

## مقاومت ضربه‌ای دال‌های چندلایه ساخته شده با بتن توانمند خود تراکم الیافی هیبریدی تحت اثر ضربه وزنه افتان

امیرحسین صحرایی مقدم

کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

فریدون امیدی نسب \*

استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

احمد دالوند

استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

### چکیده

در این تحقیق مقاومت ضربه‌ای دال‌های چندلایه بتنی الیافی تحت اثر ضربه وزنه افتان بررسی شده است. تعداد ۳۰ عدد دال بتنی یک لایه و سه لایه با ابعاد  $400 \times 400 \times 75$  میلی متر ساخته و آزمایش شد. دال‌ها از ۱۰ مدل متفاوت می‌باشند، یک مدل بدون الیاف بعنوان نمونه شاهد و دیگر دال‌ها همگی دارای حجم ثابت ۱ درصد الیاف در کل دال می‌باشند، در صورتی که نوع و درصد الیاف در لایه‌ها متغیر است. بر روی دال‌های ساخته شده آزمایش ضربه وزنه افتان انجام شد. در این آزمایش گوی فولادی به وزن  $5/8$  کیلوگرم در فاصله  $1/5$  متری به صورت مکرر بر روی دال‌ها ضربه زده و تعداد ضربه برای ایجاد اولین ترک و انهدام در دال ثبت شده است. نتایج آزمایش نشان دهنده تاثیر بسیار بالای الیاف فولادی و تاثیر ناچیز الیاف پلاستیکی بر روی مقاومت ضربه‌ای دال‌ها می‌باشد. دال‌های با چیدمان چندلایه در مقاومت اولین ترک عملکردی مشابه دال‌های یک لایه با الیاف یکنواخت دارند، اما مقاومت نهایی و جذب انرژی این دال‌ها نسبت به دال‌های یک لایه افزایش می‌یابد، که علت آن می‌تواند افزایش درصد الیاف در لایه‌های بیرونی و آرایش صفحه‌ای الیاف در لایه‌ها باشد.

واژه‌های کلیدی: دال‌های چندلایه، الیاف فولادی، الیاف پلاستیکی، مقاومت ضربه‌ای، وزنه افتان.

\* نویسنده مسئول:omidinasab.f@lu.ac.ir

## ۱- مقدمه

بتن حاوی نسل جدید الیاف‌های پلیمری و الیاف فولادی را باهم مقایسه کردند. در این تحقیق جذب انرژی تیرهای بتنی توسط دستگاه آزمایش وزنه افتان اندازه‌گیری شد و مشاهده شد تیرهای دارای الیاف فولادی دارای جذب انرژی به مراتب بالاتری می‌باشند. نتایج تحقیقات لی و دننگ [۱۵] نیز نشان می‌دهد استفاده از ۱/۵ درصد حجمی الیاف فولادی و پلیمری موجب افزایش مقاومت ضربه‌ای بتن می‌شود در صورتی که این افزایش برای الیاف فولادی به مراتب بیشتر است.

## ۲- ضرورت انجام تحقیق

اکثر تحقیقات انجام گرفته تاکنون بر روی مقاومت ضربه‌ای دال‌های یک لایه و همچنین دال‌های دارای یک نوع الیاف صورت گرفته است. تاکنون تحقیقات اندکی بر روی نمونه‌های هیبریدی دارای ترکیبی از بیش از یک نوع الیاف و همچنین مقاومت ضربه‌ای دال‌های چندلایه با تغییر درصد حجم الیاف و نوع الیاف در لایه‌ها صورت گرفته است. بنابراین در این تحقیق به بررسی مقاومت ضربه‌ای دال‌های بتنی چندلایه ساخته شده با بتن توانمند خود تراکم مسلح شده به دو نوع الیاف فولادی و پلاستیکی می‌پردازیم. در بیشتر تحقیقات انجام گرفته تا کنون آزمایش با استفاده از دستگاه پیشنهاد شده توسط آیین نامه ACI-544 انجام گرفته است. جرم وزنه افتان در این آیین نامه ۴/۵۴ کیلوگرم و ارتفاع سقوط ۴۵۷ میلی متر می‌باشد [۱۶]. وزنه ۴/۵۴ کیلوگرمی و ارتفاع ۴۵۷ میلی متر برای دیسک‌های ساخته شده با بتن‌های معمولی مناسب است اما استفاده از بتن توانمند و اضافه کردن الیاف به بتن باعث افزایش بسیار زیاد تعداد ضربه‌های شکست در این آزمایش می‌شود [۱۷]. این امر موجب طولانی شدن زمان آزمایش و کاهش دقت می‌گردد، به همین علت در این تحقیق وزن گوی و ارتفاع دستگاه آزمایش وزنه افتان افزایش داده شده و از گوی ۵/۸ کیلوگرمی و ارتفاع ۱/۵ متر استفاده شده است.

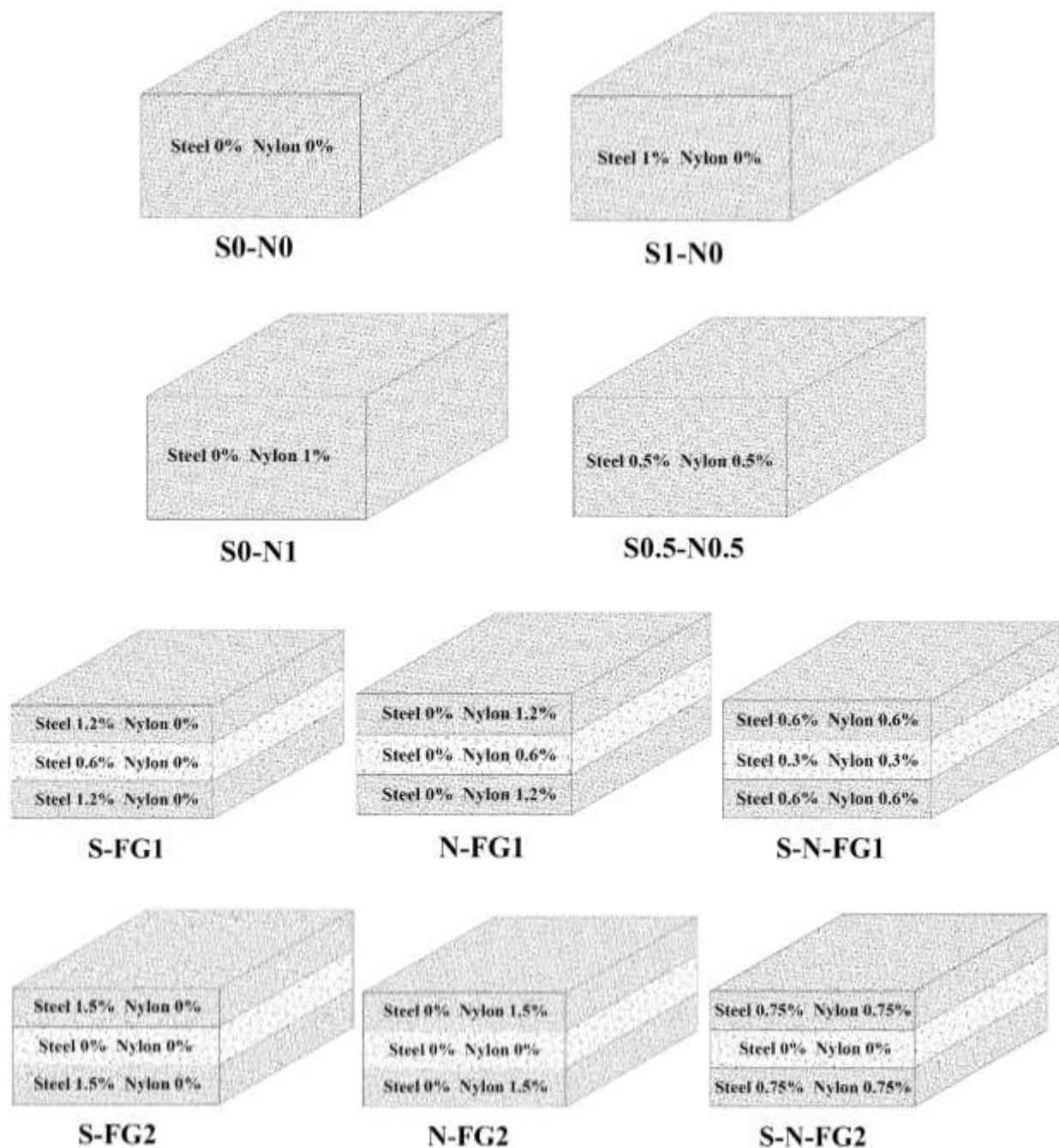
## ۳- برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق برای آزمایش مقاومت فشاری ۱۲ عدد نمونه مکعبی با ضلع ۱۰۰ میلی متر، برای آزمایش کشش برزیلی و آزمایش مقاومت خمشی نیز به ترتیب ۱۲ عدد نمونه‌ی استوانه‌ای به ابعاد ۲۰۰×۱۰۰ میلی متر و ۱۲ عدد تیر خمشی کوچک به ابعاد

