



ارائه شده توسط :

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتربر

## اعضای بتن آرمه تحت ضربه افتان

این مقاله مجموعه ای از مطالعات تجربی را که به بررسی رفتار تاثیر جرم زیاد و سرعت کم اعضای بتن مسلح، از جمله تیرها و اسلب ها را تشریح کرده است و داده های ورودی با کیفیت بالا و هم چنین نیز نتایجی را برای اعتبارسنجی مدل سازی عددی ارائه می دهد. تعداد چهارده تیر به دهانه 2.7 متری و چهار تیر به دهانه 1.5 متری، چهار دال (اسلب) 0.8 مترمربع 76 میلیمتر ضخامت و دو دال 2.3 متر مربع با 150 میلیمتر ضخامت تحت بارهای ضربه ای با استفاده از یک وزن افتان مورد آزمایش قرار گرفتند. اندازه گیری ها شامل بارهای ضربه ای گذرا، شتاب و کرنش در تقویت های فولادی است. علاوه بر این رویدادهای ضربه ای نیز با استفاده از یک دوربین فیلمبرداری با سرعت بالا در سرعت 4500 فریم در ثانیه ثبت شدند. در آزمایش های انجام شده بروی تیر، الگوی شکست موضعی تیر تحت یک ناحیه ضربه نیز با همبستگی تصاویری به دست آمده از توسعه ترک ها، تکه های جدا شده و پوسته پوسته شدن ها همراه با تاریخچه بار ضربه ای بررسی شد. برای آزمایش های انجام شده بروی دال ها، انرژی تحمیل شده بر روی دال با حداقل انرژی که باعث میشود یک دال تکه شود، مقایسه شد، که این انرژی نیز با استفاده از فرمول های تجربی پیش بینی می شود. تحقیقات باعث می شود که درک درستی از رفتار اعضای بتن مسلح تحت بارهای ضربه ای را بتوان به دست آورد.

### -1 مقدمه

سازه های بتن مسلح ممکن است در بعضی مواقع در معرض برخی از شرایط بارگذاری دینامیکی دشواری قرار گیرند. نمونه های رایج شامل سازه های حمل و نقل که در معرض ضربه ناشی از تصادف وسیله نقلیه می باشند، سازه های دریایی و ساحلی که در معرض ضربات یخ یا سقوط شیء از کشته های در حال عبور باشند، سازه های محافظتی تحت ضربات موشک و یا هواپیما هستند و سازه های عمرانی که تحت تاثیر بقایای خراب شده قرار دارند. در سال های اخیر ارزیابی عملکرد و آسیب پذیری سازه های بتن مسلح تحت تاثیر بارهای ضربه ای به موضوع مهمی

تبديل شده است.<sup>1</sup> مهندسان به طور مداوم به مدل های عددی برای اجرای طرح ها، ارزیابی ها و بررسی های ایمنی دست می یابند و هم چنین برای کمک به اعتبارسنجی این مدل ها به داده های با کیفیت از آزمون های فیزیکی مورد نیاز است.

هنگامی که اعضای سازه تحت بار ضربه ای قرار می گیرند، این اعضا رفتار متفاوتی را نسبت به اعضایی که تحت بار استاتیکی هستند از خود نشان می دهند که این به دلیل الگویی متداول و اغلب محلی بارگذاری ضربه ای می باشد. خواص دینامیکی مواد نیز می تواند نسبت به موادی که تحت اثر بارگذاری استاتیکی هستند، متفاوت باشد. تحقیقات<sup>2</sup> نشان داده اند که هر دو بتن و فولاد دارای نرخ کرنش/تنش حساسی هستند: هر دو مقاومت کشش و فشاری و مدول یانگ می توانند افزایش یابد، در صورتی که مقدار نرخ کرنش و تنش نیز افزایش یابد. مطالعات متعددی در مورد تأثیر ضربه بر روی اعضای بتن مسلح انجام شده است، بویژه تست هایی در مورد کاهش وزن تیرهای بتونی تقویت شده و پیش نمی نمایند صورت گرفته است. کیشی و همکارانش آزمایش‌هایی در مورد ضربات افتان وزنی را انجام دادند که در آن یک تیر در هر دو حالت خمی یا برشی دچار شکست شد.<sup>5</sup> نیروهای ضربه ای، واکنشها و تغییر شکل های تیرها اندازه گیری شدند و انرژی جذب شده یک تیر نیز با استفاده از نیروهای واکنشی موجود در تکیه گاه ها و تغییر شکل های پسماند تیر در اواسط دهانه اندازه گیری شد. سپس فرمول های تجربی بر اساس ظرفیت خم شی استاتیکی یا بر شی و جایه جایی پسماند مورد نیاز طراحی گشت. با توجه به ماهیت دینامیکی سازه های بتونی مقاوم در برابر ضربه، میزان پراکندگی را می توان از بین نتایج آزمایش ها و نتایج حاصل از پیش بینی های انجام گرفته توسط فرمول های طراحی به دست آورد.

یک سری آزمایش های جامع بر روی تیرهای بتن مسلح تک دهانه، با استفاده از افتان وزن، توسط هیوز و سفیر<sup>7</sup> انجام شد. این تأثیرات به بالای تیرها و در وسط دهانه از طریق تخته سه لایا فولادی اعمال شد، به طوری که سختی منطقه ضربه می تواند متفاوت باشد. در اکثر این آزمایش ها، این تیر در یک حالت خمی شکست خورد و ترکهای خمی نیز در پایین تیر و به سمت میانه دهانه و در بالای تیر در فاصله ۱/۵ و ۵/۶ پدیدار گشت. در برخی از آزمایشها ترک های اریبی (وتری) نیز در ناحیه ضربه و ترک های برشی در ۱/۳ و ۲/۳ دهانه و بر روی تیر دیده

شد. درنهایت مشخص شد که سختی ناحیه ضربه، که تابعی از ضربه گیر، پد و سختی موضعی تیر است، در مقایسه با تاثیر شرایط تکیه گاهی در پا سخ تیر، بسیار چشمگیر و قابل اهمیت بوده و هنگامی که منطقه تاثیر سخت تر می شود، حالات ارتعاشی نیز بیشتر تحریک می شود. از تجزیه و تحلیل نظری که بر اساس یک مدل ارتعاش کششی از تیرها می باشد برای تعیین تاریخچه زمانی- نیروی ضربه و محدودیت جابجایی تیر استفاده می شود. در حالی که این تجزیه و تحلیل می تواند مقادیر قابل قبولی از نیروهای ضربه و دامنه جابجایی تیر را در اختیار بگذارد، نتیجه گیری شد که تجزیه و تحلیل های دقیق تر برای توجه به ترک خوردگی ها، خرد شدن ها، تسلیم تقویت ها و تاثیر نرخ کرنش مناسب تر هستند.

آگارد و همکاران،<sup>8</sup> مقاومت ضربه ای تیرهای بتن مسلح دارای مقاومت بالا را مورد بررسی قرار دادند. کرنش سنج هایی به سطح میلگردهای تقویت نصب شد تا بتوان میزان کرنش تقویت ها را مورد بررسی قرار داد. درنهایت نیز میزان کرنش 102 / ثانیه در تقویت ثبت گشت. کرنش سنج نصب شده بر روی اتصال بین میلگرد ها و بتن اطراف تاثیر می گذارد. به همین دلیل ارائه نتایج دقیقی که در آن بتوان فهمید در کدام منطقه ترک خوردگی رخ می دهد کاری دشوار بوده و این سنجنده ها نیز به راحتی آسیب می بینند که این مساله نیز در آزمون های آگارد نیز مشاهده شد.

شمار زیادی از تحقیقات نیز به بررسی و مطالعه دالهای بتونی تقویت شده تحت تاثیر ضربه انجام شد.<sup>9</sup> در این تحقیقات اثرات پارامترهای مختلف از جمله اندازه دال ها، نسبت تقویت ها، شکل ضربه گیر و سرعت ضربه مورد بررسی قرار گرفت. برای آزمایش دال ها تحت ضربات با سرعت کم (تا 10 متر بر ثانیه) از دو دستگاه افتان وزن و ماشین آلات تست هیدرولیکی استفاده شد.<sup>10,11</sup>

الگوهای شکستی که در این آزمایش ها یافت شدند عبارتند از تکه شدن، نفوذ، پوسته پوسته شدن، وجود سوراخ و شاخه های برشی<sup>12</sup>. با توجه به پیچیدگی رفتار ضربه ای که در سازه های بتون مسلح دیده می شود، اعضای سازه ای در معرض ضربه به طور کلی با استفاده از فرمول های تجربی مورد ارزیابی قرار می گیرند تا بتوان میزان

آسیب های ناشی از ضربه، مانند عمق نفوذ، امکان پوسته پوسته شدن یا سوراخ کردن برای دال ها<sup>14</sup> و ظرفیت بار برای تیر<sup>5.6</sup> را بررسی کرد.

با پیشرفت امکانات محاسباتی مدرن و نظریه های المان محدود، جزئیات بیشتری از پاسخ دینامیکی اعضای سازه ای را می توان به دست آورد.<sup>18-15</sup> اخیرا، روش های محاسباتی مبتنی بر روش های پیوسته / ناپیوسته (المان محدود / گسسته) برای شبیه سازی رفتار ضربه ای تیرهای بتنی تقویت شده ،<sup>19</sup> به خصوص در محدوده غیر خطی یعنی زمانی که ترک خوردن گسترده بتن همراه با تسليیم فولاد تقویت شده رخ می دهد، ایجاد شده است.

