



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و هفت، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۴، صفحه ۳۱ تا ۳۳
Vol. 47, No. 2, Fall 2015, pp. 23- 31



نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست
Amirkabir Journal of Science & Research Civil & Environmental Engineering
(AJSR - CEE)

بررسی آزمایشگاهی مقاومت دیوارهای ساخته شده از بلوک‌های بتن سبک هوا دار اتوکلاو شده AAC همراه با چسب (ملات) ویژه ی سیلکس

اصغر وطنی اسکوی^۱، محمد مهدی ملاولی^{۲*}

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
۲- کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

(دریافت ۱۳۹۱/۱/۱۵، پذیرش ۱۳۹۳/۱۱/۱۲)

چکیده

بلوک‌های سبک بتنی هوادار اتوکلاو شده (AAC)^۱ با توجه به مزایای زیادی که دارند استفاده از آن‌ها روز به روز بیشتر می‌شود. در این تحقیق عملکرد تجربی اجزا تشکیل‌دهنده دیوار و همچنین دیوارهای ساخته شده از بتن سبک هوادار مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا آزمایش فشاری و برشی بر روی عناصر تشکیل‌دهنده دیوار، ملات و بلوک، صورت گرفت سپس سه نمونه دیوار با ابعاد ۱۲۰×۱۲۰×۲۵ سانتی متر تحت بارگذاری قطری قرار گرفته است. با توجه به ملات مخصوص به کار رفته، لغزشی بین ملات و بلوک‌ها رخ نداده و شکست‌ها در بلوک‌ها ایجاد شد و علت رخ داد این نوع شکست، مقاومت برشی بلوک بتن سبک هوادار اتوکلاو کمتر از ملات استفاده شده می‌باشد.

کلمات کلیدی

AAC، آزمایش کشش قطری، مقاومت برشی ملات، ساختمان مصالح بنایی AAC .

* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: mollavali@gmail.com

۱- مقدمه

جدول (۱): ویژگی‌های بتن سبک هوادار اتوکلاو شده

ویژگی	بتن هوادار AAC	بتن معمولی
وزن مخصوص (kg/m^3)	400~800	1450~2400
مقاومت فشاری (MPa)	2.5~7.5	17~55
مقاومت مقابل حریق (ساعت)	≤ 8	≤ 6

جدول (۲): دسته بندی بتن‌های سبک هوادار اتوکلاو شده

کلاس مقاومتی	وزن مخصوص (kg/m^3)	مقاومت فشاری (MPa)
AAC 2.0	350 – 450	2.5
AAC 4.0	450 – 550	5.0
AAC 6.0	650 – 750	7.5

با توجه به جدول (۲) در این نوع بلوک‌ها با افزایش وزن مخصوص، مقاومت فشاری نمونه نیز افزایش می‌یابد [۱۵]. اگرچه اندازه ابعاد حفره‌های موجود و پارامترهای دیگری در مقاومت بلوک‌ها نیز تاثیر گذار می‌باشد [۱۶ و ۱۷]. شایان ذکر است تمامی پارامترهای در راستای ازدیاد مقاومت هنگام تهیه و ساخت بتن‌های سبک اتوکلاو شده در کارخانه کمتر از راستای ازدیاد حجم می‌باشد [۱۸].

۲- انجام آزمایش بر روی ویژگی‌های تشکیل‌دهنده دیوارهای ساخته شده از بتن سبک هوادار اتوکلاو شده

۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری بلوک‌ها

بلوک‌های مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها براساس ASTM C1386 [۱۳] انتخاب گردید. بنابراین آزمایش بر روی سه نمونه با ابعاد $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ و سه نمونه نیز با ابعاد $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ انجام شد (شکل (۱)). نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها در جدول (۳) ارائه گردیده است.

