

مقاومت ضربه‌ای دال‌های چند لایه ساخته شده با بتن توانمند خود تراکم الیافی تحت اثر برخورد گلوله با سرعت زیاد

امیرحسین صحرایی مقدم^۱، فریدون امیدی نسب^{۲*}، احمد دالوند^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه لرستان، خرم آباد

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه لرستان، خرم آباد

*omidinasab.f@lu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۷/۰۳/۲۳]

تاریخ دریافت: [۹۶/۱۱/۲۴]

چکیده:

امروزه از بتن به صورت گسترده‌ای در ساخت سازه‌های نظامی استفاده می‌شود که باید این بتن‌ها در مقابل ضربات با سرعت زیاد مقاوم باشند. در این پژوهش مقاومت ضربه‌ای دال‌های یک‌لایه و چندلایه مسلح شده به الیاف فولادی و پلاستیکی تحت اثر ضربه گلوله بررسی شده است. در این پژوهش تعداد ۳۰ عدد دال بتنی با ابعاد $40 \times 40 \times 5$ سانتی‌متر از ۱۰ طرح اختلاط مختلف از هر طرح اختلاط ۳ نمونه ساخته شد. دال‌های ساخته شده دارای حجم ثابتی از ۱ درصد الیاف است، که تفاوت آن‌ها در نوع و چگونگی چیدمان الیاف در لایه‌هاست. دال‌ها با سه اسلحه Kalashnikov، PK و Dragunov آزمایش شدند. در این آزمایش سه پارامتر عمق نفوذ، مساحت و حجم ناحیه تخریب شده اندازه‌گیری شد. با انجام این آزمایش مشاهده شد، الیاف فولادی می‌تواند مقاومت دال‌های بتنی در مقابل ضربه گلوله را افزایش، و عمق نفوذ، سطح و حجم ناحیه تخریب شده را به میزان چشم‌گیری کاهش دهد. همچنین الیاف فولادی می‌تواند با افزایش انسجام دال‌ها از گسترش ترک‌ها جلوگیری نماید، در صورتی که الیاف پلاستیکی تأثیر بسیار کمتری نسبت به الیاف فولادی دارد. علاوه بر این، ۱۲ عدد نمونه فشاری مکعبی به ضلع ۱۰ سانتی‌متر، ۱۲ عدد نمونه کششی استوانه‌ای با ابعاد 10×20 سانتی‌متر و ۱۲ عدد تیر خمشی با ابعاد $32 \times 8 \times 6$ سانتی‌متر ساخته و آزمایش شد. نتایج نشان داد الیاف فولادی و پلاستیکی تأثیری بر روی مقاومت فشاری نداشته، اما الیاف فولادی مقاومت کششی و خمشی را بصورت قابل توجهی افزایش داد. الیاف پلاستیکی تأثیری بر روی مقاومت کششی و خمشی نیز نخواهد داشت.

واژگان کلیدی: مقاومت ضربه‌ای، دال‌های چند لایه، الیاف فولادی، الیاف پلاستیکی، ضربه گلوله.

۱- مقدمه

مقبولیت عمومی استفاده از بتن به عنوان مصالح ساختمانی شده است [1]. بتن با مقاومت بالا (توانمند) به بتن‌هایی اطلاق می‌شود که دارای مقاومت فشاری بالاتر از ۴۲ مگاپاسکال دارد [2] و مطابق تعریف [3] بتن خودتراکم بتنی است که تحت اثر وزن خود جاری شده و بدون نیاز به هرنوع لرزاندن قالب را پر کرده و همگنی خود را حفظ کند. از طرفی،

امروزه بتن یکی از پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، در دسترس بودن مصالح تشکیل دهنده آن، مقاومت خوب در مقابل عوامل جوی و آتش سوزی، قرارگیری مناسب در قالب با شکل‌های مختلف و مقاومت فشاری بالا از جمله عواملی است که باعث

الیاف فولادی مقاومت کششی بتن بصورت خطی افزایش می‌یابد و این افزایش در ۷ روز اول بیشتر است. از طرفی پژوهش‌هایی در زمینه تاثیر الیاف‌ها بر مقاومت ضربه‌ای بتن کمتر بوده است، بیشتر این پژوهش‌ها بر اساس آزمایش استاندارد پیشنهاد شده از طرف آیین‌نامه ACI C544 و با وزنه افتان بوده است، و پژوهش‌های بسیار کمی روی مقاومت ضربه‌ای بتن‌های الیافی تحت اثر برخورد ضربه با سرعت زیاد صورت گرفته است. به همین علت در این پژوهش آزمایش برخورد گلوله انجام شده است. همچنین در بیشتر پژوهش‌های گذشته از دال‌های دارای یک نوع الیاف و بصورت یک لایه استفاده شده است، به همین دلیل دال‌های ساخته شده در این پژوهش حاوی دو نوع الیاف فولادی و پلاستیکی، بصورت چند لایه (تغییر درصد الیاف در لایه‌ها) است، تا علاوه بر تاثیر حضور الیاف‌ها، تاثیر چگونگی چیدمان آن‌ها نیز بررسی شود.

۳- برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش ۳۰ عدد دال یک لایه و سه لایه مسلح شده به الیاف فولادی، پلاستیکی و ترکیبی از آن‌ها، در ۱۰ مدل مختلف (از هر مدل ۳ نمونه) ساخته شده است. یک مدل بدون الیاف به عنوان نمونه شاهد و دیگر مدل‌ها همگی دارای یک درصد الیاف است، که تفاوت آن‌ها در نوع، چگونگی ترکیب و چیدمان الیاف‌هاست. جزئیات دال‌های ساخته شده در شکل (۱) و جدول (۱) آمده است. دال‌های ساخته شده با سه اسلحه Dragunov, PK Kalashnikov, Kalashnikov در فاصله ۵۰ متر تحت آزمایش برخورد گلوله با سرعت زیاد قرار می‌گیرند. همچنین برای آزمایش مقاومت فشاری ۱۲ عدد نمونه مکعبی با ضلع ۱۰ سانتی‌متر، برای آزمایش کشش برزیلی و خمشی نیز به ترتیب ۱۲ عدد نمونه‌ای استوانه‌ای به ابعاد ۲۰×۱۰ سانتی‌متر و ۱۲ عدد تیر خمشی کوچک به ابعاد ۳۲×۸×۶ سانتی‌متر با مقدار ۱ درصد الیاف فولادی، ۱ درصد الیاف پلاستیکی و ۰/۵ درصد از هر کدام از الیاف‌های فولادی و پلاستیکی و یک نمونه بدون الیاف به عنوان نمونه شاهد ساخته شد. جزئیات نمونه‌های ساخته شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