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 در قالب و شکل‌های مختلف و مقاومت فشاری بالا از جمله عواملی است که باعث مقبولیت عمومی استفاده از بتن به عنوان یک مصالح ساختمانی شده است [۱]. بتن با مقاومت بالا (توانمند) به بتن‌هایی اطلاق می‌شود که دارای مقاومت فشاری بالاتر از ۴۲ مگاپاسکال باشند [۲] [۳]. بتن خود تراکم برای اولین بار برای دستیابی به ساختار بتن پایدار در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید و مطالعات اولیه پیرامون بتن خود تراکم توسط Ozawa در سال ۱۹۸۹ و Okamura در سال ۱۹۹۳ در دانشگاه توکیو انجام گرفت [۴] [۵] [۶]. و مطابق تعریف بارتوس [۷] بتن خود تراکم 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 استفاده از الیاف‌های مختلف می‌تواند مقاومت بتن در مقابل بارهای دینامیکی مانند بار وارده در اثر برخورد ضربه را بالا ببرد [۸]. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد حتی استفاده به میزان کم از الیاف، مقاومت ضربه‌ای و اختلاف بین مقاومت ضربه‌ای اولین ترک و مقاومت ضربه‌ای نهایی را نسبت به بتن معمولی افزایش می‌دهد. در مورد میزان افزایش مقاومت ضربه‌ای بتن الیافی نسبت به بتن معمولی اعداد مختلفی ذکر شده است، که از جمله مهم‌ترین دلایل آن تفاوت در ترکیبات و نوع و مشخصات الیاف مورد استفاده می‌باشد [۹] [۱۰]. افزودن الیاف به بتن می‌تواند باعث افزایش جذب انرژی و بهبود مقاومت ضربه‌ای بتن شود و همچنین از گسترش ترک‌ها جلوگیری بعمل آورد. همچنین الیاف‌های کوتاه و مجزا می‌تواند باعث به تاخیر افتادن توزیع ترک‌های ناشی از برخورد ضربه شود. این امر ناشی از این علت است که الیاف همانند پلی بر روی ترک‌ها عمل کرده و از گسترش آن‌ها جلوگیری می‌کند [۱۱] [۱۲]. کریشنا و همکاران [۸] نشان دادند که استفاده از الیاف طبیعی در بتن سبب افزایش ۳ تا ۱۸ برابری مقاومت آن در مقابل ضربه در مقایسه با بتن بدون الیاف می‌گردد. سروش‌نیا و همکاران [۱۳] نشان دادند که اثر الیاف پلیمری متداول در افزایش مقاومت ضربه‌ای اولین ترک و نهایی بیشتر از اثر آن‌ها در افزایش مقاومت خمشی و طاقت بتن است. در تحقیق دیگری بانزیا و همکاران [۱۴] مقاومت ضربه‌ای

ترکیبی از آن‌ها در ۱۰ مدل مختلف ساخته شده است که یک مدل بدون الیاف بعنوان نمونه شاهد و دیگر مدل‌ها همگی دارای یک درصد الیاف می‌باشند که تفاوت آن‌ها در نوع، نحوه ترکیب و چیدمان الیاف‌هاست. جزئیات دال‌های ساخته شده در شکل (۱) آمده است. دال‌های ساخته شده با استفاده از دستگاه وزنه افتان مورد آزمایش قرار می‌گیرند.

۳۲۰×۸۰×۶۰ میلی متر با مقدار ۱ درصد الیاف فولادی، ۱ درصد الیاف پلاستیکی و ۰/۵ درصد الیاف فولادی و ۰/۵ درصد الیاف پلاستیکی و یک نمونه بدون الیاف بعنوان نمونه شاهد ساخته شد. جزئیات نمونه‌های ساخته شده در جدول (۱) نشان داده شده است. در این تحقیق همچنین ۳۰ عدد دال یک لایه و سه لایه با ابعاد ۴۰۰×۴۰۰×۷۵ میلی متر مسلح شده به الیاف فولادی، پلاستیکی و



شکل ۱- جزئیات درصد حجم و نوع الیاف در دال‌ها

جدول ۱- ابعاد و میزان الیاف در نمونه‌های فشاری، کششی و خمشی

شماره	نام	حجم الیاف (%)		ابعاد نمونه فشاری (mm)	ابعاد نمونه کششی (mm)	ابعاد نمونه خمشی (mm)
		فولادی	پلاستیکی			
۱	S0-N0	۰	۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰	۱۰۰×۲۰۰	۳۲۰×۸۰×۶۰
۲	S1-N0	۱	۰	۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰	۱۰۰×۲۰۰	۳۲۰×۸۰×۶۰
۳	S0-N1	۰	۱	۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰	۱۰۰×۲۰۰	۳۲۰×۸۰×۶۰
۴	S0.5-N0.5	۰/۵	۰/۵	۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰	۱۰۰×۲۰۰	۳۲۰×۸۰×۶۰