کار آزمایشی که در مقاله حاضر تو صیف شده است، ناشی از کمبود نتایج آزمون های با کیفیتی است که مانع توسعه و ارزیابی چنین تکنیک های شبیه سازی محاسباتی شده می شود. در این مقاله هدف بر این است که هر دو داده ورودی لازم برای محاسبه و نتایج را فراهم کرد تا بتوان پیش بینی های عددی را ارزیابی نمود. این استراتژی به گونه ای طراحی شده است که فرض بر این می باشد که با انجام یک سری از مطالعات آزمایشی کنترل شده، میزان نهایی آسیب ضربه به نمونه ها همراه با توسعه مکانیزم شکست در زمان را می توان ثبت کرد. مورد دومی شامل نظارت بر نیروی ضربه گذرا، تغییر شکل ها / شتاب ها، کرنش ها و پیشرفت ترک خوردن، ریزش و پوسته پوسته شدن در طول تست ها است. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه منجر به درک بیشتری از رفتار ضربه ای ساختارهای بتن مسلح می گردد.

## 2- شرح آزمایشات

### 2-1- جزئیات تیرها

تیرها دارای طول 1.8 یا 3.0 متری با به ترتیب دهانه هایی به اندازه 1.5 و 2.7 متری هستند که با دو میلگرد فولادی مقاومت بالا با ضخامت 12 میلیمتر در پایین و دو میلگرد فولاد نرم با ضخامت 6 میلی متری در بالا و خاموت هایی از فولاد نرم با ضخامت 6 میلیمتر و در فاصله 200 میلیمتری تقویت شده اند و پوشش بتنی نیز برابر 25 میلیمتر بوده که میلگردهای اصلی را پوشش میدهد.

آزمایشات انجام شده بر روی تیرها به عنوان نوع A و نوع B طبقه بندی شده اند. آزمایشات نوع A دارای یک تخته سه لایی با ضخامت 12 میلیمتری بوده که بین تیر و ضربه گیر قرار گرفته است و این آزمایش شبیه به برخی آزمایش های تیری انجام شده توسط هیوز و سفیر 7 است. از نتایج حاصل از اولین آزمایش تیرهای A برای بررسی روند استفاده شد در حالی که داده های اضافی از جمله داده های حاصل از ویدیو های ضبط شده از دوربین های با سرعت بالا نیز جمع آوری گشت. از آزمایشات نوع B برای بررسی اثر ضربه گیر به طور مستقیم بر روی تیر مورد استفاده قرار گرفت. جزئیات تست های تیر، از جمله ابعاد تیرها، طرح های آزمایش و خواص مواد در شکل 1 و جدول 1 آمد است.

Group no.	Test no.	$L_{sp}$ : m	$\epsilon_u$ : N/mm <sup>2</sup>	$f_t^3$ : N/mm <sup>2</sup>	تکیه گاه	ضربه گیر	رابطه ضربه
A1	1	2.7	49.2	1.71	اننهای بین شده	نیمه کروی	تخته سه لا
	2	2.7	49.2	1.71	اننهای بین شده	نیمه کروی	تخته سه لا
	3	2.7	49.2	1.71	اننهای بین شده	نیمه کروی	تخته سه لا
	4	2.7	49.2	1.71	اننهای بین شده	نیمه کروی	تخته سه لا
	5	2.7	45.8	1.86	اننهای بین شده	نیمه کروی	تخته سه لا
	6	2.7	45.8	1.86	اننهای س. شده	نیمه کروی	تخته سه لا
A1*	7	2.7	33.6	1.53	اننهای بین شده	نیمه کروی	تخته سه لا
A2	8	2.7	45.8	1.86	تکیه گاه ساده	نیمه کروی	تخته سه لا
	9	2.7	42.8	1.64	تکیه گاه ساده	نیمه کروی	تخته سه لا
A3	10	1.5	35.6	1.73	اننهای بین شده	نیمه کروی	تخته سه لا
B1	11	2.7	33.6	1.53	اننهای بین شده	تماس مستقیم	تماس مستقیم
	12	2.7	33.6	1.53	اننهای بین شده	نیمه کروی	تماس مستقیم
B1*	13	2.7	45.8	1.86	اننهای بین شده	نیمه کروی	تماس مستقیم
B2	14	1.5	35.6	1.73	اننهای بین شده	نیمه کروی	تماس مستقیم
	15	1.5	35.6	1.73	اننهای بین شده	نیمه کروی	تماس مستقیم
B3	16	2.7	42.8	1.64	اننهای بین شده	مسطح	تماس مستقیم
B3*	17	2.7	33.6	1.53	اننهای بین شده	مسطح	تماس مستقیم
B4	18	1.5	35.6	1.73	اننهای بین شده	مسطح	تماس مستقیم

یادداشت:

تمام آزمایش ها تحت وزن ۷/۹۸ کیلوگرم با سرعت ضربه ۷.۳ متر بر ثانیه انجام شد.

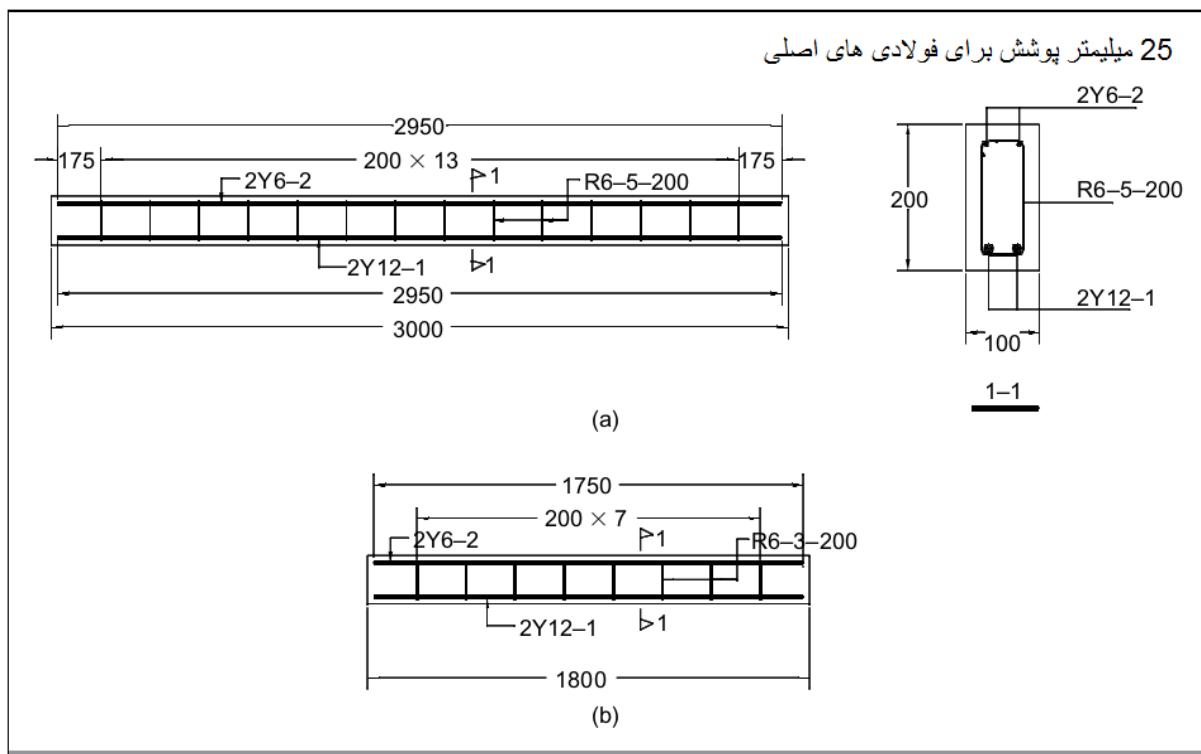
Lsp فاصله (دهانه) بین مراکز تکیه گاه های طولی ۲۰۰ میلی متر در دو انتها است.

$f_t$  مقاومت کششی بتن بوده که بر اساس نتایج آزمون تقسیم استوانه ای به دست گردیده است.

\* این علامت تست مکرر را نشان می دهد که در آن تمام شرایط مشابه بوده و آزمایش بدون ستاره به جز بتن با مقاومت متفاوت بود.

خواص فولاد دارای عملکرد بالا: مدول یانگ kN / mm<sup>2</sup> ۱۹۰٪.۰۰.۲ مقاومت کششی٪.۰۰.۵ مقاومت کششی نهایی - ۶۰۰ N / mm<sup>2</sup> درصد فولاد تنش،٪.۰۰.۸۵.

