

بررسی آزمایشگاهی پانل‌های بتنی انعطاف‌پذیر تحت اثر بارهای ضربه‌ای

محمد کاظم شربتدار^۱، محمد گرمی^۲

۱- استادیار گروه عمران دانشگاه سمنان، تلفن ۰۲۳۱-۳۳۳۵۴۰۵ m_sharbatdar@hotmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سمنان، - تلفن همراه: ۰۹۱۳۷۷۶۰۴۱۳

Karami.semnan@ymail.com

خلاصه

شکل‌پذیری یکی از عوامل موثر در بررسی المان‌های مقاوم در برابر بارهای ضربه‌ای اعم از انفجار می‌باشد. یکی از ضعف‌های المان‌های بتنی، شکل‌پذیری کم آن‌ها در برابر بارهای شدید می‌باشد که امروزه مهندسان جهت تقویت این المان‌ها از بتن‌های الیافی استفاده می‌نمایند. برای ساخت بتن‌های الیافی از الیاف مختلفی نظیر الیاف فولادی، کربنی، شیشه‌ای و پلیمری استفاده می‌شود. یکی از الیاف پلیمری فوق توانمند که در ساخت المان‌های بتنی استفاده می‌شود الیاف PVA می‌باشد. بتن ساخته شده از این الیاف از انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار می‌باشد. در این مقاله رفتار بتن‌های انعطاف‌پذیر تحت اثر بارهای ضربه‌ای مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: بتن‌های انعطاف‌پذیر، سخت‌شدگی کرنش، بارهای ضربه‌ای، نفوذ

مقدمه

امروزه استفاده از سازه‌های بتنی به نحو چشمگیری گسترش یافته است. با این وجود، علیرغم مشخصه‌های مطلوب بتن برخی ضعف‌ها نیز در آن مشاهده می‌گردد که در این میان می‌توان به مقاومت کششی پایین آن اشاره نمود. محققان جهت بهبود این مشخصه، بتن‌های الیافی را معرفی نمودند که استفاده از الیاف در ماتریس بتن منجر به افزایش مقاومت کششی آن تا حد مطلوبی گشته است. یکی از انواع بتن‌های الیافی که اخیراً مطرح گردیده است، بتن‌های انعطاف‌پذیر ECC^۱ می‌باشد که مقاومت کششی این بتن‌ها در مقایسه با بتن‌های معمولی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. برای ساخت بتن‌های انعطاف‌پذیر ECC از الیاف PVA به مقدار حجمی ۲٪ استفاده می‌گردد که این الیاف از مقاومت کششی و مدول الاستیسیته بالایی برخوردار می‌باشند. یکی از کاربردهای بتن‌های انعطاف‌پذیر، استفاده از آن‌ها در ساخت سازه‌های محافظ و مقاوم در برابر انفجار می‌باشد که علاوه بر تامین مقاومت کافی، شکل‌پذیری آن‌ها را نیز به طور مطلوبی افزایش می‌دهد. در مصالح مصرفی در این سازه‌ها علاوه بر ظرفیت بالای جذب انرژی، میزان تغییرشکل، مقاومت در برابر ضربه‌های اعمالی و اثر نرخ کرنش حائز اهمیت می‌باشد. در بتن‌های انعطاف‌پذیر ECC به دلیل ایجاد ترک‌های ریز مضاعف، سرعت گسترش ترک‌ها کاهش یافته و در حین بارگذاری همانند فلزات، پدیده سخت‌شدگی کرنش در آن‌ها مشاهده می‌گردد که این امر منجر به افزایش ظرفیت باربری و همچنین تحمل تغییرشکل‌های پلاستیک بدون ایجاد گسیختگی در نمونه می‌گردد. [۳،۲،۱]

برای بررسی و ارزیابی میزان آسیب‌های وارده و حالات گسیختگی در پانل‌های بتنی انعطاف‌پذیر ECC تحت اثر بارهای ضربه‌ای، دکتر مالچ^۲ و همکارانش در دانشگاه سنکاپور آزمایش‌هایی را انجام داده‌اند. آن‌ها آسیب‌های وارده را بر حسب عمق و قطر نفوذ و شرایط ترک خوردگی مورد بررسی قرار داده‌اند که نتایج حاصله حاکی از مقاومت ضربه‌ای بالای پانل‌های بتنی انعطاف‌پذیر در مقایسه با پانل‌های بتنی معمولی می‌باشد.