شکل ۲- الیاف‌های فولادی و پلاستیکی مورد استفاده

### ۳-۱- مصالح مصرفی

در این تحقیق در ساخت نمونه‌ها از سیمان پرتلند نوع ۲ کارخانه سیمان شهر درود استفاده شده است. در این تحقیق از الیاف‌های فولادی دوسر قلاب به طول ۵۰ میلی متر و ضخامت ۰/۸ میلی متر و الیاف‌های پلاستیکی به طول ۴۰ میلی متر و عرض ۳ میلی متر نشان داده شده در شکل (۲) استفاده شده است. خصوصیات الیاف فولادی و الیاف پلاستیکی مورد استفاده به ترتیب در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است. در ساخت نمونه‌ها از مصالح سنگی ریزدانه استفاده شده که همگی این مصالح سنگی مورد استفاده عبوری از الک نمره ۸ می‌باشند. همچنین برای ایجاد کارایی لازم، در ساخت بتن مورد نیاز از فوق روان کننده‌ی کربوکسیلاتی با نام تجاری Desubuild 10 استفاده شده است. طرح اختلاط به کار برده شده برای ساخت نمونه‌ها نیز در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات الیاف فولادی مورد استفاده

مدول یانگ (GPa)	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	L/D	طول (mm)	نوع الیاف
۲۰۰	۷۸۵۰	۶۲/۵	۵۰	فولادی

جدول ۳- مشخصات الیاف پلاستیکی مورد استفاده

مدول یانگ (GPa)	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	عرض (mm)	طول (mm)	نوع الیاف
۲/۲	۹۲۰	۳	۴۰	پلاستیکی

جدول ۴- طرح اختلاط مورد استفاده

فوق روان کننده (Kg/m <sup>3</sup> )	آب (Kg/m <sup>3</sup> )	W/C	سیمان (Kg/m <sup>3</sup> )	ماسه (Kg/m <sup>3</sup> )
۴/۸	۴۵۳	۰/۳۸	۱۲۰۰	۱۲۰۰

### ۳-۲- کارایی بتن مورد استفاده

آزمایش‌های لازم برای بررسی کارایی بتن خود تراکم مانند اسلامپ روانی، جعبه L، جعبه U و قیف V که در شکل (۳) نحوه انجام آن نشان داده شده است، انجام شد، تا از خاصیت روانی و خود تراکم بودن بتن مورد استفاده اطمینان حاصل شود. همچنین اثر افزودن الیاف فولادی و پلاستیکی نیز بر روانی و کارایی بتن، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها در جدول (۵) آمده است. اسلامپ روانی بتن بدون الیاف طرح اختلاط مورد نظر ۷۳۰ میلی متر بدست آمد، که نشان از کارایی بالا و خود تراکم بودن بتن مورد استفاده دارد. افزودن ۱ درصد از الیاف‌های فولادی و پلاستیکی به ترتیب موجب کاهش ۱۲۰ و ۴۰ میلی متری اسلامپ

شدن، الیاف‌های فولادی و پلاستیکی در مرحله‌ی آخر به میکسر اضافه شدند. نمونه‌های مورد نیاز اعم از نمونه‌های فشاری، کششی، خمشی و دال‌ها در قالب‌های مناسب ریخته شده و با استفاده از پوشش پلاستیکی از جذب آب بتن توسط قالب‌های چوبی جلوگیری بعمل آمد. نمونه‌ها بعد از ۲۴ ساعت از قالب جدا و به مدت ۲۸ روز در فضایی مرطوب عمل آوری شدند. نحوه بتن ریزی نمونه‌ها و نمایی از نمونه‌های ساخته شده به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.



شکل ۴- نحوه بتن ریزی نمونه‌ها



شکل ۵- نمونه‌های ساخته شده

#### ۴- انجام آزمایش‌ها

##### ۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بر روی ۱۲ عدد نمونه مکعبی با اضلاع ۱۰۰ میلی متر با استفاده از جک فشاری ۲۰۰ تنی بر اساس استاندارد ASTM C39 مطابق شکل (۶) انجام شده و مقاومت فشاری به

روانی شدند. با توجه به نتایج بدست آمده افزودن الیاف فولادی می‌تواند بر خود تراکم بودن بتن تاثیر منفی داشته باشد و موجب کاهش کارایی بتن مورد استفاده را شود. اما الیاف پلاستیکی تاثیر به مراتب کمتری نسبت به الیاف فولادی بر روی کارایی بتن داشته و به راحتی می‌توان این الیاف را با بتن مخلوط کرد.



شکل ۳- نحوه انجام آزمایش قیف V

##### جدول ۵- نتایج آزمایش‌های بتن خود تراکم

آزمایش	طرح اختلاط			
	S0-N0	S1-N1	S0-N1	S0.5-N0.5
اسلامپ روانی (mm)	۷۳۰	۶۱۰	۶۹۰	۶۳۰
قیف V (s)	۳/۲۱	۵/۹۷	۴/۰۱	۵/۳۶
جعبه L (H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub> )	۰/۹۴	۰/۷۹	۰/۸۴	۰/۸۰
جعبه U (H <sub>1</sub> -H <sub>2</sub> ) (mm)	۱۲۰	۱۸۰	۱۴۰	۱۷۰

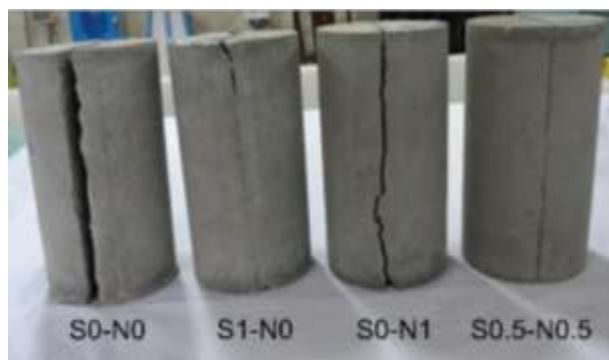
#### ۳-۳- ساختن نمونه‌ها

مراحل ساخت بتن‌های الیافی به گونه‌ای بود که ابتدا ماسه و سیمان بصورت خشک در میکسر مخلوط شده و ۹۰ درصد آب مورد نیاز بصورت تدریجی به مخلوط اضافه شد و سپس فوق روان کننده با آب باقی مانده ترکیب و به بتن اضافه شد. برای جلوگیری از گلوله

بر 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. افزودن الیاف فولادی و پلیاستیکی موجب افزایش انسجام نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های بدون الیاف شده است که این موضوع در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۸- نحوه انجام آزمایش مقاومت کششی



شکل ۹- تفاوت در مود شکست کششی نمونه‌ها

### ۳-۴- آزمایش مقاومت خمشی

بر روی ۱۲ عدد تیر کوچک خمشی به ابعاد ۳۲۰×۸۰×۶۰ میلی متر آزمایش خمش سه نقطه‌ای (اعمال یک بار متمرکز در وسط دهانه) بر اساس استاندارد ASTM C293 انجام گرفت. دستگاه آزمایش خمش و نمای کلی از این آزمایش در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با انجام این آزمایش حداکثر بار خمشی تحمل شده توسط نمونه‌ها برداشت و توسط رابطه (۲) مقاومت خمشی نمونه محاسبه شده، این مقادیر در جدول (۶) نشان داده شده است.