جدول 1. اطلاعات مربوط به آزمایشات ضربه

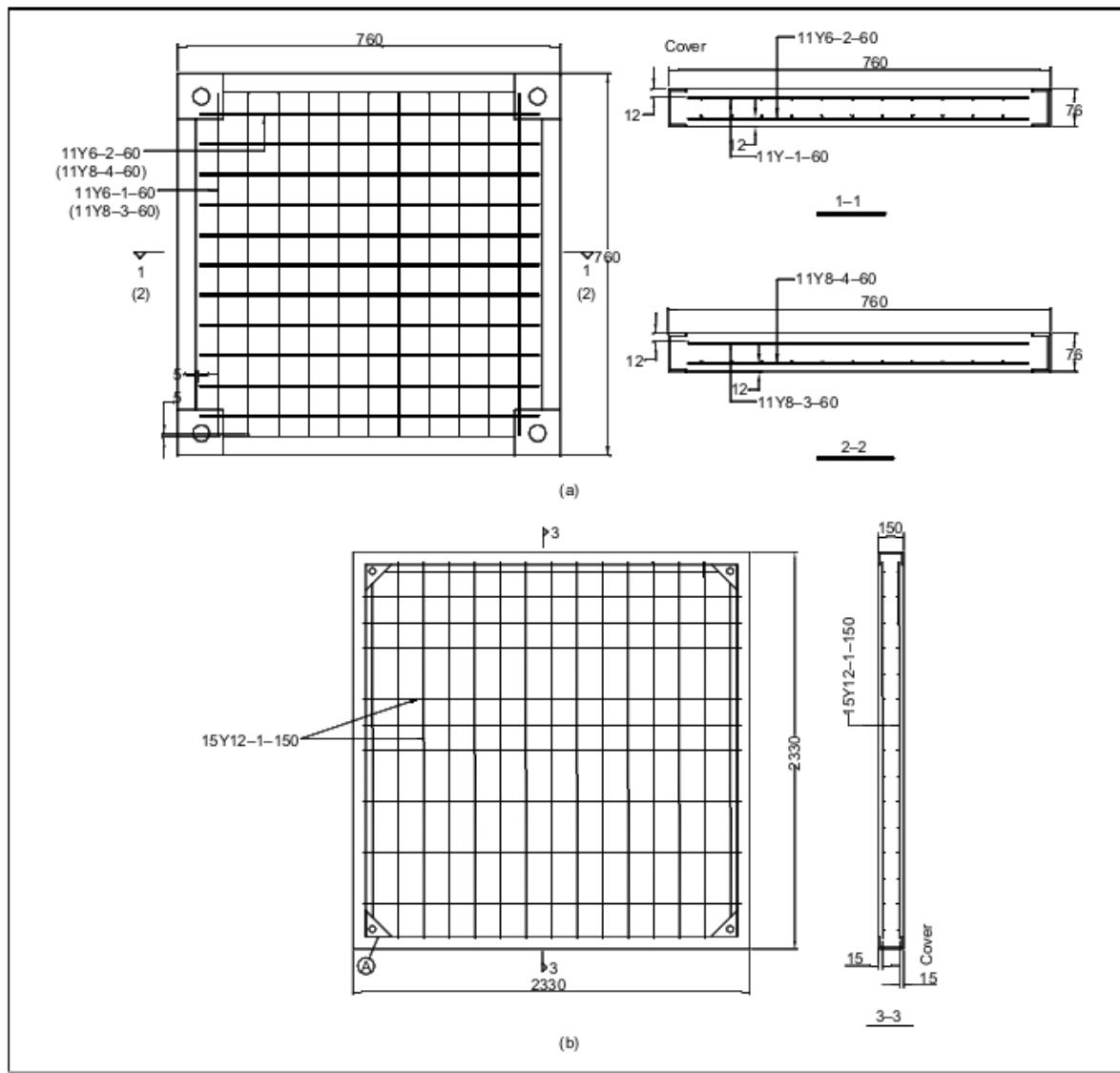


شکل 1: جزئیات تقویت ها برای: (الف) تیر 3.0 متری؛ (ب) تیر 1.8 متری (ابعاد به میلیمتر)

هم چنین در اینجا در نظر گرفته شده است که هر چند نرخ کرنش می تواند بر روی رفتار ضربه ای تیرها و دال ها تاثیر داشته باشد، اما این تاثیر نمی تواند به دلیل کم بودن سرعت ضربه قابل توجه باشد. بدین ترتیب خواص دینامیکی مواد به صراحت مورد آزمایش قرار نگرفتند.

## 2-2- جزئیات دال ها

دو اندازه دال به اندازه 760 میلیمتر مربع و 76 میلی متر ضخامت و 2320 میلیمتر مربع و 150 میلیمتر ضخامت مورد آزمایش قرار گرفتند. جزئیات این دال ها در جدول 2 و شکل 2 آمده است.



شكل 2. جزئیات دال ها: (الف) دال 0.76 متر مربع؛ (ب) 2.3 متر مربع (ابعاد به میلیمتر)

شماره دال	جرم ضارب: kg	ضریبه گیر	m/s:	سرعت ضربه %	نسبت فولاد %	مقاومت مکعبی بتن N/mm <sup>2</sup>	مقاومت کشی بتن N/mm <sup>2</sup>
1	98.7	نیمه کروی	6.5	0.6	60.0	4.06	
2	98.7	نیمه کروی	6.5	0.6	60.0	4.06	
3	98.7	مسطح	6.5	0.6	60.0	4.06	
4	98.7	نیمه کروی	8.0	1.1	60.0	4.06	
5	196.7	نیمه کروی	8.7	0.5	47.3	2.93	
6	382.0	نیمه کروی	8.3	0.5	55.7	2.93	

جدول 2. جزئیات تست دال ها

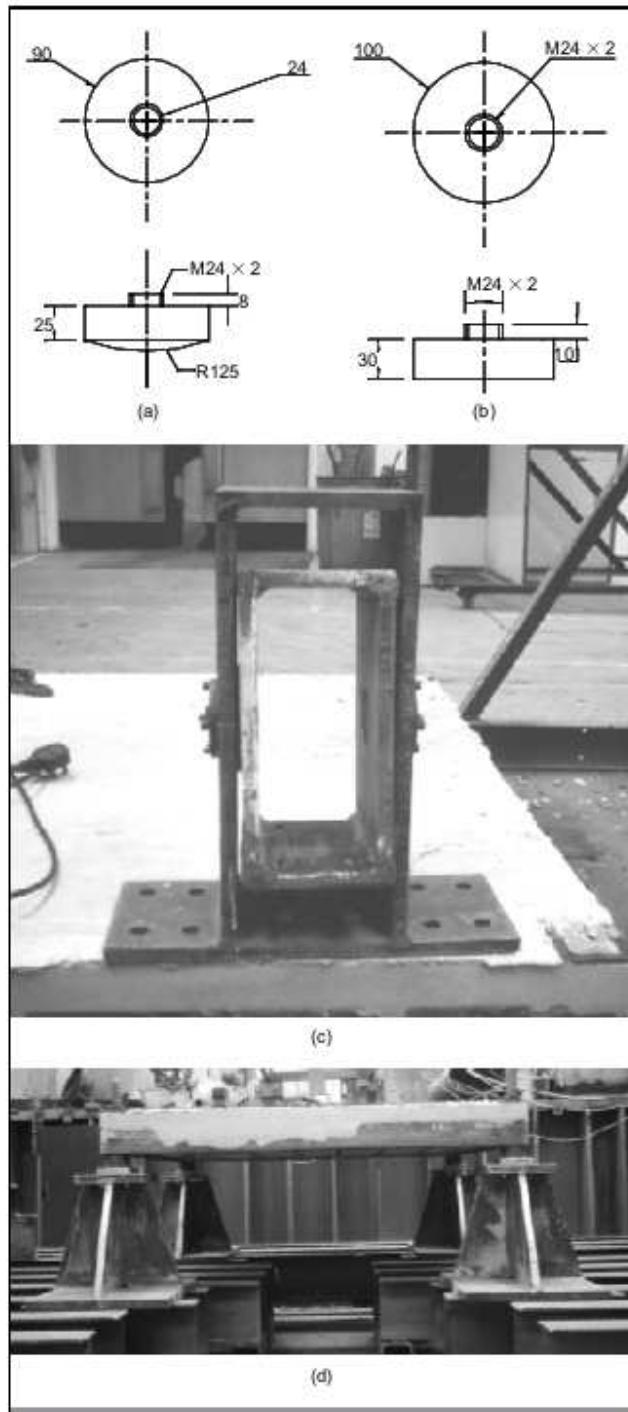
### 3-2- سیستم اثر افتان وزن

سیستم افتان وزن که در شکل 3 نیز نشان داده شده است، می تواند برای آزمایش برروی تیرهایی تا دهانه 3 متری و دال هایی تا 2.4 متر مربع استفاده شود. یک قاب با دو پایه نبشی فولادی عمودی برای هدایت ضارب استفاده می شود که می تواند تا 4 متر ارتفاع یابد. این ضارب شامل یک جرم، سلول بار و یک ضربه گیر است. این جرم در هر دو جهت خود دارای راهنمایی است، که با استال، یک ماده ترمومپلاست، به منظور کاهش اصطکاک هم سطح می باشد. ضارب با استفاده از یک وینج و با یک سیم طناب فولادی که تو سط الکترومغناطیس به ضارب متصل شده است، بردا شته (لیفت) می شود. هنگامی که ضارب در ارتفاع مورد نیاز قرار می گیرد با خاموش کردن آهنربا این ضارب آزاد می شود. برای جلوگیری از انتشار تصادفی ضارب به علت شکست مغناطیسی، یک اتصال مکانیکی بین طناب و ضارب وجود دارد که قبل از خاموش کردن آهنربا این اتصال نیز رها می شود.



شکل 3. سیستم ضربه ای افتان

در این آزمایش‌ها از دو نوع ضربه گیر استفاده شد. اولین ضربه گیر فولادی ضد زنگ با قطر 90 میلیمتر و پروفیل نیمه کروی به شعاع 125 میلیمتر بود؛ دومین مورد نیز از فولاد نرم‌ه با قطر 100 میلی‌متری و یک سطح مسطح تماسی (شکل ۴ (a) و (b)) است.



شکل 4. سیستم های ضربه گیر و سیستم های تکیه گاهی: (الف) ضربه گیر کروی؛ (ب) ضربه گیر مسطح؛ (ج)

تکیه گاه تیر دارای پین در انتهای (د) تکیه گاه دالی

در آزمایشها تیر، یک تیریا در انتهای خود پین شده و یا در دو انتهای خود دارای تکیه گاه های ساده است. تکیه گاه هایی دارای پین همانطور که در شکل 4 (c) نشان داده شده اند در چرخش مجاز هستند اما با استفاده از صفحات که به تیر متصل شده اند(گیره شده اند) حرکت محوری و عمودی این تیر را مهار کرده اند. این تکیه گاه ها با آزاد کردن گیره ها به تکیه گاه های ساده تبدیل می شوند که در آن حرکات افقی و مقدار کمی حرکت عمودی بالا، تا 50 میلی متر، اما بدون حرکت عمودی پایین امکان حرکت وجود دارد.

