



دومین کنفرانس پایش هوشمند، ارزیابی و نوسازی سازه های ساختمانی

**ارزیابی عملکرد یک ساختمان با کاربری آموزشی در برابر زلزله کوکائلی سال ۱۹۹۹
ترکیه که با استفاده از پانل های هوادار اتو کلاو شده ساخته شده است**

Koray Ugurlu¹, Cem Demir², and Alper Ilki³

¹ PhD Candidate, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey

² PhD, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey

³ Prof, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey

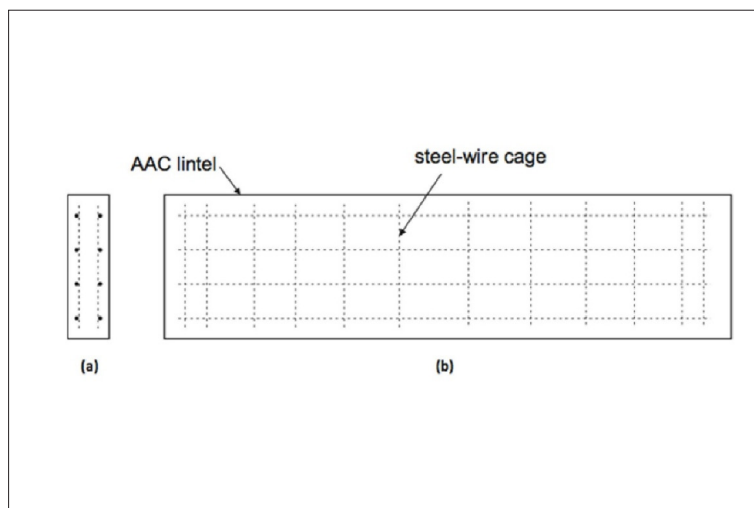
ترجمه از:

احمدی شهرکی پرین، محمد جواد احمدی و مهدی شهرکی (واحد تحقیق و توسعه شرکت پرین بتن آمود)



چکیده

استفاده از بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) در ساخت دیوارهای غیر باربر به دلیل مزایای ملموس آن به صورت گسترده‌ای در سرتاسر جهان با سرعت فزاینده‌ای در حال افزایش است. علاوه بر آن، در سال‌های اخیر، چندین گروه تحقیقاتی، خصوصاً در آمریکا، مطالعات گسترده‌ای در مورد پانل‌های مسلح بتن هوادار اتوکلاو شده با کاربری سازه‌ای را آغاز نموده‌اند. جالب است که این نوع از پانل‌ها، برای مدت مدیدی است که به صورت گسترده به عنوان دیوارهای سازه‌ای و پانل‌های سقفی، به ویژه در ساختمان‌های اورژانسی پس از رخداد زلزله در مناطق مختلف ترکیه استفاده می‌شود. در حال حاضر، حدود ۵۰۰۰ ساختمان دایر با کاربری‌های مختلف از قبیل ساختمان‌های مسکونی یا آموزشی وجود دارند، که برخی از آنها زلزله‌هایی با شدت‌های مختلف را تجربه کرده‌اند. از طرف دیگر، با توجه به اینکه این ساختمان‌ها بر مبنای اطلاعات مهندسی و تجربیات خاص طراحی و ساخته شده‌اند، این نوع از اعضای سازه‌ای هنوز در آیین‌نامه‌های زلزله در ترکیه تعریف نشده‌اند. در این مقاله مطالعات انجام گرفته، بعد از مقدمه اولیه در سه بخش اصلی ارائه می‌گردد. در بخش اول، آخرین مراحل توسعه انجام گرفته بر روی پانل‌های مسلح هوادار اتوکلاو شده به صورت خلاصه تشریح شده است. در بخش دوم، مشاهدات انجام شده از عملکرد یک ساختمان پانل ساخت AAC با کاربری آموزشی در زلزله فاجعه بار سال ۱۹۹۹ کوکائلی ارائه می‌شود و در بخش پایانی، این ساختمان آموزشی با استفاده از روش المان محدود تجربه و تحلیل شده و نتایج آن با مشاهدات عینی مقایسه می‌شود.



بلوک نامیده شده و در دیوارهای غیر باربر و باربر به کار می‌روند، همچنین از این بلوک‌ها برای عایق کردن دیوارهای موجود، جایگزین بلوک‌های سفالی یا سیمانی در دال‌های تیرچه بلوک استفاده می‌شود. قطعات بتن هوادار اتوکلاو شده مسلح، به صورت پانل‌های عمودی و افقی در دیوارها، سقف و کف استفاده می‌شوند. سیستم‌های بتن هوادار اتوکلاو شده در مقایسه با سایر مصالح مزایای بسیاری دارند. برخی از این مزایا سبکی، عایق حرارتی محسوس و خصوصیات آتشپایداری آن است. جدول ۱ خصوصیات بتن هوادار اتوکلاو شده در مقایسه با بتن معمولی را نشان می‌دهد.

پانل‌های بتن هوادار اتوکلاو شده

از بتن هوادار اتوکلاو شده می‌توان برای تولید پانل‌های مسلح در کارخانه استفاده نمود. این پانل‌ها برای کاربرد در سطوح، تیر، کف، سقف و پانل‌های دیواری مناسب هستند. در تولید پانل‌های مسلح بتن هوادار اتوکلاو شده، از مش‌های فولادی جوشی که شامل میل‌گردهای طولی و عرضی هستند استفاده می‌شود. جزئیات یک مش جوشی فولادی برای پانل هوادار اتوکلاو شده مسلح در شکل ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است، مبنای طراحی و تولید پانل‌های مسلح بتن هوادار اتوکلاو شده ضوابط مهندسی مندرج در کد (CSN EN ۱۲۶۰۲ (۲۰۰۸) است. حداکثر طول تولیدی، پانل‌های افقی و عمودی دیواری (که برای پوشش دیوارهای پیرامونی و یا نما استفاده می‌شود)، پانل‌های کف و سقف ۶ متر است. عرض پانل‌های به ۶۰ سانتی‌متر محدود شده و ضخامت این پانل‌های بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر متغیر است (در شرکت پیرین بتن آمود تا ۳۷/۵ سانتی‌متر تولید می‌شوند).

مقدمه

بتن هوادار اتوکلاو شده یک محصول پایه سیمانی متخلخل و سبک است. بتن هوادار اتوکلاو شده از سیمان، ماسه سیلیسی میکرونیزه، آب، پودر آلومینیوم و آهک تشکیل شده است. جرم حجمی کم این محصول ناشی از وجود حفره‌های میکروسکوپی غیر متصل به یکدیگر در بافت آن است. گاز هیدروژن تولید شده ناشی از واکنش پودر آلومینیوم با دوغاب قلیایی سیمان باعث ایجاد حباب بسته هوا و افزایش حجم کیک بتن می‌شود. پس از گیرش اولیه سیمان، کیک بتن با استفاده از سیم‌های فولادی ضدزنگ به ابعاد مختلف برش خورده و سپس در دمای ۱۹۰ درجه و فشار ۱۲ بار به مدت ۱۰ ساعت اتوکلاو می‌شود (ACI, ۲۰۰۹).

قطعات بتن هوادار اتوکلاو شده به دو گروه قطعات غیر مسلح و مسلح تقسیم می‌شوند. قطعات غیر مسلح

جدول ۱) مشخصات بتن هوادار اتوکلاو شده و بتن معمولی (ACI, ۲۰۰۹).

بتن معمولی	بتن هوادار اتوکلاو شده	خصوصیات
1400~2400 kg/m ³	400~600 kg/m ³	دانشیته
16~55 MPa	2~4 MPa	مقاومت فشاری
-	30 %	میزان رطوبت بعد از اتوکلاو
9X10-6 / C	8X10-6 / C	ضریب انبساط حرارتی
0.36X10-4/MPa	0.72X10-4/MPa	ضریب خزش

شکل (۲) ساختمان‌های پس از زلزله از میت (Zmit)



شکل (۳) ساختمان‌های پس از زلزله سرگو (Surgu)



