بتن سبک AAC
و کاربرد آن در صنعت ساختمان

بتن سبک AAC
و کاربرد آن در صنعت ساختمان

تألیفِ
علی‌مسعود انواری

نشر کتاب دانشگاهی

سرشناسه	انواری، علی‌مسعود، ۱۳۲۵-
عنوان و نام پدیدآور	بتن سبک AAC و کاربرد آن در صنعت ساختمان / تألیف علی مسعود انواری
مشخصات نشر	تهران: نشر کتاب دانشگاهی، ۱۳۸۹
مشخصات ظاهری	۱ج (بدون شماره‌گذاری): مصور، جدول، نمودار
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۵۱۰۷-۴۳-۲
وضعیت فهرست‌نویسی	فیپا
موضوع	بتن سبک
موضوع	مصالح ساختمانی
رده‌بندی کنگره	TA۴۳۹/۸الف۲ب۱۳۸۹
رده‌بندی دیویی	۶۲۴/۱۸۳۴
شمارهٔ کتاب‌شناسی ملی	۲۱۹۸۶۷۴

نشر کتاب دانشگاهی

بتن سبک AAC
و کاربرد آن در صنعت ساختمان

تألیفِ علی‌مسعود انواری

ویرایش و آماده‌سازی پیش‌از انتشار
خدیجه حسینی، مهسا زینالی

چاپ اول	۱۳۸۹
لیتوگرافی	مهران‌نگار
چاپ	روناس
صحافی	کتیبه
تعداد صفحات	۱۸۴، وزیری
بها	۵۰۰۰ تومان

۲۵۰۰ نسخه

شابک ۲-۴۳-۵۱۰۷-۶۰۰-۹۷۸ ISBN 978-600-5107-43-2

مرکز پخش: خیابان بزرگمهر، بین وصال و قدس، شمارهٔ ۸۷، تلفکس ۶۶۴۶۷۲۲۶
فروشگاه روزِ نو: خیابان انقلاب، بین فخررازی و دانشگاه، شمارهٔ ۱۲۰۲، تلفکس ۶۶۹۵۰۵۲۰
Website: www.ketabedaneshgahi.com E-mail: info@ketabedaneshgahi.com

حقوق مادی نشرِ این اثر متعلق به شرکت سیلیس‌آرا است.

فهرست

پیش‌گفتار

فصل اول: تعریف بتن سبک و انواع آن

۱ـ۱ مختصری دربارهٔ بتن و بتن سبک ۱
۱ـ۲ انواع بتن سبک ۲
۱ـ۲ـ۱ بتن دانه‌سبک ۲
۱ـ۲ـ۲ بتن اسفنجی ۳
۱ـ۲ـ۳ بتن سبک کفی یا فوم‌بتن ۶
۱ـ۲ـ۴ بتن سبک متخلخل اتوکلاوشده ۱۴

فصل دوم: مباحثی پیرامون بتن سبک AAC

۲ـ۱ تاریخچهٔ تولید AAC در جهان و ایران ۱۵
۲ـ۲ معرفی مواد تشکیل‌دهندهٔ بتن AAC ۱۷
۲ـ۳ فرایند تولید بتن AAC ۲۱
۲ـ۴ محصولات تولیدی AAC و موارد استفادهٔ آن‌ها ۲۶
۲ـ۴ـ۱ بتن سبک غیرمسلح ۲۶
۲ـ۴ـ۲ بتن سبک مسلح ۳۰
۲ـ۵ مشخصات فنی بتن سبک AAC ۳۵
۲ـ۶ مزایای استفاده از بتن سبک AAC ۴۶
۲ـ۶ـ۱ مزایای ناشی از ساختار ۴۶
۲ـ۶ـ۲ مزایای زیست‌محیطی ۴۷
۲ـ۶ـ۳ مقاومت حرارتی بالا ۴۸
۲ـ۶ـ۴ مقاومت دربرابر آتش و سرایت آن ۵۳
۲ـ۶ـ۵ عملکرد وضعیت صوتی بتن AAC ۵۸
۲ـ۶ـ۶ عملکرد عایق رطوبتی بتن AAC ۶۴
۲ـ۷ استانداردهای فنی جهانی بتن سبک AAC ۷۰

فصل سوم: مقایسهٔ بلوک‌های بتن AAC با مصالح متداول در ایران

۳ـ۱ مقدمه ۷۳
۳ـ۲ مبنای مقایسهٔ اقتصادی انواع تیغه‌ها ۷۵
۳ـ۲ـ۱ تیغه‌های داخلی از آجر فشاری ۷۵
۳ـ۲ـ۲ تیغه‌های داخلی از آجر ماشینی ده‌سوراخه ۸۱
۳ـ۲ـ۳ تیغه‌های داخلی از آجر سفالی ۸۱
۳ـ۲ـ۴ تیغه‌های داخلی از پانل گچی ۸۶
۳ـ۲ـ۵ تیغه‌های داخلی از لیکا ۹۰
۳ـ۲ـ۶ تیغه‌های داخلی از آجر ماسه‌آهکی ۹۵
۳ـ۲ـ۷ تیغه‌چینی با بلوک سیلکس (بتن سبک AAC) ۹۷
۳ـ۳ نتایج آزمون کنترل کیفیت روی بتن سبک AAC ۱۰۲
۳ـ۴ توصیه‌های اجرایی برای کار با بلوک سیلکس ۱۰۴
۳ـ۵ نمودارهای مقایسه‌ای ۱۰۶
۳ـ۶ محاسبهٔ بار گستردهٔ معادل تیغه‌بندی مطابق مبحث ششم مقررات ملی ایران (بارهای وارده بر ساختمان) ۱۰۹
۳ـ۷ مقایسهٔ مقاومت حرارتی تیغه‌های متداول ساختمانی (ضخامت‌های متفاوت با مقاومت حرارتی یکسان) ۱۱۱
۳ـ۷ـ۱ ضریب هدایت حرارتی ۱۱۱
۳ـ۷ـ۲ مقاومت حرارتی یک لایه ۱۱۱
۳ـ۸ بررسی عوامل پنهان تأثیرگذار بر قیمت تمام‌شدهٔ بنا ۱۱۳
۳ـ۹ نمودار امتیازهای ویژه ۱۱۶

فصل چهارم: بررسی عوارض قاب‌های میان‌پر و راهکارهای مقابله با آن

۴ـ۱ بررسی و تحلیل قاب‌های میان‌پر ۱۱۹
۴ـ۲ بررسی اثرات متقابل قاب مرکب بر مقاومت سازه ۱۲۵
۴ـ۳ ضوابط مربوط به میان‌قاب‌های مصالح بنایی ۱۳۳
۴ـ۳ـ۱ میان‌قاب‌های مصالح بنایی ۱۳۳
۴ـ۳ـ۲ ارزیابی میان‌قاب‌های مصالح بنایی در جهت درون صفحه ۱۳۴
۴ـ۳ـ۳ ارزیابی میان‌قاب‌های مصالح بنایی در جهت عمود بر صفحه ۱۳۹
۴ـ۴ راهکارهای مقابله با عوارض میان‌قاب‌ها ۱۴۲

فصل پنجم: بررسی یک پروژهٔ نمونه

۵ـ۱ مشخصات پروژه ۱۴۷
۵ـ۲ مراحل انجام محاسبات ۱۴۸
منابع ۱۷۱

زان پیش که دست و پا فرو بندد مرگ
آخر کم از آن که دست و پایی بزنیم؟
ناتل خانلری

پیش‌گفتار

انسان موجودی اجتماعی است و به‌همین‌دلیل از غارنشینی به زندگی جمعی و شهرسازی روی آورد. در ابتدا، او برای ساخت‌وساز، سنگ و چوب را دراختیار داشت، اما هریک از این مصالح معایبی داشتند که کاربرد آن‌ها را در ساخت مسکن با مشکل مواجه می‌کرد؛ سنگ سنگین بود و تراشیدن آن در ابعاد موردنظر بسیار سخت بود. چوب نیز به‌این‌دلیل که درمعرض پوسیدگی و آتش گرفتن قرار داشت، مناسب نبود. وجود این مشکلات باعث شد تا بشر برای دست یافتن به مصالحی سخت و مقاوم، و درعین‌حال، سبک تلاشی مستمر را آغاز کند. ساخت و تولید بتن سبک اتوکلاوشده (AAC)، در حدود هشتاد سال پیش آرزوی بشر را برای دستیابی به مصالحی با ویژگی‌های برشمرده تحقق بخشید. این محصول هم‌چنین عاری از معایب مصالح طبیعی بود.

بتن سبک اتوکلاوشده برای اولین بار در کشور سوئد تولید شد و با گذشت چندین دهه، در بیش‌تر کشورهای صنعتی جهان کاربرد وسیع و گسترده‌ای، به‌ویژه در صنعت ساختمان‌سازی، پیدا کرد. سبکی، تأثیر در کاهش نیروهای ناشی‌از زلزله، سهولت اجرا، دارا بودن ضریب حرارتی کم، مقاومت دربرابر آتش و نیز عایق صوتی بودن، ازجمله مزایای انکارنشدنی این محصول است.

استفاده از این بتن در بهینه‌سازی مصرف سوخت و انرژی بسیار مؤثر است و مقاومت فشاری بالا، ویژگی مهم آن به‌شمار می‌آید، تاحدی‌که آن را به‌عنوان محصولی مطلوب و مناسب در صنعت ساختمان‌سازی شناسانده است.

بدیهی است که با رشد تقاضای روزافزون برای تولید مسکن در ایران استفاده از روش‌ها و مصالح سنتی چندان کارساز نیست. باتوجه‌به این موضوع و با گذشت چندین سال از ورود بتن سبک AAC به ایران، متأسفانه هنوز این محصول جایگاه حقیقی و واقعی‌اش را در میان دست‌اندرکاران صنعت ساختمان و به‌ویژه انبوه‌سازان مسکن پیدا نکرده‌است.

در این مکتوب سعی کردیم با گردآوری اطلاعات فنی موردنیاز، بتن سبک AAC را معرفی کنیم و ویژگی‌ها و مزایای آن را برشمریم. هم‌چنین، برای اطلاع‌رسانی، و آشنایی بیش‌تر متخصصان و مسؤلان صنعت ساختمان با این بتن، مقایسه‌ای بین این محصول با سایر محصولات مشابه انجام شده‌است. نگارنده امیدوار است که با تدوین و تألیف این اثر، گامی هرچند کوچک در مسیر شناسایی بیش‌تر این فناوری جدید در کشور برداشته باشد.

۱ تعریف بتن سبک و انواع آن

۱ـ۱ مختصری دربارهٔ بتن و بتن سبک

چنان‌که می‌دانیم امروزه در جوامع بشری صنعت بتن نقش بسیار مهمی در ساخت‌وسازها ایفا می‌کند. بتن درواقع نوعی سنگ ساختگی است که شن، ماسه، سیمان و آب به‌نسبت معین و با رعایت مشخصات فنی خاص، اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن به‌شمار می‌آیند. پس‌از تولید سیمان پرتلند در انگلیس در سال ۱۸۴۲، در اوایل قرن بیستم، بتن به‌عنوان یکی از مصالح سازه‌ای قابل‌رقابت با فولاد وارد صنعت ساختمان شد. نخستین ساختمان بتنی بلندمرتبه که در آن از قاب بتن مسلح استفاده شد ساختمان ۱۶ طبقهٔ Ingal در آمریکا بود که در سال ۱۹۰۳ بنا شد. مشکل اصلی بتن باوجود تمام مشخصات قابل‌رقابت، دانسیتهٔ بالای آن است.

وزن هر مترمکعب بتن معمولی حدود ۲۴۰۰ kg و، درصورت مسلح بودن، حدود ۲۴۵۰ kg است. وزن زیاد واحد حجم بتن باعث افزایش جرم و هزینهٔ تولید، بزرگ شدن ابعاد ستون‌ها و تیرها در سازه‌های بلند و درنتیجه هدر رفتن سطح زیربنا و فضای مفید ساختمان می‌شود. ازسویی، با افزایش جرم، نیروهای ناشی از زلزله تأثیر بیش‌تری بر سازهٔ بتنی خواهد داشت.

در مقام مقایسه، وزن اسکلت در سازه‌های بتنی نزدیک‌به ۵۰٪ وزن کل سازه است درحالی‌که در سازه‌های فلزی این نسبت کم‌تر از ۱۰٪ است.

موضوع کم کردن وزن مخصوص بتن و ساختن بتن سبک همواره ذهن دست‌اندرکاران صنعت ساختمان را به خود مشغول داشته و نتایج مثبتی را نیز به‌بار آورده‌است. گفتنی است به تمامی بتن‌های که وزن مخصوص آن‌ها به‌دلیل ساختار خاص کم‌تر از ۱۷۵۰ kg/m^3 باشد بتن سبک اطلاق می‌شود، این کاهش دانسیته تاکنون به‌رقم ۳۰۰ kg/m^3 نیز رسیده است.

هدف پژوهشگران دستیابی به بتنی است که علاوه‌بر سبک بودن، مقاومت قابل‌قبولی نیز داشته‌باشد به‌نحوی‌که نیاز روزافزون صنعت ساختمان را به مقاومت بالا ازسویی، و هزینهٔ تولید پایین را ازسوی‌دیگر، تأمین کند. بتن سبک علاوه‌بر آن‌که نیروهای وارد ازطرف زلزله را کاهش می‌دهد می‌تواند، در مقایسه با بتن معمولی، عایق بهتری ازنظر تبادل حرارت و صوت باشد.
پیش‌بینی‌ها حاکی از کاربرد بیش‌تر بتن سبک در آینده است.

۲ـ۱ انواع بتن سبک

بتن سبک به چهار گروه عمده تقسیم می‌شود:
۱. بتن دانه‌سبک؛[1]
۲. بتن اسفنجی یا بدون ریزدانه؛[2]
۳. بتن سبک کفی یا فوم‌بتن؛[3]
۴. بتن سبک متخلخل اتوکلاوشده یا AAC.[4]

ازآن‌جاکه بتن سبک هنوز در کشور ما چنان‌که باید شناخته نشده‌است، در این کتاب به سه نوع اول به‌اختصار و به نوع چهارم، که به‌نظر می‌رسد با شرایط سنتی، اقلیمی و فرهنگی کشور سازگارتر است، به تفصیل می‌پردازیم.

۲ـ۱ـ۱ بتن دانه‌سبک

بتن دانه‌سبک به بتن‌هایی اطلاق می‌شود که سبکی وزن آن‌ها به‌علت استفاده از مصالح دانه‌سبک مانند پرلیت، پویس و سایر پوکه‌های معدنی است و ازنظر طرز تهیه هیچ تفاوتی با بتن معمولی ندارد.
در نشریهٔ شمارهٔ ۵۵ سازمان برنامه‌وبودجه «مشخصات فنی و عمومی کارهای ساختمانی» در بند ۵ـ۹ـ۳ از این نوع بتن به‌شرح زیر نام برده شده‌است:

«در ساخت بتن سبک ساختمانی از مصالح سنگی سبک و تولیدشده از شیل‌ها، رس‌ها، اسلیت و روبارهٔ آهن‌گدازی استفاده می‌شود. وزن واحد حجم مصالح سنگی به‌کار گرفته‌شده از ۱۴۵۰ تا ۱۸۵۰ کیلوگرم در مترمکعب است و مقاومت ۲۸ روزهٔ نمونهٔ استوانه‌ای باید از kg/cm^2 بیش‌تر و دانه‌بندی مصالح نیز مطابق استاندارد د ـ ت ۲۰۳ باشد.»

بتن سبک ساختمانی در مقایسه با بتن معمولی باوجود پایین بودن وزن مخصوص مصالح سنگی، کارایی یکسانی دارد. کارایی بتن سبک ساختمانی با اسلامپ ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر برابر کارایی بتن معمولی با اسلامپ ۷۵ تا ۱۲۵ میلی‌متر است.

1. Lightweight aggregate concrete.
2. No-fines concrete.
3. Foam concrete.
4. Autoclaved Aerated Concrete.

در تمامی شرایط آب‌وهوایی (چه آب‌وهوای معمولی و چه آب‌وهوای سرد) کاربرد بتن سبک با حباب هوا توصیه می‌شود.

۱ـ۲ـ۲ بتن اسفنجی

بتن اسفنجی یا بدون ریزدانه بتنی است که ساختار آن مانند بتن معمولی است با این تفاوت که مصالح ریزدانه (یعنی ماسه) از آن حذف و همین موضوع باعث بافت متخلخل و سبک آن شده‌است. در ساختار این بتن ۱۵ تا ۲۵ درصد فضای خالی وجود دارد و همین امر موجب عبور آب از داخل این نوع بتن می‌شود.

در بتن اسفنجی، در مقایسه با انواع دیگر بتن، از آب کم‌تر استفاده می‌شود. به‌این‌ترتیب، پس‌از ساخت مخلوط بتن، آب آن به‌سرعت (حدود یک ساعت پس‌از ساخت) تبخیر و زمان گیرش تکمیل می‌شود.

نسبت مواد مختلف در بتن اسفنجی

برای آشنایی بیش‌تر با این بتن، میزان مواد مختلف به‌کاررفته در آن در جدول زیر ذکر شده‌است.

جدول۱ـ۱ نسبت و میزان مواد به‌کاررفته در بتن اسفنجی.

نسبت مواد	مقدار مواد
مواد دارای خواص سیمان	۲۷۰ – ۴۱۵ kg/m^3
سنگ‌دانه	۱۱۹۰ –۱۴۸۰ kg/m^3
نسبت آب به سیمان (ازلحاظ جرم)	۰/۲۷ – ۰/۳۰
نسبت سنگ‌دانه به سیمان (ازلحاظ جرم)	۱ ÷ ۴/۵ – ۴
نسبت سنگ‌دانهٔ ریز (ماسه) به سنگ‌دانهٔ درشت (شن)	۱ ÷ ۱ – ۰

رفتار بتن اسفنجی

هم‌چنین به‌منظور آشنایی بیش‌تر با رفتار این بتن، ویژگی‌های آن در جدول آمده‌است.

جدول ۱ـ۲ ویژگی‌های بتن اسفنجی.

مشخصات	مقدار
اسلامپ یا نشست[1]	۲۰ mm
چگالی (وزن مخصوص)	۱۶۰۰ – ۲۰۰۰ kg/m^3
زمان گیرش[2]	۶۰ mm
تخلخل (ازلحاظ حجم)	٪۱۵ – ٪۲۵
میزان نفوذپذیری (ازلحاظ میزان سرعت)	۱۲۰ $L/m^2/min$ – ۳۲۰ L/m^2
مقاومت فشاری	۳۵ kg/m^2 – ۲۸۰ kg/m^2
مقاومت خمشی	۱۰ kg/m^2 – ۳۸ kg/m^2
افت بتن	۲۰۰×۱۰^{-۶}

بتن اسفنجی طی چهار مرحلهٔ اساسی زیر تولید می‌شود:

۱. مخلوط کردن؛

۲. جای‌گذاری (ریختن در محل)؛

۳. تراکم و فشرده‌سازی (کوبیدن)؛

۴. عمل آوردن بتن.

به‌وجود آوردن، قرار دادن و عمل آوردن بتن اسفنجی به‌جای این‌که در کارخانه و تحت شرایط یکسان، انجام شود در محل کار (پای کار) صورت می‌پذیرد. اگرچه می‌توان بتن اسفنجی را مانند بتن معمولی در یک ایستگاه مرکزی بتن تهیه و به‌وسیلهٔ تراک‌میکسر پخش کرد، اما برای این کار به یک اپراتور و پیمان‌کار باتجربهٔ تخصصی نیاز است.

به‌هرحال کیفیت و عملکرد بتن اسفنجی به میزان آشنایی و تجربهٔ مصرف‌کننده، هم‌چنین تراکم و درصد فضای خالی آن بستگی دارد.

به‌کار بردن بتن اسفنجی در روسازی جاده‌ها درصورتی امکان‌پذیر است که زمین زیر بستر نفوذپذیر باشد.

گفتنی است که، بنابه آزمایش‌های انجام‌شده، نفوذ آب باران و برف به داخل بتن متخلخل و یخ زدن آن در سرمای زمستان مشکلی در کاربرد آن ایجاد نمی‌کند.

1. Slump.
2. Setting time.

نقش مواد افزودنی (مواد دارای خواص سیمانی) در بتن اسفنجی

مواد افزودنی که در بتن اسفنجی به‌کار می‌روند عبارت‌اند از: رقیق‌کننده‌های سیمان (C ۱۱۵۷ و ASTM C ۵۹۵)، خاکستر بادی و پوزولان طبیعی (ASTM C ۶۱۸)، روباره (ASTM C ۹۸۹) و بخار سیلیس (ASTM C ۱۲۴۰).

حال به برخی‌از این مواد که نقش بسیار مهمی در ساختار بتن دارند و می‌توانند به‌جای سیمان استفاده شوند (که در ایران از آن‌ها به‌ندرت استفاده می‌شود) اشاره می‌کنیم. درواقع این مواد با تأثیر بر عملکرد زمان گیرش، میزان افزایش مقاومت، تخلخل، نفوذپذیری و ... نقش کلیدی در عملکرد بالای بتن در استفاده از مواد افزودنی (SCMS) دارند. ازجملهٔ این مواد گاز سیلیس، خاکستر بادی و روباره هستند که دوام بتن را با کم کردن نفوذپذیری و شکاف (ترک‌خوردگی) افزایش می‌دهند.

گاز سیلیس:[1] فراوردهٔ فرعی (محصول جانبی) تولید سیلیکون است، و از دانه‌های خیلی ریز و ذرات کروی‌شکل تشکیل شده‌است و به‌طور مؤثری مقاومت و دوام بتن را افزایش می‌دهد. می‌توان از آن به‌جای سیمان در بتن، به‌میزان ۵ تا ۱۲ درصد، استفاده کرد.

خاکستر بادی:[2] محصول فرعی انبار زغال‌سنگ سوزان در نیروگاه‌های برق است و سال‌ها پیش به‌عنوان ماده‌ای بی‌مصرف روی زمین انباشته می‌شد. اما امروزه ماده‌ای مهم در صنعت سیمان‌سازی است و می‌توان از آن به‌جای سیمان در بتن، به‌میزان ۵ تا ۶۵ درصد، استفاده کرد.

روباره:[3] محصول فرعی زباله در صنعت پولاد (فولاد) است و در مقاومت و دوام بتن سهم بیش‌تری دارد و می‌توان از آن به‌جای سیمان در بتن، به‌میزان ۲۰ تا ۷۰ درصد، استفاده کرد.

1. Silica fume.
2. fly ash.
3. Blast Furnace Slag.

مزایای بتن اسفنجی و موارد استفادهٔ آن

بتن اسفنجی مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی بسیاری دارد که البته مزایای زیست‌محیطی آن بیش‌تر مدنظر است. از مزایای اقتصادی آن می‌توان به پایین آمدن هزینه‌های فراوان به‌منظور هدایت آب باران و فاضلاب اشاره کرد. درواقع، باوجود بتن اسفنجی، نیازی به ساختن جوی‌های فراوان در سطح شهر و کنار خیابان‌ها و کوچه‌ها، هم‌چنین کانال‌های بزرگ نیست، زیرا این بتن هرگونه آب ناشی از بارندگی را مستقیماً به زمین و سفره‌های آب زیرزمینی منتقل می‌کند. از دیگر مزایای زیست‌محیطی آن عبارت است از:

۱. جلوگیری از بروز آب‌گرفتگی در معابر و مکان‌ها به‌هنگام بارندگی؛
۲. جلوگیری از آلوده شدن آب بارندگی (زیرا اگر زمین نفوذناپذیر باشد، آب باران و برف در سطح زمین، که آلودگی فراوان دارد، جریان می‌یابد و آلوده می‌شود.)؛
۳. پر شدن ذخایر آب زیرزمینی؛
۴. هدایت برف و باران به داخل زمین در مناطق سردسیر تا با نماندن آن‌ها روی زمین از سردتر شدن مناطق جلوگیری شود؛
۵. استفاده در مکان‌هایی که به زمین خشک نیاز است، مثلاً در زیرسازی چمن‌های استادیوم‌های فوتبال؛
۶. هم‌چنین در مناطق سردسیر، به‌دلیل عبور آب از این بتن، از یخ‌زدگی سطح معابر جلوگیری می‌شود و شهرداری‌ها می‌توانند از این بتن در پیاده‌روسازی و محوطه‌سازی پارک‌ها، پارکینگ‌ها و معابری که مشکل آبگیری دارند استفاده کنند؛
۷. ایجاد مناظری زیبا به‌هنگام بارندگی، زیرا باوجود این بتن هنگام بارندگی آب‌گرفتگی وجود ندارد.

۱ـ۲ـ۳ بتن سبک کفی یا فوم‌بتن

فوم‌بتن محصولی است نسبتاً جدید که از ترکیب سیمان، ماسهٔ بادی (ماسهٔ نرم)، آب و فوم (مادهٔ شیمیایی تولیدکنندهٔ کف) تشکیل می‌شود. عامل اصلی سبکی، مایع پروتئینه‌ای است که با مخلوط

سیمان و ماسه، آب، حباب هوا تولید می‌کند. ترکیب حاصل را می‌توان برای استفاده در محل کارگاه درقالب دیوار، پوشش سقف، شیب‌بندی پشت‌بام، کف‌سازی طبقات، و پانل‌های جداکننده تولید کرد. بدین‌ترتیب در هزینه‌های حمل‌ونقل بتن به محل کارگاه و پای کار صرفه‌جویی می‌شود. دانسیته بتن سبک بین ۳۰۰ تا ۱۶۰۰ کیلوگرم در مترمکعب است.

اجزای تشکیل‌دهندهٔ بتن سبک کفی

الف) سیمان: انواع سیمان تولیدی کشور برای تولید بتن سبک کفی استفاده می‌شود ولی سیمان تیپ دو (استاندارد) بدون پوزولان برای این منظور مناسب‌تر است. برای تولید بتن سبک سفید می‌توان از سیمان سفید تولیدی در کشور استفاده کرد. به‌هرحال تازه بودن سیمان ازآن‌رو که خواص موردنیاز آن براثر دپو شدن ازدست نرفته‌است، اهمیت ویژه‌ای دارد.

ب) ماسه: اثر کیفیت ماسه در بتن سبک کفی مانند اثر آن در بتن معمولی است. بدیهی است هرچه ماسه نرم‌تر و تمیزتر باشد، نتایج بهتری حاصل می‌شود. ماسه‌هایی با درصد بالای سیلیس در بهبود کیفیت بتن سبک تعیین‌کننده‌اند و استفاده از ماسهٔ رودخانه‌ای (طبیعی) یا ماسهٔ شکسته در مقاومت فشاری بتن اثرگذار است.

پ) آب: هر نوع آب، به‌شرطی‌که به چربی، روغن و مواد ارگانیک آلوده نباشد، برای تولید بتن سبک کفی استفاده می‌شود. مقدار آب براساس دانسیتهٔ موردنیاز از ۱۱۵ تا ۲۲۰ لیتر در مترمکعب بتن تغییر می‌کند. مانند تولید بتن معمولی نسبت آب به سیمان در زمان گیرش بتن تأثیرگذار است. بنابراین توصیه می‌شود برای تولید ساده‌تر از کم‌ترین آب موردنیاز استفاده شود.

ت) فوم: فوم مادهٔ شیمیایی تولیدکنندهٔ کف است که به‌صورت مداوم با سیمان و آب ترکیب می‌شود. کف حاصل به‌شکل حباب‌هایی در اندازه‌های ۳ تا ۸ میلی‌متر با وزن حداکثر gr/lit ۹۰ است که در دستگاه فوم‌ساز تولید می‌شود و تغییر وزن آن نشانه‌ای از ضعف کف و کاهش ویژگی‌های استاندارد تولید بتن سبک کفی است.

ث) افزودنی: برای تولید بتن سبک با مقاومت فشارهای عادی به افزودنی نیازی نخواهد بود. ولی استفاده از میکروسیلیس اثر ملموسی در مقاومت فشاری بتن (مقدار مصرف بین ۵ تا۱۰ درصد وزن سیمان است) دارد. نتایج آزمایش‌ها حاکی از افزایش حدود ۱۰ درصدی مقاومت فشار بتن سبک است. به‌رغم این‌که ضدیخ بتن مقاومت بتن سبک را درمقابل یخ‌زدگی بالاتر می‌برد، وجود حباب در بتن سبک نیاز به ضدیخ بتن را برای جلوگیری از یخ‌زدگی آن در مناطق سردسیر تا حدود ۱۵ درجه زیر صفر محدودتر می‌کند.

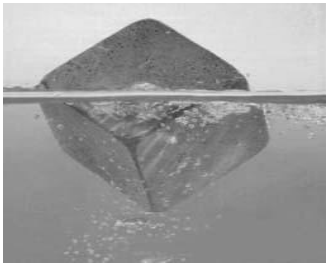
در جدل ۱ـ۳ نسبت مقدار ماسه و سیمان موردنیاز برای تولید یک مترمکعب بتن سبک کفی ارائه شده‌است.

جدول ۱ـ۳ مقدار ماسه و سیمان موردنیاز برای تولید یک مترمکعب بتن سبک کفی.

دانسیتهٔ بتن سبک kg/m^3	مقدار سیمان	مقدار سیمان و ماسه					
		۳:۱		۲:۱		۱:۱	
		سیمان	ماسه	سیمان	ماسه	سیمان	ماسه
۱۶۰۰		۳۸۰	۱۱۲۵				
۱۵۰۰		۳۶۰	۱۰۷۵				
۱۴۰۰		۳۳۰	۹۹۵				
۱۳۰۰		۳۱۰	۹۳۰				
۱۲۰۰		۴۹۰	۸۶۰				
۱۱۰۰				۳۴۵	۶۹۰		
۱۰۰۰				۳۱۵	۶۳۰		
۹۰۰				۲۸۰	۵۶۰	۲۱۰	۲۱۰
۸۰۰						۳۶۵	۳۶۵
۷۰۰	۵۸۰					۳۲۰	۳۲۰
۶۵۰	۵۴۰						
۶۰۰	۴۹۵						
۵۵۰	۴۵۵						
۵۰۰	۴۱۵						
۴۵۰	۳۷۵						
۴۰۰	۳۳۰						
۳۵۰	۲۹۰						
۳۰۰	۲۵۰						

ویژگی‌های شیمیایی کف به‌نحوی است که اثر نامطلوبی بر کیفیت بتن نخواهد داشت. تفاوت بتن سبک تولیدشده با بتن معمولی در حباب‌هایی است که به‌وسیلهٔ کف در سراسر بتن ایجاد می‌شود.

حجم کف مصرفی (پس‌از انبساط مادهٔ کف‌ساز) در هر مترمکعب از ۳۱۰ تا ۸۷۵ لیتر براساس دانسیتهٔ مصرفی، متغیر است.



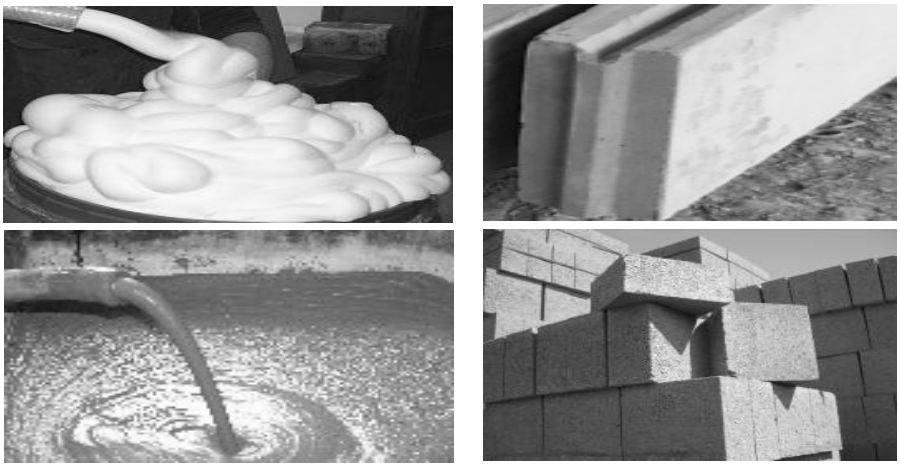
مشخصه‌های فوم

نوع ماده: مایع با رنگ تیره و دانسیتهٔ (وزن مخصوص) ۲٪ ± ۱۳/۱ (در $15\ ^{\circ}C$) و ۷ ± ۳٪ pH

قابلیت انحلال در آب: بی‌نهایت

نقطهٔ انجماد: حدود ۱۵ درجه زیر صفر

قابلیت اشتعال: غیرقابل‌اشتعال



روش‌های عمل‌آوری بتن سبک کفی

روش عمل‌آوری، استحکام و گیرایش نهایی بتن سبک مشابه بتن معمولی است و هرچه رطوبت هوا کم‌تر باشد میزان آبدهی بتن پس‌از تولید بیش‌تر خواهد بود.

الف) روش طبیعی (هوای آزاد)

بتن ساخته‌شده در تابستان مرطوب نگه داشته می‌شود و بیش‌تر در ساختمان‌ها و سازه‌ها کاربری دارد. عمل‌آوری بتن سبک در همان دورهٔ ۲۸ روزهٔ بتن معمولی در هوای باز انجام می‌شود. در روش غیرطبیعی می‌توان با افزودن تسریع‌کننده به مخلوط بتن، سرعت تولید بتن را در قالب‌ها افزایش داد تا گیرایش بتن سریع‌تر انجام گیرد.

ب) روش هوای گرم

بتن تولیدشده بلافاصله در تونل‌های گرم قرار می‌گیرد. توصیه می‌شود حرارت داخل تونل ابتدا از $30\ ^{\circ}C$ بیش‌تر نباشد و پس‌از سه ساعت ۵۰ تا ۶۰ درجه افزایش یابد و همین درجه‌حرارت برای سه تا چهار ساعت حفظ شود. پس‌از گذشت هفت ساعت حرارت‌دهی به‌روش بالا، باید حرارت را کاهش داد تا درجه‌حرارت تونل پس‌از دو ساعت به درجه‌حرارت محیط برسد. به‌این‌ترتیب، پس‌از حدود نه تا ده ساعت می‌توان قالب‌ها را از تونل خارج و انبار کرد.

توجه: باید به فضاهای خالی داخل تونل توجه خاصی داشت، زیرا روی درجه‌حرارت محیط تونل اثر می‌گذارد.

پ) روش بخار

در این روش که در بتن معمولی نیز انجام می‌شود، بتن ریخته‌شده باید پس‌از پنج تا شش ساعت درمعرض بخار قرار گیرد، درواقع زمانی‌که بتن شروع به سخت شدن می‌کند یک دورهٔ کامل معمولاً هشت ساعت را طی می‌کند. در دو ساعت اولیه، باید حرارت به‌تدریج تا $60^{\circ}C$ افزایش یابد و به‌مدت چهار ساعت همین درجه‌حرارت حفظ شود. از ساعت هفتم و هشتم باید حرارت را تاحد درجه‌حرارت محیط کم کرد.

توجه: برای کاهش زمان به پنج تا شش ساعت می‌توان از آب داغ برای ترکیب سیمان استفاده کرد یا از جریان هوای داغ برای دو تا سه ساعت اول خشک کردن بتن بهره گرفت.

انواع بتن سبک کفی براساس دانسیته

چنان‌که گفته شد بتن سبک کفی دامنهٔ دانسیته‌ای بین ۳۰۰ تا ۱۶۰۰ کیلوگرم در مترمکعب دارد. چنان‌چه بخواهیم از این نوع بتن به‌عنوان سازه‌های باربر استفاده کنیم، بدیهی است مقاومت فشاری عامل تعیین‌کننده‌ای خواهد بود.

جدول ۱ـ۴ موارد استفادهٔ بتن کفی برحسب دانسیته‌های مختلف.

دانسیته	مقاومت فشاری	موارد استفاده
۱۶۰۰	۱۷۵	در دیواره‌های باربر یکی دو طبقه
۱۴۰۰	۱۲۰	در دیوارهای میانی تقویت‌شده
۱۲۰۰	۶۵	در دیوارهای میانی تقویت‌شده
۱۰۰ – ۸۰۰	—	در دیواره‌های غیرباربر به‌ابعاد ۲۰ × ۲۵ × ۶۰
۳۰۰ – ۸۰۰	—	پرکننده برای عایق حرارتی، شیب‌بندی، کف‌سازی، جذب صوت، مقابله با آتش و غیره

مزایای استفاده از بتن سبک کفی عبارت‌اند از:

۱. کاهش وزن مردهٔ ساختمان و تأثیر آن بر کم شدن نیروهای زلزله؛

۲. کاهش وزن اسکلت و صرفه‌جویی اقتصادی؛

۳. کاهش مصرف انرژی و صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری تجهیزات برودتی و حرارتی؛

۴. کاهش چشمگیر آلودگی صوتی (قطعه‌ای به‌ضخامت ۸ cm تا ۳۲ db کاهش صوتی ایجاد می‌کند)؛
۵. سرعت بیش‌تر در اتمام پروژه‌ها و حمل‌ونقل و نصب آسان قطعات پیش‌ساخته؛
۶. آلوده نشدن محیط‌زیست و تولید حداقل ضایعات؛
۷. فناوری ساده و قابل‌استفاده در همهٔ نقاط کشور؛
۸. مقاومت دربرابر آتش‌سوزی (قطعه‌ای به‌ضخامت ۸ cm تا حرارت ۱۲۷۰°C را تحمل می‌کند)؛
۹. قابلیت برش با ارّهٔ نجاری، میخ‌پذیر بودن و سهولت اجرای تأسیسات برقی و مکانیکی؛
۱۰. افزایش سطح زیربنای مفید ساختمانی به‌علت نازکی ضخامت دیوارها (درحدود ۷٪).

جدول ۱ـ۵ مقایسهٔ ضریب حرارتی بتن سبک با سایر مصالح ساختمانی.

مواد	دانسیته kg/m^3	ضریب حرارتی W/m.k
سنگ‌های ساختمان	۲۷۰۰	۲/۹
بتن معمولی	۲۴۰۰	۱/۳
آجر	۲۰۰۰	۰/۸
بتن سبک کفی	۱۲۰۰	۰/۳۸
بتن سبک کفی	۱۰۰۰	۰/۲۳
بتن سبک کفی	۸۰۰	۰/۱۸
بتن سبک کفی	۶۰۰	۰/۱۴
بتن سبک کفی	۴۰۰	۰/۱۰
چوب‌پنبه	۱۰۰	۰/۰۳
پشم‌شیشه پشم‌سنگ	۱۰۰	۰/۰۳۴
پلی‌استایرن	۳۵	۰/۰۳
پلی‌استایرن	۳۵	۰/۰۳۴

جدول ۱ـ۵ نشان می‌دهد که بتن سبک کفی ضریب حرارتی بسیار مناسبی دارد. در هوای گرم یا سرد حرارت بسیار ناچیزی به طبقات یا واحدهای مجاور منتقل می‌شود. همین عامل در کاهش مصرف سوخت مؤثر است. درواقع بتن سبک با دانسیتهٔ ۶۰۰ حدود $\frac{1}{6}$ آجر و بیش‌از $\frac{1}{9}$ بتن معمولی ضریب انتقال حرارتی کم‌تری دارد. به‌عبارت بهتر، با استفاده از بتن سبک کفی با نسبت‌های اشاره‌شده، در مصرف انرژی در ساختمان صرفه‌جویی می‌شود.

کاربرد متنوع فوم‌بتن در ساختمان

الف) شیب‌بندی پشت‌بام

فوم‌بتن باصرفه‌ترین و سبک‌ترین مصالحی است که می‌توان از آن برای پوشش شیب‌بندی استفاده کرد. نظربه این‌که با دستگاه مخصوص به‌صورت بتن یکپارچه در محل قابل تهیه و استفاده است، می‌توان مستقیماً روی آن را عایق‌بندی (ایزولاسیون) کرد.

ب) کف‌سازی طبقات

به‌دلیل سبکی فوم‌بتن و آسان بودن تهیهٔ آن می‌توان پس‌از اتمام کارهای تأسیساتی، کف طبقات، محوطه و بالکن ساختمان را با آن پوشاند و عملیات بعدی را مستقیماً روی آن انجام داد.

پ) پانل‌های جداکنندهٔ یکپارچه و نرده‌های حصاری

در ساخت دیوارهای سردخانه‌ها، گرم‌خانه‌ها و سالن‌های ضدصدا می‌توان فوم‌بتن را در محل، با قالب‌بندی به‌صورت یکپارچهٔ عمودی ریخت. این نوع بتن به‌دلیل ویژگی عایق بودن، در عایق‌بندی سردخانه‌ها، گرم‌خانه‌ها، پوشش لوله‌های حرارتی و برودتی و ... کاربرد فراوانی دارد. درضمن به‌دلیل این‌که عایق صداست برای موتورخانه‌ها و اتاق‌های آکوستیک استفادهٔ بسیاری دارد.

در نشریهٔ شمارهٔ ۵۵ سازمان برنامه‌وبودجه «مشخصات فنی و عمومی کارهای ساختمانی» در بند ۵ـ۹ـ۴ از بتن سبک عایق‌بندی به‌شرح زیر نام برده شده‌است:

«در بام ساختمان‌ها و دیواهای ضدآتش از بتن سبک عایق‌بندی استفاده می‌شود. وزن واحد حجم مصالح سنگی مصرفی در این نوع بتن بین ۲۵۰ تا ۱۴۵۰ کیلوگرم در مترمکعب است. مصالح شامل مصالح منبسط‌شونده مثل پرلیت، ورمیکولیت، پوکه‌های منبسط‌شوندهٔ پلی‌استایرن، روبارهٔ آهن‌گدازی، رس یا تومیت و نظیر آن‌هاست.

می‌توان برای تولید بتن سبک عایق‌بندی با استفاده از مواد کف‌ساز، بتن متخلخل سبک ساخت. مشخصات مصالح سنگی به‌کاررفته در این نوع بتن باید با مشخصات ASTM C ۳۳۲ مطابقت داشته‌باشد. نسبت اختلاط مصالح سنگی، سیمان و آب بسته به نوع دانه‌ها در قسمت مشخصات خصوصی ذکر می‌شود.

به‌علت پایین بودن وزن مخصوص، این نوع بتن کارایی بسیار خوبی دارد و بسته به مورد و با تأیید دستگاه نظارت می‌توان اسلامپ را تا mm ۲۵۰ افزایش داد.»

۱ـ۲ـ۴ بتن سبک متخلخل اتوکلاوشده

این نوع بتن که بتن گازی نیز نام دارد از مواد اولیهٔ مصالح برپایهٔ سیلیس (ماسهٔ سیلیس، خاکستر یا دودهٔ سیلیسی و نظایر آن‌ها)، سیمان، آهک، آب و مواد ایجادکنندهٔ حباب و تخلخل که عمدتاً پودر آلومینیم است، تشکیل می‌شود.

فرایند تولید آن دوغابی است، نسبت آب به سیمان در آن بیش‌تر از انواع بتن‌های قبلی است و عمل‌آوری نهایی آن در فشار atm ۱۲ و حرارت $^{\circ}C$ ۱۹۰ در گرم‌خانه (اتوکلاو) انجام می‌شود.

این بتن در مقایسه با انواع دیگر ذکرشده دارای مقاومت بالاتر، ضریب انتقال حرارتی پایین‌تر، رنگی روشن‌تر است و بافت متخلخل مناسب‌تری دارد، گرچه در مقایسه با بتن دانه‌سبک در مواردی نیز مقاومت آن پایین‌تر است. وزن یک مترمکعب خشک آن نزدیک‌به kg ۵۵۰ است. درواقع دامنهٔ تولید نرمال این نوع بتن دارای محدودهٔ وزن ۴۰۰ تا ۶۵۰ کیلوگرم در مترمکعب خشک است، هرچند مواردی خارج از این محدوده نیز گزارش شده ولی عمومیت صنعتی نیافته است. فرایند تولید این نوع بتن سبک از انواع دیگر پیچیده‌تر است.

۲ مباحثی پیرامون بتن سبک AAC

۲ـ۱ تاریخچهٔ تولید AAC در جهان و ایران

بتن سبک اتوکلاوشده (AAC) حاصل تحقیق و مطالعات پژوهشگران در سوئد است که در ۱۹۲۳ به جهان معرفی و در ۱۹۳۰ به‌صورت تجاری تولید و عرضه شد.

این نوع بتن با الهام از فرایند تولید آجر ماسه‌آهکی که بیش‌از آن ابداع شده‌بود، اختراع شد. تولیدات این بتن در دههٔ ۱۹۵۰ سراسر اروپا و ژاپن را دربرگرفت که به‌نظر می‌رسد شرایط اروپا و ژاپن پس‌از جنگ دوم جهانی و لزوم بازسازی سریع و ارزان ویرانه‌های ناشی از جنگ باعث رشد پرشتاب تولید آن در این کشورها بوده‌است. در دهه‌های اخیر نیز بحران انرژی، لزوم بهینه‌سازی مصرف سوخت و هم‌چنین عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌ها به رشد تولید این محصول در سراسر جهان انجامید. سرانجام، ایالات متحدهٔ آمریکا پس‌از سال‌ها مقاومت دربرابر ورود این فناوری در دههٔ ۱۹۹۰ تسلیم شد و درحال‌حاضر چندین کارخانهٔ فعال در ایالت‌های مختلف آمریکا به تولید این محصول اشتغال دارند.

براساس آخرین آمارها، رشد کارخانه‌های تولیدکنندهٔ این محصول شتاب بالایی دارد، به‌طوری‌که تا ۱۹۹۰، ۵۱ کارخانه در دنیا حدود ۳۱ میلیون مترمکعب در سال تولید داشتند، اما این رقم در ۱۹۹۸ به ۱۵۰ کارخانه با تولید ۷۰ میلیون مترمکعب در سال رسید. این روند هم‌چنان ادامه دارد و امروزه بیش‌از ۳۰۰ کارخانه در سراسر جهان درحال تولید انواع بتن سبک اتوکلاوشده با نام‌های تجاری مختلف هستند. تولید این محصول با شرایط مختلف اقلیمی سازگار است به‌طوری‌که گسترهٔ آن شرایط اقلیمی بسیار سرد مانند مناطق شمالی اروپا و ژاپن، و اقلیم‌های گرم و مرطوب مانند آمریکای جنوبی و آسیای شرقی، و مناطق گرم و خشک مانند استرالیا و خاورمیانه را دربرمی‌گیرد.

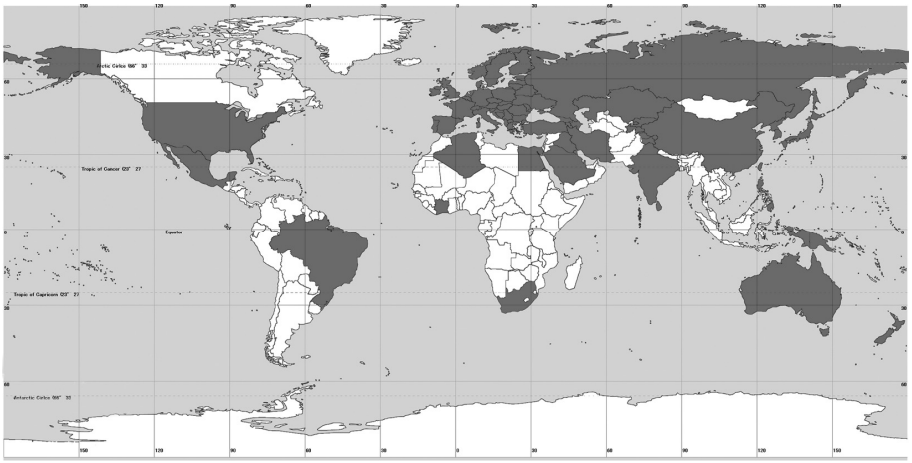
ورود این فناوری به ایران در نیمهٔ دوم دههٔ ۱۳۵۰ شمسی با تأسیس دو شرکت خصوصی به‌نام‌های «چکش» (با سرمایه‌گذاری مرحوم حسن هاشمی) و «بنای سبک» (با سرمایه‌گذاری مرحوم علی‌اکبر بجستانی‌مقدم) هم‌زمان بود. حاصل فعالیت این دو شرکت، به راه‌اندازی کارخانه‌ای از کمپانی «سیپورکس»[1] سوئد در ۱۳۵۶ در آبیک قزوین و کارخانه‌ای از کمپانی «یونی‌پُل»[2] از لهستان در ۱۳۷۱ انجامید که درحال‌حاضر محصول این کارخانه در ایران بانام «هبلکس»[3] شناخته می‌شود.

حسن هاشمی در همان سال‌ها خط تولید دیگری به‌نام «ایتونگ»[4] را از کشور آلمان به ایران منتقل کرد که در ۱۳۷۴ در محل کارخانهٔ سیپورکس در آبیک قزوین با سرمایه‌گذاری بانک معدن راه‌اندازی شد.

کارخانه‌های سیپورکس و ایتونگ که پس‌از انقلاب اسلامی زیرمجموعهٔ شرکت‌های بانک صنعت و معدن قرار گرفتند، در ۱۳۷۹ به‌کلی تعطیل شدند. درحال‌حاضر کارخانهٔ بنای سبک حدود ۹۵ هزار مترمکعب در سال تولید دارد.

در بهمن ۱۳۸۷ کارخانهٔ دیگری به‌نام شرکت «سیلیس‌آرا» بانام تجاری محصول «سیلکس» در استان زنجان پس‌از دریافت مجوز از ادارهٔ کل صنایع و معادن با ظرفیت فاز اول ۳۰۰۰۰۰ مترمکعب در سال، راه‌اندازی شد. امید است با راه‌اندازی فاز دوم در سال‌های آینده تولیدات این کارخانه باتوجه‌به تجهیزات عظیم آن به‌حدی باشد که بتوان آمار قابل‌توجهی از جایگاه مناسب این فناوری در کشور ارائه داد.

باتوجه‌به خواص ویژه و انکارنشدنی این نوع بتن و توجه جهانی به آن، تنها دلیل بی‌توجهی به این محصول در ایران فرهنگ‌سازی نامناسب و اطلاع‌رسانی ناکافی بین مصرف‌کنندگان و به‌ویژه انبوه‌سازان است.



شکل ۲ـ۱ رنگ تیره کشورهایی را نشان می‌دهد که AAC در آن‌ها تولید و مصرف می‌شود.

1. Siporex.
2. Unipol.
3. Heblex.
4. Ytong.

۲ـ۲ معرفی مواد تشکیل‌دهندهٔ بتن AAC

بتن سبک هوادار اتوکلاوشده یا AAC نوعی بتن است که به‌دلیل ساختار اسفنجی، سبک شده و دامنهٔ وزن واحد حجم آن بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است، درحالی‌که جرم حجمی خشک آن معمولاً حدود $۵۵۰\,kg/m^3$ است. ازآن‌جاکه این بتن مانند بتن معمولی به‌صورت درجا[1] ریخته نمی‌شود، در محل کارخانه در اندازه‌های مختلف و بسته به نوع مصرف، به‌شکل بلوک‌های غیرمسلح یا پانل‌های مسلح تولید و به محل مصرف حمل می‌شود. رنگ سفید این نوع بتن بسته به ناخالصی‌ها به شیری، صورتی یا خاکستری نزدیک می‌شود. باوجود این‌که بیش‌از سه‌چهارم (۷۵٪) حجم این بتن از فضای خالی ناشی از تخلخل تشکیل شده‌است، اما مقاومت فشاری خوبی دارد. پایین بودن جرم حجمی هم‌چنین باعث شده‌است که ضریب هدایت حرارتی آن کاهش یابد و عایق حرارتی خوبی محسوب شود.

این بتن مانند آجر ماسه‌آهکی، در واکنش‌های شیمیایی بین سیلیس (SiO_2) و آهک (CaO) مقاوم می‌شود. (SiO_2) از ماسهٔ سیلیسی و CaO از آهک زنده، آهک هیدراته یا سیمان تأمین می‌شود. بنابراین این محصول دارای پایهٔ آهکی یا پایهٔ سیمانی است و فرمول تولید آن نیز براین‌اساس که سیمان یا آهک منبع اصلی CaO هستند، متفاوت است. ساختار بتن سبک اتوکلاوشده از مواد اولیهٔ زیر تشکیل شده‌است:

۱. مصالح برپایهٔ سیلیس (ماسهٔ سیلیسی یا خاکستر یا دودهٔ سیلیسی)؛
۲. سیمان؛
۳. آهک؛
۴. مواد ایجادکنندهٔ حفره و تخلخل (مثل پودر آلومینیم)؛
۵. آب؛
۶. مواد افزودنی.

درادامه به شرح مختصر هریک از این مواد می‌پردازیم.

۱. ماسهٔ سیلیسی

ازنظر وزن بزرگ‌ترین بخش تشکیل‌دهندهٔ بتن سبک AAC، مواد سیلیس‌دار است که در بیش‌تر موارد به‌صورت ماسه‌سنگ، کوارتزیت، خاکستر بادی و غیره هستند. ماسهٔ سیلیسی مصرفی باید دست‌کم دارای ۷۰٪ سیلیس باشد. واضح است که رعایت درصد خلوص ماسهٔ مصرفی در بتن معمولی مثل نداشتن مواد آلی، خاک رس و غیره الزامی است. برای مثال، استفاده از ماسهٔ نمک‌دار رودخانه برای بتن مناسب نیست و ماسه با مقدار زیاد فلدسپات یا میکا نیز دستورالعمل خاصی دارد. این مواد سیلیسی پس‌از خرد شدن در سنگ‌شکن به‌صورت خشک یا تر در آسیاب گلوله‌ای درحد سیمان

1. In situ.

نرم می‌شوند به‌گونه‌ای‌که باقی‌ماندهٔ این ماسه پس‌از آسیاب روی الک ۹۰ میکرون باید کم‌تر از ۲۰٪ و هم‌چنین نرمی آن براساس روش «بلین»[1] حدود ۳۰۰ cm^2/g باشد.

خوشبختانه تقریباً در تمام ایران سنگ سیلیس با حداقل ۸۰٪ SiO_2 وجود دارد. علاوه‌برآن، ضایعات صنایعی مثل کارخانه‌های تولید ماسه برای صنایع شیشه‌سازی را می‌توان به‌راحتی در تولید AAC به‌کار برد که علاوه‌بر توجیه اقتصادی ازلحاظ زیست‌محیطی نیز پسندیده است. هم‌چنین گزینه‌های دیگری نیز برای تأمین سیلیس موردنیاز AAC وجود دارد که به‌عنوان نمونه می‌توان به سربارهٔ کوره‌های ذوب فلزات اشاره کرد.

نباید فراموش کرد که در ساخت بتن سبک AAC، مقدار سیلیس پارامتر اصلی است، بنابراین باید کیفیت آن به‌دقت بررسی شود.

۲. سیمان

چسباننده‌های اصلی در تولید بتن سبک AAC سیمان و آهک زنده است. سیمان پرتلند معمولی متعارف‌ترین سیمانی است که در اکثر موارد برای ساخت بتن AAC به‌کار می‌رود. استفاده از سایر سیمان‌ها نیز با بررسی شرایط تولید و مواد اولیه موردتوجه قرار می‌گیرد.

عامل مهم در انتخاب سیمان، زمان گیرش، مقدار قلیایی بودن موجود (به‌ویژه در نوع بتن AAC با پایهٔ سیمانی)، درصد سولفات و میزان نرمی آن است.

خوشبختانه ازنظر میزان تولید سیمان در کشور کمبودی وجود ندارد و در سال‌های اخیر سیمان به کشورهای هم‌جوار نیز صادر شده‌است.

۳. آهک

چسبانندهٔ مورداستفادهٔ دیگر در تولید بتن سبک AAC، آهک آزاد یا زنده است که مقدار CaO در آهک زنده باید دست‌کم ۸۰٪ باشد و با روندی یکنواخت پخته و پس‌از آن به‌نرمی سیمان آسیاب شود. هم‌چنین منحنی (هیدراته شدن) آهک زنده باید در محدودهٔ خاصی قرار گیرد.

خوشبختانه سنگ‌آهک نیز مانند سنگ سیلیس به‌مقدار زیادی در کشور وجود دارد و کوره‌های تولید سنتی و صنعتی آن نیز به‌حد کافی موجود است و در سطح کشور توزیع جغرافیایی مناسبی دارند.

در تولید بتن سبک AAC از نوع پایهٔ آهکی، آهک به‌عنوان یکی از عوامل تشکیل‌دهندهٔ پیوند، نقش مؤثری در کیفیت محصول دارد و میزان MgO تنها ناخالصی آن به‌شمار می‌آید که نباید مقدار آن در مادهٔ سنگ‌آهک بیش‌از ۲٪ باشد.

اگرچه با آهک‌های ضعیف‌تر نیز می‌توان قالب‌ریزی کرد ولی باتوجه‌به بهبود شرایط قالب‌ریزی و سرعت گیرش، کار با آهک خالص‌تر بهتر است برای تولید AAC با پایهٔ آهکی، میزان CaO فعال آهک بالاتر از ۷۵٪ باشد.

---

1. Blin.

هم‌چنین گرمازا بودن آهک، در تولید این نوع بتن سبک ضروری است، بنابراین تنها می‌توان از آهک زنده استفاده کرد. چگونگی پخت آهک و سرعت شکوفایی آن در سرعت گیرش در قالب‌ها مهم است و باید بررسی شود.

خلوص آهک در تولید بتن سبک برپایهٔ سیمان اهمیت کم‌تری دارد و ممکن است دراین‌حالت از آهک هیدراته نیز استفاده شود. حتی در شرایطی می‌توان به‌جای آهک از سایر قلیایی‌ها نظیر سودسوزآور برای قلیایی کردن دوغاب بهره برد.

آهک مصرفی در تولید بتن سبک AAC باید کاملاً نرم و باقی‌ماندهٔ آهک روی الک ۹۰ میکرون، کم‌تر از ۷٪ باشد.

۴. پودر آلومینیم

پودر آلومینیم مصرفی در تولید بتن سبک AAC به‌صورت پولک‌های بسیار ریز با سطح پوشش بین ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ سانتی‌متر مربع بر گرم است.

به‌منظور جلوگیری از اکسیداسیون و آتش‌گیری خودبه‌خودی پودر آلومینیم، با استفاده از مواد آلی ویژه مثل اسیدهای چرب، سطح آن را پوشش می‌دهند.

از پودر آلومینیم معمولاً در تولید انواع بتن سبک AAC برای ایجاد تخلخل استفاده می‌شود و رده و نوع مخصوصی دارد که به‌طور خالص فقط برای تولید بتن سبک ساخته می‌شود. مصرف این پودر تنها حدود ۰/۰۵ تا ۰/۱ درصد وزنی کل مواد خشک مصرفی است و تنها رقم وارداتی برای ساخت بتن سبک AAC را تشکیل می‌دهد. به‌تازگی در کشور چند شرکت داخلی پودر آلومینیم را به‌صورت آزمایشی تولید کرده‌اند که نتایج امیدوارکننده‌ای داشته‌است.

۵. آب

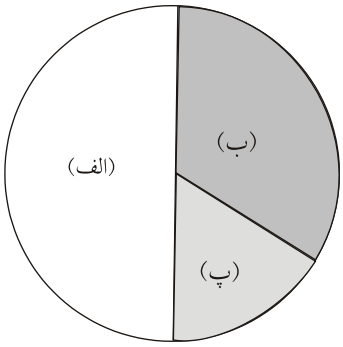
در تولید بتن سبک AAC، آب برای انجام واکنش‌های هیدراتاسیون آهک، سیمان و نیز تشکیل سیلیکات کلسیم، هیدراته در اتوکلاو و هم‌چنین برای تشکیل دوغاب و سیال کردن مخلوط به‌کار می‌رود. باتوجه‌به بالا بودن ظرفیت حرارتی آب، دمای زیاد حاصل از هیدراتاسیون آهک قابل‌جذب است، بنابراین برای کنترل دمای مخلوط می‌توان دمای آب مصرفی را بالا و پایین برد.

هرچند در تولید این بتن سبک، آب نسبتاً زیادی مصرف می‌شود، ولی بیش‌تر این آب را می‌توان به خط تولید بازگرداند. هم‌چنین با رعایت برخی موارد در بازیافت آب‌های فرایند تولید، مصرف آب را می‌توان درحد ۳۰۰ لیتر به‌ازای تولید هر مترمکعب محصول نگه داشت که در مقایسه با تولید سایر مصالح مشابه اختلاف قابل‌قبولی دارد.

ازطرفی، انتخاب آب مصرفی محدودیتی ندارد. سختی املاح و دیگر عوامل مهم در انتخاب آب شرب درمورد آب مصرفی برای تولید بتن سبک AAC مطرح نیست و انواع آب غیرقابل‌شرب در تولید این محصول به‌کار می‌رود. گفتنی است تنها محدودیت آن، نداشتن کلر زیاد است.

۶. مواد افزودنی

مواد دیگری که به‌عنوان افزودنی در موارد خاص در تولید بتن سبک AAC استفاده می‌شود، عبارت‌اند از: گچ، تری‌اتانول آمین، اسید اولئیک، سود سوزآور و غیره.



شکل ۲ـ۲ توزیع حجمی محصول تولیدی: (الف) ۵۰٪ حباب هوا؛ (ب) ۳۰٪ مواد با ساختار حفره‌ای؛ (پ) ۲۰٪ مواد جامد.

طرح اختلاط مواد بتن AAC

همان‌گونه‌که اشاره شد، تعیین نسبت اختلاط اجزا در بتن سبک AAC به نوع، کیفیت محصول و مشخصات موردانتظار بستگی دارد که برای نمونه، طرح اختلاطی جرم‌های حجمی ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم در مترمکعب در جدول زیر ارائه شده‌است.

جدول ۲ـ۱ طرح اختلاط جرم‌های حجمی ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع.

مواد خام (kg/m^3)	وزن مخصوص خشک	
	۵۰۰ kg/m^3	۶۰۰ kg/m^3
ماسهٔ سیلیسی	۳۵۰	۴۲۰
آهک	۱۰۰	۱۱۰
سیمان	۲۵	۳۰
پودر آلومینیم	۰/۵	۰/۴
آب	۳۳۰	۴۴۰

وزن مخصوص خشک بتن‌های سبک AAC تولیدی در کشور را می‌توان به‌صورت معمول و متوسط بین ۵۵۰ تا ۶۵۰ کیلوگرم در مترمکعب (جرم حجمی خشک) درنظر گرفت.