¹ Engineered Cementitious Composites

² Maalej

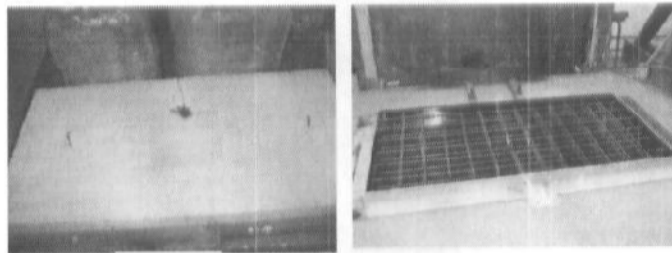
مشخصات و شرح آزمایش

برای مقایسه رفتار پانل‌های بتنی انعطاف‌پذیر ECC و پانل‌های بتنی معمولی RC، نمونه‌هایی از پانل‌های ECC با ضخامت‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر ساخته شده است که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در این بررسی علاوه بر مقایسه رفتار پانل‌های بتنی انعطاف‌پذیر و پانل‌های بتنی معمولی، اثرات ضخامت پانل بر رفتار پانل‌های انعطاف‌پذیر ECC نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

جدول ۱- مشخصات پانل‌های مورد آزمایش [۴]

ردیف	نوع پانل	ابعاد پانل	اندازه و فواصل آرماتورگذاری	نسبت آرماتور مصرفی
۱	RC100	۱۰۰۰×۴۰۰۰×۱۰۰	Φ8 mm @ 150 mm c/c	٪۰/۱۶
۲	ECC100	۱۰۰۰×۴۰۰۰×۱۰۰	Φ8 mm @ 150 mm c/c	٪۰/۱۶
۳	ECC75	۱۰۰۰×۴۰۰۰×۷۵	Φ8 mm @ 150 mm c/c	٪۰/۱۸

مقاومت فشاری اسمی نمونه آزمایشی ساخته شده با بتن معمولی ۴۰ MPa در نظر گرفته شده و پوشش بتنی در دو طرف نمونه با ضخامت ۱۰۰ و ۷۵ میلی‌متر به ترتیب برابر ۱۵ و ۱۰ میلی‌متر لحاظ شده است. نمونه‌ای از پانل بتنی انعطاف‌پذیر و نحوه چیدمان آرماتورها در شکل ۱ نشان داده شده است.



(ب)

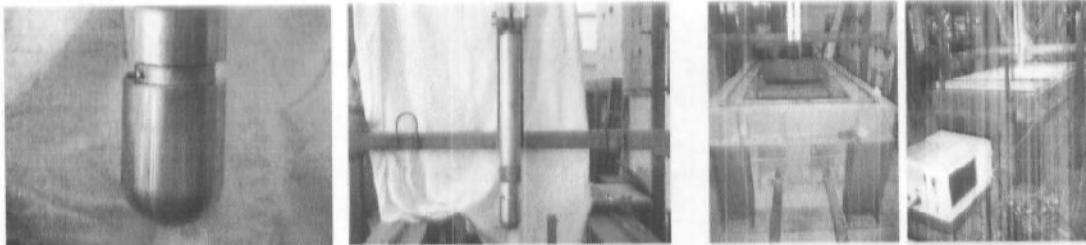
(الف)

شکل ۱- نمونه پانل بتنی انعطاف‌پذیر - (الف) آرماتورگذاری پانل، (ب) نمونه قبل از آزمایش

مشخصات آزمایش ضربه در جدول ۲ ارائه شده است که دستگاه آزمایش ضربه و وزنه پرتابی به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- مشخصات آزمایش ضربه

جرم وزنه	قطر نوک وزنه	ارتفاع سقوط
۴۵ کیلوگرم	۹۶ میلی‌متر	۴ متر



(ب)

(الف)