شکل (۴) نما بازدید بلافاصله پس از وقوع زلزله انجام گرفت

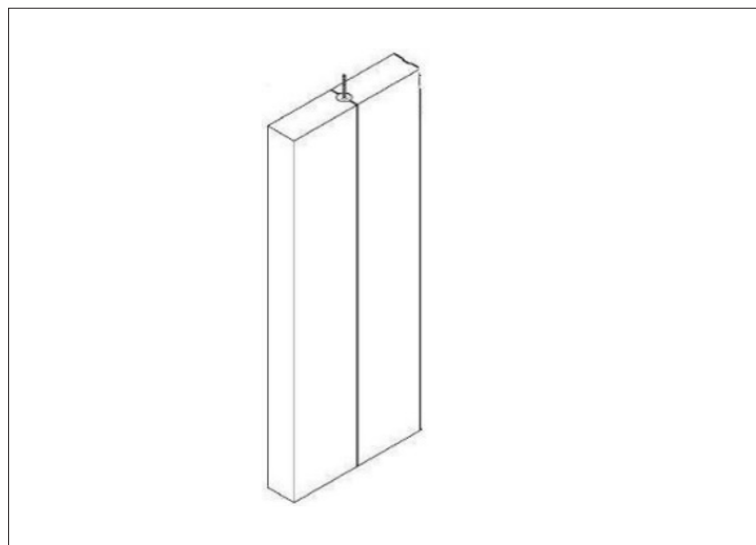


سازه‌های ساخته شده با استفاده از پانل مسلح هوادار اتوکلاد شده

ساختمان‌هایی با دو یا سه طبقه فقط با استفاده از پانل‌های مسلح هوادار اتوکلاد شده ساخته شده‌اند. در دیوارهای داخلی و خارجی این ساختمان‌ها از پانل‌های عمودی و باربر بتن هوادار اتوکلاد شده استفاده شده است. کف و سقف این ساختمان‌ها نیز با استفاده از پانل‌های بتن هوادار اتوکلاد شده ساخته شده‌اند. برای اتصال دیوارهای عمودی به کف از بیم‌های بتنی مسلح استفاده شده است. در ترکیه، از سال ۱۹۷۰ به بعد تقریباً ۵۰۰۰ واحد ساختمان (اکثر با کاربری مسکونی) با استفاده از روش فوق ساخته شده است. تقریباً ۲۵۰ عدد از ۵۰۰۰ ساختمان موجود، تجربه مواجهه با زلزله‌های مخرب، نظیر زلزله سال کواکلی (Mw ۷,۴)، زلزله سال ۱۹۹۹ دوز که^۱ (Mw ۷,۲) و زلزله سال ۲۰۱۱ وان (Van) (Mw ۷,۱) را داشته‌اند. پس از وقوع این زلزله‌ها، برخی از این ۲۵۰ واحد مورد بازدید و بررسی قرار گرفتند. که هیچ‌گونه خسارت عمده‌ای به آنها وارد نشده بود (Sucuoglu and Alakoc, ۲۰۰۰) و هنوز توسط ساکنین مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر آن، ساختمان‌های ساخته شده از پانل‌های بتن هوادار اتوکلاد شده برای اسکان آسیب دیدگان از زلزله همان‌گونه که در تصاویر ۲ و ۳ نشان داده شده است استفاده می‌شود.

یک مدرسه در کاکالی^۲، منطقه یواچیک^۳ که با پانل‌های مسلح بتن هوادار اتوکلاد شده ساخته شده بود، بلافاصله بعد از زلزله سال ۱۹۹۹ کاکالی توسط تیمی از دانشگاه مهندسی آسیای میانه بازرسی شد و مطابق با گزارش

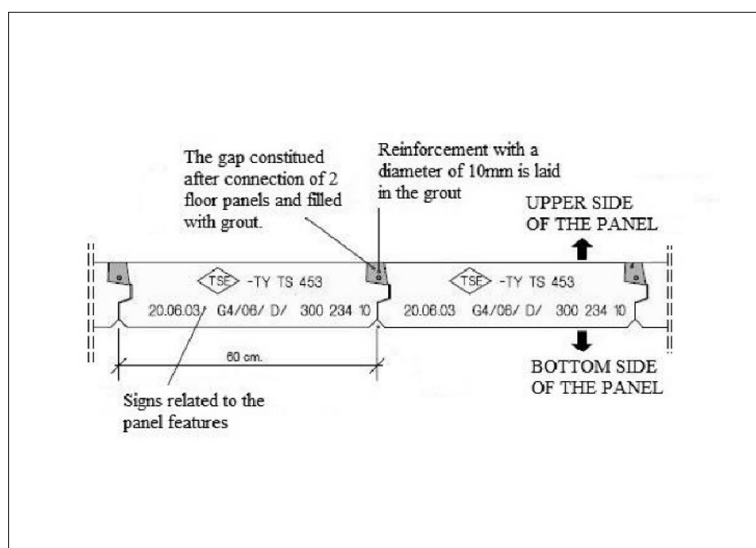
شکل (۵) میلگرد عمودی در اتصال پانل



شکل (۶) پلان اتصال پانلهای دیواری کف



شکل (۷) برش اتصال پانل کف



ارائه شده هیچ گونه خسارت سازه‌ای مشاهده نشد (Sucuoglu and Alakoc, ۲۰۰۰) این مدرسه دو طبقه، در یک منطقه بسیار پرخطر که زلزله ۱۹۹۹ کاکائولی را تجربه کرد واقع شده است. شرایط عمومی این ساختمان پس از وقوع زلزله کاکائولی ۱۹۹۹ در شکل ۴ به وضوح مشخص است.

روش اجرایی

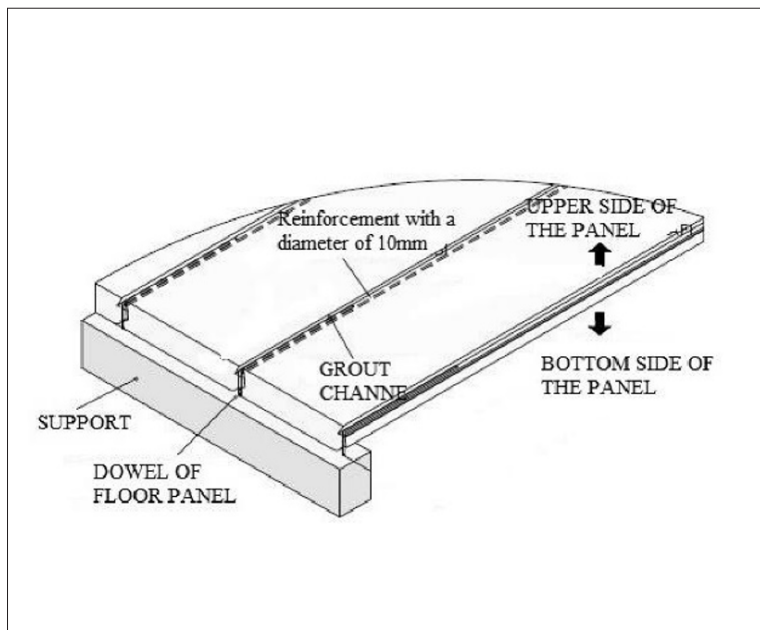
برای توضیح بهتر رفتار زلزله، مراحل ساخت ساختمان با استفاده از پانل هوادار اتوکلاو شده در ادامه به طور خلاصه تشریح شده است. پس از اجرای فونداسیون مسلح بتنی، قبل از نصب پانل‌های دیواری بتن هوادار اتوکلاو شده، میلگردهای انتظار در فونداسیون تعبیه می‌شوند. هر میلگرد انتظار با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر اجرا می‌شوند. طول این میلگردها ۵۰ سانتی‌متر در درون فونداسیون و ۵۰ سانتی‌متر خارج از فونداسیون (مجموعاً ۱۰۰ سانتی‌متر) است. پانل‌های بتن هوادار اتوکلاو شده بین این میلگردها قرار می‌گیرند (عرض هر پانل ۶۰ سانتی‌متر است).

در محل اتصال پانل‌ها به یکدیگر شیاری ایجاد شده که میلگرد بتواند از آن عبور کند (مترجم: پانل‌های تولیدی کارخانه پرین بتن آمود به صورت پیش‌ساخت با این شیارها تولید می‌شوند) این شیارها، بعد از قراردادن یک میلگرد به قطر ۱۲ میلی‌متر و با رعایت همپوشانی با میلگردهای انتظار با گروت پر می‌شوند. طول این میلگرد ۵۰ سانتی‌متر از طول پانل بزرگ‌تر گرفته می‌شود تا این بخش از میلگرد با بیم کلاف در بالای پانل دیوار متصل شود. در شکل ۵ و ۶ پلان و جزئیات اتصال یک ساختمان نمونه نشان داده شده است. در مرحله بعد، بیم کلاف بتنی در بالای پانل‌های دیواری اجرا می‌شود. میلگردهای طبقه دوم نیز در بیم کلاف بتنی جهت اجرای پانل‌های طبقه بعدی تعبیه می‌شوند؛ سپس پانل‌های کف طبقه دوم بر روی بیم بتنی نصب می‌گردند، که به صورت تکیه‌گاه ساده عمل می‌کند. برای اتصال پانل‌های کف از یک میلگرد با ضخامت ۱۰ میلی‌متر که با گروت پوشانده شده استفاده می‌گردد.

در شکل‌های ۷ و ۸ جزئیات اتصال پانل‌های کف مشاهده می‌شوند. اجرای پانل‌های دیواری طبقه دوم و پانل‌های سقف همانند طبقه اول است.

پیشینه تحقیق

در رابطه با ساخت بنا با استفاده از پانل‌های بتن هوادار اتوکلاو شده، به صورت گسترده تحقیقاتی در دانشگاه تگزاس در آستین با مدیریت پروفسور دکتر



ریچارد کلینگنر، که نظارت بر دو رساله (پایان نامه) دکتر او و دو رساله فوق لیسانس را داشته و همچنین دکتر جنیفر تنر^۴ که نظارت بر رساله استرلی را داشته و هر دو مربوط به همین موضوع بوده است انجام گرفته است (Storlie, ۲۰۰۹).

مقررات و الزامات طراحی برای سیستم سازه‌ای بتن هوادار اتوکلاو شده

بر مبنای یک طرح جامع آزمایشگاهی، در فاز اول، دستیابی به عملکرد رفتار برشی پانل دیواری تحت بارهای معکوس و متناوب جانبی مدنظر قرار گرفت. دیوارهایی با قطعات مختلف از بتن هوادار اتوکلاو شده مانند قطعات بنایی (بلوک) و پانل‌های مسلح، که به صورت افقی و یا عمودی قرار گرفته بودند، ساخته شدند. هر یک از نمونه‌ها به قسمی طراحی شدند تا توسط نیروی برش و یا خمشی به طور کامل تخریب شوند. بر مبنای نتایج، رویه و معادلات طراحی منطبق با آن، برای پیش‌بینی رفتار دیوار برشی بتن هوادار اتوکلاو شده تحت تأثیر خمش، برش و سایر حدود نهایی به دست آمد. فاز دوم شامل طراحی، ساخت و آزمایش یک ساختمان نمونه دو طبقه در ابعاد واقعی بود که تحت بارهای متناوب جانبی معکوس قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این فاز برای مطابقت و راست‌آزمایی با معادلات به دست آمده از فاز قبلی برای دیوارهای برشی، و ارزیابی رویه طراحی سیستم کف و اتصالات، و ارزیابی کلی سازه ساخته شده از سیستم بتن هوادار اتوکلاو شده استفاده شد. خواص مکانیکی بتن هوادار اتوکلاو شده در آزمایشگاه مهندسی سازه فرگوسن اندازه‌گیری شد و نتایج با آزمون‌های انجام شده در سایر آزمایشگاه‌ها تأیید شد. براساس نتایج این آزمون‌ها، معادلات طراحی و خصوصیات مواد برای استفاده در مقررات طراحی تعیین شد. ترکیب این سه مرحله به تهیه طراحی کامل و مورد اطمینان برای یک سیستم سازه‌ای هوادار اتوکلاو شده که با انجام تست‌های گسترده‌ای تأیید شده است منتج شد.

بسط عامل R و Cd برای طراحی سازه‌های بتنی هوادار اتوکلاو شده

در کد^۵ (ICC, ۲۰۱۲) عامل کاهش نیروی زلزله و عامل تشدید تغییر مکان به صورت ضریب رفتار سازه (R) و ضریب بزرگ‌نمایی تغییر مکان (Cd) بیان شده است. ضریب R برای محاسبه کاهش نیروی زلزله وارده به یک سیستم سازه‌ای استفاده می‌شود، و ضریب Cd برای تخمین حداکثر تغییر مکانی که ممکن است در برابر نیروی زلزله طراحی شده اتفاق بیفتد استفاده می‌شود.

ارقام داده شده برای ضریب R و Cd در IBC بر مبنای مشاهدات عملکرد سیستم‌های سازه‌ای مختلف در زلزله‌های شدید گذشته، دلایل فنی و تجارب از گذشته است.

هدف از این پایان‌نامه‌ها، (۱) ارائه یک رویه عمومی برای انتخاب ضرایب (R) و (Cd) برای استفاده در طراحی سازه در برابر زلزله، (۲) با استفاده از این رویه، مقدار اولیه ضرایب (R) و (Cd) برای سازه‌های با دیوار برشی بتن هوادار اتوکلاو شده پیشنهاد می‌شود.

رویه عمومی مقایسه شکل‌پذیری پیش‌بینی شده و میزان جابجایی نسبی در سازه‌های هوادار اتوکلاو شده (تابعی از ضرایب (R) و (Cd)) با شکل‌پذیری و توانایی جابجایی نسبی دیوارهای برشی بتن هوادار اتوکلاو شده که در تست حالت شبه استاتیکی^۶ تحت بارهای چرخه‌ای معکوس مشاهده شده است. براساس نتایج تست ارتعاشات طبیعی و مصنوعی زمین برای مناطق مختلف فعال لرزه‌ای آمریکا، شبیه سازی عددی غیرخطی با استفاده از رفتار جابجایی تحت بارهای چرخه‌ای انجام گرفت. بر پایه ترکیب نتایج به دست آمده از آزمایش چهارده نمونه دیوار برشی بتن هوادار اتوکلاو شده و ساختمان دو طبقه ساخته شده از پانل‌های بتن هوادار اتوکلاو شده و نتایج تحلیلی عملکرد سازه‌هایی با دیوار برشی بتن هوادار اتوکلاو شده، مقدار ضریب (R) برای دیوارهای برشی هوادار اتوکلاو شده با بار غالب خمشی عدد ۳ و برای دیوارهای برشی با بار غالب برش پیشنهاد عدد ۱/۵ داده شده و برای ضریب Cd عدد ۳ پیشنهاد شده است (Rivera, ۲۰۰۳).

براساس نتایج این
آزمون‌ها، معادلات طراحی
و خصوصیات مواد برای
استفاده در مقررات طراحی
تعیین شد. ترکیب این سه
مرحله به تهیه طراحی کامل
و مورد اطمینان برای یک
سیستم سازه‌ای هوادار
اتوکلاو شده که با انجام
تست‌های گسترده‌ای تأیید
شده است منتج شد

رفتار دیوارهای برشی بتنی هوادار اتوکلاو شده با مقاومت پایین

سه دیوار برشی بتن هوادار اتوکلاو شده با مقاومت پایین در آزمایشگاه دانشگاه تگزاس در آستین مورد آزمایش قرار گرفت. یک نمونه با پانل‌های عمودی، و دو نمونه دیگر با ترکیبی از مصالح بنایی مسلح شده با گروت ساخته شد. هدف اصلی این آزمایشات تأیید ضوابط طراحی پیشنهاد شده برای محصولات بتن هوادار اتوکلاو شده با مقاومت پایین بود. متغیرهای در نظر گرفته شده در این سه دیوار برشی بتنی هوادار اتوکلاو شده مقاومت فشاری، تقویت خمشی، و شکل هندسی این محصولات بوده است. نتایج آزمایشات مطابقت خوبی با مشاهدات و رفتارهای پیش‌بینی شده داشته است و مفاد طراحی‌های قبلی را تأیید کرد. نتایج رویه‌های طراحی داده شده برای دیوارهای سازه‌ای بتنی هوادار اتوکلاو شده با مقاومت پایین در مناطق زلزله خیز را تأیید کرد (Cancino, UM, ۲۰۰۳).

ارزیابی و تلفیق داده‌های آزمایشگاهی بتن هوادار اتوکلاو شده

در این پایان نامه، داده‌های موجود برای خواص مکانیکی مهم بتن هوادار اتوکلاو شده ارزیابی و تلفیق داده شد. از این داده‌های تلفیقی برای ارتقاء ضوابط طراحی قطعات و سازه‌های بتن هوادار اتوکلاو شده استفاده شد (Argudo, ۲۰۰۳).

قابلیت اجرای ساختمان‌های متوسط با استفاده از پانل‌های هوادار اتوکلاو شده مسلح در مناطق با خطر نسبی زلزله کم، سه سیگور

نیروی زلزله متناسب با وزن ساختمان است. ساختمان‌های سبک‌تر نیروی زلزله کمتری ایجاد می‌کنند. از طرفی، توانایی جذب انرژی توسط سازه در زمان وقوع زلزله، متناسب با شکل‌پذیری ساختمان است. در مناطق زلزله‌خیز، هدف گذاری ساختن ساختمان‌هایی انعطاف‌پذیر و سبک است. بدین منظور، در این مطالعه روشی برای آنالیز بارهای جانبی ساختمان‌های ساخته شده با پانل‌های مسلح بتن هوادار اتوکلاو شده، و کاربرد آنها برای ساختمان‌های متوسط (۳ تا ۴ طبقه) پیشنهاد می‌شود. این ساختمان‌ها می‌توانند جایگزین ساختمان‌های با سازه بتنی در مناطق با احتمال نسبی کم زلزله گردند. بدین منظور ساختمان ۴ طبقه‌ای با سازه بتنی و دیوارهای سفالی و ساختمان دیگری با استفاده از پانل‌های مسلح بتن هوادار اتوکلاو شده بر مبنای کدهای ساختمانی ترکیه طراحی شدند. کارایی این دو ساختمان

در برابر زلزله مقایسه شد. آنالیز داده‌ها نشان داد که با اطمینان خاطر می‌توان در مناطق با خطر نسبی کم، از پانل‌های مسلح بتن هوادار اتوکلاو شده در ساختمان‌های متوسط به عنوان جایگزین ساختمان‌های سازه بتنی استفاده کرد (Sesiguret al, ۲۰۰۷).

رفتار دیافراگم کف ساخته شده از بتن هوادار اتوکلاو شده تحت تأثیر بارهای معکوس دوره‌ای

دیافراگم کف بتن هوادار اتوکلاو شده در مقیاس ۱/۲ با استفاده از دستورالعمل‌های استاندارد اجرایی ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. دو نمونه کف تحت تأثیر بارهای یکنواخت قرار گرفت و چهار نمونه دیگر با بارهای معکوس متناوب آزمایش شد. نمونه‌ها کاملاً یکسان ساخته شدند، بجز دو نمونه که به آرمانتوهای بیم پایینی کلاف شدند. علاوه بر این، دو نمونه با استفاده از بلوک هوادار اتوکلاو شده رده مقاومتی بها ۶ و با ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر ساخته شدند، و چهار نمونه باقیمانده با استفاده از پانل مسلح بتن هوادار اتوکلاو شده رده مقاومتی ۴ و با ضخامت ۱۵۰ میلی‌متر ساخته شدند. بتن هوادار اتوکلاو شده رده ۴، دارای مقاومت فشاری 4 MPa دانسیته خشک 600 Kg/m^3 و رده مقاومتی 0.6 دارای مقاومت فشاری 6 MPa با دانسیته خشک 800 Kg/m^3 (ACI, ۲۰۰۹) هستند. جابجایی نمونه‌ها و کشش میل‌گردها در طول آزمایش اندازه‌گیری شد. با تکمیل آزمایشات مشخص شد که دیافراگم کف بتن هوادار اتوکلاو شده قادر به تحمل جابجایی و بارهایی که ممکن است در زمان وقوع زلزله وارد شود است (Storlie, ۲۰۰۹).

آزمایش دیوارهای مسلح هوادار اتوکلاو شده در برابر بارهای جانبی و راکینگ

در انگلستان از مدت‌ها قبل، پانل‌های هوادار اتوکلاو شده به عنوان قطعات سقفی، قطعات کف، یا به عنوان قطعات دیواری با آرایش افقی به عنوان دیوارهای مقاوم در برابر آتش و یا با ضخامت‌های کمتر به عنوان دیوارهای جداکننده استفاده می‌شده است. اخیراً، استفاده از این پانل‌ها در برج‌ها، به صورت دیوارهای قائم (با عرض ۶۰۰ میلی‌متر) برای پوشش دیوارهای پیرامونی مد نظر قرار گرفته است. در این شکل از ساخت، پانل‌هایی با ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر می‌تواند به عنوان جزء باربر در سازه استفاده شدند. ضمن اینکه این دیوارها نقش بسزایی در بهبود کارایی عایق حرارتی ساختمان خواهند داشت (Edgell and Fudge, ۲۰۱۱).

میزان مقاومت در برابر بارهای عمودی را می‌توان از

نیروی زلزله متناسب با وزن ساختمان است. ساختمان‌های سبک‌تر نیروی زلزله کمتری ایجاد می‌کنند. از طرفی، توانایی جذب انرژی توسط سازه در زمان وقوع زلزله، متناسب با شکل‌پذیری ساختمان است

شهرداری ژاپن رسیده است.

راهنمای طراحی با بتن سبک اتوکلاو شده
(Japanese ALC Association, ۲۰۰۳)

استاندارد روش اجرای بتن سبک اتوکلاو شده
(Japanese ALC Association, ۲۰۰۴ a)

استاندارد طراحی سازه‌ای بتن سبک اتوکلاو
شده و استاندارد سیستم‌های اجرا و نصب
(Japanese ALC Association, ۲۰۰۴ b).

در استاندارد طراحی سازه‌ای بتن سبک اتوکلاو
شده و استاندارد سیستم‌های اجرا و نصب
(Japanese ALC Association, ۲۰۰۴ b)

مقررات دیوارهای بتن سبک اتوکلاو شده باربر توضیح
داده شده‌اند. این استاندارد تعداد طبقات ساختمان‌های
مسکونی با دیوار باربر را به ۲ طبقه و ارتفاع هر طبقه را به
۳٫۲ متر محدود می‌کند. ارتفاع از زمین تا نوک سازه به ۷
متر محدود می‌شود.

در طراحی ساختمان‌ها با قطعات بنایی
بتن هوادار اتوکلاو شده در اروپا می‌توان از
یورو کد ۶ (CEN-EN, ۲۰۰۵) (Eurocode ۶)
استفاده کرد. یورو کد ۶ ضمن پوشش قطعات مسلح و
غیرمسلح، شامل طراحی در برابر آتش، انتخاب و اجرای
قطعات و نحوه محاسبات سازه با استفاده از قطعات
غیرمسلح نیز است.

در ترکیه، کلیه سازه‌ها ساخته شده با قطعات بنایی بر مبنای
مقررات و ضوابط کد زلزله ترکیه طراحی می‌شوند (Ministry
of Public Work and Settlement, ۲۰۰۷)

تمام مدارکی که در بالا ذکر شد به جز
۵۲۳٫۴R-۰۹ ACI و راهنمای طراحی
سازه برای بتن سبک اتوکلاو شده
(Japanese ALC Association, ۲۰۰۳) و
استاندارد روش اجرا و نصب بتن سبک اتوکلاو شده
(Japanese ALC Association, ۲۰۰۴ a)
و استاندارد طراحی سازه بتن سبک اتوکلاو شده
(Japanese ALC Association, ۲۰۰۴ b) و اجرا
و نصب بتن سبک اتوکلاو شده که به آن اشاره شد، مربوط
به سازه‌های ساخته شده با بلوک‌های هوادار اتوکلاو شده
هستند.

ساختمان آموزشی با پانل‌های هوادار اتوکلاو شده

ساختمان مدرسه نشان داده شده در شکل ۴ بیشتر
بررسی می‌شود. اطلاعات عمومی در مورد خصوصیات
زلزله کوکائلی ۱۹۹۹، شرایط ژئوتکنیک و سیمای
ساختمان مدرسه در ذیل به صورت خلاصه تشریح شده
است.

استاندارد EN ۱۲۶۰۲ (EN, ۲۰۰۸) استخراج کرد اما
در خصوص طراحی دیوار برای تحمل بارهای افقی جانبی
و داخل صفحه اطلاعات کمی در انگلستان وجود داشت.
این مقاله گزارشی بر آزمایشات اولیه جهت مشخص شدن
طول دهانه (Span) افقی و عمودی دیوارهای ساخته
شده با قطعات بزرگ (پانل) است. این آزمون‌ها برای
ارتفاع دیوار یک طبقه، یا دیواری به ارتفاع ۱ متر و به طول
۲/۴ متر برای تعیین مقدار دهانه‌های افقی و عمودی دیوار
به ترتیب انجام گرفت. دیوارها بر روی یک صفحه ساده
برای به حداقل رساندن اصطکاک اجرا شد و نیرو توسط
کیسه‌های هوا به دیوار وارد شد. آزمون داخل صفحه بر
مبنای استاندارد EN ۵۹۴ (EN, ۲۰۱۱) انجام گرفت
که برای ساختمان‌های با سازه چوبی استفاده می‌شود.
شکل تخریب در آزمایشات کششی علیرغم تعداد متعدد
آزمایشات عیناً مطابق با انتظار بود. در آزمایشات نیروی
داخل صفحه، در محل وارد شدن بار داخل صفحه دیوار،
تخریب موضعی اتفاق افتاد. هر چند نتایج در نیمی از
آزمایشات آنقدری نبود که بتوان از آنها صرف نظر کرد.
آزمایشات بیشتری جهت شناسایی متغیرها و حذف
تخریب موضعی احساس می‌شود.

استاندارد (Code) موجود در زمینه بتن هوادار اتوکلاو شده

در آمریکا، طراحی مصالح بنایی هوادار اتوکلاو شده بر
مبنای مقررات ساختمان و خصوصیات سازه‌های بنایی
(MSJC, ۲۰۰۸) انجام می‌شود. نوشتار حاضر از ضوابط
مندرج در (ICC, ۲۰۱۲) استفاده می‌کند.

بلوک‌های بتن هوادار اتوکلاو شده یک سیستم سازه‌ای
مورد تأیید در ASCE ۷ برای دسته‌بندی‌های زلزله A،
B و C است. برای ساختمان‌های مسکونی (ویلاهی ۱ و یا
دو طبقه)، مصالح هوادار اتوکلاو شده برای هر رده زلزله
تأیید می‌شود (ASCE, ۲۰۱۰).

طراحی پانل‌های بتن هوادار اتوکلاو شده مسلح
توسط ضوابط (ACI, ۲۰۰۹) (ACI ۵۲۳٫۴R-۰۹)
انجام می‌شود بر مبنای مقررات عمومی ساختمان
(IBC/ICC, ۲۰۱۰). هر سازه‌ای می‌تواند با تأیید
سازمان‌های منطقه‌ای ذیصلاح ساخته شود. کمیته
ACI ۵۲۶ در حال حاضر مشغول تهیه ضوابط اجباری
ACI برای آن است (Klinger, ۲۰۱۳).

در ژاپن، بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) به نام
ALC شناخته می‌شود، که مخفف بتن سبک اتوکلاو
شده (Autoclaved light Concrete) است.
استانداردهای زیر توسط انجمن بتن سبک اتوکلاو شده
در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ تهیه و این مدارک به تأیید

ساختمان مدرسه نشان

داده شده در شکل ۴

بیشتر بررسی می‌شود.

اطلاعات عمومی در

مورد خصوصیات زلزله

کوکائلی ۱۹۹۹، شرایط

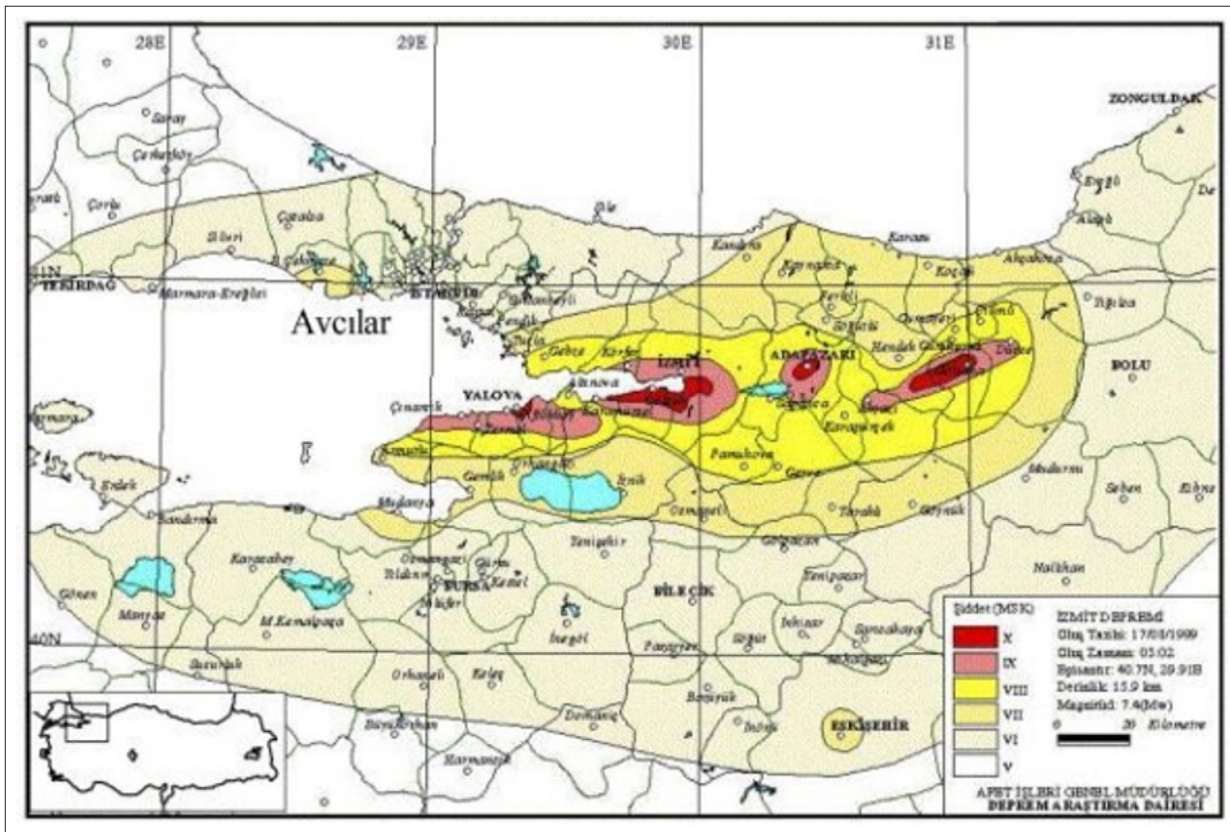
ژئوتکنیک و سیمای

ساختمان مدرسه در

ذیل به صورت خلاصه

تشریح شده است

شکل ۹ نقشه زلزله نگاری زمین لرزه کواتلی



شکل ۱۰ منطقه مدرسه در گوکان



زلزله کواکالی ۱۹۹۹ و موقعیت ساختمان مدرسه

در ۱۷ اگوست سال ۱۹۹۹ زلزله‌ای به مقیاس $7.4 Mw$ ، استان کواکالی و ساکارا در شمال ترکیه را لرزاند. مرکز این زلزله نزدیک گلجوک، شهری نزدیک استان کاکالی در ۱۱۰ کیلومتری استانبول بود. زلزله کاکالی باعث ایجاد لغزش شرق به غرب گسل موجود به طول ۱۲۰ کیلومتر شد. میزان لغزش عموماً ۲/۵ تا ۴/۵ متر بود که در ۳۰ کیلومتری از مرکز زلزله، حداکثر به ۵ متر رسید. زلزله ۷/۴ ریشتری کواکالی در نتیجه حرکت گوه پوسته قاره‌ای که به عنوان بلوک آناتولی شناخته می‌شود در اثر فشردن بین دو صفحه عربستان و اوراسیا بود (Kocaeli, ۱۹۹۹).

شدت زلزله کواکالی X مرکالی بود. نقشه زمین‌لرزه که توسط بخش زلزله اداره کل امور بلایای طبیعی ترکیه تهیه شده در شکل ۹ دیده می‌شود. شکل ۱۰ موقعیت مدرسه تحت بررسی را نشان می‌دهد که در منطقه با شدت زلزله X (MSK) در بالاترین شدت در منطقه تحت تأثیر زلزله واقع شده است. مختصات مدرسه $40^{\circ}42'26''$ شمالی و $29^{\circ}05'21''$ شرقی است.

شرایط ژئوتکنیکی منطقه یواچیک و مکان مدرسه

گزارش ژئوتکنیک منطقه یواچیک^۷ در استان کواکالی (جایی که دبیرستان Basiskele Anadolu Ogretmen ساخته شده با پانل AAC قرار دارد) توسط شهرداری منطقه تهیه شد (Kandemir, ۲۰۰۱). این مطالعه محدود به منطقه یواچیک به مساحت ۱۵۲۴ هکتار است.

گسل شمال آناتولی از این منطقه می‌گذرد. در جنوب منطقه مورد مطالعه به مساحت ۹۱۷ هکتار که به دوره نوسنگی^۸ برمی‌گردد وزیر بخش شکل‌گیری منطقه Samanlidag است از سنگ‌های رسی، سیلت، ماسه سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است. شمال غربی منطقه مورد بازرسی، به مساحت ۸۸ هکتار از خاک رسی شنی و رسی تشکیل شده است. در شمال منطقه مورد بررسی به منطقه‌ای آبرفتی به مساحت یک هکتار می‌رسیم که از رسوبات پوشیده شده و تا شمال غربی منطقه مورد مطالعه به صورت زمین‌های پست امتداد یافته است.

در کل این ۳ منطقه، انتظار برخورد آب با فونداسیون وجود ندارد. همچنین در جنوب منطقه مورد مطالعه سنگ‌های آتشفشانی برونی قرار گرفته است. میزان تنش مجاز در منطقه آتش فشانی برابر با $4 Kg/cm^2$ و برای منطقه نو سنگی $1 Kg/cm^2$ است. در منطقه شامل رسوبات، تنش مجاز $1.7 Kg/cm^2$ است. منطقه می‌تواند

مشکل روان گرای خاک داشته باشد.

مطالعه ژئوتکنیک دیگری برای منطقه پارسسل^۹ در مجاورت دبیرستان مذکور وجود دارد، که در سال ۲۰۱۲ توسط زورلو (Zorlu et al, ۲۰۱۲) تهیه شده و می‌تواند تخمین بسیار خوبی از شرایط خاک موقعیت مدرسه را به دست بدهد.

برای تهیه آزمایش شرایط خاک منطقه دو چاهک نمونه به عمق ۱۵ متر حفر و آزمایش لرزه‌نگاری انکساری و آزمایش مقاومت ویژه الکتریکی خاک به عمل آمد. در چاهک‌های نمونه خاک زراعی، ماسه، لجن و سنگدانه وجود داشت. هیچ اثری از آب زیر زمینی در چاهک‌ها دیده نشد. با توجه به نتایج آزمایشگاهی حدود اتربرگ^{۱۰}، نوع خاک با پلاستیسیته بالا کلاسه‌بندی می‌شود. شاخص پلاستیسیته در منطقه آزمایش شده در محدوده ۲۸-۳۸ و درصد تورم بسیار بالا بین ۲۰-۳۰٪ و بزرگ‌تر از ۳۰٪ است.

نتایج آزمایشات لرزه‌نگاری انکساری، V_p (سرعت امواج) بین ۸۸۸-۹۴۲ m/sec و V_s (سرعت امواج) بین ۴۸۹-۴۷۴ m/sec را نشان می‌دهد. این ارقام خاک را بر مبنای کدهای طراحی ترکیه در کلاس Z^I طبقه‌بندی می‌کند. ظرفیت باربری به دست آمده از آزمایشات لرزه‌نگاری انکساری بین $8.43 \sim 8.75 kg/cm^2$ و باربری مجاز برای این منطقه $2.03 \sim 2.1 kg/cm^2$ است. میزان باربری با استفاده از آزمایش سه محوری بین $2.32 \sim 2.82 kg/cm^2$ محاسبه شد.

دبیرستان Basiskele Ogretmen آناتولی

گزارش‌ها حاکی از آن است که هیچ‌گونه خساراتی بر اثر زلزله کواکالی ۱۹۹۹ به دبیرستان وارد نشده است (Sucuoglu and Alakoc, ۲۰۰۰). شکل ۱۱، عکسی از نمای ساختمان مدرسه را به تاریخ ژوئن ۲۰۱۳ نشان می‌دهد. پلان طبقه همکف در شکل ۱۲ نشان داده شده است. دیوارهای داخلی و خارجی این ساختمان دو طبقه از پانل‌های باربر هوادار اتوکلاو شده و کف و سقف نیز از پانل‌های کف و سقف بتن هوادار اتوکلاو شده ساخته شده‌اند. پانل‌های کف به شکل یک اتصال مفصلی عمل می‌کنند و آرماتورهای داخل پانل هم بر مبنای سازه مفصلی طراحی شده‌اند. مقاومت فشاری پانل‌ها $4 MPa$ و چگالی خشک آنها $600 kg/m^3$ است. میزان آرماتور مصرفی در این پانل‌های بر مبنای $DIN 4223$ (DIN, ۱۹۷۸) محاسبه شده است. آرماتورهای عمودی استفاده شده در بین درز پانل مطابق با گزارش مقاومت کششی $420 MPa$ داشته‌اند.

پلان طبقه همکف در شکل

۱۲ نشان داده شده است.

دیوارهای داخلی و خارجی

این ساختمان دو طبقه

از پانل‌های باربر هوادار

اتوکلاو شده و کف و سقف

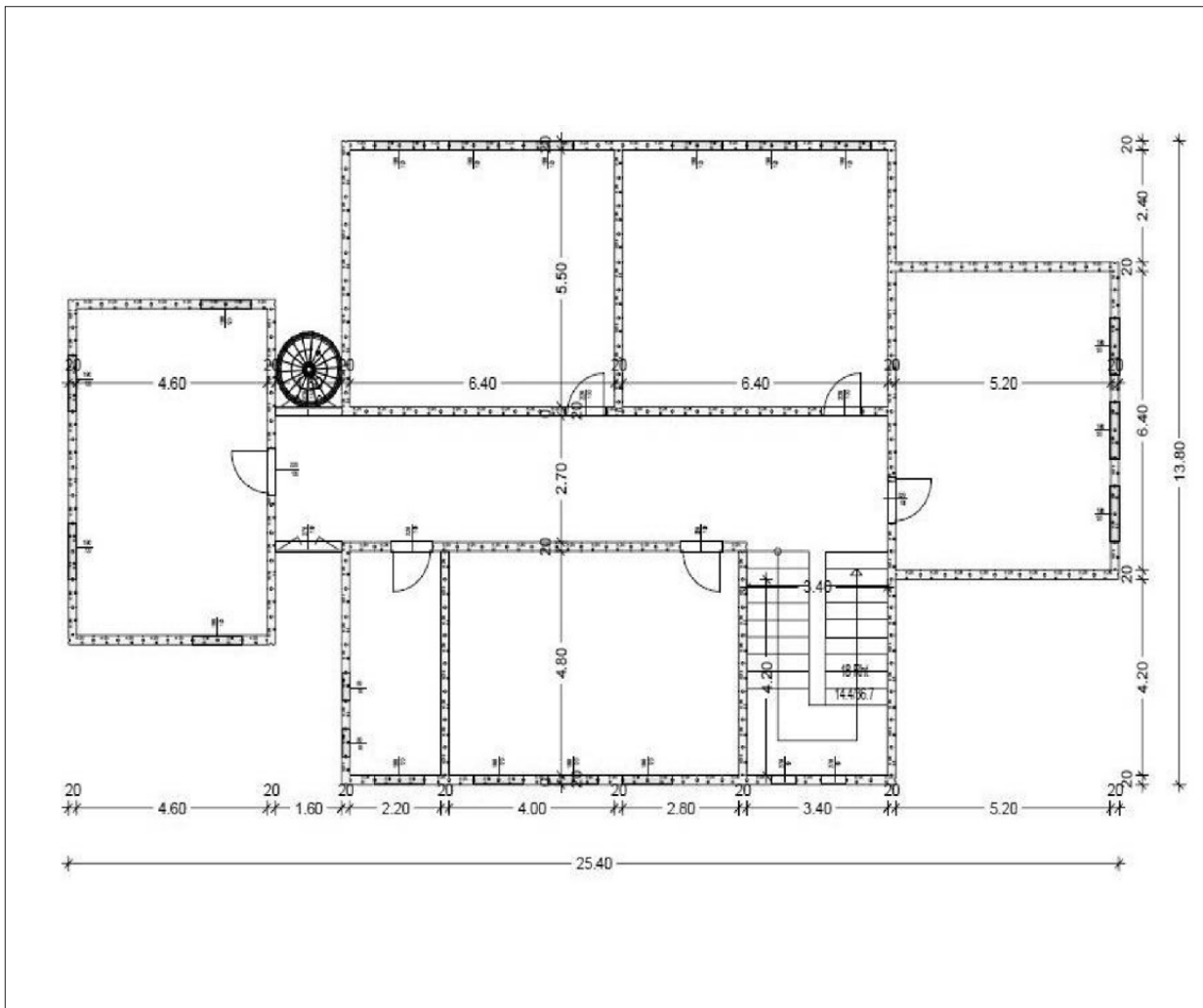
نیز از پانل‌های کف و سقف

بتن هوادار اتوکلاو شده

ساخته شده‌اند



شکل ۱۱ نمای روبروی دبیرستان

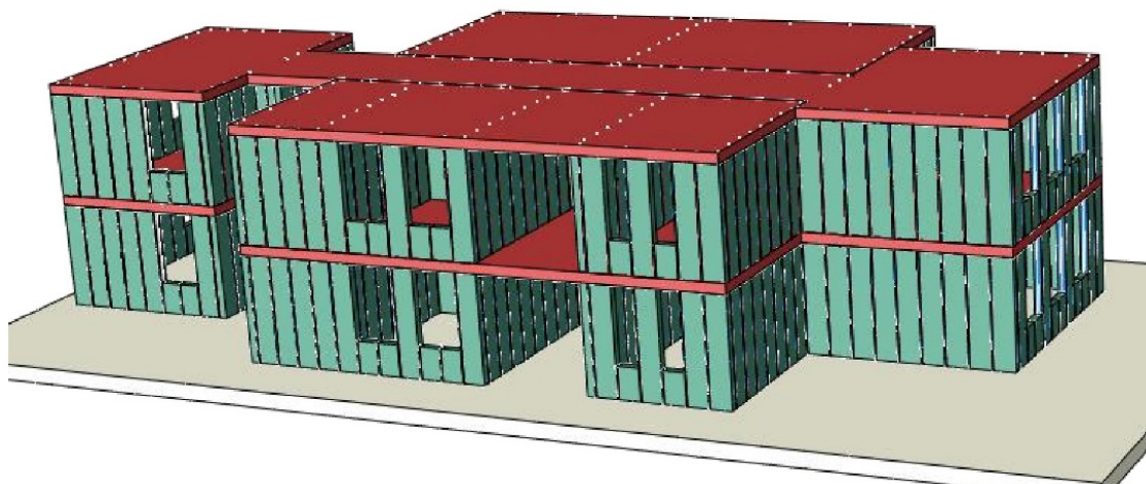


شکل ۱۲ پلان طبقه هم کف مدرسه

جدول ۲) خصوصیات مواد تعریف شده در مدل تحلیل محدود

فولاد	بتن	گروت	ACC	
۷۸۵۰	۲۴۰۰	۲۰۰۰	۸۴۰	چگالی (Kg/m^3)
۲۰۰۰۰۰	۲۸۰۰۰	۶۹۰۰	۲۲۵۰	مدول الاستیک (MPa)
۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	نسبت پواسان

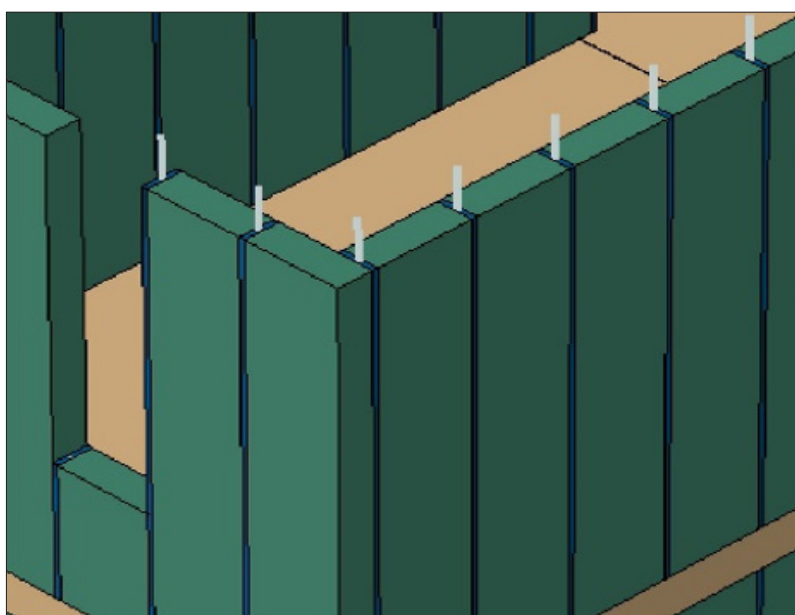
شکل ۱۳) نمای سه بعدی مدل تعریف شده در نرم افزار اباکس



آنالیز محدود دیبرستان

از نرم افزار آنالیز محدود (Abaqus Element Analysis software) برای ساختمان دیبرستان ساخته شده از بتن هوادار اتوکلاو شده جهت به دست آوردن تنش و جابجایی هایی ممکن در زلزله کاکوتلی استفاده شد (Simula, D.C.S., ۲۰۱۱). مدل سه بعدی تحلیل اجزای محدود با جداسازی المان ها به تفکیک هر یک از پانل ها از یکدیگر و سایر اعضا مطابق با شکل ۱۳ تهیه شد. همچنین بر مبنای کار انجام شده، گروت و میل گرد ۱۲ مدفون در آن در بین پانل های در نظر گرفته شده است (شکل ۱۴). میل گردهای بین پانل ها، در داخل فونداسیون و بیم ادامه یافته و با گروت کلاف می شوند (شکل ۱۵). بین پانل ها و عضو گروت، المان اصطکاکی تعریف شد. پانل های سقف روی پانل های دیواری با عضو واسطه اصطکاکی و میل گردهای

شکل ۱۴) اتصال دیوارهای عمودی





عمودی ادامه یافته از گروت، تعریف می‌شود. از آنجا که هدف از این مطالعه داشتن ایده‌ای برای میزان تنش‌ها و تغییر مکان‌های جانبی ناشی از زلزله است و تغییر شکل غیرالاستیک قابل توجهی انتظار نمی‌رود، رفتار اجزای ساختمان کشسان خطی فرض می‌شود. خصوصیات هریک از مواد در مدل در جدول ۲ نشان داده شده است. بار زلزله (شتاب) در راستای محور X اعمال شد. حداکثر شتاب زلزله در آنالیز انجام گرفته $0.46g$ در نظر گرفته شد، که با توجه به مشخصات زلزله کاکوئلی و روابط اصلاحی با توجه به رابطه بور به دست آمده بود (Boore et al, ۱۹۹۷).

نتایج آزمایشات

جابجایی جانبی^{۱۲} به دست آمده از تحلیل اجزای محدود به حداکثر مقدار جابجایی نسبی^{۱۳} 0.05 شکل ۱۶ می‌رسد، که کمتر از حد مجاز 0.02 مشخص شده در آیین‌نامه طراحی زلزله ترکیه برای سطح عملکرد ایمن زندگی است. این میزان جابجایی نسبی از آنجا که کمتر از مقدار مشخص شده در کد طراحی زلزله ترکیه (Turkish Seismic Design Code ۲۰۰۷) است، باعث ایجاد خسارت عمده نخواهد شد. این نتایج با آنچه که در ساختمان به وقوع پیوسته، همخوانی داشت. توزیع تنش‌های فشاری و حداکثر تنش‌های اصلی به دست آمده برای صفحات دیوار به ترتیب در شکل

۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است. به دلیل اعمال واژگونی تنش‌های فشاری و کششی عمدتاً در گوشه‌های بالا و پایین پانل‌های دیواری تمرکز یافته که با نیروی‌های عمود بر لبه‌ها و اصطکاک مهار شده‌اند. حداکثر تنش فشاری بارهای عمودی و زلزله 2.5 MPa است، در حالی که متوسط تنش در نصف ارتفاع پانل برابر با 0.5 MPa است. لازم به ذکر است که این تنش‌های فشاری کمتر از 4.0 MPa مقاومت فشاری بتن هوادار اتوکلاو شده است. به همین ترتیب، حداکثر تنش اصلی در گوشه‌های پانل 0.7 MPa و در نصف ارتفاع پانل 0.4 MPa است. به منظور مقایسه بین تنش‌های کششی مورد انتظار و مقدار مجاز ماشی از نیروهای زلزله، تنش کششی پانل با استفاده از معادله آیین‌نامه^{۱۴} (MSJC, ۲۰۰۸) محاسبه می‌شود. جایی که f_t و f_{AAC} مقدار مقاومت کششی و مقاومت فشاری بتن هوادار اتوکلاو شده است.

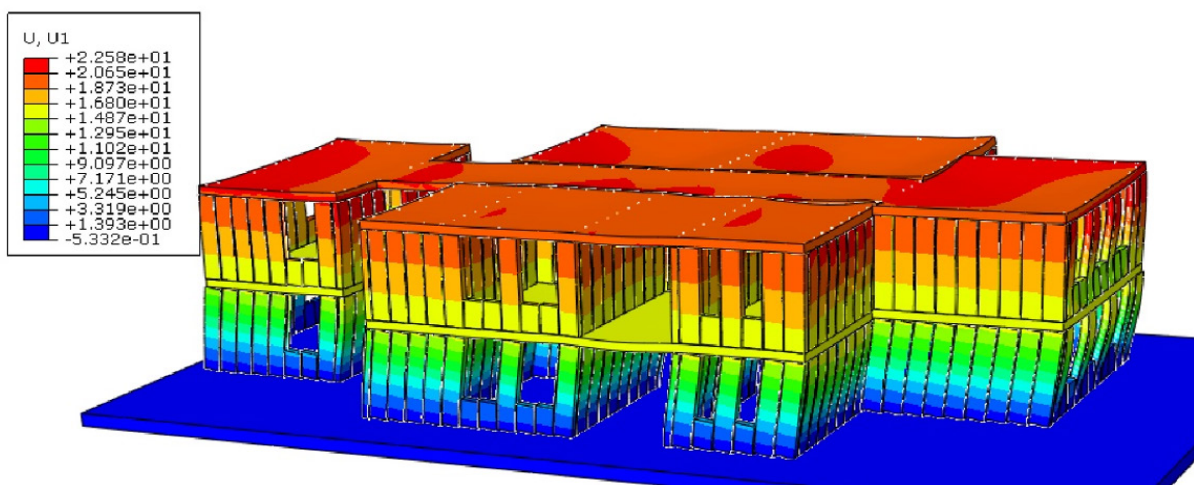
(۱)

$$f_t = 0.2 \sqrt{f_{AAC}} \quad (\text{MPa})$$

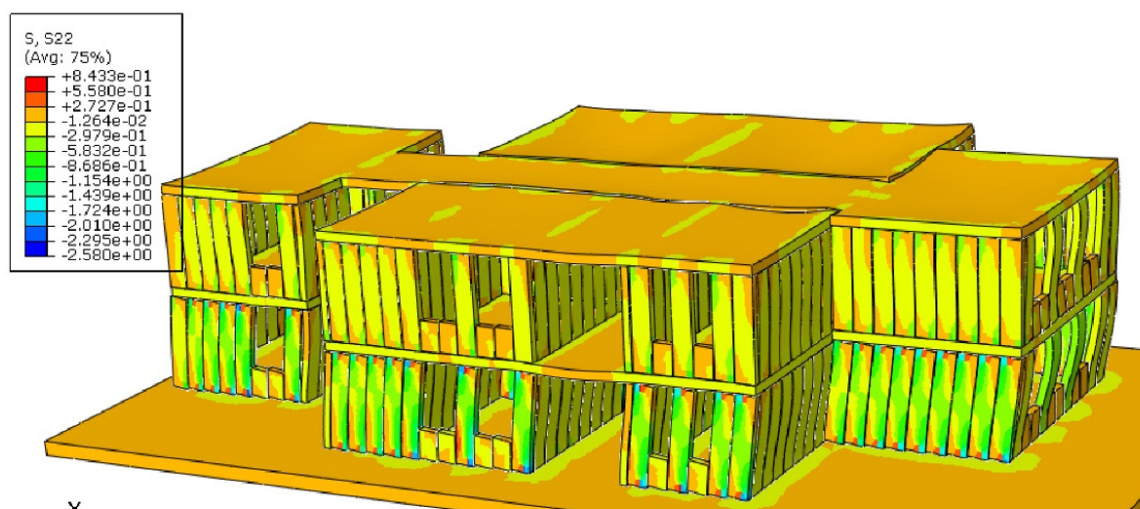
در مقایسه با مقدار مقاومت کششی محاسبه شده، تنش‌های کششی در نصف ارتفاع پانل کمتر از حد مجاز ترک خوردگی هستند. اگر چه، حداکثر تنش اصلی در گوشه‌های پانل بیشتر از مقدار محاسباتی است. در نتیجه، با توجه به آرماتورهای داخل پانل‌ها، ترک‌های باریک یا ترک‌های ریز را می‌توان در گوشه‌های پانل دیوار انتظار داشت.

این نتایج با آنچه که در ساختمان به وقوع پیوسته، همخوانی داشت. توزیع تنش‌های فشاری و حداکثر تنش‌های اصلی به دست آمده برای صفحات دیوار به ترتیب در شکل ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است

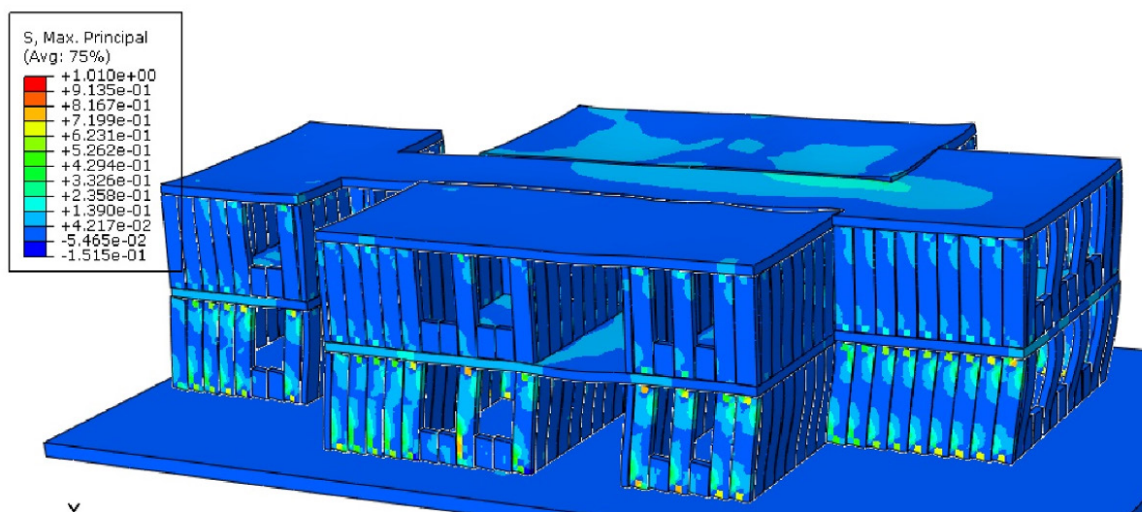
شکل ۱۶) شکل پذیری و جابجایی جانبی (میلی متر)



شکل ۱۷) استرس های فشاری برای پائل های دیواری (MPa)



شکل ۱۸) استرس ماکزیمم اصلی برای پائل های دیواری (MPa)



5. International Building Code
6. Quasi-state
7. Yuvacik
8. Pliocene aged
9. Parecel
10. Aterberg Limits
11. Abaqus.
12. lateral displacements
13. drift ratio
14. Building Code Requirement and Specification for Masonry

منابع

- ACI. (2009). ACI Committee 523, Guide for Design and Construction with Autoclaved Aerated Concrete.
- Fadaifard, H, Yousef, AA, Harkin, P, and Klingner, RE. (2011). Capacity of Autoclaved Aerated Concrete Beams and Lintels as Governed by Bond and Anchorage. 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete.
- Sucuoglu, Hand Alakoc, CA. (2000). The Performance of AAC Materials at 17 August 1999 Kocaeli.
- Tanner, JE (2003). Design Provisions for AAC Structural Systems. PhD Thesis, University of Texas at Austin.
- ICC. (2012). International Building Code (IBC). International Code Council, Washington, DC. Isoseismal Map of Kocaeli Earthquake, Prime Ministry Disaster & Emergency Management Presidency. System Standard.
- Rivera, JLV. (2003). Development of R and Cd factors for the seismic design of AAC Structures. PhD Thesis, University of Texas at Austin.
- Cancino, UM. (2003). Behavior of AAC Shear Walls with low strength AAC. MSc Thesis, University of Texas at Austin.

نویسنده در بازدید از مدرسه نتوانست ترک‌های مشهودی را مشاهده کند. این امر ممکن است ناشی از:

الف) بروز ترک‌های خیلی ریز

ب) ضریب اطمینان در نظر گرفته شده در معادلات

ج) توزیع یکنواخت‌تر و عدم تمرکز تنش‌های واقعی در مقایسه با داده‌های آنالیز اجزای محدود یا رنگ انجام شده بر روی دیوار باشد.

سرانجام، براساس تحلیل اجزای محدود، میانگین تنش میل‌گردهای عمودی بین پانل‌ها به محدوده ۱۰۰ MPa رسید. مقاومت کششی هیچ کدام از آرماتورهای بین پانل‌های دیوار به ۴۲۰ MPa نرسید، که بدین معنا است کلیه آرماتورها در محدوده الاستیک باقی ماندند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، ابتدا تکنیک اجرای پانل‌های بتن هوادار اتوکلاو شده بررسی شد و سپس مشاهدات میدانی از یک ساختمان آموزشی موجود که زلزله مهیب کاکوئلی ۱۹۹۹ را تجربه کرده بود و نتایج با تحلیل اجزای محدود آن را تأیید کرد، برداشت شد.

بر این اساس:

- هیچگونه خسارت مشهودی در مدرسه پس از بررسی مشاهده نشد.
- تنش‌های فشاری وارد شده به پانل‌های دیواری همگی کمتر از میزان مقاومت فشاری بتن هوادار اتوکلاو شده بود.
- تنش‌های کششی وارده بر پانل‌ها، کمتر از مقاومت کششی پانل‌های هوادار اتوکلاو شده بوده است. هر چند، تنش‌های کششی در گوشه‌های بالا و پایین پانل‌ها اندکی بیشتر از مقاومت پانل‌ها بود؛ بنابراین، انتظار می‌رفت ترک‌های مویی در این مناطق رخ داده باشد، اما هیچ‌گونه ترک‌ای در مدرسه مشاهده نشد. این نشانگر آن است که کاهش محسوس در میزان مقاومت در برابر زلزله رخ نداده است.
- آرماتورهای استفاده شده در درزها حالت الاستیکی خود را حفظ کرده‌اند.
- به طور کلی، آنالیز و مشاهدات عینی تأیید می‌کنند که هیچ آسیبی به ساختمان وارد نشده است.

پانویس‌ها

1. Duzce
2. Kocaeli
3. Yuvacik
4. Jennifer Tanner

در این مطالعه، ابتدا تکنیک اجرای پانل‌های بتن هوادار اتوکلاو شده بررسی شد و سپس مشاهدات میدانی از یک ساختمان آموزشی موجود که زلزله مهیب کاکوئلی ۱۹۹۹ را تجربه کرده بود و نتایج با تحلیل اجزای محدود آن را تأیید کرد، برداشت شد

Japanese ALC Association. (2003). Guide for ALC Structural Design.

Japanese ALC Association. (2004a). ALC Installation Method Standard.

Japanese ALC Association. (2004b). ALC Structural Design Standard and ALC Installation.

Ministry of Public Works and Settlement (2007). Turkish seismic design code, Ankara.

CEN-EN. (2005). CEN-EN 1996-1-1 Eurocode 6: Design of masonry structures. Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures.

Erdik, M. (2000). Report On 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) Earthquakes. Kandilli Observatory Earthquake Research Institute. Kandemir, S. (2001). Geotechnical Report of Yuvacik, Kocaeli, Yuvacik Municipality.

Zorlu, E, Ozbay, M, and Acar, S. (2012). Geotechnical Report of, Kocaeli, Basiskele, Serdar district, Gazneli Mahmut street, sheet number G23C04C1C, plot 108 and parcel 14.

DIN 4223. (1978). Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete.

Simulia, D. C. S. (2011). ABAQUS 6.11 Analysis User's Manual. Abaqus 6.11 Documentation.

Boore, DM, Joyner, WB, and Fumal, TE (1997). Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work. Seismol. Res. Lett. 68(1): 128-153.

Argudo, JF. (2003). Evaluation and Synthesis of Experimental Data for AAC. MSc Thesis, University of Texas at Austin, 2003.

Sesigur, H, Celik, OC, and Cili, F. (2007). Applicability of Mid-Rise AAC Buildings with Reinforced Panels in Low Seismicity Areas, Sixth National Conference on Earthquake Engineering, 16-20, October, Istanbul, Turkey.

Storlie, VL. (2009). Behavior of AAC Floor Diaphragms subject to in-plane reverse cyclic loading. MSc Thesis, University of Wyoming.

EN 12602. (2008). Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete. European Standard.

EN 594. (2011) Timber structures-test methods-racking strength and stiffness of timber frame wall panels. European Standard.

Edgell, GJ and Fudge, C. (2011). Testing of Reinforced AAC Walls Under Lateral and Racking Loads. 5th. International Conference on Autoclaved Aerated Concrete. 2011.

MSJC. (2008). The Masonry Standards Joint Committee, Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures. The Masonry Society, Boulder, Colorado.

ASCE. (2010). Minimum design loads of buildings and other structures, ASCE 7-10. Reston, VA.

Klingner, RE. (2013). Private communication with Prof. Dr. Richard E. Klingner. 2013.

نویسنده در بازدید از مدرسه
توانست ترک‌های مشهودی
را مشاهده کند. این امر ممکن
است ناشی از:
الف) بروز ترک‌های خیلی ریز
ب) ضریب اطمینان در نظر
گرفته شده در معادلات
ج) توزیع یکنواخت تر و عدم
تمرکز تنش‌های واقعی در
مقایسه با داده‌های آنالیز
اجزای محدود یا رنگ انجام
شده بر روی دیوار باشد