۲ـ۳ فرایند تولید بتن AAC

همان‌گونه‌که بیان شد، AAC نوعی بتن سبک است که دانسیتهٔ کم آن (درحدود kg/m^3 ۵۵۰) به‌دلیل ساختار اسفنجی و متخلخل آن است. این نوع بتن مانند بتن معمولی به‌صورت درجا ریخته نمی‌شود، بلکه باید در محل کارخانه و در اندازه‌های موردنظر به‌صورت بلوک یا پانل مسلح یا غیرمسلح تولید و به محل موردنظر حمل گردد.

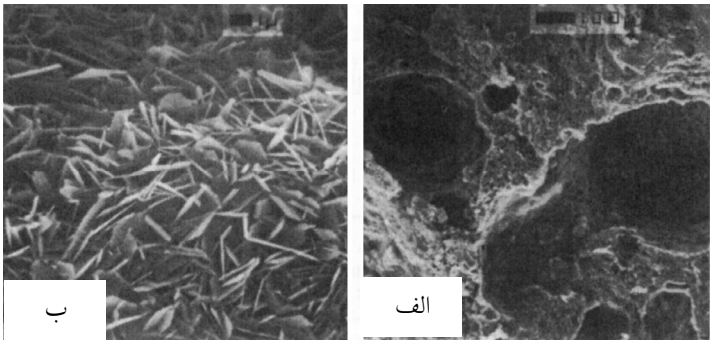
مواد اولیهٔ این نوع بتن شامل سیلیس، سیمان، آهک، پودر آلومینیم و آب است و مواد چسباننده که عمدتاً سیمان و آهک هستند، در فرایند اتوکلاو با مصالح سیلیس واکنش انجام می‌دهند و سیلیکات کلسیم هیدراته تولید می‌کنند. در این روش، محصولی با ساختار سلولی تولید می‌شود که اطراف هر سلول را دیواره‌ای از جنس ترکیب ماسهٔ سیلیسی ریز و سیلیکات کلسیم هیدراته احاطه کرده‌است.

ساختار متخلخل AAC که به‌علت واکنش آهک آزاد حاصل از ترکیبات سیمان و آهک و پودر آلومینیم به‌وجود می‌آید، دارای خواص عایق حرارتی مناسب است و هم‌چنین نسبت مقاومت به جرم حجمی زیادتری نسبت‌به دیگر انواع بتن دارد.

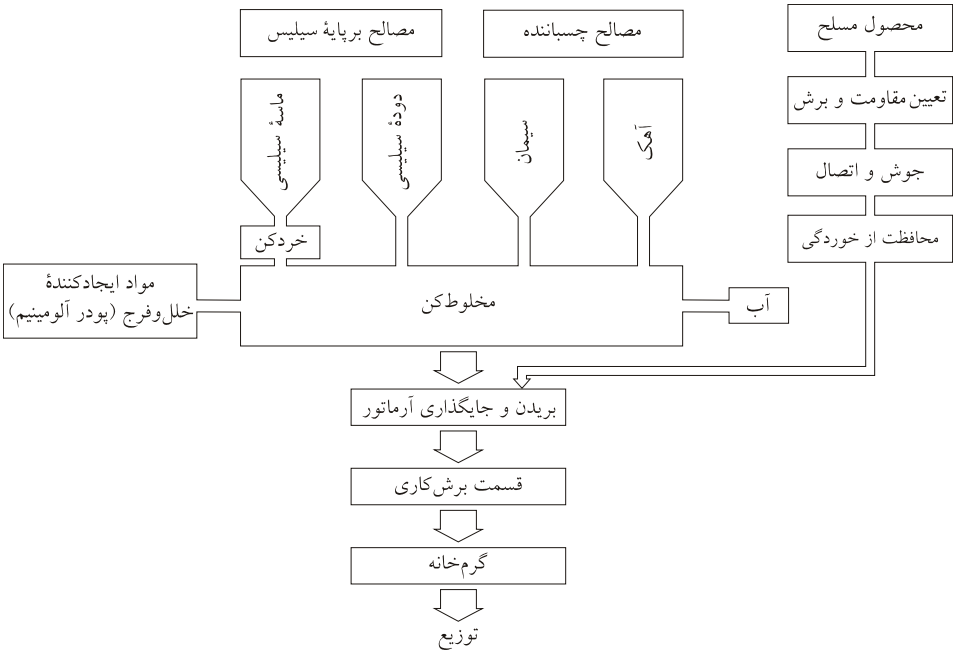
حداکثر دما در اغلب تولیدات AAC حدود ۱۸۵ تا ۱۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد و فشار ۱۲ تا ۱۴ اتمسفر است. البته مدت‌زمان اعمال دما و فشار ثابت، تابع عوامل مختلفی ازجمله محدودهٔ مقاومتی، ابعاد قطعات و غیره است که این مدت معمولاً بین ۱۰ تا ۱۴ ساعت درنظر گرفته می‌شود. در پایان بخار قطع می‌شود و فشار به‌تدریج کاهش می‌یابد که این کاهش فشار معمولاً ۲۰ تا ۳۰ دقیقه طول می‌کشد. کاهش نسبتاً سریع ولی کنترل‌شدهٔ فشار باعث تبخیر سریع رطوبت می‌شود و به کاهش جمع‌شدگی[1] بتن کمک می‌کند.

فرایند تولید انواع بتن سبک AAC به‌طور خلاصه بدین شرح است که ابتدا آب موردنیاز برای قالب‌ریزی، که حدود ۵۵٪ کل مواد خشک را تشکیل می‌دهد، وارد مخلوط‌کن می‌شود و سپس مواد سیلیسی (یا خاکستر بادی) را با آن مخلوط می‌کنند تا به‌صورت لجن درآید. در مرحلهٔ بعد سیمان و آهک و در مرحلهٔ آخر پودر آلومینیم (که ازقبل با مقداری آب در محل جداگانه‌ای مخلوط شده‌است) را با سرعت بالا وارد مخلوط‌کن می‌کنند (در موارد خاصی سولفات کلسیم نیز به این مخلوط اضافه می‌شود).

1. shrinkage.



شکل ۲ـ۳ ساختار میکروسکوپی محصول؛ صفحات توبرموریت و فضاهای خالی دیده می‌شود.



شکل ۲ـ۴ نمودار فرایند محصول.

کل زمان اختلاط حدود پنج تا شش دقیقه است. مخلوط حاصل در این مرحله به‌شکل دوغابی رقیق با چگالی حدود ۱/۶ است. که آن را درون قالب‌هایی به‌شکل مکعب‌مستطیل می‌ریزند.

حجم دوغاب به دانسیتهٔ طراحی محصول بستگی دارد و از $\frac{۱}{۲}$ تا $\frac{۲}{۳}$ حجم قالب و به‌گونه‌ای است که دست‌کم قالب را تا نیمه پُر می‌کند. درون این دوغاب واکنش‌های مختلفی روی می‌دهد. پس‌از واکنش آهک با آب مطابق فرمول زیر آهک هیدراته و گرما تشکیل می‌شود.

$$CaO + H_۲O \longrightarrow Ca(OH)_۲ + ۲۷۸\ \ Cal/kg\ CaO$$

پس‌از واکنش شیمیایی پودر آلومینیم با $Ca(OH)_2$ نیز حباب‌های هیدروژن و گرما تولید می‌شود.

$$2Al + 3Ca(OH)_2 \longrightarrow 3CaO\ Al_2O_3 + 3H_2 + 377\ Cal/kg.Al$$

سیمان به‌آرامی هیدراته می‌شود و به‌دلیل گرمازا بودن واکنش‌های اشاره‌شده دمای دوغاب بالا می‌رود؛ پس‌از پف کردن دوغاب براثر گاز هیدروژن ایجادشده، حجم دوغاب به‌آرامی افزایش می‌یابد و در مدت‌زمانی بین ۱۰ تا ۳۰ دقیقه کل قالب پر می‌شود. این حباب‌ها ساختار متخلخل بتن AAC را به‌وجود می‌آورند.

همان‌گونه‌که اشاره شد، بخشی‌از آب موجود در دوغاب صرف واکنش‌های هیدراتاسیون آهک و سیمان و بخشی دیگر به‌صورت سطحی، جذب ماسهٔ سیلیسی می‌شود و مقداری از آن نیز به‌دلیل بالا رفتن دمای دوغاب تبخیر می‌گردد. درنتیجه، دوغاب به‌تدریج غلیظ‌تر می‌گردد و پس‌از گیرش سیمان از حالت دوغاب خارج و تبدیل به جسمی می‌شود که ازنظر نرمی شبیه پنیر است. در این زمان مراحل گیرش تکمیل می‌گردد. مدت گیرش بسته به شرایط قالب‌ریزی و کیفیت مواد اولیه و به‌ویژه دمای نهایی آن حدود دو تا ده ساعت طول می‌کشد و محصول کیک‌مانندی به‌وجود می‌آید که آمادهٔ برش و خروج از قالب است. در این مرحله پس‌از گیرش کیک آن را به‌وسیلهٔ سیم‌های ویژه‌ای برش می‌دهند. ابعاد معمولی بلوک‌ها A × ۲۵ × ۶۰ سانتی‌متر است که در آن A از ۷/۵ cm آغاز می‌شود و مضارب ۲/۵ cm به آن اضافه می‌شود.

ضایعات و پرت‌های حاصل از برش و تراشه‌های احتمالی قالب‌ریزی دوباره به اول خط تولید برگردانده می‌شود و پس‌از محاسبهٔ میزان آب و مواد جامد موجود در آن و کسر این مواد از مواد لازم اولیه در قالب‌های بعدی استفاده می‌گردد.

برای تولید پانل‌های مسلح (دیواری یا سقفی) آرماتورهایی که ازقبل آماده شده و به چسب مخصوص و ضدزنگ آغشته شده‌اند، درون قالب‌ها قرار می‌گیرند و سپس دوغاب درون قالب و اطراف آرماتورها ریخته می‌شود. پس‌از پر شدن و بالا آمدن دوغاب در قالب، کیک حاصل نیز به‌گونه‌های موردنظر بریده می‌شود. عرض پانل‌ها به‌طور معمول ۶۰ سانتی‌متر، ضخامت آن بسته به کاربری ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و طول آن‌ها باتوجه‌به وزن و مشکلات حمل به محل کار تا ۶ m نیز می‌رسد.

پس‌از این‌که قطعات به‌دلخواه و در اندازه‌های موردنیاز برش داده شدند، برای عمل‌آوری تحت فشار و درجه‌حرارات معین و به‌مدت لازم به اتوکلاو منتقل می‌شوند.

اگر از اتوکلاو استفاده نشود و قطعات AAC دراین‌حالت به‌مدت طولانی کنار گذاشته شوند درنهایت به مقاومت معینی می‌رسند که بخشی‌از این مقاومت ناشی از واقعیت گیرش سیمان و بخش دیگری مربوط به تشکیل هیدروسیلیکات کلسیم است، ولی محصولی که بدین‌گونه تولید می‌شود جمع‌شدگی و انقباض زیادتر و مقاومت کم‌تری نسبت‌به محصول عمل‌آوری‌شده با بخار دارد و ازطرفی، زمان تولید نیز خیلی طولانی می‌شود.

نوآوری فرایند تولید بتن سبک AAC، عمل‌آوری در فشار بالاست که زمان توقف در اتوکلاو را به حداکثر ۱۵ ساعت می‌رساند. فرایند اتوکلاو از قرن ۱۹ شناخته‌شده بود، ولی جنبهٔ نو بودن آن در این است که می‌توان آن را برای تودهٔ حفره‌دار و متخلخل مثل بتن AAC نیز به‌کار برد.

بنابراین، کیک پس‌از برش در اندازه‌های لازم و موردنظر وارد اتوکلاو می‌گردد و پس‌از تخلیهٔ هوای درون اتوکلاو، بخار آب اشباع وارد و فشار آن تا ۱۲atm رسانده می‌شود؛ حرارت حدود ۱۹۰°C و زمان باقی ماندن کیک در این فشار حدود ۸ تا ۱۲ ساعت است. کل زمان پخت با احتساب زمان بالا بردن و پایین آوردن فشار حدود ۱۵ ساعت است.

طی فرایند اتوکلاو، SiO_2 و با CaO واکنش می‌یابد و سیلیکات کلسیم تشکیل می‌دهد. سیلیکات کلسیم انواع مختلفی دارد که از میان آن‌ها توبرموریت[1] از همه مهم‌تر و دارای بیش‌ترین نقش در استحکام محصول است.

زمان و چرخهٔ عمل‌آوری AAC در اتوکلاو را می‌توان خلاصه‌وار به چهار قسمت تقسیم کرد:

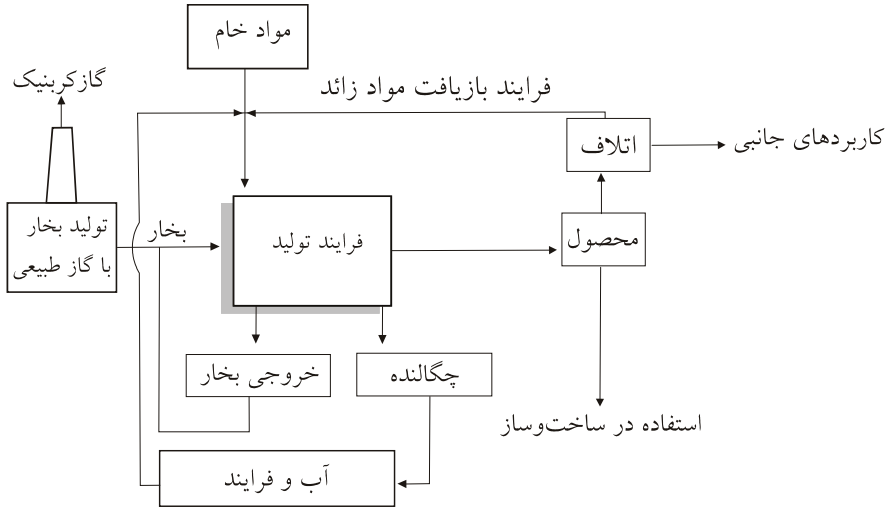
۱. زمان قبل‌از اعمال بخار و فشار؛

۲. اعمال تدریجی بخار و افزایش کنترل‌شده؛

۳. زمان اعمال بخار و فشار ثابت؛

۴. کاهش فشار تدریجی و کنترل‌شده.

فرایند تولید بتن سبک اتوکلاوشده به‌صورت شماتیک در شکل ۲ـ۵ نشان داده شده‌است.



شکل ۲ـ۵ چرخهٔ عمل‌آوری تولید بتن AAC.

1. Tobermorite.

فرایند تولید تمام انواع بلوک‌های AAC شبیه به‌هم و مانند روش ذکرشده است و تفاوت ظاهرشده در وزن مخصوص و دیگر خواص، ناشی از تغییرات در نسبت مواد تشکیل‌دهنده و ترکیبات شیمیایی موردنظر در تولید آن‌هاست.

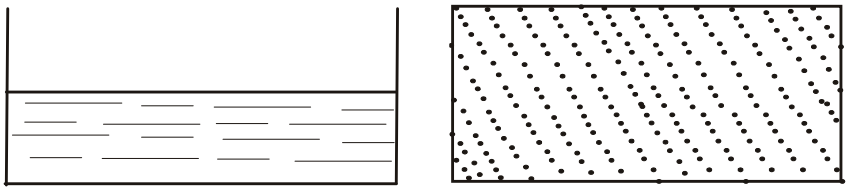
تنوع در ابعاد بلوک‌ها به‌دلیل تغییر در مرحلهٔ برش و زمان آن است. تولید بلوک‌های خاص در اشکال متنوع دیگر مثل داشتن کام و زبانه یا بلوک‌های با سطح بسیار صاف و غیره، به تجهیزات اضافی در قسمت برش قطعات نیاز دارد.

برای تولید بتن متخلخل اتوکلاوشده باید دو شرط اساسی را رعایت کرد: اول ایجاد شرایط سوسپانسیونی کامل با نسبت آب به سیمان جامد بین ۰/۵ تا ۰/۶ و دوم عمل‌آوری تحت فشار و حرارت بالا در اتوکلاو طی مدت‌زمان حدود ۱۲ تا ۱۴ ساعت. بنابراین، برای برقراری شرط نخست باید مواد اولیهٔ مورداستفاده به‌صورت میکرونیزه وارد فرایند تولید شوند، زیرا ریزی ذرات در ابعاد مثلاً حدود میلی‌متر، غلظت موردانتظار و محیط سوسپانسیونی برای انجام واکنش شیمیایی مربوطه را ازبین می‌برد. این موضوع باعث می‌شود فرایند تولید این نوع بتن با انواع دیگر محصولات بتنی تفاوت اساسی داشته‌باشد.

برای برقراری شرط دوم، در فرایند عمل‌آوری در اتوکلاو به وجود ذراتی در ابعاد میکرون نیاز است. زیرا برقراری پیوند شیمیایی و تشکیل فازهای مختلف سیلیکات کلسیم در اتوکلاو تحت فشار و حرارت بالا و در زمان محدود تنها در ابعاد میکرون امکان‌پذیر است. بالا رفتن نرمی مواد اولیه با حجم تشکیل پیوندهای سیلیکات کلسیم و تأمین مقاومت فشاری موردانتظار محصول نسبت مستقیم دارد. در فرایند تولید با رعایت دو شرط بالا مواد اولیهٔ اصلی شامل سیلیس، آهک و سیمان در ابعاد کم‌تر از ۱۰۰ میکرون پس‌از انجام عملیات آسیاب و خرد شدن کامل وارد مرحلهٔ تولید می‌شوند.

سیلیس مورداستفاده باید دست‌کم دارای SiO_2 با خلوص ۷۰٪ و درجهٔ فعالیت یا اکتیویتهٔ آهک مورداستفاده نباید از ۶۵ تا ۷۵ درصد کم‌تر باشد.

همان‌گونه‌که قبلاً ذکر شد، سیمان مورداستفاده معمولاً از نوع سیمان پرتلند تیپ یک است. پودر AL عامل تولیدکنندهٔ گاز و متخلل‌کننده، در محیط قلیایی و سوسپانسیونی ایجادشده است با حضور حجم معینی از آب، گاز هیدروژن ایجاد می‌کند.



شکل ۲ـ۶ (الف) حجم نهایی محصول پس‌از انبساط در قاب؛
(ب) کلیه مواد اولیه به‌صورت دوغاب در درون قالب.

ساختار و بافت بتن سبک AAC مانند سنگ‌پا و دارای دو نوع حفره است؛ حفره‌های بزرگ[1] و مرئی که ناشی از گاز هیدروژن تولیدشده به‌وسیلهٔ پودر آلومینیم هستند و حفره‌های کوچک[2] و نامرئی که در دیوار حفره‌های بزرگ وجود دارند و از پیوند بلورهای سیلیکات کلسیم با توبرموریت تشکیل شده‌اند. توبرموریت ژله‌ای براثر واکنش Ca با Si در شرایط عمل‌آوری با فشار و دمای معمولی تولید می‌شود. ولی در فرایند AAC به‌دلیل وجود فشار و دمای بالا توبرموریت ورقه‌ای تشکیل می‌شود که نسبت‌به نوع ژله‌ای مقاومت بیش‌تری دارد.

پس‌از عمل‌آوری، محصولات اتوکلاوشده با انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت، بسته‌بندی و روانهٔ بازار و محل مصرف می‌شوند.

۲ـ۴ محصولات تولیدی AAC و موارد استفادهٔ آن‌ها

محصولات بتن متخلخل AAC را می‌توان درحالت کلی به دو دستهٔ غیرمسلح و مسلح تقسیم‌بندی کرد که درادامه به شرح مختصر هریک می‌پردازیم.

۲ـ۴ـ۱ بتن سبک غیرمسلح

در نوع بدون آرماتور، از بلوک‌های AAC به شکل‌هایی چون آجر، بلوک و سفال معمولی در کاربری‌های باربر یا غیرباربر استفاده می‌شود.

در ملاط این بلوک‌ها می‌توان از طیف وسیعی از مواد شامل ماسه‌سیمان معمولی، گچ و خاک، چسب و غیره استفاده کرد که به‌کارگیری چسب مخصوص بلوک برای این کار مناسب‌تر است، زیرا علاوه‌بر استحکام زیاد، باعث کاهش ضخامت درزها و هموارتر شدن سطح دیوار بلوک‌چینی‌شده می‌گردد و درنتیجه، نیاز به اندودکاری را کاهش دهد. ابعاد بلوک‌ها به سانتی‌متر و وزن آن‌ها به کیلوگرم در جدول زیر ارائه شده‌است.

جدول ۲ـ۲ ابعاد بلوک‌ها به سانتی‌متر و وزن آن‌ها به کیلوگرم.

ابعاد به (cm)	وزن خشک (kg)
۶۰ × ۲۵ × ۷/۵	۷ – ۷/۵
۶۰ × ۲۵ × ۱۰	۹/۵ – ۱۰
۶۰ × ۲۵ × ۱۵	۱۴ – ۱۵
۶۰ × ۲۵ × ۲۰	۱۹ – ۲۰
۶۰ × ۲۵ × ۲۵	۲۴ – ۲۵

باتوجه‌به چینش بلوک‌های (پانل‌ها) باربر و غیرباربر دو سیستم ساختمانی زیر تعریف می‌شود:

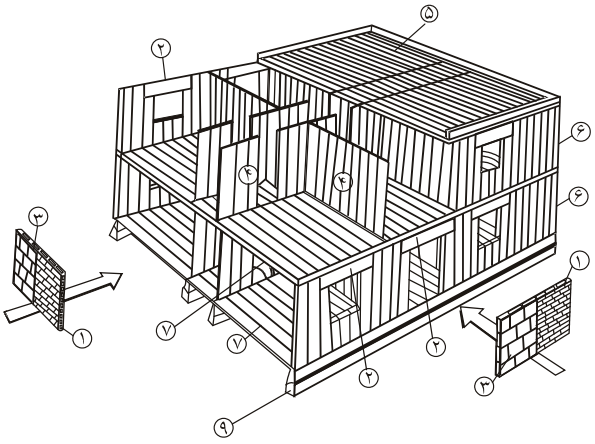
الف) سیستم دیوارهای غیرباربر: نیروهای وارده بر ساختمان ازطریق پانل‌های سقفی به اجزای باربر سازه مانند تیر و ستون منتقل می‌شوند و پانل‌های دیواری غیرباربر تنها به‌عنوان دیوار جداکننده[3] مورداستفاده قرار می‌گیرند (شکل ۲ـ۸).

1. macro pore.
2. micro pore.
3. Partition.

ب) سیستم دیوارهای باربر: نیروهای وارده بر سازه ازطریق پانل‌های سقفی به پانل‌های دیواری و سپس به طبقات زیرین یا شالوده منتقل می‌شوند. در این سیستم، در اجزای ساختمان از پانل‌های باربر سقفی و دیواری با هم استفاده می‌شود (شکل ۲ـ۷).

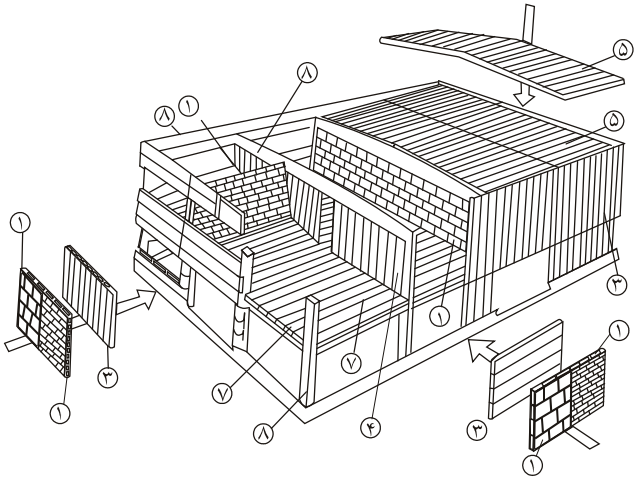
این سیستم ترکیبی از پانل‌های سقفی یا کف‌پوش، پانل‌های غیرباربر یا بلوک‌های پُرکننده و جداکننده است.

۱. بلوک (شیاردار یا صاف)؛
۲. نعل درگاه؛
۳. بلوک‌های عایق حرارتی و ضدآتش؛
۴. پانل دیواری (دیوار جداکننده)؛
۵. پانل سقفی (بام‌پوش)؛
۶. پانل دیواری قائم (باربر)؛
۷. پانل‌های کف‌پوش؛
۸. اجزای باربرسازه؛
۹. شالودهٔ پی.



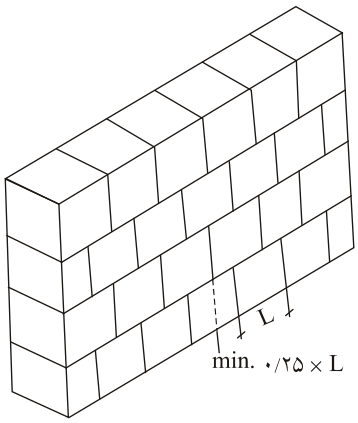
شکل ۲ـ۷ سیستم دیوار باربر.

۱. بلوک (دارای شیار یا کام زبانه)؛
۲. نعل درگاه؛
۳. بلوک‌های عایق حرارتی و حفاظت دربرابر آتش؛
۴. پانل جداکننده؛
۵. پانل‌های سقفی (بام‌پوش)؛
۶. پانل‌های دیواری قائم (باربر)؛
۷. پانل‌های کف‌پوش.

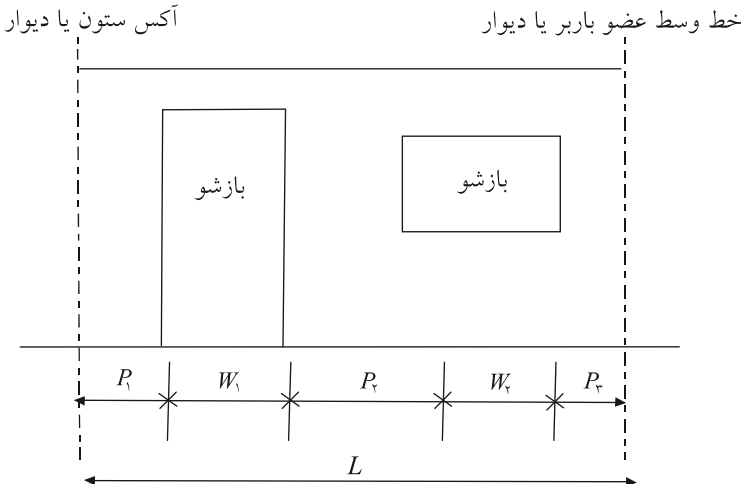


شکل ۲ـ۸ سیستم دیوار غیرباربر (تحمل بار برعهدهٔ سیستم بتنی یا فلزی است).

به‌طور معمول بلوک‌های بتن سبک AAC به‌عنوان اعضای پرکننده در بین قاب‌های سازه‌ای، دیوارهای جداکنندهٔ داخلی باربر و غیرباربر، دیوارهای جداکنندهٔ بین واحدهای آپارتمانی و دیوارهای محافظ دربرابر سرایت آتش قرار می‌گیرند. انواع خاص این بتن را می‌توان به‌عنوان دیوارهای عایق خارجی (پیرامونی) استفاده کرد. چنان‌چه بلوک‌های باربر از مقاومت فشاری لازم ۷ N/mm^2 برخوردار باشند و الزامات استاندارد ایران را برآورده کنند، برای ساخت دیوارهای باربر مطابق ضوابط فصل سوم آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ ایران (ساختمان‌های با مصالح بنایی غیرمسلح) قابل‌استفاده‌اند.

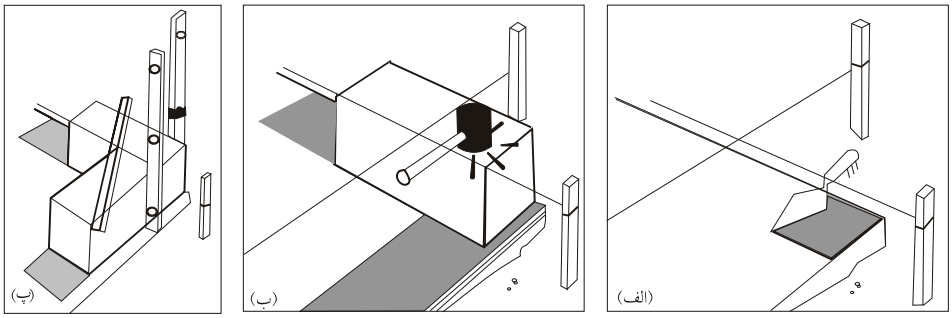


شکل ۲ـ۹ جزئیات بلوک‌چینی با حداقل هم‌پوشانی.



شکل ۲ـ۱۰ ابعاد بازشوها.

در مورد اندازه‌های P_1 و P_2 و هم‌چنین W_1 و W_2 درطول L دیوار به ضوابط شرح شده در فصل سوم آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ مراجعه شود.



شکل ۲ـ۱۱ مراحل گام‌به‌گام بلوک‌چینی با بتن AAC: (الف) ملاط اولیه برای یک رگی کردن که معمولاً پهنای بیش‌تری دارد و اغلب از جنس ماسه‌سیمان است؛ (ب) قرار دادن صحیح بلوک در محل واقعی آن؛ (پ) تراز کردن، شاقول و گونیا کردن ردیف اول که باعث مبنای درست دیوارچینی می‌شود و سطح صاف و یکدستی را برای دیوار ایجاد می‌کند.

این بلوک‌ها، چنان‌چه در دیواره‌های خارجی (پیرامونی) به‌کار روند، باید با استفاده از مواد عایق رطوبت به‌شیوه‌ای مناسب دربرابر نفوذ آب محافظت شوند، زیرا درصورت خشک و تر شدن متناوب (یا اشباع مداوم) این مصالح، خواص عایق حرارتی آن‌ها در بلندمدت کاهش می‌یابد.

درضمن از این نوع بتن می‌توان به‌عنوان پانل سقفی استفاده کرد به این شرط که در دهانه‌های کوچک روی دیوار حمال یا تیرچه‌های فلزی یا بتنی نصب شوند. دراین‌صورت، اندود خاصی روی آن‌ها لازم نیست و فقط کافی است پرداخت نهایی زیر آن‌ها (مثل سقف تیرچه‌بلوک) اعمال شود.

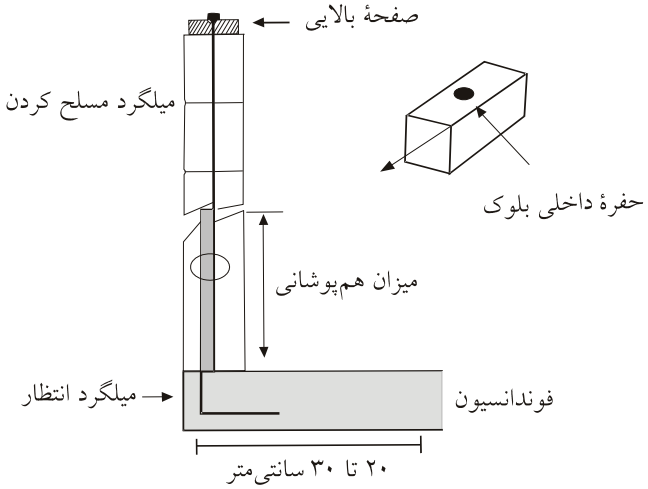
پایدار کردن دیوارهای باربر با مصالح بنایی غیرمسلح

در فواصل نزدیک‌به ۶۰ cm در گوشه‌ها، اطراف بازشوها و درزها و هم‌چنین در محل تقاطع دیوارها یک‌سری حفره برای کار گذاشتن آرماتور به‌صورت عمودی ایجاد می‌گردد که این حفره‌ها قبلاً در کارخانه تعبیه شده‌اند. هم‌چنین می‌توان آن‌ها را در محل کارگاه نیز ایجاد کرد؛ سپس میلگردهای عمودی که به آرماتور فونداسیون متصل هستند، در این حفره‌ها قرار می‌گیرند و پس‌از آن بتن‌ریزی انجام می‌شود. مزایای حاصل‌از این کار عبارت است از:

۱. دیوار باربر مسلح می‌شود؛

۲. اتصال مطمئنی بین سقف و پی به‌وجود می‌آید؛

۳. از ایجاد ترک در اطراف بازشوها و گوشه‌ها در محل تقاطع دیوارها و در زمان حرکت جانبی جلوگیری می‌شود.



شکل ۲ـ۱۲ کارگذاری میلگردها در درزها و ادامهٔ آن تا تیرهای پیرامونی برای ایجاد عملکرد دیافراگم صلب.

۲ـ۴ـ۲ بتن سبک مسلح

پانل مسلح تولیدشده از بتن سبک هوادار اتوکلاوشده (AAC) را می‌توان در سه دستهٔ کلی طبقه‌بندی کرد:

الف) پانل‌های مسلح برای سقف و کف؛

ب) پانل‌های مسلح برای سیستم دیوار غیرباربر؛

پ) پانل‌های مسلح برای سیستم دیوار و سقف باربر (پانل‌های قائم).

ازآن‌جاکه بتن مصرفی در این پانل‌ها مشابه بتن AAC در ساخت بلوک‌ها و دیگر قطعات است، باید خواص مکانیکی و دوام آن‌ها، همهٔ الزامات استاندارد ملی ایران (و درصورت تدوین نشدن استاندارد مربوطه، استانداردهای EN) را برآورده کند. باتوجه‌به ساختار متخلخل این بتن‌ها که درحین تولید آب زیادی را جذب می‌کنند، برای اطمینان از عدم خوردگی میلگردها باید تدابیر لازم به‌عمل آید. ازجملهٔ این تدابیر، استفاده از محافظ سطحی میلگرد و رعایت حداقل پوشش روی آن‌هاست. برای اطمینان از عملکرد مواد محافظ سطحی باید طبق استاندارد ASTM C ۱۴۵۲ اقدام شود. درضمن برای بررسی کیفیت جوش‌های نقطه‌ای (خال‌جوش) نیز باید ضوابط استاندارد EN تأمین شود.

نکتهٔ مهم در اجرای سیستم‌های دیوار باربر جزئیات اجرایی اتصالات است که باید الزامات آیین‌نامه‌ها و مقررات ملی کشور را برآورده کند.

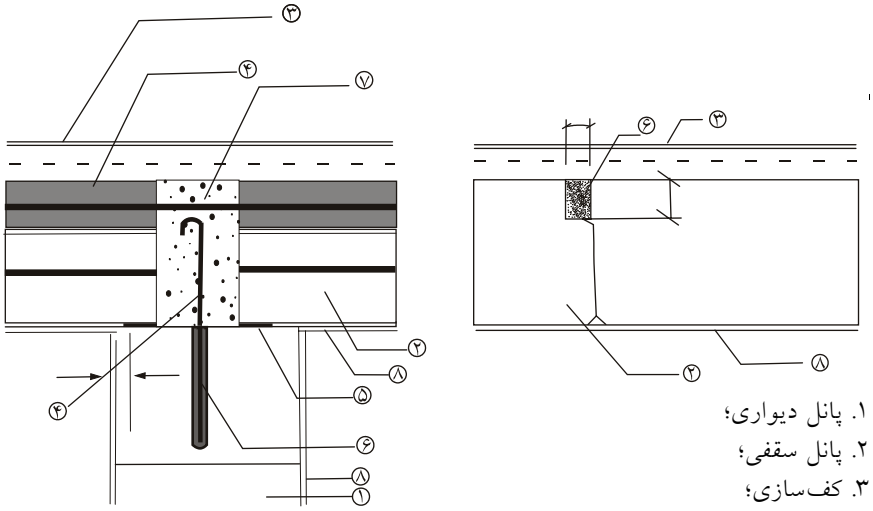
الف) پانل‌های مسلح برای سقف و کف

همان‌گونه‌که قبلاً اشاره شد، از پانل‌های AAC به دو صورت سیستم دیوارهای غیرباربر و سیستم دیوارهای باربر استفاده می‌شود. در سیستم اول، بارهای ثقلی و جانبی به اجزای باربری مانند تیر و ستون منتقل و از

پانل‌های سقفی و دیواری AAC برای دیوارهای خارجی و سقف‌ها استفاده می‌شود. نکتهٔ مهم در کاربرد این نوع پانل‌ها رعایت صحیح جزئیات اجرایی نصب و اتصال پانل‌های دیواری به اعضای باربر ساختمان است. هم‌چنین طراحی و اجرای سقف‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که عملکرد دیافراگم صلب داشته‌باشند. درصورت حاکم شدن اثر زلزله بر طراحی ساختمان لازم است برای عملکرد دیافراگم صلب، کف‌ها و لبه‌های پانل‌های مجاور به‌وسیلهٔ اتصالات مکانیکی به یکدیگر متصل شوند.

از مهم‌ترین محاسن کاربرد پانل‌های سقفی کاهش وزن مردهٔ ساختمان (تقریباً $\frac{1}{3}$ وزن سقف‌های سنتی) و افزایش سرعت اجراست. حداقل مقاومت فشاری این پانل‌ها باید مطابق ردهٔ AAC ۴ (میانگین مقاومت فشاری $5\ N/mm^2$) استاندارد ملی ایران به‌شمارهٔ ۸۵۹۳ و ضخامت آن‌ها بسته به طول دهانه و بارگذاری بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر باشد. هم‌چنین می‌توان پانل‌هایی با طول حدود ۶/۵ m نیز ساخت.

علاوه‌براین، می‌توان طبق ضوابط و مقررات و به‌شرط درنظر گرفتن تمهیدات لازم، به‌منظور تحمل تنش‌های موضعی بازشوهایی را ایجاد کرد. برای ایجاد یک دیافراگم صلب باید جزئیات اجرایی براساس ضوابط و مقررات موجود در کشور ارائه شود. برای نمونه، اجرای یک تیر (کلاف) در اطراف سقف به‌منظور برآوردن الزامات بالا و هم‌چنین ضوابط مقاومت دربرابر آتش اجباری است.



۱. پانل دیواری؛
۲. پانل سقفی؛
۳. کف‌سازی؛
۴. کارگذاری میلگرد در درزها؛
۵. نشیمن سقف روی دیوار؛
۶. گروت‌ریزی بین درز؛
۷. بتن‌ریزی به‌منظور اتصال صلب؛
۸. گچ‌وخاک زیر سقف.

شکل ۲ـ۱۳ نمونه‌ای از ایجاد دیافراگم صلب و اتصال آن به دیوار داخلی.

ب) پانل‌های مسلح برای سیستم دیوار غیربابر

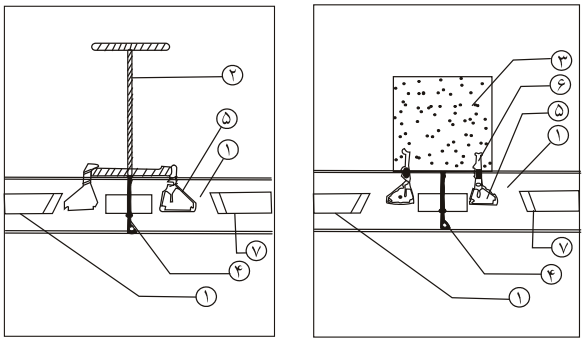
بتن AAC مصرفی علاوه‌بر دارا بودن خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام مناسب برای استفاده در دیوارهای خارجی، باید ازنظر جزئیات اجرایی و تحمل بارهای وارده (باد، زلزله و ...) نیز مطابق ضوابط و مقررات باشد.

ازآن‌جاکه استفاده از این نوع پانل‌ها موجب کاهش بار مرده، افزایش سرعت اجرا، برآوردن الزامات عایق صوتی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود، برای استفاده در تمامی ساختمان‌ها و به‌ویژه ساختمان‌های صنعتی بسیار مناسب است. از این پانل‌ها برای دیوارهای داخلی و جداکننده نیز می‌توان استفاده کرد. این پانل‌های به‌طور معمول باید دارای ردهٔ مقاومتی ۲ـ AAC، ۴ـ AAC، و ۶ـ AAC طبق استاندارد ملی ایران باشند.

طول این پانل‌ها به‌طور معمول ۶/۵ m و عرض آن‌ها متغیر است که نسبت طول به عرض آن‌ها به ۶ محدود می‌شود. عرض پانل‌ها به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که نیاز به برش نداشته‌باشد و به‌صورت مدولار اجرا شود. مهاری و قطعات اتصال بسته به نوع سازه و کاربرد متفاوت هستند، ولی درهرصورت باید الزامات مربوط به مقررات ملی و استاندارد ۲۸۰۰ را برآورده کنند.

پ) پانل‌های مسلح برای سیستم دیوار و سقف باربر

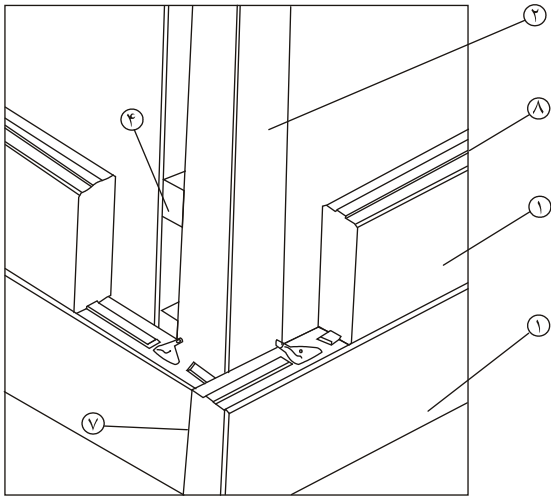
در بحث دیوارهای باربر AAC، سیستمی که شامل پانل‌های سقفی یا کف و دیوارهای باربر است، باید بتواند بارهای ثقلی و جانبی را تحمل کند (شکل ۲ـ۱۴). پانل‌های مصرفی باید دارای ردهٔ مقاومتی ۴ـ AAC و ۶ـ AAC، طبق استاندارد ایران باشند. این پانل‌ها معمولاً بین ۲/۵ تا ۳/۳ متر طول دارند و ضخامت آن‌ها نیز براساس محاسبات، متغیر و بین ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است.



شکل ۲ـ۱۴ نمونه‌ای از اتصال پانل‌های غیربابر به ستون‌های فلزی یا بتنی.

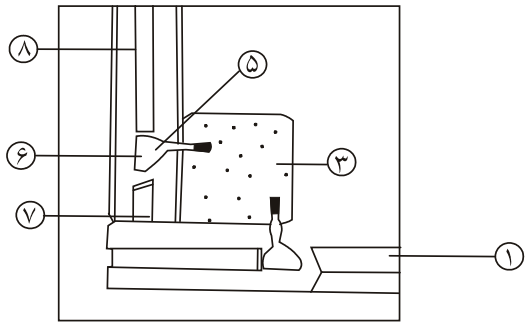
در طراحی پانل‌های باربر سقفی و دیواری، حداکثر تنش مجاز میلگردها باید به نصف تنش مشخصه و حداکثر ۱۶۵ MPa محدود شود. هم‌چنین تنش مجاز در بتن باید مطابق الزامات پیوست A آیین‌نامهٔ بتن آمریکا ACI ۳۱۸ باشد.

ازآن‌جاکه در پانل‌های مسلح، احتمال خوردگی میلگردها وجود دارد، باید آن‌ها را با استفاده از روش‌های دوغاب پایهٔ سیمانی، بهبودیافته با لاتکس، یا گالوانیزه شدن به‌روش گرم، پوشش داد. هم‌چنین، حداقل پوشش بتن روی میلگردها ۱۲ mm است. در کاربرد پوشش‌های روی میلگرد باید ضوابط مربوط به آتش نیز رعایت شود. درهرصورت، عملکرد بلندمدت قطعات مسلح باید براساس شرایط محیطی بررسی شود.

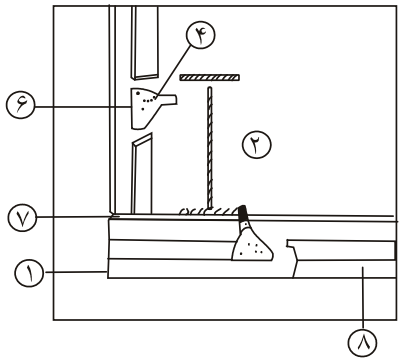


۱. پانل غیرباربر افقی؛
۲. ستون فلزی؛
۳. ستون بتنی؛
۴. نبشی فلزی جوش‌داده‌شده به ستون؛
۵. ریل مهاری مدفون در ستون بتنی؛
۶. صفحهٔ مهاری؛
۷. درز انبساط؛
۸. برش کام و زبانه برای امکان اتصال.

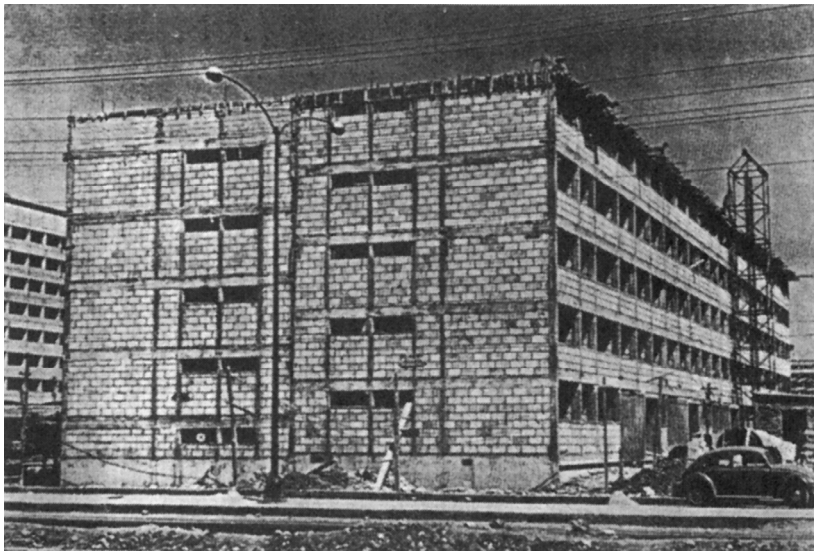
جزئیات اتصال به ستون بتنی



جزئیات اتصال به ستون فلزی



شکل ۲ـ۱۵ نمونه‌ای از اتصال پانل‌های غیرباربر (افقی) به ستون گوشهٔ فلزی یا بتنی.



شکل ۲ـ۱۶ این ساختمان پنج طبقه در مکزیکوسیتی که با دیوار AAC به‌ضخامت ۱۲/۵ cm به‌عنوان دیوار باربر ساخته شده‌است، دربرابر زلزلهٔ ۸/۱ ریشتری ۱۹ سپتامبر ۱۹۸۵ مقاوم ایستاد.

۱. پانل باربر قائم؛

۲. اندود سازگار به‌همراه اجرای مش در درزها؛

۳. پانل سقف ـ کف؛

۴. ملاط بسترسازی به‌ضخامت ۳ mm؛

۵. میلگرد اول (در پانل سوراخ و سپس با پوکسی پر شده‌است)؛

۶. دو لایه کاغذ نمدی؛

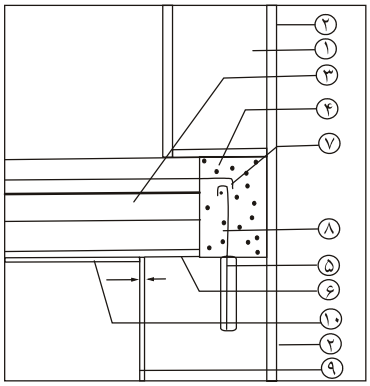
۷. میلگرد قراردادهشده در درز و پرشده با گروت؛

۸. تیر پیرامونی مسلح؛

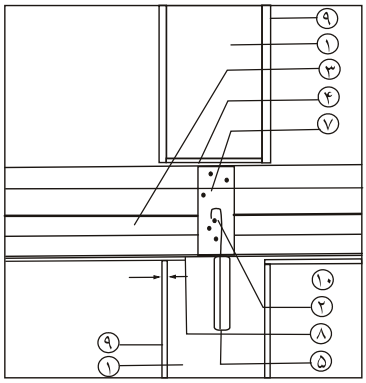
۹. اندود داخلی؛

۱۰. تختهٔ گچی.

جزئیات اتصال به دیوار خارجی



جزئیات اتصال به دیوار داخلی



شکل ۲ـ۱۷ نمونه‌ای از اتصال پانل‌های غیربابر (افقی) به ستون‌های فلزی و یا بتنی.

در سیستم باربر، ارائهٔ جزئیات اجرایی دقیق که الزامات مقررات ملی ایران و استاندارد ۲۸۰۰ را برآورده کند، اهمیت دارد. به‌منظور اطمینان از عملکرد مناسب اتصال پانل‌های متقاطع سقف و دیوار، بهتر است لبه‌های پانل‌های سقفی دارای برش‌گیر (از جنس AAC یا فولادی) باشد.

۲ـ۵ مشخصات فنی بتن سبک AAC

۱. جرم حجمی (دانسیته)

این محصول به‌علت وجود تخلخل‌های ثانویه ۷۰ تا ۸۰ درصد فضای خالی دارد که دانسیته‌ای در محدودهٔ ۳۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم را برای هر مترمکعب به‌وجود می‌آورد. دانسیتهٔ معمول AAC kg/m^3 ۵۵۰ است.

جرم حجمی از مهم‌ترین خصوصیات این نوع بتن‌هاست و بیش‌تر خواص بتن به آن بستگی دارد. گفتنی است که جرم حجمی به وضعیت رطوبت نمونه بستگی دارد. وقتی بتن سبک از اتوکلاو خارج می‌شود رطوبتی بین ۲۰ تا ۳۵ درصد وزنی دارد که بسته به شرایط رطوبتی منطقه و موقعیت محل ساختمان به‌تدریج کاهش می‌یابد. در شرایط محیطی کشور ما درصد رطوبت نهایی در بیش‌تر نقاط به‌علت خشکی هوا در کم‌تر از ۵٪ به تعادل می‌رسد.

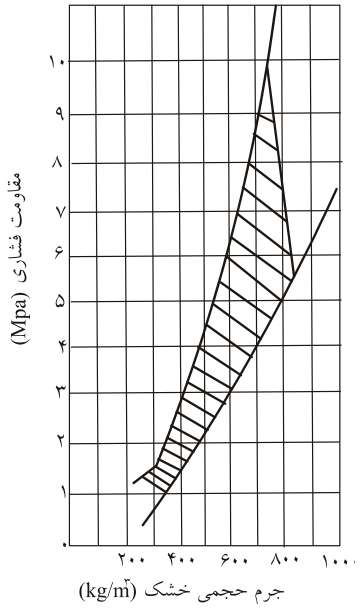
هم‌چنین براساس شمارهٔ ۸۵۹۴ استاندارد ملی ایران (ISIRI) برای تعیین جرم حجمی خشک باید حداقل سه نمونه در اشکال منشور، استوانه و مکعب آزمایش شود که وزن و حجم نمونه‌ها پس‌از خشک شدن در گرم‌خانه (آون یا اتوکلاو) در دمای $^{\circ}C$ ۱۰۵ به‌دست می‌آید.

۲. مقاومت فشاری[1] (مکانیکی) و رابطهٔ آن با چگالی

مقاومت فشاری بتن AAC معمولاً بین ۲۵ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. این نوع بتن به‌علت ساختار حفره‌ای و درصد تخلخل زیاد (حدود ۷۰٪) مقاومت فشاری کم‌تری نسبت‌به بتن معمولی دارد.

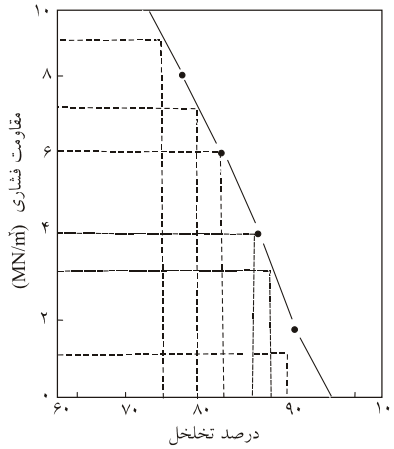
1.compressive strenght.

بنابراین استفاده از آن به‌عنوان دیوار غیربابر (جداکننده) در سازه‌هایی که اسکلت فلزی یا بتنی دارند، بسیار مطلوب است و هیچ‌گونه محدودیت و مشکلی ندارد. بااین‌حال مقاومت فشاری این بتن درحدی است که می‌توان از آن در ساختمان‌های تا سه طبقه نیز به‌عنوان دیوار باربر استفاده کرد. مقاومت فشاری بتن AAC به درصد تخلخل (جرم حجمی) و درصد رطوبت آن بستگی دارد و با افزایش جرم حجمی مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد. ارتباط بین این دو عامل در شکل زیر نشان داده شده‌است.



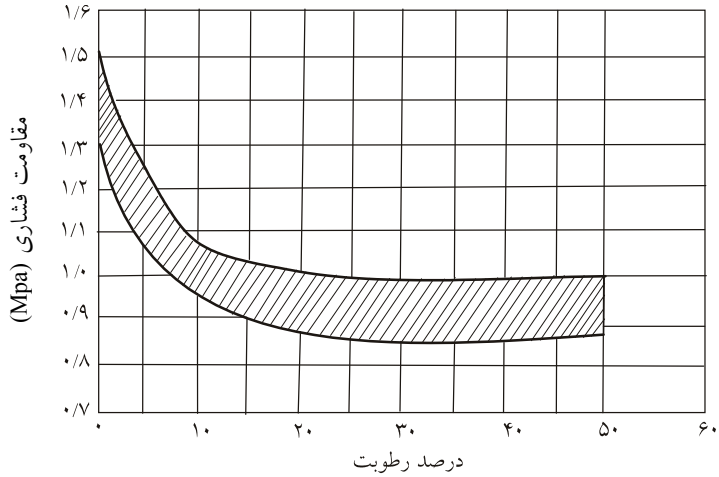
شکل ۲ـ۱۸ ارتباط بین مقاومت فشاری و جرم حجمی خشک بتن.

هم‌چنین، رابطهٔ بین تخلخل و مقاومت فشاری را نیز می‌توان در شکل زیر مشاهده کرد.



شکل ۲ـ ۱۹ رابطهٔ بین تخلخل و مقاومت فشاری.

گفتنی است که وضعیت رطوبتی نمونه در مقاومت فشاری آن مؤثر است. مقاومت نمونه‌های خشک در هوا حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد بیش‌تر از نمونه‌های اشباع‌شده است. تأثیر مقدار رطوبت نمونه بر مقاومت فشاری آن در شکل زیر دیده می‌شود.



شکل ۲ـ۲۰ ارتباط بین مقدار رطوبت نمونه و مقاومت فشاری آن.

۳. حدود مقاومت‌های فشاری، کششی[1] و برشی[2]

برای تعیین مقاومت فشاری بتن‌های سبک AAC براساس شمارهٔ ۸۵۹۸ استاندارد ملی ایران (ISIRI) باید از آزمون‌های منشوری‌شکل با ابعاد ۵۰ × ۵۰ × ۲۰۰ میلی‌متر استفاده شود که شرایط رطوبتی آن‌ها در هنگام آزمایش حدود ۲ ± ۶ درصد است. بدین‌منظور نمونه‌ها در گرم‌خانه در دمای حداکثر تا ۶۰°C خشک می‌شوند. مقاومت خمشی این‌گونه بتن‌ها معمولاً ۲۰ تا ۴۰ درصد مقاومت خمشی آن‌هاست. درحالت کلی می‌توان از رابطهٔ زیر بهره گرفت:

(مقاومت فشاری) ۰/۲ + ۰/۲۷ = مدول گسیختگی

مقاومت کششی بتن ACC بین ۱۵ تا ۲۵ درصد مقاومت فشاری و مقاومت برشی بین ۲۵ تا ۳۳ درصد مقاومت فشاری آن است.

۴. مدول الاستیسیتهٔ[3] استاتیکی

براساس شمارهٔ ۸۵۹۱ استاندارد ملی ایران (ISIRI) می‌توان مدول الاستیسیتهٔ بتن سبک AAC را تعیین کرد. نمونه‌های منشوری‌شکل در ابعاد ۳۰۰ × ۱۰۰ × ۱۰۰ میلی‌متر باید آزمایش و برای

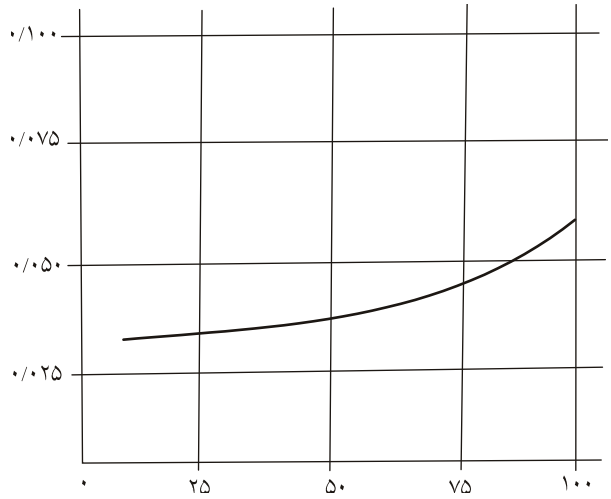
1. tensile strenght.
2. shear strenght.
3. elastis modulus.

دستیابی به شرایط رطوبتی ۲ ± ۶ درصدی موردنیاز نمونه، در اتوکلاو با دمای ۶۰°C خشک شوند. مدول الاستیسیته به جرم حجمی بتن و هم‌چنین درصد رطوبت آن بستگی دارد و با افزایش رطوبت نسبی محیط مثلاً از ۲۰ تا ۹۰ درصد مدول ارتجاعی حدود ۱۵٪ کاهش می‌یابد.

مدول الاستیسیتهٔ بتن سبک AAC را معمولاً می‌توان ۲ تا ۳ گیگاپاسکال درنظر گرفت.

۵. خزش[1]

تغییرشکل عضو سازه‌ای تحت اثر بار را طی زمان، «خزش» می‌نامند. برای تعیین خزش تحت نیروی فشاری می‌توان از استاندارد اروپایی EN۱۳۵۵ استفاده کرد که در آن نمونه‌ها به‌شکل منشور در ابعاد ۳۰۰ × ۱۰۰ × ۱۰۰ میلی‌متر هستند، شرایط رطوبتی ۲ ± ۶ درصد و زمان بارگذاری و قرائت کرنش[2] تا یک سال است. دمای محیط آزمایش حدود ۲۰°C توصیه شده‌است.



شکل ۲ـ۲۱ ضریب خزش AAC به‌صورت تابعی از میزان رطوبت در تعادل با رطوبت نسبی پس‌از یک روز.

تحقیقات نشان می‌دهد که در شرایط معمولی و تحت بار سرویس‌دهی مقدار خزش بتن AAC مشابه بتن‌های معمولی است.

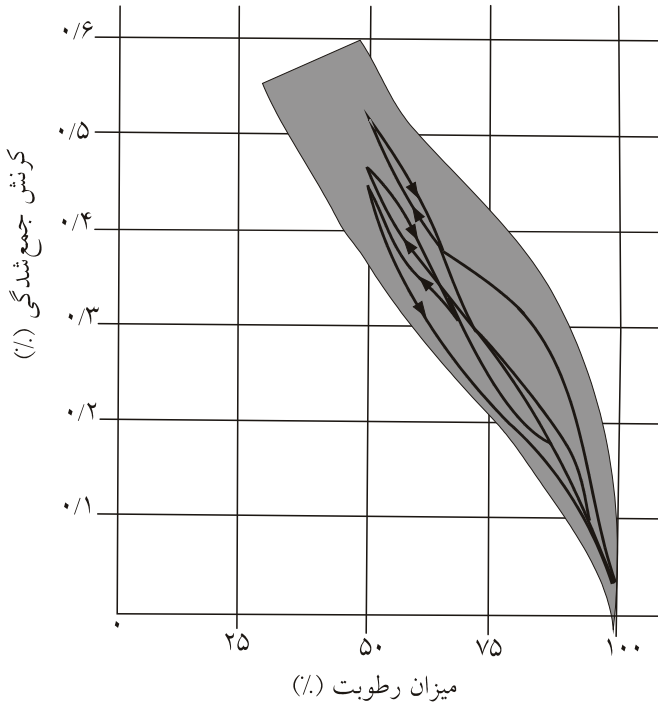
۶. جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن

جمع‌شدگی بتن براثر خشک شدن با کاهش رطوبت آن شروع می‌شود. ازدست دادن رطوبت نیز از وضعیت اشباع یک نمونه بعداز قرار گرفتن در محیط خشک آغاز و آب از منافذ بزرگ خارج می‌شود. این کاهش رطوبت با کاهش حجم چندانی همراه نیست و با ادامهٔ خشک شدن بتن، آب از

1. Creep.
2. Hygral shrinkage.

منافذ مویین کوچک (با اندازهٔ کم‌تر از ۵۰ nm) و هم‌چنین آب جذب‌شده روی سطوح خارج می‌شود. این خشک شدن با کاهش قابل‌توجه حجم خمیر سیمان همراه است. براین‌اساس، عامل اصلی جمع‌شدگی، ازدست رفتن آب در منافذ مویینهٔ کوچک و آب جذب‌شده روی سطح است. جمع‌شدگی بتن اتوکلاوشده کم‌تر از بتن معمولی است. این امر عمدتاً به‌دلیل تشکیل توبرموریت کریستالی با سطح کم به‌جای C-S-H میکروکریستالی با سطح زیاد است. میزان جمع‌شدگی نهایی بتن به رطوبت نسبی محیط بستگی دارد و در رطوبت‌های نسبی پایین‌تر، میزان جمع‌شدگی بیش‌تر خواهد بود. شکل زیر مقدار جمع‌شدگی بتن گازی را در شرایط مختلف رطوبت نسبی نشان می‌دهد. استاندارد انگلیس مقدار مجاز جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن را برای بلوک‌های بتن گازی برابر ۰/۰۹٪ تعیین می‌کند.