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

صورت نسبت نیروی وارده بر سطح تماس محاسبه گردید. مقاومت فشاری ۱۲ نمونه مکعبی محاسبه و در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که افزودن ۱ درصد الیاف فولادی و پلیاستیکی و ۰/۵ درصد از هر کدام از این الیاف‌ها به ترتیب ۷/۷، ۲ و ۶/۴ درصد مقاومت فشاری را افزایش می‌دهند. بنابراین الیاف فولادی و پلیاستیکی نتوانسته‌اند افزایش مقاومت قابل توجهی را در نمونه‌های فشاری ایجاد نمایند و این افزایش مقاومت قابل چشم پوشی است. افزودن الیاف فولادی باعث افزایش انسجام نمونه‌های فشاری شده که این موضوع در مود شکست فشاری نمونه‌های نشان داده شده در شکل (۷) قابل مشاهده است.



شکل ۶- نحوه انجام آزمایش مقاومت فشاری



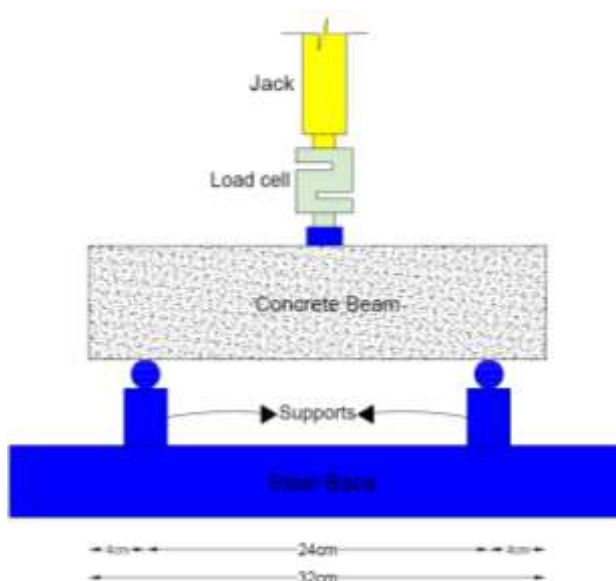
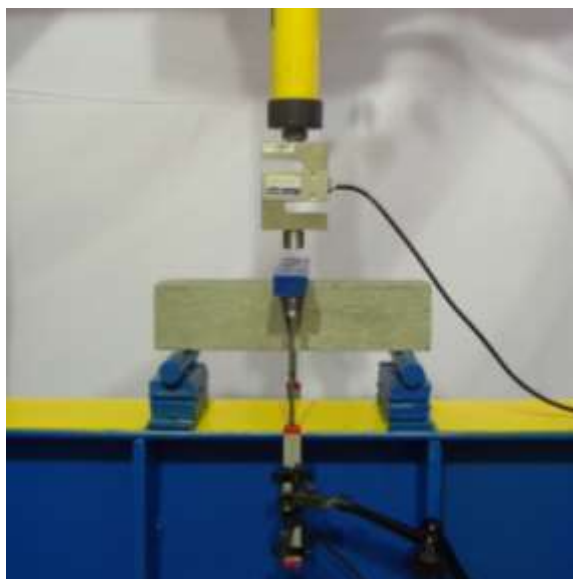
شکل ۷- تفاوت در مود شکست فشاری نمونه‌ها

### ۲-۴- آزمایش مقاومت کششی

تست کششی بر اساس استاندارد ASTM C496 بصورت آزمایش کشش برزیلی (دو نیم شدن) بر روی ۱۲ عدد نمونه استوانه‌ای به ابعاد ۲۰۰×۱۰۰ میلی متر مطابق شکل (۸) انجام و مقاومت کششی نمونه‌ها از طریق رابطه (۱) محاسبه شده است.

$$\text{مقاومت کششی} = \frac{2P}{\pi.L.d} \quad (1)$$

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت کششی در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد الیاف فولادی بیشترین تاثیر را



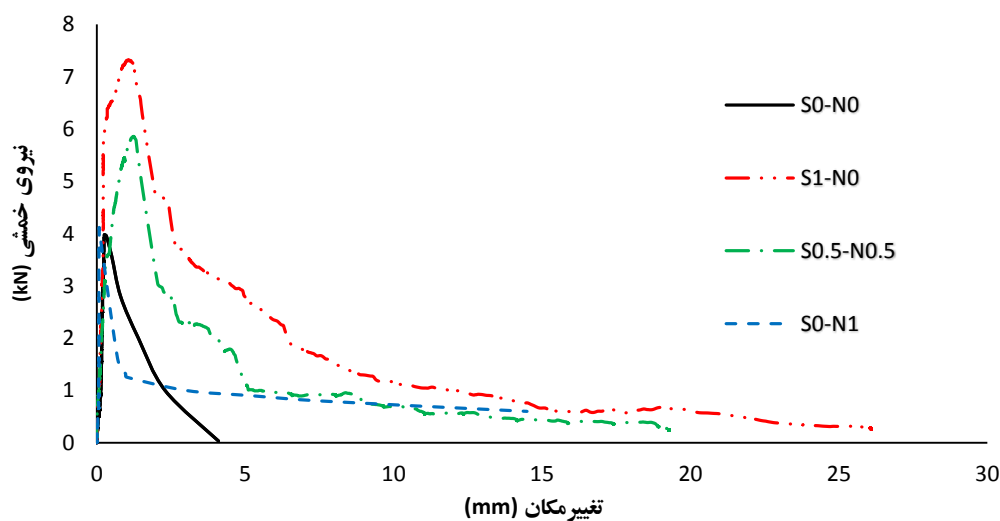
شکل ۱۰- نحوه انجام آزمایش مقاومت خمشی تیرها

حدود ۴ میلی متر در نمونه شاهد به حدود ۲۵ میلی متر در نمونه S1-N0 افزایش داد. این موضوع در نمودار نیرو-جابجایی تیرها در شکل (۱۲) قابل مشاهده است.