فراوانی استفاده از بتن در ساخت انواع سازه‌های دفاعی به دلیل وقوع جنگ‌ها و حوادث تروریستی متعدد در این چند سال اخیر، اهمیت بررسی عملکرد بتن در مقابل بارهای ضربه‌ای را دو چندان کرده است [4]. مطالعات گذشته نشان داده است که بتن نرمال در مقابل ضربه گلوله نقاط ضعفی دارد [5]. یکی از راه‌های بهبود رفتار بتن در مقابل بارهای دینامیکی و استاتیکی افزایش مقاومت فشاری بتن است، در صورتی که افزایش مقاومت فشاری موجب تردی بتن می‌شود و افزایش تردی برای تحمل بار ناشی از برخورد گلوله یک نقطه ضعف محسوب می‌شود [6]. از طرفی استفاده از الیاف‌های مختلف می‌تواند مقاومت بتن را در مقابل بارهای دینامیکی مانند بار وارد شده در اثر برخورد ضربه بالا ببرد [7]. Zhang و همکاران [8] با بررسی مقاومت ضربه‌ای بتن‌های توانمند نتیجه گرفتند با افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی عمق نفوذ گلوله در آن‌ها کاهش می‌یابد. Mastali و همکاران [9] با آزمایش دال‌های بتنی لایه بندی شده مسلح به الیاف فولادی در مقابل برخورد گلوله نتیجه گرفتند الیاف فولادی می‌تواند انرژی جذب شده بتن را افزایش و عمق نفوذ گلوله را کاهش دهد. خدارحمی و همکاران [10] در پژوهشی با انجام آزمایش ضربه با سرعت زیاد روی نمونه‌های استوانه‌ای نتیجه گرفتند افزودن الیاف‌های فولادی تاثیر کمی روی عمق نفوذ و مساحت ناحیه تخریب شده دارد، در صورتی که باعث کاهش ۵۸ درصدی حجم حفره می‌شود. این در حالی است که افزایش دو برابری مقاومت فشاری موجب کاهش ۲۳ درصدی حجم حفره می‌شود. پژوهش‌های Ong و همکاران [11] نیز حاکی از جذب انرژی بیشتر دال‌های بتنی مسلح شده با الیاف فولادی با انتهای قلابدار در مقایسه با دال‌های مسلح شده با الیاف پلی‌وینیل‌الکل و همچنین دال‌های دارای ترکیبی از این دو نوع الیاف در برابر ضربه است.

۲- ضرورت انجام تحقیق

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه تاثیر الیاف‌ها بر ویژگی‌های مکانیکی بتن انجام گرفته است. به عنوان نمونه Qureshi و همکاران [12] خواص بتن با مقاومت بالا را با افزودن الیاف فولادی بررسی کردند و نشان دادند با افزایش

جدول ۱. جزئیات و میزان الیاف در نمونه های دال

Specimen	Fiber volume (%)		Dimensions of compressive specimens (cm)	Dimensions of tensile specimens (cm)	Dimensions of bending specimens (cm)
	Steel	Nylon			
S0-N0	0	0	10×10×10	10×20	32×8×6
S1-N0	1	1	10×10×10	10×20	32×8×6
S0-N1	0	0	10×10×10	10×20	32×8×6
S0.5-N0.5	0.5	0.5	10×10×10	10×20	32×8×6

Table 1. Details and amount of fiber in slab specimens

جدول ۲. میزان الیاف و ابعاد نمونه های فشاری، کششی و خمشی

Specimen	Fiber volume in first layer (%)		Fiber volume in second layer (%)		Fiber volume in third layer (%)	
	Steel	Nylon	Steel	Nylon	Steel	Nylon
S0-N0	0	0	0	0	0	0
S1-N0	1	0	1	0	1	0
S0-N1	0	1	0	1	0	1
S0.5-N0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
S-FG1	1.2	0	0.6	0	1.2	0
N-FG1	0	1.2	0	0.6	0	1.2
S-N-FG1	0.6	0.6	0.3	0.3	0.6	0.6
S-FG2	1.5	0	0	0	1.5	0
N-FG2	0	1.5	0	0	0	1.5
S-N-FG2	0.75	0.75	0	0	0.75	0.75

Table 2. Fiber dimensions and dimensions of compression, tensile and flexure samples

پلاستیکی مورد استفاده به ترتیب در جداول (۴ و ۵) نشان داده شده است.

جدول ۳. خصوصیات سیمان مورد استفاده

Chemical properties	
SiO ₂	21.1
Al ₂ O ₃	4.37
Fe ₂ O ₃	3.88
MgO	1.56
K ₂ O	0.52
Na ₂ O	0.39
CaO	63.33
C ₃ S	51
C ₂ S	22.7
C ₃ A	5.1
C ₄ AF	11.9
Physical properties	
Special gravity(kg/cm ³)	3.1
Special surface(kg/cm ³)	3000

Table 3. Properties of cement used

در ساخت نمونه ها از مصالح سنگی ریزدانه عبوری از الک نمره ۸ استفاده شده است. همچنین برای ایجاد کارایی لازم،

شکل ۱. جزئیات دال های سه لایه

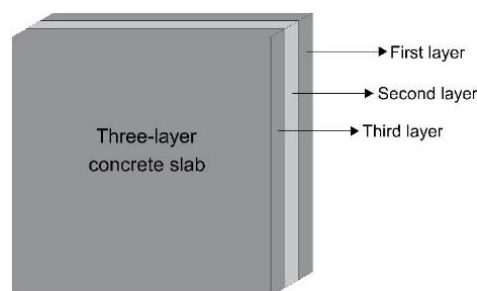


Fig. 1. Details of three-layer slab

۳-۱- مصالح مورد استفاده

در این پژوهش در ساخت نمونه ها از سیمان پرتلند تیپ ۲ (معمولی) کارخانه سیمان درود استفاده شده است. ویژگی های شیمیایی و فیزیکی سیمان مورد استفاده در جدول (۳) نشان داده شده است. در این پژوهش از الیاف های فولادی دوسر قلاب به طول ۵ سانتی متر و ضخامت ۰/۸ میلی متر و الیاف های پلاستیکی به طول ۴ سانتی متر و عرض ۰/۳ سانتی متر استفاده شده است. ویژگی های الیاف فولادی و

جدول ۵. ویژگی‌های الیاف پلیاستیکی

Fiber	Length (cm)	Width (cm)	Density (kg/m ³)	E (GPa)
Nylon	4	0.3	920	2.2

Table 5. Properties of nylon fiber

جدول ۶. طرح اختلاط مورد استفاده

Sand (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	W/C	Water (kg/m ³)	SP (kg/m ³)
1200	1200	0.38	453	4.8