استفاده از مصالح سبک به علت کاهش تلاش‌های ناشی از زلزله در سال‌های اخیر گسترش روز افزونی داشته است [۳] به همین دلیل تعداد کارخانه‌های تولیدکننده بلوک بتن سبک هوادار اتوکلاو شده در کشورمان رشد روز افزونی داشته است. با بررسی‌های دقیق انجام شده بر روی عملکرد سازه‌ای این گونه مصالح، استفاده از این بلوک‌ها در ساخت ساختمان‌های کوتاه مرتبه [۴] و نیز به عنوان میانقاب امکان پذیر است [۵]. ساختمان‌های کوتاه مرتبه‌ی ساخته شده از بلوک‌های هوادار اتوکلاو شده را می‌توان جزء ساختمان‌های با مصالح بنایی در نظر گرفت [۶]. بتن سبک هوادار اتوکلاو شده، بتنی است که شامل سیمان، آهک، آب و ماسه ریزدانه‌ای است که به وسیله ی دستگاه آسیاب گلوله‌ای (Ball mill) ریزدانه شده است. اگرچه گاهی استفاده از خاکستر بادی به جای درصدی از مصالح ریزدانه نیز توصیه می‌شود [۷]. این نوع بتن به علت وزن مخصوص کم (یک سوم تا یک ششم بتن معمولی و حدود 400 kg/m^3)، دارای خواص عایق حرارتی مناسب بوده و همچنین باعث کاهش وزن ساختمان نیز می‌گردد و به این لحاظ کاربرد آن در سطح جهان مخصوصاً در کشورهای لرزه خیز در حال گسترش است [۹]. استفاده از بلوک‌های سبک هوادار اتوکلاو شده باعث اقتصادی شدن شالوده و دیوارهای یک ساختمان می‌شود [۱۰]. با توجه به تعداد محدود مقالات و کارهای تحقیقاتی در راستای دیوارهای ساخته شده از بتن‌های هوادار اتوکلاو شده [۱۱]، برای درک رفتاری دیوارهای ساخته شده از این محصول و همچنین برای تدوین و بسط معیارهای سازه‌ای نیاز به انجام آزمایش‌ها و بررسی‌های بیشتر است. معماری و همکارانش [۱۲] در مطالعه مقایسه‌ای خود دادند که دیوارهای ساخته شده با ابعاد $1/20 \times 1/20$ متر از بلوک‌های بتن هوادار دارای ظرفیت باربری بیشتری نسبت به دیوارهای ساخته شده از بلوک‌های سیمانی متداول و دیوارهای خشتی با همان ابعاد می‌باشند. همچنین رطوبتی در حدود ۴۴ درصد، ظرفیت باربری جانبی دیوار ساخته شده از بلوک‌های بتنی سبک هوادار اتوکلاو شده را کاهش می‌دهد ویژگی‌های بلوک‌های بتن‌های هوادار از لحاظ چگالی و مقاومت فشاری طبق معیارهای ASTM C1386 [۱۳] و ASTM C1452 [۱۴] به رده‌های مختلف تقسیم بندی می‌شوند که در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است، اگرچه مقادیر مقاومت و بعضی پارامترهای جداول فوق با معیارهای ارائه شده توسط ACI 523.4R [۹] کمی تفاوت دارد.

که در آن σ_0 مقدار تنش پایه مجاز و k ضریب کاهشدهنده می‌باشد که با توجه به کلاس و رده مقاومتی این بلوک مقدار k از 0.24 (برای مقاومت کم) تا 0.2 (برای مقاومت بالا) پیشنهاد شده است [۱۹].

۲-۲- آزمایش مقاومت فشاری ملات

از ملات‌های معمولی (ماسه سیمان) نمی‌توان به راحتی در فصل مشترک بلوک‌های هوادار اتوکلاو شده با توجه به حفره‌های موجود و جذب آب بالای آن‌ها استفاده نمود بنابراین باید از ملاتی که بتواند پیوستگی مناسبی بین بلوک‌ها ایجاد کند و همچنین بین مقاومت ملات و بلوک هم‌خوانی وجود داشته باشد استفاده نمود در غیر این صورت باعث آسیب دیدن بلوک‌ها در فصل مشترک با ملات شده و ترکیب، پیوستگی و یکپارچگی خود را از دست می‌دهد [۲۰].

در دیوارهای ساخته شده از بتن سبک هوادار اتوکلاو شده (AAC) به علت وجود ساختار میکرو سیلیسی بلوک‌ها و ساختار متخلخل بهتر است از ملات خاصی استفاده شود. ملات علاوه بر چسباندگی در ظرفیت باربری دیوار نیز نقش دارد. بنابراین لازم است مقاومت فشاری ملات بر اساس ASTM C109 بدست آمده [۲۱] و بر اساس معیارهای ACI 530 [۹] کنترل شود. بر این اساس در این مقاله برای بررسی آزمایشگاهی مقاومت فشاری ملات از نمونه‌های مکعبی با ابعاد $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ استفاده گردید (شکل (۲)). نتایج حاصل از آزمایش فشاری نمونه‌ها پس از ۲۸ روز عمل‌آوری در جدول (۴) ارائه شده است. مقدار میانگین مقاومت فشاری ملات (چسب) مورد استفاده در این دیوارها 12 MPa می‌باشد که معیارهای لازم از نظر ASTM برای استفاده در بلوک‌های بتنی سبک هوادار اتوکلاو شده (جدول (۲)) را تامین می‌کند [۲۱].