شکل ۱۱- دوختگی ترک خمشی تیرها توسط الیاف‌ها

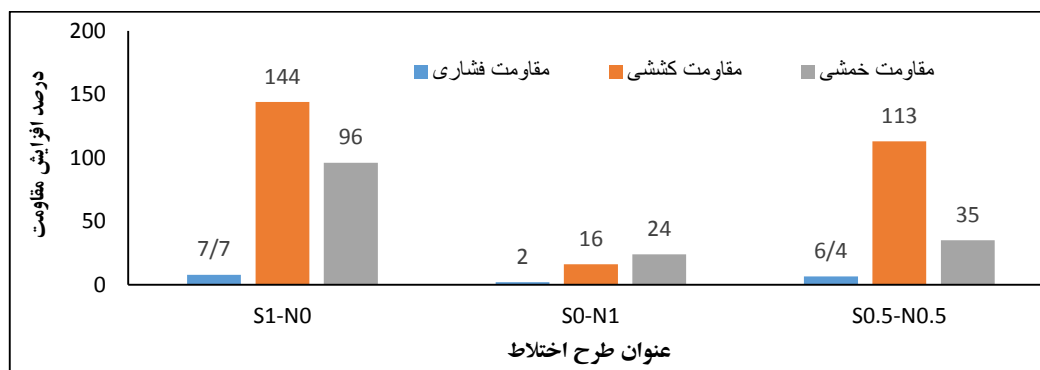
آزمایش خمشی نشان می‌دهد الیاف‌های مورد استفاده می‌توانند موجب افزایش مقاومت خمشی شوند، این افزایش برای الیاف فولادی، پلاستیکی و ترکیبی از این دو الیاف به ترتیب ۹۶، ۲۴ و ۶۵ درصد نسبت به نمونه شاهد می‌باشد که نشان دهنده تاثیر بیشتر الیاف فولادی نسبت به الیاف پلاستیکی می‌باشد. با انجام این آزمایش مشاهده شد که الیاف‌های فولادی و پلاستیکی می‌توانند مطابق شکل (۱۱) با ایجاد دوختگی در ترک خمشی ایجاد شده در تیرها موجب افزایش شکل پذیری شوند، بطوری که افزودن ۱ درصد الیاف فولادی جابجایی حداکثر در لحظه گسیختگی را از



شکل ۱۲- نمودار بار-تغییر مکان تیرها

جدول ۶- نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، کششی و خمشی

نمونه	مقاومت نمونه‌های فشاری (MPa)				مقاومت نمونه‌های کششی (MPa)				مقاومت نمونه‌های خمشی (MPa)			
	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	میانگین	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	میانگین	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	میانگین
S0-N0	۷۷/۳	۶۸/۷	۷۷/۶	۷۴/۵	۲/۴۵	۳/۶۹	۳/۷۹	۳/۳۱	۴/۴۲	۴/۹۸	۴/۷۱	۴/۷
S1-N0	۸۱/۳	۸۲/۶	۷۴/۱	۷۹/۳	۸/۵۳	۶/۳۷	۹/۳	۸/۰۷	۸/۶۹	۹/۸۵	۹/۱۶	۹/۲۳
S0-N1	۷۳	۷۹/۳	۷۵/۷	۷۶	۳/۹۵	۳/۶۳	۳/۹۲	۳/۸۳	۵/۵	۵/۳۱	۵	۵/۲۷
S0.5-N0.5	۸۱/۱	۸۲/۱	۷۷/۳	۸۰/۲	۷/۶۸	۶/۶۲	۶/۸۲	۷/۰۴	۶/۸۴	۹/۰۶	۷/۳۲	۷/۷۴



شکل ۱۳- درصد افزایش مقاومت نمونه‌های فشاری، کششی و خمشی نسبت به نمونه‌های شاهد



شکل ۱۴- دستگاه آزمایش ضربه وزنه افتان

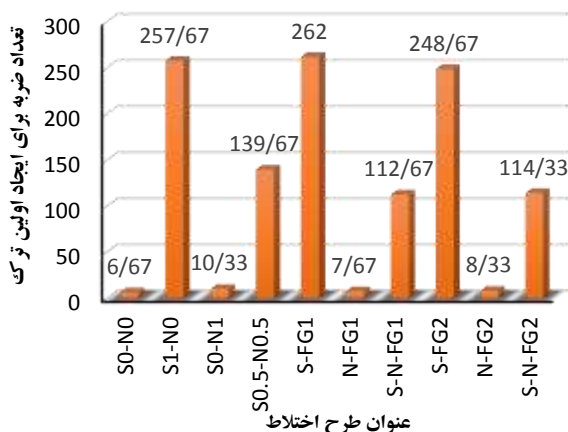
#### ۴-۴- آزمایش ضربه وزنه افتان

در این آزمایش مقاومت ضربه‌ای دال‌های چندلایه با ابعاد ۴۰۰×۴۰۰×۷۵ میلی متر ساخته شده با بتن توانمند خود تراکم مسلح شده به الیاف فولادی و پلاستیکی و ترکیبی از این دو الیاف تحت اثر ضربه وزنه افتان بررسی شده است، تا اثر این الیاف‌ها و همچنین چندلایه بودن دال‌ها بر مقاومت ضربه‌ای و جذب انرژی دال‌های بتنی بررسی شود. دستگاه انجام آزمایش وزنه افتان در شکل (۱۴) نشان داده شده است. در این دستگاه از یک گوی فولادی ۵/۸ کیلوگرمی استفاده شده است که با استفاده از کابل فولادی به قرقره نصب شده بر روی قاب، متصل شده است. این گوی فولادی با استفاده از کابل فولادی و قرقره بصورت مکرر تا ارتفاع ۱/۵ متر بالا برده و بر روی نمونه رها می‌شود. این کار تا ایجاد گسیختگی در دال‌ها ادامه پیدا می‌کند. برای اطمینان از دقت برخورد گوی به مرکز نمونه، از یک سازه‌ی هدایت کننده گوی که متشکل از یک مکعب و لوله می‌باشد استفاده شده است. در این آزمایش تعداد ضربات مورد نیاز برای ایجاد اولین ترک قابل رویت و انهدام نهایی نمونه ثبت شده است، که با استفاده از آن انرژی جذب شده توسط نمونه تا لحظه انهدام نیز محاسبه شده است.



#### ۴-۱- مقاومت اولین ترک

نشان داد الیاف پلاستیکی به تنهایی نمی‌تواند افزایش مقاومتی را ایجاد نماید. در شکل (۱۶) نحوه ایجاد ترک اولیه در نمونه‌های حاوی الیاف فولادی و الیاف پلاستیکی نشان داده شده است.



شکل ۱۵- تعداد ضربه برای ایجاد اولین ترک در نمونه‌ها



(الف)



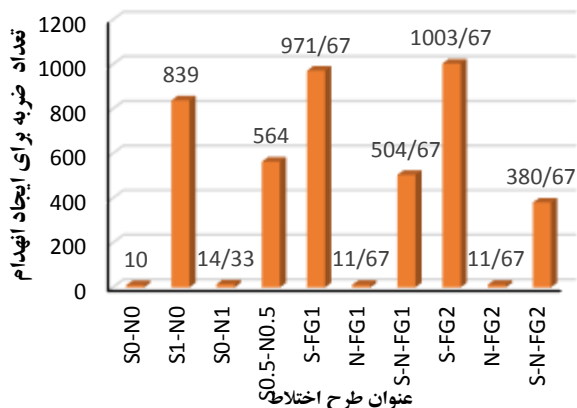
(ب)

شکل ۱۶- ایجاد اولین ترک در نمونه دارای الیاف (الف)