Table 6. Mix design used

۳-۲- کارایی بتن مورد استفاده

آزمایشات لازم برای بررسی کارایی بتن خود تراکم، مانند آزمایش‌های اسلامپ روانی، جعبه L، جعبه U و قیف V انجام شد، تا از خاصیت روانی و خود تراکم بودن بتن مورد استفاده اطمینان حاصل شود. شکل (۳) چگونگی انجام آزمایش اسلامپ روانی را نشان می‌دهد. همچنین اثر افزودن الیاف فولادی و پلیاستیکی نیز بر روانی و کارایی بتن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمایش‌ها در جدول (۷) آمده‌است. همان‌گونه که از نتایج پیداست، افزودن الیاف پلیاستیکی تاثیر چندانی بر کارایی و روانی بتن خود تراکم نداشته، و به صورت مطلوبی می‌توان این الیاف‌ها را با بتن مخلوط نمود. اما الیاف فولادی باعث کاهش کارایی بتن شده و اسلامپ روانی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد، همچنین اضافه کردن این الیاف به مخلوط بتن می‌تواند با مشکل گلوله شدن آن مواجه شود، که برای جلوگیری از این مشکل باید در مرحله پایانی به مخلوط بتن اضافه شود.

شکل ۳. آزمایش اسلامپ روانی



Fig. 3. Flow slump test

در ساخت بتن از فوق روان کننده‌ی کربوکسیلاتی با نام تجاری Dezobuild 10 استفاده شده، که در جدول (۶) با نام (SP^۱) آمده است. تصویری از مصالح مصرفی در شکل (۲) نشان داده شده است. طرح اختلاط به کار برده شده برای ساخت نمونه‌ها از بتن توانمند نیز در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۴. خصوصیات الیاف فولادی

Fiber	Length (cm)	Diameter (cm)	L/D	Density (kg/m ³)	E (GPa)
Steel	5	0.08	62.5	7850	200

Table 4. Properties of steel fiber

شکل ۲. (a) الیاف فولادی (b) الیاف پلیاستیکی (c) مصالح (d) قالب‌های چوبی



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 2. (a) Steel fiber (b) Nylon fiber (c) Materials (d) Wooden mold

جدول ۷. نتایج آزمایشات کارایی بتن خود تراکم

Mix design	Flow slump		V-funnel	L-box	U-box
	cm	T ₅₀ (s)	s	(H ₂ /H ₁)	(H ₁ -H ₂) (cm)
S0-N0	73	1.66	3.21	0.94	12
S1-N0	61	1.81	5.97	0.79	18
S0-N1	69	1.78	4.01	0.84	14
S0.5-N0.5	63	1.82	5.36	0.80	17

Table 7. Result of (SCC) performance tests

۴- انجام آزمایشات

۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری روی ۱۲ عدد نمونه مکعبی با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی متر با استفاده از جک فشاری ۲۰۰ تنی مطابق شکل (۵) انجام و مقاومت فشاری به صورت نسبت نیروی وارد شده (P) بر سطح تماس (A)، مطابق رابطه (۱) برحسب MPa محاسبه شد.

$$\text{مقاومت فشاری} = \frac{P}{A} \quad (۱)$$

مقاومت فشاری ۱۲ نمونه مکعبی محاسبه و در جدول (۸) نشان داده شده است. نتایج آزمایش ها نشان می دهد که افزودن ۱ درصد الیاف فولادی و پلاستیکی و ۰/۵ درصد از هر کدام، به ترتیب ۷/۷، ۲ و ۶/۴ درصد مقاومت فشاری را افزایش می دهند. بنابراین الیاف های فولادی و پلاستیکی نتوانسته اند افزایش مقاومت قابل توجهی را در نمونه های فشاری ایجاد نمایند و این افزایش مقاومت قابل چشم پوشی است. درصد افزایش مقاومت فشاری نمونه ها نسبت به نمونه شاهد در شکل (۶) نشان داده شده است.

شکل ۵. انجام آزمایش مقاومت فشاری

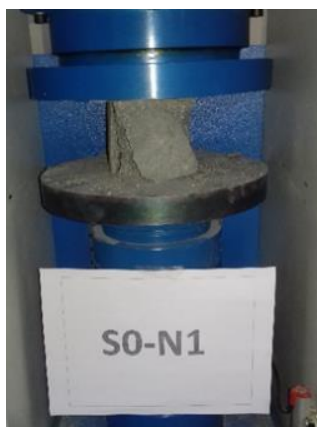


Fig. 5. Compressive strength test

۳-۳- ساختن نمونه ها

مراحل ساخت بتن های الیافی به گونه ای بود که ابتدا ماسه و سیمان بصورت خشک در میکسر مخلوط شده و ۹۰ درصد آب مورد نیاز بصورت تدریجی به مخلوط اضافه شد، سپس فوق روان کننده با آب باقی مانده ترکیب و به بتن اضافه شد. برای جلوگیری از مشکل گلوله شدن، الیاف های فولادی و پلاستیکی در مرحله آخر به میکسر اضافه شدند. در شکل (۴) مراحل ساخت نمونه ها آورده شده است. نمونه های مورد نیاز اعم از نمونه های فشاری، کششی، خمشی و دال ها در قالب های مناسب ریخته و بعد از ۲۴ ساعت از آن جدا شدند. این نمونه ها در فضایی مرطوب نگهداری و بعد از ۲۸ روز آزمایش های لازم روی آن ها انجام شد.

شکل ۴. مراحل ساخت نمونه ها



Fig. 4. Specimens building process

شکل ۷. انجام آزمایش مقاومت کششی



Fig. 7. Tensile strength test

جدول ۹. نتایج آزمایش کششی

Specimen	Tensile strength (MPa)				
	SP1	SP2	SP3	Ave	SD
S0-N0	2.45	3.69	3.79	3.31	0.75
S1-N0	8.53	6.37	9.3	8.07	1.52
S0-N1	3.95	3.63	3.92	3.83	0.18
S0.5-N0.5	7.68	6.62	6.82	7.04	0.56

Table 9. Tensile strength test results

شکل ۸. افزایش مقاومت کششی (%)

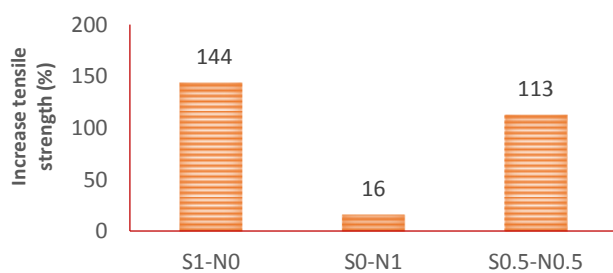


Fig. 8. Increase tensile strength (%)

۳-۴- آزمایش مقاومت خمشی

روی ۱۲ عدد تیر کوچک خمشی به ابعاد ۳۲×۸×۶ سانتی‌متر آزمایش خمش سه نقطه‌ای (اعمال یک بار متمرکز در وسط دهانه) انجام گرفت. نمای کلی از انجام آزمایش خمش در شکل (۹) نشان داده شده است. در این آزمایش بیشینه بارخمشی تحمل شده توسط نمونه‌ها برداشت، و توسط رابطه (۳) مقاومت خمشی آن محاسبه شده است، این مقادیر در جدول (۱۰) آورده شده‌اند.