شکل (۲): قالب ویژه ی مقاومت فشاری ملات



شکل (۱): نمونه‌ها و آزمایش مقاومت فشاری AAC

با توجه به مقادیر بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که این بلوک‌ها در کلاس رده مقاومتی AAC-G2 می‌باشند و میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی 10 سانتی‌متری تقریباً برابر $3/2 \text{ MPa}$ می‌باشند. دلیل استفاده از مقاومت فشاری نمونه مکعبی 10 سانتی‌متری تطبیق مقادیر با رده‌های ASTM می‌باشد که بر اساس این ابعاد مقاومت‌های فشاری بتن سبک هوادار اتوکلاو شده را رده بندی نموده است.

جدول (۳): مقادیر مقاومت فشاری بدست آمده برای AAC

ابعاد نمونه (cm)	شماره نمونه	وزن نمونه (N)	نیروی نهایی جک (kN)	مقاومت فشاری (MPa)
$10 \times 10 \times 10$	نمونه ۱	۶/۳۲	۳۱/۲	۳/۱۲
	نمونه ۲	۶/۲۸	۲۷/۷	۲/۷۷
	نمونه ۳	۶/۲۸	۳۶/۷۸	۳/۶۷۸
$15 \times 15 \times 15$	نمونه ۱	۲۱	۵۵/۱۳	۲/۴۵
	نمونه ۲	۲۰/۲۷	۵۹/۱۵	۲/۶۳
	نمونه ۳	۲۰/۲۷	۴۳/۱۶	۱/۹۱

میانگین مقاومت فشاری نمونه مکعبی 15 سانتی‌متری بتن سبک هوادار اتوکلاو شده برابر با $2/33 \text{ MPa}$ است. در بتن‌های معمولی ضریب اصلاح $1/05$ برای تبدیل نمونه $10 \times 10 \times 10$ سانتی‌متر استفاده می‌شود ولی برای نمونه‌های ساخته شده از بتن سبک هوادار اتوکلاو شده این مقدار $1/37$ بدست آمده است، اگرچه در طراحی نباید مقاومت فشاری طراحی دیوارهای بلوک‌های AAC را از رابطه (۱) بیشتر در نظر گرفت [۱۹]:

$$\sigma_{\text{perm}} = k \cdot \sigma_0 \quad (1)$$

جدول (۵): مقاومت برشی ملات بکار رفته

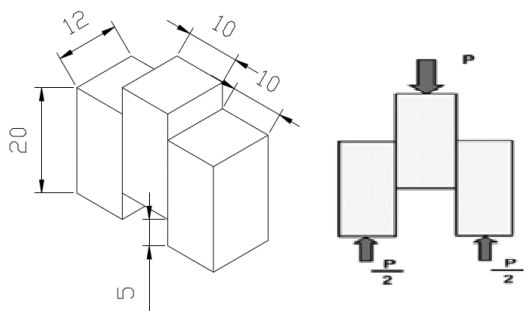
شماره نمونه	بارنهایی وارده kN	مقاومت برشی ملات MPa
۱	۲۵/۹۴	۰/۷۲۰
۲	۲۷/۴۷	۰/۷۶۳
۳	۲۷/۲۲	۰/۷۴۴

تنر^۲ در کار آزمایشی خود [۱۱] میانگین مقاومت برشی را برابر با ۰/۵ MPa برای نمونه‌ها بدست آورد و نشان داد اختلاف مقاومت برشی بستگی به جنس ملات دارد.

جدول (۶): مقاومت برشی ملات بکار رفته همراه با ملات رویه روی نمونه‌ها

شماره نمونه	بارنهایی وارده kN	مقاومت برشی ملات MPa
۱	۳۴/۲۸	۰/۹۵۲
۲	۳۲/۷۶	۰/۹۱۰
۳	۳۳/۷۵	۰/۹۳۷

استفاده از ملات روی بلوک‌ها به علت افزایش سطح مقطع برشی و همچنین افزایش مقاومت خمشی باعث افزایش مقاومت برشی ملات گردیده است.