شایان ذکر است که مقدار جمع‌شدگی اندازه‌گیری‌شده روی یک نمونه بتن تاحد زیادی به روش آزمایش، وضعیت رطوبتی درنظر گرفته‌شده برای نمونه‌ها در شروع و پایان اندازه‌گیری و میزان جمع‌شدگی بستگی دارد. شمارهٔ ۸۵۹۲ استاندارد ملی ایران و (EN ۶۸۰) مربوط به روش تعیین جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن بتن AAC است. براساس این روش تفاوت کرنش رطوبت موجود بین ۰/۳ و ۰/۶ درصد به‌عنوان معیار تعیین و بیش‌ترین مقدار مجاز آن نیز به ۰/۰۲٪ محدود شده‌است.



شکل ۲ـ۲۲ منحنی نهایی جمع‌شدگی نسبت‌به درصد میزان رطوبت.

به‌طورکلی جمع‌شدگی بتن AAC در شرایط معمولی با دانسیتهٔ ۵۵۰ kg/m^3 از اشباع کامل تا خشک شدن برابر ۴٪ است.

۷. جذب مویینگی[1]

جذب مویینگی، پتانسیل مواد دربرابر مکش و جذب آب از محیط اطراف را نشان می‌دهد. آزمایش‌های جذب مویینگی عموماً ازطریق در تماس قرار دادن سطح نمونه‌ها با آب و اندازه‌گیری آب جذب‌شده در واحد سطح طی زمان انجام می‌گیرد.

اصولاً حفره‌های بزرگ قدرت مکش کمی (قابل‌اغماض) دارند. مکش تنها ازطریق حفره‌های کوچک انجام می‌گیرد و به‌همین‌دلیل مکش و جذب مویینگی در بتن متخلخل نسبت‌به دیگر مصالح (نظیر آجر رسی) آهسته است. ضریب مویینگی برای بتن‌های معمولی حدود ۱/۱ $kg/m^2\ h^{0.5}$ و برای بتن سبک اتوکلاوشده بین ۴ $kg/m^2\ h^{0.5}$ تا ۸ $kg/m^2\ h^{0.5}$ است.

جذب مویینگی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$W = a_w \sqrt{t_w}$$

که در آن:

W: مقدار آب جذب‌شده بر واحد سطح (kg/m^2)

a_w: ضریب آب جذب‌شده ($kg/m^2\ h^{\frac{1}{2}}$)

t_w: زمان تماس سطح با آب (h)

a_w (ضریب) در AAC به چگالی ماده و چگونگی توزیع حفره‌های سطح آن وابسته است.

آب در تابعی از زمان به داخل مواد رخنه می‌کند که این عمکرد به‌طور خلاصه با این رابطه بیان می‌شود:

$$X_{cs} = B_{cs} \sqrt{t_w}$$

که X_{cs} عمق حفره‌ها (نفوذ) (m) و B_{cs} ضریب نفوذ آب ($m^2\ h^{\frac{1}{2}}$) را نشان می‌دهند که در بتن سبک اتوکلاوشده عددی بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ ($m/h^{0.5}$) است و نسبت ∂_w / B_{cs} نشان‌دهندهٔ درصد آب جذب‌شده به حجم قابل‌استفادهٔ حفره (سوراخ‌های) ماده است. این میزان معادل آبی است که توسط مواد متخلخل جذب می‌شود.

---

1. capillary.

۸. جذب آب

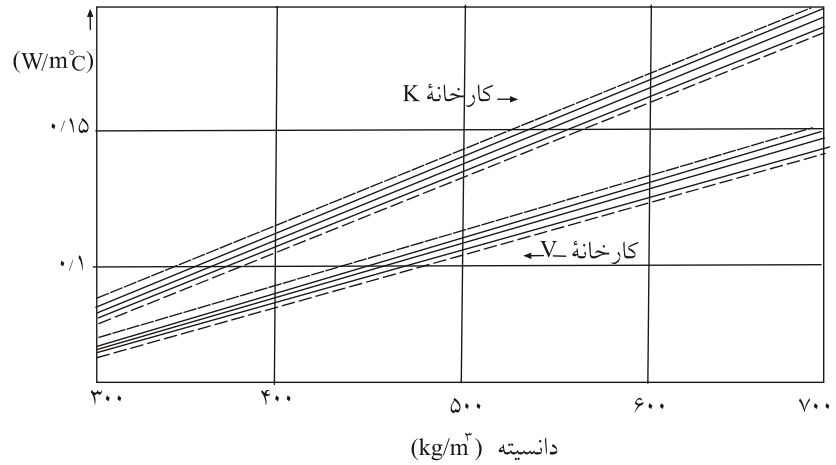
منظور از جذب آب، درصد وزنی آب جذب‌شده نسبت‌به وزن خشک نمونه طی زمان مشخص استغراق در زیر آب است. در بتن‌های معمولی این میزان بین ۵ تا ۱۰ درصد وزنی پس‌از ۴۸ ساعت است.

باتوجه‌به ساختار حفره‌ای بتن متخلخل اتوکلاوشده درصد وزنی جذب آب می‌تواند تا ۶۰٪ هم باشد که ۴۰٪ آن به‌صورت نفوذ و ۲۰٪ نیز به‌صورت مویینگی است. مقدار جذب آب از عواملی نظیر ساختار حفره‌ها، اندازهٔ قطعه، هدایت حرارتی مواد، دما، فشار و غیره تأثیر می‌پذیرد.

باتوجه‌به این‌که بتن AAC پس‌از پایان فرایند اتوکلاو دارای حدود ۳۰٪ وزنی رطوبت قابل‌تبخیر است، می‌توان میزان جذب آب آن را به‌صورت کلی ۳۰٪ وزنی درنظر گرفت.

۹. گرمایش ویژه[1] و ضریب هدایت حرارتی[2]

گرمای ویژهٔ بتن متخلخل اتوکلاوشده در شرایط رطوبت طبیعی ۴ تا ۶ درصدی برابر است با ۱ kh/kgc° و ضریب هدایتی AAC که با λ نشان داده می‌شود، با مقدار رطوبت آن نسبت مستقیم دارد. شکل زیر رابطهٔ λ را با دانسیته نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ۲۳ رابطهٔ بین دانسیته و ضریب هدایت حرارتی
نمونه‌های AAC تولیدی دو کارخانهٔ مختلف.

هدایت حرارتی کم و وجود رطوبت متعادل در این نوع بتن موجب مقاومت آن دربرابر آتش شده‌است. بنابراین می‌توان از آن برای محافظت سایر قسمت‌های سازه به‌منظور جلوگیری از سرایت آتش استفاده کرد.

---

1. specific heat.
2. thermal conductivity.

۱۰. انبساط و انقباض حرارتی

ضریب انبساط حرارتی بتن AAC حدود $۸ \times ۱۰^{-۶} / ^{\circ}C$ است که از بتن معمولی و فولاد کم‌تر است.

۱۱. مقاومت دربرابر یخ‌زدگی[1]

باوجودی‌که برای هر مادهٔ متخلخل، خطر یخ‌زدگی وجود دارد و این درحالی است که رطوبت موجود در آن ماده از مقدار معینی (بحرانی) بالاتر می‌رود و ماده درمعرض سیکل‌های متوالی یخ زدن و آب شدن قرار می‌گیرد، جالب است بدانید رطوبت بحرانی در بتن AAC حدود ۴۰٪ حجمی است که رطوبت آن در شرایط عادی در هیچ مرحله‌ای (از تولید، عمل‌آوری تا بهره‌برداری در ساختمان) به این مقدار نمی‌رسد. بنابراین بتن AAC دربرابر یخ‌زدگی مقاومت خوبی دارد. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت تخلخل و حفره‌های زیاد بتن AAC اجازهٔ افزایش حجمی ناشی از انبساط آب و تبدیل آن به یخ را نمی‌دهد و درنتیجه، خسارتی به‌بار نمی‌آورد. نکتهٔ مهم این‌که مواد تشکیل‌دهندهٔ AAC در آب نامحلول هستند، ولی درصورت وجود برخی ناخالصی‌ها نظیر نمک‌ها در مواد اولیهٔ تشکیل‌دهندهٔ آن، پدیدهٔ شوره‌زنی در سطح آن نمایان خواهد شد.

۱۲. مقاومت در برابر مایعات

تمامی مشتقات سیمان ممکن است ازسوی اسیدهای قوی مورد حمله قرار گیرند. دراین‌میان اسیدهای آلی مثل اسیدسیتریک یا تارتاریک با سرعتی بیش‌از اسیدهای غیرآلی نظیر اسیدسولفوریک، اسیدنیتریک یا کلریدریک اثر می‌کنند. محلول‌های نمک اسیدی مانند کلرایدها یا سولفات‌ها حتی ممکن است به AAC صدمه وارد کنند، به‌همین‌منظور باید با تدابیری خاص از ترکیب اکریلیت و ایزوسیانید برای پوشش‌های خارجی و نیز رزین‌های اپوکسی در پوشش‌های داخلی استفاده شود.

۱۳. مقاومت دربرابر گازها

گاز اگر در ترکیب با آب خواص اسیدی نداشته‌باشد برای AAC مشکل‌ساز نیست، اما گاز $CO_۲$ (دی‌اکسید کربن) چنان‌چه غلظت زیادی داشته‌باشد و یا AAC مدت زیادی درمعرض آن قرار گیرد، سبب ایجاد انقباض در AAC و درنهایت منجر به ترک می‌شود که این حالت بیش‌تر در محل‌های تخمیر و نیز انبار میوه‌ها رخ می‌دهد. گفتنی است ترک‌ها صرفاً جنبهٔ ظاهری دارند و در مقاومت قطعات بی‌تأثیرند. ازسوی‌دیگر، راه جلوگیری از آسیب‌های احتمالی، استفاده از پوشش‌های ضدگاز مانند اکریلیت‌ها یا رزین‌های اپوکسی است.

1. resistance to freezing.

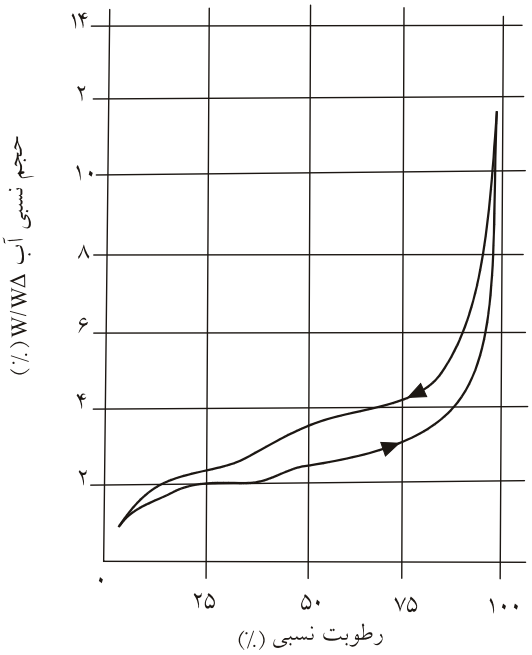
۱۴. مقاومت دربرابر منابع زیست‌شناختی

ثابت شده‌است که AAC دربرابر موریانه‌های مناطق حارّه‌ای نیز مقاوم است و معمولاً موجودات زنده تهدیدی برای آن به‌شمار نمی‌آیند. بااین‌حال چنان‌چه برای ساخت محل نگهداری حیوانات اهلی مورداستفاده قرار می‌گیرد، اعمال برخی مراقبت‌ها لازم به‌نظر می‌رسد و به‌طور خلاصه، در شرایط خاص، احتیاطات ویژه‌ای را باید برای جلوگیری از حملات میکروبی به‌کار بست.

۱۵. مقاومت دربرابر سولفات[1]

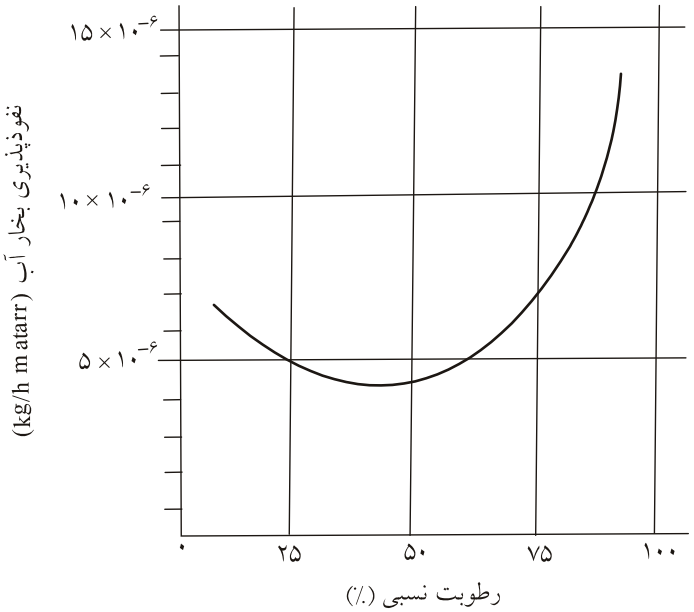
به‌طورکلی وقتی سولفات‌ها به بتن حمله می‌کنند با آهک $Ca(OH)_2$ و هیدرات کلسیم در بتن واکنش نشان می‌دهند و گچ و سولفوآلومینات کلسیم تولید می‌کنند و چون این تولیدات حجمی بیش‌از آهک و هیدرات کلسیم دارند باعث تخریب بتن می‌شوند.

خوشبختانه بتن سبک اتوکلاوشده درمقابل تهاجم سولفات مقاوم است، زیرا آهک آزاد در شرایط اتوکلاو با سیلیس موجود در بتن ترکیب می‌شود. البته به‌علت نفوذپذیری بیش‌تر این نوع بتن نسبت‌به بتن معمولی تماس بتن سبک AAC با آب‌های زیرزمینی که سولفات بالایی (بیش‌تر از ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر) دارند، توصیه نمی‌گردد.

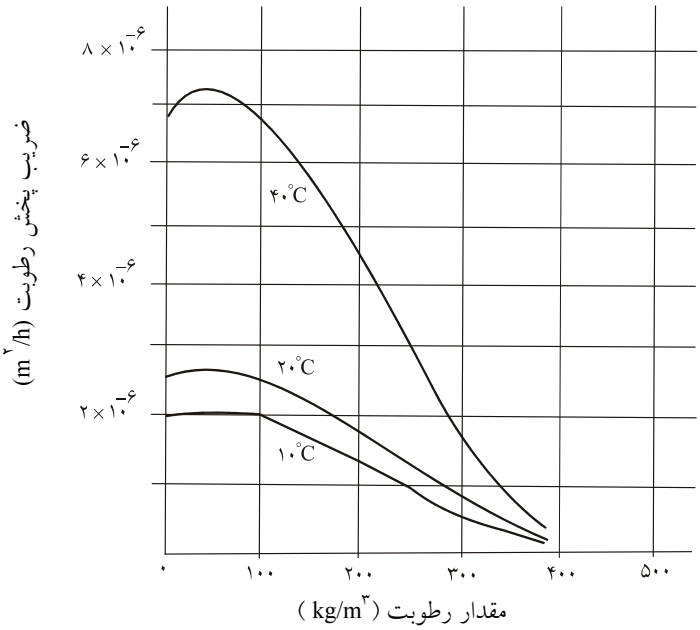


شکل ۲ـ۲۴ جذب و ازدست دادن معمول رطوبت درحالت هم‌دمایی AAC.

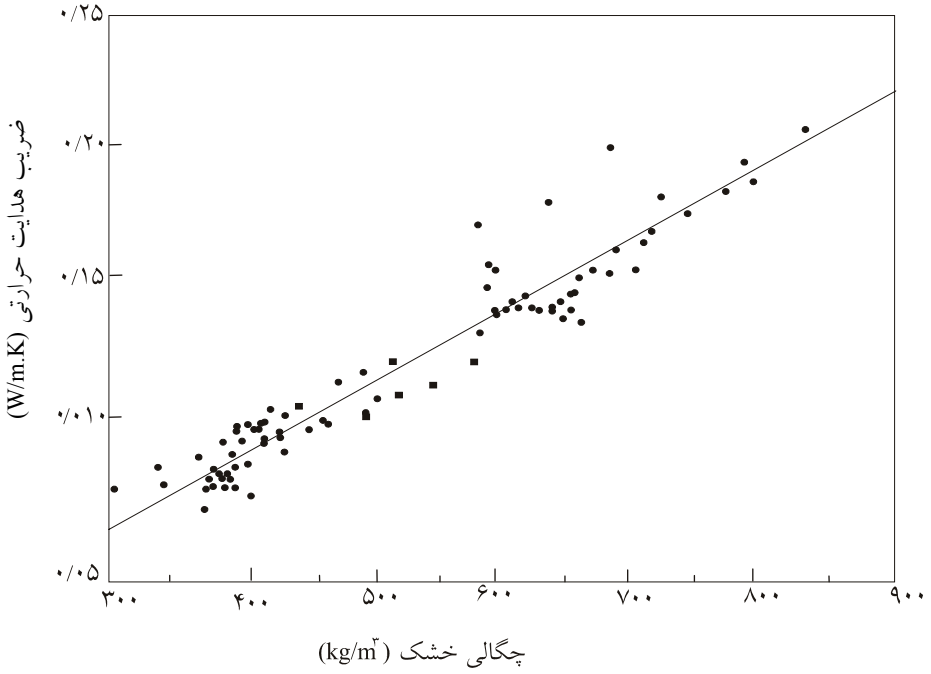
1. resistance to sulphate attack.



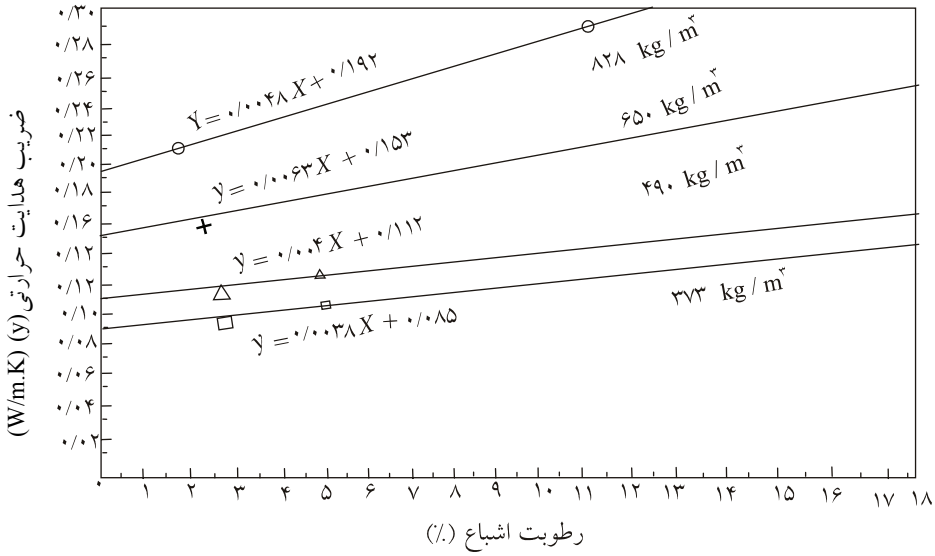
شکل ۲ـ۲۵ قابلیت نفوذ بخار در AAC به‌صورت تابعی از رطوبت نسبی.



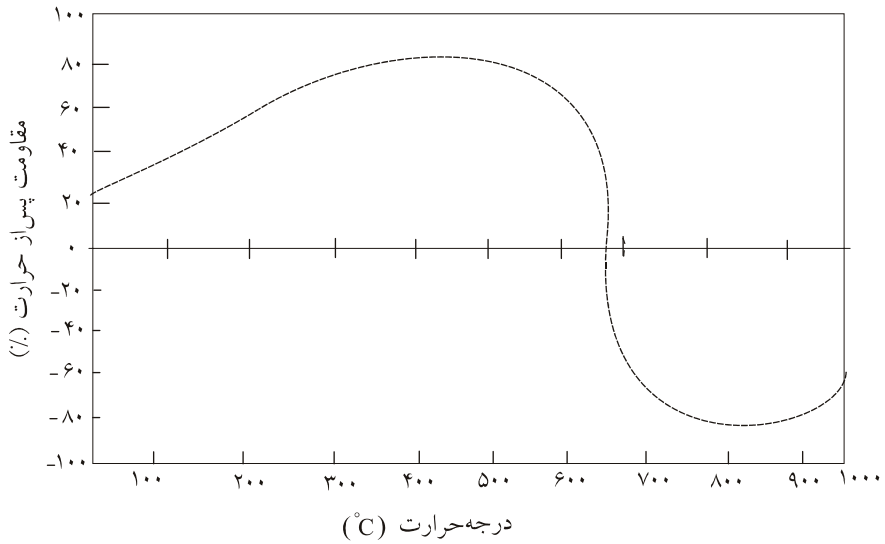
شکل ۲ـ۲۶ ضریب پخش رطوبت AAC معمولی با چگالی ۵۰۰ kg/m³ به‌صورت تابعی از میزان رطوبت در سه دمای مختلف.



شکل ۲ـ۲۷ تغییر قابلیت انتقال حرارت AAC دربرابر چگالی.



شکل ۲ـ ۲۸ تغییر ضریب هدایت حرارتی AAC دربرابر رطوبت اشباع.

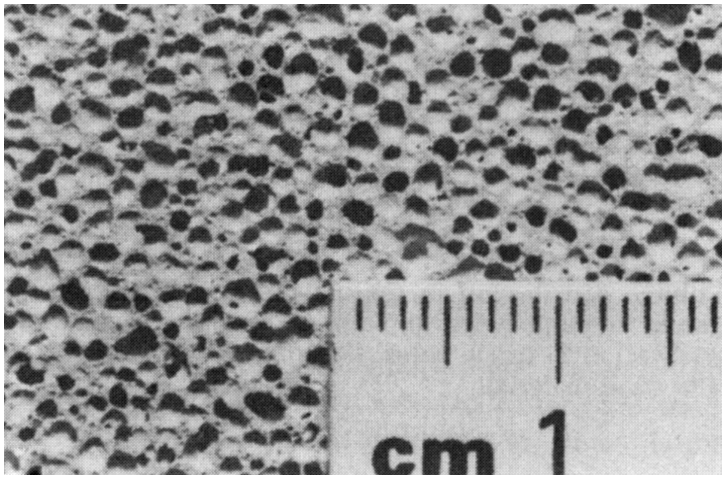


شکل ۲ـ ۲۹ تغییر در مقاومت فشاری پس‌از حرارت دادن تا دماهای مختلف.

۲ـ۶ مزایای استفاده از بتن سبک AAC

۲ـ۶ـ۱ مزایای ناشی‌از ساختار

بتن مانند سنگ‌پا با ساختاری اسفنجی دارای ۷۰ تا ۸۰ درصد فضای خالی ناشی از وجود تخلخل است. تصویر زیر بافت بتن متخلخل اتوکلاوشده را در حالت چند برابر بزرگ‌شده نشان می‌دهد. بافت متخلخل و درعین‌حال یکپارچهٔ این بتن مزایا و خصوصیاتی دارد که درادامه به آن‌ها اشاره می‌کنیم.



شکل ۲ـ ۳۰ ساختار اسفنجی AAC در تصویر میکروسکوپی.

الف) وزن مخصوص کم:

باتوجه‌به وزن مخصوص بسیار کم این محصول که به‌طور متوسط حدود kg/m^3 ۵۵۰ است، می‌توان از این نوع بتن به‌عنوان دیواره‌های محیطی و جداکنندهٔ داخلی در سازه‌های با اسکلت فلزی یا بتنی استفاده کرد و وزن بار مردهٔ سازه را تاحد قابل‌توجهی کاهش داد که درنتیجهٔ این امر علاوه‌بر سرعت عمل و صرفهٔ اقتصادی، نیروهای جانبی ناشی از زلزله کاهش چشمگیری خواهد داشت. این ویژگی در فصل پنجم این کتاب درقالب یک پروژهٔ ساختمانی واقعی بررسی و با استفاده از این بلوک‌ها، تأثیر وزن کم سازه و درصد کاهش نیروی زلزله در آن نشان داده شده‌است. به‌عبارت‌دیگر، در دو سازهٔ هم‌وزن تعداد طبقات سازهٔ ساخته‌شده با بتن سبک می‌تواند تا چند طبقه بیش‌تر از سازهٔ مشابه با سایر مصالح باشد.

ازطرفی، وزن سبک استفاده از قطعاتی با ابعاد بزرگ‌تر را امکان‌پذیر می‌سازد، به‌طوری‌که یک بلوک به‌ابعاد ۱۰ × ۲۵ × ۶۰ سانتی‌متر از بتن AAC معادل ۱۵ عدد آجر فشاری معمولی است. وزن مخصوص سبک هم‌چنین باعث افزایش سرعت اجرای کار تاحد ۲/۵ تا ۳ برابر اجرای سایر محصولات مانند آجر و سفال می‌شود و به‌کار بردن ابعاد بزرگ‌تر، حجم ملاط مصرفی را بین $\frac{۱}{۳}$ تا $\frac{۱}{۴}$ در مقایسه با سایر مصالح سنتی کاهش می‌دهد.

ب) ساختار یکپارچه و توپر:

ساخت یکپارچه، توپر و درعین‌حال سبک بلوک‌های AAC باعث سهولت عملیات برش‌زنی و شیارسازی برای نصب لوله‌های برقی و تأسیساتی می‌شود و با سرعت و راحتی بیش‌تر، هزینه‌های وابسته را کاهش می‌دهد.

پ) قابلیت تبدیل به قطعات کوچک‌تر:

این محصول به‌راحتی با ارهٔ نجّاری به قطعات کوچک‌تر و لازم تبدیل می‌شود. ضایعات ناشی از عملیات دیوارکشی را درحین اجرا، می‌توان به‌عنوان پوکهٔ سبک در شیب‌بندی سقف و سرویس‌ها به‌کار برد. به‌علت سبکی و بسته‌بندی در کارخانه، این بتن نسبت‌به مصالح مشابه حجم بیش‌تر و وزن کم‌تری در هر بارگیری و حمل دارد؛ میزان بارگیری یک کامیون شش چرخ m^3 ۱۳، یک کامیون ده چرخ m^3 ۲۱ و یک تریلی m^3 ۳۰ است.

۲ـ۶ـ۲ مزایای زیست‌محیطی

مزایای زیست‌محیطی بتن سبک اتوکلاوشده به‌شرح زیر است:

الف) عدم‌استفاده از خاک رس در تولید محصول: باتوجه‌به این‌که خاک رس بیش‌تر برای تولید محصولات کشاورزی، باغ‌ها و کشت‌زارها مناسب است، استفاده از این محصول از تخریب بی‌رویهٔ خاک و مصرف نابه‌جای آن جلوگیری می‌کند.

ب) ایجاد نشدن نخالهٔ ساختمانی: استفاده از سایر محصولات سنتی حجم قابل‌توجهی نخالهٔ ساختمانی ایجاد می‌کند که علاوه‌بر اتلاف هزینه و زمان به محیط‌زیست نیز آسیب می‌رساند. هم‌چنین می‌توان با استفاده از تمامی ضایعات بتن AAC به‌عنوان پوکه، از به‌وجود آمدن نخالهٔ ساختمانی بهره گرفت.

پ) کاهش آلودگی هوا: به‌دلیل بالا بودن مقاومت حرارتی و درپی آن، کاهش مصرف سوخت برای سرمایش و گرمایش ساختمان، از آلودگی هوا تاحد زیادی جلوگیری می‌شود.

ت) بازیافت: می‌توان از ضایعات برخی‌از صنایع به‌عنوان مادهٔ اولیه برای تولید این محصول استفاده کرد که در فرایند تولید به آن‌ها اشاره شده‌است.

ث) عدم فساد: باتوجه‌به مواد تشکیل‌دهندهٔ بتن AAC، این محصول فاسد نمی‌شود و ماندگاری طولانی دارد و چون برپایهٔ مواد غیرآلی تشکیل شده‌است، تغییر خاصیتی و ماهیتی به‌دنبال نخواهد داشت. هیچ نوع کپکی در آن ظاهر نمی‌شود و محل مناسبی برای میکروارگانیسم‌ها نیست. درنتیجه حشرات (نظیر مورچه، سوسک و غیره) در آن لانه‌سازی و یا تخم‌گذاری نمی‌کنند.

۲ـ۶ـ۳ مقاومت حرارتی بالا

وجود حباب‌های هوا در ساختار متخلخل بتن سبک باعث تولید مصالحی با خاصیت عایق حرارتی بسیار عالی می‌شود. دربارهٔ خواص حرارتی و لزوم عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌ها در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران به‌تفضیل بحث شده‌است، در این‌جا نیز مختصری از آن یادآوری می‌گردد.

الف) انتقال حرارت

درحالت کلی، حرارت با جریان یافتن از منبع یا محیط گرم به منبع یا محیط سرد انتقال می‌یابد که این جریان تابع سه مکانیسم است:

۱. تابش؛[1]

۲. انتقال یا جابه‌جایی؛[2]

۳. همرفت؛[3]

ب) عایق حرارتی

عایق حرارتی شامل مصالح یا سیستم مرکبی است که انتقال گرما و سرما را از محیطی به محیط دیگر به‌طور مؤثر کاهش می‌دهد و در ساختمان، در دیوارهای محیطی که مستقیماً با هوای آزاد بیرون در تماس هستند، بااهمیت‌تر از تیغه‌های داخلی است.

---

1. radiation.
2. conduction.
3. convention.

پ) ضریب هدایت حرارتی (λ)

مقدار حرارتی که در یک ثانیه از یک مترمربع عنصری همگن به‌ضخامت یک متر درحالت پایدار عبور می‌کند و اختلافی برابر یک درجهٔ کلوین بین دو سطح عنصر ایجاد می‌کند «ضریب هدایت حرارتی» نامیده می‌شود که آن را با λ نشان می‌دهند و واحد آن W/m.k (وات بر متر درجهٔ کلوین) است. هرچه مقدار عددی λ در مصالحی کم‌تر باشد، عایق حرارتی بهتری خواهد بود.

عایق حرارتی قابل‌استفاده در ساختمان عایقی است که ضریب هدایت حرارتی آن کم‌تر یا مساوی ۰/۰۷۰ W/m.k باشد. مقادیر λ برای مصالح گوناگون در مراجع معتبر ارائه شده‌است. به‌عنوان مثال، در جدول زیر ضریب هدایت حرارتی برخی‌از مصالح در مقایسه با بتن سبک مشاهده می‌شود.

جدول ۲ـ۳ مقایسهٔ هدایت حرارتی بتن سبک AAC با برخی‌از مصالح ساختمانی.

مصالح	وزن مخصوص kg/m^3	هدایت حرارتی W/m.k
سنگ مرمر	۲۷۰۰	۲/۲۳
بتن معمولی	۲۴۰۰	۱/۱
آجر رسی مجوف	۲۰۰۰	۰/۶۹
بتن سبک AAC	۵۵۰	۰/۰۷
چوب‌پنبهٔ منبسط‌شده	۱۰۰	۰/۰۲۵
پلی‌استایرن منبسط‌شده	۲۵	۰/۰۲۵
پلی‌استایرن منبسط‌شده	۳۵	۰/۰۱۹
پشم‌سنگ	۱۰۰	۰/۰۳۲

ت) مقاومت حرارتی (*R*)

نسبت ضخامت لایه به ضریب هدایت حرارتی را «مقاومت حرارتی»[1] می‌نامند و آن را با *R* نشان می‌دهند که واحد آن $m^2.k/W$ (مترمربع درجهٔ کلوین بر وات) است.

عایق حرارتی قابل‌استفاده در ساختمان باید مقاومت حرارتی مساوی یا بیش‌تر از ۰/۵ $m^2.k/W$ داشته‌باشد. مقاومت حرارتی کل اجزای یک ساختمان برابر است با مجموع مقاومت‌های حرارتی هریک از اجزای ساختمان که البته با نوع مصالح و فاصله‌های خالی آن رابطه دارد و قابلیت عایق بودن حرارتی کل پوستهٔ متشکل از چند لایه را مشخص می‌کند.

بدین‌ترتیب، هرچه میزان *R* در ماده‌ای بیش‌تر باشد، عایق حرارتی بهتری خواهد بود. مثلاً مقاومت حرارتی ۱۰ cm بلوک بتن AAC با ضریب هدایت حرارتی λ=۰/۰۷ W/m.k برابر است با:

$$R = d/\lambda = ۰/۱۰ \div ۰/۰۷ = ۱/۴۲۸\ m^2.k/W > ۰/۵$$

1. thermal resistance.

هم‌چنین، مقاومت حرارتی ۱۰ cm بتن معمولی با ضریب هدایت حرارتی $\lambda = ۱/۷۵\ W/m.k$ برابر است با:

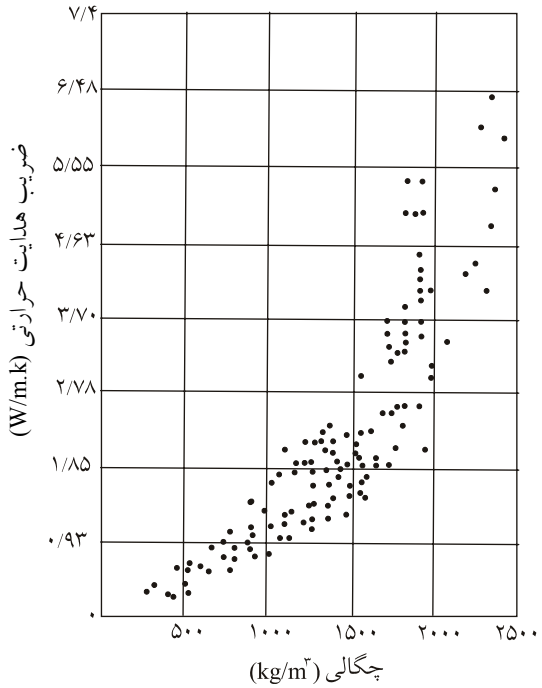
$$R = d/\lambda = ۰/۱۰ \div ۱/۰۷ = ۰/۰۵۷\ m^۲.k/W < ۰/۵$$

اکنون محاسبه می‌کنیم که مقاومت حرارتی چند سانتی‌متر بتن معمولی معادل مقاومت حرارتی ۱۰ cm سانتی‌متر بتن AAC است:

$$۱/۴۲۸ = d/۱/۷۵ \Rightarrow d = ۲/۵\ m$$

یعنی مقاومت حرارتی ۱۰ cm بتن سبک AAC برابربا مقاومت حرارتی بتن معمولی به‌ضخامت ۲/۵ m است و به‌همین‌دلیل مقاومت حرارتی بتن سبک AAC امروزه بسیار موردتوجه قرار گرفته‌است. به‌این‌ترتیب می‌توان مقاومت‌های حرارتی مصالح مختلف معادل با بتن AAC را در جدولی مقایسه کرد.

ازآن‌جاکه ضریب هدایت حرارتی مواد با وزن مخصوص آن‌ها رابطهٔ مستقیم دارد، در شکل زیر هدایت حرارتی عناصر مختلف با وزن مخصوص در محدودهٔ بین ۳۰۰ تا ۲۴۰۰ کیلوگرم در مترمکعب نشان داده شده‌است.



شکل ۲ـ۳۱ رابطهٔ بین وزن مخصوص و ضریب هدایت حرارتی بتن.

بنابراین یکی از مهم‌ترین خواص بتن سبک AAC هدایت حرارتی کم آن‌هاست. یکی از تولیدکنندگان ضریب هدایت حرارتی انواع بلوک‌های تولیدی بتن سبک AAC را با هم مقایسه کرده که نتایج آن در جدول بعد ارائه شده‌است.

جدول ۲ـ۴ نمونه‌ای از مقایسهٔ هدایت حرارتی انواع بلوک‌های بتن AAC.

مشخصات بلوک	وزن مخصوص خشک (kg/m^3)		ضریب هدایت حرارتی در وضعیت خشک (W /m.k)	ضخامت بلوک (mm)	مقاومت حرارتی در وضعیت خشک (R_{dry}) ($m^2.k/W$)	مقاومت حرارتی در وضعیت ۵٪ رطوبت ($R_{\delta MC}$) ($m^2.k/W$)
بلوک عایق	۴۷۰		۰/۱۱	۱۰۰	۰/۸۶	۰/۷۱
				۱۵۰	۱/۲۹	۱/۰۷
				۲۰۰	۱/۷۲	۱/۴۳
				۲۵۰	۲/۱۵	۱/۷۹
				۳۰۰	۲/۵۸	۳/۱۵
پانل	۵۵۰	سقفی	۰/۱۳	۱۰۰	۰/۷۲	۰/۶
				۱۵۰	۱/۰۹	۰/۹
				۲۰۰	۱/۴۵	۰/۱۲
				۲۵۰	۱/۸۱	۱/۵۱
				۳۰۰	۲/۱۸	۱/۸۱
	۵۸۰	دیواری	۰/۱۴	۱۰۰	۰/۶۸	۰/۵۷
				۱۵۰	۱/۰۳	۰/۸۵
				۲۰۰	۱/۳۷	۱/۱۴
				۲۵۰	۱/۷۱	۱/۴۳
				۳۰۰	۲/۰۶	۱/۷۱
بلوک باربر و نعل درگاه	۶۵۰		۰/۱۶	۱۰۰	۰/۶	۰/۵
				۱۵۰	۰/۹۱	۰/۷۶
				۲۰۰	۱/۲۱	۱/۰۱
				۲۵۰	۱/۵۲	۱/۲۶
				۳۰۰	۱/۸۲	۱/۵۲

$R_{\delta MC}$: مقاومت حرارتی درحالتی است که قطعه ۵٪ رطوبت دارد.

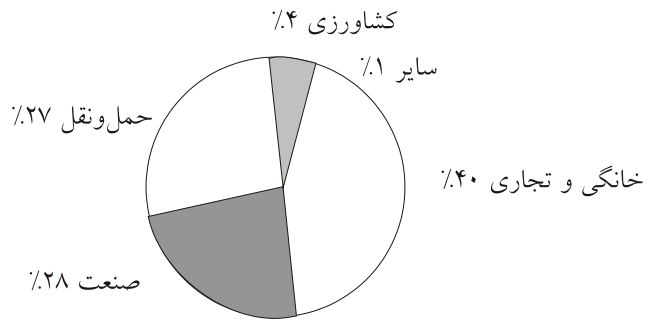
تغییرات رطوبت در مقدار ضریب هدایت حرارتی اثرگذار است، به‌طوری‌که تغییر رطوبت از صفر تا ۲۰ درصد در بتن‌های سبک AAC موجب افزایش ضریب هدایت حرارتی تا دوبرابر می‌شود و از مقاومت حرارتی آن می‌کاهد. در جدول بعد روابط بین وزن مخصوص و ضریب هدایت حرارتی در بتن AAC را ملاحظه می‌کنید.

جدول ۲ـ۵ نمونه‌ای از خواص حرارتی بتن گازی در وزن مخصوص‌های مختلف.

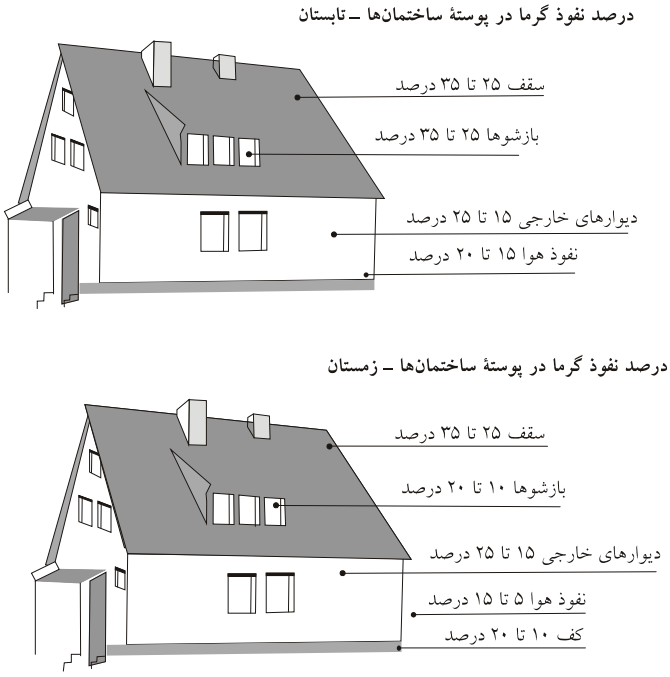
وزن مخصوص خشک (kg/m^3)	مقاومت فشاری (kg/m^3)	هدایت حرارتی در رطوبت ۲٪ ($m^2.k/W$)
۴۵۰	۳/۲	۰/۵۵
۵۲۵	۴/۰	۰/۶۵
۶۰۰	۴/۵	۰/۷۴
۶۷۵	۶/۳	۰/۸۳
۷۵۰	۷/۵	۰/۹۳

مزایای عایق‌کاری حرارتی ساختمان‌ها:

۱. صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌ها؛
۲. ایجاد شرایط مناسب حرارتی در داخل ساختمان حتی در شرایط جوی بسیار گرم و بسیار سرد؛
۳. حفاظت محیطی از ساختمان دربرابر تغییرات آب‌وهوا به‌منظور پیشگیری از ایجاد رطوبت آسیب‌رسان؛
۴. کاهش انرژی مصرفی که علاوه‌بر صرفه‌جویی باعث کاهش انتشار در جو و گرم شدن دمای کرهٔ زمین می‌گردد؛
۵. کاهش اندازه و حجم تجهیزات موردنیاز برای گرمایش و سرمایش؛
۶. امروزه ۴۰٪ از کل انرژی مصرفی در کشور مربوط به مصارف خانگی است که از این رقم حدود ۳۰٪ ازطریق دیوارهای خارجی، ۱۶٪ ازطریق سقف، ۱۲٪ ازطریق زیرزمین، ۱۱٪ ازطریق پنجره‌ها، ۱۲٪ ازطریق جریان هوا از درزهای ساختمان، ۱۴٪ ازطریق تأسیسات مکانیکی گرمایشی یا سرمایشی و بالاخره ۵٪ ازطریق سیستم روشنایی تلف می‌شود.



شکل ۲ـ۳۲ وضعیت مصرف انرژی در بخش‌های مختلف در ایران.



شکل ۲ـ۳۳ درصد نفوذ گرما در پوستهٔ ساختمان در تابستان و زمستان.

مزایای ناشی از ضریب هدایت حرارتی مناسب بتن AAC به‌صورت خلاصه به‌ترتیب زیر است:
۱. کاهش هزینه‌های سرمایش و گرمایش (صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی در مدت بهره‌برداری)؛
۲. گسترش نیافتن شعله در مواقع آتش‌سوزی (آهنگ بسیار کند انتقال حرارت)؛
۳. نیاز نداشتن به عایق‌کاری حرارتی اضافی در ساختمان (حذف عایق‌کاری).

۲ـ۶ـ۴ مقاومت دربرابر آتش و سرایت آن

معمولاً در استانداردهای معتبر، مقاومت بتن درمقابل آتش را برمبنای تعداد ساعاتی که عضو سازه‌ای می‌تواند آتش را تحمل کند، بیان می‌کنند و به آن «درجهٔ مقاومت آتش»[1] می‌گویند. درجهٔ مقاومت آتش بتن مسلح معمولی بین یک تا شش ساعت و تابع نوع عضو، ضخامت عضو، ضخامت پوشش و نوع بار است.

برای مثال، براساس استاندارد انگلستان (BS ۸۱۱۰) چنان‌چه ضخامت دال سقف بتن آرمهٔ معمولی ۹۵ mm باشد و ضخامت پوشش ۲۰ mm و دال، یکسره فرض شود، درجهٔ مقاومت آتش آن دال یک ساعت خواهد بود. اگر همان دال با ضخامت ۱۷۰ mm و ضخامت پوشش ۴۵ mm درنظر گرفته شود، درجهٔ مقاومت آتش آن به چهار ساعت افزایش می‌یابد.

1. fire-resistance value.

محصولات AAC غیرقابل‌احتراق هستند بنابراین درصورت بروز آتش‌سوزی از گسترش آتش به سایر اتاق‌ها جلوگیری می‌کنند و چنان‌چه دربرابر آتش قرار بگیرند، هیچ‌گونه گاز یا بخار سمی تولید نمی‌کنند.

سیستم‌های AAC شامل دیوارهای داخلی و خارجی و پانل‌های کف و سقف، مقاومت زیادی دربرابر آتش دارند (نسبت‌به بیش‌تر مصالح رایج) که به‌دلیل دارا بودن این ویژگی می‌توان از آن‌ها در تمامی ساختمان‌ها استفاده کرد. آب موجود در ساختار کریستالی بتن AAC اثر مثبتی در مهار حرارت دارد و هم‌چنین بافت متخلخل این بتن امکان خروج بخار آب از آن را بدون صدمه دیدن فراهم می‌آورد.

به‌طور کلی، الزامات مربوط به مقاومت ساختمان‌ها دربرابر آتش از دستورالعمل‌های هر کشور و الزامات ویژهٔ ساختمان‌ها و دستورالعمل‌های اجرایی گرفته شده‌است. بسته به پلان و ارتفاع ساختمان اعضای ساختمان مانند دیوارها، سقف‌ها، تکیه‌گاه‌ها، و هم‌چنین مصالح ساختمانی باید با الزامات مشخصی هم‌خوانی داشته‌باشند. در این‌جا رده‌بندی فنی مصالح و عناصر ساختمان باتوجه‌به مقاومت دربرابر آتش طبق استاندارد DIN ۴۱۰۲ یا استاندارد متناظر EN آن برای مقاومت دربرابر آتش ذکر می‌شود.

الزامات عناصر ساختمان ساخته‌شده از بتن هوادار اتوکلاوشده طبق DIN ۴۱۰۲

برطبق استاندارد DIN ۴۱۰۲ بخش دوم قسمت d ملاط، بتن، بتن مسلح، بتن هودار اتوکلاوشده، بتن سبک و ... در ردهٔ A۱ مصالح ساختمانی قرار دارند و غیرقابل‌احتراق فرض می‌شوند. باتوجه‌به این اطلاعات، تمامی محصولات بتن هوادار اتوکلاوشده که در جدول زیر منظور شده‌اند، جزو این طبقهٔ مصالح ساختمانی هستند و حتی اگر سطح آن‌ها با رنگ برپایهٔ پراکنش[1] یا رزین آلکید و یا کاغذ دیواری معمولی پوشانده شود، تفاوتی ندارد. به‌طور مشابه، ملاط‌هایی که از خرده‌های بتن هوادار اتوکلاوشده ساخته می‌شوند و به‌عنوان اندود نازک روی قطعات بنایی به‌کار می‌روند، در ردهٔ مصالح ساختمانی A۱ جا می‌گیرند.

اگر از رزین‌هایی مانند رزین پلی‌استر غیراشباع یا وینیل اکریلیک یا رزین برپایهٔ پراکنش، به‌عنوان یک عامل چسباننده (به‌جای سیمان) استفاده شود، با ردهٔ چسب‌ها سروکار خواهیم داشت. ردهٔ ۲ مصالح ساختمانی مربوط به طبقهٔ چسب‌هاست که به‌منظور چسباندن قطعات تشکیل‌دهندهٔ دیوار ساخته‌شده از بتن هوادار اتوکلاوشده برای دیوارهای باربر و غیرباربر، درصورت تأیید فنی، به‌کار می‌روند. چنان‌چه ضخامت اتصالات چسبی در بتن هوادار اتوکلاوشده بیش‌تر از ۳ mm نباشد (در کار ساختمانی به‌عنوان یک قانون، اتصالات چسبی باید ۱/۵ mm باشند)، قابلیت احتراق چسب ازنظر فناوری مقاومت دربرابر آتش، دراین‌حالت بی‌تأثیر است و هیچ تأثیری بر مقاومت عناصر سازه دربرابر آتش ندارد (استاندارد DIN ۴۱۰۲ در بخش دوم قسمت d را ببینید).

1. dispersion.

اندودکاری‌های نهایی باتوجه‌به استاندارد DIN ۱۸۵۵۰_۲ و هم‌چنین افزودنی‌های معمول به‌طور یکسان جزو ردهٔ A۱ مصالح ساختمانی هستند.

اگر افزودنی‌های تشکیل‌شده از مواد آلی بیش‌ازحد تعیین‌شده در استاندارد DIN ۱۸۵۵۰_۲ باشند، ویژگی غیرقابل‌احتراق ازدست خواهد رفت.

جدول ۲_۶ اجزای ساختمان ساخته‌شده از بتن هوادار اتوکلاوشده در کاربردهای معمول به‌همراه ابعاد و مقررات.

عنصر سازه‌ای	ابعاد به mm	مقررات و استاندارد مربوطه
قطعات بنایی AAC با لایهٔ نازک ملاط	غیرباربر: طول: ۶۲۴، ۵۹۹، ۴۹۹، ۳۹۹، ۳۳۲ ارتفاع: ۲۴۹ ضخامت: ۵۰ تا ۱۵۰	DIN ۱۰۵۳ DIN ۴۱۶۶
	باربر: طول: ۶۲۴، ۵۹۹، ۴۹۹، ۳۹۹، ۳۳۲ ارتفاع: ۲۴۹ ضخامت: ۱۱۵ تا ۳۶۵	DIN ۱۰۵۳ DIN ۴۱۶۵
	باربر: طول: ۹۹۹، ۷۴۹، ۵۹۹، ۴۹۹، ارتفاع: ۶۲۳، ۵۹۹، ۴۹۸ ضخامت: ۱۱۵ تا ۳۶۵	DIN ۱۰۵۳ با تأییدیهٔ فنی
قطعات مسلح برای بام و کف (ساخته‌شده از AAC)	طول ≥ ۸۰۰۰ میلی‌متر ارتفاع ≥ ۷۵۰ میلی‌متر ضخامت: ۱۰۰ تا ۳۰۰ با فواصل ۲۵ تایی	DIN ۴۲۲۳ با تأییدیهٔ فنی
قطعات مسلح AAC برای دیوارهای غیرباربر	طول ≥ ۸۰۰۰ میلی‌متر ارتفاع ≥ ۷۵۰ میلی‌متر ضخامت: ۱۰۰ تا ۳۷۵، با فواصل ۲۵ تایی	DIN ۴۲۲۳ با تأییدیهٔ فنی
قطعات مسلح AAC برای دیوارهای باربر	طول ≥ ۳۵۰۰ میلی‌متر ارتفاع ≥ ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر ضخامت: ۱۰۰ تا ۳۷۵، با فواصل ۲۵ تایی	DIN ۴۲۲۳ با تأییدیهٔ فنی
نعل درگاه AAC برای دیوارهای غیرباربر	طول: ۱۱۹۰ تا ۱۳۴۹ ارتفاع: ۲۴۹ ضخامت: ۷۵ تا ۱۵۰	DIN ۴۲۲۳ با تأییدیهٔ فنی
نعل درگاه AAC برای دیوارهای باربر	طول: ۱۲۲۹ تا ۲۲۴۹ ارتفاع: ۲۴۹ ضخامت: ۱۷۵ تا ۳۶۵	DIN ۴۲۲۳ با تأییدیهٔ فنی

برای امنیت یک ساختمان دربرابر آتش، نه‌تنها غیرقابل‌احتراق بودن مصالح ساختمانی مهم است، بلکه مدت‌زمان مقاومت عناصر ساختمان دربرابر آتش نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. عناصر ساختمانی شامل بتن هوادار اتوکلاوه‌شده برطبق زمان درجه‌بندی‌شدهٔ مقاومت دربرابر آتش در جدول‌های مربوط به DIN ۴۷۰۲ـ۴ رده‌بندی شده‌اند.

دیوارهای مقاوم دربرابر آتش

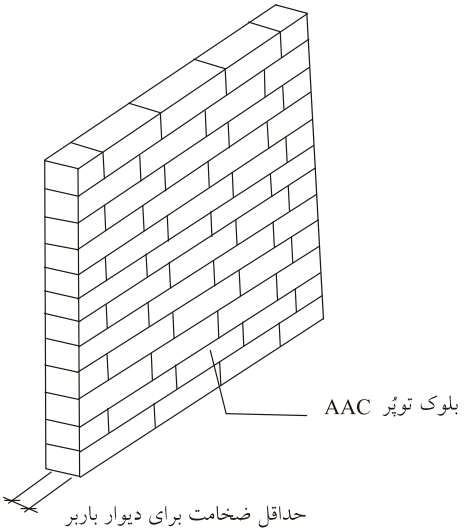
طبق دستوالعمل‌های بین‌المللی، دیوارهای مقاوم دربرابر آتش، برای جداسازی محفظه‌ها یا قسمت‌های درحال سوختن از بخش‌های دیگر به‌کار می‌روند و به‌منظور جلوگیری از گسترش آتش به سایر ساختمان‌ها یا بخش‌های دیگر ساختمان طراحی می‌شوند.

از محصولات AAC (به‌صورت بلوک یا پانل)، به‌عنوان دیوارهای جداساز مقاوم دربرابر آتش، در خانه‌های مسکونی، آپارتمان‌ها، مجتمع‌های آپارتمانی و سایر منازل استفاده می‌شود. انواع محصولات AAC هم‌چنین برای هتل‌ها، متل‌ها، خوابگاه‌ها، ساختمان‌های مسکونی، بازداشتگاه‌ها، مراکز اصلاح و تربیت، مدارس، سینماها، راهروهای خروجی (یا راهروهای خروجی اضطراری)، دیوارهای دودکش و دیوارهای پلکانی مناسب است. مصارف صنعتی این محصول نیز شامل اتاق‌های دارای تجهیزات (الکتریکی یا مکانیکی)، اتاق‌های کامپیوتر، اتاق‌های کنفرانس، محل‌های ذخیره‌سازی مواد قابل‌اشتعال، اتاق‌های بایگانی و ذخیرهٔ مدارک، انبارها، اتاق‌های خشک‌شویی و رخت‌شویی، اتاق‌های دیگ بخار، اتاق‌های ژنراتور اضطراری، اتاق‌های کنترل تولید، اتاق‌های کنترل رطوبت و اتاق‌های سوزاندن زباله است.

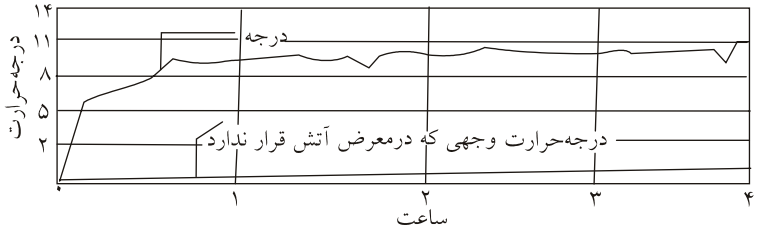
دیوارهای مقاوم دربرابر آتش ساخته‌شده از بتن هوادار اتوکلاوشده، باید الزامات جدول ۴۵ استاندارد DIN ۴۷۰۲ـ۴ را دربارهٔ لاغری و ضخامت و فاصلهٔ محور تا محور میلگردهای طولی درمورد قطعات مسلح برآورده کند. اتصالات بین قطعات دیوار غیرباربر AAC با اعضای سازه‌ای بتن مسلح یا فولادی باید طبق استاندارد DIN ۴۷۰۲ـ۴ انجام شوند. برای اتصال دیوارهای بنایی ساخته‌شده از بتن هوادار اتوکلاوشده به عناصر ساختمانی مجاور باید تمامی اتصالات سیمانی طبق استاندارد DIN ۱۰۵۳ـ۲ یا اطلاعات مندرج در استاندارد DIN ۴۷۰۲ـ۴ انجام شود. در جدول و اشکال زیر درجهٔ مقاومت دربرابر آتش یک نمونه از محصولات AAC مطابق با ردهٔ UL ارائه شده‌است.

جدول ۲ـ۷ درجهٔ مقاومت دربرابر آتش نمونه‌ای از انواع محصولات AAC.

نوع عضو (ساختمانی)	درجهٔ مقاومت دربرابر آتش	حداقل ضخامت قطعات (mm) AAC	مرجع
دیوار: بلوکی ـ باربر	سه ساعت	۱۵۰	UL U ۹۱۹
دیوار: بلوکی ـ غیرباربر	چهار ساعت	۱۰۰	UL U ۹۱۹
دیوار: بلوکی ـ غیرباربر	دو ساعت	۴۵	UL U ۹۱۹
دیوار: پانل ـ باربر	چهار ساعت	۱۵۰	UL U ۹۲۰
دیوار: پانل ـ غیرباربر	چهار ساعت	۱۵۰	UL U ۹۲۰
دیوار: پارتیشن ـ غیرباربر	سه ساعت	۱۰۰	MSTM E ۱۱۹
پانل‌های بام و کف	چهار ساعت	۱۵۰	UL K ۹۰۹ & P ۹۳۲
محافظت از ستون فولادی	چهار ساعت	۱۰۰ برای بلوک‌ها و ۲۰۰ برای پانل	UL X ۹۰۱



بلوک AAC درجهٔ مقاومت دربرابر آتش مساوی چهار ساعت (ANSI/UL ۲۶۳).



شکل ۲ـ۳۴ درجهٔ مقاومت دربرابر آتش یک نمونهٔ دیوار ساخته‌شده از بلوک‌های AAC با ضخامت ۱۵ cm.

بتن AAC مقاوم دربرابر آتش دارای ویژگی‌های زیر است:

۱. از مواد غیرقابل‌اشتعال تهیه می‌شود؛

۲. هنگامی‌که درمعرض آتش قرار می‌گیرد، هیچ‌گونه سم یا گازی از آن خارج نمی‌شود؛

۳. دارای بیش‌ترین مرتبه ازنظر UL در محصولات کارخانه‌ای است.

۲ـ۶ـ۵ عملکرد وضعیت صوتی[1] بتن AAC

ابتدا باید دانست که دو اصطلاح «صوت»[2] و «صدا»[3] هم‌معنی نیستند، درواقع صوت هر چیز قابل‌شنیدن است درحالی‌که صدا صوتی ناخوشایند و بلند است.

دو مؤلفهٔ مهم صوت، بسامد (فرکانس) و دامنهٔ نوسان است که بسامد، تعداد حلقه‌های طول‌موج در ثانیه و دامنه مربوط به بلندی صوت است. واحد اندازه‌گیری بسامد، هرتز (Hz) است که میزان شدت صوت (SPL) را که با دسی‌بل (db) اندازه‌گیری می‌شود، توصیف می‌کند. بسامد به صدا زیر و بمی می‌دهد. صداهای زیر مانند صدای سوت بسامد بالا و طول‌موج کوتاه و صداهای بم مانند صدای شیپور بسامد پایین و طول‌موج بلند دارند. گوش انسان صداهایی با بسامد ۲۰ تا ۳۰ هزار هرتز را تشخیص می‌دهد، و درمورد شدت صوت، گوش انسان نسبت‌به صداهایی با شدت صفر تا db ۱۳۰ حساس است که آن‌ها را به‌ترتیب «آستانهٔ شنوایی» تا «آستانهٔ دردناکی» می‌گویند.

میزان شدت صوت از مقیاس لگاریتمی پیروی می‌کند. بنابراین افزایش به‌میزان db ۱۰ تقریباً بلندی صوت را دوبرابر می‌کند، درحالی‌که کاهش به‌میزان db ۲۰ در حدود یک‌چهارم بلندی صوت را کم می‌کند.

نکتهٔ مهم این است که گوش انسان به بسامدهای بالا بیش‌تر از بسامدهای پایین حساسیت دارد و به‌همین‌دلیل در اندازه‌گیری میزان شدت صوت، ضریب تصحیح (عامل توزین $A_۳$) را دخالت می‌دهند که درک انسان از صداها را شبیه‌سازی می‌کند.

میزان شدت صدا که با محاسبهٔ عامل وزن‌یافته به‌دست می‌آید، با واحد db A بیان می‌شود. این مقدار را نباید با میزان شدت صدا که با واحد db ارائه می‌گردد، اشتباه گرفت.

آلودگی صوتی در زندگی ماشینی و شهرهای بزرگ موجب سلب آسایش انسان شده‌است. بنابراین، باید مقرراتی را برای کاهش آلودگی صوتی تاحد مجاز و قابل‌قبول در ساختمان‌های اداری، آموزشی، بهداشتی و به‌ویژه مسکونی وضع و اجرا کرد. زیرا کنترل نوفه (صدای ناخواسته) در ساختمان تأثیر زیادی بر سلامتی و حفظ آرامش ساکنان دارد؛ به‌ویژه در ساختمان‌های چندواحدی که نیاز به محیطی آرام، بیش‌تر است. بنابراین در ساخت دیوارهای محیطی خارجی و هم‌چنین تیغه‌های جداکنندهٔ داخلی باید از مصالحی استفاده کرد که با حداقل وزن، بیش‌ترین صدابندی را ایجاد می‌کنند. قبل‌از پرداختن به قابلیت و عملکرد ضدصوتی (آکوستیکی) بتن AAC، دربارهٔ ماهیّت امواج صوتی نکاتی را یادآور می‌شویم.

---

1. acoustic.
2. sound.
3. noise.

امواج به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند: یکی امواج الکترومغناطیسی مثل نور که برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارد و دیگری امواج مکانیکی مثل صوت که در محیط مادی منتشر می‌شوند. پس بنابر این تعریف، صوت در خلأ منتشر نمی‌شود.

سرعت انتشار امواج که درواقع سرعت پیشروی موج صوتی است، به ویژگی‌های فیزیکی محیط مثل جنس و دما وابسته است، ولی به شرایط فیزیکی چشمهٔ موج مثل تواتر، دامنه و ... بستگی ندارد. پس هرچه ماده متراکم‌تر باشد، سرعت انتشار صوت در آن بیش‌تر است، زیرا در مادهٔ متراکم مولکول‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند.

فاصله‌ای که موج در یک چرخه طی می‌کند یا فاصلهٔ بین دو نقطهٔ مشابه از امواج پی‌درپی «طول‌موج» نامیده می‌شود. رابطهٔ بین طول‌موج (λ) برحسب متر و تواتر (F) برحسب هرتز و سرعت صوت (C) برحسب متر در ثانیه برابر است با: $\lambda = \frac{C}{F}$

امواج کم‌تواتر با طول‌موج بلند و امواج با تواتر زیاد با طول‌موج کوتاه مشخص می‌شوند. تواتر صدا درواقع تعداد دفعاتی است که چرخهٔ تراکم و انبساط هوا در واحد زمان روی می‌دهد. برای مثال، اگر هزار چرخه در یک ثانیه روی دهد، تواتر صدا ۱۰۰ Hz است.