جدول ۸. نتایج آزمایش فشاری

Specimen	Compressive strength (MPa)				
	SP ^۱ 1	SP2	SP3	Ave	SD
S0-N0	77.3	68.7	77.6	74.5	5.05
S1-N0	81.3	82.6	74.1	79.3	4.58
S0-N1	73	79.3	75.7	76	3.16
S0.5-N0.5	81.1	82.1	77.3	80.2	2.53

Table 8. Compressive strength test results

شکل ۶. افزایش مقاومت فشاری (%)

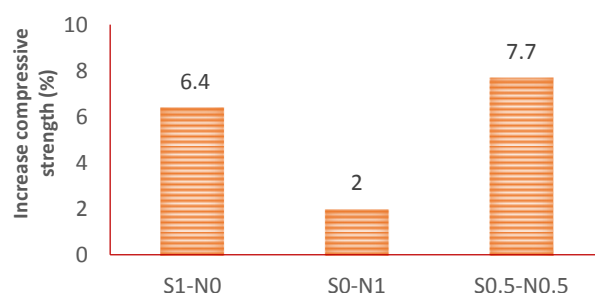


Fig. 6. Increase compressive strength (%)

۲-۴- آزمایش مقاومت کششی

آزمایش کشش برزیلی (دو نیم شدن) روی ۱۲ عدد نمونه استوانه‌ای به ابعاد ۱۰×۲۰ سانتی‌متر مطابق شکل (۷) انجام و مقاومت کششی نمونه‌ها از طریق رابطه (۲) برحسب MPa محاسبه شده است. در این رابطه P بیشینه نیروی تحمل شده و L و d به ترتیب طول و قطر نمونه است.

$$\text{مقاومت کششی} = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (2)$$

نتایج به دست آمده از آزمایش کشش در جدول (۹) و درصد افزایش مقاومت کششی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد در شکل (۸) نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد الیاف فولادی بیشترین تاثیر را روی مقاومت کششی نمونه‌ها داشته، به طوری که افزودن ۱ درصد از این الیاف توانسته است افزایش مقاومت ۱۴۳ درصدی در نمونه‌ها ایجاد نماید. این در حالی است که افزودن ۱ درصد الیاف پلیاستیکی تنها موجب افزایش ۱۶ درصدی مقاومت کششی نمونه‌ها شده است که در مقایسه با تاثیر الیاف فولادی اندک است.

$$\text{مقاومت خمشی} = \frac{3PL}{2b.d^2} \quad (۳)$$

(۱۰) می‌توانند با ایجاد دوختگی در ترک خمشی ایجاد شده در تیرها، موجب افزایش شکل‌پذیری شوند.

شکل ۱۰. دوختگی ترک خمشی توسط الیاف ها



Fig. 10. Crack bending stitching by fibers

شکل ۹. انجام آزمایش مقاومت خمشی



Fig. 9. Flexural strength test

۴-۴- آزمایش برخورد گلوله

در این پژوهش ۳۰ عدد دال بتنی به ابعاد ۴۰×۴۰×۷/۵ سانتی-متر بصورت یک‌لایه و سه‌لایه ساخته شده و تحت آزمایش برخورد گلوله با سرعت زیاد قرار گرفتند. دال‌های مورد نظر در ۱۰ نوع متفاوت است، یک نوع بدون الیاف بعنوان نمونه شاهد و دیگر دال‌ها همگی دارای یک درصد الیاف هستند، که تفاوت آن‌ها در نوع و چگونگی ترکیب و چیدمان الیاف در لایه‌هاست. در جدول (۱) جزئیات ساخت دال‌ها آمده‌است. دال‌ها با استفاده از سه اسلحه Kalashnikov، PK Kalashnikov و Dragunov در فاصله ۵۰ متر آزمایش شدند. مشخصات اسلحه‌های مورد استفاده در جدول (۱۱)، و نمایی کلی از انجام آزمایش برخورد گلوله در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۱۰. نتایج آزمایش خمشی

Specimen	Flexural strength (MPa)				
	SP1	SP2	SP3	Ave	SD
S0-N0	4.42	4.98	4.71	4.70	0.28
S1-N0	8.69	9.85	9.16	9.23	0.58
S0-N1	5.5	5.31	5	5.27	0.25
S0.5-N0.5	6.84	9.06	7.32	7.74	1.17

Table 10. Flexural strength test results

این آزمایش نشان می‌دهد الیاف‌های مورد استفاده می‌توانند موجب افزایش مقاومت خمشی شوند، این افزایش برای الیاف فولادی، پلاستیکی و ترکیبی از این دو الیاف به ترتیب ۹۶، ۲۴ و ۶۵ درصد بدست آمد، که نشان دهنده تاثیر بیشتر الیاف فولادی نسبت به الیاف پلاستیکی است. با انجام این آزمایش مشاهده شد که الیاف‌های فولادی و پلاستیکی مطابق شکل

جدول ۱۱. مشخصات اسلحه‌های مورد استفاده:

Gun type	Cartridge	Muzzle velocity (m/s)	Effective firing range (m)	Maximum firing range (m)	Rate of fire (round/min)
Kalashnikov	7.62×39 mmR	715	350	2000	550
PK kalashnikov	7.62×54 mmR	825	1000	3800	650
Dragunov	7.62×54 mmR	830	800	4000	30