شکل (۴): ابعاد و نحوه ی بارگذاری در آزمایش مقاومت برشی ملات

۳- آزمایش بارگذاری قطری دیوار

برای انجام این آزمایش دیواری با ابعاد ۱/۲۰×۱/۲۰ متر مربعی به وسیله اعمال بار فشاری در طول قطر المان تعیین می‌شود [۲۲ و ۳]. شکل (۵) نحوه انجام این آزمایش را بر اساس ASTM E519 [۲۲] نشان می‌دهد که در آن بار قائم با یک نیروسنج و تغییر مکان قطر افقی و قائم به وسیله دو عدد تغییر مکان‌سنج اندازه گیری می‌شوند. مقاومت برشی بر اساس ASTM E519 [۲۲] از رابطه (۳) با استفاده از سطح خالص نمونه که از رابطه (۴) بدست می‌آید قابل محاسبه است:

$$S_s = 0.707P/A_n \quad (3)$$

جدول (۴): مقادیر مقاومت فشاری به دست آمده برای ملات

ابعاد نمونه (cm)	شماره نمونه	وزن نمونه (N)	نیروی نهایی جک (kN)	مقاومت فشاری (MPa)
۵×۵×۵	۱	۲/۱۷	۲۹/۹۲	۱۲
	۲	۲/۲۲	۳۱/۲۵	۱۲/۵
	۳	۲/۲	۲۸/۸۰	۱۱/۵۲

۳-۲- انجام آزمایش مقاومت برشی ملات

برای انجام آزمایش مقاومت برشی ملات از سه قطعه بلوک با ملات مورد نظر که به دلیل ویژگی ریزدانه‌ای آن بلوک‌ها با ضخامت ملات کمی به هم چسبانده و مورد آزمایش قرار می‌گیرند. سپس با استفاده از روابط مقاومت مصالح [۹ و ۱۱] مقاومت برشی ملات از رابطه ی (۲) به دست می‌آید.

$$\tau = P/A \quad (2)$$

که در آن τ مقاومت برشی حاصل از بار وارده P و A مجموع سطوح تماس بلوک‌ها با ملات مورد نظر می‌باشد.

ضخامت ملات دو تا سه میلی‌متر می‌باشد که آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های شاهد و نمونه‌هایی با ملات رویه از جنس خود ملات مورد نظر انجام گردید که در شکل (۳) شمایی از نمونه‌ها نشان داده شده اند و نحوه انجام آزمایش نیز در شکل (۴) ارائه شده است در آزمایش‌ها انجام شده به علت بالاتر بودن مقاومت برشی ملات نسبت به مقاومت برشی بلوک بتن سبک هوادار اتوکلاو شده تنها در یک نمونه، شکست از محل ملات بوده و در سایر نمونه‌ها شکست در بلوک (AAC) رخ داد. اگرچه شکست برشی می‌تواند در ملات، فصل مشترک و یا ترکیبی از هر دو باشد نتایج حاصل از آزمایش بر روی سه نمونه شاهد (بدون ملات رویه) و سه نمونه با ملات رویه در جدول (۵) و جدول (۶) آمده است.



شکل (۳): نمونه‌ها و آزمایش‌های انجام شده مقاومت برشی ملات

مورد استفاده در ساخت دیوارها دارای ابعاد $60 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ می باشند و ضخامت ملات دو تا سه میلیمتر و کلیه بندهای قائم وافقی پر شده و با بند کش دو میلیمتری بند کشی شده است. بلوک ها دارای مقاومت فشاری $3/2 \text{ MPa}$ و مقاومت فشاری و برشی ملات به ترتیب 12 MPa و $0/75 \text{ MPa}$ می باشد. اگر f_{AAC} مقاومت فشاری AAC باشد مقاومت برشی F_{VAAC} دیوارها طبق رابطه ی (۷) می باشد [۹،۱۱].

$$F_{VAAC} = 0/15 f_{AAC} \quad (7)$$

با توجه به معادله (۷)، مقدار مقاومت برشی دیوار ساخته شده از بتن سبک هوادار اتوکلاو شده $0/15$ برابر مقاومت فشاری آن یعنی مقدار $0/48 \text{ MPa}$ است. این مقدار از مقاومت برشی ملات کمتر می باشد. در نتیجه به جای جدا شدن ملات شکست برشی در بلوکهای بتنی باید رخ می داد که شکل ۸- نیز بیانگر این واقعیت می باشد.

برای محاسبه مقاومت کششی دیوار از رابطه (۸) استفاده می شود که در آن F_v ماکزیمم نیروی قابل تحمل دیوار و A سطح مقطع دیوار می باشد [۶].

$$f_t = 0/45 F_v / A \quad (8)$$

نتایج حاصل از آزمایش کشش قطری در جدول (۷) نشان داده شده است:

جدول (۷): نتایج حاصل از آزمایش کشش قطری

مقاومت کششی f_t Mpa	سختی کششی k_t (kN/mm)	سختی فشاری k_c (kN/mm)	مدول برشی G MPa	بیشترین نیرو F_v kN	شماره نمونه
0/290	1178	97/88	463/56	123	دیوار ۱
0/450	1242	114	318/85	135	دیوار ۲
0/533	1329	148	504/32	160	دیوار ۳
0/424	1249/66	119/96	428/91	139/33	میانگین

$$A_n = ((w+h)/2) \cdot t \cdot n \quad (4)$$

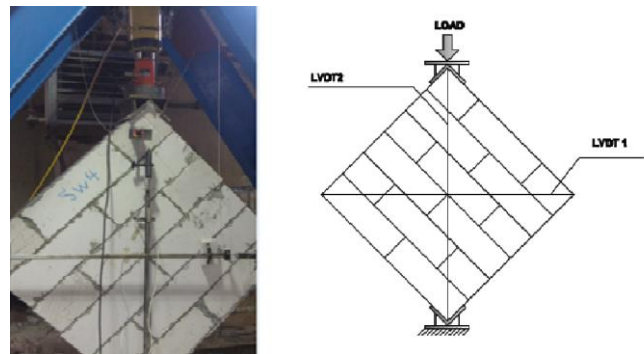
که در آن S_s مقاومت برشی در سطح خالص، P بار اعمالی، A_n مساحت خالص نمونه، w عرض نمونه، h ارتفاع نمونه، t ضخامت نمونه و n عبارت است از درصدی از سطح واحد مصالح که توپیر است و کرنش برشی از رابطه (۵) به دست می آید:

$$\square = (\Delta V + \Delta H) / g \quad (5)$$

که در آن \square کرنش برشی، ΔV کاهش طول قطر قائم، ΔH افزایش طول قطر افقی و g نیز طول گیج قائم می باشد. مدول

برشی نیز از رابطه ی (۶) به دست می آید: [۱۱]

$$G = S_s / \square \quad (6)$$



شکل (۵): نحوه ی انجام آزمایش کشش قطری

سه دیوار آزمایش شده دارای ضخامت $t = 25 \text{ cm}$ بودند. به طوری که با اندازه ی آن در واقعیت برابری می کند. بلوکهای

شکل (۸) آمده است. منحنی‌ها نشان می‌دهند که در این دیوارها محدوده‌ی شکل‌پذیری بسیار کم است و رفتار به نسبت تردی را دارند این امر به دلیل مقدار کم نسبت مقاومت نهایی به مقاومت تسلیم است.

در صورت استفاده از بلوک‌های بتن سبک هوادار اتوکلاو شده (AAC) با رده‌های مقاومتی بالاتر (از جمله AAC-G6) لازم است از ملات با مقاومت بالاتر استفاده نمود در غیر این صورت شکست از ناحیه ملات صورت خواهد گرفت. از طرفی شکست در نمونه‌ها شکست ترد بوده و منحنی بار تغییر مکان، محدوده‌ی شکل‌پذیری کمی دارد البته شکل‌پذیری در این سازه‌ها مطابق

که در آن F_{vAAC} مقاومت برشی دیوار ساخته شده از بلوک‌های بتن سبک هوادار اتوکلاو شده می‌باشد و f_{AAC} مقاومت فشاری بلوک‌های AAC است و محاسبات استاتیکی و تجزیه نیرو در قطر دیوار انطباق خوبی در نتایج آزمایش‌ها و رابطه فوق نشان داد. مقاومت فشاری به دست آمده از بلوک‌ها $3/2$ MPa می‌باشد که بر اساس محاسبات روابط [۹] $ACI523$ مقاومت برشی دیوار حاصل از این بلوک به 0.48 Mpa می‌رسد که کمتر از مقاومت برشی آزمایش شده‌ی ملات است. شکل (۶) نشان دهنده‌ی شکست نمونه‌ها است و منحنی نیرو تغییر مکان افقی و قائم مربوط به دیوارهای آزمایش شده در شکل (۷) و