دالها نیز در چهار گوش با هر دو مهار کننده های حرکت افقی و عمودی محدود شده اند (شکل 4 (d)).

#### 4-2- ابزارهای دقیق

سنسورهایی (حسگرهایی) برای نظارت بر آزمایش ها و ارائه داده های با کیفیت بالا مورد استفاده قرار گرفت که در زیر نیز به آن اشاره شده است:

(الف) یک دوربین فیلمبرداری با سرعت بالا، Kodak HS Motion Analyzer، برای ضبط اثرات با سرعت 4500 فریم در ثانیه با وضوح  $256 * 256$  پیکسل استفاده شد. نرخ های بالاتری نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد، اما اینکار باعث کاهش رزولوشن یا وضوح تصاویر می شود.

دوربین حافظه ای با ظرفیت 3 گیگابایتی دارد که در مجموع می تواند حدود 40,000 فریم تصویر را ضبط کند. تصاویر ضبط شده تو سط دوربین در ابتدا در حافظه دوربین ذخیره شده و سپس به هارد دیسک کامپیوتر منتقل شدند.

(ب) در بیشتر آزمایشات، نیروهای ضربه با استفاده از یک سلول بار که بین جرم و ضربه گیر قرار می گیرد، اندازه گیری شدند. برای آزمایشها که انتظار میرفت بار ضربه از ظرفیت برابری سلول بار بیشتر باشد، نیروی ضربه از شتاب سنجی که روی ضارب نصب شده بود، تامین شد.

(ج) شتاب در نقاط مختلف تیر یا دال با استفاده از شتاب سنج اندازه گیری شد. برای کاهش نویز، نتایج حاصل از شتاب سنج با یک فیلتر Butterworth با فرکانس قطع 2000 هرتز فیلتر شد.

(د) در برخی از آزمایشها، تقویت‌ها دارای کرنش سنج‌هایی در داخل میلگرد بودند که این کرنش سنج نیز با استفاده از تکنیک ارائه شده توسط اسکات و مارس 20 ایجاد و توسعه یافته بودند. با این اندازه گیری، می‌توان کرنش‌های تقویت‌ها را بدون تأثیر اتصال و پیوند موجود بین تقویت‌کننده و بتن اطرافش ثبت نمود.

(الف) دو محرک الکتریکی که در فاصله 40 میلیمتر در پایین پایه‌های هدایت کننده قاب قرار دارند، سرعت ضربه ضارب را در لحظه ضربه اندازه گیری می‌کند. برای فعال کردن ضبط این مبدل‌ها و دوربین فیلمبرداری با سرعت بالا، به طور همزمان از یک ماشه اضافی استفاده شد. خروجی‌های سلول‌بار، شتاب سنج و کرنش سنج‌ها تقویت شد و سپس به یک ماژول کامپیوتری جمع آوری داده D / A با نرخ نمونه برداری متوالی 500 کیلوهرتز تغذیه شد.

در تمام تست‌ها، ضارب به طور عمودی مهار نشده بود به طوری که پس از اولین ضربه، ضارب دوباره به زمین افتاد و سپس دوباره به نمونه ضربه می‌زد. بنابراین تغییر شکل عضو سازه و انتشار ترک‌ها می‌تواند پس از ضربات مختلف گسترش یابد. با این حال واکنش نمونه تحت این ضربات به اندازه اولین ضربه مهم نیست. در این مقاله فقط رفتار عضو تحت اولین ضربه، که برای حدود 50 میلی ثانیه برای تیرها و 20 تا 30 میلی ثانیه برای دالها ادامه می‌یابد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### 3- نتایج حاصل از تیرها

#### 1-3- تکرارپذیری

در جدول 3، حداکثر نیروهای ضربه، زمان‌های پیک، زمانی که حداکثر نیروی ضربه‌ای رخ می‌دهد و حالت‌های شکست تیرها فهرست شده است.

Group no.	Test no.	$F_m$ : kN	$F_{AVG}$ : kN	$(F_m - F_{AVG}) / F_{AVG} : \%$	$t_m$ : ms	$t_{AVG}$ : ms	$(t_m - t_{AVG}) / t_{AVG} : \%$	نوع شکست
A1	1	n/a	230	n/a	n/a	1.8	n/a	a
	2	223	—	-3.0	2.1	—	+16.7	a
	3	234	—	+1.7	1.5	—	-16.7	a
	4	233	—	+1.3	2.0	—	+11.1	a
	5	n/a	—	n/a	n/a	—	n/a	a
	6	229	—	-0.4	1.4	—	-22.2	a
A1*	7	128	—	—	1.6	—	—	a
A2	8	214	222	-3.6	2.0	1.8	+11.1	a
	9	230	—	+3.6	1.6	—	-11.1	a
A3	10	194	—	—	2.0	—	—	a
B1	11	n/a	—	n/a	n/a	—	n/a	b
	12	161	—	—	1.3	—	—	b
B1*	13	183	—	—	1.4	—	—	b
B2	14	169	170	-0.6	1.5	—	0	b
	15	171	—	+0.6	1.5	—	0	b, c
B3	16	654	—	—	0.3	—	—	c
B3*	17	215	—	—	1.0	—	—	c
B4	18	241	—	—	1.0	—	—	c

یادداشت:

f: نیروی حداکثر ضربه.

Fm: زمان حداکثر نیروی ضربه (زمان پیک).

tm: به علت شکست ابزار نتیجه در دسترس نیست.

شکست: نوع شکست افق-خمشی و بدون ضربه زدن به منطقه ضربه؛ نوع بتسلیم زیاد و گسیختگی فولادهای کششی، پوسته شدن ناحیه ضربه؛ نوع

ج- تکه شدن و پوسته پوسته شدن

جدول 3. حداکثر نیروی ضربه، زمان پیک و نوع شکست تیرها

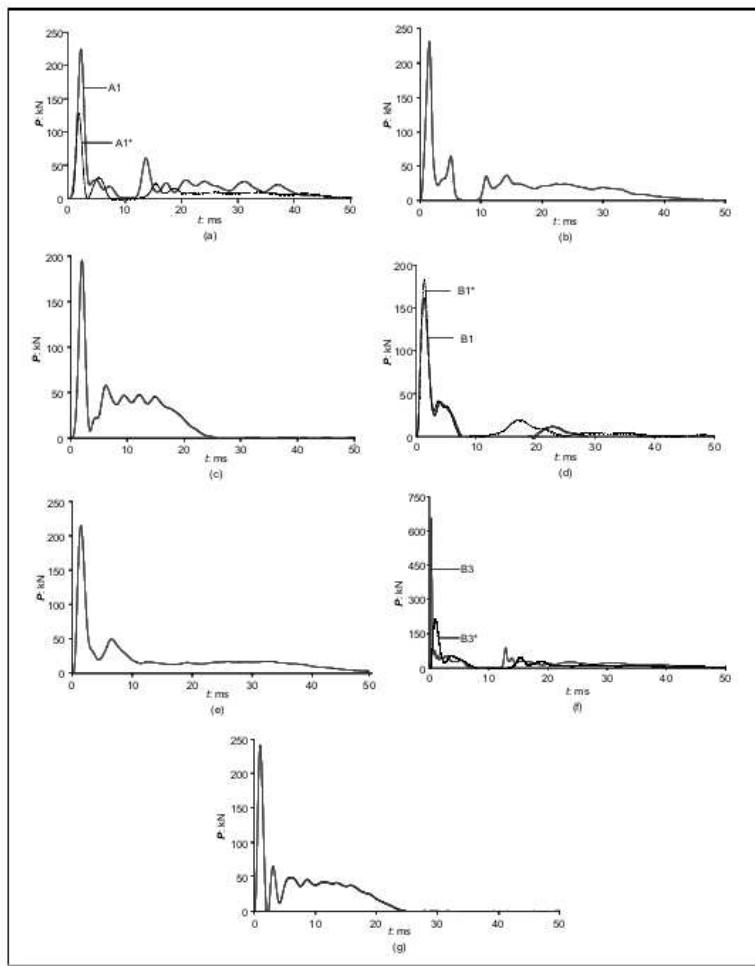
هفت تیر A1 برای بررسی تکرار پذیری تست ها و نشان دادن پراکندگی آزمایش شدند. پاسخ های گذرا حاصل از این تیرها به طور قابل توجهی مشابه یکدیگر بودند و الگوهای شکست نیز مشابه هم بودند. برای هفت تیر A1 میانگین حداکثر نیروی ضربه برابر 230 کیلو وات با تغییرات تا 3 درصد و متوسط زمان های پیک نیز برابر 1.8 میلی ثانیه با تغییرات تا 22 درصد بود. یک تیر شبیه به تیر A1 در کمتر از 20 کیلو نیوتون تحت بارگذاری استاتیکی شکست خورد 7.

در اینجا نیز تست های تکراری تیرهای A2، A1 و B2 وجود داشت که نتایج آن مشابه نتایج حاصل از آزمایش های اولیه بود.