Table 11. Characteristics of used guns

شکل ۱۱. آزمایش ضربه گلوله: (a) نمای جانبی (b) نمای روبه رو

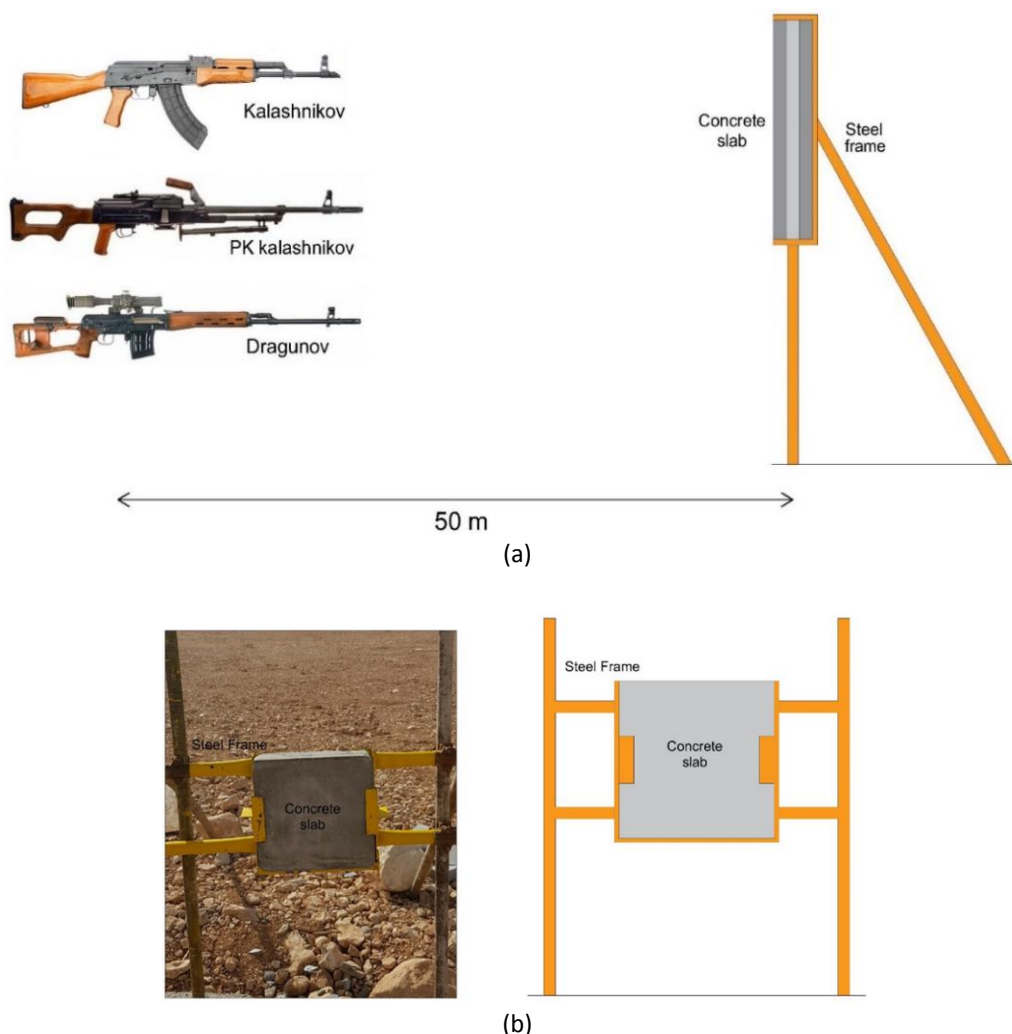


Fig. 11. Projectile impact test: (a) Lateral view (b) Front view

شکل ۱۲. محاسبه ی قطر معادل ناحیه تخریب شده



Fig. 12. Calculate the equivalent diameter of the destroyed area

۴-۴-۱- پارامترهای اندازه گیری شده

برای هر نمونه از دال‌ها سه پارامتر عمق نفوذ، مساحت و حجم ناحیه تخریب شده محاسبه شده است. برای محاسبه مساحت ناحیه تخریب شده در جلو و عقب نمونه، دو قطر عمود برهم (d_1 و d_2) مطابق شکل (۱۲) اندازه‌گیری شد و قطر معادل از رابطه (۴) بدست آمد. با استفاده از قطر معادل محاسبه شده، مساحت ناحیه تخریب شده در جلو و عقب نمونه محاسبه شد.

$$d_{eq} = \sqrt{(d_1 \cdot d_2)} \quad (4)$$

منظور از حجم ناحیه تخریب شده، حجم بتن کنده شده از نمونه بر اثر برخورد گلوله است. این حجم با استفاده از ماسه و ظرف مدرج با دقت نسبتاً بالایی، مطابق شکل (۱۳) محاسبه شده است.

Dragunov و PK Kalashnikov .Kalashnikov به ترتیب در جداول (۱۲، ۱۳ و ۱۴) آمده است. با انجام این آزمایش مشاهده شد که الیاف فولادی می‌تواند تاثیر چشم‌گیری روی افزایش مقاومت دال‌ها در مقابل برخورد گلوله داشته باشد، همچنین با افزایش انسجام دال‌ها از گسترش ترک‌ها جلوگیری کند، این در صورتی است که الیاف پلاستیکی تاثیر به مراتب کمتری نسبت به الیاف فولادی دارد. همچنین مشاهده شد توزیع الیاف‌ها، به گونه‌ای که حجم بیشتری از الیاف در لایه‌های بیرونی و حجم کمتری در لایه میانی باشد، می‌تواند تاثیر بیشتری بر روی کاهش عمق نفوذ گلوله در نمونه‌ها داشته باشد.

شکل ۱۳. محاسبه ی حجم ناحیه تخریب شده



Fig. 13. Calculate the volume of the destroyed area

۲-۴-۴- نتایج آزمایش برخورد گلوله

نتایج برداشت شده از آزمایش برخورد گلوله روی ۳۰ عدد دال بتنی الیافی یک لایه و سه لایه توسط اسلحه‌های

جدول ۱۲. نتایج آزمایش ضربه گلوله با اسلحه Kalashnikov

Specimen	Penetration depth (cm)	Destroyed front area (cm ²)				Destroyed back area (cm ²)				Destroyed volume (cm ³)
		d1	d2	deq	A	d1	d2	deq	A	
S0-N0	7.5	16	16	16	200.96	9	10	9.49	70.70	190
S1-N0	3.9	7	7	7	38.47	0	0	0	0	15
S0-N1	4.9	8	15	10.95	94.12	3.5	3	3.24	8.24	40
S0.5-N0.5	3.9	7	9	7.94	49.49	8	5	6.32	31.35	30
S-FG1	3.1	10	11	10.49	86.38	0	0	0	0	20
N-FG1	4.7	16.5	13	14.65	168.48	0	0	0	0	55
S-N-FG1	4.8	11	10.5	10.75	90.72	2	5	3.16	7.84	30
S-FG2	2.7	9	9	9	63.59	0	0	0	0	25
N-FG2	4.8	11	9.5	10.22	81.99	3	5.5	4.06	12.94	35
S-N-FG2	3.5	12	11	11.49	103.64	3.5	3.5	3.5	9.62	20