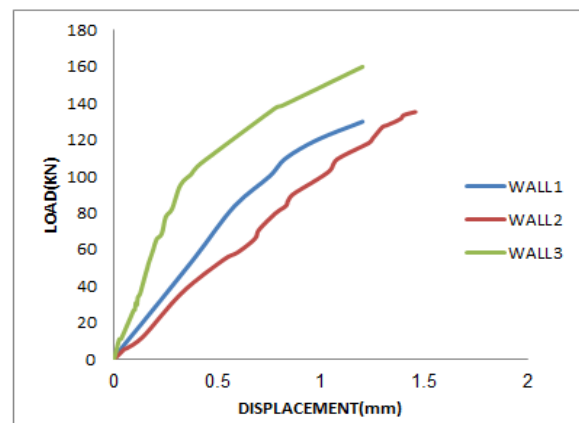


شکل (۶): نحوه‌ی شکست در نمونه دیوارهای مورد آزمایش کشش قطری

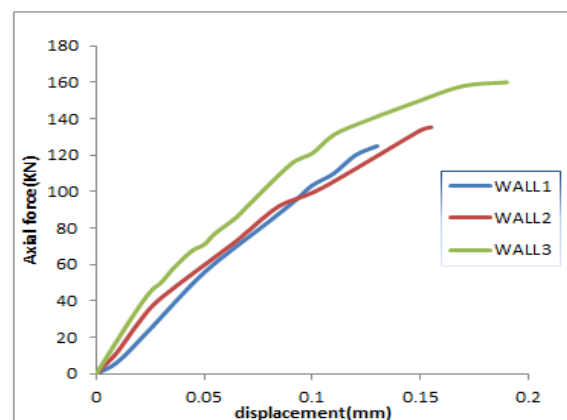
آیین نامه حداکثر برابر $1/5$ در نظر گرفته می‌شود [۲۳]. نمودارها نشان می‌دهند که سختی اولیه یعنی شیب منحنی در ۳۰ درصد مقاومت نهایی در راستای قطر کششی حدود 1250 kN/mm و در راستای قطر فشاری حدود 120 kN/mm حاصل شد که سختی اولیه قطر کششی حدود ۱۰ برابر قطر فشاری است یعنی تغییر مکان در راستای قطر فشاری بیشتر از قطر کششی است و حدود ۱۰ برابر است و یکی از دلایل این که محور بارگذاری قطر فشاری بوده و در مقاومت مصالح معمولاً در بارگذاری در طول جسم کرنش عرضی، نسبتی از کرنش طولی می‌باشد و همچنین وجود تخلخل این مصالح می‌تواند بر مقدار کرنش آن تاثیر گذار بوده و آن را افزایش دهد.

در دیوارهای مصالح بنایی AAC ساخته شده با ملاتی که ریزدانه و حاوی میکروسیلیس است اگر بلوک ساخته شده از بتن سبک هوادار اتوکلاو شده با رده‌های مقاومتی $2/5 \text{ MPa}$ باشد با توجه به حالت‌های شکست حاکم بر دیوارهای مصالح بنایی [۱] می‌توان گفت رفتار دیوار کنترل شونده توسط نیرو بوده و حالت‌های شکست کشش قطری و فشار در پنجه حاکم است.

در جدول (۸) مقاومت برشی چند نوع دیوار ساخته شده از بلوک‌های مختلف و سنگ و بلوک بتن سبک هوادار اتوکلاو شده با دیگر ملات‌ها در مقایسه با بلوک‌ها و ملات این تحقیق بر اساس رابطه (۳) بر گرفته از ASTM E519 [۲۲] نشان داده



شکل (۷): نمودار نیرو تغییر مکان قائم دیوارهای شاهد



شکل (۸): نمودار نیرو تغییر مکان افقی دیوارهای شاهد

سنگ ها اختلاف مقاومت برشی زیاد نبوده اما کم بودن مقاومت برشی تامین شده توسط ملات را می توان عامل اصلی در کاهش مقاومت برشی دانست. در مقایسه دیوارهای ساخته شده از بلوک تو خالی پر شده از ملات که در جهت افقی در بندها مسلح شده اند به علت مقاومت برشی ناشی از تسلیح در بندها مقداری مقاومت برشی دیوار افزایش یافته اما به دلیل ضعف موجود در بندها افزایش مقاومت برشی قابل توجه نیست اما در دیوارهای تسلیح شده در جهت قائم به دلیل افزایش مقاومت برشی در بندها و پوشش ضعف موجود در ملات سیمانی افزایش مقاومت برشی قابل توجه می باشد اما با توجه به غیر اقتصادی بودن و نیز زمان بر بودن، مسلح کردن این سازه ها موجب نبود تناسب آن با ساختمان مصالح بنایی شده و از طرفی بلوک‌های پر شده از ملات وزن سازه را نیز بالا می برند

شده است دلایل اختلاف‌های موجود بین نتایج و آزمایش‌های تومازویچ^۳ را می توان در عواملی از قبیل جنس‌های مختلف بلوک و مقاومت و چسبندگی مختلف به دلیل ملات‌های متفاوت و مقیاس‌های مختلف نام برد البته باید توجه شود که مقاومت فشاری بلوک‌های بتن سبک هوادار اتوکلاو شده آزمایش شده توسط تومازویچ برابر با $3/14 \text{ MPa}$ و بلوک‌های این آزمایش $3/2 \text{ MPa}$ بوده و مقاومت فشاری بتن سبک هوادار اتوکلاو شده اختلاف چندانی ندارند. این نوع بلوک ها در مقایسه با دیوارهای سنگی هم از نظر وزنی بسیار سبکتر بوده و هم مقاومت برشی مناسب تری دارند و دلیل آن را می توان به عدم ایجاد چسبندگی مطلوب بین سنگ ها در بندها دانست این امر در مقایسه با دیوار بتن سبک و دیوارهای ساخته شده از بلوک‌های توخالی پر شده نیز قابل مشاهده است اما به دلیل وجود سازگاری مطلوب ملات با بلوک‌های سیمانی توخالی نسبت به