شکل ۳- (الف) وزنه آزمایش، (ب) قسمت انتهایی وزنه

شکل ۲- دستگاه آزمایش ضربه با قاب اتصال ثابت

تحت شرایط تکیه گاهی ساده

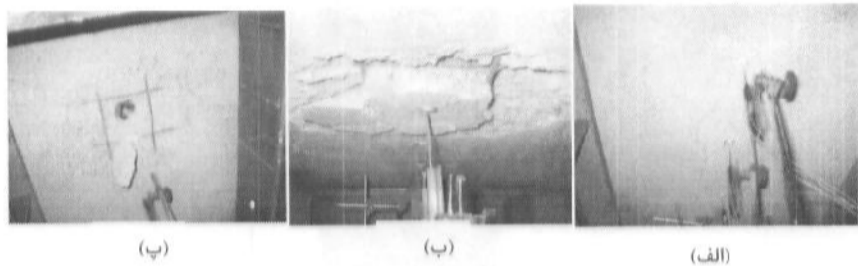
وزنه آزمایش بر اثر وزن خود و به صورت سقوط آزاد در وسط نمونه ضربه وارد می‌کند و در هر یک از نمونه‌ها، مقاومت آن‌ها تحت ضربات مختلف تا ایجاد عبور کامل^۳ ادامه می‌یابد و نتایج ثبت می‌گردد.

برای ساخت بتن معمولی و ECC، آن‌ها را در قالب ریخته و پس از ویبره کردن، سطح آن جهت رسیدن به ضخامت مورد نظر پرداخت می‌شود. برای هر یک از طرح اختلاط‌ها، نمونه‌های مکعبی ۱۰۰ میلی‌متری ساخته می‌شود. برای کاهش اثرات جمع‌شدگی، در طی ۷ روز عمل‌آوری صورت می‌گیرد و برای ممانعت از تبخیر سطحی و عمل‌آوری مناسب از پوشش‌های پلاستیکی استفاده شده است. همچنین برای اینکه بتوان به آسانی میزان آسیب وارده را اندازه‌گیری نمود، در قسمت میانی نمونه‌ها، شبکه‌های^۴ ۱۰ میلی‌متری مشخص گردیده است. [۴]

مقاومت متوسط ۲۸ روزه نمونه‌های مکعبی به ترتیب برای ECC و RC برابر ۵۵ MPa و ۴۰ MPa می‌باشد.

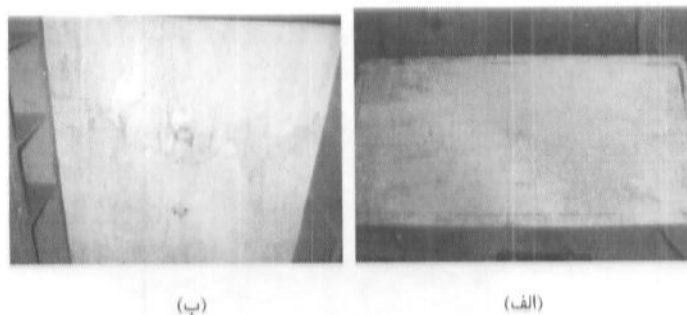
رفتار کلی و مشاهدات پس از آزمایش عبور کامل

بر روی پانل‌های RC100 و ECC75 آزمایش ضربه تا ایجاد نفوذ در آن‌ها انجام می‌گیرد. پس از ۱۰ ضربه در ECC75 نفوذ مشاهده می‌گردد. میزان آسیب وارده به نمونه RC100 در اولین، دومین و سومین ضربه در شکل ۴ نشان داده شده است. پس از وارد آمدن دومین ضربه بر روی نمونه RC100، نمونه قله‌کن شده و آوار زیادی در وجه پشتی مشاهده می‌گردد و پس از ضربه سوم نمونه کاملاً سوراخ شده است.



شکل ۴- آسیب وارده بر وجه پشتی پانل RC100: (الف) پس از اولین ضربه، (ب) پس از دومین ضربه (قلوه‌کن شدن زیاد)، (پ) پس از سومین ضربه (عبور کامل با ایجاد مخروط برشی بزرگ- الگوی ترک خوردگی)

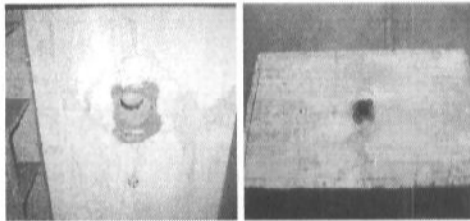
در نمونه ECC100 پس از ضربه دهم، آسیب چندانی مشاهده نمی‌گردد به طوری‌که ترک‌های ریز در شکل ۵-الف مشخص می‌باشد. مطابق شکل ۵-ب، در نمونه ECC75 نیز پس از وارد آمدن ضربه دهم نمونه قله‌کن نشده و صرفاً در آن ترک‌های ریز دیده می‌شود. پس از هفدهمین ضربه، در نمونه پدیده عبور ایجاد گردیده است. (شکل ۷)



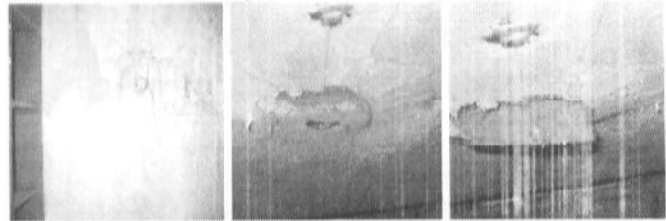
شکل ۵- آسیب وارده بر وجه پشتی پانل ECC پس از دهمین ضربه (تنها ترک‌های ریز در آن مشاهده می‌شود): (الف) ECC100، (ب) ECC75

³ Perforation

⁴ Grid



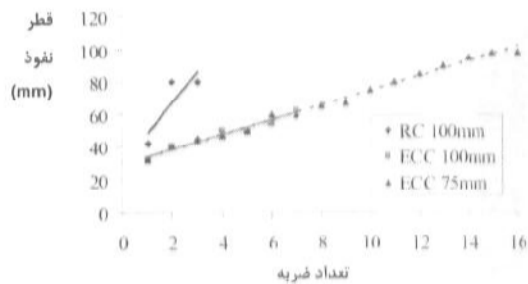
شکل ۷- وجه پشتی ECC75 پس از هفدهمین ضربه



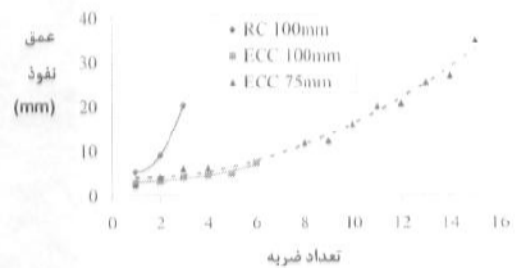
شکل ۶- وجه پشتی پانل ECC75 پس از یازدهمین تا شانزدهمین ضربه (به تدریج پس از یازدهمین ضربه در نمونه نفوذ ایجاد شده تا اینکه در هفدهمین ضربه عبور کامل صورت گرفته است)

بررسی و تحلیل نتایج

پس از هر یک از آزمایش های ضربه، میزان آسیب وارده بر حسب قطر و عمق متوسط نفوذ، گسترش ترک و همچنین پوسته شدن، قلوه کن شدن و میزان آوار مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. دو پارامتر اول مستقیماً از نمونه ها پس از هر آزمایش به دست آمده و پارامترهای دیگر از نتایج و مشاهدات حاصل از دوربین های دیجیتالی و ویدئویی به دست آمده اند. در وجه برخورد ضربه در پانل ECC عمق و قطر نفوذ نسبت به پانل RC کمتر می باشد. نتایج در شکل های ۸ و ۹ نشان داده شده است. در شکل ۱۰ آسیب وارده در وجه برخورد ضربه در پانل RC در سه ضربه اول نشان داده شده است.



شکل ۹- قطر نفوذ بر حسب تعداد ضربه ها



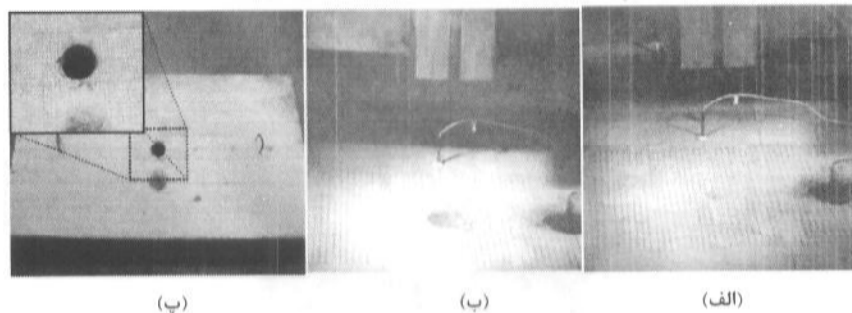
شکل ۸- عمق نفوذ بر حسب تعداد ضربه ها

عمق و اندازه نفوذ در پانل های ECC پس از ۱۰ ضربه در شکل های ۱۱ و ۱۲ برای ECC100 و ECC75 نشان داده شده است.



شکل ۱۱- آسیب وارده بر وجه برخورد پانل ECC100 (الف) : پس از اولین ضربه ، (ب) : پس از دومین ضربه ، (ب) : پس از سومین ضربه

شکل ۱۰- آسیب وارده بر وجه برخورد پانل RC100 (الف) : پس از اولین ضربه ، (ب) : پس از دومین ضربه ، (ب) : پس از سومین ضربه



شکل ۱۲- آسیب وارده بر وجه برخورد پانل ECC75: الف) پس از اولین ضربه، ب) پس از دهمین ضربه، پ) پس از هفدهمین ضربه

شکل ۷ ناحیه قله کُن شدن پس از هفدهمین ضربه را در پانل ECC75 نشان می دهد. قطر ناحیه قله کُن شدن در پانل ECC پس از اعمال دومین ضربه ۱۴۰ میلی متر می باشد که این قطر در پانل RC (شکل ۴)، ۴۵۰ تا ۵۰۰ میلی متر می باشد. مطابق شکل ۱۱ پس از اعمال دهمین ضربه بر وجه پشتی نمونه ECC100 آسیب چندانی در نمونه مشاهده نمی شود. رفتار ترک خوردگی در پانل ECC در مقایسه با پانل RC به طور چشمگیری بهبود یافته است. در نتیجه اعمال ضربه بر پانل ECC، ناحیه توزیع ترک های ریز مشاهده می شود که عرض این ترک ها کم بوده و باعث افزایش مقاومت آن می گردد. میزان آوار پس از دومین ضربه بر پانل RC و هفدهمین ضربه بر پانل ECC75 به ترتیب در شکل ۱۳ الف و ب نشان داده شده است. پس از اعمال دهمین ضربه به نمونه ECC100 و ECC75، به جز ناحیه اعمال ضربه، آسیب چندانی به آن وارد نشده و صرفاً ترک هایی بسیار ریزی در آن مشاهده می شود.



شکل ۱۳- آوار پس از الف) پس از دومین ضربه بر پانل RC100، ب) هفدهمین ضربه بر پانل ECC75

نتیجه گیری

- نتایج حاصل از آزمایش حاکی از آن است که پانل های ECC در برابر بارهای ضربه ای اعمالی در مقایسه با پانل های RC مقاومت بهتری داشته و آسیب کمتری در آن ها مشاهده می شود، به طوریکه برخی از نتایج آن به شرح ذیل می باشد:
- عمق و اندازه نفوذ در ناحیه اعمال ضربه در پانل بتنی انعطاف پذیر در مقایسه با پانل بتنی معمولی بسیار کمتر می باشد.
 - رفتار ترک خوردگی در پانل های ECC نسبت به پانل های RC بسیار بهتر بوده و مصالح درگیر در جذب انرژی جهت ایجاد مقاومت بیشتر می باشد.
 - مقاومت در برابر بارهای ضربه ای در پانل های ECC نسبت به پانل های RC بیشتر بوده و ظرفیت جذب انرژی آن ها در برابر بارهای ضربه ای متعدد به مراتب بیشتر می باشد.

مراجع

1- Victor C. Li, Tetsushi Kanda (1998) Engineered Cementitious Composites for Structural Applications

2- Victor C. Li (1997) ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES (ECC) –TAILORED COMPOSITES THROUGH MICROMECHANICAL MODELING

3- Victor C. Li (2006) Bendable composites- Ductile concrete for structures, Structure magazine

4- J. Zhang, M. Maalej, S.T. Quek and Y.Y. Teo (2005) Drop weight impact on hybrid-fiber ECC blast/shelter panels