Table 12. Tests results projectile impact with Kalashnikov gun

جدول ۱۳. نتایج آزمایش ضربه گلوله با اسلحه

Specimen	Penetration depth (cm)	Destroyed front area (cm ²)				Destroyed back area (cm ²)				Destroyed volume (cm ³)
		d1	d2	deq	A	d1	d2	deq	A	
S0-N0	7.5	16.5	15.5	15.99	200.71	13.5	16	14.70	169.63	220
S1-N0	6	5.5	10	7.42	43.22	12.5	12	12.25	117.80	30
S0-N1	7.5	14	16.5	15.20	181.37	12.5	16	14.14	156.95	200
S0.5-N0.5	7.5	10	7	8.37	54.99	10	3	5.48	23.57	30
S-FG1	7.5	5.5	6.5	5.98	28.07	7.5	8.5	7.98	49.99	20
N-FG1	7.5	13	11	11.96	112.29	10	8	8.94	62.74	110
S-N-FG1	7.5	13	7.5	9.87	76.47	13.5	11	12.19	116.65	80
S-FG2	5.5	8.5	12	10.01	78.66	8	7.5	7.75	47.15	75
N-FG2	7.5	16.5	12.5	14.36	161.87	9	10.5	9.72	74.17	120
S-N-FG1	7.5	8	8	8	50.24	7.5	7	7.25	41.26	40

Table 13. Tests results projectile impact with PK kalashnikov gun

جدول ۱۴. نتایج آزمایش ضربه گلوله با اسلحه

Specimen	Penetration depth (cm)	Destroyed front area (cm ²)				Destroyed back area (cm ²)				Destroyed volume (cm ³)
		d1	d2	deq	A	d1	d2	deq	A	
S0-N0	7.5	17	18	17.49	240.13	16	17	16.49	213.46	620
S1-N0	7.5	6.5	5.5	5.98	28.07	13	10	11.40	102.02	20
S0-N1	7.5	17	14	15.43	186.90	10	12	10.95	94.12	180
S0.5-N0.5	7.5	8	6	6.93	37.70	10	11	10.49	86.38	40
S-FG1	7.5	8	7.5	7.75	47.15	10.5	11.5	10.99	94.81	25
N-FG1	7.5	12	14.5	13.19	136.57	15.5	12	13.64	146.05	100
S-N-FG1	7.5	8.5	8	8.25	53.43	8.5	12	10.01	78.66	25
S-FG2	6	9	5	6.71	35.34	11	8.5	9.67	73.40	15
N-FG1	7.5	15.5	12.5	13.92	152.11	12	10	10.95	94.12	120
S-N-FG1	7.5	7	12.5	9.35	68.63	10	7	8.37	54.99	50

Table 14. Tests results projectile impact with Dragunov gun PK kalashnikov Dragunov

عمق نفوذ برای تمام نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد در نمودار شکل (۱۴) نشان داده شده است.

۴-۴-۴- مساحت ناحیه تخریب شده

مساحت ناحیه تخریب شده جلو و عقب نمونه‌ها بر اثر برخورد گلوله با استفاده از محاسبه قطر معادل، تعیین و با هم مقایسه شد. با مقایسه این نتایج مشخص شد الیاف فولادی تاثیر چشم‌گیری روی کاهش مساحت تخریب شده نمونه‌ها داشته است. بطوری که در بهترین وضعیت، در آزمایش با اسلحه PK kalashnikov در نمونه S-FG1 کاهش ۸۶ درصدی، و در آزمایش با اسلحه‌های Kalashnikov و Dragunov در نمونه‌ی S1-N0 به ترتیب کاهش ۸۱ و ۸۸ درصدی را در مساحت تخریب شده جلو، نسبت به نمونه شاهد مشاهده کردیم. از طرفی الیاف پلاستیکی نسبت به الیاف فولادی تاثیر کمتری بر روی کاهش مساحت تخریب شده داشته و در بهترین وضعیت کاهش ۵۹ درصدی نمونه N-FG2 نسبت به نمونه‌ی شاهد در آزمایش با اسلحه Kalashnikov مشاهده شد. علاوه بر این بکار بردن الیاف‌های فولادی و پلاستیکی موجب کاهش مساحت تخریب شده عقب نمونه‌ها نیز شد. در بهترین حالت در آزمایش با اسلحه‌های Kalashnikov، PK kalashnikov و Dragunov مساحت تخریب شده عقب نمونه‌ها به ترتیب ۷۶، ۷۴ و درصد نسبت به نمونه شاهد بهبود داشت. استفاده از الیاف‌ها بصورت چند لایه در کاهش مساحت ناحیه تخریب شده، عملکردی تقریباً مشابه دال‌های یک لایه داشت. درصد کاهش

شکل ۱۴. کاهش عمق نفوذ گلوله (%)

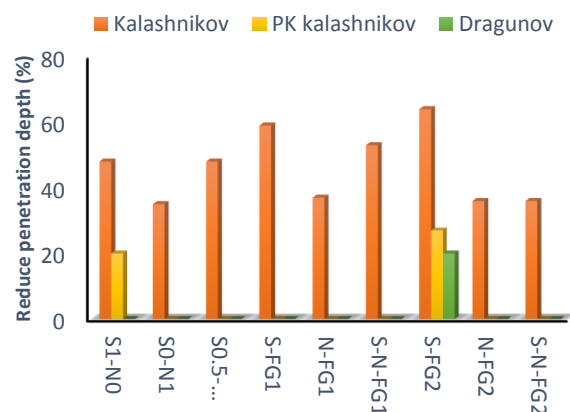


Fig. 14. Reduce projectile penetration depth (%)

۴-۴-۳- عمق نفوذ

در بهترین وضعیت عمق نفوذ، نمونه S-FG2 نسبت به نمونه شاهد کاهش ۶۴ درصدی را دارا بوده است. نتایج نشان دهنده آن است که ضخامت ۷/۵ سانتی‌متر برای اسلحه Kalashnikov مناسب، اما برای اسلحه‌های PK Kalashnikov و Dragunov کم است، بطوری که گلوله خارج شده از این اسلحه‌ها جز از نمونه‌های S1-N0 و S-FG2 در اسلحه PK kalashnikov و نمونه S-FG2 در اسلحه Dragunov از بقیه نمونه‌ها نفوذ کامل داشته است. این نتایج نشان دهنده تاثیر بالای الیاف فولادی بر روی کاهش عمق نفوذ می‌باشد. از طرفی الیاف پلاستیکی تاثیر به مراتب کمتری نسبت به الیاف فولادی در کاهش عمق نفوذ دارد. استفاده چندلایه از الیاف‌ها می‌تواند تاثیر بیشتری در کاهش عمق نفوذ داشته باشد، به‌طوری که در دو مورد از سه اسلحه مورد استفاده، بهترین عملکرد عمق نفوذ را دال سه لایه‌ی S-FG2 به خود اختصاص داده است. درصد کاهش