پلاستیکی (ب) فولادی

تعداد ضربه‌ی وارده برای ایجاد اولین ترک در نمونه‌ها ثبت و در جدول (۷) نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده افزایش چشم‌گیر مقاومت اولین ترک در نمونه‌های دارای الیاف فولادی می‌باشد. بصورتی که در بهترین وضعیت، مقاومت اولین ترک نمونه S-FG1 نسبت به نمونه شاهد افزایش ۳۹/۲۸ برابری را داشته است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد، دال‌های با چیدمان چندلایه الیاف‌ها بصورتی که حجم ثابت ۱ درصد از الیاف به گونه‌ای در دال توزیع شده که حجم الیاف در لایه‌های کناری بیشتر از لایه میانی می‌باشد، در مقاومت اولین ترک عملکردی تقریباً مشابه با دال‌های دارای الیاف یکنواخت داشت. در بین دال‌های چندلایه، نمونه S-FG1 با مقاومت اولین ترک ۲۶۲ ضربه، دارای بیشترین مقاومت بوده است که در مقایسه با مقاومت دال یک لایه S1-N0 که دارای مقاومت اولین ترک ۲۵۷/۶۷ ضربه بوده است تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشته است. این در حالی است که الیاف پلاستیکی تاثیری بر روی افزایش مقاومت اولین ترک نداشته و در دال‌های دارای این نوع الیاف، همانند دال‌های بدون الیاف در همان ضربات ابتدایی ترک ایجاد می‌شود. بصورتی که در بهترین وضعیت الیاف پلاستیکی توانست در نمونه SO-N1 افزایش مقاومت ۱/۵۵ برابری را نسبت به نمونه شاهد SO-N0 ایجاد نماید که نسبت به تاثیر الیاف فولادی ناچیز و قابل چشم‌پوشی می‌باشد. چیدمان چندلایه الیاف پلاستیکی در دال‌های چندلایه نیز نتوانست مقاومت اولین ترک نمونه‌ها را افزایش دهد و مشاهدات نشان داد در نمونه‌های چندلایه N-FG1 و N-FG2 که حاوی الیاف پلاستیکی می‌باشند به ترتیب با ۷/۶۷ و ۸/۳۳ ضربه اولین ترک ایجاد می‌شود که این رفتار تقریباً مشابه رفتار دال‌های دارای الیاف پلاستیکی یک‌لایه و دال‌های بدون الیاف می‌باشد. در نمونه‌های هیبریدی نیز که دارای ترکیبی از الیاف فولادی و پلاستیکی می‌باشند شاهد افزایش تعداد ضربه برای ایجاد ترک اولیه بودیم. این افزایش در نمونه SO.5-N0.5 که دارای ۰/۵ درصد حجمی از هر کدام از الیاف‌های فولادی و پلاستیکی می‌باشد به بیشترین مقدار خود یعنی ۱۳۹/۶۷ ضربه رسید که بسیار بیشتر از مقاومت دال‌های دارای ۱ درصد الیاف پلاستیکی تنها و کمتر از مقاومت دال‌های دارای ۱ درصد الیاف فولادی تنها می‌باشد. این موضوع نیز می‌تواند نشان دهنده تاثیر الیاف فولادی باشد، زیرا آزمایش‌ها

### ۴-۲- مقاومت نهایی



شکل ۱۷- تعداد ضربه برای ایجاد انهدام در نمونه‌ها



(الف)



(ب)



(ج)

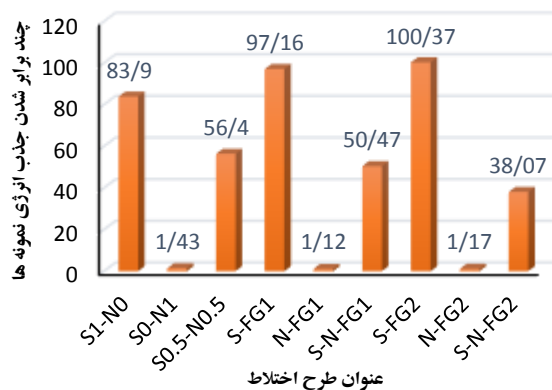
شکل ۱۸- انهدام در نمونه‌های (الف) بدون الیاف (ب) دارای الیاف پلیاستیکی (ج) دارای الیاف فولادی

معیار انهدام نهایی در این آزمایش چند تکه شدن نمونه‌ها یا گسترش ترک‌ها در تمام سطح دال بتنی در نظر گرفته شده است. و آزمایش تا رسیدن دال به این وضعیت ادامه پیدا کرده است. تعداد ضربات وارد شده به نمونه برای ایجاد انهدام ثبت و در جدول (۷) نشان داده شده است.

نتایج آزمایش نشان می‌دهد نمونه‌های بدون الیاف و دارای الیاف پلیاستیکی بعد از ایجاد اولین ترک در طی چند ضربه به سرعت به چند تکه تقسیم شده و دچار حالت انهدام می‌شوند. در نمونه بدون الیاف S0-N0 میانگین اختلاف ضربات بین مقاومت اولین ترک و مقاومت نهایی ۲/۳۳ ضربه بوده است که این عدد برای نمونه S0-N1 که دارای یک درصد الیاف پلیاستیکی می‌باشد به ۴ ضربه می‌رسد که این موضوع نشان - دهنده تردی این دال‌ها و عدم تاثیر الیاف پلیاستیکی بر روی مقاومت ضربه‌ای می‌باشد.

همچنین دال‌های N-FG1 و N-FG2 که دارای الیاف پلیاستیکی با چیدمان چندلایه هستند با میانگین ضربات ۱۱/۶۷ گسیخته شده و نتوانستند افزایش مقاومت نهایی قابل توجهی نسبت به نمونه شاهد داشته باشند.

بر خلاف نمونه‌های حاوی الیاف پلیاستیکی دال‌های حاوی الیاف فولادی رفتار بسیار خوبی در مقابل ضربه داشته و بعد از ایجاد اولین ترک تعداد ضربات زیادی را تا رسیدن به مرحله انهدام تحمل می‌کنند. بطوری که با افزودن ۱ درصد الیاف فولادی، نمونه S1-N0 توانست میانگین تعداد ضربات شکست نمونه را از ۱۰ ضربه در نمونه شاهد به ۸۳۹ ضربه افزایش دهد. این افزایش مقاومت انهدام برای دال‌های چند- لایه بیشتر از دال‌های دارای الیاف یکنواخت می‌باشد، بطوری که متوسط تعداد ضربات برای ایجاد انهدام در نمونه چندلایه S-FG2 نسبت به نمونه S1-N0 با وجود مقدار الیاف فولادی یکسان ۱ درصد، از ۸۳۹ ضربه به ۱۰۰۳/۶۷ ضربه رسیده است که نشان دهنده تاثیر چیدمان الیاف بر مقاومت ضربه‌ای دال‌ها می‌باشد. علت این امر می‌تواند افزایش درصد الیاف در لایه‌های بیرونی و همچنین آرایش صفحه‌ای الیاف‌ها در لایه‌ها باشد. نحوه گسیختگی نمونه‌ها در شکل (۱۸) نشان داده شده است.