## 2-3- نیروی ضربه گذرا

شکل 5 تاریخچه زمانی- بار ضربه را برای تعدادی از تیرها نشان می دهد. از مقایسه شکل 5 (الف) برای تیر A1 که در انتها خود پین شده است و شکل 5 (ب) برای تیر A2، که دارای تیکه گاه ساده است و هر دو دهانه 2.7 متري دارند، مشخص شده است که تاریخچه زمانی- بار بسیار مشابه است. بنابراین اینگونه به نظر می رسد که شرایط

انتهایی تاثیر کمی بر پا سخ ضربه تیرها دارد؛ با این حال، نیروی ضربه به طول تیر بستگی دارد. این یافته شبیه به یافته هایی است که در جاهای دیگر ذکر شده است.<sup>7</sup>



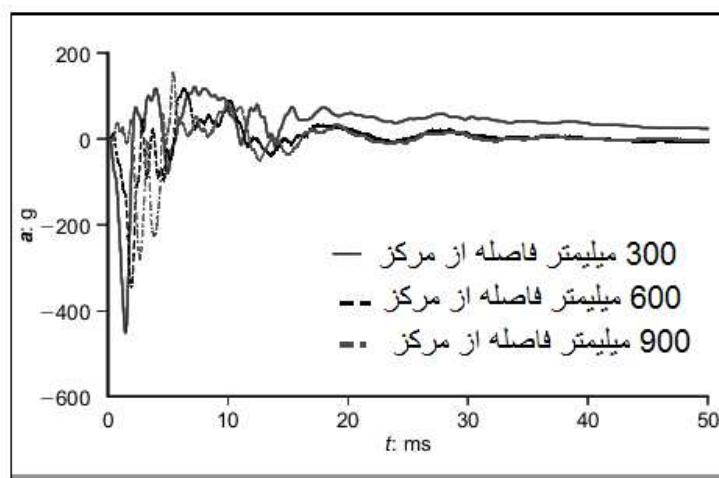
شکل 5: بار ضربه ای گذرا از تیرها: (الف) تیر (A1)؛ (ب) تیر (A2)؛ (ج) تیر (A3)؛ (د) تیر (B1)؛ (ای) تیر (B2)؛ (اف) تیر (B3)؛ (جی) تیر (B4)

اینگونه به نظر می رسد که رابط تخته سه لا، خواصی که توسط هیوز و سفیر<sup>7</sup> ارائه شده است و ضربات ضربه گیر، نیروی ضربه را به روش مشابهی توزیع می کنند. بنابراین به عنوان مثال، تاریخچه زمانی - بار ضربه تیر A3 که دارای سطح مقطع سه لا با ضخامت 12 میلی متر بین ضربه گیر و تیر است و تیر B4 که به طور مستقیم توسط یک ضربه گیر مسطح ضربه میخورند نیز مشابه هم هستند.

رسیدن به هر نتیجه ای در مورد مقاومت بتن برروی بار پیک کاری بسیار دشوار است. به عنوان مثال، مقایسه بین تیر A1 \* و مجموعه ای از تیر A1 نشان می دهد که اگرچه مقاومت بتن حدود 30٪ کمتر است اما بار پیک نیز 45٪ کمتر می باشد. به طور مشابه برای تیرهای B1 و B1 \* این نسبت ها به ترتیب برابر 27٪ و 13٪ کمتر و برای B3 \* و B3 این نسبت ها به ترتیب برابر 30٪ و 70٪ است. این مبحث نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

### 3-3- شتاب گذرا

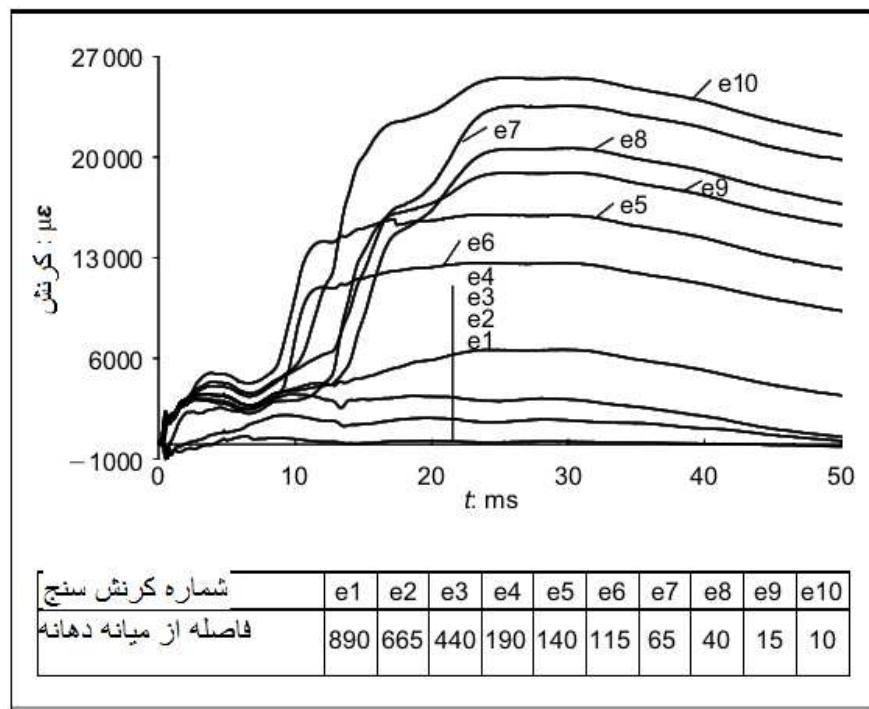
شکل 6 تاریخچه زمانی شتاب را از سوابق شتاب سنج های متصل شده به بالای تیر A2 نشان می دهد.



شکل 6 . شتاب گذرا تیر A2

### 4-3- کرنش های تقویتی گذرا

کرنش های موجود در تقویت فولادی که در پایین تیر قرار دارند در تعدادی از آزمون ها اندازه گیری شدند. شکل 7 نشان دهنده تاریخچه زمانی کرنش تقویت تیر B3 است. کرنش تسلیم تقویت به ترتیب  $3000^{\circ}$  بوده و از این رو دیده می شود که عموماً تقویت ها در طول ضربه اولیه دچار تسلیم می گردند. حداکثر میزان کرنش ثبت شده در آزمون ها برابر  $32.5 / \text{ثانیه}$  بود.



شکل 7. اندازه گیری کرنش گذرا تقویت برای تیر B3

### 5-3- ضبط دوربین های با سرعت بالا

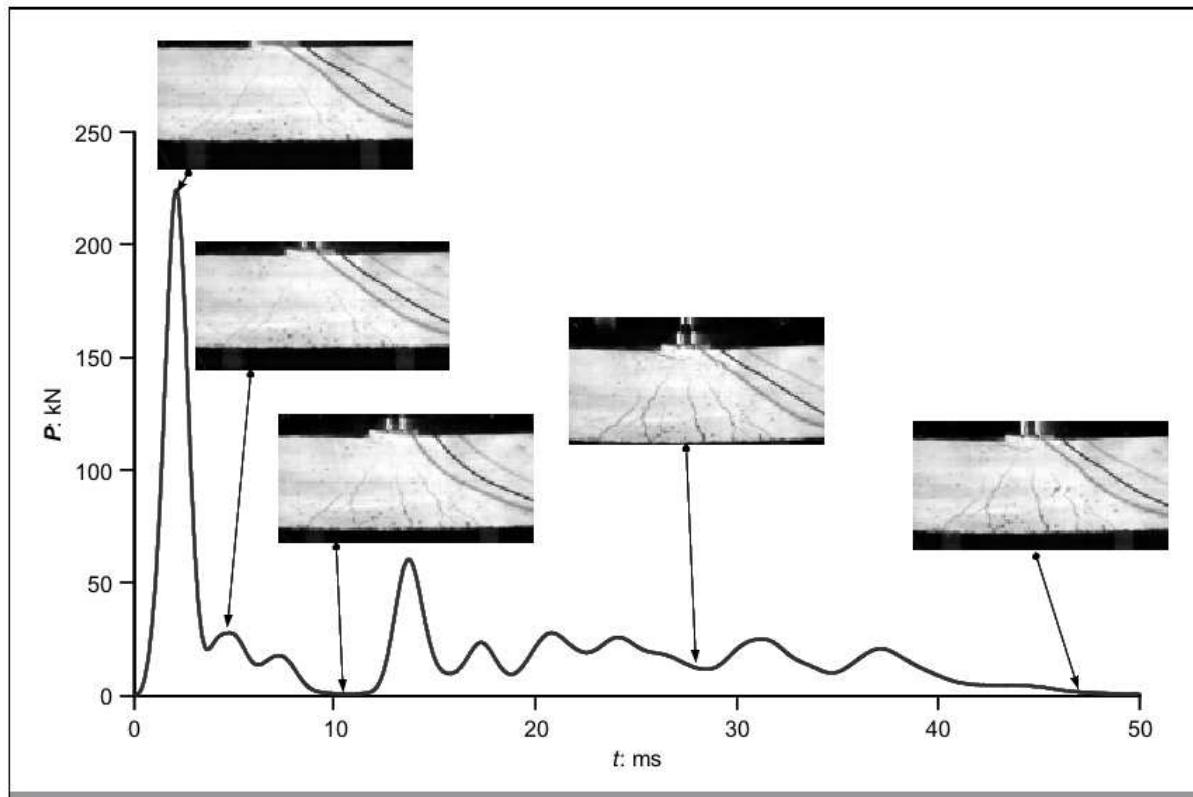
یک دوربین با سرعت بالا برای ضبط پاسخ موضعی تیرهای موجود در ناحیه ضربه در طول بارگذاری مورد استفاده

قرار گرفت. فیلم های معمولی تولید شده از تصاویر گرفته شده توسط دوربین نیز در دسترس است 21.

### 6-3- همبستگی بین بار گذرا و توسعه ترک ها در تیر

شکل 8 و 9 تاریخچه زمانی بار ضربه را همراه با تعدادی از عکس های گرفته شده از دوربین نشان می دهد که

این ها منعکس کننده توسعه ترک در مجاورت منطقه ضربه به ترتیب برای تیر A1 و تیر B3 می باشند.