صوت هنگام انتشار، لایهٔ هوای مجاور خود را متراکم می‌کند و چگالی و فشار آن را درحالت تعادل افزایش می‌دهد. این لایهٔ متراکم نیز لایهٔ مجاورش را متراکم می‌کند. انتشار صوت در هوا درحقیقت آشفتگی به‌صورت لایه‌های تراکمی و انبساطی با لایه‌های کم‌فشار و پرفشار است. بنابراین هنگام انتشار امواج در محیط ذره‌های محیط منتقل نمی‌شوند بلکه حول نقطهٔ تعادل خود حرکت نوسانی انجام می‌دهند.

سرعت انتشار صوت در محیط‌های مختلف چنین است:

ـ گازها	۳۱۶ تا ۹۶۵	متر در ثانیه
ـ مایعات	۱۴۵۰ تا ۱۵۳۰	متر در ثانیه
ـ جامدات	۲۱۰۰ تا ۶۰۰۰	متر در ثانیه

شدت صوت

شدت صوت (I) عبارت است از: مقدار انرژی‌ای (E) که در واحد زمان (t) به واحد سطح (A) عمود بر راستای انتشار می‌رسد و واحد آن W/m^2 است و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

الف) $$I = \frac{E}{A.t}$$

ب) $$I = \frac{\rho}{A}$$

در رابطهٔ دوم ρ توان منبع صدا برحسب وات بر ثانیه است. شدت صوت با مجذور فاصله از چشمهٔ صوت نسبت عکس دارد. مثلاً اگر شدت صوت در فاصله چهارمتری از منبع صوت برابر یک باشد، شدت آن در فاصلهٔ بیست‌متری ۲۵ مرتبه کاهش می‌یابد.

تراز شدت صوت

هرچه شدت صوت بیش‌تر باشد، مقدار انرژی‌ای که گوش دریافت می‌کند، بیش‌تر است و انسان صدا را بلندتر می‌شنود، اما بلندی صوت با شدت آن نسبت مستقیم ندارد. اگر شدت صوت دوبرابر شود، بلندی صدایی که می‌شنویم دوبرابر نمی‌شود. حال باید تراز شدت صوت را تعریف کنیم.

تراز شدت یک صوت عبارت است از: لگاریتم در پایهٔ ده و نسبت شدت آن صوت به شدت صوت مبنا. تراز صوت را با β و یکای آن را با «بل»[1] (b) و دسی‌بل (db) نشان می‌دهند. (هر بل برابر ۱۰ db است). شدت صوت مبنا (که برابربا آستانهٔ شنوایی گوش سالم است) در بسامد ۱۰۰۰ Hz برابر $۱۰^{-۱۲}$ $W/m^۲$ درنظر گرفته شده‌است.

$$\beta = ۱۰ \text{Log} \frac{۱}{۱۰}$$

مثلاً چون شدت صوت در آستانهٔ دردناکی گوش ۱ $W/m^۲$ است، بنابراین تراز شدت صوت آن برابربا ۱۲۰ db است.

$$\beta = ۱۰ \text{Log} \frac{۱}{۱۰^{-۲}} = ۱۲۰ \text{db}$$

در جدول زیر، شدت صوت‌های مختلف برحسب $W/m^۲$ و تراز شدت صوت آن‌ها را برحسب db مشاهده می‌کنید.

جدول ۲ـ۸ شدت و تراز شدت صوت‌های مختلف برحسب $W/m^۲$ و db برای انسان.

انواع صوت‌ها	شدت صوت $W/m^۲$	تراز شدت صوت (db)
شدت صوت مبنا	$۱۰^{-۱۲}$	۰
نفس کشیدن	$۱۰^{-۱۱}$	۱۰
برگ درختان در نسیم	$۱۰^{-۱۰}$	۲۰
صحبت کردن در فاصلهٔ یک‌متری	$۱۰^{-۸}$	۴۰
همهمه در فروشگاه‌های بزرگ	$۱۰^{-۶}$	۶۰
سروصدای ترافیک در خیابان‌های شلوغ	$۱۰^{-۵}$	۷۰
آستانهٔ دردناکی	۱	۱۲۰
صدای مسلسل جنگی	۱۰	۱۳۰
غرش هواپیما درحین برخاستن	$۱۰^۲$	۱۴۰

۱. این نام‌گذاری به‌افتخار بِل (Belle)، فیزیکدان آمریکایی و مخترع تلفن انجام شد.

شاخص کاهش صدا

شاخص کاهش صدا (R) که «افت صوتی» یک جدار نامیده می‌شود، عبارت است از: کاهش ارزش ناشی از برخورد صدای (که فضا محیط انتشار آن است) به جدار موردنظر با مقیاس db. هرچه عدد این کمیت بزرگ‌تر باشد، بهتر جلوی صدا گرفته می‌شود. میزان حد انتقال صدا بین تیغه‌های ساختمان‌ها، به‌ویژه در منازل، اهمیت ویژه‌ای دارد.

جدول ۲ـ۹ حداقل شاخص صدای وزن‌یافتهٔ موردنیاز برای جداکننده‌ها در ساختمان‌های مسکونی.

عنوان	حداقل شاخص صدا (db)
جداکنندهٔ اتاق‌خواب از فضای بیرونی ساختمان	۴۵
جداکنندهٔ اتاق نشیمن از فضای بیرونی ساختمان	۴۰
جداکنندهٔ آشپزخانه از فضای بیرونی ساختمان	۳۵
جداکنندهٔ اتاق‌خواب و اتاق تلویزیون در یک واحد مسکونی	۴۰
جداکنندهٔ اتاق خواب و سایر فضاها جز اتاق تلویزیون	۳۰
جداکنندهٔ دو واحد مجاور و مستقل	۵۰

در این‌جا جدول شمارهٔ ۱۸ـ ۲ـ ۲ مبحث ۱۸ (عایق‌بندی صدا) مقررات ملی ساختمان نقل می‌شود.

جدول ۲ـ۱۰ تأثیر انواع صدا و میزان انتقال آن برحسب db.

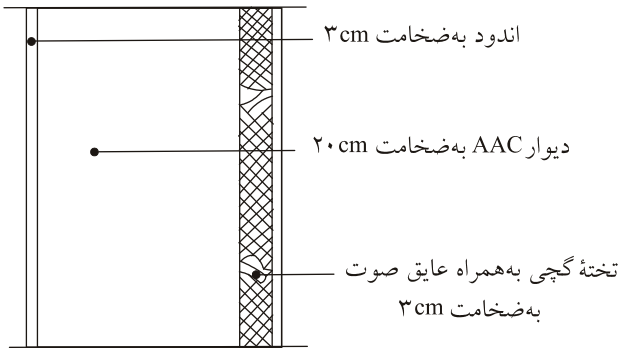
تأثیر صدا	میزان انتقال صدا برحسب db
گفتگوی عادی را می‌توان کامل و به‌راحتی فهمید.	۲۵
صحبت یا صدای بلند شنیده می‌شود ولی مفهوم نیست.	۳۵
شنیدن صدا با زحمت زیاد ممکن است	۴۵
صداهای بلند به‌سختی شنیده می‌شوند	۴۸
صداهای بلند شنیده نمی‌شوند.	۵۰

براین‌اساس، مزایای ضدصوتی بتن AAC از این قرارند: بتن متخلخل AAC در مقایسه با مصالح دیگر در ضخامت یکسان جرم حجمی کم‌تری دارد و همان‌گونه‌که ذکر شد، قابلیت صدابندی مصالح ساختمانی عمدتاً به جرم حجمی آن‌ها بستگی دارد. بنابراین واضح است که صدابندی این نوع بتن بسیار بهتر است؛ به‌ویژه پوشیدن دیوار با اندود گچ یا سفیدکاری قابلیت این صدابندی را افزایش خواهد داد.

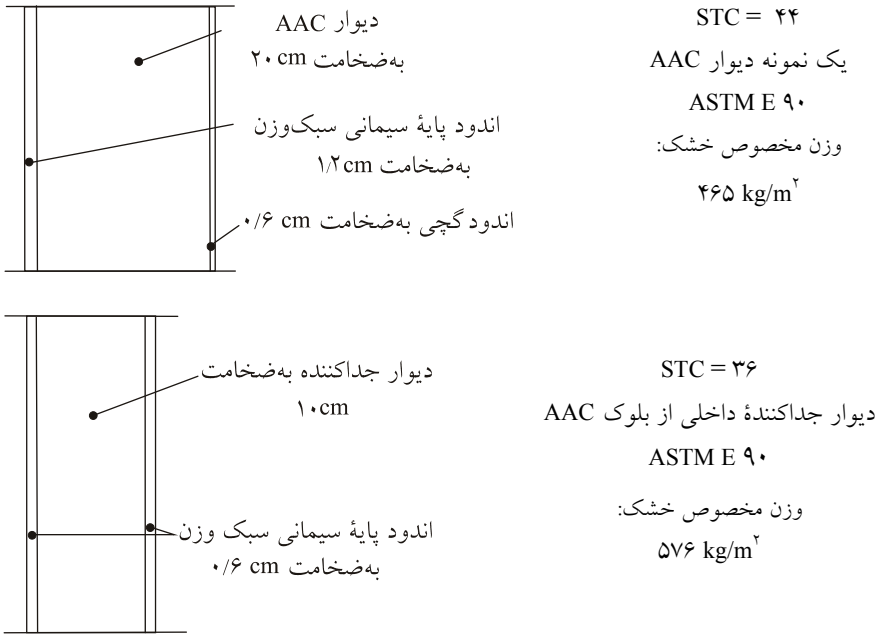
اصولاً در ساخت مصالح برای عایق صوتی خوب باید سوراخ‌ها و مسیرهای مسدودی ایجاد شود تا نوفه و صداهای ناخواسته را کنترل کند و با داشتن جرم سطحی زیاد استهلاک انرژی لرزشی را در ساختار خود داشته‌باشد.

باتوجه‌به روش و جزئیات ساخت بتن AAC، ضمن حذف مواردی که سبب عبور صوت می‌گردد، درنهایت دیواری ساخته می‌شود که عایق صوتی مناسبی برای ساکنان خواهد بود.

براساس نتایج آزمایش‌های انجام‌شده روی دیوارهای ساخته‌شده از بلوک AAC، به‌دلیل یکسان بودن جرم واحد سطح برای پانل‌های مسلح و غیرمسلح، مقاومت‌های صوتی هریک از این پانل‌ها مناسب و قابل‌قبول است.

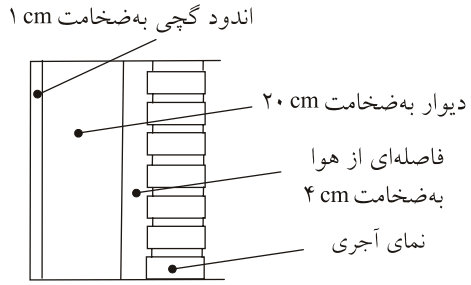


شکل ۲ـ۳۵ مقدار انتقال صوت وزن‌یافته برای یک نمونه دیوار ساخته‌شده از بتن AAC.

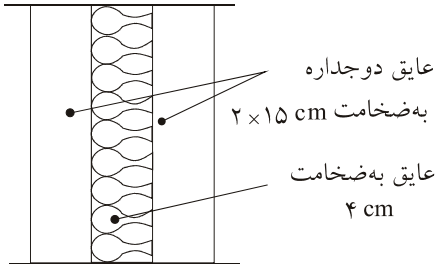


شکل ۲ـ۳۶ مقدار انتقال صوت وزن‌یافته برای دو نمونه دیوار ساخته‌شده از AAC با وزن‌های مخصوص تفاوت.

شکل زیر نشان‌دهندهٔ درجهٔ تراگسیل (ردهٔ انتقال صوت (STC)) صدای وزن‌یافته برای یک نمونه دیوار ساخته‌شده از AAC است که طبق DIN ۴۱۰۹ و ASTM E ۹۰ انجام شده‌است.



STC = ۵۷
بلوک AAC با نمای آجری
DIN ۴۱۰۹



STC = ۶۵
دیوار مجوف (عایق در وسط دیوار)
DIN ۴۱۰۹

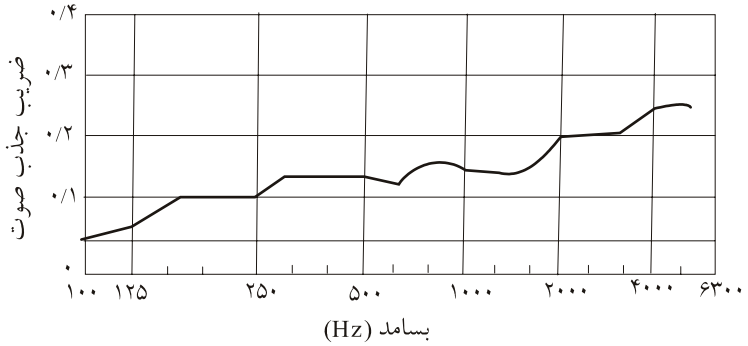
شکل ۲ـ۳۷ مقدار انتقال صوت وزن‌یافته برای دو نمونه دیوار ساخته‌شده از AAC و عایق‌های متفاوت.

جذب صوت

جذب صوت یکی از خواص مهم دیوار، سقف و کف است. با کاربرد قطعات AAC انتقال صوت از منابع داخلی مانند ماشین‌آلات یا تجهیزات تاحد زیادی کاهش می‌یابد.

جدول‌های زیر نشان‌دهندهٔ جذب صوت بتن متخلخل AAC بدون پوشش یا بدون رنگ‌آمیزی است. ضریب کاهش نوفه (NRC) سطح AAC قابلیت جذب صوت خوبی را بدون اندازه‌گیری اضافی نشان می‌دهد.

بسامد Hz	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰
	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۲۲



شکل ۲ـ۳۸ مقدار جذب صوت برای یک نمونه دیوار ساخته‌شده از AAC.

درنهایت می‌توان مزایای آکوستیکی بتن متخلخل AAC را به‌ترتیب زیر برشمرد:

۱. در کاهش انتقال صوت ناشی از منابع تولید صوت داخلی مانند ماشین‌آلات دفتری و تجهیزات بسیار مؤثر است.
۲. سطح این بتن قابلیت جذب صوت بسیار خوبی دارد و به‌همین‌دلیل کاهش‌دهندهٔ بسیار مؤثری در ضریب نوفه است.
۳. برای ساختمان‌هایی که نیاز به کنترل نوفه دارند مثل مدارس، هتل‌ها، بیمارستان‌ها، اداره‌ها و ... بسیار مفید است.

۲ـ۶ـ۶ عملکرد عایق رطوبتی بتن AAC

ورود رطوبت چه از منابع داخلی و چه از منابع خارجی سبب آسیب رساندن به ساختمان می‌شود. بنابراین، محافظت از اجزای ساختمان دربرابر ورود رطوبت از اولین مواردی است که باید در طراحی و جزئیات اجرایی مدنظر قرار گیرد. معمولاً رطوبتی که از خارج ساختمان وارد می‌شود ممکن است از آب باران یا خاک تأمین شود. هم‌چنین، میعان رطوبت روی دیوارهای داخلی، اغلب به‌عنوان منبع تأمین رطوبت در داخل ساختمان محسوب می‌شود. رطوبت در دیوارها موجب رشد قارچ و کپک، بی‌رنگ شدن و خرابی اندود و نمای دیوارها می‌شود. وجود رطوبت در دیوارها یا سقف‌هایی که درمقابل رطوبت مقاوم هستند ازنظر سلامتی و محیط‌زیست نامطلوب است. هدف از درنظر گرفتن ملاحظاتی درخصوص جلوگیری از ورود رطوبت از منابع داخلی یا خارجی، جلوگیری از خرابی ساختمان و ایجاد راحتی و آسایش است.

آب به‌خودی‌خود برای بتن گازی مضر نیست ولی ممکن است در مدت کوتاه تأثیراتی بر عملکرد آن داشته‌باشد. چنان‌چه رطوبت AAC از حدی فراتر رود، هدایت حرارتی آن زیاد می‌شود. در مواردی که خواص ذاتی ماده‌ای که به‌عنوان مصالح ساختمانی به‌کار می‌رود، مانع نفوذ آب شود یا اجازهٔ تراوش به آن دهد، ارائهٔ جزئیات اجرایی مناسب تعیین‌کننده خواهد بود. مصالح AAC به این علت که دارای سوراخ‌های

ریز متصل به‌هم نیستند، عمل مویینگی در آن‌ها کم است و آب به عمق آن‌ها نفوذ نمی‌کند. فقط جدارهٔ سطحی مصالحی که در تماس مستقیم با آب هستند، ممکن است تحت‌تأثیر قرار گیرد.

عمل‌آوری بتن AAC در شرایط فشار بخار آب (اتوکلاو) انجام می‌شود که طی این فرایند، قطعات AAC با رطوبت و بخار اشباع می‌شوند و در پایان، قطعات حدود ۳۰٪ وزنی آب دارند. خروج این آب و رسیدن به حالت تعادل و رطوبتی به‌میزان ۴ تا ۸ درصد به زمان نسبتاً طولانی نیاز دارد.

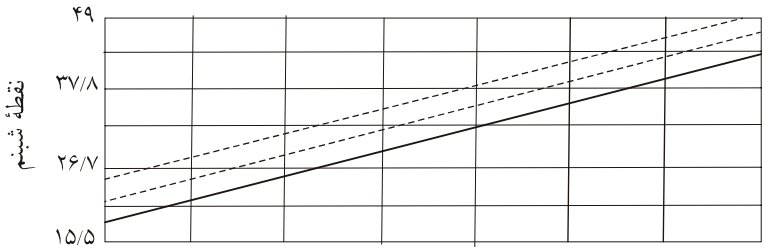
خشک شدن و خروج آب با دو آهنگ مختلف اتفاق می‌افتد. در اولین مرحله، انتشار رطوبت داخلی سریع است. درحالت ایده‌آل، نفوذپذیری بخار آب پوشش‌هایی که روی سطح دیوار یا سطوح داخلی پانل‌های سقفی اعمال می‌شود مانع این فرایند نیست و بسته به زمان ساختمان‌سازی، ممکن است حدود ۱۸٪ یا کم‌تر باشد.

چنان‌چه براساس برنامهٔ زمان‌بندی قرار باشد مراحل ساخت و تحویل بنا به‌سرعت انجام پذیرد، باید با استفاده از روش‌های مکانیکی مانند رطوبت‌گیری، شرایط مناسب اولین مرحلهٔ خشک شدن را مهیا کرد. بعداز این‌که رطوبت داخلی تقریباً به کم‌تر از ۱۸٪ رسید، آهنگ تبخیر کاهش می‌یابد. در اغلب موارد روند خشک شدن به‌قدری کند است که مقدار رطوبت و نم می‌تواند ازطریق سیستم گردش هوا خارج شود. مقدار رطوبت ناشی از دیوار به‌قدری ناچیز است که می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. سطح روی دیوار نباید با هیچ مادهٔ ضد رطوبتی که مانع تبخیر رطوبت اضافی در AAC است، پوشیده شود. به‌طور کلی در بیش‌تر ساختمان‌ها در چند ماه اول اجرا، رطوبت در اجزای مصالح ساختمانی نسبتاً زیاد است. با طراحی و جزئیات اجرایی مناسب می‌توان به‌راحتی تاحد زیادی از مشکلات ناشی از این رطوبت اضافی کاست. برای سرعت بخشیدن به فرایند برقراری تعادل رطوبتی، اقدامات زیر پیشنهاد می‌شود.

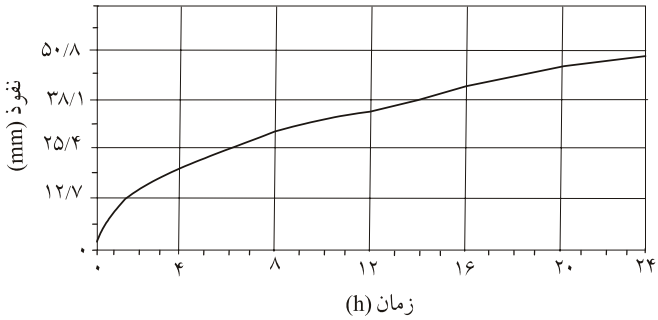
- باید از پوشش‌های داخلی و خارجی که دافع آب هستند ولی درعین‌حال به AAC اجازهٔ تنفس می‌دهند، استفاده شود. کاربرد پوشش‌هایی که به بخار اجازهٔ نفوذ می‌دهند ولی رطوبت در آن‌ها نفوذ نمی‌کند، بهتر است. با استفاده از یک مادهٔ آب‌بند نفوذناپذیر بخار که جریان بخار را در میان سطوح خارجی محدود می‌کند (مانند آن‌چه در پی دیوارها کاربرد دارد)، رطوبت موجود در AAC تنها به‌سمت داخل ساختمان حرکت می‌کند و درنتیجه زمان موردنیاز برای برقراری تعادل رطوبتی در دیوار بیش‌تر می‌شود. بهتر است در دو طرف دیوار (داخلی و خارجی) از موادی که مانع نفوذ بخارند، (مانند نم‌بندهایی که روی سطوح خارجی اعمال می‌شود)، استفاده نشود. درصورت استفاده از یک سیستم نفوذپذیر ترکیبی رطوبت داخلی به‌دام‌افتاده و سطوح پشت محافظ رطوبت به‌شدت مستعد رشد کپک هستند و به‌همین‌دلیل طراحی مناسب برای ایجاد امکان گردش هوا، در هر ساختمانی مهم و حساس خواهد بود.
- با استفادهٔ هم‌زمان از پانل‌های دیواری و سقفی، یک سازهٔ کاملاً هوابند ایجاد می‌شود. بنابراین، قبل‌از پوشش کامل ساختمان (دیوارچینی، نصب در و پنجره و اندودکاری)، باید برای خشک شدن و تبادل رطوبتی AAC، زمان کافی را درنظر گرفت. این زمان به‌طور معمول چند ماه است.

بهترین و اقتصادی‌ترین روش برای خشک شدن ساختمان، روش طبیعی است. هواساز باید تنها هوای داخلی را کنترل کند و دوباره و به گردش درآورد. چنان‌چه ازنظر زمان‌بندی اجرا، زمان ساخت محدود باشد و ساختمان باید به بهره‌برداری برسد، ممکن است بهترین روش برای خشک شدن، استفاده از تجهیزات جذب رطوبت در چند سال اول باشد. برای مثال، هنگامی‌که میزان رطوبت داخلی زیاد باشد و دما به زیر نقطهٔ شبنم کاهش یابد، میعان رخ می‌دهد. با کنترل مناسب رطوبت و دما هرگز دمای شبنم اتفاق نخواهد افتاد. بیش‌تر هواسازها در دمای ۲۴° و ۶۰٪ رطوبت نسبی عمل می‌کنند. چنان‌که درادامه خواهیم دید، دمای ۲۴° به‌میزان مناسبی بیش‌از نقطهٔ شبنم برای ۶۰٪ رطوبت در دمای ۱۶° است، و درنتیجه، میعانی در آن رخ نخواهد داد.

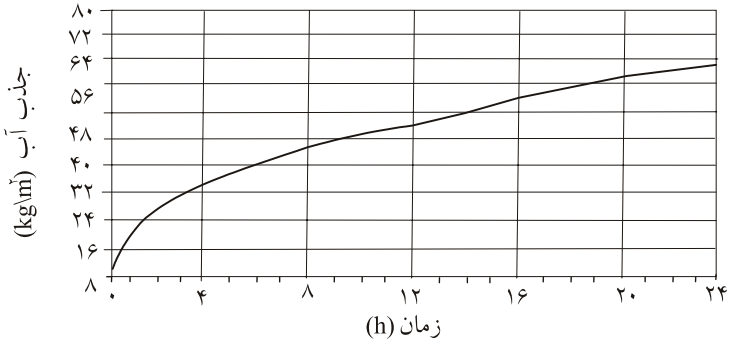
- تمام ساختمان‌ها باید به عوامل محافظت دربرابر منابع ایجاد رطوبت مجهز باشند. ازآن‌جاکه AAC بدون پوشش اضافی محافظ خوبی درمقابل رطوبت است، می‌توان جزئیات اجرایی ساده‌تر و معمارانه‌ای چون نمای آجری، اندود گچ محافظت‌شده دربرابر آب، رنگ‌ها یا اندودهای پایهٔ قیری سطوح خارجی دیوارها و ابزارکاری مناسبی را برای درزبندی و جزئیات معماری به‌کار بست. ازآن‌جاکه اغلب پوشش‌هایی چون اندود گچ و سیمان روی سطوح مرطوب اعمال می‌شود و برای عمل‌آوری نیاز به آب دارند، رطوبت موجود در AAC برای این عمل کافی است و درنتیجه چسبندگی کافی وجود نخواهد داشت یا عملکرد آن‌ها دچار مشکل خواهد شد. انتخاب پوشش خارجی دیوار، به دیدگاه زیباشناختی و سلیقه بستگی دارد. درادامه، به گزینه‌های مناسبی که از AAC درمقابل رطوبت محافظت می‌کنند، می‌پردازیم.



شکل ۲ـ ۳۹ رابطهٔ بین نقطهٔ شبنم و دمای هوا.



شکل ۲ـ۴۰ آهنگ نفوذ آب به داخل AAC درطی زمان.



شکل ۲ـ۴۱ آهنگ جذب آب در داخل AAC درطی زمان.

الف) پوشش سطوح خارجی

گزینه‌های مختلفی، مانند اندود گچ،[1] سیمان، رنگ و بسیاری‌از انواع مصالح نماسازی برای پوشش سطوح خارجی، وجود دارند که با استفاده از آن‌ها و با تغییر ترکیب و فرم چون رنگ‌بندی و بافت می‌توان نماهای بسیار متنوع و جالبی ایجاد کرد. پوشش‌های مناسب برای محصولات AAC رنگ‌های متنوعی دارند که برای اِعمال با قلم‌مو، اسپری یا غلتک بسته به نوع کاربرد ویژه‌شان به‌صرفه هستند.

۱. اندود سیمانی اصلاح‌شدهٔ رنگی

پوشش خارجی تولیدشده برای AAC باید به‌گونه‌ای سازگار با آن طراحی شود. یک نوع اندود سیمانی سبک‌وزن اصلاح‌شده که ازنظر مقاومت فشاری و جرم حجمی قابل‌مقایسه با AAC است، به‌منظور اطمینان از چسبندگی بلندمدت و مقاومت دربرابر ترک‌خوردگی پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین کاربرد پلیمر به‌منظور اصلاح اندود سبب افزایش چسبندگی و بهبود کارایی می‌شود. درضمن این اندود اصلاح‌شده درمقابل بخار بسیار نفوذناپذیر است و به خشک شدن سریع سازه کمک می‌کند؛ درعین‌حال کاملاً آب‌گریز و مانع نفوذ آب است.

پوشش‌های اعمال‌شده روی AAC به‌شدت درمعرض تنش کششی، ناشی از تغییرات حرارت هستند. پس این، پوشش‌ها باید خواص الاستیسیتهٔ زیادی داشته‌باشند. برای سازه‌هایی با بلوک‌های AAC معمولاً یک لایه اندود سبک‌وزن اصلاح‌شده به‌ضخامت ۰/۸ cm مطابق دستورالعمل سازنده توصیه می‌شود. هم‌چنین، بعداز سخت شدن این لایه می‌توان یک لایه اندود دیگر که دارای بافت و طرح است، اعمال کرد. بعداز گیرش این لایه یک یا دو لایه «رنگ‌های نفوذپذیر بخار»، اعمال می‌شود.

پانل‌هایی با ملاط درزبندی باید قبل‌از اِعمال هر نوع پوشش سطحی، عمل‌آوری و مراقبت شوند. درز پانل‌ها با پوشش نازکی از مواد پایهٔ سیمانی اندود می‌شود که دارای الیاف شیشهٔ مقاوم

1. stucco.

دربرابر مواد قلیایی است. این پوشش معمولاً پس‌از اعمال با ضخامتی حدود ۰/۳ تا ۰/۵ سانتی‌متر و گیرش اولیه (حدود یک ساعت بعد) با ماله اجرا می‌شود و بافت ظریفی روی آن شکل می‌گیرد. بعداز سخت شدن این لایه، رنگ نفوذپذیر دربرابر بخار روی آن اعمال می‌شود.

۲. رنگ‌آمیزی

درصورت تمایل، می‌توان روی پانل‌هایی را که هیچ اندودی ندارند، رنگ‌آمیزی کرد. این پانل‌ها در مقطع عرضی زبانه و شیار و در گوشه‌ها پخی دارند. رنگ مورداستفاده برای این کاربرد باید ناهمواری‌های ناچیز روی پانل‌ها را پُر کند؛ پوشش‌های پایهٔ اکریلیک با قابلیت پُرکنندگی خوب برای این منظور مناسب هستند. پوشش پلیمری معمولاً در دو لایه اعمال می‌شود تا ضخامت حداقل یک میلی‌متر ایجاد کند. برای رنگ‌آمیزی مستقیم بلوک‌ها و پانل‌هایی که با ملاط روی هم قرار گرفته‌اند، باید درزها را به‌منظور حفظ ظاهر مناسب با دقت آماده کرد. به‌طور معمول درز در دیوارهای AAC ساخته‌شده با ملاط، نازک‌تر از دیوارهایی است که با مصالح معمول بنایی ساخته می‌شوند، بنابراین احتمال آشکار شدن کوچک‌ترین نقص، بیش‌تر است. حتی درصورت استفاده از پوشش اکریلیکی احتمال ظاهر شدن درزها در سطح تمام‌شدهٔ کار وجود دارد. در کاربرهایی که ظاهر کار اهمیت چندانی ندارد مانند سازه‌های صنعتی، پارکینگ‌ها و ... می‌توان به‌منظور کاهش هزینه و زمان، رنگ را به‌طور مستقیم روی AAC اعمال کرد. هرگونه رنگ مصرفی باید امکان خروج بخار از داخل بلوک را به خارج فراهم کند.

۳. نما

استفاده از نماهایی چون آجر، سنگ، فلز، وینیل و تخته‌های سیمانی که به دیوار امکان تنفس می‌دهند، ازلحاظ حرارت و رطوبت برای پوشش خارجی بسیار مناسب‌اند. کاربرد باریکه‌های تخته‌چوب (یا هر نوع زیرسازی مناسب دیگر) که به‌عنوان زیرکار روی قطعات AAC کوبیده می‌شوند، به‌علت داشتن امکان تهویه در پشت نما بسیار مناسب است و می‌توان آن‌ها را با وسایل اتصال مناسب به AAC متصل کرد. برای اتصال مصالح نمای خارجی نیز باید براساس توصیهٔ تولیدکننده عمل کرد. باید نمونه‌ای از جزئیات آب‌بندی شامل درپوش‌ها، آب‌بندی، اتصالات و غشاها به‌وسیلهٔ شرکت تولیدکننده به‌صورت مدون به‌منظور دستیابی به یک سازهٔ آب‌بند ارائه شود.

۴. کاشی سرامیکی

کاشی‌های سرامیکی برای حفاظت دربرابر شرایط جوی هنگامی‌که به‌صورت مستقیم روی سطح چسبانده شوند، مناسب نیستند، زیرا ضریب هدایت حرارتی سرامیک در مقایسه با AAC متفاوت است. علاوه‌براین تفاوت خواص و جلوگیری از انتشار در سطح سرامیک که سبب ایجاد کشش قابل‌ملاحظه می‌شود، معمولاً به شل شدن یا ترک خوردن و درنهایت خرابی سطح سرامیک می‌انجامد که این موضوع درمورد سایر مصالح متداول نیز کم‌وبیش صادق است.

ب) پوشش داخلی

بتن سبک AAC علاوه‌بر صرفه‌جویی در مصرف سوخت و حفظ محیط‌زیست باید تأثیراتی نیز بر محیط داخلی داشته‌باشد. سطوح داخلی یا از سطح صاف رنگ‌پذیر و یا از سطح مناسب برای نصب کاشی تشکیل شده‌اند. پوشش سقف یا دیوارها را می‌توان با درزهای قابل‌مشاهدهٔ زیبا یا سطح صاف، طراحی کرد.

۱. اندود

پوشش‌های داخلی ساخته‌شده برای اجرا روی بتن AAC باید ازنظر فیزیکی با این بتن سازگار باشند. بدین‌منظور، هم خواص اندودهای پوشش سطح و هم پوشش‌های سبک‌وزن که به‌عنوان لایهٔ داخلی استفاده می‌شوند، باید مشابه خواص AAC باشد. معمولاً استفاده از مواد چسباننده برای افزایش خاصیت چسبندگی و افزایش قابلیت ارتجاعی پوشش متداول است. پانل‌های دیواری باید با پوششی سطحی برای دستیابی به یک سطح صاف اندود شود. درمورد بلوک‌ها باتوجه‌به ناهمواری بیش‌تر، باید از یک اندود سبک‌وزن داخلی که برای تراز و صاف کردن در ضخامت بیش‌تری اعمال می‌شود، استفاده کرد. این اندود به‌عنوان زیرکار رنگ‌آمیزی و نازک‌کاری نهایی دیوار قلمداد می‌شود. اندود نازک‌کاری برای اعمال روی پانل‌های دیواری باید برپایهٔ ترکیبات معدنی باشد. این اندود معمولاً در یک لایه و با ضخامت تقریبی ۲/۵ تا ۳ میلی‌متر براساس توصیهٔ سازنده اعمال و درنهایت، سطح آن پرداخت و صاف می‌شود. اندود نازک‌کاری قابل‌اعمال روی بلوک‌ها باید برپایهٔ ترکیبات گچ باشد. این اندود معمولاً در یک لایه اجرا می‌شود و ضخامت آن حدود ۶ mm بنابر توصیهٔ سازنده است. لایهٔ دوم که برای صاف و صیقلی کردن سطح اجرا می‌شود، بعداز اعمال این لایه قرار می‌گیرد. بسته به ابعاد سازه و برنامهٔ زمان‌بندی، این اندودها با ماله یا پاشش اعمال می‌شوند.

۲. تختهٔ گچی

از تخته‌های گچی برای پوشش داخلی و خارجی AAC استفاده می‌شود. یک روش سریع، اتصال تخته‌های گچی به نوارهایی از تختهٔ چوبی نصب‌شده روی دیوار است. اتصال تخته‌های گچی به‌صورت مستقیم روی دیوار با استفاده از چسب و پیچ روشی دیگر است. طبق آیین‌نامه و استانداردهای موجود، در شرایط رطوبتی زیاد (مانند حمام، سونا و ...) استفاده از تخته‌های گچی مقاوم دربرابر رطوبت توصیه شود.

۳. کاشی

برای نصب کاشی سرامیکی روی دیوار، تنها در مواردی که سطح نیاز به تراز کردن داشته‌باشد، آماده‌سازی سطح دیوار لازم است. در این موارد یک پوشش پایهٔ سیمانی یا گچی قبل‌از نصب کاشی اعمال می‌شود. در بسیاری موارد مانند حمام باید از اندود پایهٔ سیمانی استفاده کرد.

۴. رنگ

برای استفاده از رنگ در پوشش داخلی می‌توان از مباحث گفته‌شده در قسمت رنگ در بخش سطوح خارجی بهره برد. نکتهٔ مهم این‌که در رنگ‌آمیزی سطوح کاملاً صاف یا سطوح مناسب کاشی‌کاری باید از رنگی استفاده شود که امکان خروج رطوبت را از داخل به خارج سطح فراهم کند.

۵. کاغذ دیواری

کاغذ دیواری را می‌توان به‌صورت مستقیم روی سطح چسباند. درصورت نیاز به تراز و صاف کردن سطح می‌توان از یک اندود نازک پایهٔ سیمانی یا گچی، قبل‌از نصب کاغذ دیواری استفاده کرد کاغذ دیواری نیز مانند دیگر پوشش‌ها، باید قابلیت نفوذ بخار را داشته‌باشد. کاغذ دیواری‌هایی از جنس وینیل به‌لحاظ اجازهٔ تنفس ندادن مناسب نیستند.

پ) پوشش سقف

آماده‌سازی‌های لازم برای نصب پوشش سقف، مشابه مواردی است که برای دیوار ذکر شد. علاوه‌برآن در سقف کاذب باید قطعات آویزان به سقف برای عبور تأسیسات، تهویه و گردش هوا تعبیه شود. شبکه‌ای که برای آویزان شدن پانل‌های سقف کاذب به‌کار می‌رود، از جنس گچ، الیاف شیشه، پلاستیک، چوب یا فلز است و آن‌ها را می‌توان به‌طور مستقیم روی پانل‌های سقفی نصب کرد.

۷ـ۲ استانداردهای فنی جهانی بتن سبک AAC

امروزه بتن سبک متخلخل به روش‌ها و نام‌های تجاری مختلفی تولید می‌شود که همهٔ آن‌ها بتن هوادار اتوکلاوشده هستند و فقط در مواردی نظیر نسبت‌های اجرایی مواد اولیه، روش برش دادن، درجه‌حرارت و زمان اتوکلاو و ... با هم تفاوت دارند. ازجمله شرکت‌هایی که این محصول را به‌صورت گسترده در جهان تولید می‌کنند، می‌توان به H + H، Durox، Siporex، Xella[1] و Unipol اشاره کرد.

باتوجه‌به کاربردهای متنوع AAC، کشورهای مختلف استانداردهایی را برای تعیین مشخصات این محصول و روش انجام آزمایش‌های موردنیاز تدوین کرده‌اند؛ برای مثال، در انگلیس استانداردهای BS ۸۷۴، بخش ۱: BS ۵۶۲، بخش ۲: BS ۶۰۷۳ و بخش ۱: BS ۶۰۷۳؛ در کشور آمریکا استانداردهای ASTM C ۱۳۸۶ و ASTM C ۱۴۵۲ و در کمیتهٔ اروپایی CEN نیز استانداردهای زیادی دراین‌خصوص تدوین شده که فهرست آن در صفحهٔ بعد ارائه شده‌است.

در ایران نیز موسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی با همکاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، براساس تجربیات و تحقیقات انجام‌شده تعدادی از استانداردهای AAC را تدوین کرده‌است که به‌عنوان استاندارد ملی تأیید شده‌اند. در صفحات بعد استانداردهایی که بیش‌تر مربوط به قطعات بنایی AAC (بلوک) هستند، ارائه شده‌است.

---

۱. حدود ده سال پیش کشور آلمان کنسرسیومی از تولیدکنندگان بتن سبک مانند Ytong و Hebelex تشکیل داد تا با نام Xella به تولید محصول بپردازد.

جدول ۲ـ۱۱ استاندارد اروپایی EN (مربوط به بتن هوادار اتوکلاو شده).

شمارهٔ استاندارد	عنوان
EN 1352	Determination of static modulus of elasticity under compression of autoclaved aerated concrete or Lightweight aggregate concrete with open structure
EN 1355	Determination of creep strains under compression of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure
EN 990	Test methods for varification of corrosion protection of reinforcement in autoclaved aerated concrete and lightweight aggregate concrete with open structure
EN 991	Determination of the dimensions of prefabricafed reinforced components made of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure
EN 1356	Performance test for prefabricated reinforced componets of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure under transverse load
EN 1740	Determination of shear strength for Out-of-plane forces of joints between prefabricated components made of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure
EN 1742	Determintion of shear strength between different layer of multilayer components made of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open steuctutre
EN 1737	Determination of shear strength of welded joints of reinftorcement mats or cages for prefabricated components made of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure
EN 678	Determination of the dry density of autoclaved aerated concrete
EN 679	Determination of the compressive strength of autoclaved aerated concrete
EN 680	Determination of the drying shrinkage of autoclaved aerated concrete
EN 771-4	Specification for masonry units. autoclaved aerated concrete masonry units
EN 772-10	Methods of test for masonry units. Determination of moisture content of Calcium Silicate and autoclaved aerated concrete units
EN 772-15	Methods of test for masonry units. Determination of water vapour permeability of autoclaved aerated conerete masonry units
EN 989	Determination of the bond behaviour between reinforeing bars and autoclaved aerated conerete by the Push-out test
EN 1351	Determination of moisture content flexural strength of autoclaved aerated concrete
EN 1353	Determination of flexural strength of autoclaved aerated concrete
EN 12269-1	Determination of the bond behavior between reinforcing steel and autoclaved aerated concrete by the "beam test" Short term test
EN 12269-2	Determination of the bond behaviour between reinforcing steel and autoclaved aerated concrete by the"beam test". Long term test
Pr EN 12602	Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete
EN 1738	Determination of steel stresses in Unloaded Reinforced components made of autoclaved aerated concrete
EN 1739	Determination of shear strenght for In-plane forces of joints between prefabricated components made of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure

جدول ۲ـ۱۲ استانداردهای ملی ایران (ISIRI) مربوط به بتن هوادار اتوکلاوشده.

شمارهٔ استاندارد ملی	عنوان
۸۵۹۱	بتن سبک ـ تعیین مدول ارتجاعی استاتیکی فشاری بتن هوادار اتوکلاوشده یا بتن سبک‌دانه با ساختار باز ـ روش آزمون
۸۵۹۲	بتن سبک ـ تعیین جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدگی بتن هوادار اتوکلاوشده ـ روش آزمون
۸۵۹۳	بتن سبک ـ قطعات بتنی هوادار اتوکلاوشده ـ ویژگی‌ها
۸۵۹۴	بتن سبک ـ تعیین جرم حجمی خشک بتن هوادار اتوکلاوشده ـ روش آزمون
۸۵۹۵	بتن سبک ـ تعیین ابعاد قطعات بنایی ـ روش آزمون
۸۵۹۶	بتن سبک ـ تعیین مقاومت فشاری بتن هوادار اتوکلاوشده ـ روش آزمون
۸۵۹۷	بتن سبک ـ تعیین نفوذپذیری بخار آب بتن هوادار اتوکلاوشده ـ روش آزمون
۸۵۹۸	بتن سبک ـ تعیین مقاومت خمشی بتن هوادار اتوکلاوشده ـ روش آزمون
۹۱۵۹	بتن سبک ـ تعیین درصد رطوبت بتن هوادار اتوکلاوشده ـ روش آزمون
۹۱۶۰	بتن سبک ـ تعیین قطعات پیش‌ساختهٔ مسلح بتن هوادار اتوکلاوشده تحت بار عرضی ـ روش آزمون
۹۱۶۱	بتن سبک ـ قطعات پیش‌ساختهٔ مسلح بتن هوادار اتوکلاوشده تحت بار طولی ـ روش آزمون

بتن AAC در جرم حجمی‌ها و مقاومت‌های مختلف بسته به کاربرد موردنظر تولید می‌شود. براساس استاندارد ملی ایران به‌شمارهٔ ۸۵۹۳، کنترل ابعادی، مقاومت فشاری، جرم حجمی خشک و جمع‌شدگی بتن هوادار اتوکلاوشده اجباری است و باید طبق استانداردهای جدول زیر آزمایش شوند و نتایج آن‌ها الزامات این جدول را برآورده کند.

جدول ۲ـ۱۳ ویژگی‌های بتن هوادار اتوکلاوشده طبق شمارهٔ ۸۵۹۳ استاندارد ملی ایران (ISIRI).

ردهٔ مقاومتی	مقاومت فشاری (N/mm^2)		جرم حجمی خشک اسمی (kg/m^3)	محدودهٔ جرم حجمی (kg/m^3)	حداکثر میانگین جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن (٪)
	میانگین	حداقل			
AAC ۲	۲/۵	۲/۰	۴۰ ۵۰	۳۵۰ ـ ۴۵۰ ۴۵۰ ـ ۵۵۰	٪۲
AAC ۴	۵/۰	۴/۰	۵۰۰ ۶۰۰ ۷۰۰ ۸۰۰	۴۵۰ ـ ۵۵۰ ۵۵۰ ـ ۶۵۰ ۶۵۰ ـ ۷۵۰ ۷۵۰ ـ ۸۶۰	
AAC ۶	۷/۵	۶/۰	۶۰۰ ۷۰۰ ۸۰۰	۵۵۰ ـ ۶۵۰ ۶۵۰ ـ ۷۵۰ ۷۵۰ ـ ۸۵۰	

۳ مقایسهٔ بلوک‌های بتن AAC با مصالح ایرانی متداول

۳ـ۱ مقدمه

در اوایل قرن بیستم با ورود فولاد و بتن به‌عنوان مصالح ساخت‌وساز در صنعت ساختمان و هم‌زمان با رشد عمودی شهرها، استفاده از دیوارهای باربر سیر نزولی یافت و مقاومت دربرابر نیروهای ثقلی ناشی از وزن و هم‌چنین نیروهای جانبی ناشی از زلزله عمدتاً به عهدهٔ اسکلت بنا (فلزی یا بتنی) واگذار شد و دیوارها فقط نقش جداکننده و غیرباربر یافتند.

این‌گونه جداکننده‌ها چنان‌چه بین دو قسمت داخلی و خارجی، و به‌عبارت‌دیگر، در قسمت پیرامونی بنا واقع شوند، «تیغه‌های خارجی»، و چنان‌چه در قسمت‌های داخلی ساختمان قرار بگیرند «تیغه‌های داخلی» نامیده می‌شوند. بدیهی است تیغه‌های خارجی از بیرون درمعرض عوامل جوی نظیر آفتاب، باد، باران و برف قرار دارند و ازطرفی نیز نگهدارندهٔ نمای ساختمان هستند. بنابراین اهمیت بیش‌تری ازنظر تبادل حرارتی، رطوبتی، صوتی و حریق دارند. هم‌چنین امکان جابه‌جایی آن‌ها درطول عمر ساختمان نسبت‌به تیغه‌های داخلی نیز به‌مراتب کم‌تر است.

مصالح معمول و متداول در کشور که برای کاربری در تیغه‌های جداکننده، چه داخلی و چه خارجی، استفاده می‌شوند، عبارت‌اند از: آجر فشاری، آجر سفال، پانل‌های گچی، بلوک لیکا، آجر ماسه‌آهکی، بلوک سفالی و بلوک‌های نوع سیلکس و هم‌چنین، دو نوع تیغهٔ جدید به‌نام‌های «تری‌دی‌وال» و «درای‌دال».

تیغه‌های «تری‌دی‌وال» اجزای پیش‌ساخته‌ای هستند متشکل از یک هسته عایق پلی‌استایرن که بین دو شبکهٔ ساخته‌شده از مفتول و اعضای خرپای قطری، که اتصال مناسبی دارند، قرار گرفته‌اند. این اجزا ابتدا در محل تیغه قرار می‌گیرند. نکتهٔ مهم، شاقول و گونیا کردن صحیح اجزا در محل است که ساده نیست و به تجربه و کادر متخصص نیاز دارد.

پس‌از نصب این اجزا و عبور لوله‌های تأسیساتی و برقی در پلی‌استایرن مرکزی باید از دو طرف بتن‌پاشی[1] و سپس گچ‌کاری انجام شود. این نوع تیغه‌ها عایق حرارتی و صوتی خوبی هستند و در موقع زلزله آوار ایجاد نمی‌کنند، اما معایبی نیز دارند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ـ مصرف زیاد سیمان و ملاط، و پرتی زیاد، به‌ویژه اگر به‌خوبی شاقول و گونیا نشوند؛

ـ وزن نسبتاً زیاد به‌خاطر بتن‌پاشی، و درنتیجه افزایش نیروهای زلزله؛

ـ ممکن نبودن بتن‌پاشی در مواقعی که از آن به‌عنوان دیوار خارجی استفاده می‌شود، در مجاورت دیوار همسایه و در محل درز انقطاع؛

ـ تخریب مشکل و نظایر این‌ها.

سیستم دیوارهای «درای‌وال» شامل پانل‌های گچی روکش‌دار پیش‌ساخته همراه‌با سازهٔ سبک فلزی[2] است که نحوهٔ کار آن این‌گونه است: ابتدا سازه‌های فلزی به‌عنوان زیرسازی حمال پوشش به‌وسیلهٔ قطعات عمودی «ستونک»[3] و افقی «لاوک»[4] نصب و سپس پانل‌های گچی به‌عنوان پوشش روی زیرسازی فلزی به آن‌ها پیچ می‌شوند. بین پانل‌های گچی در طرف تیغه می‌توان عایق حرارتی و صوتی و هم‌چنین لوله‌های تأسیساتی و برقی را قرار داد.

این تیغه‌ها تنها نوع ساخت‌وساز خشک هستند که علاوه‌بر مزایایی نظیر نداشتن نیاز به گچ‌کاری، سبکی تیغه‌ها، امکان جابه‌جایی و عایق خوب حرارتی و صوتی و هم‌چنین نداشتن آوار در زلزله، معایبی نیز دارند؛ ضعیف بودن آن به‌عنوان تیغهٔ خارجی در نما و نیاز به کادر متخصص و آموزش‌دیده برای ساخت و غیره ازجملهٔ این معایب به‌شمار می‌آیند.

از این دو نوع تیغهٔ خاص اخیراً در انبوه‌سازی‌ها و پروژه‌های بزرگ استفاده می‌شود که در این بخش از مقایسهٔ آن‌ها صرف‌نظر شده‌است، زیرا ایران هنوز در مرحلهٔ گذر از ساخت‌وساز سنتی به صنعتی قرار دارد و این نوع تیغه‌ها کاربرد چندانی در کشور ما ندارند.

گفتنی است که بلوک‌های بتن سبک AAC محاسن انکارناپذیری دارند و علاوه‌بر دارا بودن محاسن سایر مصالح موجود و متداول، چنان‌چه خوب معرفی و شناسایی شوند، از جایگاه مناسب و برتری در صنعت ساختمان کشور برخوردار خواهند بود.

---

1. shotcrete.

۲. در برخی کشورها از سازه‌های چوبی نیز استفاده می‌شود ولی در کشور ما کاربردی ندارد.

3. stud.

4. raner.

۳ـ۲ مبنای مقایسهٔ اقتصادی انواع تیغه‌ها

اصولاً محاسبهٔ اقتصادی و قیمت تمام‌شدهٔ یک محصول باتوجه‌به افزایش و نوسان قیمت‌ها، دستمزد و قیمت مصالح در کشور فقط برای محدودهٔ زمانی مشخصی کاربرد دارد. اما ازآن‌جاکه قیمت‌ها در این کتاب تنها برای مقایسه مطرح شده‌اند، مفروضاتی که مبنای مقایسه و محاسبهٔ اقتصادی انواع تیغه‌ها قرار گرفته‌اند، در این‌جا بیان خواهند شد. نکتهٔ مهم این است که با تغییر قیمت‌ها در سال‌های آتی و با تکیه بر روش محاسبه می‌توان قیمت‌ها را در هر برهه‌ای از زمان به‌روز کرد. (گفتنی است که قیمت‌ها مربوط‌به قبل‌از اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌هاست.)

۱. پاکت پنجاه‌کیلویی سیمان	۳۶۰۰۰ ریال
۲. پاکت چهل‌کیلویی گچ (مخصوص گچ‌وخاک)	۸۰۰۰ ریال
۳. پاکت چهل‌کیلویی گچ (مخصوص سفیدکاری)	۱۲۰۰۰ ریال
۴. پاکت چهل‌کیلویی خاک رس	۴۵۰۰ ریال
۵. ماسه هر هزار کیلوگرم	۷۰۰۰۰ ریال
۶. آجر فشاری هر تن (شامل ۴۵۰ عدد)	۳۵۰۰۰۰ ریال
۷. بنای درجه‌یک (دستمزد روزانه)	۳۵۰۰۰۰ ریال
۸. کارگر ساده (دستمزد روزانه)	۱۶۰۰۰۰ ریال

دستمزدها باتوجه‌به *تجزیه‌های کاربردی کارهای ساختمانی* (جلدهای ۱ و ۲) که سندیکای شرکت‌های ساختمانی (دفتر فنی) آن را منتشر کرده تعیین شده‌است.

طبق این منابع:

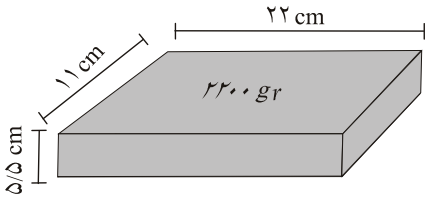
- در آجرکاری با آجر فشاری و ملاط ماسه‌سیمان به‌ضخامت ۱۰ cm برای هر مترمربع آجر (با ۱۲٪ افت)، ۷۰ قالب و ملاط مصرفی ۴۱ لیتر، و یک بنا با یک کارگر و یک شاگرد باتوجه‌به حمل آجر و حمل ملاط روزانه ۱۶ m^2 تیغه می‌چینند.
- یک بنّای درجه‌یک با یک شاگرد روزانه به‌طور متوسط ۸۵ m^2 را برای ملاط گچ‌وخاک شمشه‌گیری می‌کنند.
- یک بنّای درجه‌دو با یک شاگرد روزانه ۴۰ m^2 را گچ‌وخاک می‌کنند.
- یک بنّای درجه‌یک با یک شاگرد روزانه ۳۰ m^2 را در سطوح قائم سفیدکاری دو گچهٔ پرداختی می‌کنند.

۱ـ۲ـ۳ تیغه‌های داخلی از آجر فشاری

آجر که سابقهٔ پیدایش آن با کشف آتش هم‌زمان است، از حرارت دادن خاک رس نمناک شکل‌داده‌شده در گرمای ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دست می‌آید. بدین‌ترتیب، آب شیمیایی خاک رس می‌پرد و هیدروسیلیکات آلومینیم تبدیل به سیلیکات آلومینیم می‌شود.

آجر فشاری خوب نباید کم‌تر از ۸٪ وزنش آب بمکد، زیرا به‌خوبی به ملاط نمی‌چسبد؛ هم‌چنین نباید بیش‌تر از ۱۸٪ وزنش آب بمکد، زیرا پوک می‌شود و تمام آب ملاط را به خود می‌کشد و سطح ملاط متخلخل و دیوارچینی دچار افت و کاهش ارتفاع خواهد شد. بنابراین بهتر است آجرها قبل‌از دیوارچینی «زنجاب» شوند.

آجر فشاری به‌ابعاد تقریبی ۵/۵ × ۱۱ × ۲۲ سانتی‌متر تهیه می‌شود. به‌سبب همین تقریبی بودن ابعاد و عقب و جلو بودن سطح، تیغه‌چینی با این نوع آجر به گچ‌وخاک بیش‌تری نیاز دارد.



محاسبهٔ وزن یک مترمربع تیغهٔ ساخته‌شده از آجر فشاری با ملاط ماسه‌سیمان و حداقل ۱/۵ cm اندود گچ‌وخاک و ۰/۵ cm اندود گچ پرداختی در هر طرف (بدون نقاشی):

آجرکاری با آجر فشاری و ملاط ماسه‌سیمان به‌ضخامت ۱۱ cm: ۱۸۵ × ۰/۱۱ = ۲۰۴

اندود گچ و خاک به‌ضخامت حداقل ۱/۵ cm در هر طرف: ۱۶۰۰ × ۰/۰۳ = ۴۸/۰

اندود گچ پرداختی به‌ضخامت ۰/۵ cm در هر طرف: ۱۳۰۰ × ۰/۰۱ = ۱۳/۰

جمع کل: ۲۰۴ + ۴۸ + ۱۳ = ۲۶۵ kg

اگر ضخامت گچ‌وخاک در هر طرف ۲ cm باشد، وزن یک مترمربع بیش‌تر از ۲۸۰ kg خواهد شد. ضخامت تمام‌شدهٔ تیغه باتوجه‌به ابعاد و ضخامت ملاط‌ها، حداقل ۱۵ cm است:

۱۱ + ۲ + ۱/۵ + ۲ × ۰/۵ = ۱۵ cm

محاسبهٔ قیمت یک مترمربع تیغه با آجر فشاری

باتوجه‌به اطلاعات قسمت ۳ـ۲ داریم: تعداد آجر در یک مترمربع با ۱۲٪ افت ۷۰ عدد است، بنابراین قیمت آجر برای یک مترمربع چنین به‌دست می‌آید:

قیمت یک عدد آجر فشاری: ۳۵۰۰۰۰ ÷ ۴۵۰ = ۷۷۸ ریال

قیمت یک مترمربع تیغه با آجر فشاری: ۷۰ × ۷۷۸ = ۵۴۴۴۴ ریال

قیمت یک کیلوگرم سیمان: ۳۶۰۰۰ ÷ ۵۰ = ۷۲۰ ریال

قیمت یک کیلوگرم ماسه: ۷۰۰۰۰ ÷ ۱۰۰۰ = ۷۰ ریال

قیمت یک لیتر ملاط ۲۵۰ kg سیمان در مترمکعب برابر است با:

هر کیلو سیمان: ۰/۲۵ × ۷۲۰ = ۱۸۰ ریال

هر کیلو ماسه: ۲/۱ × ۷۰ = ۱۴۷ ریال

هر کیلو ماسه‌سیمان: ۱۸۰ + ۱۴۷ = ۳۲۷ ریال

حجم ملاط ماسه‌سیمان برای یک مترمربع دیوار ۴۱ لیتر برابر است با:

هر کیلو ماسه‌سیمان: ۴۱ × ۳۲۷ = ۱۳۴۰۷ ریال

قیمت مصالح سفیدکاری برای یک مترمربع دیوار برابر است با:

قیمت گچ: ۱۳ × (۱۲۰۰۰ ÷ ۴۰) = ۳۹۰۰ ریال

قیمت خاک: ۲۴ × (۴۵۰۰ ÷ ۴۰) = ۲۷۰۰ ریال

قیمت گچ‌وخاک: ۲۴ × (۸۰۰۰ ÷ ۴۰) = ۴۸۰۰ ریال

دستمزد ساخت یک مترمربع دیوار برابر است با:

دستمزد دیوارچینی: $\frac{۱}{۱۶} \times (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۳۱۸۷۵$ ریال

دستمزد شمشه‌گیری: $۲ \times \frac{۱}{۸۵} (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۱۲۰۰۰$ ریال

دستمزد گچ‌وخاک: $۲ \times \frac{۱}{۴۰} (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۲۵۵۰۰$ ریال

دستمزد سفیدکاری با گچ کشته: $۲ \times \frac{۱}{۳۰} (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۳۴۰۰۰$ ریال

جمع کل: ۳۱۸۷۵ + ۱۲۰۰۰ + ۲۵۵۰۰ + ۳۴۰۰۰ = ۱۰۳۳۷۵ ریال

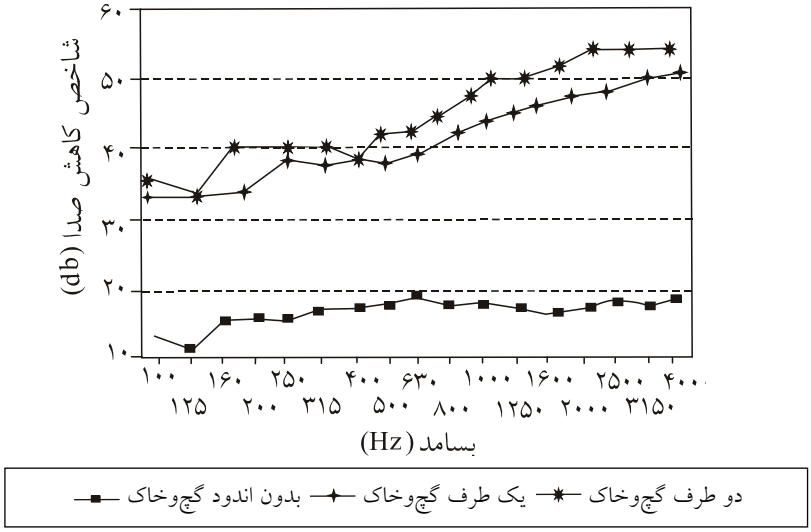
درنتیجه، قیمت یک مترمربع تیغه برابر است با:

۵۴۴۴۴ + ۱۳۴۰۷ + ۱۱۴۰۰ + ۱۰۳۳۷۵ = ۱۸۲۶۲۶ ریال

مقاومت فشاری آجر فشاری توپر بین ۱۰ تا ۱۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و وزن فضایی آن حداقل ۱۷۶۰ کیلوگرم در هر مترمکعب است.

مقدار شاخص کاهش صدا در دیوار ۱۱ سانتی آجر فشاری با ملاط ماسه‌سیمان و انجام اندود گچ‌وخاک و گچ گشته در دو طرف db ۴۷ است. توصیه می‌شود در مواردی که انتقال صوت مهم

است، قبل‌از اقدام به اندود گچ‌وخاک، عملیات بندکشی در دیوار انجام شود. بندکشی دیوارهای آجر قبل‌از اعمال گچ‌وخاک میزان صدابندی دیوار را افزایش می‌دهد.



شکل ۳ـ۱ نمودارهای افت صوتی دیوار ساخته‌شده با آجر فشاری.

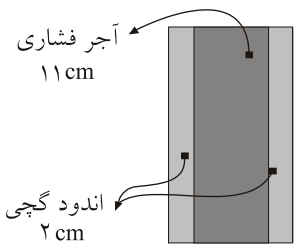
میزان مقاومت حرارتی آجر فشاری را با روش زیر می‌توان محاسبه کرد:

$\lambda = ۱ \ W/m^{\circ}C$ (ضریب هدایت حرارتی)

$R = (۰/۰۳ \div ۰/۳۵)$ (مقاومت حرارتی)

$+ \ (۰/۱۱ \div ۱) + (۰/۰۱ \div ۰/۳۵)$

$R = ۰/۲۲ \, m^{۲} \, ^{\circ}C/W$



آجرکاری با آجر فشاری قابلیت خوبی در عایق‌کاری با قیروگونی یا ایزوگام دارد (عایق رطوبتی)، بنابراین به‌راحتی برای تیغه‌های یک طرف خشک و یک طرف تر یا دو طرف تر قابل‌استفاده است. از محاسن این نوع تیغه‌چینی، استحکام و مقاومت زیاد آن دربرابر نیروهای وارده، ضربه و ایجاد حفره است. از معایب آن نیز این است که پس‌از تخریب، مصالح کم‌تری برای بازیافت و کاربرد مجدد به‌دست می‌دهد.

محاسبهٔ سرعت و مدت ساخت یک دیوار ۱۶ مترمربعی با آجر فشاری

مطابق اطلاعات بند ۳ـ۲ داریم:

یک کارگر و یک بنا و یک شاگرد (۱۶ مترمربع در روز): روز ۱

شمشه‌گیری برای ملاط گچ‌وخاک: روز ۰/۳۷۶ = (۱۶ ÷ ۸۵) × ۲

اجرای ملاط گچ‌وخاک: روز ۰/۸۰۰ = (۱۶ ÷ ۴۰) × ۲

شیار زنی + نصب لوله‌های برق + پر کردن محل شیارها با گچ‌وخاک: روز ۰/۵

سفیدکاری با گچ کشته: روز ۱/۰۶۶ = (۱۶ ÷ ۳۰) × ۲

جمع کل: روز ۳/۷۴۲ = ۱/۰۶۶ + ۰/۵ × ۰/۸۰۰ + ۰/۳۷۶ + ۱

متوسط شرایط فصلی و محیطی برای خشک شدن گچ‌وخاک: روز ۰/۲۵۸

بنابراین زمان لازم برای ساخت یک دیوار ۱۶ مترمربعی دو طرف اندودشده با نصب لوله‌های تأسیسات برقی برابربا ۴ روز است.

مصالح لازم: آجر، ماسه، سیمان، آب، گچ، خاک رس.

ابزارلازم: استانبولی، بیل، فرغون، کمچه، شمشهٔ ملاط، ماسه، بشکه، تختهٔ زیرپایی، لولهٔ خرطومی یا فولادی، دستگاه شیارزن یا کلنگ دستی.

نیروی انسانی: بنا، شاگرد بنا، کارگر ساده، گچ‌کار، شاگرد گچ‌کار، برق‌کار.

بررسی محاسن و معایب تیغهٔ ساخته‌شده از آجر فشاری

محاسن:

۱. داشتن وزن زیاد در مواردی که برای جلوگیری از واژگونی نیاز به وزن داریم، مانند دیوار حائل در زیرزمین؛

۲. ضخامت زیاد تیغه در مواردی که نباید نیروهای دیوار از تکیه‌گاه خارج شوند (امکان برخورد نیروهای جانبی)؛

۳. قابلیت جذب آب در کاشی‌کاری و سنگ‌کاری با ملاط ماسه‌سیمان؛

۴. امکان نصب پیچ و رول‌پلاک برای نصب دستشویی و کابینت در تمام سطوح؛

۵. امکان شیارزنی برای لوله‌های تأسیساتی با صرف هزینه و زمان؛

۶. نیاز نداشتن به نیروی انسانی متخصص؛

۷. مقاومت دربرابر ایجاد حفره (برای دستبردها)؛

۸. سهولت دسترسی به آجر و تهیهٔ آن در بیش‌تر مناطق؛

معایب:

۱. وزن زیاد تیغه در مترمربع که سبب افزایش وزن ساختمان و بزرگ شدن ابعاد تیرها و ستون‌ها برای مقابله با نیروی زلزله می‌شود؛

۲. ضخامت تیغهٔ تمام‌شده زیاد است و سطح زیادی در پلان اشغال می‌کند؛

۳. آجر فشاری عایق خوبی برای انتقال حرارت نیست؛
۴. تیغهٔ آجری انعطاف‌پذیر نیست و قاب میان‌پر هنگام زلزله، باتوجه‌به وزن زیاد آن، ضربهٔ سنگینی به سازه وارد می‌کند و باید از تمهیدات ویژه‌ای برای جداسازی تیغه از قاب بهره جست؛
۵. افزایش کاربری نیروی انسانی در تولید و جابه‌جایی و استفاده؛
۶. کندی کار و تراکم جبههٔ کاری به‌علت نیاز به نیروی انسانی بیش‌تر؛
۷. پس‌از تخریب، درصد کمی از آجرها را می‌توان برای بازیافت و کاربرد مجدد استفاده کرد؛
۸. تخریب محیط‌زیست و ازبین بردن خاک مفید کشاورزی؛
۹. یکدست نبودن ابعاد آجرها که موجب افزایش مصالح نازک‌کاری می‌شود؛

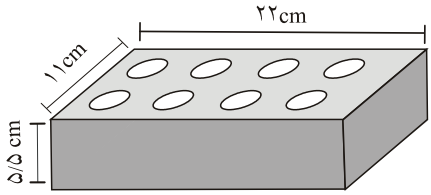
جدول ۳ـ۱ مقادیر شاخص کاهش صدا (R) برای دیوار ساخته‌شده با آجر فشاری (db) در شرایط مختلف.

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی (Hz)	بدون اندود به‌ضخامت ۱۰ cm و چگالی ۱۸۷ kg/m^۲	یک طرف اندود به‌ضخامت ۱۲ cm و چگالی ۲۱۹ kg/m^۲	دو طرف اندود به ضخامت ۱۴ cm و چگالی ۲۴۸ kg/m^۲
۱۰۰	۱۲/۳	۳۳/۶	۳۴/۹
۱۲۵	۱۱/۱	۳۴/۲	۳۴/۵
۱۶۰	۱۴/۹	۳۵	۴۰/۲
۲۰۰	۱۵/۴	۳۸/۷	۳۹/۹
۲۵۰	۱۵/۲	۳۷/۵	۳۹/۴
۳۱۵	۱۶/۵	۳۸	۳۷/۹
۴۰۰	۱۷/۲	۳۷/۸	۳۹/۶
۵۰۰	۱۷/۸	۳۸/۳	۴۱/۹
۶۳۰	۱۸/۶	۴۰/۱	۴۴/۹
۸۰۰	۱۷/۸	۴۰/۸	۴۵/۴
۱۰۰۰	۱۷/۳	۴۲/۶	۴۷/۹
۱۲۵۰	۱۶/۵	۴۴/۶	۵۰/۴
۱۶۰۰	۱۵/۷	۴۵/۵	۴۹/۵
۲۰۰۰	۱۶/۸	۴۶/۵	۵۱/۹
۲۵۰۰	۱۷/۶	۴۷/۴	۵۴/۴
۳۱۵۰	۱۶/۹	۴۹/۵	۵۴/۹
۴۰۰۰	۱۸/۴	۵۱/۱	۵۴
شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w)	۱۷	۴۳	۴۷

۳ـ۲ـ۲ تیغه‌های داخلی از آجر ماشینی ده‌سوراخه

برخلاف آجر فشاری، این آجر در کارخانه‌های تمام‌خودکار ساخته می‌شود، بنابراین ابعاد آن ۵/۵ × ۱۱ × ۲۲ سانتی‌متر، مشخص و یکدست است و تراکم بیش‌تری نسبت‌به آجر فشاری دارد. دیوار و تیغهٔ ساخته‌شده با این آجرها معمولاً در مکانی به‌کار می‌رود که به اندود نیاز ندارد و تنها با بندکشی کامل می‌شود.

مشخصات فیزیکی این‌گونه آجرها چنین است:



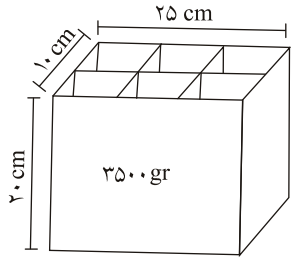
طول:	۲۲ cm
عرض:	۱۱ cm
ارتفاع:	۵/۵ cm
وزن مخصوص:	۰/۹ kg
وزن پخته‌شده (خشک):	۱/۲ kg ـ ۱/۱
درصد جذب آب:	٪۱۳
مقاومت فشاری:	۲۵۰ kg

مطابق مبحث ششم مقررات ملی ایران (حداقل بارهای وارده بر ساختمان) وزن فضایی آجرکاری با آجرهای ماشینی و ملاط ماسه‌سیمان، چنان‌چه سوراخ‌ها با ملاط پر شوند، برابر ۲۱۰۰ kg/m^3 است.

۳ـ۲ـ۳ تیغه‌های داخلی از آجر سفالی

این‌گونه آجرها در کارخانه‌های تمام‌خودکار ساخته می‌شوند، بنابراین ابعاد و وزنشان کاملاً یکسان است. ابعاد معمولی آن‌ها ۱۰ × ۲۰ × ۲۵ سانتی‌متر، و وزن آن‌ها ۳/۵ kg است و وزن فضایی هر مترمکعب درحالت خشک برابر ۷۰۰ kg است.

این بلوک‌ها انواع مختلفی دارند که از آن جمله بلوکی با ضخامت ۷ cm است که برای ساخت تیغه‌های نازک‌تر می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. ضخامت این بلوک‌ها با اندود دو طرف حدود ۱۰ cm می‌شود.



وزن یک مترمربع تیغهٔ ساخته‌شده از آجر سفال مجوف با ملاط ماسه‌سیمان و حداقل ۲ cm اندود گچ‌وخاک و اندود گچ پرداختی در هر طرف (آمادهٔ نقاشی) این‌گونه محاسبه می‌شود (تعداد بلوک در مترمربع ۱۸/۵ عدد و ملاط مصرفی ۱۱ لیتر است):

وزن بلوک‌ها: $۱۸/۵ \times ۳/۵ = ۶۵ \text{ kg}$

وزن ملاط: $۱۱ \times ۱/۸ = ۲۰ \text{ kg}$

وزن اندود گچ در دو طرف: $۱۳۰۰ \times ۰/۰۴ = ۵۲ \text{ kg}$

جمع کل: $۶۵ + ۲۰ + ۵۲ = ۱۳۷ \text{ kg}$

ضخامت تمام‌شدهٔ تیغه باتوجه‌به ابعاد و ضخامت ملاط‌های ذکرشده برابر است با:

$۱۰ + ۴ = ۱۴ \text{ cm}$

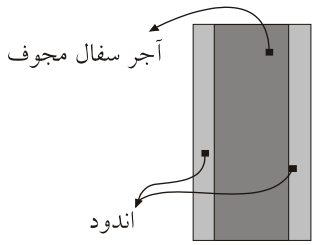
این ضخامت در کار بنای غیرمتخصص بیش‌تر خواهد شد. در مقایسه با تیغهٔ ساخته‌شده با آجر فشاری که یک بنا و دو کارگر $۱۶ \text{ m}^۲$ در روز می‌چینند، متراژ تیغهٔ ساخته‌شده با آجر سفال مجوف $۳۰ \text{ m}^۲$ در روز است.

میزان مقاومت حرارتی این آجر این‌گونه محاسبه می‌شود:

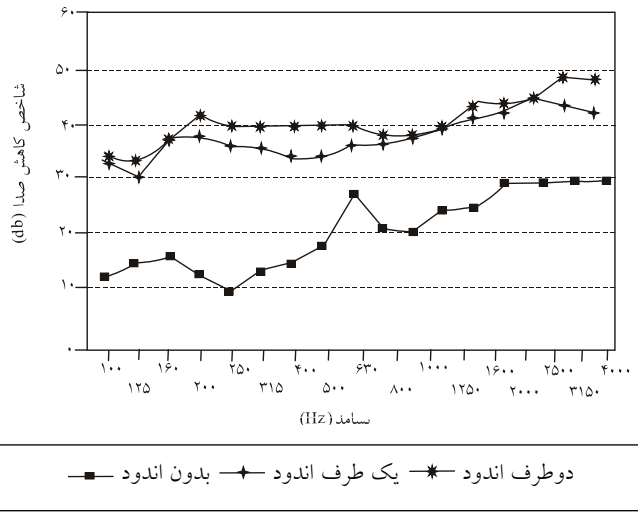
$\lambda = ۰/۵۱ \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (ضریب هدایت حرارتی)

$R = (۰/۰۴ \div ۰/۳۵) + (۰/۱۰ \div ۰/۵۱)$ (مقاومت حرارتی)

$R = ۰/۳۱ \text{ m}^۲ \text{ }^\circ\text{C/W}$



مقاومت این تیغه‌ها دربرابر آتش‌سوزی تا دو ساعت برآورد شده‌است. مقدار شاخص کاهش صدا باتوجه‌به ضخامت بلوک‌ها و اندودها $R_w = ۴۲ \text{ db}$ است.



شکل ۳ـ۲ نمودارهای شاخص کاهش صدا برای دیوار ساخته‌شده با آجر سفالی ده سانتی‌متری در شرایط مختلف.

جدول ۳ـ۲ مقادیر شاخص کاهش صدا (R) برای دیوار ساخته‌شده با آجر سفالی در شرایط مختلف.

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی (Hz)	بدون اندود به‌ضخامت ۱۰ cm و چگالی ۷۴/۷ kg/m^۲	یک طرف اندود به‌ضخامت ۱۱ cm و چگالی ۹۰/۷ kg/m^۲	دو طرف اندود به ضخامت ۱۲ cm و چگالی ۱۰۶/۷ kg/m^۲
۱۰۰	۱۲/۳	۳۲/۸	۳۴/۴
۱۲۵	۱۴/۴	۳۰/۵	۳۳/۵
۱۶۰	۱۵/۴	۳۷/۲	۳۷
۲۰۰	۱۲/۸	۳۷/۹	۴۱/۲
۲۵۰	۹/۳	۳۶	۳۹/۴
۳۱۵	۱۳/۶	۳۶	۴۰/۲
۴۰۰	۱۴/۹	۳۴/۲	۴۰/۲
۵۰۰	۱۸	۳۴/۴	۳۹/۸
۶۳۰	۲۶/۲	۳۶/۴	۳۹/۷
۸۰۰	۲۱/۴	۳۷	۳۸/۱
۱۰۰۰	۲۰/۸	۳۸	۳۸/۶
۱۲۵۰	۲۴/۹	۳۹/۲	۳۹/۸
۱۶۰۰	۲۵/۱	۴۲/۲	۴۴/۳
۲۰۰۰	۲۸/۴	۴۲/۸	۴۴/۱
۲۵۰۰	۲۸/۴	۴۵/۴	۴۴/۹
۳۱۵۰	۲۸/۸	۴۴/۲	۴۹/۴
۴۰۰۰	۲۹/۲	۴۲/۸	۴۹
شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w)	۲۲	۴۰	۴۲

محاسبهٔ قیمت یک مترمربع دیوار با آجر سفالی

مطابق اطلاعات ۳ـ۲ داریم:

قیمت بلوک: ۱۸/۵ × ۱۹۵۰ = ۳۶۰۷۵ ریال

قیمت یک لیتر ملاط ۲۵۰ kg سیمان در مترمکعب برابر است با:

هر کیلو سیمان: ۰/۲۵ × ۷۲۰ = ۱۸۰ ریال

هر کیلو ماسه: ۲/۱ × ۷۰ = ۱۴۷ ریال

هر کیلو ماسه‌سیمان: ۱۸۰ + ۱۴۷ = ۳۲۷ ریال

حجم ملاط ماسه‌سیمان برای یک مترمربع دیوار ۱۱ لیتر برابر است با:

قیمت ملاط: ۱۱× ۳۲۷ = ۳۶۰۰ ریال

قیمت مصالح سفیدکاری برای یک مترمربع دیوار برابر است با:

قیمت گچ سفیدکاری: ریال $۸ \times (۱۲۰۰۰ \div ۴۰) = ۲۴۰۰$

قیمت خاک: ریال $۲۴ \times (۸۰۰۰ \div ۴۰) = ۴۸۰۰$

قیمت گچ‌وخاک: ریال $۲۴ \times (۴۵۰۰ \div ۴۰) = ۲۷۰۰$

جمع کل: ریال $۳۶۰۷۵ + ۳۶۰۰ + ۹۹۰۰ = ۴۹۵۷۵$

دستمزد ساخت یک مترمربع دیوار برابر است با:

دستمزد دیوارچینی: ریال ۳۷۰۰۰

دستمزد شمشه‌گیری ریال $۲ \times \frac{۱}{۸۵} (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۱۲۰۰۰$

دستمزد گچ‌وخاک: ریال $۲ \times \frac{۱}{۴۰} (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۲۵۵۰۰$

دستمزد سفیدکاری کشته: ریال $۲ \times \frac{۱}{۶۰} (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۱۷۰۰۰$

جمع کل: ریال $۱۷۰۰۰ + ۱۲۰۰۰ + ۲۵۵۰۰ + ۱۷۰۰۰ = ۷۱۵۰۰$

ریال $۷۱۵۰۰ \times ۱/۵ = ۱۰۷۲۵۰$

(به‌خاطر تخصص بنا و کارگر ۵۰٪ اضافه درنظر گرفته و ضریب ۱/۵ اعمال می‌شود.)

درنتیجه، قیمت تمام‌شده برای یک مترمربع دیوار برابر است با:

ریال $۴۹۵۷۵ + ۱۰۷۲۵۰ = ۱۵۶۸۲۵$

ابعاد آجرهای سفالی مجوف موجود در بازار به سانتی‌متر عبارت‌اند از:

$۳۰ \times ۵۰ \times ۱۰$

$۲۰ \times ۲۰ \times ۱۰$

$۲۰ \times ۲۰ \times ۱۵$

$۲۰ \times ۲۵ \times ۱۵$

$۲۰ \times ۲۰ \times ۲۵$

$۲۰ \times ۲۵ \times ۴۰$

$۲۵ \times ۲۵ \times ۴۰$

نوعی آجر سفالی که ابعاد آن بیش‌تر از ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر است، مخصوص تیغه‌های خارجی است. انواع جدید این آجرها بهینه‌سازی و به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که در مرحلهٔ کار با ملاط با قرار دادن یک عایق در شکاف آن یک انقطاع حرارتی در تیغه ایجاد می‌کنند. بزرگ‌ترین شرکت‌های تولیدکنندهٔ آجرهای سفالی در ایران، «ایتالران» و «تکنوآجر» هستند.

بررسی محاسن و معایب تیغه با آجر سفالی مجوف

محاسن:

۱. هنگام دپو در ماشین و کارگاه، حجم و فضای کم‌تری را نسبت‌به آجر فشاری اشغال می‌کند، زیرا به‌ترتیب چیده می‌شود و کمپرس نمی‌شوند؛

۲. به‌علت حجم بزرگ‌تر نسبت‌به آجر فشاری، با سرعت بیش‌تری نیز چیده می‌شود و درنهایت آجرچینی با سرعت بالاتری انجام می‌شود؛

۳. عایق مناسبی برای حرارت است؛

۴. سوخت و نیروی انسانی کم‌تری در تولید مصرف می‌کند؛

۵. نسبت‌به آجر فشاری سبک‌تر است.

معایب:

۱. در مکان‌هایی که درمعرض نیروی جانبی خاک و باد هستند، به‌علت سبکی مناسب نیستند؛

۲. هنگام چیدن در گوشه و کنار به ابعاد کوچک‌تری از آن نیاز است. بنابراین پرت آن زیاد است، یا باید همراه‌با آجر فشاری به‌کار رود؛

۳. برای سوراخ‌کاری‌های موردنیاز پیچ‌های نصب کابینت، روشویی، رادیاتور و ... نامناسب است؛

۴. عایق مناسبی برای صوت نیست؛

۵. هنگام ایجاد شیار برای لوله‌های برق پرت زیادی دارد و درنتیجه، به گچ‌وخاک بیش‌تری برای صاف کردن مجدد نیاز است.

۶. برای نصب چراغ، چنان‌چه از رول‌پلاک پلاستیکی استفاده شود، گرمای لامپ باعث گرم شدن رول‌پلاک، و پس‌از مدتی آویزان شدن چراغ از سقف می‌شود، بنابراین باید از رول‌پلاک‌های غیرپلاستیکی و اسفنجی استفاده کرد؛

۷. به‌علت جذب نکردن آب، برای کاشی‌کاری و سنگ‌کاری با ملاط مناسب نیست؛

۸. به بنای درجه‌یک نیاز دارد، زیرا درصورت بی‌دقتی در چینش فرو می‌ریزد.

۹. دیوار پس‌از چیده شدن به‌علت بالا رفتن سریع ارتفاع و جذب کم آب در بلوک، مرتعش می‌شود؛ برای جلوگیری باید بعداز هر متر یک ردیف آجر فشاری چیده شود یا تا ارتفاع مناسب با ملاط گچ‌وخاک آغشته گردد و دیوارها متناوب چیده شوند؛

۱۰. به‌دلیل شکنندگی در حمل‌ونقل، جابه‌جایی و اجرا، دورریز زیادی دارد.

مقایسهٔ آجر سفالی با آجر فشاری

مقایسهٔ حجم: $(۲۵ \times ۲۰ \times ۱۰) \div (۲۲ \times ۱۱ \times ۵/۵) = ۳/۷۵$

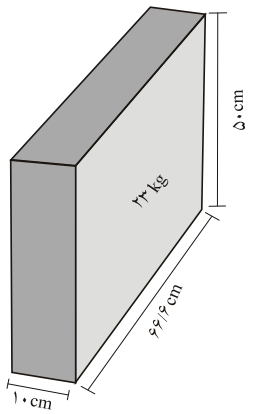
مقایسهٔ وزن یک مترمربع دیوار: $۲۶۴ \div ۱۲۵ = ۲/۱۱$

مقایسهٔ سرعت کار در روز: $۳۰ \div ۱۶ = ۱/۸۷۵$

۴ـ۲ـ۳ تیغه‌های داخلی از پانل گچی

گچ قرن‌هاست که در ساختمان‌سازی استفاده می‌شود و قدمت آن در معماری و طرح‌های تزیینی به هفت‌هزار سال قبل‌از میلاد مسیح می‌رسد. امروزه نیز گچ به‌علت داشتن ویژگی‌های مختلف نظیر شکل‌پذیری، مقاومت زیاد، ارزانی نسبی، سبکی و ... با ماشین‌آلات مدرن تهیه و در صنعت ساختمان مصرف می‌شود. علاوه‌بر کاربرد تزیینی، از گچ به‌عنوان روکش نهایی دیوارهای داخلی، ساخت سقف کاذب و تیغه‌های پانل گچی استفاده می‌شود.

کارخانهٔ پانل گچی دلیجان از ۱۳۷۱ در شهر دلیجان (بین اصفهان و تهران، و به‌فاصلهٔ ۲۲۰ کیلومتری جنوب تهران) با ماشین‌آلات تمام‌خودکار ایتالیایی شروع به‌کار کرد. محصولات این کارخانه در دو مدل یک‌سوراخه و دوسوراخه به‌ابعاد ۶۶/۶ × ۵۰ سانتی‌متر و به‌ضخامت استاندارد ۱۰ cm عرضه می‌شود. قطر سوراخ‌ها در نوع تک‌سوراخه ۴۵ mm و در نوع دوسوراخه ۳۰ mm است. سطح پانل‌ها کاملاً صیقلی و در چهار طرف دارای کام و زبانه است.



ملاط مصرفی برای نصب پانل گچی نیز گچ و سریش است (در یک مترمربع فقط ۱ kg ملاط گچ و سریش مصرف می‌شود). برای ساخت ملاط کافی است ۵۰ kg گچ نرم الک‌شده را با ۱ kg پودر چسب سریشم (برای کندگیر کردن ملاط) و مقدار کافی آب مخلوط کنیم. پودر سریشم باعث چسبندگی و مقاومت بیش‌تری ملاط می‌گردد.

وزن یک مترمربع تیغهٔ پانل گچی برابر است با:

تعداد پانل در مترمربع دیوار: $۱۰۰ \times ۱۰۰ \div ۶۶/۶ \times ۵۰ = ۳$

وزن تیغه‌ها: $۳ \times ۲۳ = ۶۹ \text{ kg}$

۱/۵ cm گچ کشته در هر طرف: $۱۳۰۰ \times ۰/۰۳ = ۳۹ \text{ kg}$

$۶۹ + ۳۹ = ۱۰۸ \text{ kg}$

ضخامت تمام‌شدهٔ تیغه باتوجه‌به ۱/۵ cm سانتی‌متر گچ کشته در هر طرف ۱۳ cm است.

$۶۹ + ۳۹ = ۱۰۸$ kg

ضخامت تمام‌شدهٔ تیغه باتوجه‌به ۱/۵ cm سانتی‌متر گچ کشته در هر طرف ۱۳ cm است.

محاسبهٔ قیمت یک مترمربع دیوار پانل گچی

مطابق اطلاعات بند ۳ـ۲ داریم:

ـ قیمت پانل‌های مصرفی تحویل در کارخانه ۱۰۷۰۰ ریال؛

ـ کرایهٔ حمل‌ونقل از کارخانه به تهران به ۷۶۰۰ ریال؛

ـ قیمت ملاط گچ مصرفی با یک کیلوگرم و سریشم همراه‌با دستمزد ۳۸۰۰۰ ریال.

دستمزد ساخت یک مترمربع دیوار باتوجه‌به این‌که یک بنا و یک کارگر درطول یک روز می‌توانند ۵۵ m^2 دیوارچینی کنند، برابر است با:

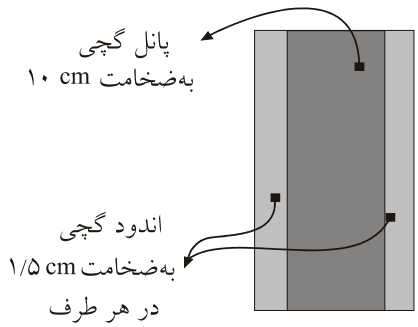
دستمزد دیوارچینی: ریال ۳۵۰۰۰

درنهایت قیمت تمام‌شده برای یک مترمربع دیوار برابر است با:

$۱۰۷۰۰ + ۳۸۰۰۰ + ۷۶۰۰ + ۳۵۰۰۰ = ۹۱۳۰۰$ ریال

مقاومت فشاری پانل گچی ۶۶/۷ kg/cm^2 و وزن فضایی آن حدود ۶۳۰ تا ۶۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب است.

میزان مقاومت حرارتی پانل گچی به‌روش زیر محاسبه می‌شود:

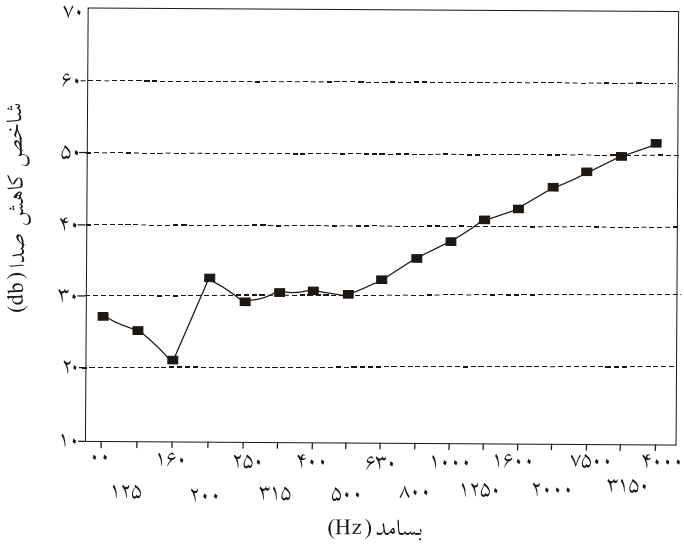


$\lambda = ۰/۳۵$ W/m℃ (ضریب هدایت حرارتی)

$R = ۰/۱۳ \div ۰/۳۵$ W/m℃ (مقاومت حرارتی)

$R = ۰/۳۷$ m^2 ℃/W

مقدار شاخص کاهش صدا ۳۸ db برای ۵۰۰ Hz و ۴۲ db برای ۱۰۰۰ Hz است.



شکل ۳ـ۳ نمودار شاخص کاهش صدا برای دیوار ساخته‌شده با پانل گچی.

جدول ۳ـ۳ مقادیر کاهش شاخص صدای دیوار ساخته‌شده با پانل گچی (دلیجان درزبندی‌شده با ملاط گچ به چگالی ۶۹).

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی (Hz)	شاخص کاهش صدا (db)
۱۰۰	۲۷/۱
۱۲۵	۲۵/۳
۱۶۰	۲۱/۱
۲۰۰	۳۲/۶
۲۵۰	۲۹/۲
۳۱۵	۳۰/۷
۴۰۰	۳۱
۵۰۰	۳۰/۳
۶۳۰	۳۲/۵
۸۰۰	۳۵/۷
۱۰۰۰	۳۸/۱
۱۲۵۰	۴۱/۱
۱۶۰۰	۴۲/۷
۲۰۰۰	۴۵/۷
۲۵۰۰	۴۷/۷
۳۱۵۰	۵۰
۴۰۰۰	۵۱/۷
شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_W)	۳۷

مقایسهٔ پانل گچی با آجر فشاری

تعداد: (۶۶/۵۰ × ۵۰ × ۱۰) ÷ (۲۲ × ۱۱ × ۵/۵) = ۲۵

سرعت در روز (برابر): ۵۵ ÷۱۶ = ۳/۴۴

سبکی (برابر) ۲۶۴/۵ ÷ ۶۴ = ۴/۱

محاسبهٔ سرعت و مدت ساخت یک دیوار ۱۶ مترمربعی با پانل گچی

باتوجه‌به این‌که یک بنا و یک کارگر روزانه به‌طور متوسط ۵۵ cm دیوار گچی می‌سازند، داریم:

۱۶ ÷ ۵۵ =۰/۳

۱. سفیدکاری با گچ کشته: ۲ ×۱۶ ÷ ۳۰ = ۱/۰۶۶ روز

۲. باتوجه‌به اجرای پاشنهٔ بتنی به عرض ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر و سایر تمهیدات کارخانه (مانند بندکشی و غیره)، برای نصب پانل‌های گچی، به‌هرترتیب که محاسبه شود، حدود ۱/۵ روز زمان می‌طلبد.

۳. شیارزنی و نصب لولهٔ برق و پر کردن محل شیارها ۱/۲۵ روز است.

پس زمان لازم برای ساخت یک دیوار ۵۵ مترمربعی با دو طرف اندود و نصب لوله‌های برق و تأسیسات برابربا ۲/۷۵ روز است.

مصالح لازم: پانل گچی، گچ، سریش و آب.

ابزار لازم: سطل پلاستیکی، شاقول، تراز آبی، کاردک، ارهٔ چوب‌بری با دندانه‌های درشت، ریسمان، پروفیل آلومینیمی ۲/۵ سانتی، چکش لاستیکی، کمچه و مالهٔ گچ‌بری.

بررسی محاسن و معایب پانل‌های گچی

محاسن:

۱. سبک بودن به‌علت ضخامت و جرم حجمی کم؛

۲. قابلیت جابه‌جایی و بازیافت با پرت کم؛

۳. سرعت کار بالا و نیروی انسانی کم؛

۴. دپو کردن و حمل‌ونقل راحت؛

۵. از سوراخ‌ها می‌توان برای تأسیسات برق استفاده کرد؛

۶. حذف مرحلهٔ گچ‌وخاک و به‌کار بردن ضخامت کم گچ؛

۷. افزایش سطح مفید زیربنا.

معایب:

۱. برای تیغه‌های خارجی باید تمهیدات لازم را به‌کار برد؛

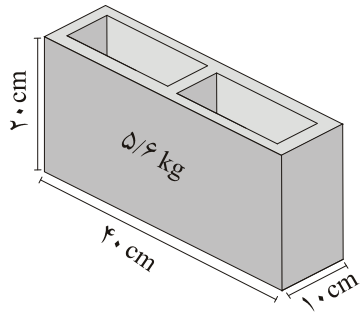
۲. برای ساخت یا نصب به بنای متخصص یا آموزش‌دیده نیاز دارد؛

۳. انحصاری بودن سازنده؛

۴. باید نحوهٔ بریدن قطعات را محاسبه کرد؛ در غیر این‌صورت پرت زیادی خواهد داشت؛
۵. برای تیغه‌های درمعرض رطوبت، مانند سرویس حمام، باید طرف کاشی ازقبل زنجاب شود.

۳ـ۲ـ۵ تیغه‌های داخلی از لیکا (LECA)[1]

واژهٔ اختصاری لیکا به‌معنی «دانهٔ رس سبک منبسط‌شده» است که این دانه از انبساط خاک رس در کوره‌های گردان با حرارتی حدود ۱۲۰۰°C به‌دست می‌آید. پیشینهٔ کاربرد دانه‌های سبک و منبسط‌شدهٔ رس به سال ۱۹۱۷ بازمی‌گردد، ولی از دههٔ ۱۹۶۰ صنعت تولید این فراورده در دانمارک پایه‌ریزی شد و اکنون در بیش‌از ۲۰ کشور جهان تولید می‌شود. ابعاد تیغه‌های این محصول، ۱۰ × ۲۰ × ۴۰ در نوع توپر ۸ × ۲۰ × ۴۰ است. وزن مخصوص بتن لیکا ۹۵۰ kg /m^3، بلوک توخالی آن ۷۰۰ kg/m^3 و تعداد مصرف در یک مترمربع دیوار ۱۲ عدد است.



محاسبهٔ وزن یک مترمربع دیوار ساخته‌شده از لیکا

وزن بلوک‌ها: ۱۲ × ۵/۶ = ۶۷

وزن ملاط: ۱۰/۵ × ۱/۸ = ۱۹

وزن اندود گچ‌وخاک به‌ضخامت ۱۰ mm برای هر طرف: ۱۶۰۰ × ۰/۰۲ = ۳۲

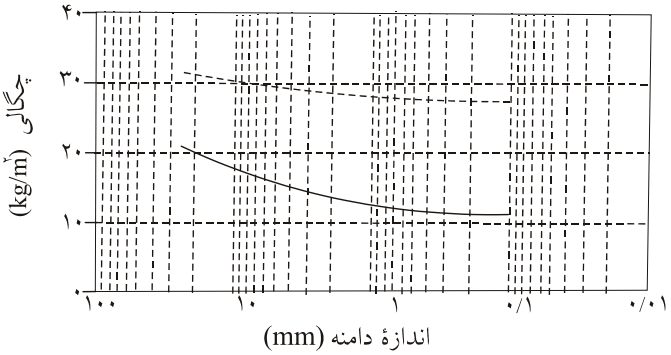
وزن اندود گچ کشته به‌ضخامت ۳ mm برابر هر طرف: ۱۳۰۰ × ۰/۰۰۶ = ۸

جمع کل: ۶۷ + ۱۹ + ۳۲ + ۸ = ۱۲۶

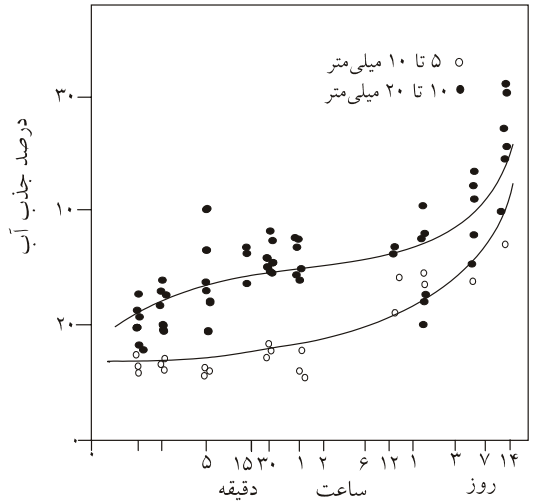
ضخامت تیغهٔ تمام‌شدهٔ لیکا باتوجه‌به ضخامت اندودها ۱۲/۶ تا ۱۳/۵ سانتی‌متر است.

جذب آب دانه‌های لیکا به دو عامل زمان و اندازهٔ دانه بستگی دارد. باتوجه‌به میزان کم انبساط و تخلخل در دانه‌های کوچک‌تر، مقدار جذب آب نیز در این دانه‌ها کم‌تر است و روند کندی دارد. درضمن، میزان رطوبت دانه‌ها بر سایر ویژگی‌های آن مانند وزن و هدایت حرارتی، تأثیر مستقیم دارد.

1 Lightweight Expanded Clay Aggregate.



شکل ۳ـ۴ نمودار جذب آب نمونه‌ای از دانه‌های لیکا برحسب اندازهٔ دانه.



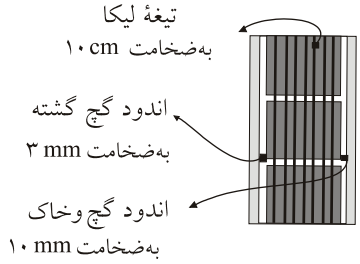
شکل ۳ـ ۵ نمودار جذب آب نمونه‌ای از دانه‌های لیکا برحسب زمان.

میزان مقاومت حرارتی تیغهٔ لیکا به‌روش زیر محاسبه می‌شود:

$\lambda = ۰/۱$ W/m°C (ضریب هدایت حرارتی)

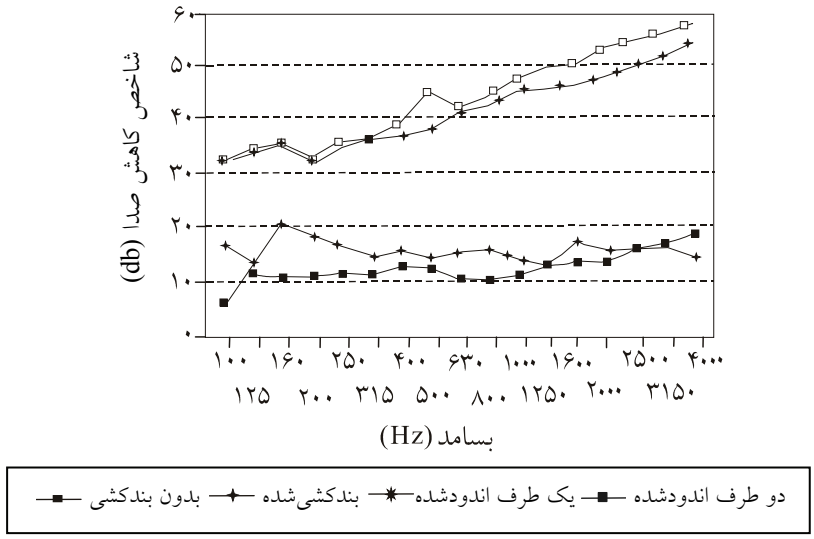
$R = (۰/۱ \div ۰/۱۴۱) + (۰/۰۲۶ \div ۰/۳۵)$ (مقاومت حرارتی)

$R = ۰/۷۸$ m² °C/W

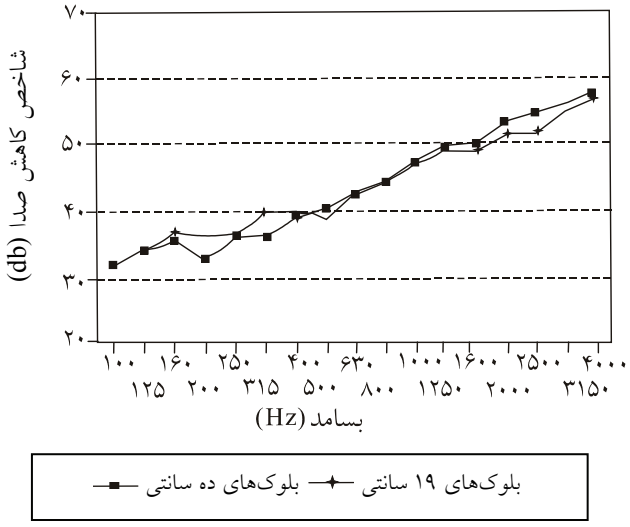


توجه کنید که ضریب هدایت حرارتی برای تیغهٔ لیکای توپر ۰/۱ و برای تیغهٔ توخالی W/m℃ ۰/۱۴۱ و درعمل اغلب از تیغهٔ توخالی ته‌پر استفاده می‌شود.

مقدار شاخص کاهش صدا باتوجه‌به ضخامت و اندودهای دو طرف db ۴۵ است.



شکل ۳ـ۶ نمودار شاخص کاهش صدا برای دیوار ساخته‌شده
با بلوک لیکا ده سانتی در شرایط مختلف.



شکل ۳ـ۷ نمودارهای شاخص کاهش صدا برای دیوارهای ساخته‌شده
با بلوک‌های لیکا بتن دو طرف اندودشده.

جدول ۳ـ۴ مقادیر شاخص کاهش صدا (R) به دسی‌بل (db) برای دیوار ساخته‌شده با بلوک‌های لیکا در وضعیت‌های مختلف.

بسامد مرکزی بندهای یک‌سوم هنگامی (Hz)	بدون اندود به‌ضخامت ۱۰ cm و چگالی ۱۱۲ kg/m^۲	یک طرف اندود به‌ضخامت ۱۰ cm و چگالی ۱۲۸ kg/m^۲	یک طرف اندود به‌ضخامت ۱۱ cm و چگالی ۱۲۸ kg/m^۲	دو طرف اندود به‌ضخامت ۱۲ cm و چگالی ۱۴۴ kg/m^۲
۱۰۰	۶/۴	۱۶/۸	۳۲	۳۱/۹
۱۲۵	۱۱/۷	۱۳/۵	۳۳/۲	۳۴/۲
۱۶۰	۱۱	۲۰/۸	۳۵/۱	۳۵/۵
۲۰۰	۱۱/۲	۱۸/۷	۳۱/۹	۳۲/۹
۲۵۰	۱۱/۶	۱۶/۸	۳۴/۵	۳۶/۱
۳۱۵	۱۱/۵	۱۴/۶	۳۶/۳	۳۶/۲
۴۰۰	۱۲/۹	۱۵/۶	۳۶/۸	۳۹/۳
۵۰۰	۱۲/۴	۱۴/۶	۳۸/۱	۴۰/۳
۶۳۰	۱۰/۶	۱۵/۵	۴۱/۱	۴۲/۲
۸۰۰	۱۰/۳	۱۵/۸	۴۲/۳	۴۴/۲
۱۰۰۰	۱۱/۵	۱۴/۳	۴۵	۴۷/۶
۱۲۵۰	۱۳/۱	۱۳/۳	۴۵/۵	۴۹/۵
۱۶۰۰	۱۳/۸	۱۷/۳	۴۶/۲	۵۰
۲۰۰۰	۱۳/۷	۱۵/۸	۴۷/۸	۵۳/۲
۲۵۰۰	۱۶/۲	۱۵/۸	۴۹/۷	۵۴/۶
۳۱۵۰	۱۷/۱	۱۶	۵۱/۷	۵۵/۹
۴۰۰۰	۱۸/۸	۱۴۴/۶	۵۴/۳	۵۷/۸
شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_W)	۱۳	۱۷	۴۳	۴۵

در تیغه‌های ده سانتی لیکا، مقاومت دربرابر آتش‌سوزی حدود دو ساعت و دربرابر شوک حرارتی تا ۱۱۰۰℃ است. تیغهٔ لیکا فسادناپذیر و با pH نزدیک‌به ۷ (نرمال) درمقابل ترکیبات اسیدی و قلیایی مقاوم است.

محاسبهٔ قیمت تمام‌شدهٔ یک مترمربع دیوار ساخته‌شده از لیکا (توخالی)

مطابق اطلاعات بند ۳ـ۲ و باتوجه‌به این‌که یک بلوک ۱۰ × ۲۰ × ۴۰ سانتی لیکا ۶۶۰۰ ریال و حجم ملاط مصرفی ماسه‌سیمان موردنیاز یک مترمربع دیوار باتوجه‌به پرت آن، ۱۵ لیتر است، داریم:

قیمت بلوک:	ریال	۱۲ × ۶۶۰۰ = ۷۹۲۰۰
قیمت ملاط:	ریال	۱۵ × ۳۲۷ = ۴۹۵۰
جمع کل:	ریال	۷۹۲۰۰ + ۴۹۵۰ = ۸۴۱۵۰
دستمزد دیوارچینی:	ریال	۳۵۰۰۰
دستمزد شمشه‌گیری:	ریال	$۲ \times \frac{۱}{۸۵}$ (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۱۲۰۰۰
دستمزد گچ‌وخاک:	ریال	$۲ \times \frac{۱}{۴۰}$ (۳۵۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۲۲۵۰۰
دستمزد سفیدکاری کشته:	ریال	$۲ \times \frac{۱}{۶۰}$ (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۱۷۰۰۰
جمع کل:	ریال	۳۵۰۰۰ + ۱۲۰۰۰ + ۲۲۵۰۰ + ۱۷۰۰۰ = ۸۶۵۰۰

درنتیجه قیمت تمام‌شده برای یک مترمربع دیوار برابر است با:

ریال ۸۴۱۵۰ + ۸۶۵۰۰ = ۱۷۰۶۵۰

بررسی محاسن و معایب تیغه‌های لیکا

محاسن:

۱. عایق حرارتی و صوتی خوبی است؛
۲. سرعت عمل بالایی دارد؛
۳. افت و خزش و وارفتگی ندارد؛
۴. جذب آب آن خوب است؛
۵. برای میخ و پیچ مشکل ندارد؛
۶. دارای زبانه برای قفل و بست شدن است.
۷. دیوار چیده‌شده صاف است و به‌جای اندود گچ‌وخاک می‌توان گچ کشته را با ضخامت بیش‌تری انجام داد؛
۸. ضریب انبساط آن با سازه‌های بتنی و فلزی هم‌خوانی دارد؛
۹. قابل دپو کردن در طبقات است؛
۱۰. رفتار مناسبی دربرابر ضربه‌های ناشی‌از زلزله دارد و در صفحهٔ قاب خرد می‌شود.

معایب:

۱. هزینهٔ حمل نسبتاً زیاد؛

۲. انحصاری بودن کارخانهٔ سازنده در کشور؛

۳. مقاومت فشاری کم به‌علت توخالی بودن آن در مقایسه با دیوارهای اجراشده با بلوک‌های AAC؛

۴. عدم شیارپذیری مناسب برای عبور لوله‌های تأسیسات (آب و برق)؛

۵. ضعف در ارّه‌پذیری و درنتیجه، تولید ضایعات زیاد؛

۶. وزن تمام‌شدهٔ زیاد (حدود ۶۰٪) نسبت‌به دیوار اجراشده با بلوک AAC.

مقایسهٔ تیغهٔ لیکا با آجر فشاری ازنظر ابعاد: $(۴۰ \times ۲۰ \times ۱۰) \div (۲۲ \times ۱۱ \times ۵/۵) = ۶$

مقایسهٔ تیغهٔ لیکا با آجر فشاری ازنظر وزن و سبکی: $۱۷۶۰ \div ۷۰۰ = ۲/۵$

۶ـ۲ـ۳ تیغه‌های داخلی از آجر ماسه‌آهکی

مصرف آهک به‌صورت ملاط ساروج در ساختمان‌های مسکونی و آب‌انبارها، سدها و آب‌بندها از هزاران سال پیش در کشورمان متداول بوده‌است. ویژگی آهک این است که به‌مرور سفت و تبدیل به سنگ می‌شود. آجرهای ماسه‌آهکی بهترین مصالح برای ساخت نما، سنگ‌فرش معابر پیاده‌روها و محوطه، و بهترین جایگزین سنگ در نما هستند. اگرچه این آجرها برای دیوارهای داخلی و غیربابر چندان کاربرد ندارند، اما آشنایی با آن‌ها خالی از فایده نیست.

آجر ماسه‌آهکی که با فناوری پیشرفته تولید می‌شود، با استفاده از ماسهٔ سیلیسی ($CiO_۲$) با نسبت وزنی ۶ تا ۸ درصد و گرد آهک مرغوب (CaO) با نسبت وزنی ۹۲ تا ۹۴ درصد که با آب مخلوط می‌گردد، ساخته می‌شود. در این فرایند گرد آهک شکسته و به $Ca(OH)_۲$ تبدیل می‌شود. این مخلوط با فشار حدود $۴۰\ N/mm^۲$ فشرده می‌شود و با پرس‌های هیدرولیکی به اشکال و ابعاد موردنظر درمی‌آید. سپس این محصول خام به‌صورت خودکار روی واگن‌های مخصوصی به اتوکلاو (گرم‌خانه) که تحت بخار آب ۲۰۰ تا ۲۵۰ درجه و با فشار بالای ۱۶ تا ۲۱ بار کار می‌کند، هدایت می‌شود و در آن‌جا پس‌از حدود ده ساعت تبدیل به سنگ مصنوعی هیدروسیلیکات کلسیم ($SiO_۳\ Ca$) می‌گردد که به آن «آجر ماسه‌آهکی» می‌گویند.

ازنظر حجمی ۹۰٪ وزن آجر ماسه‌آهکی را ماسهٔ سیلیسی با خلوص ۷۰٪ تشکیل می‌دهد و ۱۰٪ باقی‌ماندهٔ آهک با خلوص بیش‌از ۸۵٪ است.

ابعاد نوع معمولی آجرهای ماسه‌آهکی تولیدشده ۵ × ۱۰/۳ × ۲۲سانتی‌متر، نوع بلوکی ۱۰ × ۱۰/۳ × ۲۲ سانتی‌متر و ابعاد نوع باربر آن ۵ × ۵ × ۲۲سانتی‌متر است. مقاومت و تاب فشاری آجرهای ماسه‌آهکی درحالت خشک تا $۳۴۰\ kg/m^۲$ و درحالت اشباع تا $۲۴۰\ kg/m^۲$ می‌رسد. وزن مخصوص این آجرها $۱/۷۴\ gr/cm^۳$، درصد جذب آب آن تا ۱۵٪ و درصد کاهش وزن آن‌ها

به‌مرور زمان و براثر یخ‌زدگی در ده دورهٔ آزمایش کم‌تر از ۲٪ بوده‌است. مقدار شاخص کاهش صدا در دیوار ساخته‌شده با این نوع آجر ۴۸db است.

این نوع آجر در دو نوع مختلف ۵ و ۱۰ سانتی و در رنگ‌های متنوع تولید می‌شود که ضریب هدایت حرارتی $\lambda = ۱/۴۵ \ W/m^{\circ}C$ است. تعداد آجرهای ۵ سانتی موردنیاز برای یک مترمربع دیوار ۱۰ سانتی ۸۵ قالب، برای دیوار ۲۰ سانتی ۱۵۵ قالب و برای دیوار ۳۵ سانتی ۲۱۵ قالب است. آجر ماسه‌آهکی با قدرت ذخیرهٔ گرما و سرما مانع تغییر سریع درجه‌حرارت محیط داخلی ساختمان می‌شود و با داشتن چگالی بالا عایق خوبی برای صدا به‌شمار می‌آید. به‌دلیل مصرف آهک در ساختار آن، محیط نامناسبی برای تجمع حشرات و حیوانات موذی است. ازاین‌رو یکی از بهترین مصالح مورداستفاده در ساختمان مدارس، بیمارستان‌ها، صنایع مختلف و انبارها محسوب می‌شود.

اخیراً از آجرهای ماسه‌آهکی به رنگ‌های متنوع در کف پیاده‌روها و راهروهای فضاهای سبز استفاده می‌شود. این آجر، علاوه‌بر زیبایی، بادوام است و به‌آسانی تعمیر می‌شود و در مقایسه با آجر فشاری، به‌دلیل استفاده از ماسهٔ بادی به‌جای خاک رس که در پاکیزگی محیط‌زیست مؤثر است، و به‌دلیل ارزان بودن و ضایعات کم‌تر، از هزینه‌های احداث ساختمان می‌کاهد.

بررسی محاسن و معایب آجرهای ماسه‌آهکی

محاسن:

۱. مقاومت فشاری بالایی دارند؛
۲. ترکیب شیمیایی آن هیدروسیلیکات کلسیم، و درواقع سنگ مصنوعی است؛
۳. ابعاد دقیق و معین، و استحکام بالایی دارند؛
۴. علاوه‌بر دیوارهای معمولی، در دیوارهای باربر، به‌ویژه دیوارهای حائل، جایگزین مناسبی برای سنگ لاشه و مالون محسوب می‌شوند؛
۵. نماسازی با چنین آجری راحت و دلخواه است؛
۶. پرت و ضایعات آن کم است؛
۷. علاوه‌بر هزینه‌های پایین‌تر (مانند دستمزد)، ساخت آن با سرعت بیش‌تری همراه است؛
۸. جایگزین خوبی برای سنگ در ساختمان محسوب می‌شود.

معایب:

۱. در مقایسه با آجرهای گفته‌شده وزن بیش‌تری دارد که باعث افزایش وزن ساختمان می‌شود؛
۲. به‌دلیل صاف بودن سطوح، درگیری آن با ملاط ماسه‌سیمان کم‌تر است.

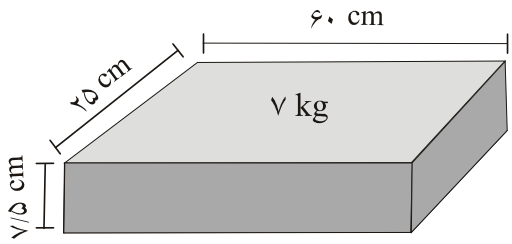
گفتنی است که بزرگ‌ترین کارخانه‌های تولید آجرهای ماسه‌آهکی در تبریز به‌نام شرکت تولید مصالح ساختمانی آذربایجان (مسا) و دیگری در اصفهان قرار دارد.

۳ـ۲ـ۷ تیغه‌چینی با بلوک سیلکس (بتن سبک AAC)

بلوک‌های ساخته‌شده با بتن سبک «سیلکس» از سال ۱۹۲۴ در اروپا به‌وجود آمدند. این بلوک از ترکیب، اختلاط و پخت ماسهٔ سیلیسی، سیمان، آهک، پودر آلومینیم و آب ساخته می‌شود و نام اروپایی آن «ایتونگ» است.

وزن هر مترمکعب این محصول حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ و به‌طور متوسط ۵۵۰ کیلوگرم است (تقریباً یک‌سوم وزن آجر فشاری) و دارای مقاومت فشاری ۲۵ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مقاومت خمشی حدود $16\ kg/cm^2$ است.

این بلوک‌ها در ابعاد ۲۵ × ۶۰ سانتی‌متر و با ضخامت ۷/۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر تولید می‌شوند و چنان‌چه خوب چیده شوند، به اندود گچ‌وخاک نیازی ندارند.



وزن یک مترمربع تیغهٔ ساخته‌شده از بلوک‌های سیلکس با ملاط ماسه‌سیمان و یک سانتی‌متر اندود گچ کشته در هر طرف (بدون نقاشی) از این قرار است:

تعداد بلوک‌ها در هر مترمربع دیوار باتوجه‌به چسب به‌جای ملاط برابر ۷ عدد است. باتوجه‌به این مطلب داریم:

وزن بلوک‌ها: $7 \times 7 = 49\ kg$

وزن چسب مصرفی در یک مترمربع دیوار: $2\ kg$

اندود گچ کشته در هر طرف یک سانتی‌متر: $0/02 \times 1300 = 26\ kg$

جمع کل: $49 + 2 + 26 = 77\ kg$

ضخامت تمام‌شدهٔ تیغه باتوجه‌به ابعاد و ضخامت ملاط رویه برابر است با:

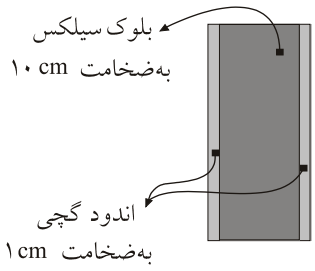
$7/5 + 2(1) = 9/5\ cm$

جدول ۳ـ۵ ضریب هدایت حرارتی مفید (λ) برحسب $W/m\,^{\circ}C$ براساس مقررات ملی ساختمان مبحث ۱۹.

ردیف	مصالح	وزن مخصوص خشک (P) برحسب kg/m^3	ضریب هدایت حرارتی مفید (λ) برحسب $W/m^{\circ}C$
۱	سفال	۱۷۰۰_۲۱۰۰	۱_۱/۳۵
۲	قطعات گچی پیش‌ساخته با روکش مقوایی	۷۵۰_۱۰۰۰	۰/۳۵
۳	گچ با روکش مقوایی ضدآتش و لایه‌های گچ آرمه با الیاف مصنوعی	۸۰۰_۱۰۰۰	۰/۳۵
۴	بتن متخلخل	۱۷۰۰_۲۱۰۰	۱/۴
۵	بتن با سنگ‌دانهٔ طبیعی سنگ با وزن مخصوص $600\ kg/m^3$	۹۵۰_۱۱۵۰	۰/۴۶
۶	بتن با رس منبسط یا شیست منبسط	۱۶۰۰_۱۸۰۰	۱/۰۵
۷	پشم‌شیشه	۹ _۱۲	۰/۰۵۴
۸	بلوک سیلکس	۵۵۰_ ۶۵۰	۰/۱۳۲

باتوجه‌به جدول، ضریب هدایت حرارتی مفید بلوک‌های سیلکس براساس نامهٔ ۳۵۳۳_۳ مورخ ۸۷/۰۵/۲۵ مرکز تحقیقات ساختمان مسکن به‌میزان $0/132\ W/m\,^{\circ}C$ است، که تکمیل‌کنندهٔ مبحث ۱۹ مقررات ملّی ساختمان است.

میزان مقاومت حرارتی بلوک سیلکس به‌روش زیر محاسبه می‌شود:



$\lambda = 0/132\ W/m^{\circ}C$ (ضریب هدایت حرارتی)

$R = (0/02 \div 0/35) + (0/10 \div 0/132)$ (مقاومت حرارتی)

$R = 0/814\ m^2\,^{\circ}C/W$

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

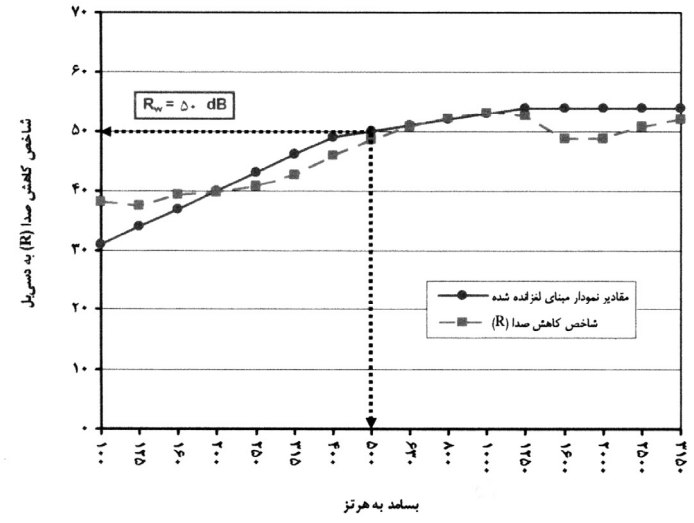
آزمایشگاه آکوستیک

نتایج اندازه‌گیری صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد در آزمایشگاه بر اساس استاندارد ملی ایران ۳-۸۵۶۸

درخواست‌کننده : شرکت سیلیس آرا	**تاریخ آزمایش :** ۸۸/۰۵/۱۰
نصب‌کننده : شرکت سیلیس آرا	**شماره آزمایش :** ۵/۱۲۸/۱
حجم اتاق منبع : ۹۸ مترمکعب	**دما :** ۲۵ درجه سلسیوس
حجم اتاق دریافت : ۱۰۳ مترمکعب	**رطوبت نسبی :** ۸۵ ٪

مشخصات جداکننده: دیوار ساخته شده با بلوک‌های بتن سبک اتوکلاو شده تولیدی شرکت سیلیس آرا به ابعاد ۲۰×۲۵×۶۰ سانتی‌متر یک‌طرف اندود سیمان به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر، طرف دیگر اندود گچ به‌ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر

سطح دیوار : ۱۲/۸ مترمربع **ضخامت کل دیوار :** ۲۳ سانتیمتر



بسامد مرکزی بندهای یک سوم هنگامی به هرتز	شاخص کاهش صدا (R) به دسی‌بل
۱۰۰	۳۸/۲
۱۲۵	۳۷/۵
۱۶۰	۳۹/۴
۲۰۰	۳۹/۷
۲۵۰	۴۰/۹
۳۱۵	۴۲/۶
۴۰۰	۴۵/۹
۵۰۰	۴۸/۶
۶۳۰	۵۰/۸
۸۰۰	۵۲/۲
۱۰۰۰	۵۳/۲
۱۲۵۰	۵۲/۵
۱۶۰۰	۴۸/۷
۲۰۰۰	۴۸/۶
۲۵۰۰	۵۰/۷
۳۱۵۰	۵۱/۹
۴۰۰۰	۵۳/۸
۵۰۰۰	۵۷/۴

شاخص کاهش صدای وزن‌یافته به دسی‌بل بر اساس استاندارد ملی ایران ۱-۸۸۳۴ : $R_W (C;C_{tr}) = ۵۰ (-۱ ؛-۳)$ dB

جدول ۳ـ۶ حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافتهٔ موردنیاز برای جداکننده‌ها در ساختمان‌های مسکونی، هتل، آموزشی، بهداشتی و درمانی و اداری براساس مبحث ۱۸ مقررات ملی ساختمان.

عنوان		حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته R_W به دسی‌بل
مسکونی	جداکنندهٔ اتاق‌خواب از فضای بیرونی ساختمان	۴۵
	جداکنندهٔ اتاق‌نشیمن از فضای بیرونی ساختمان	۴۰
	جداکنندهٔ آشپزخانه از فضای بیرونی ساختمان	۳۵
	جداکننده یا جداکننده‌های میان اتاق‌های خواب و تلویزیون	۴۰
	جداکنندهٔ دو واحد مستقل مجاور	۵۰
هتل	جداکنندهٔ میان دو اتاق میهمان و هتل‌ها	۵۰
	جداکنندهٔ میان دو اتاق میهمان از راهرو در هتل‌ها	۳۵
آموزشی	جداکننده کلاس درس از فضای بیرون ساختمان	۴۰
	جداکنندهٔ تمام کارگاه یا آزمایشگاه از فضای بیرون ساختمان	۳۵
	جداکنندهٔ میان دو کلاس درس نظری	۵۰
	جداکنندهٔ کلاس درس نظری از راهرو	۳۵
	جداکنندهٔ آزمایشگاه از راهرو	۳۰
	جداکنندهٔ کارگاه از راهرو	۳۵
مراکز بهداشتی و درمانی درمانی	جداکنندهٔ تمام اتاق‌های بخش بستری و زایمان از فضای بیرون ساختمان	۴۵
	جداکنندهٔ تمام اتاق‌های بخش مراقبت‌های ویژه جراحی و زایمان	۵۰
	جداکنندهٔ تمام اتاق‌های بخش بستری و زایمان از راهرو	۳۵
	جداکنندهٔ تمام اتاق‌های بخش جراحی از راهرو	۴۰
اداری	جداکنندهٔ اتاق‌های اداری، مراکز کامپیوتر، سالن‌های عمومی بانک از فضای بیرون ساختمان	۳۵
	جداکنندهٔ میان اتاق‌ها در ساختمان اداری و تجاری	۴۵

محاسبهٔ قیمت تمام‌شدهٔ یک مترمربع تیغهٔ سیلکس

مطابق اطلاعات بند ۳ـ۲ و باتوجه‌به این‌که تعداد بلوک در هر مترمربع با درنظر گرفتن پرت، ۷ عدد است، داریم:

قیمت مصالح سفیدکاری برای یک مترمربع:

قیمت بلوک: ۷ × ۷۳۰۰ = ۵۱۱۰۰ ریال

قیمت گچ سفیدکاری: ۲۶ × (۱۲۰۰۰ ÷ ۴۰) = ۷۸۰۰ ریال

چنان‌چه میزان چسب در هر مترمربع ۲ kg باشد. هزینهٔ آن برابر است با:

۲ × ۴۲۰۰ = ۸۴۰۰ ریال

جمع کل: ۵۱۱۰۰ + ۸۴۰۰ + ۷۸۰۰ = ۶۷۳۰۰ ریال

دستمزد ساخت یک مترمربع دیوار برابر است با:

دستمزد دیوارچینی: ۳۵۰۰۰ ریال

دستمزد شمشه‌گیری: $۲ \times \frac{۱}{۸۵} (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۱۲۰۰۰$ ریال

دستمزد سفیدکاری کشته: $۲ \times \frac{۱}{۳۰} (۳۵۰۰۰۰ + ۱۶۰۰۰۰) = ۳۴۰۰۰$ ریال

جمع کل: ۳۵۰۰۰ + ۱۲۰۰۰ + ۳۴۰۰۰ = ۸۱۰۰۰ ریال

قیمت تمام‌شده برای یک مترمربع دیوار ساخته‌شده با سیلکس برابر است با:

۶۷۳۰۰ + ۸۱۰۰۰ = ۱۴۸۳۰۰ ریال

محاسبهٔ سرعت و مدت ساخت یک دیوار ۴۰ مترمربعی از سیلکس

برای مقایسه، اگر در هر روز $m^۲$ ۱۶ آجر فشاری چیده شود، حدود $m^۲$ ۴۰ آجر سیلکس چیده خواهد شد.

ساخت $m^۲$ ۴۰ دیوار با یک بنا و یک کارگر متخصص: ۱ روز

شیارزنی و نصب لولهٔ برق و پر کردن محل شیارها: ۱/۲۵ روز

سفیدکاری با گچ گشته: ۲ × ۴۰ ÷ ۳۰ = ۲/۶۶ روز

جمع کل: ۱ + ۱/۲۵ + ۲/۶۶ = ۴/۹۱ روز

۴/۹۱ + ۰/۵۹ = ۵/۵ روز

پس زمان لازم برای ساخت یک دیوار ۴۰ مترمربعی دو طرف اندود و نصب لوله‌های تأسیساتی و برقی ۵/۵ روز است.

بررسی محاسن و معایب تیغه‌های سیلکس

محاسن:

۱. سرعت ساخت آن بالاست و به نیروی انسانی کمی نیاز دارد؛
۲. عایق مناسبی برای صدا و حرارت است؛
۳. دارای ضریب انبساط هماهنگ با بتن است و در سرما و گرما تغییرشکل نمی‌دهد؛
۴. چسبیدن مناسب به ملاط گچ‌وخاک و ملاط سیمان، به‌ویژه توسط چسب مخصوص سیلکس؛
۵. حمل‌ونقل آسان و امکان دپو در طبقات و انتقال مناسب به گارگاه؛
۶. نیاز نداشتن به نیروی انسانی متخصص؛
۷. جذب آب مناسب کم‌تر از آجر (حدود ۲۵٪)؛
۸. حذف میزان ملاط مصرفی به‌دلیل استفاده از چسب مخصوص؛
۹. مقاومت بالا دربرابر آتش براساس استاندارد بین‌المللی؛
۱۰. دردسترس بودن ابعاد مختلف و پرت پایین؛
۱۱. سبکی نسبت‌به سایر مصالح معمول و متداول؛
۱۲. اره‌پذیری خوب، با قابلیت کارپذیری فیزیکی (میخ‌کاری) و شیارپذیری مناسب؛
۱۳. سازگاری با محیط‌زیست و عدم استفاده از خاک رس. این محصول برای طبیعت مضر نیست و هیچ‌گونه زباله یا مواد آلاینده‌ای تولید نمی‌کند؛
۱۴. ماندگاری زیادی دارد و بستر مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها و لانه‌سازی و تخم‌گذاری حشرات نیست؛
۱۵. به‌صرفه بودن و قیمت مناسب.

۳ـ۳ نتایج آزمون کنترل کیفیت روی بلوک بتن سبک AAC[1]

مقدمه

بازگشت به نامهٔ شماره ۸۸/۲۳۸ مورخ ۸۸/۳/۲۳ درخصوص آزمون‌های کنترل کیفیت روی یک‌سری نمونه‌های ارسالی، بدین‌وسیله نتایج آزمون‌های انجام‌شده به شرح زیر تقدیم می‌گردد.

شایان ذکر است نتایج آزمون تعیین شاخص کاهش صدای وزن‌یافته، در گزارش دیگری ارسال شده‌است.

۱. نمونه‌برداری

نمونه‌ها در ابعاد و تعداد کافی توسط متقاضی ارسال گردید. نتایج ارائه‌شده مربوط به نمونه‌های ارسالی است. هم‌چنین نتایج ارائه‌شده به‌منزلهٔ رد یا پذیرش کلیهٔ تولیدات براساس استانداردهای ملی ایران و یا مقررات ملی ساختمان نیست. و فقط به‌منزلهٔ کنترل مشخصات نمونه‌های ارسالی، با ویژگی‌های استاندارد ISIRI ۸۵۹۳ و مقرارت ملی ساختمان است.

---

۱. این گزارش توسط شرکت سیلیس‌آرا تهیه و به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ارسال شده‌است.

۲. نتایج آزمون‌ها و کنترل انطباق

به‌منظور بررسی انطباق و کنترل کیفیت بلوک‌های ارسالی (بتن هوادار اتوکلاوشده به‌طول اسمی ۶۰۰، ارتفاع اسمی ۲۵۰ و عرض‌های ۱۰۰، ۱۵۰، و ۲۰۰ میلی‌متر)، جهت کاربرد در دیوارهای غیربابر، آزمون‌های زیر روی نمونه‌های ارسالی انجام گردید، که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده‌است.

همان‌گونه‌که مشاهده می‌شود، مشخصات بلوک‌های ارسالی با ویژگی‌های رده AAC-۲ استاندارد ملی ایران به‌شمارهٔ ۸۵۹۳ انطباق دارد، ولی ازنظر پراکندگی مقاومت فشاری (در قسمت بالا و پایین قالب) باید اصلاحاتی انجام شود. هم‌چنین باتوجه‌به نتایج میانگین مقاومت فشاری و میانگین جرم حجمی خشک، توصیه می‌شود یا مقدار مقاومت فشاری افزایش‌یافته تا مطابق با ردهٔ AAC-۴ شود یا جرم حجمی خشک کاهش یابد، زیرا مقدار جرم حجمی خشک آزمونه‌ها در محدوده حداکثر میزان مجاز (برای ردهٔ AAC-۲) است.

جدول ۳ـ۷ نتایج آزمون‌های تعیین کنترل کیفیت روی بلوک بتن هوادار اتوکلاوه‌شده.

شرح آزمون	استاندارد مرجع	الزامات استاندارد		نتیجهٔ آزمون
ابعاد ـ کنترل رواداری‌ها ـ اندازهٔ ابعادی	**ISIRI ۸۵۹۶** ISIRI ۸۵۹۳ ISIRI ۸۵۹۳	طول (۳+، ۵−) میلی‌متر ارتفاع (۳+، ۵−) میلی‌متر عرض (۳±) میلی‌متر **حداکثر ۱۵۰۰ × ۵۰۰ × ۱۰۰۰**		**موردقبول** ۹۵ × ۲۵۰ × ۱۵۰/۱۰۰
جرم حجمی خشک ـ جرم حجمی خشک (kg/m^3) ـ کنترل رواداری‌ها (kg/m^3)	**ISIRI ۸۵۹۴** ISIRI ۸۵۹۳	**ردهٔ ۲ـ AAC** ۴۰۰ − ۵۰۰ ±۵۰	**ردهٔ ۴ـ AAC** ۵۰۰ − ۸۰۰ ±۵۰	۵۵۰
مقاومت فشاری ـ میانگین مقاومت فشاری (MPa) ـ حداقل مقاومت فشاری (MPa) ـ کنترل رواداری و منطبق با ردهٔ مقاومتی	**ISIRI ۸۵۹۴** ISIRI ۸۵۹۳ ISIRI ۸۵۹۳	**ردهٔ ۲ـ AAC** ۲/۵ ۲/۰ حداکثر ۵٪	**ردهٔ ۴ـ AAC** ۵/۰ ۴/۰ حداکثر ۵٪	**منطبق با ردهٔ ۲ ـ AAC** ۳/۳۰ ۲/۷۵ نیاز به اصلاح دارد
جمع‌شدگی ناشی از تغییرات رطوبت ـ جمع‌شدگی	**ISIRI ۸۵۹۲** ISIRI ۸۵۹۳	حداکثر ۰/۰۲٪		۰/۰۱۵٪
خواص آکوستیکی ـ شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (db)	ISO ۱۴۰ـ۳	مقررات ملی ساختمان ـ مبحث ۱۸ ۵۰ برای دیوار دو واحد مجاور ۴۵ برای دیوارهای پیرامونی		۵۰
خواص حرارتی ـ در دمای میانگین ۱۰°C (W/m.k)		مقررات ملی ساختمان ـ مبحث ۱۹		۰/۱۳۲

همان‌گونه‌که می‌بینیم، بلوک‌های سیلکس با ویژگی‌های ردهٔ ۶ ـ AAC استاندارد ملی ایران به‌شمارهٔ ۸۵۹۳ انطباق دارد. دربارهٔ رده‌های مختلف ۱ ـ AAC تا ۹ ـ AAC به استاندارد ملی ایران به‌شمارهٔ ۸۵۹۱ الی ۸۵۹۸ مراجعه کنید که در پیوست کتاب موجود است.

معایب استفاده از بلوک‌های بتن سبک سیلکس که بیش‌تر به‌دلیل توجه ناکافی به‌نحوهٔ کاربرد آن پیش می‌آید، در قسمت «توصیه‌های اجرایی برای کار با بلوک سیلکس» ارائه شده و بهتر است قبل‌از اجرا با ویژگی‌های خاص این نوع بتن آشنا شد.

جدول ۳ـ۸ مقایسهٔ دیوارهای ده سانتی با انواع بلوک‌های مختلف.

شرح	آجر فشاری	بلوک سفالی	بلوک سیلکس
مقایسهٔ وزن دیوارهای مختلف ده سانتی در مترمربع آماده برای نقاشی	۲۶۵	۱۳۷	۸۲
مقایسهٔ وزن فضایی در هر مترمکعب	۱۸۵۰	۷۰۰	۵۵۰
مقایسهٔ ملاط مصرفی برای هر مترمربع تیغه‌های ده سانتی مختلف در واحد kg/m^2	۴۱	۱۱	۲
میزان ساخت دیوارهای مختلف توسط یک تیم اجرایی در واحد m^2	۱۶	۳۰	۴۰

چسب سیلکس

چسب بلوک سیلکس پس‌از گذراندن مراحل کنترل کیفیت در کیسه‌های ۲۵ کیلویی به‌صورت پودر ضدآب و با ویژگی نگهداری طولانی، همراه‌با بلوک‌ها عرضه می‌شود. این چسب از ترکیب سیلیس، سیمان و رزین تشکیل شده و پس‌از ترکیب با آب تا دو ساعت قابل‌استفاده است. مقاومت فشاری چسب kg/cm^2 ۱۸۰ و در دو رنگ سفید و خاکستری تهیه می‌شود که تفاوت آن در نوع (سیمان مصرفی است. سیمان سفید یا معمولی.)

۳ـ۴ توصیه‌های اجرایی برای کار با بلوک سیلکس

هر فناوری جدیدی ممکن است ضعف‌ها و نارسایی‌های داشته‌باشد که برخی مربوط به خود آن فناوری است و برخی از بی‌آگاهی در نحوهٔ کاربرد صحیح آن ازسوی استفاده‌کننده پیش می‌آید.

توجه‌به نکاتی که درادامه گفته می‌شود، برای استفاده‌کنندگان از بتن متخلخل AAC مفید است، زیرا توجه ناکافی به آن‌ها ممکن است مشکلاتی را درحین اجرا یا پس‌از آن پدید آورد. به‌هرحال توصیه می‌شود ویژگی‌های خاص این بتن قبل‌از استفاده به کاربر شناسانده شود. این ویژگی‌ها عبارت‌اند از:

۱. جلوگیری از ایجاد ترک در سطح گچ‌کاری رویه: چنان‌که می‌دانیم، همهٔ مصالح تاحدودی آب را جذب می‌کنند، مثلاً آجر فشاری معمولی درصورتی‌که «زنجاب» نشود، آب ملاط و یا اندود گچی رویه را جذب می‌کند و باعث عدم استحکام و یکپارچگی آجرچینی یا ظهور ترک روی اندود رویه می‌گردد. در فرایند تولید بتن متخلخل AAC میزان جذب آب حداکثر ۱۵٪ است و به‌این‌دلیل تخلخل‌ها عمدتاً از نوع غیرمرتبط و غیرمؤثر هستند، این آب مشکلی در جمع‌شدگی به‌وجود نمی‌آورد. باوجوداین، توصیه می‌شود قبل‌از اجرا بلوک‌ها خیس شوند تا جذب آب اولیه که به‌این‌ترتیب حاصل می‌شود، ظرفیت جذب آب اندود گچی را کاهش دهد و مانع جمع‌شدگی مخرب و ایجاد ترک در سطح گچ‌کاری گردد.

۲. جلوگیری از شکنندگی در جابه‌جایی‌ها: باتوجه‌به وزن مخصوص کم و سبکی بلوک‌های سیلکس، باوجود این‌که در فرایند تولید، میزان شکنندگی کنترل شده‌است، اما باتوجه‌به چگالی حدود $\frac{۱}{۳}$ نسبت‌به سایر محصولات سنتی و موجود، باید در تعداد جابه‌جایی‌ها دقت لازم اعمال شود و مدیریت کارگاه با حداقل جابه‌جایی، این محصول را به‌کار گیرد. ضمناً، چنان‌چه محلی برای انباشت ضایعات احتمالی در کارگاه درنظر گرفته شود می‌توان از آن‌ها برای شیب‌بندی پشت‌بام یا پر کردن کف مانند پوکه استفاده کرد و صرفهٔ اقتصادی این امر قطعاً زیان‌های احتمالی ناشی از بی‌دقتی در حمل‌ونقل را پوشش خواهد داد.

۳. جلوگیری از دیده شدن خط ملاط‌ها: چنان‌چه از ملاط ماسه‌سیمان برای چیدن بلوک‌های سیلکس استفاده شود، به‌دلیل ناهمگن بودن و ایجاد پل حرارتی بین بلوک‌ها پس‌از اجرای اندود گچ و با گذشت زمان بندهای ملاط سیاهی می‌زند و قابل‌تشخیص است. بنابراین بهتر است از چسب مخصوص سیلکس که سبک‌تر و ارزان‌تر است به‌عنوان ملاط استفاده شود. گفتنی است که استفادهٔ صحیح از چسب باعث یکپارچگی دیوار می‌شود.

۴. نحوهٔ برش بلوک سیلکس: برای برش بلوک سیلکس و تبدیل آن به قطعات کوچک موردنظر پیشنهاد می‌شود از ارهٔ الماسه استفاده شود که کمی گران‌تر است ولی عمر طولانی‌تر آن نسبت‌به ارهٔ نجاری قیمت اولیه را جبران می‌کند.

۵. چنان‌چه از بلوک‌ها در دیوارهای خاص که زوایای غیرعمود دارند استفاده شوند، به‌دلیل عدم‌ایجاد هشتگیر مناسب بهتر است از بست‌های ورق منطبق با زاویهٔ موردنیاز که از ورق گالوانیزه تهیه می‌شود، استفاده گردد.

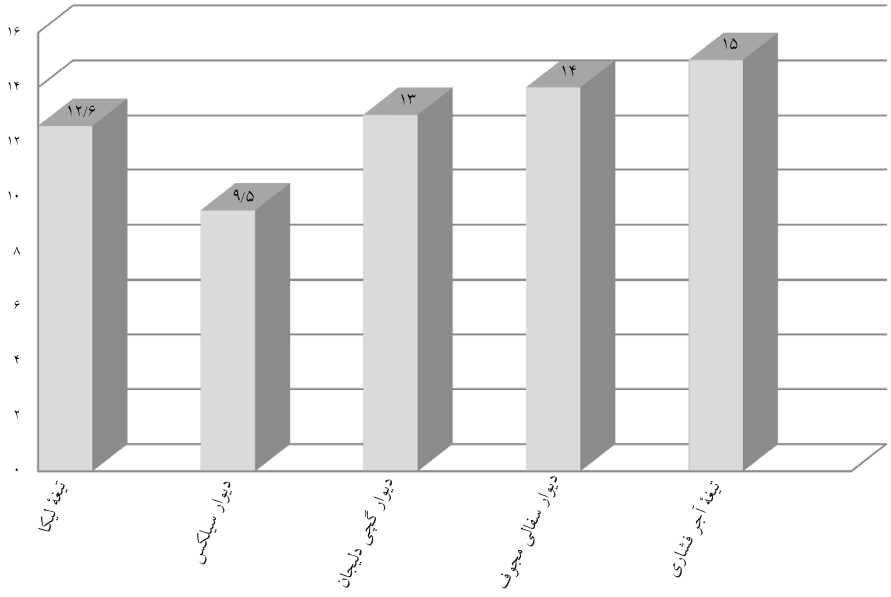
۶. برای استفاده از بلوک سیلکس در میان‌قاب‌ها به قسمت اتصالات خاص فصل میان‌قاب‌ها مراجعه شود (فصل چهارم).

۷. درمورد نحوهٔ نگهداری کابینت دیواری و مانند آن‌ها روی دیوار باید از رول‌پلاک با پیچ‌های مخصوص پروانه‌ای که در درون دیوار بازشده و اصطکاک لازم را فراهم می‌سازند، استفاده شود.

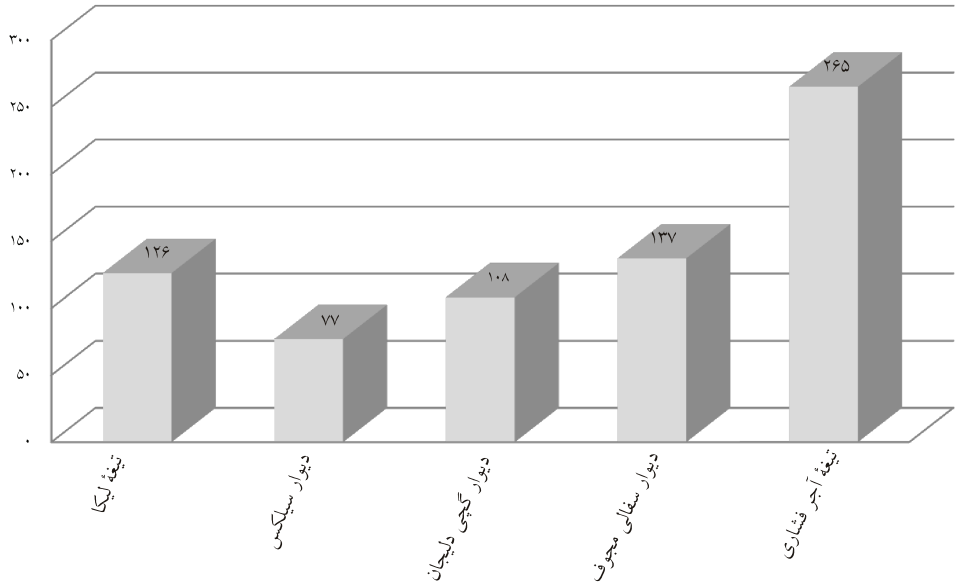
۳ـ۵ نمودارهای مقایسه‌ای

خواص و مشخصات مصالح مختلف بحث‌شده در این فصل را خلاصه‌وار می‌توان به‌صورت نمودار نشان داد. با مشاهدهٔ این نمودارها امتیازات هریک از این مصالح در مقایسهٔ با هم بهتر مشخص است.

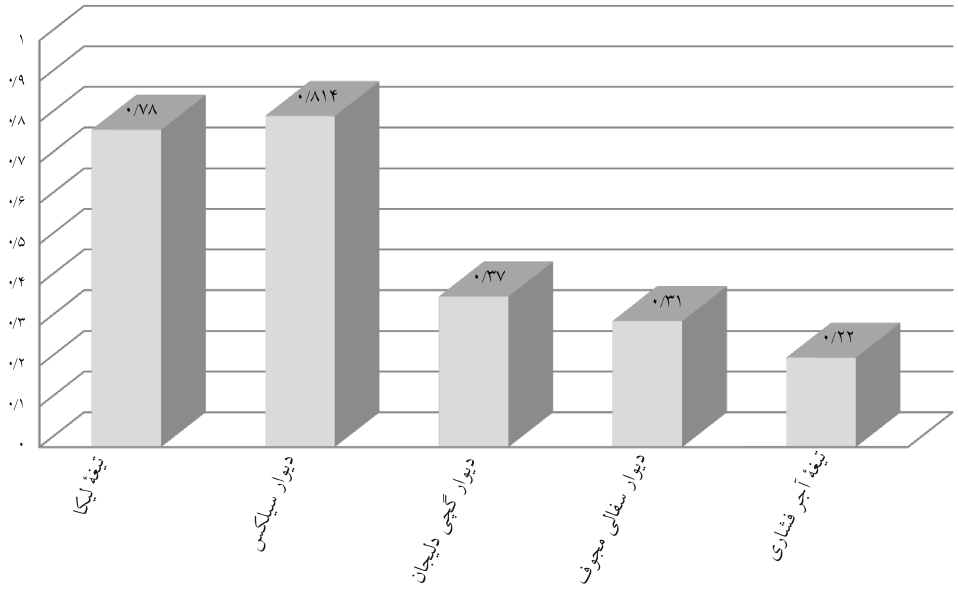
نمودار ۳ـ۱ مقایسهٔ ضخامت حداقل تیغه‌های جداکنندهٔ داخلی (cm).



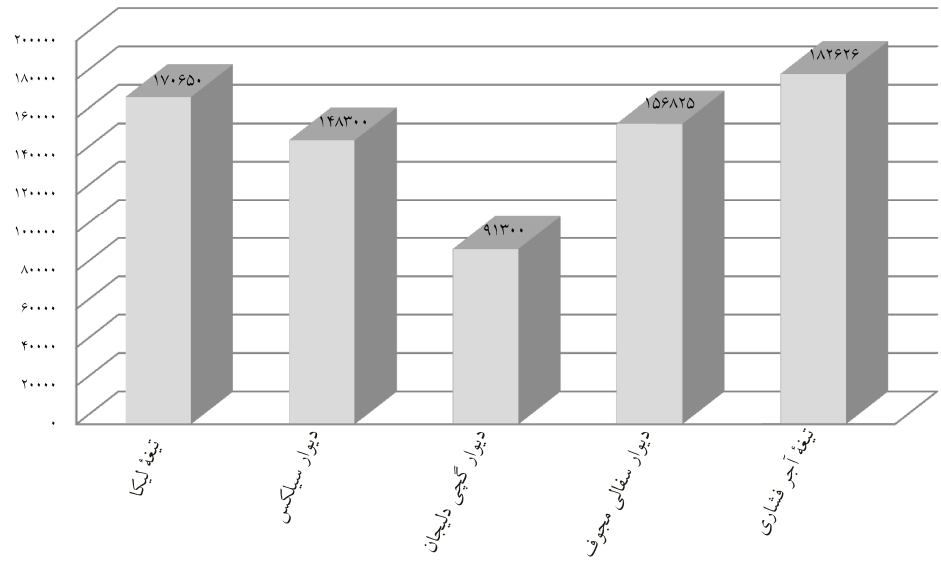
نمودار ۳ـ۲ مقایسهٔ وزن تیغه‌های مختلف (آمادهٔ نقاشی) (kg/m^2).



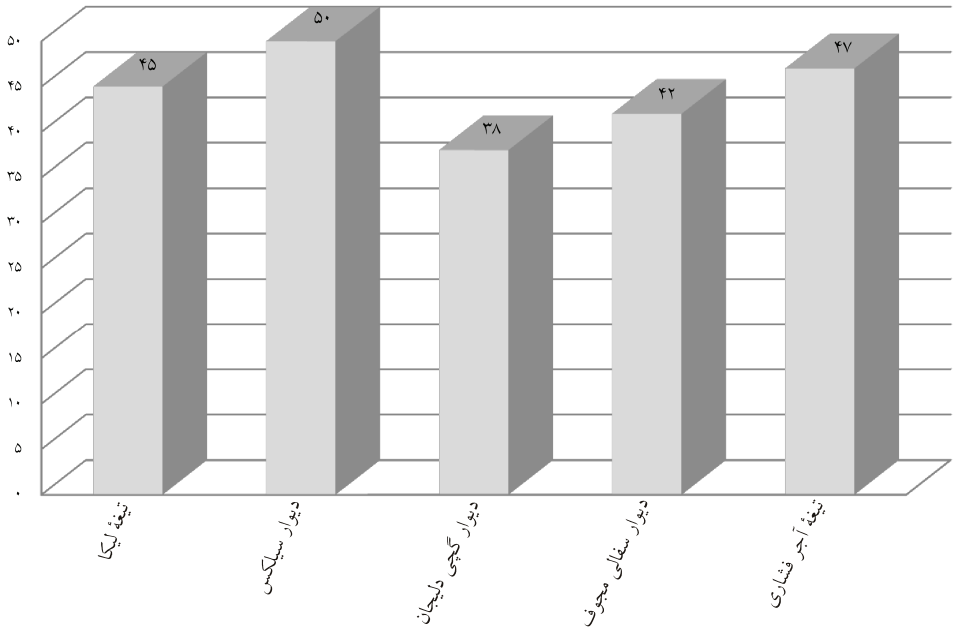
نمودار ۳ـ۳ مقایسهٔ مقاومت حرارتی تیغه‌ها با مصالح مختلف با ضخامت حداقل ($m^2°C/W$).



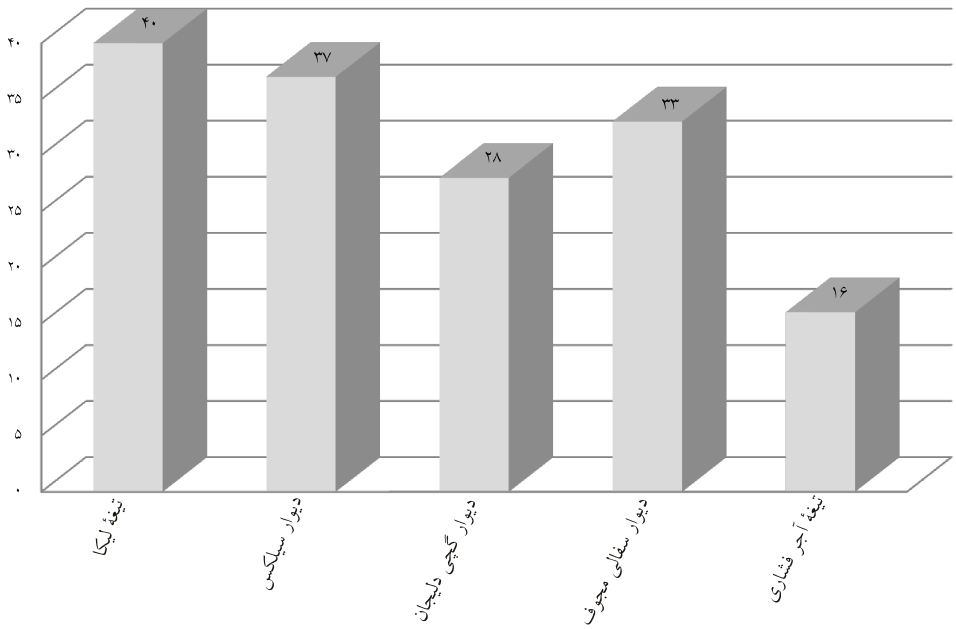
نمودار ۳ـ۴ مقایسهٔ هزینهٔ ساخت دیوارهای مختلف برحسب ریال.



نمودار ۳ـ۵ شاخص کاهش صدا در تیغه‌های مختلف (db).



نمودار ۳ـ۶ مقایسهٔ متراژ کار در یک روز (یک اکیپ کاری) m^2.



۶ـ۳ محاسبهٔ بار گستردهٔ معادل تیغه‌بندی مطابق مبحث ششم مقررات ملی ایران (بارهای وارد بر ساختمان)[۱]

محاسبهٔ بار مردهٔ یکنواخت معادل تیغه‌بندی برای انواع مختلف تیغه‌ها

در مبحث ششم مقررات ملی ایران که توسط دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان در سال ۱۳۸۵ تجدیدنظر شده‌است، در بخش ۶ـ۲، بارهای مرده بدین‌ترتیب تعریف و توضیح داده شده‌است که عیناً نقل می‌شود:

۶ـ۲ـ۱ تعریف

بارهای مرده عبارت‌اند از وزن اجزای دائمی ساختمان‌ها مانند تیرها، ستون‌ها، سقف‌ها، دیوارها، بام‌ها، راه‌پله و تیغه‌ها. وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت نیز در ردیف این بارها محسوب می‌شود.

۶ـ۲ـ۲ وزن اجزای ساختمان و مصالح مصرفی

۶ـ۲ـ۲ـ۱ در محاسبهٔ بارهای مرده، باید وزن واقعی مصالح مصرفی و اجزای ساختمان مورداستفاده قرار گیرد. برای انجام این محاسبه درصورت عدم‌دسترسی به اطلاعات آزمایشگاهی معتبر، جرم مخصوص مواد، جرم واحد حجم یا جرم واحد سطح اجزای ساختمان باید به شرح مندرج در جدول «جرم مخصوص مواد و جرم واحد حجم مصالح و اجزای ساختمان» درنظر گرفته شود.

۶ـ۲ـ۲ـ۲ در ساختمان‌هایی که برای جداسازی فضاها از تیغه‌هایی استفاده می‌شود که وزن یک مترمربع سطح آن‌ها کم‌تر از ۲۷۵ دکانیوتن است، وزن تیغه را می‌توان با رعایت ضابطهٔ بند ۶ـ۲ـ۲ـ۵ به‌صورت بار معادل که به‌طور یکنواخت بر کف‌ها گسترده شده‌است، درنظر گرفت. این بار معادل باید به‌صورت مناسبی با تقسیم وزن تیغه‌های هر قسمت از کف به مساحت آن قسمت تعیین گردد.

۶ـ۲ـ۲ـ۳ در کف‌هایی که بار زندهٔ آن‌ها مطابق فصل ۶ـ۳ (بارهای زنده) از ۵۰۰ دکانیوتن بر مترمربع کم‌تر است، بار معادل گسترده نظیر تیغه‌ها موضوع بند (۶ـ۲ـ۲ـ۲) نباید کم‌تر از ۱۰۰ دکانیوتن بر مترمربع درنظر گرفته شود.

در ساختمان‌هایی که از تیغه‌های سبک نظیر دیوارهای ساندویچی استفاده می‌شود، این بار حداقل را می‌توان به ۵۰ دکانیوتن بر مترمربع کاهش داد، مشروط بر آن‌که وزن یک مترمربع تیغه‌ها به‌اضافهٔ ملحقات آن‌ها از ۴۰ دکانیوتن تجاوز نکند.

---

۱. شماره‌گذاری این قسمت براساس مبحث ششم مقررات ملی ایران تنظیم شده‌است.

۶ـ۲ـ۴ در ساختمان‌هایی که برای جداسازی فضاها از تیغه‌هایی استفاده می‌شود که وزن یک مترمربع سطح آن‌ها بیش‌تر از ۲۷۵ دکانیوتن است، بار تیغه‌ها را باید در محل واقعی خود اعمال کرد.

۶ـ۲ـ۵ درصورتی‌که وزن یک مترمربع سطح تیغه‌ها از ۱۵۰ دکانیوتن بیش‌تر باشد، باید اثر موضعی بار تیغه‌ها را به‌طور جداگانه در طراحی کف‌ها منظور داشت.

۶ـ۲ـ۳ وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت

وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت ازقبیل لوله‌های شبکهٔ آب و فاضلاب، تجهیزات برقی، گرمایشی و تهویه‌ای باید به‌نحو مناسبی برآورد و در محاسبهٔ بارهای مرده منظور شود.

چنان‌چه احتمال اضافه شدن این نوع تجهیزات در آینده وجود داشته‌باشد، وزن آن‌ها نیز باید درنظر گرفته شود.

گفتنی‌است در یک تحقیق انجام‌شده درمورد نسبت سطح تیغه به سطح زیربنای واحدهای آپارتمانی چندین برج، آپارتمان بلند، کوتاه، تک‌واحدی و چندواحدی، این نسبت به‌ترتیب ارقام ۷۳٪، ۷۹٪ و ۸۸٪ را به‌دست داده‌اند که به‌طور متوسط این رقم را می‌توان ۸۰٪ درنظر گرفت. البته درمورد آپارتمان‌های خاص یا مجتمع‌های تجاری و اداری می‌توان این نسبت را محاسبه و کنترل کرد.

باتوجه‌به نسبت سطح تیغه به سطح زیربنای واحدهای مسکونی برابر ۸۰٪ می‌توان محاسبات زیر را برمبنای آیین‌نامهٔ ۵۱۹ انجام داد.

الف) درمورد تیغه با آجر فشاری، بار معادل گسترده در تیغه‌بندی برابر ۲۱۲ kg/m^2 است:

۲۶۵ × ٪۸۰ = ۲۱۲

ضمناً باتوجه‌به بند ۶ـ۲ـ۵ باید اثر موضعی تیغه را به‌طور جداگانه در طراحی کف درنظر گرفت.

ب) درمورد تیغه با آجر سفالی، بار معادل گسترده در تیغه‌بندی برابر ۱۰۹ kg/m^2 است:

۱۳۷ × ٪۸۰ = ۱۰۹

پ) درمورد تیغه با آجر سیلکس، بار معادل گسترده در تیغه‌بندی برابر ۶۲ kg/m^2 است:

۷۷ × ٪۸۰ = ۶۲

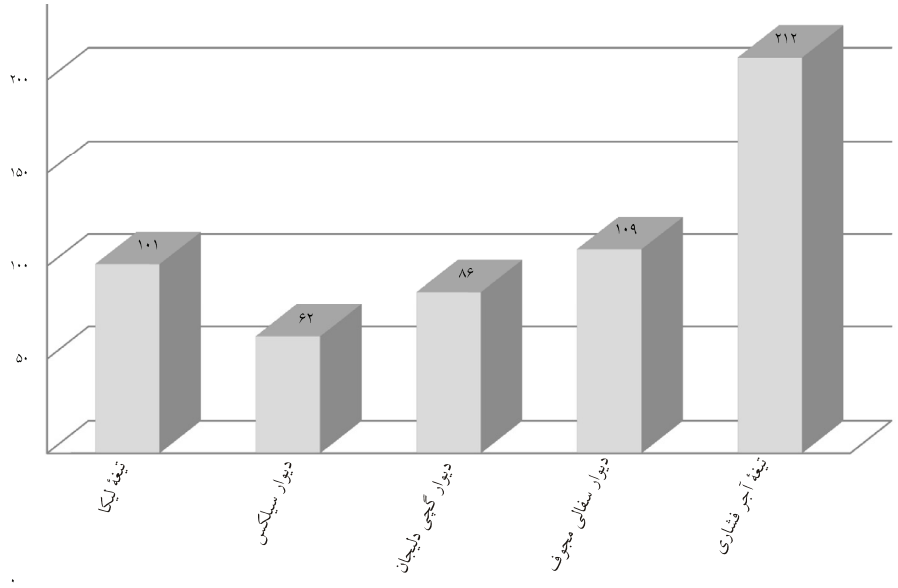
ت) در مورد تیغه با دیوار گچی دلیجان، بار معادل گسترده در تیغه‌بندی برابر ۸۲ kg/m^2 است:

۱۰۸ × ٪۸۰ = ۸۶

ث) درمورد تیغه با بلوک‌های لیکا، بار معادل گسترده در تیغه‌بندی برابر ۱۰۱ kg/m^2 است:

۱۲۶ × ٪ ۸۰ = ۱۰۱

نمودار ۳ـ۷ نمودار مقایسه‌ای بار معادل تیغه‌بندی با مصالح مختلف مطابق با مبحث ششم آیین‌نامهٔ ۵۱۹.



ملاحظه می‌شود بار معادل تیغه‌بندی تیغهٔ سیلکس از سایر تیغه‌ها کم‌تر است.

با بررسی‌های انجام‌شده درمورد ساختمان‌های تا پنج طبقه، به‌ازای هر kg ۱۰۰ کاهش در مترمربع بار مردهٔ کف می‌توان تا ۷٪ در وزن فولاد مصرفی سازه صرفه‌جویی کرد.

۳ـ۷ مقایسهٔ مقاومت حرارتی تیغه‌های متداول ساختمانی (ضخامت‌های متفاوت با مقاومت حرارتی یکسان)

۳ـ۷ـ۱ ضریب هدایت حرارتی

مقدار حرارتی که در یک ثانیه از یک مترمربع عنصر همگن به‌ضخامت یک متر درحالت پایدار عبور می‌کند و اختلافی برابر یک درجهٔ کلوین بین دمای دو سطح عنصر ایجاد می‌کند را «ضریب هدایت حرارتی» می‌گویند و با λ نشان می‌دهند و واحد آن وات بر متر درجهٔ کلوین است. $(W/m^{\circ}k)$

۳ـ۷ـ۲ مقاومت حرارتی یک لایه

مقاومت حرارتی یک لایه، نسبت ضخامت آن لایه برحسب متر به ضریب هدایت حرارتی آن عنصر است. مقاومت حرارتی یک پوستهٔ تشکیل‌شده از چند لایه مساوی با مجموع مقاومت‌های هریک از لایه‌هاست. مقاومت حرارتی قابلیت عایق بودن یک یا چند لایه از پوسته یا کل پوسته را مشخص می‌کند. مقاومت حرارتی را با R نشان می‌دهند و واحد آن $(m^{2}{}^{\circ}k/W)$ است.

$$R = d / \lambda$$

بنابراین هرچه λ یک ماده کم‌تر و R آن بیش‌تر باشد، جسم عایق بهتری است. مثلاً مقاومت حرارتی ۴ cm پلی‌استایرن با ضریب هدایت حرارتی $\lambda = ۰/۰۳۸\ (W/m^{\circ}k)$ برابر است با:

$R_P = d/\lambda \quad ۰/۰۴ \div ۰/۰۳۸ = ۱/۰۵۲ \mathrm{m^{۲\circ}k/W}$

و هم‌چنین مقاومت حرارتی ۴ cm بتن با ضریب هدایت حرارتی $\lambda = ۱/۷۵ \ \mathrm{W/m^\circ k}$ برابر است با:

$R_b = d/\lambda \quad ۰/۰۴ \div ۱/۷۵ = ۰/۰۲۳ \ \mathrm{m^{۲\circ}k/W}$

حال اگر بخواهیم محاسبه کنیم که مقاومت حرارتی چند سانتی‌متر بتن معادل مقاومت حرارتی ۴ cm عایق پلی‌استایرن است، خواهیم داشت:

$۱/۰۵۲ = d \div ۱/۷۵ \Rightarrow d = ۱/۸۴ \ \mathrm{m}$

یعنی مقاومت حرارتی ۴ cm پلی‌استایرن برابربا مقاومت حرارتی بتنی با ضخامت ۱۸۴ cm است. بنابراین استفاده از عایق حرارتی موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی ساختمان می‌شود.

جدول ۳ـ۹ ضریب حرارتی مصالح مختلف.

آجر فشاری	گچ	اندود سیمان	آجر سفالی	بلوک سیلکس	آجر لیکای توخالی	پلی‌استایرن	انواع مصالح
۱/۰۰	۰/۳۵	۱/۱۵	۰/۵۱	۰/۱۳۲	۰/۱۴۱	۰/۰۸۳	ضریب هدایت حرارتی $(\mathrm{m^{۲}.^\circ k/W})$

هرچه λ ماده‌ای کم‌تر باشد، جسم عایق بهتری است.

جدول ۳ـ۱۰ محاسبهٔ مقاومت حرارتی (R) تیغه‌های مختلف.

آجر فشاری	دیوار سفالی	دیوار گچی	دیوار سیلکس	دیوار لیکا
۱۵	۱۴	۱۳	۹/۵	۱۲/۶
۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۸۱۴	۰/۷۸

انواع مصالح: ضخامت تیغه dc (cm) — مقاومت حرارتی (R) $(\mathrm{m^{۲}.^\circ k/W})$

هرچه R ماده‌ای بیش‌تر باشد، جسم عایق بهتری است.

جدول ۳ـ۱۱ مقایسهٔ ضخامت دیوارهای با مصالح مختلف که مقاومت حرارتی یکسان دارند.

	دیوار آجری	دیوار سفالی	دیوار گچی	دیوار لیکا	دیوار سیلکس
دیوار آجری	۱۵	—	—	—	—
دیوار سفالی	۲۷/۵	۱۴	—	—	—
دیوار گچی	۳۷	۱۹	۱۳	—	—
دیوار لیکا	۸۹	۴۵	۳۱	۱۲/۶	—
دیوار سیلکس	۷۲	۳۷	۲۵	۱۱	۹/۵

۳ـ۸ بررسی عوامل پنهان تأثیرگذار بر قیمت تمام‌شدهٔ بنا

در محاسبهٔ قیمت تمام‌شدهٔ بنا عواملی وجود دارد که معمولاً ازدید سازندگان اجرایی پنهان می‌ماند یا ازنظر اقتصادی کم‌تر تجزیه‌وتحلیل می‌شود. بررسی این فاکتورها، که درادامه به مهم‌ترین آن‌ها می‌پردازیم، به‌ویژه در کشور ما اهمیت بیش‌تری دارد و بهتر است در قیمت‌های تمام‌شدهٔ یک محصول درنظر گرفته شوند. بهتر است قیمت یک مترمربع دیوار (یا تیغه) با درنظر گرفتن عوامل زیربنایی زیر محاسبه و با دیوار ساخته‌شده از مصالح دیگر مقایسه شود:

۱. سربار حین ساختمان (وزن بارهای اجرایی)؛
۲. هزینهٔ بارگیری از کارخانه به کامیون؛
۳. هزینهٔ حمل‌ونقل از محل کارخانه به محل کارگاه؛
۴. هزینهٔ تخلیه از کامیون به پای کار (کارگاه)؛
۵. هزینهٔ حمل از پای کار به طبقات (محل مصرف)؛
۶. محاسبهٔ هزینهٔ پرت (دورریز) یک محصول.

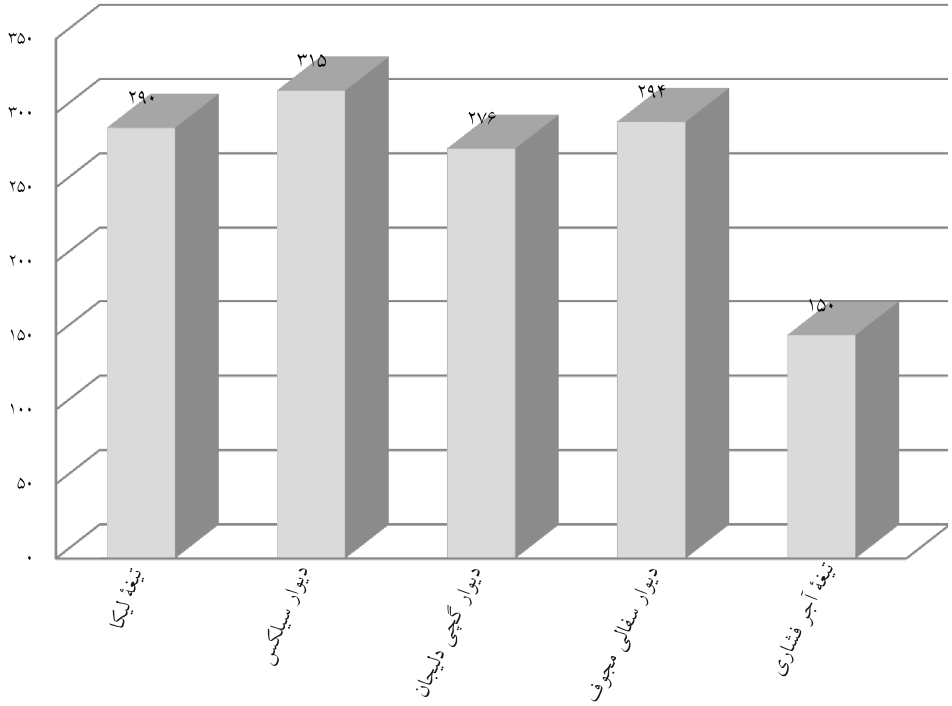
در بررسی سربارهای ساختمان، همان‌گونه‌که می‌دانیم، اجزای یک سازه به‌طور کلی برای مجموع بارهای مرده و زنده طراحی می‌شوند. اما یک قطعه ساده ممکن است هنگام اجرای ساختمان تحت اثر بارهایی سنگین‌تر از بارهای طرح قرار بگیرد، مثل وزن دپو کردن موقت مصالح موردنیاز روی سقف نظیر ماسه، شن، سیمان، آجر، بشکه‌های آب و غیره. این‌گونه بارها که به بارهای اجرایی معروف‌اند، قسمت مهمی را در طرح اجزای سازه تشکیل می‌دهند و طبق توصیهٔ آیین‌نامه‌ها توجه خاصی باید به آن‌ها داشت. بنابراین بهتر است در انتخاب سیستم دیوار و تیغه از انواعی استفاده شود که اصولاً به دپو کردن مصالحی نظیر ماسه، سیمان، گچ، آب و غیره نیاز نداشته‌باشند تا دپو کردن این مصالح در یک قسمت باعث ایجاد تنشی بیش‌تر و بزرگ‌تر از بارهای طرح آن سازه شود و درنتیجه تیری با مقطع بزرگ‌تر و وزن بیش‌تر و هزینهٔ بالاتر را پدید آورد. درمورد هزینه‌های اشاره‌شده در ردیف‌های ۲ تا ۴ که به‌طور کلی به هزینهٔ حمل‌ونقل موسوم است، باتوجه‌به ظرفیت وزنی یک تریلی که حداکثر ۲۰ تن است، می‌توان جدول زیر را ارائه داد.

جدول ۳ـ۱۲ بررسی اقتصادی حمل‌ونقل انواع آجر از کارخانه به محل کارگاه.

جنس تیغه	ابعاد (cm)	تعداد در هر تریلی	وزن هر عدد (kg)	وزن تریلی (kg)	تعداد در هر مترمربع	پوشش مترمربع هر تریلی
آجر فشاری	۲۲ × ۱۱ × ۵/۵	۹۰۰۰	۲/۲	۱۹۸۰۰	۶۰	۱۵۰
آجر سفالی	۲۵ × ۲۰ × ۱۰	۵۰۰۰	۳/۵	۱۷۵۰۰	۱۷	۲۹۴
آجر سیلکس	۶۰ × ۲۵ × ۷/۵	۹ × ۲۱۰	۹	۱۷۰۰۰	۷	۳۱۵
آجر لیکا	۲۰× ۴۰×۱۰	۳۵۰۰	۵/۶	۱۹۶۰۰	۱۲	۲۹۰
پانل گچی	۶۶/۶ × ۵۰ × ۱۰	۲۳ × ۳۶	۲۱	۱۷۴۰۰	۳	۲۷۶

این جدول را می‌توان به‌صورت نمودار نیز نشان داد.

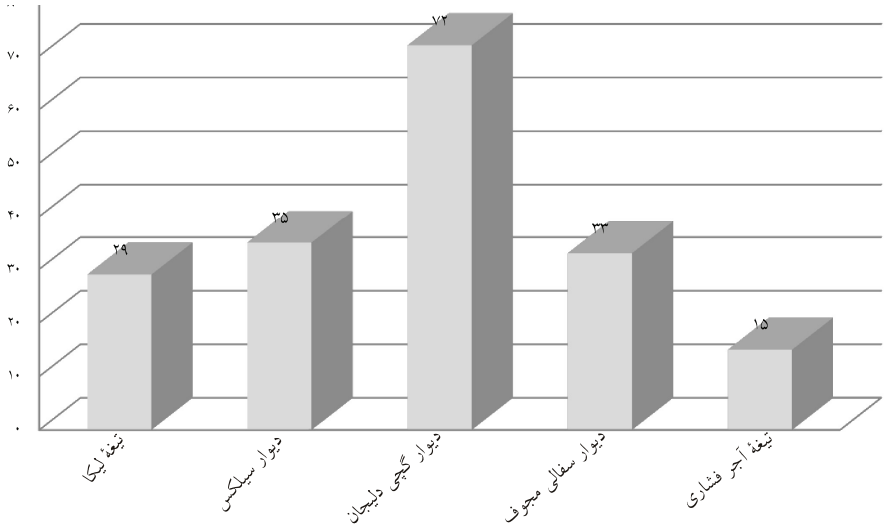
نمودار ۳ـ۸ بررسی اقتصادی حمل‌ونقل انواع آجر از کارخانه به محل کارگاه.



توجه داشته‌باشید که در این نمودار، حمل‌ونقل تیغه‌های مختلف بدون اندازهٔ مصالحی که باید برای تکمیل به محل حمل شوند، درنظر گرفته شده‌است.

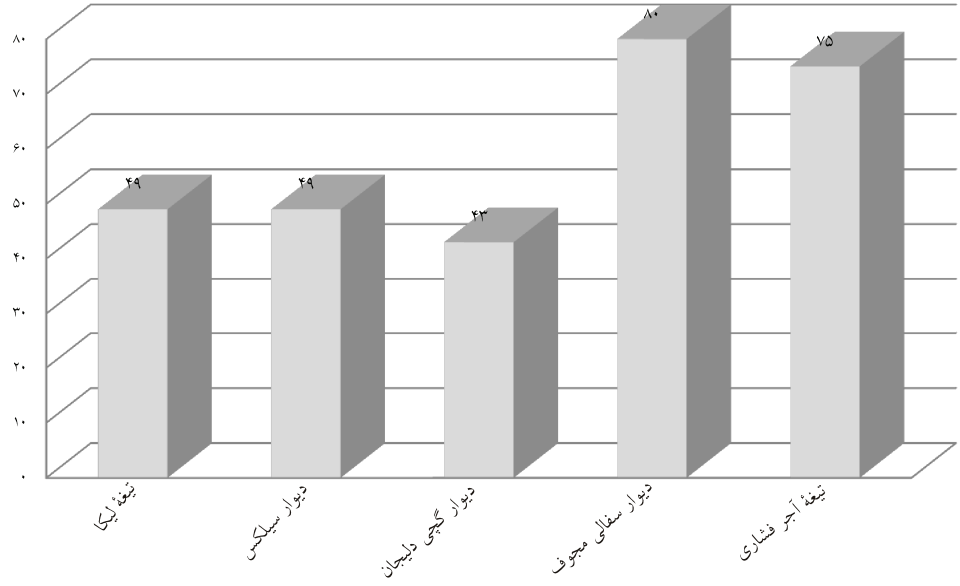
درمورد ردیف ۵ که حمل انواع تیغه از پای کار تا طبقهٔ موردنظر به‌وسیلهٔ تاروکرین دوتنی را به‌طور اقتصادی بررسی می‌کند، نمودار زیر ارائه شده‌است. البته درمورد تیغه‌هایی مثل آجر فشاری، آجر سفالی و مانند آن، باید هزینهٔ تخلیه از کامیون و بارگیری درون باکت حمل مصالح تاورکرین را نیز درنظر داشت که معمولاً رقم قابل‌توجهی است. این کار معمولاً در کارگاه‌ها پس‌از ساعات کار رسمی و با پرداخت اضافه‌کاری به کارگران انجام می‌شود.

نمودار ۳ـ۹ بررسی اقتصادی حمل‌ونقل انواع مصالح تیغه از پای کار تا طبقهٔ موردنیاز توسط تاورکرین دوتنی.



با این نمودارها تنها حمل مصالح تیغه‌ها به محل مصرف را با هم مقایسه کرده‌ایم، درصورتی‌که حمل مصالح تیغه درصدهای متفاوتی از کل هزینهٔ واحد سطح تیغه را تشکیل می‌دهد. نمودار زیر باتوجه‌به نسبت باقی‌ماندهٔ مصالح هر تیغه به قیمت تمام‌شدهٔ تیغه تهیه شده‌است. مثلاً درمورد آجر فشاری چنان‌چه آجر را به پای کار حمل کنیم، تنها ۲۵٪ کار انجام می‌شود و ۷۵٪ بقیهٔ هزینه شامل دستمزد اجرا و هم‌چنین هزینهٔ حمل ماسه، سیمان، گچ، خاک رس و آب به محل انجام کار است.

نمودار ۳ـ۱۰ نسبت بقیهٔ هزینهٔ حمل مصالح تیغه به کارگاه به هزینهٔ کل تمام‌شدهٔ یک مترمربع تیغه.



درمورد ردیف ۶ که شامل هزینهٔ پرت و از مهم‌ترین عوامل پنهان مؤثر در قیمت تمام‌شدهٔ بناست معمولاً در سیستم سنتی پس‌از انجام کار یا درحین آن، هزینهٔ قابل‌توجهی صرف جمع‌آوری نخالهٔ ساختمانی از طبقات به پای کار و بارگیری آن‌ها در کامیون و حمل به محل دپوی نخالهٔ شهرداری می‌شود. برای تهیهٔ اجزای تشکیل‌دهندهٔ این نخاله‌ها که شامل ملاط سیمان، ملاط گچ، خرده‌آجر یا خرده‌سفال، کاشی‌های خردشده، رابیتس، آرماتورها و اجزای دیگر است، هزینه‌هایی صرف شده‌است. بنابراین در ساخت دیوار و تیغه می‌توان با استفاده از مصالحی که یا پرت ندارند یا پرت بسیار کمی دارند، تاحد زیادی در هزینهٔ تمام‌شدهٔ بنا صرفه‌جویی کرد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ساخت‌وساز سنتی از هر پنج کامیون مصالح حمل‌شده به داخل کارگاه یک کامیون نخاله ایجاد و به خارج کارگاه حمل می‌شود.

۹ـ۳ نمودار امتیازهای ویژه

در جدول زیر، تمامی مطالب کتاب به‌صورت خلاصه، شامل مقایسهٔ تیغه‌های داخلی متداول کشور برحسب خصوصیات هریک ارائه و بین ۱ تا ۴ امتیازبندی شده‌است.

جدول ۳ـ۱۳ امتیازبندی و مقایسهٔ تیغه‌های داخلی باتوجه‌به خصوصیات هر طبقه.

امتیاز بندی از نظر ← نوع مصالح تیغه →	آجر فشاری	آجر سفالی مجوف	لیکا	سیلکس	دلیجان
وزن	۱	۲	۲	۴	۳
افزایش فضای مفید	۱	۱	۲	۲	۳
مقاومت حرارتی	۱	۲	۳	۳	۱
کاهش شاخص صدا	۳	۲	۲	۳	۱
سرعت اجرا	۱	۲	۳	۳	۲
هزینهٔ اجرایی	۲	۳	۲	۳	۴
حمل‌ونقل برای یک مترمربع به کارگاه	۱	۲	۲	۳	۳
هزینهٔ حمل به قیمت تمام‌شده	۱	۱	۲	۳	۳
کاهش برش پایه و مصالح اسکلت	۱	۲	۲	۳	۳
ایجاد آوار در زلزله	۱	۲	۲	۲	۳
بار معادل تیغه‌بندی	۱	۲	۲	۳	۲
قابلیت بازیافت و جابه‌جایی	۱	۲	۲	۲	۳
قابلیت نصب و تأسیسات	۱	۳	۲	۴	۴
جمع امتیاز	۱۶	۲۶	۲۹	۳۸	۳۵
درصد امتیاز	٪۳۱	٪۵۰	٪۵۵	٪۷۳	٪۶۷

مفهوم ارقام

کم	۱	متوسط	۲	زیاد	۳	عالی	۴

۴ بررسی عوارض قاب‌های میان‌پر و راهکارهای مقابله با آن‌ها

۴ـ۱ بررسی و تحلیل قاب‌های میان‌پر

دیوارهای پرکنندهٔ آجری یا قاب‌های میان‌پر که به‌نام‌های دیگری چون قاب‌بند، دیوارهای میان‌قابی، جداگرهای میان‌قابی و مانند این‌ها خوانده می‌شوند، دیوارهای ساخته‌شده‌ای از مصالح بنایی[1] هستند که بین دو ستون جانبی و دو تیر فوقانی و تحتانی در طبقات (یا فقط تیر فوقانی در طبقهٔ زیرین) محکم می‌شوند و یک سیستم مرکب را ایجاد می‌کنند.

بارهای وارد بر ساختمان (ثقلی و جانبی) در سازه‌های با قاب‌های اسکلت فلزی یا بتنی باتوجه‌به سیستم مقاوم دربرابر این‌گونه بارها توزیع می‌شود. در آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ در بند ۱ـ۹ در مبحث «گروه‌بندی ساختمان‌ها برحسب سیستم سازه‌ای» چهار نوع سیستم دیوارهای باربر، قاب ساختمانی ساده، قاب خمشی و سیستم دوگانه یا ترکیبی معرفی شده‌است.

هنگامی‌که داخل قابی را با مصالح بنایی پر می‌کنیم، خواص مکانیکی قاب نظیر سختی، مقاومت، شکل‌پذیری و غیره، به‌گونه‌ای تغییر می‌کنند که نمی‌توان به‌سادگی با جمع ویژگی‌های قاب و دیوار تنها به این خواص جدید دست یافت. این عمل باعث می‌شود که یک سیستم مقاوم اضافی و پیش‌بینی‌نشده که در محاسبات اثر آن‌ها لحاظ نشده‌است، بر سازه تحمیل گردد.

اثر این‌گونه قاب‌های میان‌پر پدیده‌های ناخواسته‌ای چون بی‌نظمی‌های مختلف در پلان و ارتفاع، تغییر در زمان تناوب اصلی نوسان سازه، پدیده‌های ستون کوتاه و طبقهٔ نرم و نظایر این‌ها را ایجاد می‌کند و نسبت مقاومت پیش‌بینی‌شده به مقاومت موجود در سازه را تغییر می‌دهد. توجه به اثرات این‌گونه دیوارها در سازه‌های با قاب‌های بتنی یا فولادی باتوجه‌به زلزله‌خیزی کشور یکی از الزامات مهمی است که مهندسان باید مدنظر قرار دهند.

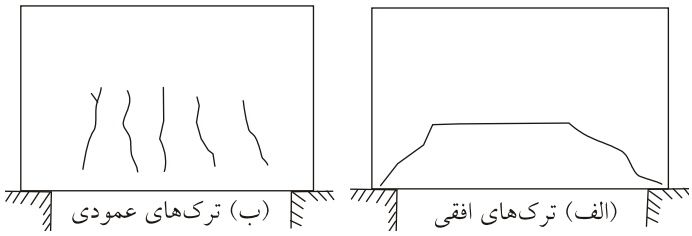
---

1. masonry Infill.

توجه ناکافی به اندرکنش و تقابل بین دیوارهای پُرکننده با سیستم سازه باعث به‌هم ریختن مقابلهٔ عناصر مقاوم دربرابر زلزله می‌شود و چه‌بسا ضریب اطمینان را به‌شیوهٔ نامعقولی کاهش یا افزایش می‌دهد. به‌همین‌جهت، درادامه محاسن و معایب و اثرات مثبت و منفی این‌گونه دیوارها را در حالات مختلف خلاصه‌وار بررسی می‌کنیم.

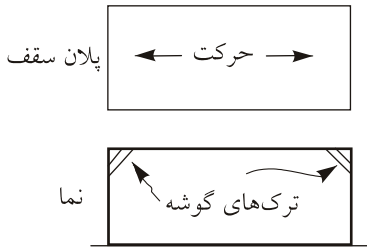
۱. دیوارهای پرکنندهٔ میان‌پر درحالت بارهای ثقلی

درحالتی‌که دیوار در سه جهت طرفین و بالا در داخل قاب فلزی یا بتنی محکم می‌گردد، بدیهی است که تغییر فرم تیرها، ستون‌ها، دال‌ها، و خلاصه، اجزای قاب روی دیوار میان‌پر اثر می‌کند و باعث ترک خوردن آن می‌گردد. قبل‌از ایجاد خیز، تیر تکیه‌گاه پیوسته‌ای با دیوار زیر خود دارد، ولی پس‌از ایجاد خیز و تغییر فرم، دیوار به‌اجبار در قسمت وسط دهانه از زیر تیر جا خالی می‌کند و فقط در دو انتها با تیر پیوستگی دارد. این موضوع باعث می‌شود دیوار روی دو تکیه‌گاه جانبی قوس ببندد. قوس‌بندی دیوارها روی تیرهایی که دچار خیز مجاز شده‌اند، باتوجه‌به ابعاد دیوار، سطح و موقعیت بازشوهای دیوار و غیره ترک‌های گوناگونی را ایجاد می‌کنند که در شکل‌های صفحهٔ بعد دیده می‌شوند. توجه داشته‌باشید که مطابق آیین‌نامه‌ها خیز مجاز تیرها در وسط دهانهٔ $\frac{۱}{۳۶۰}$ طول دهانهٔ تیر است. بنابراین این‌گونه تغییرشکل‌ها، از نوع ارتجاعی هستند.

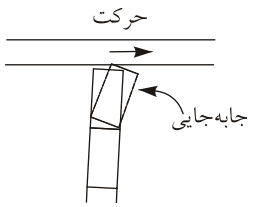


شکل ۴ـ۱ انواع ترک‌های ایجادشده براثر تغییر فرم و خیزش تیرها، ستون‌ها و دال‌ها.

از دیگر عوارض این‌گونه دیوارها مربوط به طبقهٔ زیر بام است چون بام درمعرض تغییر درجه‌حرارت در فصل سرد و گرم قرار دارد، بین سطح بام و دیوارهای طبقهٔ زیر حرکت افقی ایجاد می‌شود، به‌ویژه بر دیوارهایی که موازی با جهت حرکت به سقف متصل شده‌اند تأثیر می‌گذارد و در آن‌ها ترک ایجاد می‌کند. هم‌چنین ممکن است این حرکت افقی موجب گردد قسمت بالایی دیوار که به سقف متصل شده‌است، همراه‌با سقف به اطراف کشیده شود و ترک‌هایی در قسمت بالایی دیوار به‌وجود آورد یا بخشی‌از دیوار را از بقیهٔ آن جدا سازد.

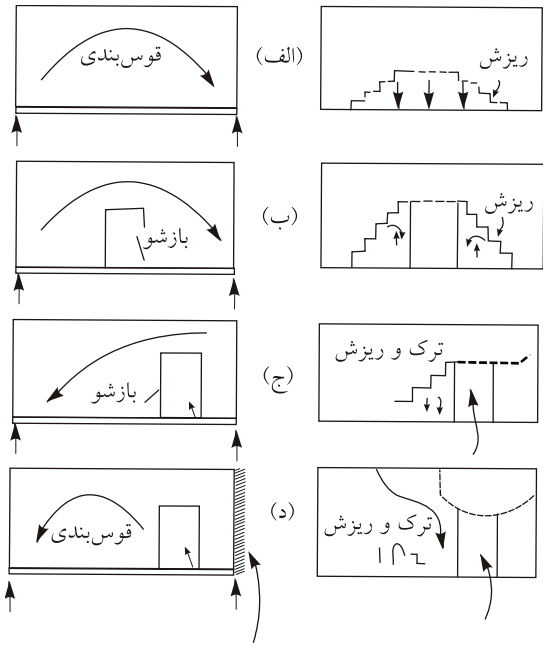


شکل ۴ـ۲ حرکت سقف و ترک‌های حاصل از آن در دیوار موازی با جهت حرکت.



شکل ۴ـ۳ سمت چپ، نیروهای وارده و سمت راست، آثار حاصل از نیروهای وارده.

در محاسبات مربوط به تیرهای پیرامونی ساختمان، هیچ‌گاه نباید دیوار را نوعی تکیه‌گاه تیر به‌حساب آورد و لنگر خمشی کم‌تری برای آن درنظر گرفت.



شکل ۴ـ۴ حرکت سقف و جابه‌جایی دیوار به‌صورت غیرموازی.

۲. دیوارهای میان‌پر در ساختمان‌های بدون سیستم سازه‌ای

وجود دیوارهای آجری میان‌پر را می‌توان در ساختمان‌های بدون سیستم مقاوم دربرابر نیروهای جانبی (ساختمان‌های با دیوار باربر)، در مواردی مثبت ارزیابی کرد. چنان‌چه تعداد و محل این‌گونه دیوارها که علاوه‌بر باربری، نقش برشی نیز برعهده دارند، در پلان مناسب باشد و الزامات مبحث ۸ مقررات ملی ساختمان را برآورده سازند، مقاومت سازه دربرابر نیروی جانبی زلزله بیش‌تر، و درنتیجه، از تخریب بنا جلوگیری می‌شود.

در ساخت این‌گونه سازه‌ها مطابق مقررات طرح و اجرای ساختمان‌های با مصالح بنایی تنها نباید بر مقاومت فشاری مصالح دیوار تکیه کرد، بلکه باید به این نکته توجه کرد که اصولاً مصالح بنایی تنها خاصیت جابه‌جایی متناوب ندارند و شکل‌پذیر نیستند. بنابراین مسلح کردن دیوار با ساخت شناژهای قائم و افقی، تعبیهٔ میلگردهای قائم و افقی در دیوار، رعایت سطح بازشوها درحد مجاز و نحوهٔ تقاطع صحیح دیوارها به‌مقدار توصیه‌شده در آیین‌نامه از راه‌های مسلح کردن این نوع سازه است.

گفتنی است که تلفات جانی ناشی از تخریب کامل بنا در زلزله‌های کشور کاملاً مربوط به ساختمان‌های بدون سیستم سازه‌ای است و بناهای مهندسی مانند سد، تونل، پل و سازه‌های قاب خمشی، کم‌تر دچار تخریب شده‌اند. بنابراین باید به نقش برشی دیوارهای باربر درموقع زلزله و برتری آن بر نقش انتقال نیروهای ثقلی توسط آن‌ها توجه کرد.

دیوارهای برشی در دو حالت اصلی خمشی و برشی شکسته می‌شوند. با میلگردهای قائم برای تقویت دیوار دربرابر شکست خمشی و میلگردهای افقی برای مقاومت دربرابر شکست برشی مقابله می‌شود.

گرچه در تمامی موارد، بالا بودن کیفیت مصالح، نحوهٔ ساخت و یکپارچگی سقف با دیوار و به‌ویژه سبک‌سازی و به‌کار بردن عناصری که نرمی ساختمان را افزایش می‌دهند (مثل کلاف‌های افقی) سبب افزایش مقاومت ساختمان می‌شود، اما به‌هرحال این‌گونه ساختمان‌ها که سختی اولیهٔ زیادی دارند، حداکثر تا ارتفاع هشت متر از سطح زمین با رعایت تمهیدات لازم درمقابل زلزله‌های ضعیف و تا اندازه‌ای متوسط، مقاومت می‌کنند.[۱]

۳. دیوارهای میان‌پر در بناهای مهندسی

بناهای مهندسی دارای سیستم سازه‌ای و قاب‌های صلب خمشی هستند و نقش تشکیل قاب مرکب و اندرکنش این قاب‌ها با دیوارهای میان‌پر اهمیت ویژه‌ای دارد.

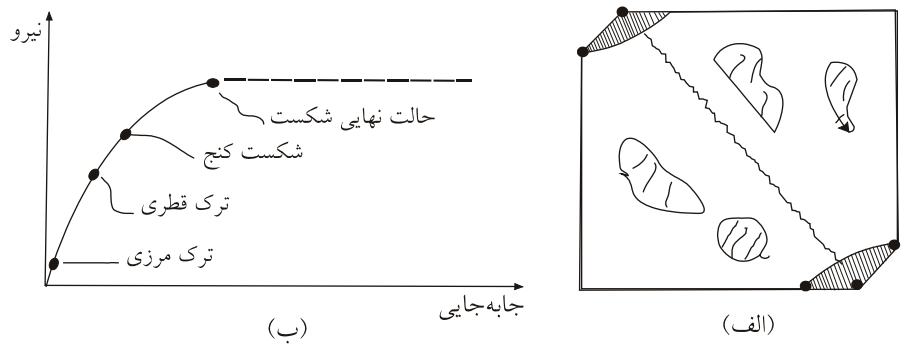
اگر تیغه‌های جداکنندهٔ غیرسازه‌ای با استحکام زیادی درون یک قاب سازه‌ای ساختمانی (بتنی یا فلزی) جاسازی شوند و قاب میان‌پر را تشکیل دهند، با وقوع زلزله و درپی جابه‌جایی قاب، فرم دیوار نیز تغییرمی‌یابد. ابتدا دیوار درمقابل این جابه‌جایی مقاومت نشان می‌دهد و درنتیجه بخشی‌از نیروهای

---

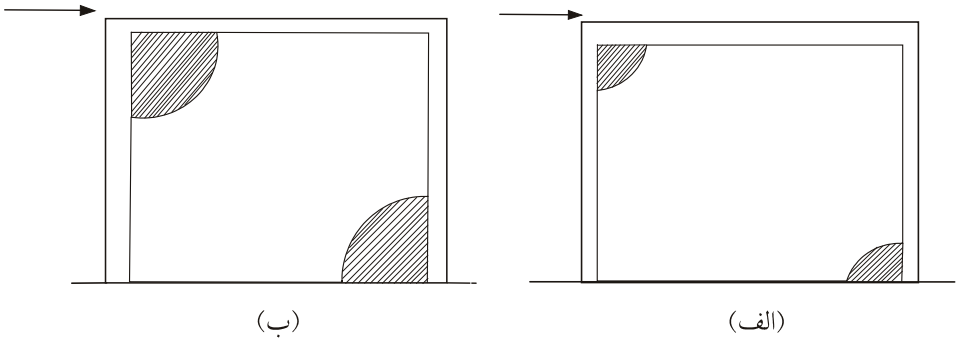
۱. برای مطالعهٔ بیش‌تر دراین‌زمینه می‌توانید به کتاب *طرح لرزه‌ای ساختمان‌های آجری* تألیف دکتر حسن مقدم مراجعه کنید.

جانبی زلزله به میان‌قاب وارد می‌شود، اما ازآن‌جاکه مقاومت و سختی دیوار کم‌تر از قاب خمشی تنهاست، (در محدودهٔ ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت نهایی قاب)، در کنج‌های کششی دیوار بین قاب و میان‌قاب ترک‌هایی ایجاد می‌شود که به آن‌ها «ترک‌های مرزی» می‌گویند. بروز ترک مرزی با کاهش سختی دیوار همراه است و با افزایش نیروی زلزله دیوار درامتداد قطر فشاری ترک می‌خورد و ازآن‌جاکه زلزله به‌صورت دوجهته عمل می‌کند، این ترک‌ها که با صدای گوش‌خراشی همراهند، به‌صورت ضرب‌دری ظاهر می‌شوند و نشان‌دهندهٔ شکست برشی میان‌قاب هستند.

با افزایش نیرو، تمرکز تنش در کنج‌های میان‌قاب (پنجه و پاشنه) بیش‌تر می‌شود و شکست مصالح دیوار را درپی دارد؛ هم‌چنین ترک‌های دیگری به‌موازات ترک‌های قبلی در قطرهای اصلی پدیدار می‌شوند و نواحی دیگری از دیوار را خرد می‌کند.



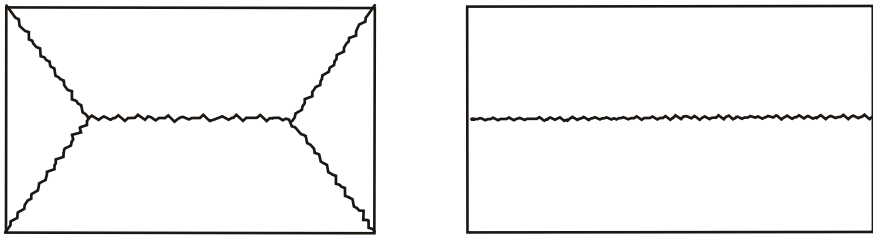
شکل ۴ـ۵ (الف) گسترش ترک‌ها و خردشدگی‌ها؛ (ب) نمودار نیرو ـ جابه‌جایی.



شکل ۴ـ۶ (الف) ناحیهٔ شکست کنج قاب‌های ضعیف کوچک است؛ (ب) ناحیهٔ شکست کنج قاب‌های قوی بزرگ است.

در دیوارهایی که بر جهت زلزله عمود هستند، به‌سبب نیروهای لختی افقی که براثر شتاب حاصل از زلزله در جرم دیوار به‌وجود می‌آید، مانند دال تختی که روی چهار تکیه‌گاه قرار گرفته، تحت خمش قرار می‌گیرند

و خطوطی مشابه خطوط تسلیم در آن‌ها پدید می‌آید. اگر فاصلهٔ تکیه‌گاه‌های عمودی زیاد باشد خمش عمدتاً بین سقف و زمین ایجاد و ترک‌های خمشی درامتداد افقی ظاهر می‌شوند (عمل دال یک‌طرفه).

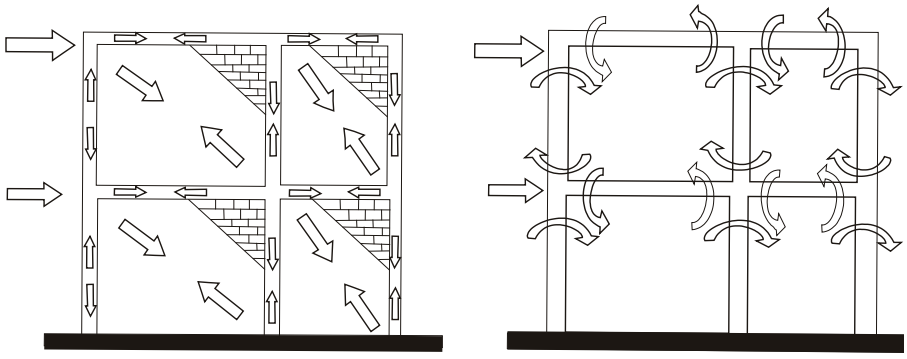


(ب) (الف)

شکل ۴ـ۷ (الف) دیوار عرضی تحت خمش یک‌طرفه که دچار ترک سراسری شده‌است؛ (ب) دیوار عرضی مانند دال دوطرفه دچار خمش شده‌است.

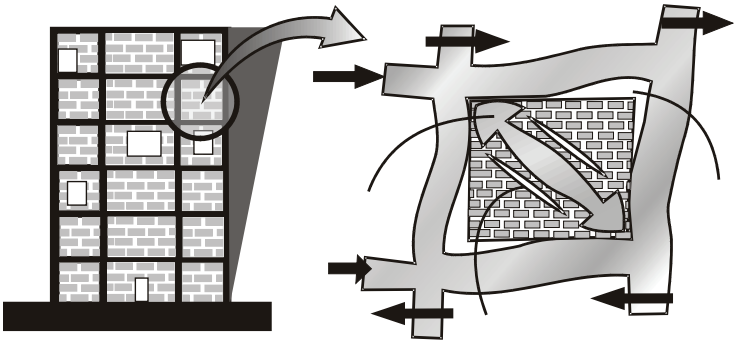
میان‌قاب‌ها در زلزله براثر مؤلفهٔ عمود بر صفحهٔ میان‌قاب، تمایل دارند به بیرون از صفحهٔ خود پرتاب شوند، بنابراین حالت‌های شکست میان‌قاب تحت اندرکنش هم‌زمان نیروی مؤثر در صفحه (مؤلفهٔ طولی) و عمود بر صفحهٔ میان‌قاب (مؤلفهٔ عرضی) است. در زلزله‌های شدید مولفهٔ طولی موجب ترک‌خوردگی و خردشدگی میان‌قاب می‌شود و درنتیجه، تمایل برای پرتاب شدن به بیرون از صفحه به‌وسیلهٔ مؤلفهٔ عرضی افزایش می‌یابد، به‌همین‌دلیل باید جابه‌جایی قاب مرکب محدود گردد.

چه‌بسا در یک زلزله سازه ناپایدار نشود، اما عمل میان‌قاب‌ها و پرتاب شدن به بیرون از صفحه تلفات و خسارات جانی و مالی فراوانی ایجاد کند.



(ب) عملکرد محوری (الف) عملکرد خمشی

شکل ۴ـ۸ تفاوت در مکانیسم انتقال بار جانبی به‌علت وجود دیوارهای پرکنندهٔ داخل قاب.



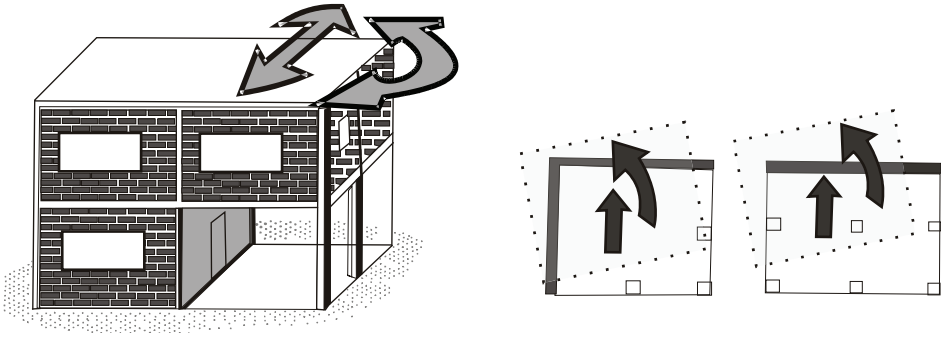
شکل ۴ـ۹ رفتار ترکیبی دیوار و قاب.

۴ـ۲ بررسی اثرات متقابل قاب مرکب بر مقاومت سازه

پر شدن قاب خمشی سازه‌ای با دیوار، قاب مرکبی را پدید می‌آورد که خواص آن با مجموع خواص قاب تنها و دیوار تنها متفاوت است. اثرات متقابل این قاب مرکب را بر مقاومت سازه می‌توان به‌شرح زیر برشمرد.

۱. ایجاد بی‌نظمی در پلان و ارتفاع

وجود قاب مرکب و دیوار پرکننده در بین قاب‌های صلب فولادی یا بتنی باعث ایجاد انواع بی‌نظمی در پلان و ارتفاع ساختمان می‌گردد و درنتیجه پیچش ناخواسته را به‌علت چیدمان نامتقارن به‌وجود می‌آورد.

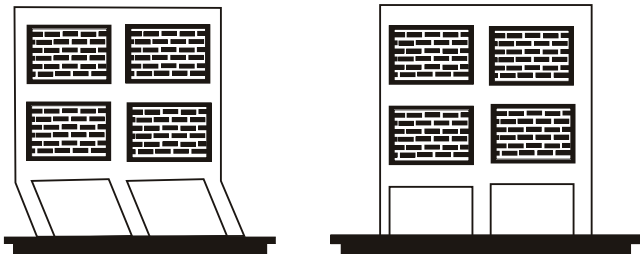


شکل ۴ـ۱۰ چیدمان نامتقارن دیوار در پلان.

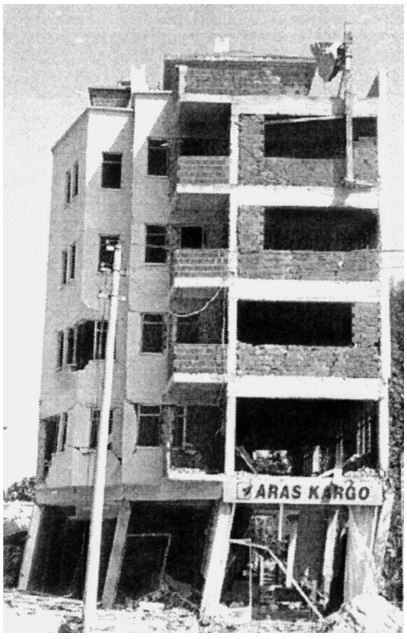
۲. ایجاد طبقهٔ نرم

وجود دیوارهای پرکنندهٔ میان‌قابی در طبقهٔ هم‌کف ممکن است طبقهٔ نرم و ضعیفی را ایجاد کند، زیرا اغلب در این طبقات دیوارهای جداکنندهٔ میان‌پر قطع شده‌اند. درواقع کنترل منظم بودن ساختمان در پلان و ارتفاع بدون درنظر گرفتن اثر این‌گونه دیوارها ممکن نیست.

طبق آمارهای موجود زلزله‌های گذشته، وجود طبقهٔ نرم عامل مهمی در ویرانی ساختمان‌هاست.



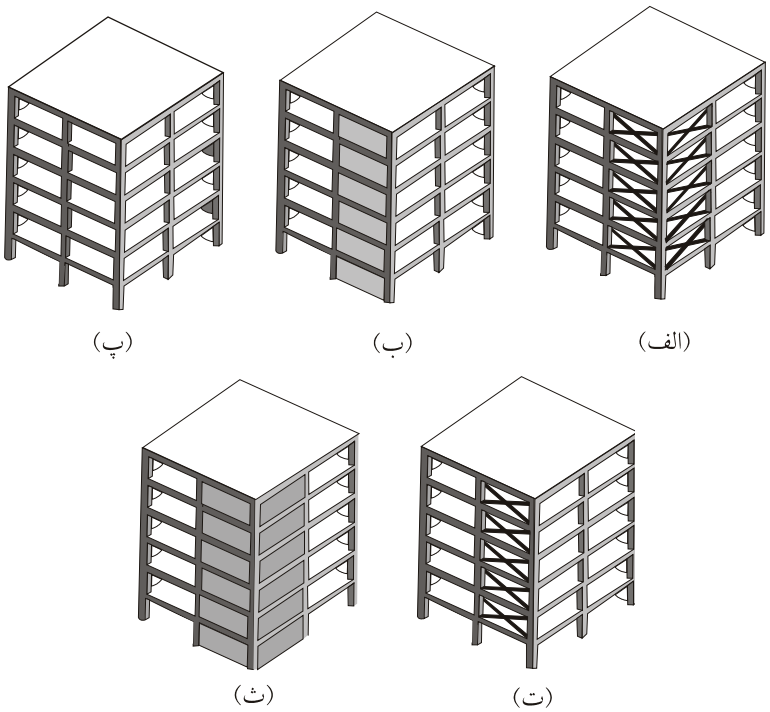
شکل ۴ـ۱۱ ایجاد طبقهٔ نرم به‌علت نبود دیوار پرکننده در یک طبقه.



شکل ۴ـ۱۲ خسارات ناشی از طبقهٔ نرم.

۳. الزام بند ۲ـ۱ـ۴ آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰

وجود دیوارهای پرکننده در مواردی ممکن است الزام بند ۲ـ۱ـ۴ «ب» آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ را درمورد تأثیر زلزله در دو جهت عمود برهم فراهم آورد. مطابق این بند، ساختمان باید در دو امتداد عمود برهم دربرابر نیروهای جانبی محاسبه شود. به‌طور کلی محاسبه در هریک از این دو امتداد باید جداگانه و بدون درنظر گرفتن نیروی زلزله درامتداد دیگر صورت پذیرد؛ به‌جز در موارد بی‌نظمی در پلان و هم‌چنین درمورد ستون‌هایی که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم باربر جانبی قرار دارند.



شکل ۴ـ۱۳ ستون‌هایی که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم باربر جانبی قرار دارند: (الف) ستون گوشه در محل تقاطع دو سیستم مهاربندی؛ (ب) ستون گوشه در محل تقاطع سیستم قاب خمشی با دیوار برشی یا با قاب دارای دیوار پرکنندهٔ آجر؛ (پ) ستون گوشه در محل تقاطع دو سیستم قاب خمشی؛ (ت) ستون گوشه در محل تقاطع دو سیستم مهاربندی و قاب خمشی؛ (ث) ستون گوشه در محل تقاطع دو سیستم دیوار برشی یا قاب دارای دیوار پرکنندهٔ آجری.

۴. تغییر در زمان تناوب اصلی نوسان سازه

مطابق بند ۲ـ۳ـ۶ استاندارد ۲۸۰۰، زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان از رابطه‌های تجربی زیر محاسبه می‌شود که به مشخصات ساختمان و ارتفاع آن از تراز پایه بستگی دارد.

الف) برای ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی فلزی $T = ۰/۰۰۸\, H^{\frac{۳}{۴}}$، و با سیستم قاب بتن مسلح $T = ۰/۰۰۷ H^{\frac{۳}{۴}}$، به‌شرطی‌که جداگرهای میان‌قابی مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد نکنند، اما چنان‌چه جداگرهای میان‌قابی مانعی برای حرکت قاب‌ها ایجاد کنند، مقدار T برابر ۸۰٪ مقادیر بالا درنظر گرفته می‌شود.

ب) برای ساختمان‌های با سایر سیستم‌ها در تمام موارد وجود یا نبود جداگرهای میان‌قابی $T = ۰/۰۰۵\, H^{\frac{۳}{۴}}$ است. در این روابط، H ارتفاع ساختمان برحسب متر از تراز پایه است و در محاسبهٔ آن ارتفاع خرپشته نیز، درصورتی‌که وزن آن بیش‌تر از ۲۵٪ وزن بام باشد، منظور می‌گردد.

باتوجه‌به موارد بالا، اثر وجود دیوارهای پرکنندهٔ میان‌قابی درصورت وجود قاب خمشی فولادی یا بتنی این‌گونه است که این دیوارها پریود سازه را ۲۰٪ کاهش می‌دهند بنابراین سختی افزایش می‌یابد و پاسخ زلزلهٔ شدیدتری به‌وجود می‌آید.

$$T' = ۰/۸ T = ۲\pi \sqrt{\frac{m}{\alpha k}} \Rightarrow \alpha = ۱/۵۶ \qquad (۱_۴)$$

میزان افزایش سختی سازه به‌اندازهٔ ۵۶٪ سختی قاب‌هاست و وجود دیوارهای میان‌قابی بر سختی ساختمان تاحد ۵۶٪ افزوده است.

۵. اثرات مثبت و منفی دیوارهای پرکننده

ارزیابی قاب دارای دیوار پرکننده به مصالح تشکیل‌دهندهٔ دیوار و اصولاً هندسهٔ قاب و دیوار بستگی دارد. به‌طور کلی می‌توان دیوارهای پرکنندهٔ مؤثر بر پاسخ سازه را به دو دسته تقسیم‌بندی کرد:

دیوارها و قاب‌های دستهٔ اول در موقع زلزله در محدودهٔ الاستیک (ارتجاعی) باقی می‌مانند که در این مورد از روش تحلیل خطی استفاده می‌شود.

در دستهٔ دوم دیوار و قاب وارد محدودهٔ غیرخطی می‌شوند و براثر زلزله دچار خرابی زیادی می‌گردند. در این مورد احتمال ایجاد طبقهٔ نرم پس‌از خرابی دیوار پرکننده وجود دارد. جدول زیر اثرات مثبت و منفی دیوار پرکنندهٔ آجری را نشان می‌دهد.

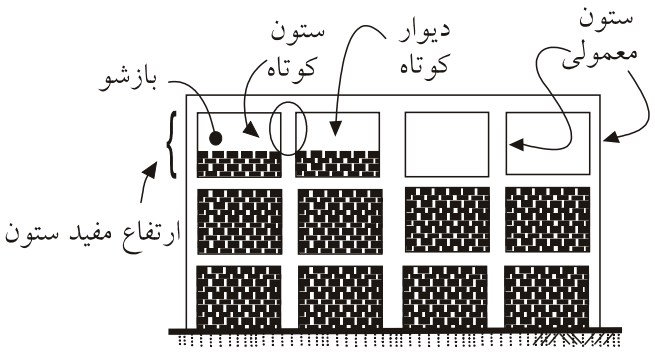
جدول ۴ـ۱ اثرات وجود دیوار پرکننده در قاب فولادی یا بتنی.

ردیف	اثرات منفی	اثرات مثبت
۱	نامنظمی سختی در ارتفاع (طبقهٔ نرم)	افزایش سختی و کاهش تغییرمکان
۲	مقاومت در ارتفاع (طبقهٔ ضعیف)	افزایش مقاومت
۳	نامنظمی سختی در پلان (پیچش)	کاهش شکل‌پذیری
۴	توزیع نامناسب نیرو بین ستون‌های یک قاب بتنی (ستون کوتاه بتنی)	بالا آمدن تراز پایه در شرایط خاص
۵	توزیع نامناسب نیرو در پلان (ستون کوتاه فولادی)	شکست برشی شکل‌پذیر در ستون کوتاه فولادی
۶	افزایش نیروی طراحی به‌علت کاهش پریود	طرح قاب برای نیروی جانبی اندک
۷	افزایش نیروی طراحی به‌علت کاهش ضریب رفتار سیستم دوگانه	ایجاد سیستم دوگانه با کنش محوری قاب

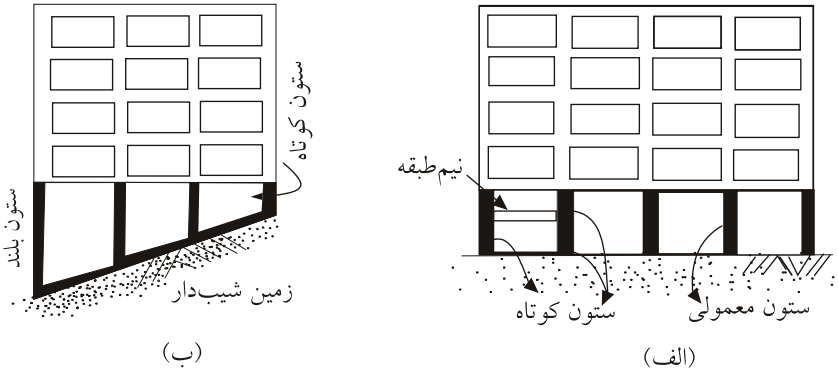
۶. ایجاد پدیدهٔ ستون کوتاه

در آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ در بند ۱ـ۵ـ۷ توصیه شده‌است که از ساخت ستون‌های کوتاه به‌ویژه در نورگیرهای زیرزمین تاحدامکان خودداری شود.

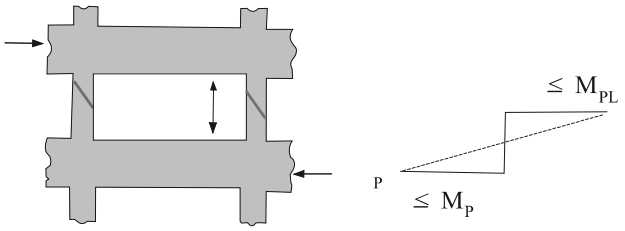
پدیدهٔ ستون کوتاه این‌گونه ایجاد می‌شود که گاهی میان‌قاب را تا بالا نمی‌سازند و بین تیر فوقانی و بالای دیوار پرکننده فاصله‌ای باز می‌ماند، درنتیجه طول ستون کوتاه می‌شود و چون سختی هر قاب تقریباً با مکعب طول ستون نسبت معکوس دارد، سختی این قاب‌ها نسبت‌به قاب‌های بدون دیوار، افزایش می‌یابد و بخش زیادی از نیروی زلزله را جذب می‌کنند؛ ازطرفی به سبب کوتاه شدن طول ستون از قابلیت تغییرشکل خمشی کاسته و نیروهای برشی غالب می‌شوند و درنتیجه شکست برشی رخ می‌دهد که در مقایسه با شکست خمشی از نوع ترد است.



شکل ۴ـ۱۴ ستون کوتاه به‌علت وجود بازشو.



شکل ۴ـ۱۵ ساختمان‌های دارای ستون کوتاه.

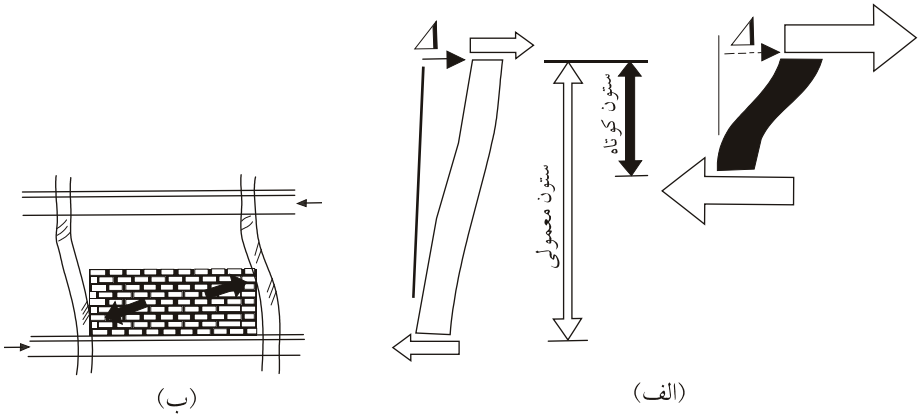


شکل ۴ـ۱۶ تغییرات شدید لنگر خمشی با بیشینهٔ ممان کم‌تر از لنگر پلاستیک در ارتفاع کوتاه ستون با برش ثابت.

در شکل بعد دو حالت ستون کوتاه و ستون معمولی نشان داده شده‌است. در یک تغییرشکل یکسان (Δ) مقدار نیروی وارد به ستون کوتاه، چندین برابر ستون معمولی است.

پدیدهٔ ستون کوتاه (در مقایسه با ستون معمولی) به‌علت افزایش سختی، نیروی جانبی بیش‌تری را جذب می‌کند و عملکرد دیوار کوتاه به‌صورت تحمل فشار قطری است که به شکست برشی ستون کوتاه می‌انجامد. پدیدهٔ ستون کوتاه هم‌چنین ممکن است به‌علت وجود دیوار نیم‌طبقه ایجاد شود؛ نیم‌طبقهٔ راه‌پله در محل پاگرد میانی را نیز می‌توان جزو همین مورد به‌شمار آورد.

علاوه‌بر جدا کردن ستون از دیوار و پر کردن فاصلهٔ آن‌ها با مصالح نرم، می‌توان با صرف‌نظر کردن از نورگیرها و پر کردن بازشوها یا اجرای خاموت‌های زیادی در تمام ارتفاع ستون کوتاه در سیستم بتنی و امثال آن از پدیدهٔ ستون کوتاه جلوگیری کرد.



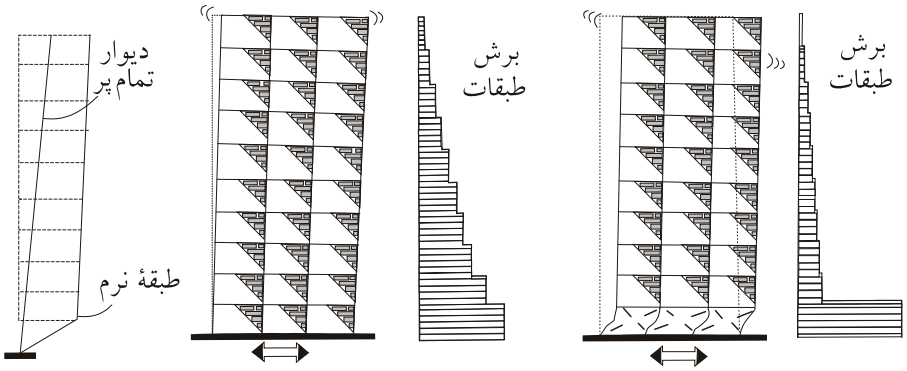
شکل ۴ـ۱۷ (الف) افزایش نیروی جذب‌شده توسط ستون کوتاه؛ (ب) عملکرد دیوار کوتاه به‌صورت عضو فشاری.

۷. ایجاد اختلال در تحلیل طیفی سازه

دورهٔ اصلی تناوب سازه به‌عنوان یکی از خصوصیات مهم ساختمانی، نشان‌دهندهٔ نسبت جرم به سختی سازه و از اصلی‌ترین عوامل تعیین‌کنندهٔ نیروی استاتیکی معادل است. در طراحی ساختمان‌ها به‌روش نیروی استاتیکی معادل فرض می‌شود رفتار سازه، خطی و در محدودهٔ الاستیک است و از رفتار اجزای غیرسازه‌ای مثل تیغه‌بندی‌ها و جداگرها صرف‌نظر می‌گردد.

سازه در تحلیل طیفی در مودهای مختلف ارتعاش می‌کند. در اغلب سازه‌های کوتاه مود اول حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد سهم ارتعاش سازه را به خود اختصاص می‌دهد. با افزایش تعداد طبقات سهم مودهای بالاتر بیش‌تر می‌شود. حتی در ساختمان‌های منظم بلند نیز سهم مودهای بالاتر اهمیت می‌یابد. بی‌نظمی در ساختمان به‌علت توزیع نامتقارن جرم و سختی اثر مودهای بالاتر را از مقداری که با روش استاتیکی معادل محاسبه می‌شود، بیش‌تر می‌کند.

وجود دیوارهای آجری در قاب سازه‌های فولادی و بتنی باعث بی‌نظمی‌های مختلفی در ارتفاع و پلان می‌شود و درنتیجه سهم مودهای مختلف را به نحوهٔ توزیع و محل قرارگیری این دیوارها ارتباط می‌دهد. به‌علت سختی اولیهٔ زیاد این دیوارها، اگر دهانه‌های طبقهٔ اول باز باشد، بیش‌تر تغییرشکل جانبی در همین طبقه متمرکز می‌شود و تفاوت زیادی بین برش طبقه در ارتفاع سازه و توزیع ممان به‌وجود می‌آید.



شکل ۴ـ۱۸ اثر طبقهٔ نرم به‌علت نبود دیوار بر شکل مود اول و توزیع برش در ارتفاع.

۸. سایر عوارض دیوارهای پرکننده

علاوه‌بر ناهمگونی‌هایی که دیوارهای میان‌قابی در محاسبات اولیهٔ سازه به‌وجود می‌آورند می‌توان عوارض دیگری را نیز برای این دیوارها به‌ترتیب زیر برشمرد:

ـ تأثیر بر اعضای قاب؛

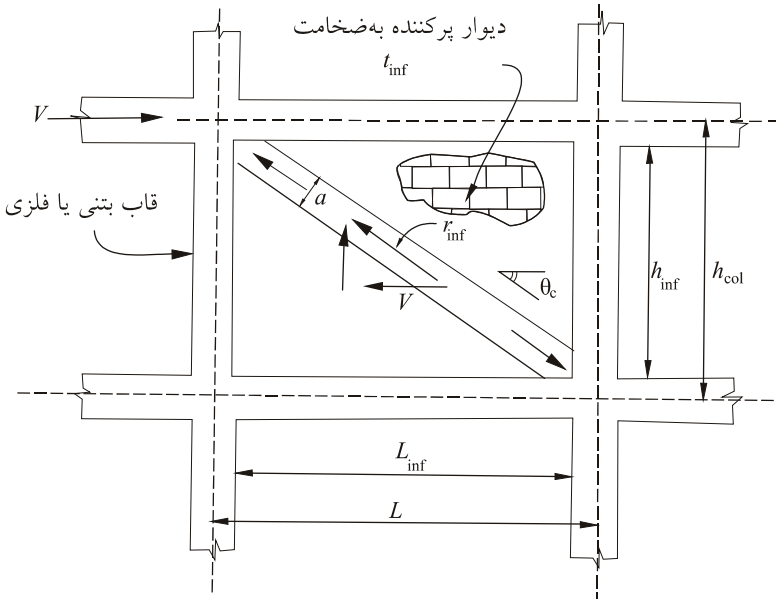
ـ تأثیر طبقهٔ نرم در پریود سازه؛

ـ افزایش بار طراحی در موارد خاص؛

ـ اختلال در تغییرمکان جانبی و نسبی طبقات؛
ـ مقدار نیروی مربوط به شکست خارج از صفحهٔ دیوار و سایر موارد.[۱]

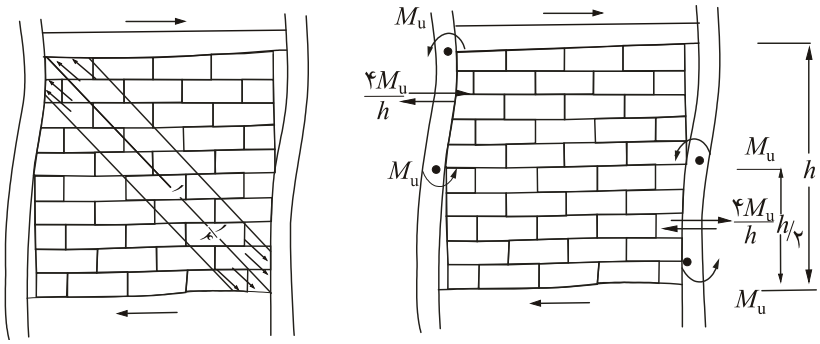
۹. معادل‌سازی دیوار پرکننده با یک قید فشاری قطری

با اطمینان از ثابت ماندن محل میان‌قاب آجری در تمام طول‌عمر سازه، می‌توان در محاسبهٔ سازه با تقویت مناسب پاشنه‌ها و پنجه‌ها (کنج‌ها) و درنظر گرفتن قطر مناسب برای دیوار از مقاومت و سختی ایجادشده در سیستم مرکب استفاده کرد. به‌این‌ترتیب، می‌توان دیوار میان‌قاب را با یک قید فشاری قطری (میلهٔ قطری) معادل فرض کرد. برای نحوهٔ محاسبه و اندرکنش بین قاب و دیوار پرکنندهٔ آجری، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود از ضوابط نشریهٔ ۳۶۰ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن به پیوست آمده‌است.



شکل ۴ـ۱۹ مدل‌سازی پانل دیوار پرکننده با میلهٔ معادل.

۱. برای تحلیل و بررسی بیش‌تر دراین‌زمینه می‌توانید به کتاب‌های *دیوارهای پرکنندهٔ آجری در قاب‌های سازه‌ای*، *بهسازی لرزه‌ای قاب‌های سازه‌ای دارای دیوار پرکنندهٔ آجری* و هم‌چنین *الزامات دیوار پرکنندهٔ آجری در آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰* دکتر محمدرضا تابش‌پور مراجعه کنید.



شکل ۴ـ۲۰ پانل‌های تغییرشکل‌یافتهٔ قاب و دیوار پرکننده.

۴ـ۳ ضوابط مربوط به میان‌قاب‌های مصالح بنایی[۱]

ضوابط این بخش را می‌توان برای میان‌قاب‌های مصالح بنایی موجود، تقویت‌شده درمقابل زلزله، یا اضافه‌شده به ساختمان برای بهسازی عملکرد ساختمان در زلزله، اعمال کرد. روش‌های محاسبهٔ سختی، مقاومت و تغییرشکل میان‌قاب‌های مصالح بنایی که در این بخش ارائه شده‌اند، باید به‌همراه روش‌های تحلیلی و معیارهای موردپذیرش در فصل ۳ نشریه مورداستفاده قرار گیرد. میان‌قاب‌های مصالح بنایی را باید به‌عنوان اجزای اولیهٔ یک سیستم باربر جانبی درنظر گرفت.

۴ـ۳ـ۱ میان‌قاب‌های مصالح بنایی

میان‌قاب، پانلی است که به‌صورت جزئی یا کامل دهانه‌ای از یک قاب فولادی یا بتنی را پوشانده و به‌وسیلهٔ تیرها و ستون‌ها احاطه شده‌است. میان‌قاب‌های مصالح بنایی مدنظر در این دستورالعمل شامل میان‌قاب‌های آجری[۲] یا ساخته‌شده با بلوک (سیمانی یا سفالی) است و میان‌قاب‌های ساخته‌شده از سنگ یا شیشه را شامل نمی‌شود.

میان‌قاب‌هایی جداشده از قاب محیطی خود، فرض می‌شوند که در بالا و طرفین دارای درزهای بین میان‌قاب و قاب موجود باشند. به‌طوری‌که وقوع بیش‌ترین تغییرشکل‌های موردانتظار قاب را به‌طور آزادانه امکان‌پذیر سازند. میان‌قاب‌های جداشده باید در جهت عمود بر صفحهٔ خود طوری مهار شده‌باشند که پایداری آن‌ها درمقابل بارهایی در این جهت، تضمین شود. پانل‌هایی که در هر چهار جهت به‌طور کامل با قاب محیطی خود در تماس باشند، «میان‌قاب‌های برشی» نامیده می‌شوند.

---

۱. این ضوابط طبق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، براساس ضوابط مندرج در نشریهٔ ۳۶۰ ذکر شده‌است.

۲. منظور از میان‌قاب آجری همان دیوار پرکنندهٔ آجری است.

اعضا و اتصالات قاب محیطی یک میان‌قاب باید برای اثرات اندرکنش قاب و میان‌قاب ارزیابی شوند. این اثرات شامل نیروهای منتقل‌شده از میان‌قاب به تیرها، ستون‌ها و اتصالات قاب، در بخشی‌از طول آن‌هاست.

میان‌قاب‌های مصالح بنایی موجود

منظور از میان‌قاب‌های موجود، میان‌قاب‌هایی است که پیش‌از بهسازی در ساختمان موجود بوده‌اند. این میان‌قاب‌ها باید درمقابل نیروهای جانبی موازی با صفحهٔ خود طبق بند ۴ـ۳ـ۲ و نیروهای جانبی عمود بر صفحهٔ خود طبق بند ۴ـ۳ـ۳ به‌طو جداگانه بررسی شوند.

اگر طبق ضوابط این دستوالعمل، میان‌قاب‌های مصالح بنایی موجود در شرایط مناسبی باشند، می‌توان فرض کرد که رفتار آن‌ها با میان‌قاب‌های مصالح بنایی جدید، یکسان است.

میان‌قاب‌های مصالح بنایی جدید

میان‌قاب‌های جدید، میان‌قاب‌هایی هستند که به یک سیستم باربر جانبی موجود برای بهسازی لرزه‌ای آن، اضافه می‌شوند.

میان‌قاب‌های مصالح بنایی تقویت‌شده

منظور از میان‌قاب‌های تقویت‌شده، میان‌قاب‌های موجودی است که درمقابل زلزله تقویت شده‌اند.

۴ـ۳ـ۲ ارزیابی میان‌قاب‌های مصالح بنایی در جهت درون صفحه

سختی و مقاومت میان‌قاب‌های مصالح بنایی در جهت درون صفحه را می‌توان با ایجاد یک مدل اجزای محدود غیرخطی یک قاب مرکب دارای میان‌قاب و با درنظر گرفتن بازشوها و نیز ترک‌خوردگی میان‌قاب براثر بارهای واردشده به انجام رساند. به‌جای روش فوق، از روش‌های ذکرشده در قسمت‌های سختی و مقاومت به‌شرح زیر نیز می‌توان استفاده کرد.

سختی

سختی ارتجاعی درون صفحهٔ یک پانل از میان‌قاب مصالح بنای غیرمسلح را قبل‌از ترک‌خوردگی باید با به‌کارگیری یک دستک قطری معادل به‌عرض a طبق معادلهٔ (۴ـ۲) حساب کرد. ضخامت و ضریب ارتجاعی دستک فشاری معادل باید با میان‌قاب مربوط یکسان باشد. عرض a برحسب سانتی‌متر عبارت است از:

$$a = ۰/۲۵۴\ [\lambda_i\, h_{\mathrm{col}}]^{-۰/۴}\, r_{\mathrm{inf}} \qquad (۴ـ۲)$$

که در آن:

$$\lambda_I = \left[\frac{۱۰ E_{\mathrm{me}}\, t_{\mathrm{inf}}\, \sin ۲\theta}{E_{\mathrm{fe}}\, I_{\mathrm{col}}\, h_{\mathrm{inf}}}\right]^{۰/۲۵}$$

که در آن:

h_{col}: ارتفاع مرکز تا مرکز ستون (cm)؛

h_{inf}: ارتفاع پانل میان‌قاب (cm)؛

E_{fe}: ضریب ارتجاعی موردانتظار مصالح قاب (kg/m^2)؛

E_{me}: ضریب ارتجاعی موردانتظار مصالح میان‌قاب (kg/m^2)؛

I_{col}: لنگر اینرسی ستون (cm^4)؛

r_{inf}: طول قطری پانل میان‌قاب (cm)؛

t_{inf}: ضخامت پانل میان‌قاب و دستک فشاری معادل (cm)؛

θ: زاویه‌ای که تانژانت آن برابر ضریب تناسب پانل (نسبت ارتفاع به طول) است؛

λ_1: ضریبی که برای محاسبهٔ عرض معادل دستک فشاری پانل به‌کار می‌رود.

در محاسبات بالا تنها بخشی‌از پانل باید درنظر گرفته شود که در کنارهٔ خود در تماس کامل با قاب است، مگر این‌که در همهٔ محیط میان‌قاب از وسایل و مهاری‌های مناسبی برای اتصال میان‌قاب با قاب استفاده شود.

سختی میان‌قاب‌های مصالح بنایی ترک‌خوردهٔ غیرمسلح باید با دستک‌های فشاری معادلی مدل‌سازی شود تا ویژگی‌های آن‌ها به‌روش تحلیلی با درنظر گرفتن رفتار غیرخطی سیستم قاب دارای میان‌قاب پس‌از ترک خوردن مصالح بنایی به‌دست آید.

روش شبیه‌سازی سختی ارتجاعی میان‌قاب با استفاده از دستک فشاری معادل را می‌توان برای به‌دست آوردن سختی ارتجاعی یک پانل میان‌قاب سوراخ‌دار غیرمسلح نیز به‌کار برد. دستک فشاری معادل در این‌جا از تحلیل تنش دیوارهای میان‌قاب سوراخ‌دار تعیین می‌شود.

سختی ارتجاعی دیوار میان‌قاب مستقل از موجود بودن یا جدید بودن آن درنظر گرفته می‌شود.

مقاومت

انتقال برش طبقه درطول پانل میان‌قاب مصالح بنایی محصورشده در یک قاب بتنی یا فولادی، یک عمل کنترل‌شونده با تغییرشکل درنظر گرفته می‌شود. مقاومت برشی موردانتظار درون صفحهٔ پانل را باید باتوجه‌به ضوابط این بند تعیین کرد.

مقاومت برشی موردانتظار میان‌قاب، V_{ine} از معادلهٔ (۴ـ۳) به‌دست می‌آید:

$$Q_{CE} = V_{ine} = A_{ni} f_{vie} \qquad (۳_۴)$$

که در آن:

A_{ni}: سطح مقطع افقی خالص ملاط بین دو رج مجاور پانل میان‌قاب؛

f_{vie}: مقاومت برشی موردانتظار میان‌قاب مصالح بنایی.

مقاومت برشی موردانتظار میان‌قاب‌های موجود f_{vie}، نباید از ۳/۵ برابر تنش برشی مجاز دیوار مصالح بنایی بیش‌تر درنظر گرفته شود.

مقاومت برشی میان‌قاب‌های جدید، f_{vie}، باید با درنظر گرفتن تنش قائم برابر صفر محاسبه شود. در محاسبهٔ مقاومت میان‌قاب باید تنها بخشی‌از پانل درنظر گرفته شود که در کنارهٔ خود در تماس کامل با قاب است، مگر این‌که در محیط میان‌قاب از وسایل و مهاری‌های مناسبی برای اتصال میان‌قاب با قاب استفاده شود.

معیارهای پذیرش

الف) مقاومت لازم برای ستون‌های مجاور پانل میان‌قاب

مقاومت‌های خمشی و برشی موردانتظار ستون‌های مجاور یک پانل میان‌قاب باید حداقل برابر بزرگ‌ترین نیروهای حاصل از دو حالت زیر باشد:

۱. اعمال مؤلفهٔ افقی نیروی موردانتظار دستک معادل میان‌قاب در فاصلهٔ I_{ceff} از بالا یا پایین پانل میان‌قاب، که در آن I_{ceff} از معادلهٔ (۴ـ۴) به‌دست می‌آید:

$$I_{ceff} = \frac{\alpha}{\cos \theta_C} \qquad (۴_۴)$$

که در آن، $\tan \theta_C$ از معادلهٔ (۴ـ۵) قابل‌محاسبه است:

$$\tan \theta_C = \frac{h_{inf} - \frac{\alpha}{\cos \theta_C}}{L_{inf}} \qquad (۴_۵)$$

L_{inf} طول افقی پانل است.

۲. نیروی برشی حاصل از ایجاد مقاومت خمشی موردانتظار ستون در بالا و پایین ستون، با ارتفاع کاهش‌یافته‌ای برابر ارتفاع واقعی ستون منهای I_{ceff}. طول ستون، که به‌اندازهٔ I_{ceff}، تعریف‌شده، در معادلهٔ (۴ـ۴) تعریف‌شده کاهش یافته‌است، درمورد ستونی که در جهت جانبی با یک میان‌قاب کوتاه تنها در بخشی‌از ارتفاع خود محصور شده‌است، باید مساوی ارتفاع بازشوی دیوار (ارتفاع آزاد ستون) درنظر گرفته شود.

ضوابط این بند درصورتی‌که مقاومت برشی موردانتظار مصالح بنایی، V_t، از ۱/۴ kg/cm^2 کم‌تر باشد معتبر نیست و حذف می‌شود.

ب) مقاومت لازم برای تیرهای مجاور پانل میان‌قاب

مقاومت خمشی و برشی تیرهای مجاور یک پانل میان‌قاب باید حداقل برابر بزرگ‌ترین نیروهای حاصل از دو حالت زیر باشد:

۱. اعمال مؤلفهٔ قائم نیروی موردانتظار دستک فشاری میان‌قاب در فاصلهٔ I_{beff} از بالا یا پایین پانل میان‌قاب، که در آن I_{beff} با معادلهٔ (۴ـ۶) تعریف می‌شود:

$$I_{beff} = \frac{\alpha}{\sin\theta_b} \qquad (۶ـ۴)$$

$\tan\theta_b$ از معادلهٔ (۴ـ۷) به‌دست می‌آید:

$$\tan\theta_b = \frac{h_{inf}}{L_{inf} - \sin\theta_b} \qquad (۷ـ۴)$$

۲. نیروی برشی حاصل از ایجاد مقاومت خمشی تیر در دو انتهای تیر، با طول کوتاه‌شدهٔ برابربا طول خالص منهای I_{beff}، ضوابط این بند درصورتی‌که مقاومت برشی موردانتظار مصالح بنایی، V_t، از $۳/۵\ kg/cm^۲$ کم‌تر باشد معتبر نیست و حذف می‌شوند.

پ) روش‌های خطی

در هنگام به‌کارگیری روش‌های خطی، تلاش‌های داخلی میان‌قاب‌های مصالح بنایی کنترل‌شونده با تغییرشکل درنظر گرفته می‌شود. هنگام استفاده از روش‌های خطی تلاش‌های داخلی اجزا باید با ظرفیت‌های آن‌ها مقایسه شوند. ضرایب m به‌کاررفته در معادلهٔ جدول ۴ـ۲ به‌دست می‌آید. درمورد یک پانل میان‌قاب، Q_E برابر مؤلفهٔ افقی نیروی محوری کاهش‌نیافته در دستک فشاری معادل است.

برای محاسبهٔ ضریب m طبق جدول ۴ـ۲، نسبت مقاومت‌های قاب به میان‌قاب، β، باید با درنظر گرفتن مقاومت جانبی موردانتظار هر جزء محاسبه شود.

د) روش‌های غیرخطی

درمورد روش استاتیکی غیرخطی پانل‌های میان‌قاب باید ضوابط زیر را برآورده سازند.

تغییرمکان‌های نسبی جانبی غیرخطی نباید از مقادیر داده‌شده در جدول ۷ـ۳ تجاوز کند، متغیر d که نمایندهٔ ظرفیت تغییرشکل غیرخطی است باید برحسب نسبت تغییرمکان نسبی جانبی طبقه به درصد بیان شود.

برای محاسبهٔ سطوح قابل‌قبول تغییرمکان نسبی جانبی در هنگام استفاده از جدول ۷ـ۳، نسبت مقاومت‌های قاب به میان‌قاب، β، باید با درنظر گرفتن مقاومت جانبی موردانتظار هر جزء تعیین شود.

جدول ۴ـ۲ ضرایب m برای پانل میان‌قاب مصالح بنایی در روش استاتیکی خطی.

$\beta = \frac{V_{fre}}{V_{ine}}$	$\frac{L_{inf}}{h_{inf}}$	ضریب m		
		IO	LS	CP
$\beta < ۰/۷$	۰/۵	۱/۰	۴/۰	—
	۱/۰	۱/۰	۳/۵	
	۲/۰	۱/۰	۳/۰	
$۰/۷ \le \beta < ۱/۳$	۰/۵	۱/۵	۶/۰	—
	۱/۰	۱/۲	۵/۲	
	۲/۰	۱/۰	۴/۵	
$\beta \ge ۱/۳$	۰/۵	۱/۵	۸/۰	—
	۱/۰	۱/۲	۷/۰	
	۲/۰	۱/۰	۶/۰	

توجه: از درون‌یابی خطی برای مقادیر بین مقادیر جدول استفاده شود.

جدول ۴ـ۳ روابط ساده‌شدهٔ نیرو ـ تغییرمکان برای پانل‌های میان‌قاب مصالح بنایی در روش استاتیکی غیرخطی.

$\beta = \frac{V_{fre}}{V_{ine}}$	$\frac{L_{inf}}{h_{inf}}$	C	٪d	٪e	معیار پذیرش	
					٪ LS	٪CP
$\beta < ۰/۷$	۰/۵	—	۰/۵	—	۰/۴	—
	۱/۰		۰/۴		۰/۳	
	۲/۰		۰/۳		۰/۲	
$۰/۷ \le \beta < ۱/۳$	۰/۵	—	۱/۰	—	۰/۸	—
	۱/۰		۰/۸		۰/۶	
	۲/۰		۰/۶		۰/۴	
$\beta \ge ۱/۳$	۰/۵	—	۱/۵	—	۱/۱	—
	۱/۰		۱/۲		۰/۹	
	۲/۰		۰/۹		۰/۷	

توجه: از درون‌یابی خطی برای مقادیر بین مقادیر جدول استفاده شود.

درصورت پایداری قاب محیط پس‌از گسیختگی هر پانل میان‌قاب محدودیت‌های مربوط به سطح عملکرد آستانهٔ فروریزش را نباید درمورد پانل‌های میان‌قاب اعمال کرد.

درمورد روش دینامیکی غیرخطی، پانل‌های میان‌قاب باید ضوابط را برآورده سازند. روابط غیرخطی نیرو- تغییرمکان پانل‌های میان‌قاب باید با استفاده از اطلاعات جدول ۴-۴ تعیین شوند یا براساس روش معتبر دیگری که رفتار چرخه‌ای اجزای مربوط را به‌طور کامل درنظر می‌گیرد، به‌دست آیند. تغییرشکل‌های قابل‌قبول میان‌قاب، مستقل از موجود یا جدید بودن آن درنظر گرفته می‌شود.

۴-۳-۳ ارزیابی میان‌قاب‌های مصالح بنایی در جهت عمود بر صفحه

پانل‌های میان‌قاب غیرمسلح با نسبت‌های $h_{\text{inf}}/t_{\text{inf}}$ کم‌تر از مقادیر جدول ۴-۴ را که ضوابط مربوط به کنش قوسی داده‌شده در بند بعدی را برآورده می‌سازند لازم نیست دربرابر نیروهای زلزله در جهت عمود بر صفحه ارزیابی کرد.

جدول ۴-۴ نسبت‌های حداکثر $h_{\text{inf}}/t_{\text{inf}}$.

سطح عملکرد	پهنهٔ لرزه‌ای با خطر نسبی کم	پهنهٔ لرزه‌ای با خطر نسبی متوسط	پهنهٔ لرزه‌ای با خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد
IO	۱۴	۱۳	۸
LS	۱۵	۱۴	۹
CP	۱۶	۱۵	۱۰

سختی

پانل‌های میان‌قاب را باید به‌عنوان اعضایی محلی درنظر گرفت که دهانهٔ باربر آن‌ها در خمش عمود بر صفحه درراستای قائم برابر فاصلهٔ بین کف‌های طبقات مجاور و درراستای افقی برابر دهانهٔ قاب است.

از سختی عمود بر صفحهٔ پانل میان‌قاب در مدل تحلیلی که از سیستم کلی سازه‌ای در جهت عمود بر صفحهٔ پانل ساخته می‌شود باید صرف‌نظر کرد.

سختی خمشی میان‌قاب‌های مصالح بنایی ترک‌نخورده تحت نیروهای جانبی عمود بر صفحه باید براساس حداقل سطح مقطع خالص ملاط بین رج‌ها به‌علاوهٔ سیمان‌کاری روی دیوار تعیین شود. سختی خمشی پانل‌های ترک‌خوردهٔ غیرمسلح تحت نیروهای جانبی عمود بر صفحه باید مساوی صفر فرض شود؛ مگر این‌که کنش قوسی درنظر گرفته شود.

کنش قوسی را تنها هنگامی می‌توان درنظر گرفت که کلیهٔ شرایط زیر برقرار باشد:

۱. پانل در تماس کامل با اجزای قاب محیطی خود باشد؛

۲. حاصل‌ضرب مدول ارتجاعی (E_{fe}) در لنگر اینرسی (I_r) انعطاف‌پذیرترین جزء قاب از عدد ۱×۱۰^{۱۰} kg/cm^۲ بیش‌تر نباشد.

۳. اجزای قاب دارای مقاومت کافی برای تحمل نیروهای فشاری حاصل از کنش قوسی پانل میان‌قاب باشند؛

۴. نسبت $h_{\text{inf}}/t_{\text{inf}}$ کوچک‌تر یا مساوی ۲۵ باشد.

اگر کنش قوسی درنظر گرفته شود، تغییرمکان وسط ارتفاع میان‌قاب در جهت عمود بر صفحهٔ Δ_{inf} آن تقسیم بر ارتفاع پانل، h_{inf} از معادلهٔ (۴ـ۸) به‌دست می‌آید:

$$\frac{\Delta_{\text{inf}}}{h_{\text{inf}}} = \frac{۰/۰۰۲[\frac{h_{\text{inf}}}{t_{\text{inf}}}]}{۱+\sqrt{۱-۰/۰۰۲[\frac{h_{\text{inf}}}{t_{\text{inf}}}]^{۲}}} \qquad (۸ـ۴)$$

سختی میان‌قاب در جهت عمود بر صفحهٔ مستقل از موجود یا جدید بودن آن درنظر گرفته می‌شود.

مقاومت

هنگامی‌که کنش قوسی درنظر گرفته نمی‌شود، کرانهٔ پایینی مقاومت یک پانل میان‌قاب مصالح بنایی غیرمسلح توسط کرانهٔ پایین مقاومت کششی مصالح بنایی در خمش (f_t')، کنترل می‌شود. (f_t') باید مساوی ۰/۷ برابر مقاومت کششی موردانتظار مصالح بنایی در خمش که طبق روش آزمایشی معتبری تعیین می‌شود، درنظر گرفته شود.

اگر کنش قوسی درنظر گرفته شود، کرانهٔ پایین مقاومت عمود بر صفحهٔ یک پانل میان‌قاب براساس معادلهٔ (۴ـ۹) تعیین می‌شود:

$$Q_{\text{CL}} = q_{\text{in}} = \frac{۰/۷ f_m' \lambda_۲}{[\frac{h_{\text{inf}}}{t_{\text{inf}}}]} \times ۱۴۴ \qquad (۹ـ۴)$$

که درآن:

f_m': کرانهٔ پایینی مقاومت فشاری مصالح بنایی؛

$\lambda_۲$: ضریب لاغری تعریف‌شده در جدول ۴ـ۵.