جدول (۸): مقایسه مقاومت برشی بعضی دیوارهای مصالح بنایی مختلف بر اساس رابطه مقاومت برشی ASTM E519

	آزمایشات تومازویچ بر دیوارهای AAC با بلوک $1/3 \text{ yetong}$ مقیاس [۶]	دیوارهای این تحقیق با بلوک بتن سبک AAC و ملات ویژه	دیوارهای ساخته شده از سنگ [۲۴]	دیوارهای با بلوک توخالی پر شده از گروت [۲۵]	دیوارهای با بلوک توخالی پر شده از ملات [۲۶]	دیوارهای با بلوک توخالی پر شده از ملات و جهت افقی مسلح [۲۶]	دیوارهای با بلوک توخالی پر شده از ملات و مسلح جهت عمودی [۲۶]
مقاومت برشی S_s (MPa)	۰/۳۹۷	۰/۴۵۵	۰/۰۷۲	۰/۳۷	۰/۴۲	۰/۵۱	۰/۹۲
بر اساس رابطه (۳)	۰/۳۱۴	۰/۷۰۷	۰/۰۴۷	۰/۶۱		۰/۷۴	۱/۲
	۰/۳۲۶	۰/۸۳۷	۰/۰۷۲	۰/۸۱		۰/۸۸	۱/۱۵
	۰/۴۴۱		۰/۰۶۸				
	۰/۴۲۴		۰/۰۵۳				
	۰/۴۳۸		۰/۰۵۹				
average	۰/۳۸۹	۰/۶۶۶	۰/۰۶۱	۰/۵۹۶	۰/۴۲	۰/۷۱	۱/۰۹

برابر مقاومت فشاری نمونه مکعبی با ابعاد $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ است. در صورتی که مبحث نهم مقررات ملی [۲] برای بتن معمولی این مقدار را $1/05$ پیشنهاد می دهد.

- با توجه به اینکه مقاومت برشی ملات در آزمایش‌های انجام شده دارای مقاومت بیشتری نسبت به مقاومت برشی بدست آمده از دیوارهای برشی ساخته شده از بلوک‌های با بتن سبک هوادار اتوکلاو شده با مقاومت فشاری $3/2 \text{ MPa}$ (نمونه‌های مورد آزمایش) می باشد در نتیجه رفتار دیوار کنترل شونده توسط نیرو بوده و در صورت اعمال بار در راستای قطر حالت‌های شکست کشش قطری و فشار در پنجه حاکم است. با توجه به نمودار بار تغییر مکان حاصل مشخص است که شکست دیوارها ترد بوده و محدوده ی شکل پذیر آن کم می باشد.

۴- نتیجه گیری

- مقاومت برشی ملات آزمایش حدود $0/06$ مقاومت فشاری ملات مورد نظر بدست آمد و مقاومت برشی میانگین ملات در حالت بدون ملات رویه $0/742 \text{ MPa}$ و در حالت با ملات رویه $0/933 \text{ MPa}$ می باشد. یعنی در حالتی که نمونه دارای رویه ای از جنس خود چسب سیلکس باشد ۲۵ درصد افزایش مقاومت از خود نشان می دهد این مقدار تاثیر مقاومت خمشی ملات در مقاومت برشی ملات می باشد.

- در بلوک‌های بتن سبک هوادار اتوکلاو آزمایش شده مقاومت فشاری نمونه مکعبی با ابعاد $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ ، $1/37$