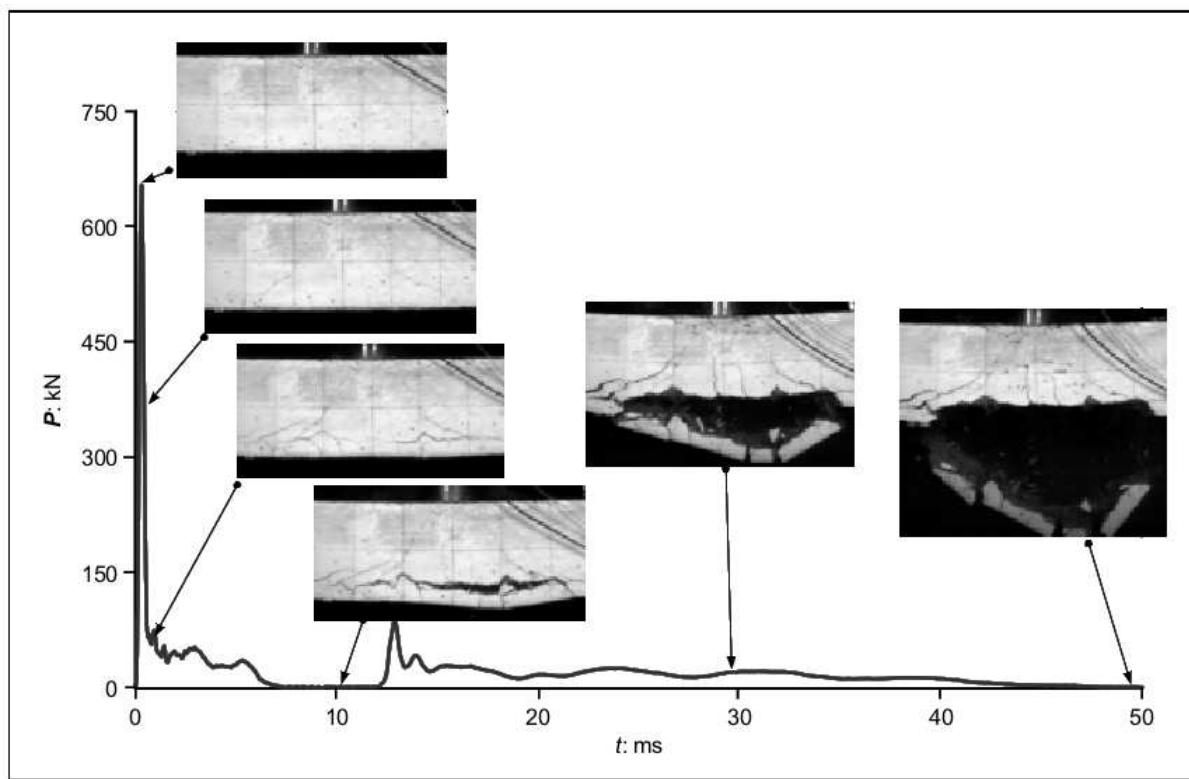


شکل 8: همبستگی بار ضربه ای و انتشار ترک برای تیر A1

شکل 8 نشان می دهد که در ابتدا گروهی از ترک های برشی مورب بر روی تیر A1 تشکیل شده است و دقیقا در زمانی است که بار به حداقل خود در 2 میلی ثانیه می رسد. پس از این اتفاق ترکهای عمودی ایجاد می گردند. تفکیک بین ضربه گیر و تیر در حدود 10 میلی ثانیه رخ داده است، که این تفکیک با بار ضربه ای صفر نشان داده است، هرچند که هردو تیر و ضارب به سمت پایین حرکت می کنند. در این زمان، برخی از قسمت های بتی به طور مستقیم در زیر ضربه گیر جدا می شوند. پس از آن دوباره ضربه گیر و تیر مجددا به هم تماس پیدا می کنند و پس از آن ترک خوردگی بی شتری رخ داده و تکه تکه شدن بی شتری نیز آشکار می گردد. در 50 میلی ثانیه، تیر و ضربه گیر دوباره از هم فاصله می گیرند و ضربه گیر شروع به حرکت به سمت بالا می کند.

در شکل 9 می توان دید که عملای هیچ شکاف بر روی تیر B3 قبل از اینکه نیروی ضربه در 0.3 میلی ثانیه به حداقل خود برسد، وجود ندارد. دو ترک برشی عمده و بزرگی به صورت متقاضن در دهانه میانی و در زیر ناحیه ضربه و در زمان حدودی 0.5 میلی ثانیه ایجاد شده است که برخی ترک های عمودی کمی نیز در پایین و در قسمت

مرکزی تیر نیز ایجاد می شود. علاوه بر این، به غیر از تیر A1، تعدادی از ترک های افقی در سطح تقویت فولادی زیرین موجود در زیر منطقه ضربه مشاهده شد. پس از آن این ترک ها به آرامی تا زمانیکه بار کاهش پیدا کند به هم دیگر پیوستند. در زمانی که تیر در نرخ سریع تراز ضربه گیر در حدود 8 ms تغییر شکل یابد، یک دوره کوتاه از جدایی بین ضربه گیر و تیرایجاد می شود. باز شدگی ترک افقی چنان بزرگ شد که پوشش بتنی زیر ترک شروع به جدا شدن یا تکه شدن از بقیه تیر کرد. از 10 میلی ثانیه تا 30 میلی ثانیه، ضربه گیر و تیر دوباره باهم تماس یافتند که این منجر به بار ضربه ای نسبتاً کوچک می شود. تکه تکه شدن نیز در این دوره در زیر منطقه ضربه رخ داده است. پوسته پوسته شدن بتن بیشتر بین 30 تا 50 میلی ثانیه افزایش یافت. در نهایت، مقدار قابل توجهی از بخش بتنی که در پایین تیر قرار داشت به صورت یک منطقه مثلثی محصور شده توسط دو شکاف برشی جدا و تکه شد. در حدود 50 میلی ثانیه، ضارب شروع به حرکت به سمت بالا کرده و تیر و ضربه گیر دوباره از هم جدا شدند.



شکل 9: همبستگی بار ضربه ای و انتشار ترک برای تیر B3

### 7-3- الگوهای ترکی پس آزمون یا حالت های شکست

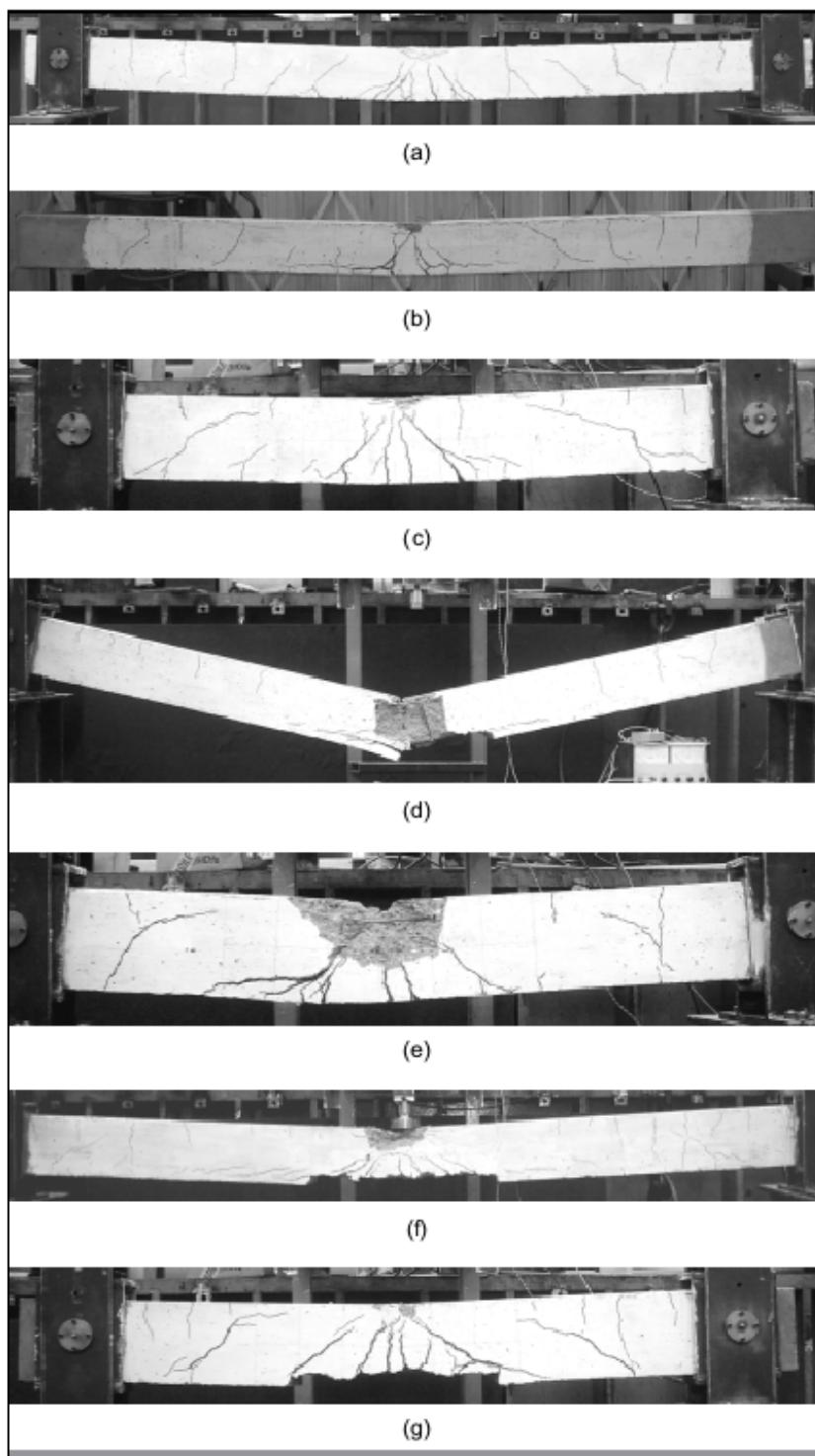
در حالت کلی سه حالت شکست مشاهده شد.