۴-۴-۵- حجم ناحیه تخریب شده

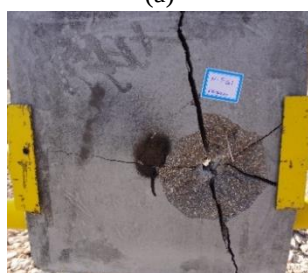
در این آزمایش با استفاده از ماسه و ظرف مدرج با دقت تقریباً بالایی توانسته شد حجم حفره ایجاد شده در نمونه‌ها در اثر برخورد گلوله اندازه‌گیری شود. مشاهده شد هر دو نوع الیاف فولادی و پلاستیکی می‌توانند در کاهش حجم حفره ایجاد شده موثر باشند. این در حالی است که بیشترین درصد کاهش حجم حفره در نمونه‌های دارای الیاف فولادی بوده است. به گونه‌ای که در نمونه S-FG2 در آزمایش با اسلحه Dragunov شاهد کاهش ۹۸ درصدی حجم حفره نسبت به نمونه شاهد بودیم. عملکرد دال‌های چندلایه در کاهش حجم حفره ایجاد شده تفاوت زیادی با نمونه‌های یک لایه نداشته و عملکرد این دال‌ها تقریباً یکسان بوده است. نمودار شکل (۱۹) درصد کاهش حجم تخریب شده نمونه‌ها را نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد. علاوه بر این، مشاهده شد به کار بردن الیاف فولادی موجب انسجام بیشتر نمونه‌ها شده و از گسترش ترک‌ها در سطح نمونه جلوگیری به عمل می‌آورد، به گونه‌ای که تفاوت در میزان ترک‌های ایجاد شده در نمونه‌های دارای الیاف فولادی نسبت به نمونه‌های بدون الیاف و دارای الیاف پلاستیکی کاملاً مشهود است (شکل ۱۸).

شکل ۱۸. میزان انسجام و ایجاد ترک در نمونه (a) بدون الیاف (b) دارای

الیاف پلاستیکی (c) دارای الیاف فولادی



(a)



(b)

مساحت ناحیه تخریب شده جلو و عقب نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد به ترتیب در نمودار اشکال (۱۵ و ۱۶) و نمونه‌ای از کاهش مساحت ناحیه تخریب شده در شکل (۱۷) نشان داده شده است.

شکل ۱۵. کاهش مساحت تخریب شده جلو (%)

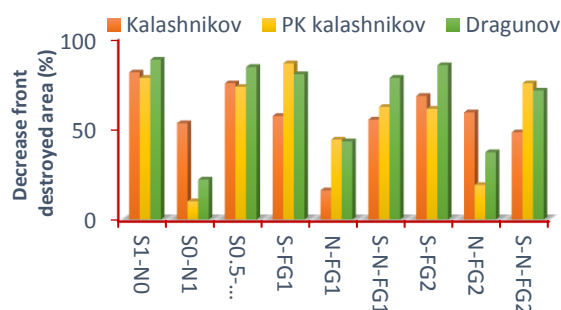


Fig. 15. Decreased area of the front destroyed area (%)

شکل ۱۶. کاهش مساحت تخریب شده عقب (%)

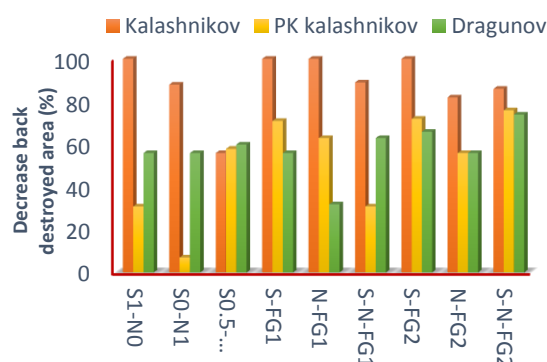


Fig. 16. Decreased area of the back destroyed area (%)

شکل ۱۷. کاهش ناحیه تخریب شده (a) جلو (b) پشت نمونه



(a)



(b)

Fig. 17. Decreased destroyed area (a) front (b) back the specimen

مقاومت خمشی شود. این افزایش مقاومت برای الیاف پلاستیکی ۱۶ درصد بوده است. همچنین الیاف‌های فولادی و پلاستیکی با ایجاد دوختگی در ترک خمشی ایجاد شده در تیرها، موجب افزایش قابل توجه شکل پذیری شدند.

۴- نتایج به دست آمده از آزمایش میدانی برخورد گلوله نشان می‌دهد الیاف فولادی و پلاستیکی می‌توانند در بهبود رفتار دال‌ها در مقابل ضربه موثر باشند. اما تاثیر الیاف فولادی بسیار بیشتر از الیاف پلاستیکی است. به طوری که افزودن ۱ درصد الیاف فولادی در بهترین وضعیت توانست عمق نفوذ، مساحت و حجم ناحیه تخریب شده را به ترتیب ۶۴، ۸۸ و ۹۸ درصد کاهش دهد. این در صورتی است که افزودن یک درصد الیاف پلاستیکی در بهترین وضعیت این پارامترها را به ترتیب ۳۷، ۵۹ و ۸۴ کاهش داد.

۵- دال‌های چندلایه که در آن‌ها حجم ثابت ۱ درصد از الیاف به گونه‌ای توزیع شده که مقدار الیاف در لایه‌های کناری بیشتر از لایه میانی است، در پارامتر عمق نفوذ عملکردی بهتر، و در پارامترهای مساحت و حجم ناحیه تخریب شده عملکردی مشابه دال‌های یک لایه داشتند.

۶- دال‌های دارای الیاف فولادی نسبت به دال‌های بدون الیاف و دارای الیاف پلاستیکی دارای انسجام بیشتری بوده و گسترش ترک‌ها در این دال‌ها بطور قابل توجهی بهبود پیدا کرد.

سپاسگزاری

از سازمان بسیج علمی پژوهشی شهرستان خرم‌آباد و سازمان سپاه انقلاب اسلامی جهت همکاری در انجام آزمایش برخورد گلوله کمال تشکر و قدردانی را داریم.

حمایت مالی

«این پژوهش هیچ کمک هزینه خاصی از هیچ مؤسسه سرمایه‌گذار در بخش عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرده است.»



(c)

Fig. 18. Coherence and create a crack in the (a) non fibrous (b) with nylon fiber (c) with steel fiber specimens

شکل ۱۹. کاهش حجم تخریب شده (%).

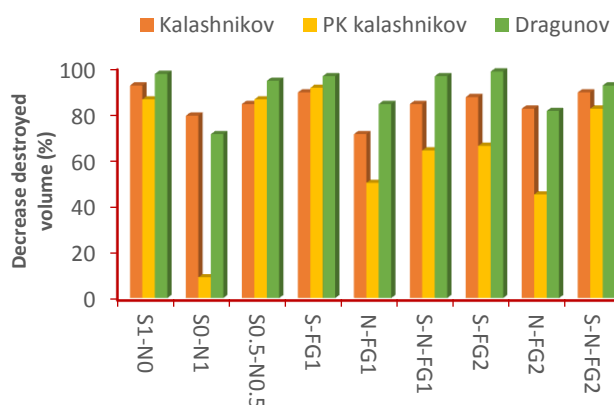


Fig. 19. Decreased volume of the destroyed area (%)

۵- نتیجه گیری

۱- افزودن الیاف فولادی و پلاستیکی نمی‌تواند تاثیر زیادی بر روی مقاومت فشاری بتن داشته باشد، به گونه‌ای که این تاثیر برای هر دو نوع الیاف و همچنین ترکیبی از آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد است.