- [۱۲] Memari, A. M.; Grossenbacher, S. V.; Iulo, L. D.; "In-plane and Out-of-plane Load Testing and Evaluation of Sustainable Masonry Walls", pp. 1-10, 2008.
- [۱۳] ASTM, Standard American Society for Testing and Materials ;"Standard specification for precast Autoclaved Aerated Concrete (PAAC) wall construction units". ASTM C1386, 1998.
- [۱۴] ASTM C 1452 ;"Standard Specification for Reinforced Autoclaved Aerated Concrete Elements", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.
- [۱۵] Eden, N. B.; Manthorpe, A. R.; Miell, S A.; Szymanek, P. H.; Watson K. L.; Number 2; "Autoclaved aerated concrete from slate waste Part 1: Some property/density relationships" The International Journal of Lightweight Concrete, Vol. 2,1980.
- [۱۶] Tada, S.; Nakano, S.; Wittmann, F.H.; "Microstructural approach to properties of moist cellular concrete", in: Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties ed. Elsevier, pp.71-88, 1983.
- [۱۷] Alexanderson, J.; "Relations between structure and mechanical properties of autoclaved aerated concrete", in: Cement and Concrete Research, Vol. 9, pp. 507-514, 1979.
- [۱۸] Argudo, J. F. ;"Evaluation and Synthesis of Experimental Data for Autoclaved Aerated Concrete" master thesis, The University of Texas at Austin, August 2003.
- [۱۹] Ghosson Al-khaled;" Hebel design analysis program". A Thesis presented to the faculty of the school of architecture university of south California, 2002.
- [۲۰] Hearne, E. J.; Brettell, R.; Brightt, N. J.; "The behaviour of autoclaved aerated concrete blockwork subjected to concentrated loading" The International Journal of Lightweight Concrete, Vol. 2, No. 1, pp 49-55, 1980.
- [۲۱] ASTM, Standard American Society for Testing and Materials;" Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars". ASTM C109, 1999.
- [۲۲] ASTM , Standard American Society for Testing and Materials ;"Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages". ASTM E519, 1999.
- [۲۳] ACI 530-05; " Building Code Requirements for Masonry Structures".ASCE 5-05/TMS 402-05.Reported by the Masonry Standards Joint Committee(MSJC) , 2004.
- [۲۴] Corradi, M.; Borri, A.; Vignoli,A; 2003; "Experimental study on the determination of
- دیوارهای بتن سبک هوادار با ملات ویژه در قیاس با دیوارهای ساخته شده از سایر بلوک ها با توجه به کاهش وزن و ایجاد چسبندگی مناسب در بندها مقاومت برشی مطلوب تری دارند.
- ### ۵- مراجع
- [۱] دفتر تدوین استانداردها و معیارها; «دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های بنایی غیرمسلح موجود.نشریه ۲۷۶»، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، صص ۸۶-۹۳، ۱۳۸۶.
- [۲] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان ایران; مبحث نهم «طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه»، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۵.
- [۳] Al-Mudhaf , H. A.; Attiogbe E. K. ; "Performance of autoclaved aerated-concrete masonry walls in Kuwait" ,Materials and Structures, Vol. 29, pp. 448-452, 1996.
- [۴] Radhi, H.;" Viability of Autoclaved Aerated Concrete walls for the residential sector in the United Arab Emirates" Energy and Buildings, Vol. 43, pp. 2086-2092, 2011.
- [۵] Gottfredsen F. R; Knutsson, H.H; Nielsen A; "Determination of length changes due to moisture variations in Autoclaved Aerated Concrete" Materials and Structures, Vol. 30, pp 148-153, April 1997.
- [۶] Tomaževic , Miha; Gams, Matija; "Seismic behaviour of Ytong houses: model shaking table tests", Report P891/08-650-2, Ljubljana , 2010.
- [۷] Chusid, M.; "Building with Autoclaved Aerated Concrete", Masonry Construction, 1999.
- [۸] Schober, G.; "The most important aspects of microstructure influencing the strength of AAC", in: Proceedings of 4th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete (p.145-153), Limbachiya and Roberts ed. Taylor & Francis Group, London. (ISBN 0 415 38356 0.), 25-278-9 , September, 2005.
- [۹] ACI 523.4R; "Guide for design and Construction with Autoclaved Areated Concrete Panels", 2009.
- [۱۰] Narayanan, N. ; Ramamurthy, K.; "Structure and properties of aerated concrete: a review", Cement and Concrete Composites, Vol. 22, No. 5, pp. 321-329, 2000.
- [۱۱] Tanner, J. E.;" Design provisions for Autoclaved Aerated Concrete (AAC) structural systems". The University of Texas at Austin, May 2003.

strength of masonry walls” Construction and Building Materials Vol. 17 ,pp. 325–337, 2003.

Kaaki,T.; 2013; “Behavior and strength of masonry prisms loaded in compression” [۲۵] Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Applied Science .Dalhousie University Halifax, Nova Scotia, 2013.

Vasconcelos, G.; Alves, P. , Lourenço P.B. ; “ [۲۶] Influence of distinct reinforcing schemes on the shear resistance of masonry” .15th International Brick and Block Masonry Conference Florianópolis – Brazil , 2012.

۶- زیر نویس ها

^۱ Autoclaved Aerated Concrete

^۲ Jennifer E. Tanner

^۳ Miha TOMAŽEVIČ