حالت الف. این حالت یک شکست خم ضی غالب به همراه خرد شدن در زیر ضربه گیر و برخی ترک بر شی در منطقه ضربه بود. ترک های عمودی که از بالای تیر شروع می شوند در امتداد مقطع تیر و به دور از ناحیه ضربه بوده که به ترتیب در شکل 10 (الف) و 10 (ب) برای تیرهای A1 و A2 نشان داده شده است. در ادامه، ترک خوردگی برشی و ترک های عمودی کوتاهی در تیر A3 رخ داده است که در شکل 10 (ج) نشان داده شده است. حالت شکستگی الف روی تیرهای نوع A، یعنی آنهایی که دارای رابط تخته سه لا بودند، رخ داد.

در این نوع شکست آسیب کمتری نسبت به حالت های ب و ج، که در زیر شرح داده شده است، رخ داده است که این به دلیل برخی از انرژی ضربه ای است که در اثر تغییر شکل تخته سه لا جذب می گردد.

حالت ب. این یک شکست عمدتاً موضعی در ناحیه ضربه بوده که با خرد شدن گستردگی بتن در زیر ضربه گیر و تسلیم میلگردهای فولادی کششی همراه است و این حالت نیز به ترتیب در شکل 10 (د) و 10 (ای) به ترتیب برای تیرهای B1 و B2 نشان داده شده است. به دور از منطقه ضربه، ترک خوردگی شبیه به حالت شکست الف است. این حالت شکست در تیرهایی که به طور مستقیم با ضربه گیر نیمه کروی تحت تاثیر قرار گرفته است، رخ داده است.

حالت ج. این حالت شبیه به حالت شکست الف است، اما در این حالت از دست دادن پوشش بتنی موجود بپروری تقویت فولاد کششی در پایین یک تیر به علت تکه شدن نیز وجود دارد و در نهایت این حالت شکست نیز در شکل 10 (ف) و 10 (گ) به ترتیب برای تیرهای B3 و B4 نشان داده شده است. در تیرهایی که به طور مستقیم با ضربه گیر مسطح در تماس هستند این حالت شکست اتفاق می افتد.



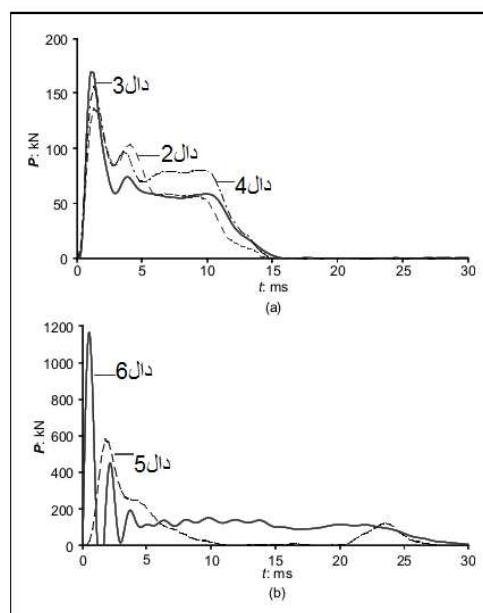
شکل 10. الگوی ترک ها پس از آزمایش تیرها: (الف) تیر A1؛ (ب) تیر A2؛ (ج) تیر A3؛ (د) تیر B1؛ (ای) تیر B2؛ (ف) تیر B3؛ (جی) تیر B4

## 4- نتایج حاصل از دال ها

### 1-4- بار ضربه ای گذرا

ضارب برای دال 1 شامل ضربه گیر نیمه کره ای و جرمی است اما سلول باری وجود ندارد. این آزمایش برای تعیین اینکه آیا دال دچار سوراخ شدگی میشود یا خیر انجام می شود، که در صورت نصب سلول بار بروی دال می تواند سبب آسیب به سلول بار شود. بنابراین هیچ بار ضربه ای برای دال 1 ثبت نمی گردد. شکل 11 تاریخچه زمانی بار ضربه ای را برای دال های 2 تا 6 نشان می دهد. برای دالهای 2 تا 5، بارها با استفاده از سلول بار اندازه گیری شد. برای دال 6، بار از شتاب سنج های متصل شده به کاهش جرم تعیین شد، زیرا بار ضربه بیش از ظرفیت سلول بار است.

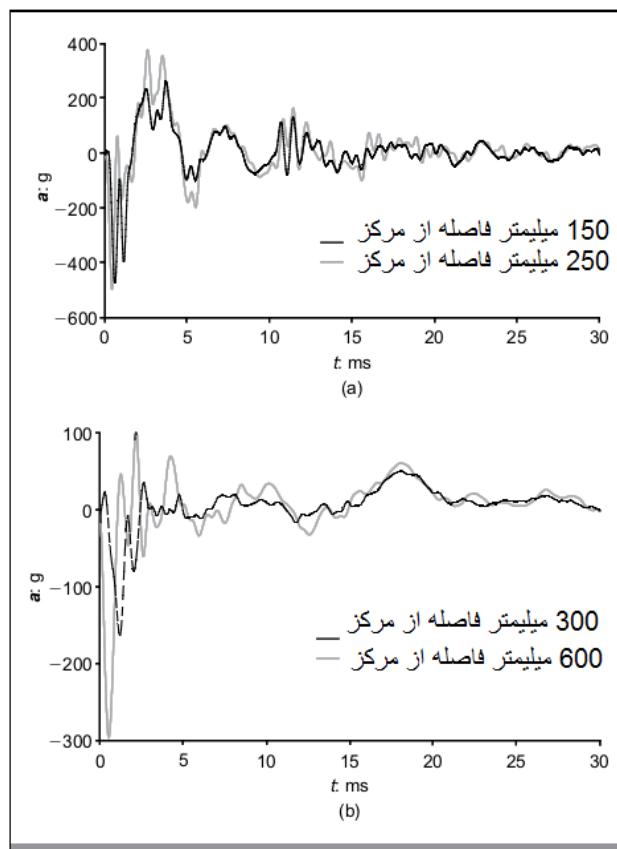
از شکل 11 (الف) دیده می شود که برای دالهای 2 تا 4 پس از رسیدن به بار پیک، بار به صورت افقی و به حدود نصف بار پیک کاهش می یابد. در دال 6 مقدار بار افقی حدود یک نهم از بار پیک است، در دال 5 نیز این قسمت افقی وجود ندارد. در طی شکست های موضعی به علت نفوذ و پوسته پوسته شدن، تسلیم شدن تقویت ها نیز مشاهده شد که این اتفاق در درجه های مختلف در دالهای 2 تا 4 و 6 مشاهده گشت. دال 5 نشانه های کمی از شکست را نشان می دهد که در ادامه توضیح داده خواهد شد.



شکل 11. بار ضربه ای گذرا از دال ها: (الف) دال 4-2؛ (ب) دال 5 و 6

#### 2-4- شتاب گذرا

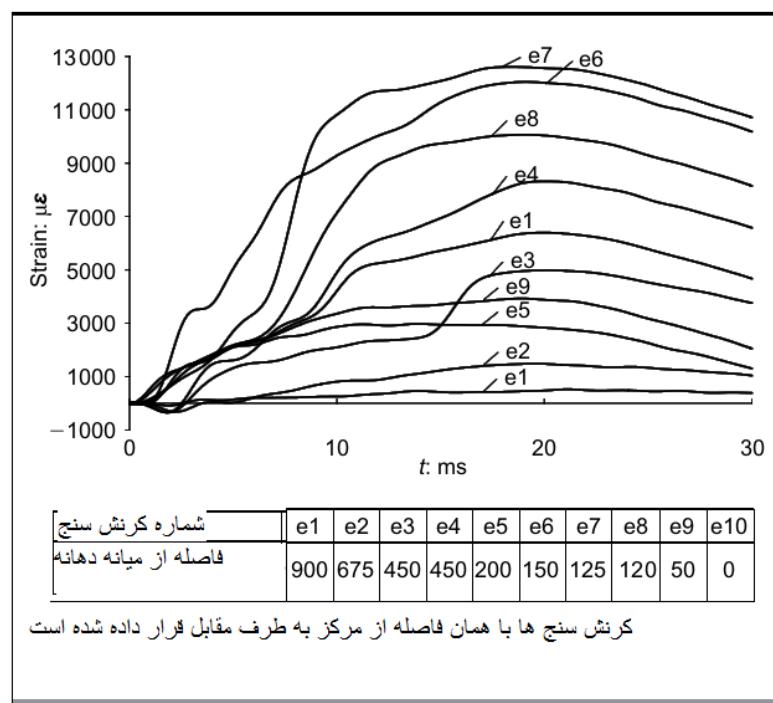
شتاب های گذرا اندازه گیری شده در سطوح بالای دالهای 4 و 6 در شکل های 12 (الف) و 12 (ب) نشان داده شده است. بین فازهای دو شتاب سنجی که در نقاط مختلف بر روی دال 4 اندازه گیری شده اند، تفاوت کمی وجود دارد. در دال 6، این تفاوت در فازهای شتاب برای اولین 5 میلی ثانیه بیشتر مشهود است اما با افزایش زمان، این تفاوت نیز کاهش می یابد. در دالهای 5 و 6، شتاب سنج ها به طور جداگانه بر روی دال های 0.76 متر مربعی قرار گرفته اند و در نظر گرفته شده است که تفاوت در فاز های شتاب ها واکنش بخش های مختلف دالی های 2.3 متر مربعی را به دلیل گستردگی تربودن فاصله نشان می دهد.