شکل ۱۹- چند برابر شدن جذب انرژی نمونه‌ها نسبت به نمونه

شاهد



شکل ۲۰- انسجام ایجاد شده توسط الیاف‌های فولادی در ناحیه

پشت دال



شکل ۲۱- عملکرد لایه‌ای دال‌ها در مقابل ضربه

### ۴-۳- انرژی جذب شده

انرژی جذب شده تا ایجاد انهدام در نمونه‌ها از رابطه (۳) محاسبه شده است.

$$E_N = N \times W \times H \quad (3)$$

در این رابطه  $N$  تعداد ضربه برای ایجاد انهدام،  $W$  وزن گوی فولادی مورد استفاده و  $H$  ارتفاع سقوط گوی می‌باشد. انرژی جذب شده توسط نمونه‌ها بر حسب ژول محاسبه و در جدول (۷) آمده است.

نتایج نشان دهنده اختلاف بسیار زیاد انرژی جذب شده در دال‌های دارای الیاف فولادی نسبت به دال‌های بدون الیاف و دارای الیاف پلاستیکی می‌باشد. علت این امر می‌تواند انسجام بسیار بالای ایجاد شده در دال‌ها توسط الیاف فولادی و دوختگی ترک‌های ایجاد شده توسط این الیاف باشد، که این موضوع در شکل (۲۰) نشان داده شده است.

از طرفی نحوه چیدمان الیاف‌های فولادی نیز بر روی جذب انرژی موثر می‌باشد و چیدمان چندلایه الیاف‌ها می‌تواند جذب انرژی بیشتری را ایجاد نماید. به طوری که از میان نمونه‌های آزمایش شده، بیشترین جذب انرژی را دال چند لایه S-FG2 به اندازه ۸۵/۷ کیلوژول به خود اختصاص داده است. افزایش اندازه ۱۰۰/۳۷ برابری انرژی جذب شده دال S-FG2 نسبت به نمونه شاهد نشان دهنده تاثیر چشم گیر الیاف فولادی بر روی جذب انرژی دال‌ها می‌باشد.

از طرفی، انرژی جذب شده این دال نسبت به نمونه‌ی S1-N0 افزایش ۲۰ درصدی را داشته است، در صورتی که هر دو دال دارای حجم ثابت ۱ درصد الیاف فولادی بوده‌اند و تنها تفاوت آن‌ها در چیدمان الیاف فولادی می‌باشد. برخلاف الیاف فولادی، انرژی جذب شده دال‌های دارای الیاف پلاستیکی اختلاف چندانی با دال‌های بدون الیاف ندارند، که این موضوع نشان دهنده عدم تاثیر الیاف پلاستیکی بر روی جذب انرژی نمونه‌هاست.

دال‌های دارای الیاف پلاستیکی چندلایه نیز دارای جذب انرژی کم و مشابه دال‌های یک لایه می‌باشند که نشان می‌دهد چیدمان چندلایه این نوع الیاف نیز نمی‌تواند تاثیری بر روی جذب انرژی نمونه‌ها داشته باشد. عملکرد لایه‌ای دال‌های چندلایه در مقابل ضربه در شکل (۲۱) نشان داده شده است.

جدول ۷- نتایج آزمایش ضربه وزنه افتان

نمونه	تعداد ضربه برای ایجاد اولین ترک	میانگین	تعداد ضربه برای ایجاد انهدام	میانگین	انرژی جذب شده (j)	میانگین (j)
S0-N0	۶	۶/۶۷	۱۰	۱۰	۸۵۳/۴۷	۸۵۳/۴۷
	۸		۱۱		۹۳۸/۸۲	
	۶		۹		۷۶۸/۱۲	
S1-N0	۲۶۳	۲۵۷/۶۷	۹۰۲	۸۳۹	۷۶۹۸۲/۹۹	۷۱۶۰۶/۱۳
	۲۱۷		۸۰۱		۶۸۳۶۲/۹۵	
	۲۹۳		۸۱۴		۶۹۴۷۲/۴۶	
S0-N1	۱۱	۱۰/۳۳	۱۴	۱۴/۳۳	۱۱۹۴/۸۶	۱۲۲۳/۳۱
	۱۰		۱۶		۱۳۶۵/۵۵	
	۱۰		۱۳		۱۱۰۹/۵۱	
S0.5-N0.5	۱۱۲	۱۳۹/۶۷	۵۰۹	۵۶۴	۴۳۴۴۱/۶۲	۴۸۱۳۵/۷۱
	۱۸۷		۶۱۴		۵۲۴۰۳/۰۶	
	۱۲۰		۵۶۹		۴۸۵۶۲/۴۴	
S-FG1	۲۵۶	۲۶۲	۱۰۱۲	۹۷۱/۶۷	۸۶۳۷۱/۱۶	۸۲۹۲۸/۸۳
	۳۰۲		۹۲۱		۷۸۶۰۴/۵۹	
	۲۲۸		۹۸۲		۸۳۸۱۰/۷۵	
N-FG1	۷	۷/۶۷	۱۱	۱۱/۶۷	۹۳۸/۸۲	۹۵۵/۷۲
	۹		۱۴		۱۱۹۴/۸۶	
	۷		۱۰		۸۵۳/۴۷	
S-N-FG1	۱۱۲	۱۱۲/۶۷	۴۲۸	۵۰۴/۶۷	۳۶۵۲۸/۵۲	۴۳۰۷۱/۷۹
	۱۰۱		۵۲۰		۴۴۳۸۰/۴۴	
	۱۲۵		۵۶۶		۴۸۳۰۶/۴۰	
S-FG2	۲۱۴	۲۴۸/۶۷	۹۸۱	۱۰۰۳/۶۷	۸۳۷۲۵/۴۱	۸۵۶۵۹/۹۴
	۳۰۲		۱۰۶۷		۹۱۰۶۵/۲۵	
	۲۳۰		۹۶۳		۸۲۱۸۹/۱۶	
N-FG2	۸	۸/۳۳	۱۱	۱۱/۶۷	۹۳۸/۸۲	۹۹۵/۷۱
	۸		۱۲		۱۰۲۴/۱۶	
	۹		۱۲		۱۰۲۴/۱۶	
S-N-FG2	۹۲	۱۱۴/۳۳	۴۱۲	۳۸۰/۶۷	۳۵۱۶۲/۹۶	۳۲۴۸۸/۷۶
	۱۴۲		۳۲۹		۲۸۰۷۹/۱۶	
	۱۰۹		۴۰۱		۳۴۲۲۴/۱۵	

در این پژوهش می‌باشد و برای اظهار نظر قطعی نیاز به آزمایش‌های

بیشتری در این زمینه وجود دارد، موارد زیر بعنوان نتایج این تحقیق ذکر می‌شود:

### ۵- نتایج

براساس آزمایش‌های انجام گرفته، و با در نظر گرفتن این موضوع که این نتایج منحصرًا مربوط به مواد و روش‌های بکار گرفته شده

