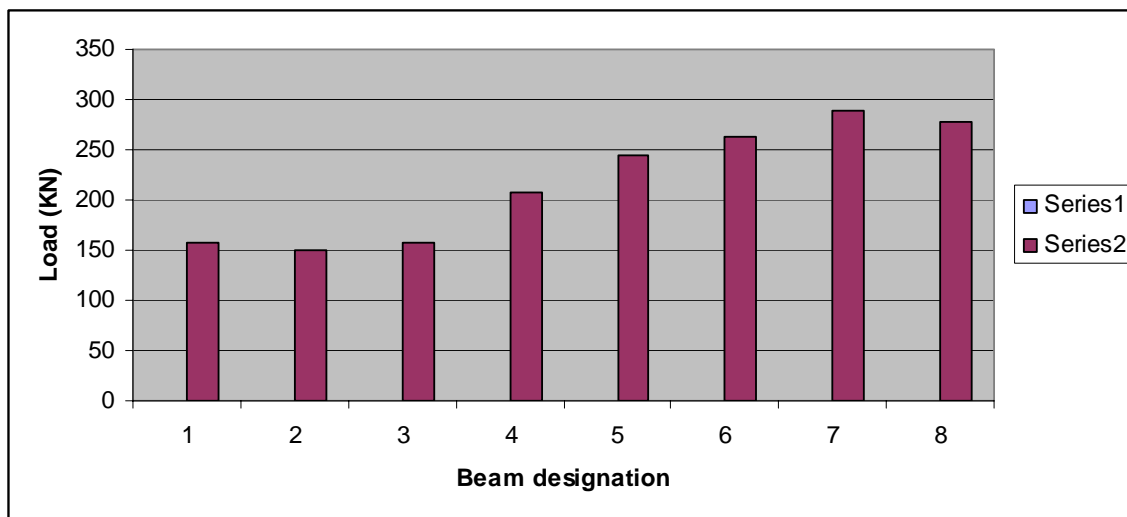
I: Tested under impact loading.

S: sprayed GFRP was applied as external shear reinforcement.

3S: sprayed GFRP was applied on 3 sides of the beam (U-shaped).



جدول 3- ظرفیت باربری برای تیرهای بتن مسلح معمولی و تیرهای بتن مسلح تقویت شده با GFRP



1= PI-600 , 2= PI-800-1 , 3= PI-800-2 , 4= SI-3S-800-1 , 5= SI-3S-800-2 , 6= SI-3S-800-3 , 7= SI-3S-800-4  
8= PI-3S-600

همچنین بار متوسط نهایی معادل 154.7 کیلو نیوتن برای تیرهای مسلح نشده ( PI-800-2 , PI-800-1 و PI-600 ) نیز از رابطه زیر بدست آمده اند. (3)

$$V_{frp-d} = 3 t_{frp} \times d_{frp} \times E_{frp-d} \times \epsilon_{frp} \quad (1)$$

در رابطه (1) :

$V_{frp-d}$  = مقدار افزایش مقاومت برشی دینامیکی تیر بتن مسلح ، تقویت شده با الیاف شیشه ای بر حسب نیوتن

$t_{frp}$  = ضخامت متوسط الیاف شیشه ای بر حسب میلیمتر

$d_{frp}$  = عمق عناصر تسلیح بر حسب میلیمتر

$E_{frp-d}$  = ضریب ارتجاعی دینامیکی مقطع مرکب حاصله از تسلیح بتن با الیاف شیشه ای

$\epsilon_{frp}$  = کرنش موثر الیاف که معادل 0.003 فرض میشود.

جدول (4)- ضریب افزایش دینامیکی مدول ارتجاعی (DIF) تیر بتنی GFRP

Beam	$E_{frp-d} \times \epsilon_{frp}$ (MPa.mm/mm)	$\epsilon_{frp}$ (mm/mm)	$E_{frp-d}$ (MPa)	$E_{frp}$ (MPa)	$DIF_{frp}$
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)/(3)	(5)	(6)=(4)/(5)
SI-3S-800-1	117.3	0.003	39100	14000	2.79
SI-3S-800-2	133.2	0.003	44400	14000	3.17
SI-3S-800-3	141.8	0.003	47267	14000	3.38
SI-3S-800-4	89.9	0.003	29967	14000	2.14



جدول (5) - نسبت تنش دینامیکی به تنش استاتیکی در تیر بتنی GFRP (تسلیم سه بعدی)

Beam	Peak load (KN)	Peak stress (Mpa)	Time to peak load (sec)	Stress Rate (Mpa/s)	Static Stress Rate (Mpa/s)	Dynamic stress-Rate/ Static Stress- Rate
SI-3S-800-1	208.2	740.3	0.0016	462667	0.017	27215686
SI-3S-800-2	244.2	868.3	0.00153	567945	0.017	33382033
SI-3S-800-3	263.6	937.2	0.00121	774582	0.017	45563658
SI-3S-800-4	288.5	1025.8	0.00267	384186	0.017	22599202

### 3. نتیجه

اگر از الیاف شیشه ای برای تسلیم تیرهای بتن مسلح به صورت کاربرد آن در سه وجه تیر استفاده گردد، مقاومت آن در برابر بارهای ضربه ای به طرز چشمگیری افزایش میابد و در صد جذب انرژی نیز بالا میروند. تحقیق حاضر مبین آن است که نسبت جذب انرژی توسط تیرهای بتنی GFRP به انرژی ضربه ای ناشی برخورد دینامیکی میتواند در دامنه ای بین 80 تا 98 در صد قرار گیرد.

### 4. مراجع

1. Banthia N, Mindess S, Bentur A, Pigeon M., (1989), "Impact testing of concrete using adrop-weight impact machine". Experimental Mechanics 29, pp63-69
2. Banthia N, Yan C, Nandakumar N, (1996) , "Sprayed fiber reinforced plastics for repair of concrete structures " In: El-Badry MM (ed) Proc 2nd Int Conf on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures. Montreal, pp 537-546
3. Banthia N, Boyd AJ, (2002), "Sprayed fiber reinforced polymers". Laboratory to a real bridge. ACI Concrete International 24: pp 47-52
4. Soleimani.M., Banthia .N , Mindess .s.(2007), "Sprayed GFRP shear-strengthened reinforced concrete Beams under Impact Loading". Elsevier journal.
5. Tang T, Saadatmanesh H, (2003) , "Behavior of concrete beams strengthened with reinforced polymer laminates under impact loading". Journal of Composites for Construction 7, pp209-218
6. Tang T, Saadatmanesh H, (2005) , "Analytical and experimental studies of fiber reinforced polymer-strengthened concrete beams under impact loading". ACI Structures Journal. 102, pp139-149
7. White TW, Soudki, KA, Erki MA ,(2001), "Response of RC beams strengthened with CFRP laminates and subjected to a high rate of loading". Journal of Composites for Construction 5, pp153-162