۲- مطابق نتایج به دست آمده از آزمایش مقاومت کششی مشاهده شد الیاف فولادی می‌تواند تاثیر بسیار زیادی روی مقاومت کششی بتن داشته باشد. افزودن یک درصد الیاف فولادی به بتن، تقریباً باعث افزایش ۲/۵ برابری مقاومت کششی شده است، در صورتی که الیاف پلاستیکی تاثیر بسیار کمتری دارد و افزودن یک درصد از این الیاف باعث افزایش ۱۶ درصدی مقاومت کششی شده است.

۳- نتایج آزمایش خمشی تیرها نشان از تاثیر بالای الیاف فولادی روی مقاومت خمشی دارد، به طوری که افزودن ۱ درصد الیاف فولادی می‌تواند باعث افزایش تقریباً ۲ برابری

۶- مراجع

References

- [7] G. Ramakrishna, T. Sundararajan. Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs. a comparative study, J. Cem. Concr. Compos. 27, pp. 547-553. (2005).
- [8] M.H. Zhang, V.P.W. Shimb, G. Lua, C.W. Chewa. Resistance of high-strength concrete to projectile impact. J. Impact Eng. 31; pp. 825-841. (2005).
- [9] M. Mastali, M. Ghasemi Naghibdehi, M. Naghipour, S.M. Rabiee. Experimental assessment of functionally graded reinforced concrete (FGRC) slabs under drop weight and projectile impacts. Construction and Building Materials 95; pp. 296-311. (2015).
- [10] h. khoda rahmi, A. Azizian, Exorimental study of penetration depth of the projectile in HPC targets. J. omran modares 15, pp. 141-148 (2016) [in Persian].
- [11] Ong K.C.G., Basheerkhan, M., Paramasivam, P.. "Resistance of fiber concrete slabs to low velocity projectile impact.", Cement & Concrete Composites 21 pp 391-401. (1999).
- [12] Qureshi L A et al. Effect of mixing steel fibers and silica fume on properties of high strength concrete, Proceedings Int Conference Concrete: Construction sustainable option, Dundee. UK, PP 173-185. (2008).
- [1] Sh.Tahooni. Design of reinforced concrete structures. Tehran university press. 7 edition, pp 4-5 (2005) [in persian].
- [2] Wild S, Sabir BB, Khatib JM. Factors influencing strength development of concrete containing silica fume. Cement Concrete Res, Vol 25, No. 7, pp. 1567-1580, (1995).
- [3] Bartos, P.J.M, Gibbs, J.C. and Zhu, W. Uniformity of in situ properties of Self-Compacting Concrete in full scale structural elements. Cement and Concrete Composites, pp. 174-190 (2001).
- [4] Dancygier A.N., Yankelevsky D.Z., Jaegermann C. Response of high performance concrete plates to impact of non-deforming projectiles. International Journal of Impact Engineering 34, pp. 1768-1779. (2007).
- [5] Richard P. and Cheyrezy M.H. Composition of Reactive Powder Concrete. Cement and Concrete Research; 25; pp. 1501-1511. (1995).
- [6] Pramana J.H, Abdul Samad A.A, Ahmad Ziadi A.M. and Riza V. Preliminary study on lightweight concrete under ballistic loading. European Journal of Scientific Research; 44; pp. 285-299. (2010).

Impact resistance of multi-layer slabs made with (HPSCC) reinforced by fiber under the projectile impact at high speed

A.Sahraei moghadam¹, F.Omidinasab^{2*}, A.Dalvand³

1- Master Student Civil Engineering of Lorestan University, Khoramabad, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Lorestan University, Khoramabad, Iran

3- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Lorestan University, Khoramabad, Iran

*omidinasab.f@lu.ac.ir

Abstract

In this study, the impact strength multi-layer slabs reinforced by steel and nylon fibers, as well as the combination of these two fibers under the influence high velocity projectile, was investigated. To achieve this goal, 30 slabs one layer and three layers with dimensions $40 \times 40 \times 7.5$ cm were reinforced by 1% of the fiber, 30 slabs made 10 different models, each with 3 models sample was made. A non-fiber model, as a control sample, and other slab specimens all have a constant volume 1 percent fiber, the difference being in the type and composition the fibers in different layers the slabs. The slabs were made with Kalashnikov, PK Kalashnikov and Dragunov guns at a distance 50 meters tested. In the test the projectile's encounter, three parameters penetration depth, area the damaged front and rear area and the volume damaged area in the samples were calculated and compared. Based on the results obtained, steel fibers can increase the resistance concrete slabs against the impact the projectile and reduce the surface area and volume the damaged area and significantly reduce the penetration depth. Steel fibers at best reduced the penetration depth 64 % in the Kalashnikov gun and reduced the area and volume the damaged area in the Dragunov weapon by 88 % and 98 % respectively. Also, steel fibers can prevent crack expansion by increasing the bond strength, provided that the fibers the nylon have a much lower impact than steel fibers. the nylon fiber could reduce the penetration depth and demolition area the sample in Kalashnikov weapon by 37 % and 59 %, respectively, and reduce the volume damaged area in the Dragunov weapon by 84 %, respectively. In addition, in this research, 12 samples cubic pressure were placed on the side 10 cm, 12 cylindrical tensile samples 10×20 cm and 12 small bending beams with dimensions $32 \times 8 \times 6$ cm and tested. It was observed that steel and nylon fibers cannot have a significant effect on the compressive strength, As a result the addition one percent the steel fiber, nylon and a combination these, this increase is 7.7, 2.6 and 6.4 %, which can be neglected. but steel fibers can significantly increase the tensile and flexural strength the concrete. addition one percent the steel fiber could create a 2.5 – times increase in tensile strengths and increase the resistance 2 - times in bending specimens. This is the nylon fibers do not have a significant impact on the tensile and flexural strength. Adding one percent the nylon fibers in the tensile and flexural samples could increase the resistance these specimens by 16 % and 24 % respectively. It was observed in the bending test of beams that steel and nylon fibers can be bent by bending in the cracks to increase the shape the weld so that the change in the maximum area the beam with the addition one percent steel fiber from about 4 mm in the control sample increase to about 25 mm.

Keywords: impact resistance, multilayer slabs, steel fiber, nylon fiber, projectile impact