## ۶- مراجع

- [۱]. طاحونی، "طراحی ساختمان های بتن مسلح"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم، ۱۳۸۳.
- [2]. Wild S, Sabir BB, Khatib JM. Factors influencing strength development of concrete containing silica fume. *Cement Concrete Res*, Vol 25, No. 7 (1995), pp. 1567-15.
- [3]. M. Mastali, A. Dalvand. Use of silica fume and recycled steel fibers in self-compacting concrete, *construction and building materials* 125 (2016), pp. 196-209
- [4]. Ozawa K, Maekawa K, Okamura H. Self-Compacting high performance concrete, *Collected Papers (University of Tokyo: Department of Civil Engineering)*, 34, (1996). pp135-149.
- [5]. Okamura H. Self Compacting High-Performance Concrete, *Concrete International*, (1997) pp 50-54.
- [6]. Okamura H, Ozawa K. Self-Compactable high performance concrete in japan, *International Workshop on High Performance Concrete, SP 169, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI*, (1994) pp 31-44.
- [7]. 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*, (2001) pp. 289-302.
- [8]. Ramakrishna G., Sundararajan T.. "Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: a comparative study". *Cement & Concrete Composites* 27 (2005) pp 547-553.
- [9]. Badr, Ashour, and Platten, "Statistical variations in impact resistance of polypropylene fibre reinforced concrete", *International Journal of impact engineering*, 32, (2006) pp 1907-1920.
- [10]. Bader, and Ashour., "Modified ACI Drop-weight impact test for concrete", *ACI materials Journal*, 102 (4) (2005), pp 249-255.
- [11]. Khayat, K.H., Roussel, Y., "Testing and performance of fiber reinforced, self-consolidating Concrete". Skarendahl A, Petersson O, editors. *Proceedings of the first international RILEM symposium on self-compacting concrete. Stockholm, Sweden*(1999) pp 36-48.
- [12]. M. Mastali, A. Dalvand, A. Sattarifard. The impact resistance and mechanical properties of the reinforced self-compacting concrete incorporating recycle CFRP fiber with different and dosages, *Composite part B* 112 (2017), pp. 74-92
- [13]. Parviz, S., Ataullah, Kh., and Hsu, J.W., "Mechanical properties of concrete materials reinforced with polypropylene or polyethylene
- ۱- نتایج آزمایش ضربه‌ای وزنه افتان نشان دهنده تاثیر بسیار زیاد الیاف فولادی بر روی مقاومت ضربه‌ای و جذب انرژی دال‌ها بود. در صورتی که الیاف پلاستیکی تاثیر ناچیزی بر روی مقاومت ضربه‌ای داشت.
- ۲- دال‌های بدون الیاف و دارای الیاف پلاستیکی با ایجاد اولین ترک خیلی سریع بعد از چند ضربه به انهدام رسیده و به چند تکه تقسیم شدند، که این موضوع نشان دهنده تردی دال‌های بتنی و عدم تاثیر الیاف پلاستیکی بر روی مقاومت ضربه‌ای دال‌ها می‌باشد، اما دال‌های دارای الیاف فولادی بعد از ایجاد اولین ترک تعداد ضربات زیادی را تا رسیدن به انهدام تحمل کردند که نشان دهنده تاثیر بالای الیاف فولادی بر روی انسجام نمونه‌ها و پل زدن این الیاف بر روی ترک‌های ایجاد شده و جلوگیری از گسترش آن‌ها می‌باشد.
- ۳- دال‌های حاوی الیاف فولادی با چیدمان چندلایه دارای مقاومت اولین ترک مشابه و مقاومت نهایی بالاتری نسبت به دال‌های یک لایه با الیاف یکتواخت هستند، که علت آن می‌تواند افزایش درصد الیاف در لایه‌های بیرونی و آرایش صفحه‌ای الیاف در لایه‌ها باشد.
- ۴- افزودن الیاف فولادی و پلاستیکی نمی‌تواند تاثیر زیادی بر روی مقاومت فشاری بتن داشته باشد به طوری که این تاثیر برای هر دو نوع الیاف و همچنین ترکیبی از آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.
- ۵- مطابق نتایج به دست آمده از آزمایش کششی مشاهده شد الیاف فولادی می‌تواند تاثیر بسیار زیادی بر 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 آن باعث افزایش ۱۶ درصدی مقاومت کششی شده است.
- ۶- نتایج آزمایش خمشی تیرها نشان از تاثیر بالای الیاف فولادی بر روی مقاومت خمشی دارد، به طوری که افزودن ۱ درصد الیاف فولادی می‌تواند باعث افزایش تقریباً ۲ برابری مقاومت خمشی شود. این افزایش مقاومت برای الیاف پلاستیکی ۱۶ درصد بوده- است. همچنین الیاف های فولادی و پلاستیکی با ایجاد دوختگی در ترک خمشی ایجاد شده در تیرها موجب افزایش قابل توجه شکل پذیری شدند.

fibers”, ACI Materials Journal, 89 (6), (1992) pp 535-540.

[14]. Bindiganavile, V., and Banthia, N., “Polymer and steel fiber-reinforced cementitious composites under impact loading\_Part 2: Flexural toughness”, ACI Materials Journal, 98 (1) (2001), pp 17-24.

[15]. Deng, Z., and Li, J., “Tension and impact behaviors of new type fiber reinforced concrete”, Computers and Concrete, 4, (2007) pp 19-32.

[16]. Schrader EK. Impact resistance and test procedure for concrete. ACI J (1981), pp 6–141.

[17]. ahmoud Nili, and V.Afrouhsabet, Combined effect of silica fume and steel fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete, International Journal of Impact Engineering, (2010) pp 541-553.

## **Impact resistance of multi-layer slabs made with (HPSCC) reinforced by hybrid fibers under drop weight impact**

Amirhosein Sahraei moghadam

Master of Civil Engineering, Lorestan University, Khoramabad, Iran.

Fereydoon Omidinasab\*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Ahmad Dalvand

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

### **Abstract**

In this research, the robust strength slabs made of concrete, self-compacting, multi-layer reinforced steel and nylon fibers and a combination them under the influence of impact load is investigated. To achieve this goal, 30 concrete slabs one layer and three layers with dimensions 40×40×7.5 cm are made. The slabs come from 10 different types, one type of non-fibrous as a control, and other slabs all have a fixed volume 1% fiber, hence the type and percentage of fiber varies in the layers. The impact weight loss test was performed on the made slabs. In this test, steel ball weighing 5.8 kg at a distance 1.5 m repeatedly hit and The number of blows to make the first crack and the destruction recorded. The results the test indicate a very high effect steel fibers and the slight impact nylon fibers on the slab resistance the slabs. Multi-layered slabs in the first-cracks are the same as the slabs a uniform laminate layer, but the resistance to the destruction and absorption the final energy these slabs increases compared to one-layer samples, which can be due to an increase in the percentage fiber in the outer layers and the layered layout the fibers.

**Keywords:** multilayer slabs, steel fibers, nylon fibers, impact resistance, drop weight.

---

\* Corresponding Author: [omidinasab.f@lu.ac.ir](mailto:omidinasab.f@lu.ac.ir)