شکل 12. شتاب گذرا از دال: (الف) دال 4-2؛ (ب) دال 5 و 6

### 3-4- کرنش های گذراي تقويت ها

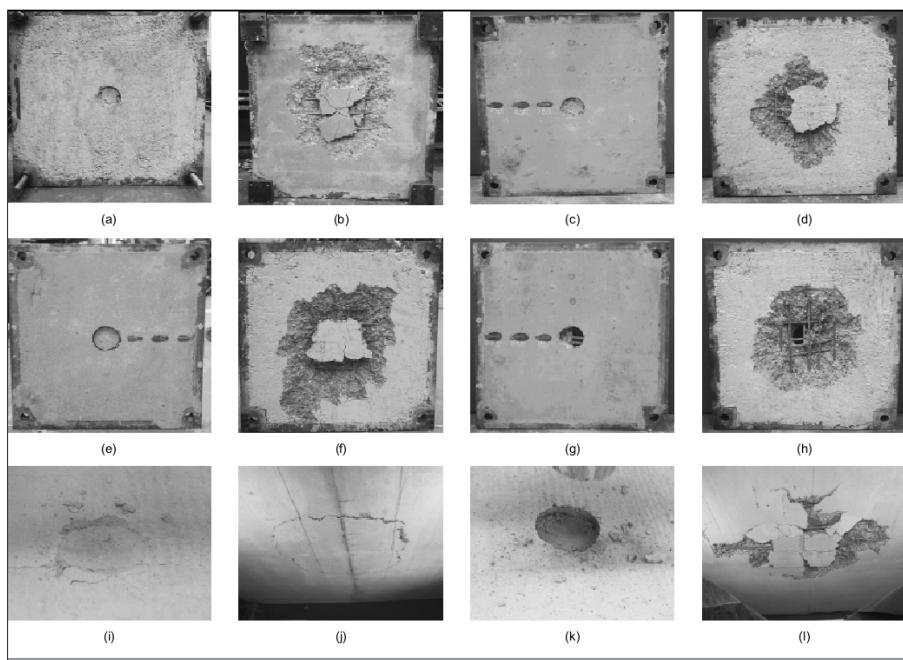
کرنش های تقویت های موجود در دال 6 نیز اندازه گیری شده و نتایج در شکل 13 نشان داده شده است. کرنش ها نشان می دهد که برخی از تقویت ها در طی آزمون چار تسليم شده اند.



شکل 13. کرنش گذرا تقویت ها در دال 6

### 4-4- آسیب موضعی و مقایسه با فرمول های تجربی

شکل 14 نشان دهنده آسیب در وجود بالا و پایین دال ها بعد از ضربه است. در ضخامت 76 میلی متر، دال های 1 تا 4 مقدار زیادی از بتن خود را از دست داده اند و این از دست دادگی به شکل ذرات کوچک و بلوک های بزرگتر است. این به دلیل مقدار نسبتا قابل توجهی از انرژی در اثرات بر روی صفحات نازک بود. همچنین بر روی شمش 6 نیز وجود داشت، اما در سایبان ضخیم دیگر، اسلب 5، که در آن جرم ضربه گیر تقریباً نصف شده بود برای شمشیر 6، چسبندگی به طور کامل توسعه نیافت. مقدار قابل توجهی از نفوذ ضربه گیر در اسلب ها 1 تا 4 و 6 وجود داشت اما در اسلب 5 بسیار کم بود.



شکل 14. دال ها پس از ضربه: (الف) وجهه بالای دال 1؛ (ب) وجهه پایین دال 2؛ (ج) وجهه بالا دال 2؛ (د) وجهه زیرین دال 2؛ (ای) وجهه بالای دال 3؛ (اف) وجهه پایین دال 3؛ (جی) وجهه بالای دال 4؛ (اج) وجهه پایینی دال 4؛ (آی) وجهه بالای دال 5؛ (آل) وجهه پایین دال 5؛ (کا) وجهه بالای دال 6؛ (ال) وجهه پایین دال 6

جدول 4 اندازه مناطق تکه شده و وزن بقایای ریخته شده از دال ها را نشان می دهد. با استفاده از یک ضربه گیر نیمه کروی می توان یک ناحیه دایره ای تکه شده ای را در ناحیه پایین دال ایجاد کرد که این نسبت به ناحیه ای است که در اثر ضربه گیر مسطح مورد استفاده در دال 3 ایجاد می شود. اینکار به این دلیل است که موج تنشی ناشی از ضربه گیر نیم کره ای به علت تماس بین ضربه گیر و وجود بالایی دال، ممکن است به صورت یکنواختی انته شار نیابد.

نفره شده	نفره شده	نفره شده	نفره شده	ضخامت دال برای جلوگیری از تکه شدن		جرم بتن حدا شده	ضخامت دال برای جلوگیری از سوراخ شدن	نفره شده	$E_{imp}/E_s$
				فرمول NDRC اصلاح شده	Bechtel formula: <sup>14</sup> mm				
1	2.1	450–480	2.9	130	146	110	58	55	2.2
2	2.1	360–480	2.9	130	146	110	58	55	2.2
3	2.1	410–620	5.1	119	143	113	52	52	2.7
4	3.2	410–430	5.6	152	162	126	69	64	3.4
5	7.5	—	—	217	251	174	108	106	5.3
6	13.0	~700	—	249	293	209	133	132	5.8
جدول 4: جزئیات تکه شدن (کمیته ملی تحقیقات دفاعی: NDRC)									

همراه با نتایج آزمون ارائه شده، جدول 4 نیز پیش بینی هایی مربوط به پوسته شدن با استفاده از فرمول های تجربی مختلف را ارائه می دهد. پیش بینی ها برابر حداقل ضخامت یک دال برای جلوگیری از پوسته شدن یا سوراخ شدن و حداقل اثر انرژی لازم برای ایجاد پوسته شدن است. به عنوان مثال، برای یک وزن 98.7 کیلوگرم با سرعت 6.5 متر بر ثانیه، که بر روی یک دال شبیه به دال 1 با مقاومت فشاری بتن در  $60 \text{ N/mm}^2$  تاثیر می گذارد، فرمول NDRC اصلاح شده 14 می تواند پیش بینی کند که اگر ضخامت کمتر از 58 میلیمتر باید سوراخ شدگی رخ می دهد و در صورتی که همین ضخامت نیز کمتر از 130 میلیمتر باشد پوسته شدن نیز اتفاق می افتد. انرژی ضربه ای که برای ایجاد پوسته شدن دالی به ضخامت 76 میلی متر لازم است برابر 2.2 کیلوگرم بوده که این مقدار نیز بر اساس فرمول سوخت هسته ای بریتانیا (BNFL) است.

نتایج آزمایش با پیش بینی ها مقایسه شد و در نهایت مشخص گردید که فرمول های تجربی برای دال های 1 تا 4 خوب عمل می کنند. هم چنین مشاهده می شود که ضخامت 76 میلیمتر دال ها در محدوده ضخامت های دال پیش بینی برای پوسته شدن بوده و در صورتی پوسته شدن نیز رخ می دهد که انرژی های ضربه نزدیک به انرژی های پیش بینی شده در آزمایشات باشند. برای دال های 5 و 6 و همچنین برای دال هایی با ضخامت 76 میلیمتری این فرمولها مناسب نمی باشند. به عنوان مثال، کمی تکه شدن در آزمایش ها مشاهده شد، هر چند که انرژی ضربه ای که در آزمایش ها استفاده می شد بیشتر از انرژی بود که با استفاده از فرمول BNFL برای تکه شدن پیش بینی شده بود. فیلمبرداری نیز برای تستهای دال موجود است.<sup>21</sup>

به طور کلی، فیلم های ویدئویی به دست آمده به اندازه فیلم های ویدیویی به دست آمده از آزمایش های تیر، کارآمد و مفید نمی باشند.

## 5- نتیجه گیری

یک تحقیق تجربی به بررسی رفتار تیرها و دال های بتن مسلح تحت بارهای ضربه ای کم سرعت با حجم بالا پرداخت. اندازه گیری های گذرا از نیروی ضربه، شتاب در تیرها و دال ها و کرنش آرماتور نیر در این پژوهش ارائه شده است. آزمایشهای تیر یافته های دیگران را تأیید کرده اند [7] و مشخص شد که تکیه گاه تیرها نسبت به دهانه برروی نیروی ضربه کمتر تاثیر ندارد. همچنین مشخص شد که رابط تخته سه لام، که در برخی از آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت، نیرو همانند عملکرد ضربه گیر مسطح، توزیع می کند. سوابق به دست آمده از دوربین های با سرعت بالا قادر هستند که پاسخ ضربه تیرها را از لحظه خوردگی، تکه شدن و پوسته شدن در برابر تاریخچه زمانی بار ضربه، ربط دهند. مقایسه اثر انرژی ضربه اعمال شده بر روی دال ها و پیش بینی های انجام گرفته با استفاده از فرمول تجربی نشان می دهد که فرمول ها قادر به ارائه پیش بینی دقیقی برای دال هایی با ضخامت 150 میلی متر نبودند، هرچند این پیش بینی ها برای دال هایی با ضخامت 76 میلی متری تحت ضربات با سرعت کم، کارآمد هستند. برخی از داده های تولید شده از این مطالعه پیش از این برای کالیبراسیون مقادیر عددی جهت شبیه سازی سازه های بتنی مقاوم در برابر ضربه استفاده شده است و می توان انتظار داشت که از این اعداد و نتایج نیز به صورت بیشتری استفاده گردد.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

✓ لیست مقالات ترجمه شده

✓ لیست مقالات ترجمه شده رایگان

✓ لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI

سایت ترجمه فا؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی