

# بررسی عملکرد چسب پایه سیمانی

## در اتصال بلوک‌های سبک پیش ساخته AAC

دریافت مقاله: ۱۳۹۷-۰۸-۲۱

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱۰-۲۲

میلاد امانیان (نویسنده مسئول)

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

فرید کفیلی علمداری

کارشناس ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

محمد رضا توکلی‌زاده

استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

drt@um.ac.ir

### چکیده

با توجه به کاربرد اجباری بلوک‌های بتن سبک AAC در دیوار ساختمان‌ها، لزوم بهره‌برداری مناسب و جلوگیری از عدم اتلاف مصالح به لحاظ دوباره‌کاری در اصلاح و مرمت ترک‌خوردگی در این مصالح و همچنین استفاده بهینه با عملکرد بالا از چسب در این پژوهش مد نظر قرار گرفت. ابتدا مقاومت فشاری بلوک توسط آزمایش نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۲۰۰ میلیمتر اندازه‌گیری شد. نتایج مبین مقدار مقاومت فشاری حداقل و حداکثر ۲/۴ و ۳/۱ با میانگین ۲/۷ مگاپاسکال بودند. جهت تعیین ضریب کشسانی، نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۰۰ میلیمتر نیز تحت بارگذاری فشاری همراه با اندازه‌گیری تغییر شکل محوری نمونه قرار گرفت. روند کسب مقاومت چسب بلوک با آزمایش ۲۸ نمونه منشوری به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۲۰۰ میلیمتر که دو به دو توسط چسب بلوک به یکدیگر چسبانده شده بودند، در زمان‌های مشخص از ۸ ساعت تا ۳۵ روز تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای قرار گرفت. سپس نتایج با نتیجه نمونه‌های مینا به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۴۰۰ میلیمتر مقایسه گردید. نتایج نشان داد که پس از گذشت زمان ۴۸ ساعت مقاومت چسبندگی چسب از مقاومت گسیختگی بلوک فراتر می‌رود. کلمات کلیدی: بلوک AAC، مقاومت چسبندگی، ظرفیت خمشی، چسب اتصال‌دهنده بلوک.

نیاز گسترده و روز افزون جامعه به ساختمان و مسکن، ضرورت استفاده از روش‌ها و مصالح جدید به منظور افزایش سرعت ساخت، سبک‌سازی، عایق‌سازی و نیز طراحی بهینه ساختمان در برابر زلزله را بیش از پیش مطرح کرده است. حل مشکلاتی نظیر زمان طولانی اجرا، عمر مفید کم و یا هزینه زیاد اجرای ساختمان‌ها نیازمند ارائه راهکارهایی به منظور استفاده عملی از روش‌های نوین و مصالح ساختمانی جدید جهت کاهش وزن و کاهش زمان ساخت، دوام بیشتر و نهایتاً کاهش هزینه اجرا است. سبک‌سازی یکی از مباحث نوین در علم ساختمان است که روز به روز در حال گسترش و پیشرفت می‌باشد. این فن‌آوری عبارت از کاهش وزن تمام شده ساختمان با استفاده از تکنیک‌های نوین ساخت مصالح جدید و بهینه سازی روش‌های اجرا می‌باشد. کاهش وزن ساختمان علاوه بر صرفه جویی در هزینه، زمان و انرژی، زیان‌های ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله را کاهش داده و صدمات ناشی از وزن زیاد ساختمان را به حداقل می‌رساند.

در دنیای پیشرفته امروزی و با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه‌های مختلف علمی صنعت بتن نیز دچار تحول گردیده که تولید بتن سبک نیز حاصل همین پیشرفت‌ها می‌باشد. بتنی که علاوه بر کاهش بار مرده ساختمان از نیروی وارد به سازه در اثر شتاب زلزله می‌کاهد و در صورت تخریب وزن آوار حاصل نیز کاهش می‌یابد و امروزه آن را به عنوان بتن قرن می‌نامند. بتن سبک با توجه به ویژگی‌هایی که دارد دارای کاربردهای مختلفی است که برحسب وزن مخصوص و مقاومت فشاری آن تفکیک می‌گردد [۱].

بتن سبک اتوکلاو شده با علامت اختصاری AAC (Autoclaved Aerated Concrete) در سال ۱۹۲۴ میلادی توسط یک مهندس آرشیست سوئدی اختراع و به جامعه مهندسی معرفی گردید. تولید بلوک سبک AAC در صنعت ساختمان ایران در سال ۱۳۶۷ شروع شده است. این محصول امتیازات ویژه‌ای نیز نسبت به دیگر مصالح دارد از جمله این که عایق مناسب حرارتی و صدا می‌باشد، در برابر فشار مقاوم است، با ابزار معمولی به آسانی بریده می‌شود و می‌توان آن را به هر شکل تراشید، سوراخ کرد و یا تغییر شکل داد. در موقعیت کنونی بتن سبک بهترین ماده برای ساخت ساختمان‌های کوچک و بزرگ مسکونی، خدماتی، صنعتی و کشاورزی به ویژه در مناطق زلزله خیز می‌باشد [۲].

از مسائل و دغدغه‌های مهم مهندسان عمران در امر طراحی، محاسبه و ساخت پروژه‌های عمرانی وزن سازه به منظور طراحی بهینه در برابر نیروی زلزله است. از آنجایی که امروزه تمامی ساختمان‌ها به صورت اسکلت فلزی و یا بتنی اجرا می‌شوند، پارتیشن‌ها و دیوارهای داخلی فقط نقش جداکننده فضا را برعهده دارند و هرچه مصالح بکار رفته شده در این اجزا سبک تر باشد تاثیر مستقیمی در کاهش وزن سازه دارد. از این رو جایگزینی بلوک‌های AAC به جای آجرهای معمولی و سفال بسیار تاثیرگذار می‌باشد [۴]. در دنیای پیشرفته امروزی و با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه‌های مختلف علمی، صنعت بتن دچار تحول گردیده است، تولید بلوک سبک AAC حاصل همین پیشرفت‌ها می‌باشد [۵].

طراحان و سازندگان از دیرباز، به دلیل حفاظت از جنگل‌ها و همچنین قیمت بالای چوب، به دنبال مصالح ساختمانی بودند که بتوان آن را جایگزین چوب نمود. محصولی که به همان اندازه عایق و شکل‌پذیر بوده و در عین حال در برابر موربانه، آتش سوزی و پوسیدگی مقاومت بیشتری از خود نشان دهد. در این ساختار متخلخل، میلیون‌ها حباب هوا وجود داشته که در کنار ساختار توپر یک کلسیم هیدروسیلیکات، بتن هوادار اتوکلاو شده را به وجود آورده‌اند. عایق حرارتی، صوتی، سبکی، مقاومت در برابر حریق و مقاومت در مقابل پوسیدگی، از خواص منحصر به فرد بتن هوادار اتوکلاو شده به حساب می‌آید. این بتن با دارا بودن خواص مذکور توانست به سادگی جایگزین چوب شده و به دلیل طبیعی بودن مواد تشکیل دهنده آن نظیر سیلیس، گچ و آهک به سرعت گسترش پیدا کند. در کارهای ساختمانی بتنی، وزن خود بتن قسمت عمده‌ای از کل بار وارده بر سازه را تشکیل می‌دهد و لذا امتیازهای قابل توجهی در کاهش وزن آن وجود خواهد داشت. مهمترین این امتیازها امکان استفاده از مقاطع کوچکتر و کاهش مربوطه در اندازه پی‌ها است. بعلاوه در بتن سبک قالب‌ها فشار کمتری را از حالت بتن معمولی باید تحمل نمایند و

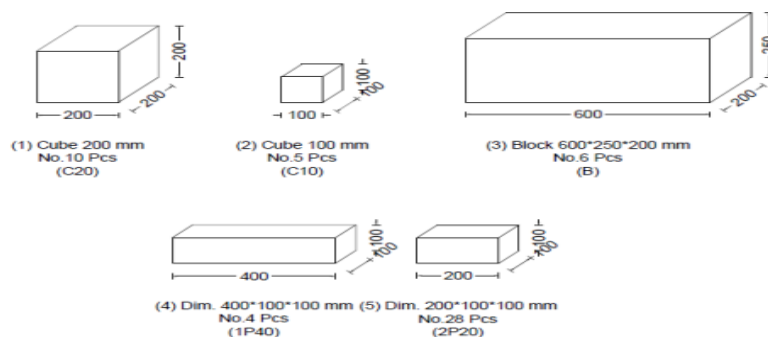
همچنین کل وزن مصالحی که باید جابجا گردد کاهش می‌یابد که سبب افزایش تولید خواهد شد. همچنین بتن سبک از لحاظ انتقال حرارت عایق بهتری از بتن معمولی است. حدود عملی وزن مخصوص‌های بتن سبک تقریباً بین ۳۰۰ تا ۱۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد [۶].

از آن جایی که پیوستگی مسیری برای انتقال نیرو می‌باشد، لذا کلیه روش‌های آماده‌سازی سطحی، کیفیت چسباننده‌ها و نحوه اجرا به جهت رسیدن به مقاومت پیوستگی مناسب جهت عملکرد مورد انتظار مقاوم‌سازی تامین گردد. اهمیت پیوستگی از آن جهت است که اگر اتصال بین بتن و مواد مرکب از بین برود، حتی اگر این مصالح سالم بماند، سیستم عملکرد یکپارچه و مورد انتظار را نخواهد داشت. ماندگاری پیوستگی از بحرانی‌ترین مسایل در رابطه با استفاده از این مصالح است و آماده‌سازی سطح از تاثیرگذارترین عامل‌ها در بررسی پیوستگی می‌باشد [۳].

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱- آماده‌سازی بلوک‌ها برای تهیه نمونه‌های آزمایش

مطابق شکل (۱) قطعاتی به تعداد و ابعاد نمایش داده شده توسط برش با اهر دستی برای ساخت نمونه‌های آزمایش فراهم گردید. برای آزمایش‌های مقاومت فشاری نمونه شماره (۱) به تعداد ۱۰ عدد مکعب ۲۰۰ میلیمتری بریده شد. نمونه شماره (۲) مکعبی به ابعاد ۱۰۰ میلیمتر به تعداد ۵ عدد تهیه گردید تا برای تعیین ضریب کشسانی مورد آزمایش قرار گیرد. نمونه شماره (۳) نیز تعداد ۶ عدد بلوک برای تعیین مدول گسیختگی مد نظر قرار گرفت که یکی از نمونه‌ها به منظور کنترل شرایط تکیه‌گاهی و نحوه بارگذاری دستگاه آزمایش در نظر گرفته شده بود. نمونه شماره (۴) به ابعاد ۴۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر تهیه و به عنوان نمونه کنترل برای مقایسه مدول گسیختگی و روند کسب مقاومت چسب بلوک با نمونه‌های شماره (۵) مورد مقایسه قرار گیرد. نمونه شماره (۵) به ابعاد ۲۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر دو به دو به یکدیگر چسبانده شد تا روند کسب مقاومت چسب بلوک مشخص شود. نام نمونه آزمایش ساخته شده از هر قطعه در زیر آن نوشته شده است. نام گذاری نمونه‌ها در بخش ۲-۳ آورده شده است.



شکل ۱- تعداد و ابعاد قطعه‌های مورد استفاده در تهیه نمونه‌های آزمایش

### ۲-۲- پارامترهای مورد بررسی

آزمایش‌ها در ۵ گروه بر روی نمونه‌های شکل (۱) بر اساس جدول (۱) انجام گرفت که مقاومت فشاری، ضریب کشسانی، مدول گسیختگی، حداکثر تغییر شکل نقطه میانی و روند سخت شدن چسب مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱- پارامترهای مورد بررسی در آزمایش‌ها

آزمایش‌های انجام شده					شماره نمونه
مقاومت فشاری	تغییر شکل	ضریب کشسانی	روند سخت شدن چسب	مدول گسیختگی	
✓	—	—	—	—	۱
✓	✓	✓	—	—	۲
—	—	—	—	✓	۳
—	—	—	✓	✓	۴ و ۵

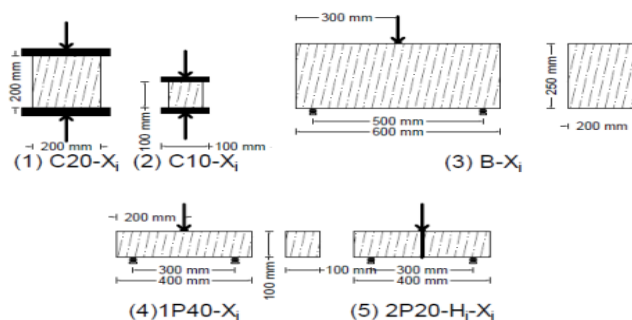
## ۳-۲- چیدمان آزمایش

در آزمایش‌های پیش‌رو نمونه‌های ۱ تا ۵ مطابق شکل (۲) تحت آزمایش‌های مقاومت فشاری، خمش سه نقطه‌ای قرار گرفتند. نمونه‌های شماره (۵) به تعداد ۱۴ عدد هر نمونه شامل دو قسمت به ابعاد  $200 \times 100 \times 100$  میلیمتر که توسط چسب بلوک به یکدیگر چسبیده‌اند و نمونه‌ای به طول ۴۰۰ میلیمتر را تشکیل می‌دهند، با نماد 2P20-Hi-Xi نشان داده شده‌اند. Hi معرف مدت زمان بعد از اتصال توسط چسب تا زمان آزمایش و بر حسب ساعت و Xi شمارنده آن می‌باشد. در هر مدت زمان مد نظر دو آزمون مورد آزمایش قرار گرفت. به طور مثال آزمون اول با مدت زمان ۸ ساعت به صورت 2P20-8h-1 نمایش داده شده است که در جدول (۲) آمده‌اند.

جدول ۲- نام‌گذاری پارامتری نمونه‌های آزمایش

شماره نمونه	نام‌گذاری	تعداد نمونه	مشخصات	پارامترها
۱	C20-Xi	۱۰	مکعب به بعد ۲۰۰ میلیمتر	Xi شماره نمونه
۲	C10-Xi	۵	مکعب به بعد ۱۰۰ میلیمتر	Xi شماره نمونه
۳	B-Xi	۵	بلوک AAC	Xi شماره نمونه
۴	1P40-Xi	۴	ابعاد قطعه (میلیمتر مکعب) $400 \times 100 \times 100$	Xi شماره نمونه
۵	2P20-Hi-Xi	۱۴	ابعاد قطعه (میلیمتر مکعب) $400 \times 100 \times 100$	Hi مدت زمان Xi شماره نمونه

در آزمایش خمش سه نقطه‌ای در شکل (۹) ورق فوقانی ۱۲۹۰ گرم و میله‌های محل اعمال نیرو ۴۷۰ گرم می‌باشد. وزن صفحه فولادی در شکل (۴) در آزمایش نمونه‌های شماره (۲) ۴۸۵۰ گرم است. به دلیل کم بودن مقاومت فشاری و مدول گسیختگی بلوک AAC نسبت به بتن معمولی سرعت بارگذاری در نمونه‌های شماره (۱) کمترین مقدار دستگاه آزمایش به مقدار ۲۵۰۰ نیوتن در دقیقه انتخاب گردید. سرعت بارگذاری برای سایر نمونه‌ها که در دستگاه دیگری آزمایش شده‌اند نیز این مقدار در نظر گرفته شد.



شکل ۲- ابعاد نمونه‌های آزمایش و نحوه قرارگیری در دستگاه و نحوه نام‌گذاری

## ۳- بحث نتایج

### ۳-۱- آزمایش‌های مقاومت فشاری

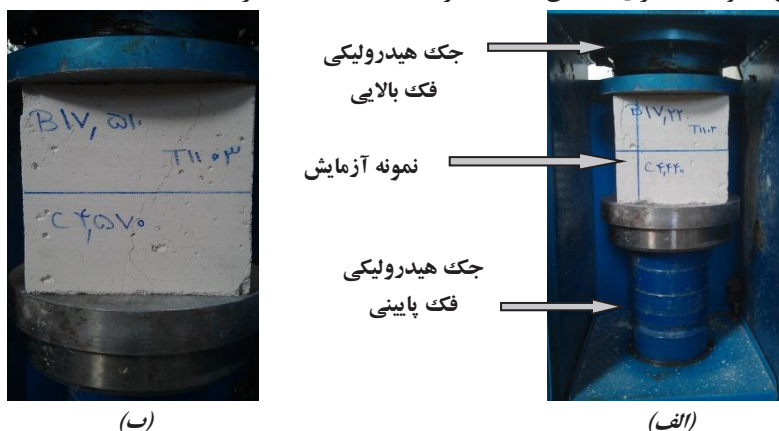
#### ۳-۱-۱- آزمایش تعیین مقاومت فشاری بلوک‌های AAC

از جمله آزمایش‌های موثر و پر کاربرد در کنترل کیفی بتن سبک، آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن می‌باشد. این آزمایش بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۹۶ انجام می‌گردد که این استاندارد روش تعیین مقاومت فشاری آزمون‌های تهیه شده از بتن هوادار اتوکلاو شده را بر اساس نسبت نیروی گسیختگی در فشار محوری بر سطح مقطع عرضی آزمون‌های که بصورت عمودی در جهت اعمال بار قرار گرفته است را تبیین می‌کند. آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای معمولاً نیاز به کلاهی گذاری (پوشش سطوح انتهایی یا کپینگ) احساس می‌-

شود و برای آن دستورالعمل جداگانه‌ای وجود دارد. عمل کلاhek گذاری همراه با مشکلاتی است که آزمایشگران ترجیح می‌دهند به سراغ آزمون‌های مکعبی بروند.

در استاندارد ملی ایران حداقل تعداد نمونه برای به دست آوردن مقاومت فشاری باید ۳ نمونه باشد، همچنین نمونه‌ها باید مکعبی و به ابعاد ۱۰۰ میلی‌متر یا اندازه‌های دیگر به شرطی که بتوان بین مقاومت فشاری تعیین شده با مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۱۰۰ میلی‌متری رابطه مستقیم ایجاد کرد، انتخاب شوند.

در این پژوهش جهت تعیین مقاومت فشاری بلوک‌های AAC تعداد ۱۰ عدد نمونه مکعبی به بعد ۲۰۰ میلی‌متر بریده شده است و چنانچه در شکل (۳) مشاهده می‌گردد این نمونه‌ها را تحت بارگذاری دستگاه آزمایش قرار دادیم. همچنین دستگاه آزمایش مقاومت فشاری منطبق با استاندارد EN 12390-4 کالیبره شده است.



شکل ۳- تعیین مقاومت فشاری بلوک AAC (الف) قبل از شکست (ب) بعد از شکست

آزمایش مقاومت فشاری بر روی ۱۰ عدد بلوک AAC که ابتدا با اهر دستی برش داده شده‌اند و سپس سطحی از نمونه‌ها که بر روی فک بالایی و پایینی دستگاه قرار می‌گرفتند با سمباده صاف و یکدست گردیدند که بر اساس ابعاد نمونه‌ها که ثابت می‌باشند و حداکثر نیروی فشاری بر حسب نیوتن که باعث گسیختگی نمونه‌ها می‌شود اندازه‌گیری می‌شود. حداقل و حداکثر مقاومت فشاری به ترتیب ۲/۴ و ۳/۱ مگاپاسکال، میانگین مقاومت فشاری ۲/۷ مگاپاسکال می‌باشد و بیشینه نیرویی که یک نمونه توانسته تحمل کند ۱۱۴۴ نیوتن است.

نتایج به دست آمده از این ۱۰ نمونه بر اساس نام گذاری نمونه‌ها که در بخش قبلی به آن پرداخته شده است و همچنین وزن هر نمونه که با ترازویی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد و در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- نتایج مقاومت فشاری بلوک AAC

ردیف	نام نمونه	وزن نمونه (گرم)	نیرو (نیوتن)	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)
۱	C10-1	۴۵۸۰	۹۸۶	۲/۵
۲	C10-2	۴۳۹۰	۱۱۴۴	۲/۹
۳	C10-3	۴۵۷۰	۱۰۶۵	۲/۷
۴	C10-4	۴۶۷۰	۹۶۷	۲/۴
۵	C10-5	۴۴۴۰	۱۰۲۶	۲/۶
۶	C10-6	۴۶۸۰	۱۲۴۳	۳/۱
۷	C10-7	۴۵۷۰	۱۱۰۵	۲/۸
۸	C10-8	۴۷۶۰	۱۱۸۴	۳/۰
۹	C10-9	۴۵۹۰	۹۶۷	۲/۴
۱۰	C10-10	۴۸۷۰	۱۰۲۶	۲/۶
	میانگین مقادیر	۴۶۱۲	۱۰۷۱	۲/۷
	انحراف معیار	۱۴۲	۹۵	۰/۲

### ۳-۱-۲ آزمایش تعیین ضریب کشسانی بلوک‌های AAC

در این مرحله نمونه‌هایی مکعبی به بعد ۱۰۰ میلیمتر از بلوک‌ها توسط اره دستی بریده شد و به تعداد ۵ نمونه مطابق شکل (۴) و با توجه به دستور العمل استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۹۶ تحت آزمایش فشاری قرار گرفت. در این آزمایش از صفحه ای فولادی جهت توزیع نیروی وارده از نیروسنج و انتقال آن به نمونه بین نمونه و نیروسنج استفاده شد. نیروسنج مورد استفاده یک نیروسنج با توانایی اعمال حداکثر نیروی ۵۰ کیلونیوتن بود که دقیق ترین نیروسنج موجود در آزمایشگاه بود و با توجه به سبک بودن نمونه‌ها دستگاه با کمترین سرعت ممکن برای اعمال بارگذاری بر روی نمونه تنظیم گردید.

ضریب کشسانی قطعات بتنی، به نسبت ضریب کشسانی ترکیبات و درصد آن‌ها در حجم بتن وابسته است. ضریب کشسانی معمولاً با تغییر و افزایش مقاومت، افزایش پیدا می‌کند. این امر را می‌توان با بافت متراکم بتن و ایجاد پیوندهای مولکولی بهتر توجیه کرد. در این پژوهش ضریب کشسانی از محاسبه شیب خط واصل از تنش صفر تا تنش  $0.45 \times f_c$  به دست آمده است [۷].



شکل ۴- آزمایش نمونه C10-Xi تحت فشار با اندازه‌گیری تغییرمکان (الف) قبل از شکست (ب) بعد از شکست

ضریب کشسانی بتن سبک در نزدیکی حد پایین آیین نامه CEB قرار گرفته است. البته علت این موضوع را می‌توان در حجم کمتر سنگ‌دانه‌های درشت و حجم بیشتر مصالح پودری در بتن‌های سبک جستجو کرد. نتایج گزارش شده در زمینه ضریب کشسانی در بتن‌های سبک توسط محققین خارجی با حد پیشنهادی آیین‌نامه EC2 نیز نشان داده است که ضریب کشسانی در بتن‌های سبک در حدود ۴۰ درصد کمتر از ضریب کشسانی بتن‌های معمولی است. البته این مقدار در مقاومت‌های پایین گزارش شده و در بتن‌های با مقاومت بالا این مقدار به ۵ درصد کاهش می‌یابد.

همزمان با اعمال نیروی فشاری توسط جک، یک عدد جابجایی سنج در بالای صفحه توزیع کننده نیرو قرار داده شد تا تغییر مکان نموها نیز مورد ارزیابی قرار بگیرد و نتایج به دست آمده از تعداد ۵ عدد نمونه مطابق جدول (۴) نشان می‌دهد که مقاومت فشاری و ضریب کشسانی به ترتیب ۲/۷۷ مگاپاسکال و ۸۳ مگاپاسکال می‌باشد.

جدول ۴- نمونه‌های C10-Xi تحت فشار همراه با اندازه‌گیری تغییرمکان

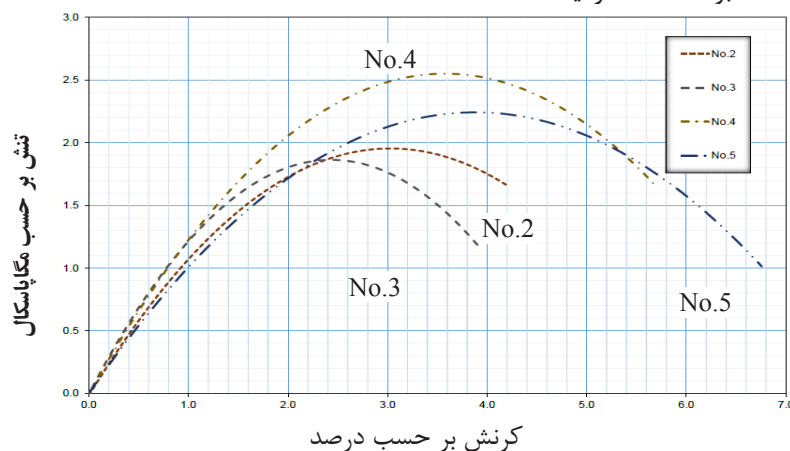
شماره نمونه	نام نمونه	نیرو (کیلونیوتن)	تنش (مگاپاسکال)	ضریب کشسانی (مگاپاسکال)
۱	C10-1	۲۷/۱	۲/۷۷	حذف گردید
۲	C10-2	۲۹/۰	۲/۹۶	۶۸
۳	C10-3	۲۱/۹	۲/۲۳	۹۵
۴	C10-4	۲۹/۴	۳/۰۰	۹۰
۵	C10-5	۲۸/۳	۲/۸۹	۷۹
	میانگین	۲۷/۱	۲/۷۷	۸۳
	انحراف معیار	۳/۱	۰/۳	۱۲



رابطه‌ی میان تنش و کرنش که برای هر ماده‌ی خاص، منحصر به فرد است و از طریق نموداری با نام نمودار تنش-کرنش قابل مشاهده است.

این منحنی برای هر ماده منحصر به فرد بوده و از ثبت مقدار تغییر طول (کرنش) ماده‌ی مشخص به ازای نیروی کششی یا فشاری وارده (تنش) در فواصل مشخص به دست می‌آید.

شکل (۵) نمودار تغییرات تنش-کرنش را در نمونه‌های مورد آزمایش نشان می‌دهد. نمودار نمونه C10-1 که دارای رفتاری خطی تا لحظه شکست بوده، حذف گردید.

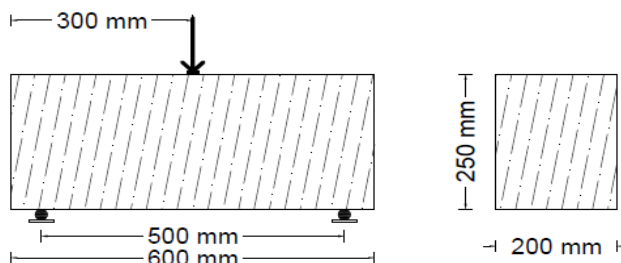


شکل ۵- رابطه تنش-کرنش نمونه‌های C10-Xi

### ۲-۳- آزمایش‌های مقاومت خمشی

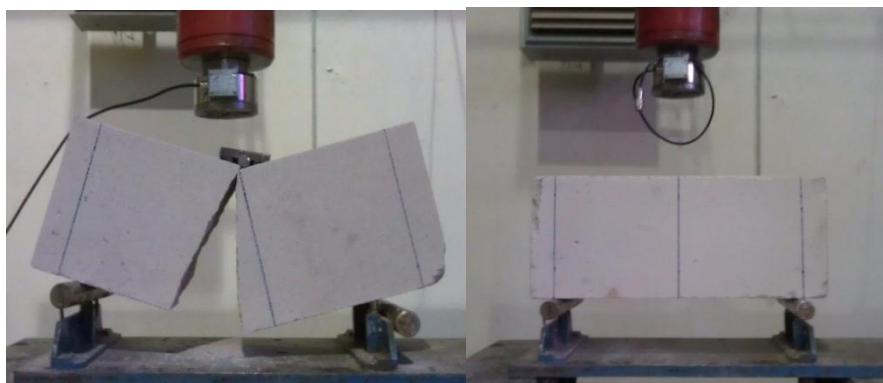
#### ۱-۲-۳- تعیین مدول گسیختگی بلوک‌های AAC

آزمایش خمشی بتن را می‌توان با استفاده از آزمایش سه بار نقطه‌ای (ASTM C78) یا آزمایش بار نقطه‌ای مرکزی (ASTM C293) انجام داد که در این پژوهش ما از روش بار نقطه‌ای مرکزی استفاده کرده‌ایم. باید توجه شود که مقدار مدول گسیختگی به دست آمده از آزمایش بار نقطه‌ای مرکزی، حدود ۱۵ درصد از مدول گسیختگی به دست آمده از آزمایش با سه بار نقطه‌ای کوچکتر است. به علاوه مشاهدات نشان داده‌اند که هر چه نمونه‌های بتنی بزرگتر باشند، مدول گسیختگی کمتر خواهد بود. به علاوه مدول گسیختگی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت فشاری بتن است. این مدول تحت تأثیر نسبت‌های اختلاط، اندازه و مقدار سنگدانه‌ی درشت استفاده شده برای ساخت نمونه قرار دارد. در این آزمایش تعداد ۵ عدد بلوک به ابعاد ۶۰۰×۲۵۰×۲۰۰ میلیمتر مکعب مطابق شکل (۶) تحت آزمایش خمشی سه نقطه‌ای قرار گرفتند. هدف تعیین مدول گسیختگی بلوک‌های AAC می‌باشد.



شکل ۶- ابعاد نمونه بلوک AAC جهت تعیین مدول گسیختگی (نمونه B-Xi)

نمونه‌ها را بر اساس آیین نامه موجود بدون شوک و به صورت پیوسته تا نقطه‌ی شکست با نرخ ثابت بارگذاری کردیم. شکل (۷) آزمایش مدول گسیختگی نمونه B-2، قبل از بارگذاری و بعد از شکست نشان می‌دهد که نمونه از محل انتقال نیروی اعمالی توسط غلتک شکسته شده است.



شکل ۷- آزمایش مدول گسیختگی نمونه B-2 (الف) قبل از بارگذاری (ب) بعد از شکست

نتایج آزمایش تعداد ۵ عدد نمونه به دست آمده در جدول (۵) نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر مدول گسیختگی بلوک ۴۹۰ و ۶۹۰ کیلوپاسکال و میانگین آن ۵۹۲ کیلوپاسکال می‌باشد.

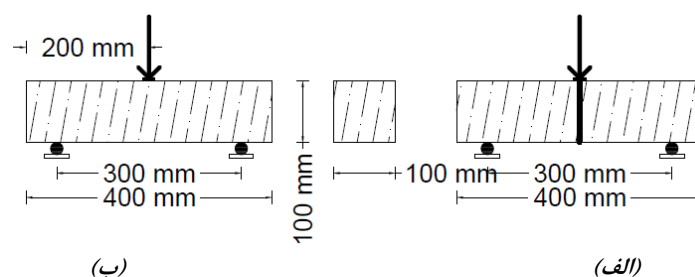
جدول ۵- نتایج شکست بلوک AAC و تعیین مدول گسیختگی (نمونه B-Xi)

شماره نمونه	وزن نمونه (گرم)	نیرو نهایی (نیوتن)	مدول گسیختگی (کیلوپاسکال)
۱	۱۷۳۱۰	۸۵۷۰	۵۱۰
۲	۱۷۸۷۰	۱۰۰۲۰	۶۰۰
۳	۱۷۲۲۰	۸۱۷۰	۴۹۰
۴	۱۷۵۱۰	۱۱۵۲۰	۶۹۰
۵	۱۷۹۱۰	۱۱۲۲۰	۶۷۰
	میانگین	۹۹۰۰	۵۹۲
	انحراف معیار	۱۵۱۲	۹۱

### ۳-۲-۲ روند کسب مقاومت چسب بلوک AAC

چسب بلوک ملات خشک آماده‌ای است که بر پایه سیمان تیپ ۲ و افزودنی‌هایی خاص به جهت بهبود خواص چسبندگی، کارایی و جذب آب با بزرگترین اندازه سنگدانه ۱/۲ میلیمتر به رنگ سفید و خاکستری در کیسه‌های ۲۵ کیلوگرمی به بازار عرضه می‌گردد. مقدار آب مورد نیاز طبق توصیه سازنده بین ۷/۵ تا ۸/۵ لیتر برای یک کیسه ۲۵ کیلوگرمی است. در این آزمایش‌ها مقدار آب مورد نیاز جهت ساخت ملات مقدار میانگین توصیه شده یعنی ۸ لیتر به ازای ۲۵ کیلوگرم در نظر گرفته شده لذا نسبت وزنی آب به پودر خشک چسب ۰/۳۲ برای تمامی آزمایش‌ها ثابت خواهد بود.

مطابق شکل (۸) -ب تعداد ۴ عدد نمونه به ابعاد ۴۰۰×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر مکعب از بلوک‌ها بریده شدند و به عنوان نمونه کنترل (1P40-Xi)، مبنای مقایسه با نمونه‌های 2P20-Hi-Xi قرار گرفتند.



شکل ۸- قطعه مورد آزمایش (الف) نمونه 2P20-Hi-Xi (ب) نمونه 1P40-Xi



مطابق شکل (۹) نمونه‌ها تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای قرار گرفتند و جک بارگذاری را با نرخ ثابت بر روی نمونه‌ها اعمال می‌کرد. نتایج این آزمایش در مقایسه با نمونه‌های 2P20-Hi-Xi مورد ملاحظه قرار گرفت.



(ب)



(الف)

شکل ۹- آزمایش خمش سه نقطه‌ای (الف) نمونه IP40-1 (ب) شکست نمونه IP40-2

در این آزمایش همه نمونه‌ها مطابق شکل (۱۰) از وسط دچار گسیختگی شدند که با توجه به مقاومت فشاری کم بلوک‌ها نسبت به بتن معمولی و نحوه بارگذاری قابل پیش بینی بود.



شکل ۱۰- سطح شکست نمونه IP40-1 تحت خمش سه نقطه‌ای

در ادامه آزمایش تعیین مدت زمان رسیدن مقاومت چسب بلوک به مقدار بیش از مدول گسیختگی بلوک، قرار خواهد گرفت، نمونه‌هایی به ابعاد  $200 \times 100 \times 100$  میلیمتر مکعب از بلوک AAC بریده شدند. تعداد ۲۸ عدد قطعه به دست آمده را دو به دو از مقطع  $100 \times 100$  میلی‌متر مربع به یکدیگر می‌چسبانیم. تعداد ۱۴ عدد نمونه به دست می‌آید که برای آزمایش در زمان‌های ۸ ساعت، یک روز، ۲ روز، ۳ روز، ۷ روز، ۱۴ روز و ۳۵ روزه هر کدام دو نمونه در نظر گرفته شد. در نهایت نمونه‌ها را تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای مطابق شکل (۱۱) قرار می‌دهیم.



شکل ۱۱- نمونه آزمایش روند کسب مقاومت چسب بلوک تحت خمش سه نقطه‌ای (2P20-72h-1)

در شکل (۱۲) موقعیت شکست نمونه‌ها از محل اتصال، و از نزدیک محل اتصال ارائه شده است. در ۵۰ درصد نمونه‌ها شکست از محل اتصال رخ نداد و در صورت شکست از محل اتصال ملات در دو مقطع باقی ماند. مقاومت خمشی چسب و بلوک به توجه به اعلام شرکت سازنده تقریباً برابر یکدیگر است.



(ب)



(الف)

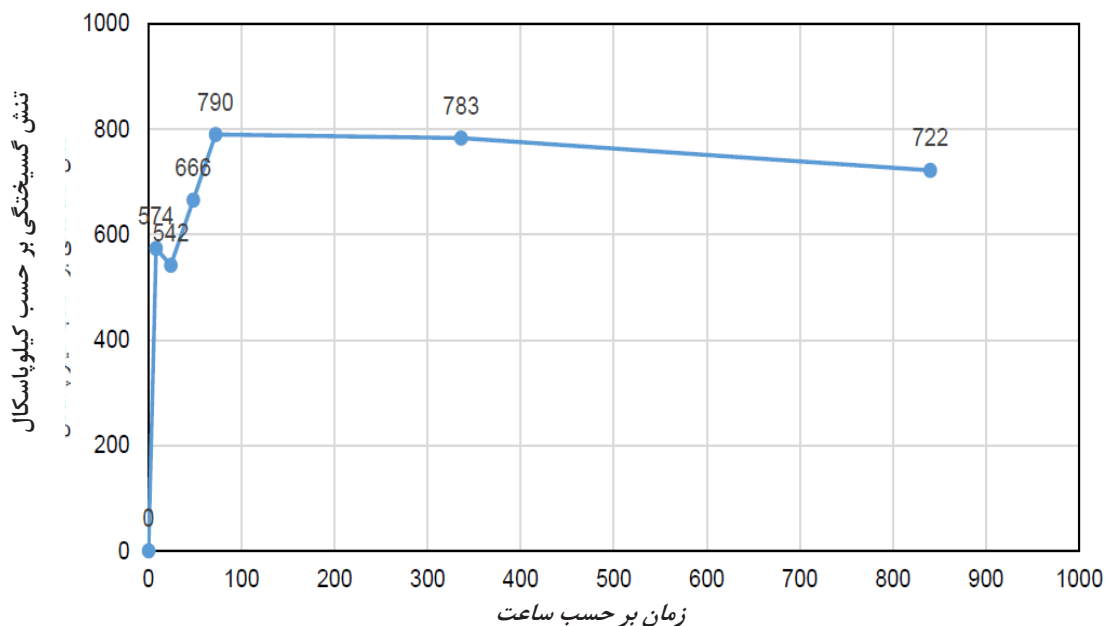
شکل ۱۲- آزمایش روند کسب مقاومت چسب بلوک (الف) نمونه 2P20-72h-2 (ب) نمونه 2P20-336h-2

در ادامه نتایج روند کسب مقاومت چسب بلوک برای تمام نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته شده در جدول (۶) آمده است.

جدول ۶- نتایج آزمایش تعیین روند کسب مقاومت چسب بلوک

ردیف	نام نمونه	وزن نمونه (گرم)	مدول گسیختگی (کیلوپاسکال)	میانگین مدول گسیختگی (کیلوپاسکال)
۱	1P40-1	۲۱۹۰	۵۶۳	۶۶۴
۲	1P40-2	۲۲۱۰	۷۲۰	
۳	1P40-3	۲۲۱۰	۷۱۱	
۴	1P40-4	به دلیل شکست زود هنگام حذف گردید		
۵	2P20-8h-1	۲۱۹۰	۵۵۴	۵۷۴
۶	2P20-8h-2	۲۲۰۰	۵۹۴	
۷	2P20-24h-1	۲۲۴۰	۵۸۱	۵۴۲
۸	2P20-24h-2	۲۴۱۰	۵۰۴	
۹	2P20-48h-1	۲۴۲۰	۶۵۳	۶۶۶
۱۰	2P20-48h-2	۲۴۶۰	۶۸۰	
۱۱	2P20-72h-1	۲۳۲۰	۸۰۶	۷۹۰
۱۲	2P20-72h-2	۲۳۸۰	۷۷۴	
۱۳	2P20-336h-1	۲۲۶۰	۷۴۷	۷۸۳
۱۴	2P20-336h-2	۲۲۶۰	۸۱۹	
۱۵	2P20-840h-1	۲۲۷۰	۵۹۴	۷۲۲
۱۶	2P20-840h-2	۲۲۲۰	۸۵۱	

نمودار روند کسب مقاومت چسب بلوک در آزمایش مدول گسیختگی همانند شکل (۱۳) می‌باشد که در آن زمان محاسبه شده بر حسب ساعت می‌باشد و تنش گسیختگی نمونه‌ها بر حسب کیلو پاسکال ارائه شده است



شکل ۱۳- روند کسب مقاومت چسب بلوک در آزمایش مدول گسیختگی

#### نتیجه گیری:

در این بررسی آزمایش‌های مقاومت فشاری، تعیین ضریب کشسانی، تعیین مدول گسیختگی، تغییر شکل، مدول گسیختگی و روند سخت شدن چسب بر روی بلوک‌های AAC مورد ارزیابی قرار گرفته است و طبق بررسی‌های انجام شده می‌توان نتایج زیر را گرفت:

۱- روند کسب مقاومت چسب بلوک طی دو روز اول صعودی بوده و از مقاومت گسیختگی بلوک فراتر می‌رود. مدول گسیختگی نمونه ۲ و ۳ روزه به ترتیب ۶۷۰ و ۷۹۰ کیلو پاسکال بوده و نسبت به مدول گسیختگی نمونه کنترل به مقدار ۶۶۰ کیلو پاسکال ۱/۵ و ۱۹/۷ درصد رشد را نشان می‌دهد.

۲- با توجه به نمودار روند کسب مقاومت چسب بلوک بهترین زمان برای زیر بار قرار دادن بلوک‌ها ۷۲ ساعت پس از چسباندن آن‌ها به یکدیگر می‌باشد.

۳- حداقل و حداکثر مقاومت فشاری به ترتیب ۲/۴ و ۳/۱ مگاپاسکال، میانگین مقاومت فشاری ۲/۷ مگاپاسکال می‌باشد.

۴- همزمان با اعمال فشار، تغییر مکان نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تنش و ضریب کشسانی به ترتیب ۲/۷۷ مگاپاسکال و ۸۳ مگاپاسکال می‌باشد.

#### تشکر و قدردانی:

نویسندگان این مقاله مراتب قدردانی خود را از گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر حمایت مادی و معنوی آنها ابراز می‌دارند. افزون بر این، حمایت‌های بی دریغ شرکت پرین بتن امود در طول انجام این پژوهش شایسته قدردانی ویژه می‌باشد. بدیهی است که این مهم بدون همکاری مسئول و کارشناسان آزمایشگاه سازه به ثمر نمی‌رسید.

## مراجع:

- [۱]. مهتا، ک.، مونته ئیرو، پ.، رمضانپور، ع.ا.، قدوسی، پ.، گنجیان، ا.، (۱۳۸۸). "ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)". ویرایش اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- [۲]. شکرچی زاده، م.، لیبرن، جلیلی، م.، (۱۳۹۳). "راهنمای کاربردی بتن سبکدانه سازه ای". ویرایش اول، انتشارات علم و ادب.
- [۳]. علی پور، ع.، (۱۳۹۲). "بررسی تاثیر روش های مختلف آماده سازی سطح بر روی پیوستگی بین ورق های FRP و بتن". پایان نامه کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- [4]. Cox, J., Freeman, C. (2011). "Promoting AAC Solution for Sustainable Construction Challenge in Europe". 5th International Conference on AAC, Poland, Bydgoszcz, September, pp.14-17.
- [۵]. دبرخانه فن آوری های نوین ساختمانی سیمان و نانو، "فناوری های نوین ساختمانی". ویرایش پنجم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۸).
- [۶]. نویل، آ.، مترجم: فامیلی، ه.، (۱۳۹۱). "ویژگی های بتن (خواص بتن)". ویرایش ششم، انتشارات ندای آریانا.
- [7]. ACI 318R-14, (2014). "Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete".
- [8]. ASTM C1693-09, (2009). "Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC)".
- [9]. ASTM C331.05, (2005). "Standard Specifications for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units".
- [۱۰]. استاندارد ملی ایران ۸۵۹۳، (۱۳۸۴). "بتن سبک - قطعات بتنی هوادار اتوکلاو شده - ویژگی ها".
- [۱۱]. استاندارد ملی ایران ۸۵۹۳، (۱۳۸۴). "بتن سبک - تعیین جرم حجمی خشک بتن هوادار اتوکلاو شده - روش آزمون".
- [۱۲]. استاندارد ملی ایران ۸۵۹۳، (۱۳۸۴). "بتن سبک - تعیین مقاومت فشاری بتن هوادار اتوکلاو شده - روش آزمون".
- [۱۳]. اشتري، پ.، میررحیمی، م.، (۱۳۸۹). "بررسی طرح اختلاط پیشنهادی بتن سبک سازه ای با سبکدانه پرلیت". کنفرانس بین المللی سبک سازی و زلزله، ۱ و ۲ اردیبهشت.
- [۱۴]. کفیلی علمداری، ف.، (۱۳۹۶). "بررسی مقاومت پیوستگی بین ورق های FRP و سطح بلوک های بتنی AAC". پایان نامه کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- [15]. EN 771-4, (2011). "Specification for Masonry Units. Autoclaved Aerated Concrete Masonry Units".

# Evaluation of Cement-Based Adhesive on Joining AAC Prefabricated Blocks

**Milad Amanian**

*Graduate student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad*

**Farid Kafili Alamdari**

*Graduate student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad*

**Mohammadreza Tavakkolizadeh**

*Assistance Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad  
drt@um.ac.ir*

## **Abstract**

*Considering the mandatory application of lightweight concrete AAC blocks in separating walls of buildings, the need for proper selection and installation of such materials for suitable operation and prevention of material losses and additional costs related to future restoration should be considered. In this study, first, the compressive strength of blocks was determined by testing of cubic samples with dimensions of 200 mm. The results show that minimum and maximum compressive strengths was 2.4 and 3.1 with an average value of 2.7 MPa. To determine the modulus of elasticity of the blocks, cubes of 100 mm dimensions were also tested under compressive loading while both applied load and corresponding deformation were acquired. The process of determining cement-based block adhesive strength was done by testing 28 block prisms with dimensions of 100 x 100 x 200 mm, which were glued together with adhesive, under three-point bending set up at specified times from 8 hours to 35 days. The results were compared with control samples with dimensions of 100 × 100 × 400 mm. The results showed that, after 48 hours, adhesive adhesion strength exceeded the resistance of the block.*

**Key words:** AAC Block, Adhesion Strength, Flexural Capacity, Block Adhesive