جدول ۴ـ۵ مقادیر برای استفاده در معادلهٔ (۴ـ۹).

$\frac{h_{\text{inf}}}{t_{\text{inf}}}$	۵	۱۰	۱۵	۲۵
$\lambda_۲$	۰/۱۲۹	۰/۰۶۰	۰/۰۳۴	۰/۰۱۳

توجه: درون‌یابی خطی بین مقادیر جدول مجاز است.

معیارهای پذیرش

پانل‌های میان‌قاب که در جهت عمود بر صفحه تحت بارگذاری قرار دارند نباید با روش‌های استاتیکی خطی یا غیرخطی تحلیل شوند.

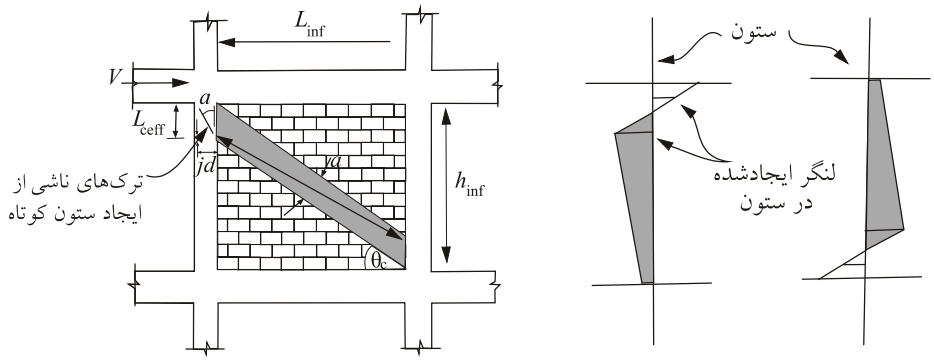
درصورت استفاده از روش دینامیکی غیرخطی، باید معیارهای عملکردی زیر براساس حداکثر تغییرمکان عمود بر صفحهٔ پانل کنترل شود.

۱. برای سطح عملکرد قابلیت استفادهٔ بی‌وقفهٔ سازه، نسبت تغییرمکان نسبی عمود بر صفحهٔ پانل در هر طبقه باید کوچک‌تر یا مساوی ۲٪ باشد؛

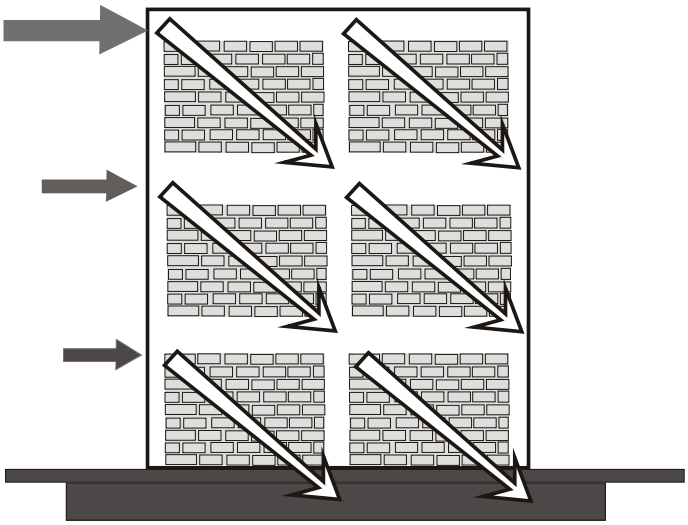
۲. برای سطح عملکرد ایمنی جانی سازه، نسبت تغییرمکان نسبی عمود بر صفحهٔ پانل در هر طبقه باید کوچک‌تر یا مساوی ۳٪ باشد؛

۳. برای سطح عملکرد آستانهٔ فروریزش سازه، نسبت تغییرمکان نسبی عمود بر صفحهٔ پانل در هر طبقه باید کوچک‌تر یا مساوی ۵٪ باشد.

تغییرشکل‌های قابل‌قبول پانل میان‌قاب در جهت عمود بر صفحه، مستقل از موجود یا جدید بودن دیوار آن درنظر گرفته می‌شود.



شکل ۴ـ۲۱ مدل میلهٔ معادل و توزیع ممان ناشی از نیروهای اندرکنش بین قاب و دیوار پرکننده.



شکل ۴ـ۲۲ تبدیل کنش خمشی به کنش محوری به‌علت وجود دیوار.

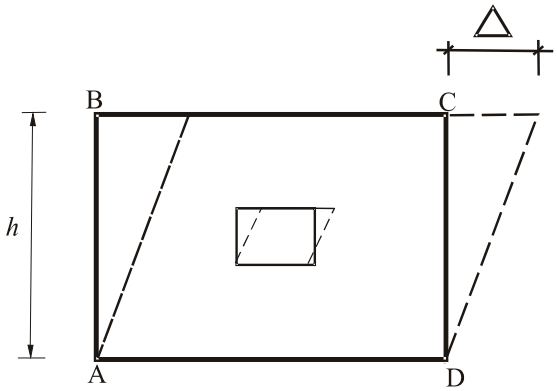
۴ـ۴ راهکارهای مقابله با عوارض میان‌قاب‌ها

همان‌گونه‌که تاکنون ذکر شد، دیوارهای پرکنندهٔ میان‌قابی مسائل و مشکلات جدی و پیش‌بینی‌نشده‌ای را به سازه تحمیل می‌کنند و باتوجه‌به این‌که در کشور ما کاربری ساختمان ثابت نیست، امکان تغییرمحل و جابه‌جایی یک جداگر میان‌قابی درطول مدت کاربری سازه وجود دارد و در موارد بسیاری می‌توان ساختمان مسکونی را به تجاری یا آموزشی و غیره تبدیل کرد و کنترل رسمی یا دولتی نیز در این مورد وجود ندارد. بدیهی است چنان‌چه حتی قاب‌های مرکب در محاسبه وارد شوند و اندرکنش قاب‌های اصلی با دیوارهای پرکننده نیز منظور شود نمی‌توان به نتیجهٔ رفتار سازه در مدت عمر آن اعتماد کرد و مقاومت سازه بر حدس و گمان بیش‌تر استوار است تا تحلیل فنی و مهندسی. به‌همین جهت برای رفع این مشکلات راه‌حل ساده و منطقی آن است که دیوارهای میان‌پر به‌طریقی اجرا شوند که ضمن درگیر شدن با ستون‌ها و تیر فوقانی مزاحمتی برای حرکت اعضای سازه‌ای در زمان وقوع زلزله ایجاد نکنند. دراین‌صورت دیوار باید طوری طراحی و ساخته شود که ضمن رعایت فاصلهٔ مناسب از ستون‌ها و تیر سقف و پر کردن این فاصله با مادهٔ انعطاف‌پذیر (مثل یونولیت یا پلی‌استایرن و ....)، و به‌عبارت‌دیگر، با استفاده از مصالح سبک و ترد و شکننده یک جای بازی برای حرکت قاب درنظر گرفته شود تا هم تحت مؤلفهٔ نیروهای درون‌صفحه‌ای زلزله از خود مقاومت نشان ندهند و هم تحت مؤلفهٔ عمود بر صفحهٔ قاب به بیرون پرتاب نگردد.

مطابق بند ۲ـ۵ـ۵ آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ «تغییرمکان جانبی نسبی در زلزله، سطح بهره‌برداری در هر طبقه نباید از ۰/۰۰۵ ارتفاع آن طبقه بیش‌تر باشد. این محدودیت را تنها می‌توان در مواردی تا ۰/۰۰۸ ارتفاع طبقه افزایش داد، که نوع و نحوهٔ به‌کارگیری مصالح و سیستم اتصال قطعات

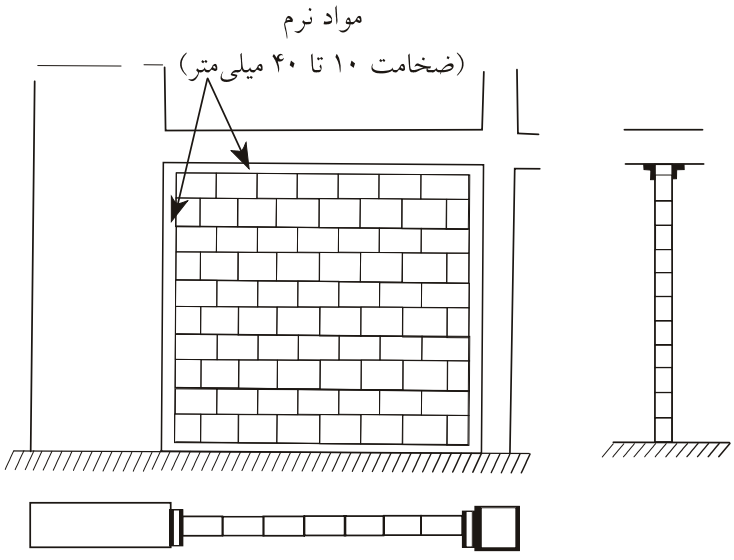
غیرسازه‌ای به‌گونه‌ای باشد که این قطعات بتوانند دربرابر تغییرمکان جانبی بیش‌تر، بدون خسارت‌های عمده برجای بمانند.»

مقدار Δ را باتوجه‌به ارتفاع معمول ستون‌های ساختمانی حداکثر ۴ cm و به‌طور معمول ۳ cm درنظر می‌گیرند.



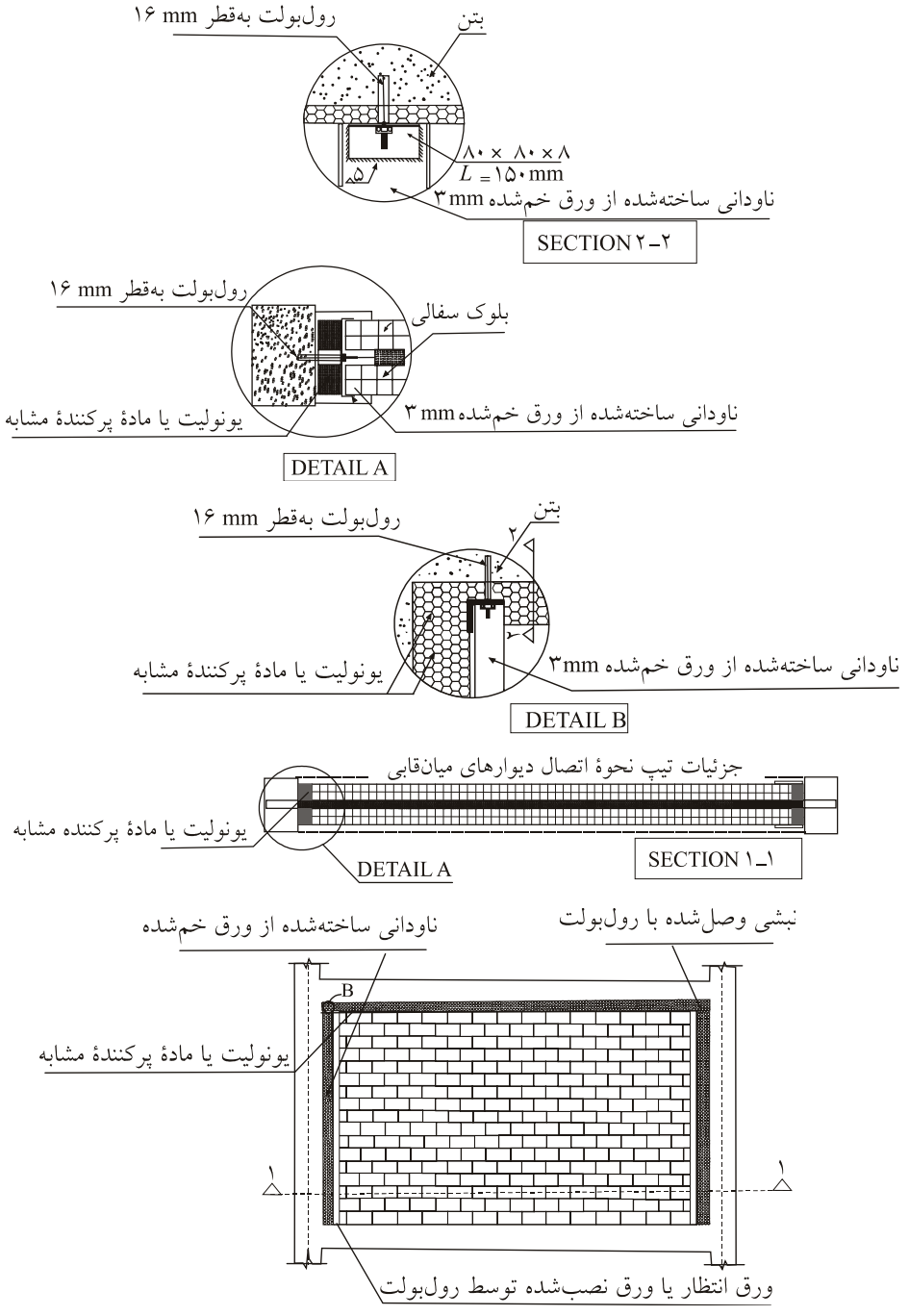
شکل ۴ـ۲۳ محاسبهٔ مقدار Δ باتوجه‌به قاب ساختمان.

فاصلهٔ آزاد بالای دیوار تا زیر تیر سقف برای جلوگیری از ترک ناشی از بارهای ثقلی حدود ۲ cm مناسب است.



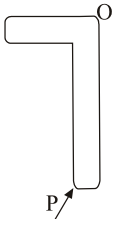
شکل ۴ـ۲۴ جدا کردن دیوار از قاب درصورت لزوم.

شکل‌های زیر یکی از جزئیات اجرایی مناسب برای جداسازی دیوار از قاب را در صفحه نشان می‌دهد.



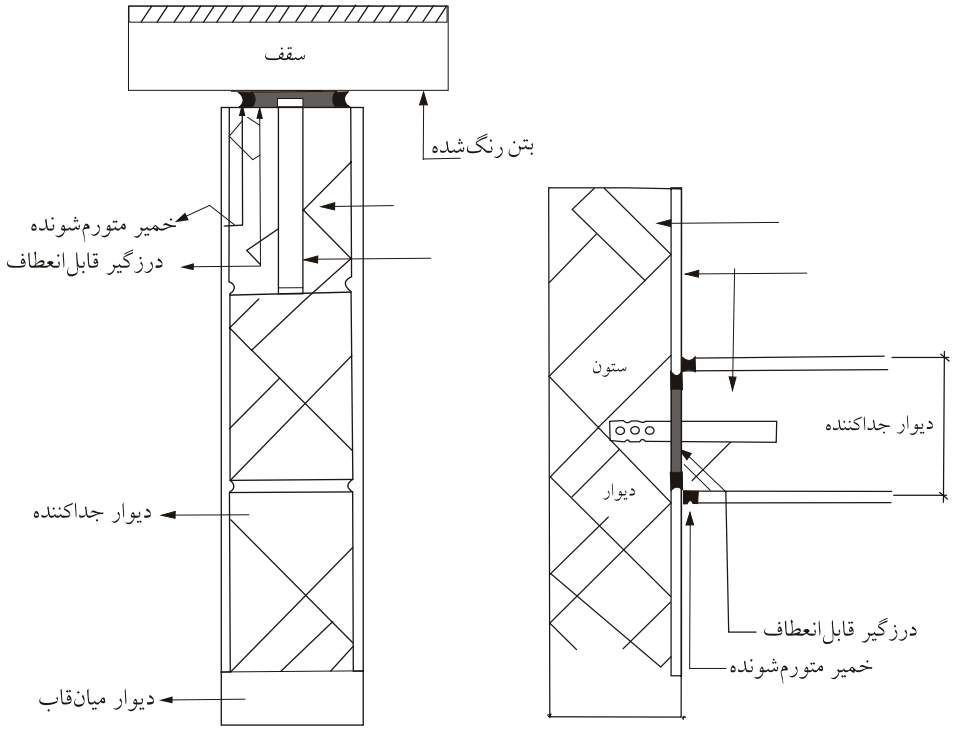
شکل ۴-۲۵ جزئیات نحوهٔ اتصال صحیح دیوار میان‌قاب.

جزئیات اجرایی معمول دیگر، استفاده از یک نبشی با جنس ورق گالوانیزه است (مثلاً به‌ابعاد ۲۵ × ۱۵ سانتی‌متر). این نبشی که با بال‌های نامساوی ساخته شده‌است به‌سادگی حول نقطهٔ O (محل تقاطع بال‌ها) می‌چرخد، ولی درمقابل نیروی عمود بر صفحه (P) مقاومت می‌کند.



دیوار درون صفحهٔ خود با چرخش بال‌ها حول نقطهٔ O جابه‌جا می‌شود، ولی صفحه با مقاومت نبشی درمورد نیروی عمود بر صفحه مواجه می‌شود.

0بال کوچک به سقف یا ستون محکم می‌شود (مثلاً با تفنگ هیلتی) و بال بزرگ‌تر درون دیوار جداکننده قرار می‌گیرد. نکتهٔ مهم آن است که بال بزرگ‌تر باید درون غلافی (مثلاً یک لوله PVC) که طول غلاف ۵ cm بزرگ‌تر از طول بال نبشی باشد، قرار بگیرد تا بتواند درون آن آزادانه حرکت کند. جزئیات مربوط در شکل ۴ـ۲۶ ملاحظه می‌شود.



شکل ۴ـ۲۶ جزئیات اجرایی اتصال به سقف یا ستون.

امتیاز بلوک‌های سیلکس برای حذف عوارض میان‌قاب‌ها

بلوک‌های سیلکس که از نوع بتن سبک اتوکلاوشده هستند، برای پدیدهٔ قاب‌های میان‌پر راه‌حل ساده، منطقی و مناسبی به‌شمار می‌آیند و می‌توان با استفاده از آن‌ها مشکلات ناشی از این قاب‌ها را رفع کرد، زیرا ازطرفی، این بلوک‌ها تنها مصالحی هستند که نسبت‌به سایر مصالح معمول و متداول در کشور نه‌تنها از آب سبک‌ترند بلکه، دانسیتهٔ آن‌ها حدود نصف دانسیتهٔ آب است. این موضوع به‌دلیل وجود مؤلفهٔ عمود بر صفحهٔ قاب (که در زلزله مایل به پرتاب دیوار به بیرون از صفحهٔ قاب است) اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا مقدار این نیرو بسیار کم و غیرعامل است و ازطرف‌دیگر، با ایجاد درزهای جداکننده بین دیوار و ستون‌های دو طرف (به‌مقدار حدود ۳ تا ۴ سانتی‌متر) و پر کردن آن با مادهٔ سبک انعطاف‌پذیر مزاحمتی برای حرکت قاب در صفحه ایجاد نمی‌شود و قاب میان‌پر متحمل هیچ‌گونه نیروی جانبی نمی‌شود. با درنظر گرفتن درز ۲ سانتی‌متری بین بالای دیوار و زیر سقف ترک‌های ناشی از نیروی ثقلی مهار می‌شوند.

متأسفانه هنوز مهندسان دست‌اندرکار صنعت ساختمان برای شناسایی و رفع پدیدهٔ میان‌قاب‌ها در کشور راه‌حل مناسبی نیافته‌اند. «سلیس‌آرا» تنها شرکتی است که در این راه پیش‌گام شد تا با توضیح اهمیت این موضوع برای طراحان و مجریان صنعت ساختمان، همکاری لازم را به‌منظور شناسایی، بررسی و رفع این مشکل انجام دهد و این درحالی است که کشورهای پیشرفته از سال‌ها پیش در ساختمان‌ها به‌ویژه در سازه‌های بلند، اقدام به جداسازی دیوارهای پرکننده از قاب‌های اصلی سازه کرده‌اند.

۵ بررسی یک پروژهٔ نمونه

مقایسهٔ وزن کل سازه ازنظر نیروهای وارده براثر زلزله و هم‌چنین میزان اتلاف انرژی ازلحاظ صرفه‌جویی مصرف در یک بلوک ساختمانی هفت‌طبقهٔ دهواحدی در تهران، با استفاده از تیغه‌های مختلف موجود و متداول در کشور.

۵ـ۱ مشخصات پروژه

به‌منظور مقایسهٔ مصالح موجود و متداول در صنعت ساختمانی کشور برای استفاده در دیوارها و تیغه‌ها، باید این مصالح را از دو جهت: سبکی و تأثیر آن در نیروی وارده ازطرف زلزله، و مقدار انتقال حرارت و عایق بودن حرارتی و تأثیر آن در صرفه‌جویی مصرف انرژی بررسی کرد. برای این منظور، یک مجتمع مسکونی هفت‌طبقهٔ دهواحدی انتخاب شده‌است.

این مجتمع دارای دو طبقهٔ زیرزمین و هم‌کف، پارکینگ و پنج طبقهٔ فوقانی دوواحدی و مسکونی است. هر طبقه یک آپارتمان جنوبی دوخوابه با سطح مفید $۷۱\ m^۲$ و یک آپارتمان شمالی سه‌خوابه با سطح مفید $۱۲۷\ m^۲$ دارد، به‌طوری‌که سطح مفید در هر طبقه $۱۹۸\ m^۲$ است.

زمین این مجتمع شمالی است و با عرض $۱۰\ m$ به‌مساحت $۴۴۰\ m^۲$ در تهران واقع شده‌است. نقشه‌های این ساختمان با رعایت کامل تمامی ضوابط شهرداری (مثل درصد تراکم مجاز، رعایت سطح زیربنا و سطح حیاط‌خلوت، ارتفاع لازم و مقررات پارکینگ‌ها) طبق دستورالعمل‌های صادره طراحی شده و به پیوست آمده‌اند، در ابتدا، جنس تیغه‌ها و دیوارهای جداکنندهٔ پیرامونی و داخلی از بلوک سیلکس انتخاب شده و میزان مقاومت حرارتی و اتلاف انرژی ساختمان طبق دستورالعمل مبحث ۱۹ مقررات ملی و نشریهٔ شمارهٔ ک‌ـ۴۴۳ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن محاسبه

شده‌است. سپس بلوک‌های سیلکس به سایر مصالح موجود تبدیل و درنهایت برتری یا عدم برتری آن‌ها درمورد اتلاف انرژی در جدولی با هم مقایسه شده‌است. در قسمت آخر نیز وزن کل سازه که ازطرفی هزینه‌های اقتصادی غیرضروری مانند مصرف مصالح، پرداخت دستمزد و زمان اجرا را نشان می‌دهد و ازطرفی نیز در جذب نیروی زلزله تأثیرگذار است برای مصالح مختلف، وزن‌ها محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده‌است.

۲ـ۵ مراحل انجام محاسبات ضروری

این مراحل براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ایران به‌شرح زیر است:

۱. تهیهٔ نقشه‌های ساختمانی؛
۲. تعیین گروه‌بندی ساختمان؛
۳. تعیین فضای کنترل‌شده و کنترل‌نشده؛
۴. تشخیص همسایگی و حدود آن؛
۵. محاسبهٔ سطوح خالص عناصر ساختمانی؛
۶. محاسبهٔ ضرایب انتقال حرارت عناصر ساختمانی؛
۷. تعیین ضرایب کاهش فضاهای کنترل‌نشده؛
۸. مقایسهٔ ضریب انتقال حرارت کل و ساختمان با مرجع؛
۹. انتخاب روش بهینه‌سازی درصورت لزوم؛
۱۰. تنظیم جدول خلاصه.

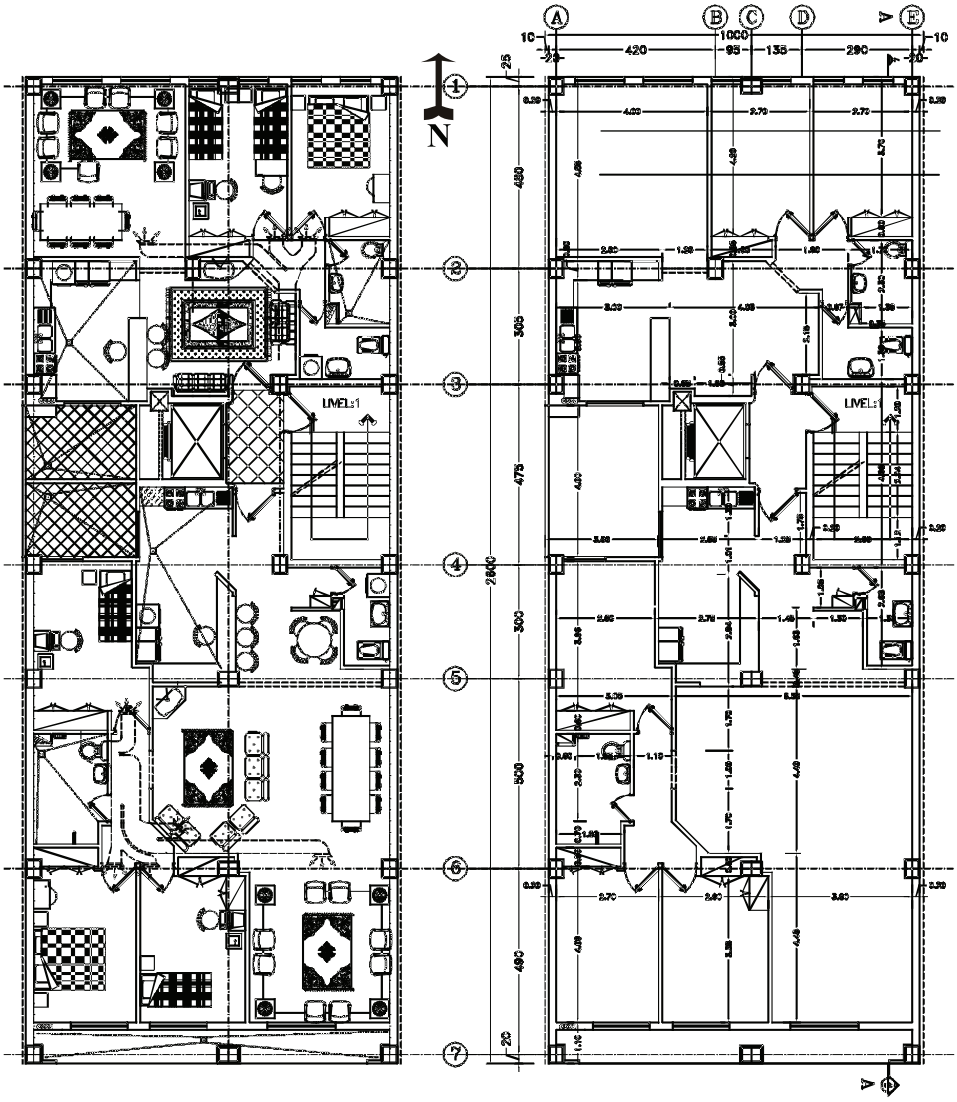
در این قسمت، مراحل انجام محاسبات حرارتی مجتمع مسکونی پروژه بررسی می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگر در ساختمان‌های مسکونی کشور تنها از دیوارهای ساخته‌شده از سیلکس استفاده شود، سالانه ۶/۴ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی (معادل ۳/۳ میلیارد لیتر گازوئیل) که رقمی معادل ۵۰۰ میلیارد ریال است، صرفه‌جویی ملّی حاصل می‌گردد[۱].

۱. تهیهٔ نقشه‌های ساختمانی

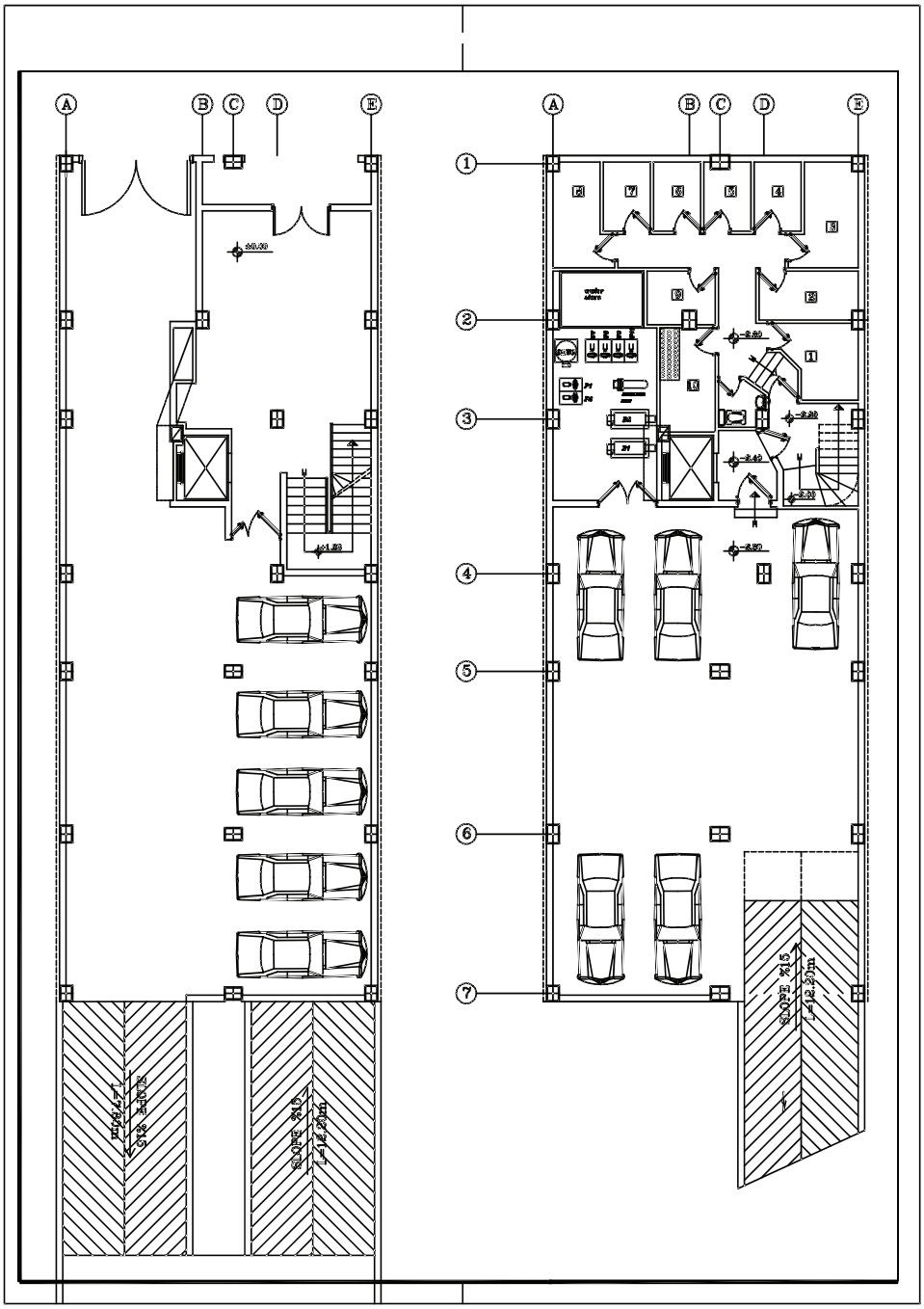
قبل‌از هر اقدامی، نقشه‌های موردنیاز برای اجرای این پروژهٔ ده‌واحدی طبق ضوابط و مقررات مربوط، طراحی و چند نمونه از این نقشه‌ها درادامه ارائه شده‌است.

---

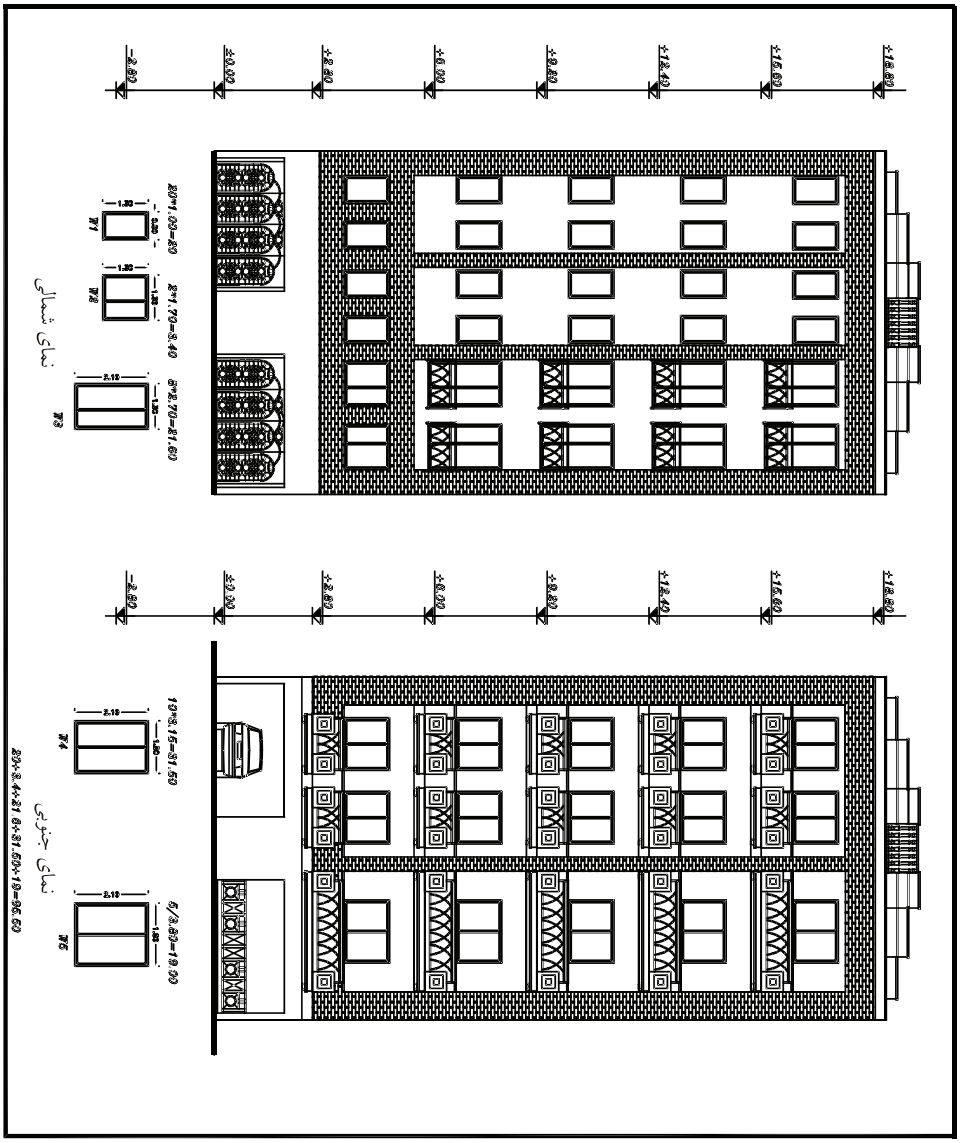
۱. قیمت محاسبه‌شده بر مبنای نرخ عامل‌های انرژی تا آخر تابستان ۱۳۸۹، یعنی پیش‌از برداشتن یارانه‌هاست که البته تا هنگام چاپ و مطالعهٔ این مطالب توسط خواننده حتماً بیش‌تر شده‌است.



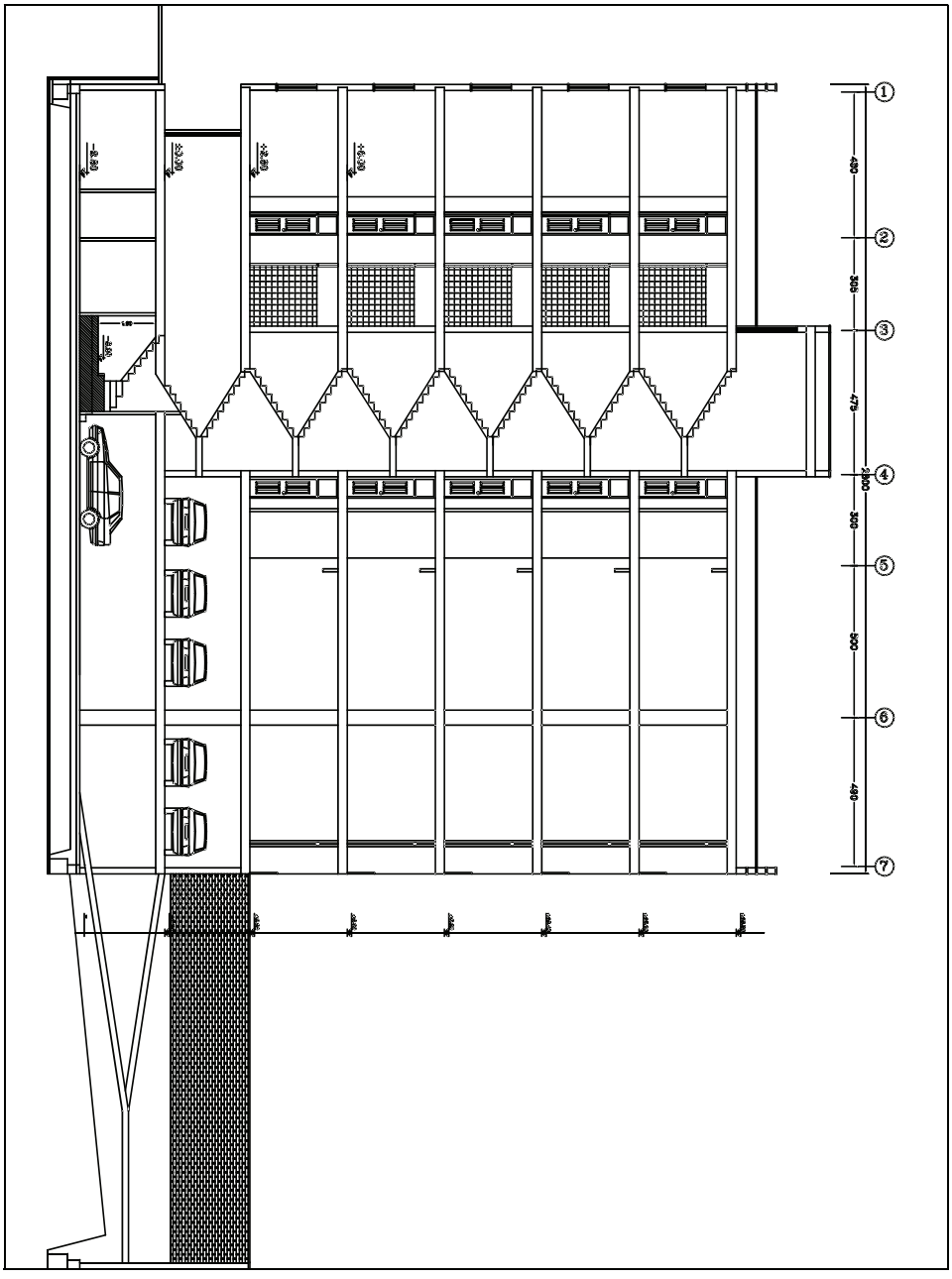
شکل ۵ـ۱ نمونه‌ای از پلان طبقات در نقشهٔ پروژهٔ ساختمانی دەواحدی.



شکل ۵ـ۲ پلان زیرزمین (پارکینگ) و پلان هم‌کف در نقشهٔ پروژهٔ ساختمانی دەواحدی.



شکل ۵ـ۳ نمای شمالی و جنوبی پروژهٔ ساختمانی دەواحدی.



شکل ۵ـ۴ نمونه‌ای از نقشهٔ پروژهٔ ساختمانی دەواحدی.

۲. تعیین گروه‌بندی ساختمان

اولین قدم در محاسبهٔ حرارتی یک ساختمان به‌منظور تطبیق آن با مبحث ۱۹ مقررات ملی، گروه‌بندی آن است. چون ساختمان در تهران قرار دارد، براساس پیوست شمارهٔ ۳ مبحث ۱۹ نیاز حرارتی منطقهٔ استقرار ساختمان، از نوع «متوسط» است و کاربری آن مسکونی است که مطابق پیوست شمارهٔ ۴ این مبحث در «گروه الف» قرار می‌گیرد. ازطرفی براساس پیوست شمارهٔ ۵ باتوجه‌به کاربری نوع «الف» و نیاز به انرژی «متوسط» و استقرار در شهرهای بزرگ و هم‌چنین زیربنای کم‌تر از m^2 ۱۰۰۰ در «گروه ۲» قرار می‌گیرد. گفتنی است که زیربنای مفید آپارتمان کوچک m^2 ۷۱ آپارتمان بزرگ m^2 ۱۲۷، جمع زیربنای مسکونی هر طبقه m^2 ۱۹۸ و درنهایت در پنج طبقه، m^2 ۹۹۰ است.

۳. تعیین فضای کنترل‌شده و کنترل‌نشده

پیش‌از انجام محاسبات حرارتی ابتدا باید محدودهٔ فضاهای کنترل‌شده و کنترل‌نشدهٔ ساختمان را مشخص کرد. فضاهای کنترل‌شده بخش‌هایی از فضای داخلی ساختمان هستند که به‌دلیل قرار گرفتن شرایط حرارتی‌شان در محدودهٔ آسایش ازطریق مصرف انرژی مدام گرم یا سرد می‌شوند؛ فضاهای کنترل‌نشده نیز به بخش‌هایی مانند راه‌پله، پارکینگ و غیره گفته می‌شود که تعریف فضاهای کنترل‌شده درمورد آن‌ها صادق نیست. در این پروژه راه‌پله، فضای آسانسور، سرویس‌های دو آپارتمان که در هر طبقه در کنار درهای ورودی قرار دارند و هم‌چنین پارکینگ‌ها جزو فضای کنترل‌نشده هستند.

۴. تشخیص همسایگی و حدود آن

قبل‌از آغاز محاسبات باید به همسایگی ساختمان توجه کرد. در مواردی ممکن است در دو طرف ساختمان (اغلب شرق و غرب) بناهایی با ارتفاع‌های متفاوت وجود داشته یا این بناها عقب‌نشینی کرده‌باشند. دراین‌صورت وضعیت همسایگی در مقدار سطوح مجاور فضای خارج تأثیر خواهد داشت.

در این پروژه، فرض بر آن است که این بلوک همسایه‌ای ندارد و هنوز پلاک‌های مجاور شروع به ساخت‌وساز نکرده‌اند. البته این موضوع اتلاف انرژی پیرامونی بنا را بیش‌تر می‌کند و پس‌از ساخت زمین‌های مجاور انرژی بیش‌تری صرفه‌جویی خواهد شد، باتوجه‌به این مطلب، حیاط‌خلوت غربی جزو فضاهای خارجی محسوب شده‌است.

۵. محاسبهٔ سطوح خالص عناصر ساختمانی

برای تعیین مقدار انتقال حرارتی عناصر مختلف ساختمان ابتدا باید سطوح خالص این عناصر را محاسبه کرد و برای این کار اندازه‌های خالص داخلی فضاها، معیار تعیین ابعاد هستند. بنابراین سطوح لازم در قسمت‌های مختلف بنا محاسبه شده‌است.

دیوارهای خارجی

الف) دیوار با اندود سیمان در طرف بیرون، و اندود گچ در طرف داخل

- آپارتمان سه‌خوابه:

ـ دیوار جنوبی $[(۹/۲۰ \times ۲/۷۰) - (۱/۵ \times ۲/۱۰) \times ۲ - (۱/۸۰ \times ۲/۱۰ \times ۱)] = ۱۴/۷۶$

ـ دیوار شرقی $۸/۰۰ \times ۲/۷۰ = ۲۱/۶۰$

ـ دیوار غربی شامل اتاق‌خواب‌ها $(۴/۱۰ + ۳/۹۵) \times ۲/۷۰ = ۲۱/۷۴$

ـ دیوار شمالی اتاق‌خواب مجاور حیاط‌خلوت $[(۲/۹ \times ۲/۷۰)] - [(۱/۳۰ \times ۱/۳۰) \times ۱] = ۶/۱۴$

- آپارتمان دوخوابه:

ـ دیوار شمالی $[(۹/۲۰ \times ۲/۷۰) - (۱/۳۰ \times ۰/۸۰) \times ۴ - (۱/۳۰ \times ۲/۱۰) \times ۲] = ۱۵/۲۲$

ـ دیوار شرقی $۳/۴۵ \times ۲/۷۰ = ۹/۳۲$

ـ دیوار غربی $۴/۵۵ \times ۲/۷۰ = ۱۲/۲۸$

مجموع سطوح دیوارهای یک طرف اندود سیمان و یک طرف اندود گچ در یک طبقه $۱۰۱/۰۶ \ m^۲$ است.

ب) دیوار با اندود سیمان در طرف خارج، و کاشی‌کاری در طرف داخل

- آپارتمان سه‌خوابه:

ـ دیوار حمام (غرب) $۲/۹۰ \times ۲/۷۰ = ۷/۸۳$

ـ دیوار غرب آشپزخانه مجاور حیاط‌خلوت $[(۱/۸۵ \times ۲/۷۰)] = (۱/۳۰ \times ۱/۳۰) \times ۱] = ۳/۳۱$

- آپارتمان دوخوابه:

ـ دیوار حمام (شرق) $۲/۲۰ \times ۲/۷۰ = ۵/۹۴$

ـ دیوار غربی آشپزخانه $۳/۷۰ \times ۲/۷۰ = ۹/۹۹$

ـ دیوار جنوبی آشپزخانه مجاور حیاط‌خلوت $[(۲/۷۰ \times ۲/۷۰) - (۱/۳۰ \times ۱/۳۰) \times ۱] = ۵/۶۰$

مجموع سطوح دیوارهای یک طرف خارج اندود سیمان و طرف داخل کاشی‌کاری در یک طبقه است.

دیوارهای مجاور فضای کنترل‌نشده

پ) دیوار با دو طرف گچ‌کاری

- آپارتمان سه‌خوابه:

ـ ورودی آپارتمان $(۱/۲۵ \times ۲/۷۰) - (۱/۱۰ \times ۲/۲۰) = ۱/۰۰$

ـ دیوار راه‌پله (جنوب و غرب) $(۱/۷۷ \times ۱/۳۰) \times ۲/۷۰) = ۵/۷۷$

- آپارتمان دوخوابه:

ـ ورودی آپارتمان $(۱/۵۰ \times ۲/۷۰) - (۱/۱۰ \times ۲/۲۰) = ۱/۶۰$

ـ شمال آسانسور جنوب پذیرایی $۲/۳۵ \times ۲/۷۰ = ۶/۳۴$

مجموع سطوح دیوارهای مجاور فضای کنترل‌شدهٔ دو طرف گچ‌کاری در یک طبقهٔ $m^۲$ ۱۴/۷۱ است.

ت) دیوار با یک طرف گچ‌کاری و یک طرف کاشی‌کاری

- آپارتمان سه‌خوابه:

ـ دیوار جنوب آسانسور و شمال آشپزخانه $۲/۴۵ \times ۲/۷۰ = ۶/۶۱$

ـ غرب و جنوب سرویس ورودی $[(۲/۶۰ + ۱/۳۰)۲/۷۰ - (۰/۷۰ \times ۲/۱۰)] = ۹/۰۶$

- آپارتمان دوخوابه:

ـ شمال و غرب سرویس ورودی $[(۲/۶۰ + ۱/۳۵)\ ۲/۷۰ - (۰/۷۰ \times ۲/۱۰)] = ۹/۲۰$

مجموع سطوح دیوارهای مجاور فضای کنترل‌شدهٔ یک طرف گچ‌کاری و یک طرف کاشی‌کاری در یک طبقه $m^۲$ ۲۴/۸۷ است.

محاسبهٔ سطح دیوار غربی آسانسور برای تعیین ضریب کاهش (مجاور نورگیر) در یک طبقه:

$۲ \times ۳/۰۰ = ۶/۰۰$

محاسبهٔ سطح دیوارهای شرقی راه‌پله و دو سرویس ورودی به آپارتمان‌ها (برای تعیین ضریب کاهش) مجاور فضای خارج در یک طبقه:

$(۱/۳۶ + ۴/۵۶ + ۲/۵۸) \times ۲/۷۰ = ۲۳/۰۰$

سطوح پنجره‌ها

ـ پنجره‌های جنوبی آپارتمان سه‌خوابه $۲ \times ۱/۵۰ \times ۲/۱۰ = ۶/۳۰$

ـ پنجره‌های جنوبی آپارتمان سه‌خوابه $۱ \times ۱/۸۰ \times ۲/۱۰ = ۳/۸۷$

ـ پنجره‌های مجاور نورگیر در دو آپارتمان $۳ \times ۱/۳۰ \times ۱/۳۰ = ۵/۰۷$

ـ پنجره‌های شمالی آپارتمان دوخوابه $۴ \times ۱/۳۰ \times ۰/۸۰ = ۴/۱۶$

ـ پنجره‌های شمالی آپارتمان دوخوابه $۲ \times ۱/۳۰ \times ۲/۱۰ = ۵/۴۶$

مجموع سطوح پنجره‌های دو آپارتمان در یک طبقه $m^۲$ است.

سطوح درها

ـ درهای ورودی آپارتمان‌ها $۲ \times ۱/۱۰ \times ۲/۱۰ = ۴/۶۲$

ـ درهای سرویس آپارتمان‌ها $۲ \times ۲/۱۰ \times ۰/۷۰ = ۲/۹۴$

ـ در ورودی پشت‌بام و راه‌پله برای تعیین ضریب کاهش $۱ \times ۱/۰۰ \times ۲/۱۰ = ۲/۱۰$

سطوح کف‌ها

ـ کف دو آپارتمان روی سقف پارکینگ $(۱۲۷ + ۷۱) - ۶/۵ = ۱۹۱/۵\ m^2$

(کف دو سرویس ورودی آپارتمان‌ها $۶/۵\ m^2$ است.)

محاسبهٔ کف قسمت‌های کنترل‌نشده برای تعیین ضریب کاهش

ـ آسانسور $۲ \times ۲/۲۰ = ۴/۴۰$

ـ کریدور $۲ \times ۱/۵ = ۳/۰۰$

ـ سرویس دوخوابه $۲/۳۸ \times ۱/۳۶ = ۳/۲۵$

ـ سرویس سه‌خوابه $۲/۵۸ \times ۱/۳۰ = ۳/۳۵$

ـ راه‌پله $۴/۵۶ \times ۲/۶۰ = ۱۱/۸۵$

درمجموع، $۲۵/۸۵\ m^2$ روی سقف پارکینگ

سطوح سقف‌ها (بام)

ـ سقف دو آپارتمان مجاور فضای خارج $(۷۱ + ۱۲۷) - ۶/۵ = ۱۹۱/۵\ m^2$

محاسبهٔ سقف برای تعیین ضریب کاهش در قسمت‌های کنترل‌نشده (به‌نقل از قسمت کف‌ها) $۲۵/۸۵\ m^2$

ـ دیوارهای خرپشته و راه‌پله $(۴/۵۶ + ۲/۶۰) \times ۲/۲۰ - (۱/۰۰ \times ۲/۱۰) = ۲۹/۵$

۶. محاسبهٔ ضرایب انتقال حرارتی عناصر ساختمانی

الف) ضرایب انتقال حرارتی بام تیرچه‌بلوک سفالی (مجاور فضای خارج)

نام لایه	d (m)	λ (W/m.k)	R ($m^2 k/W$)
آسفالت ماسه‌ای	۰/۰۳	۱/۱۵۰	۰/۰۲۶
عایق رطوبتی	۰/۰۱	۰/۲۳۰	۰/۰۴۳
ملاط ماسه‌سیمان	۰/۰۲	۱/۱۵۰	۰/۰۱۷
پوکه‌ریزی از خرده سیلکس	۰/۱۰	۰/۱۳۲	۰/۷۵۷
تیرچه‌بلوک سفالی	۰/۲۰۰	—	۰/۲۶۰
گچ	۰/۰۲	۰/۳۵۰	۰/۰۵۷
لایه‌های هوا	—	—	۰/۱۴۰
			$R_T = ۱/۳$
			$U = ۰/۷۷$

توجه: در پوکه‌ریزی از خرده سیلکس به‌عنوان عایق‌حرارتی و عامل شیب‌بندی استفاده شده‌است.

ب) ضریب انتقال حرارتی کف آپارتمان (مجاور فضای کنترل‌نشدهٔ پارکینگ)

نام لایه	d (m)	λ (W/m.k)	R (m^2 k /W)
موزاییک	۰/۰۲۵	۱/۷۵	۰/۰۱۴
ملاط ماسه‌سیمان	۰/۰۳۰	۱/۱۵	۰/۰۲۶
پوکه‌ریزی از خرده سیلکس	۰/۱۰	۰/۱۳۲	۰/۷۵۷
سقف تیرچه‌بلوک سفالی	۰/۲۰۰	—	۰/۲۶۰
اندود گچ‌کاری	۰/۰۳	۰/۳۵۰	۰/۰۸۶
لایه‌های هوا	—	—	۰/۳۴۰
			R_T = ۱/۴۸۳
			U = ۰/۶۷

پ) ضریب انتقال حرارتی دیوار ۲۰ سانتی سیلکس اندود سیمان و اندود گچ (مجاور فضای خارج)

نام لایه	d (m)	λ (W/m.k)	R (m^2 k /W)
اندود گچ	۰/۰۲۰	۰/۳۵	۰/۰۵۷
بلوک سیلکس	۰/۲۰۰	۰/۱۳۲	۱/۵۱۵
اندود سیمان	۰/۰۲۰	۱/۱۵	۰/۰۱۷
لایه‌های هوا	—	—	۰/۱۷۰
			R_T = ۱/۷۵۹
			U = ۰/۵۶۸

ت) ضریب انتقال حرارتی دیوار ۲۰ سانتی سیلکس اندود سیمان و کاشی‌کاری (مجاور فضای خارج)

نام لایه	d (m)	λ (W/m.k)	R (m^2 k /W)
کاشی	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵
ملاط ماسه‌سیمان	۰/۰۲۰	۱/۱۵	۰/۰۱۷
بلوک سیلکس	۰/۲۰۰	۱/۱۳۲	۱/۵۱۵
اندود سیمان	۰/۰۲۰	۱/۱۵	۰/۰۱۷
لایه‌های هوا	—	—	۰/۱۷۰
			R_T = ۱/۷۲۴
			U = ۰/۵۸۰

ه) ضریب انتقال دیوار ۲۰ سانتی سیلکس اندود دو طرف گچ (مجاور فضای کنترل‌نشده)

نام لایه	d (m)	λ (W/m.k)	R (m² k /W)
اندود گچ یک طرف	۰/۰۲۰	۰/۳۵	۰/۰۵۷
بلوک سیلکس	۰/۲۰۰	۰/۱۳۲	۱/۵۱۵
اندود گچ طرف دیگر	۰/۰۲۰	۰/۳۵	۰/۰۵۷
لایه‌های هوا	—	—	۰/۲۲۰
			R_T =۱/۸۴۹
			U =۰/۵۴

و) ضریب انتقال دیوار ۲۰ سانتی سیلکس اندود گچ و کاشی‌کاری (مجاور فضای کنترل‌نشده)

نام لایه	d (m)	λ (W/m.k)	R (m² k /W)
اندود گچ	۰/۰۲۰	۰/۳۵	۰/۰۵۷
بلوک سیلکس	۰/۲۰۰	۰/۱۳۲	۰/۵۱۵
کاشی	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵
ملاط ماسه‌سیمان	۰/۰۲۰	۱/۱۵	۰/۰۱۷
لایه‌های هوا	—	—	۰/۲۲۰
			R_T =۱/۸۱۴
			U =۰/۵۵

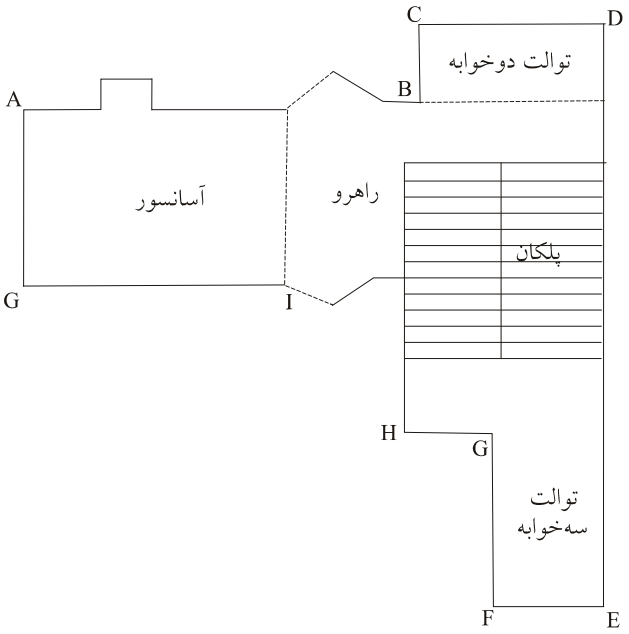
۷. تعیین ضریب کاهش فضاهای کنترل‌نشده

اگر ضریب کاهش بین جدارهای مجاور خارج و هوای داخل مساوی ۱ اختیار شود، لازم است این ضریب بین هوای داخل و جدارهای مجاور فضاهای کنترل‌نشده کم‌تر از ۱ تعریف شود در مبحث ۱۹ این ضریب کاهش از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau = \frac{\sum A_e U_e}{\sum A_e U_e + \sum A_i U_i}$$

که در آن A_e سطح خالص عنصر بین فضای کنترل‌نشده و خارج، U_e ضریب انتقال حرارت عنصر، A_i سطح خالص عنصر بین فضای کنترل‌نشده و فضای کنترل‌نشده و U_i ضریب انتقال حرارت آن است. در پروژهٔ پیش‌رو، سطح جدارهای بین فضای داخل و فضاهای کنترل‌نشده مطابق شکل زیر تعریف شده‌است.

توجه: برای اطلاعات بیش‌تر نقشهٔ پلان پرشده را ببینید.



شکل ۵ـ۵ سطوح دیوارهای بین فضای داخلی و فضاهای کنترل‌نشده.

تعیین ضریب کاهش جدارها در پروژهٔ پیش‌رو

الف) عناصر بین فضاهای کنترل‌نشده و خارج

ردیف	مشخصات	سطح A_e	ضریب طبقه	ضریب انتقال U_e	$A_e . U_e$
۱	دیوار AG بین آسانسور و نورگیر خارج	۶/۰۰	۵	۰/۵۶۸	۱۷/۰۴
۲	دیوار DE در شرق پلکان و شرق سرویس‌ها	۲۳/۰۰	۵	۰/۵۸	۶۶/۷۰
۳	کف قسمت‌های کنترل‌نشده روی سقف پارکینگ	۲۵/۸۵	۱	۰/۶۷	۱۷/۳۲
۴	سقف قسمت‌های کنترل‌نشده	۲۵/۸۵	۱	۰/۷۷	۱۹/۹۰
۵	دیوار خرپشته	۲۹/۵	۱	۰/۵۶۸	۱۶/۷۵
۶	در ورودی خرپشته به پشت‌بام	۲/۱۰	۱	۲/۰۰	۴/۲۰
				جمع کل	۱۴۱/۹۱

$$\sum A_e . U_e = ۱۴۱/۹۱$$

ب) عناصر بین فضای کنترل‌نشده و کنترل‌شده

ردیف	مشخصات	سطح A_i	ضریب طبقه	ضریب انتقال U_i	$A_i \cdot U_i$
۱	دیوارهای AB و GHI دو طرف گچ‌کاری	۱۴/۷۱	۵	۰/۵۴	۳۹/۷۲
۲	دیوارهای BCD، GI و EFG یک طرف گچ در یک طرف کاشی‌کاری	۲۴/۸۷	۵	۰/۵۵	۶۸/۳۹
۳	در سرویس‌های آپارتمان‌ها	۲/۹۴	۵	۲/۰۰	۲۹/۴۰
۴	در ورودی آپارتمان‌ها	۴/۶۲	۵	۲/۰۰	۴۶/۲۰
	جمع کل				۱۸۳/۷۱

$$\sum A_i \cdot U_i = ۱۸۳/۷۱$$

$$\tau = \frac{\sum A_e \cdot U_e}{\sum A_e \cdot U_e + \sum A_i \cdot U_i} = \frac{۱۴۱/۹۱}{۱۴۱/۹۱ + ۱۸۳/۷۱} = ۰/۴۳۶$$

۸. مقایسهٔ ضریب انتقال حرارت کل و مرجع ساختمان

پس‌از محاسبهٔ سطوح خالص عناصر ساختمانی و ضرایب انتقال حرارت عناصر موردنظر و هم‌چنین ضرایب کاهش مربوط به فضاهای کنترل‌نشدهٔ جدول صفحهٔ بعد به‌منظور مقایسهٔ وضع موجود و آن‌چه باید مطابق ضوابط مبحث ۱۹ باشد، تنظیم می‌شود، توضیحات ستون‌ها به‌ترتیب زیر است:

ستون اول: در این ستون نام عناصر ساختمان ذکر شده‌است.

ستون دوم: در این قسمت موقعیت عنصر ساختمان و نیز محل قرارگیری آن مشخص و هم‌چنین مشخصات اجرایی عنصر به‌صورت خلاصه و جنس اندودها ذکر شده‌است.

ستون سوم: در این ستون مساحت سطح خالص محاسبه و ذکر شده‌است.

ستون چهارم: ضریب کاهش هر عنصر در این ستون نوشته شده‌است. واضح است اگر عنصر موردنظر مجاور فضای خارج باشد، ضریب کاهش آن ۱ است (یعنی به آن ضریب کاهش تعلق نمی‌گیرد).

ستون پنجم: این ستون مربوط به مقادیر ضریب انتقال حرارت هر عنصر است که به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمت سمت چپ، ضریب انتقال مرجع از جدول شمارهٔ ۲ مبحث ۱۹ و ستون سمت راست، مقادیر ضرایب انتقال حرارت در وضع موجود را نشان می‌دهند.

ستون ششم: توان حرارتی در این ستون ذکر شده که این ستون نیز به دو بخش تقسیم شده‌است. قسمت سمت راست، توان حرارتی در وضع موجود و قسمت سمت چپ، توان حرارتی مرجع را براساس ضرایب مبحث ۱۹ نشان می‌دهد.

درنهایت از جمع و مقایسهٔ دو قسمت ستون ششم می‌توان دریافت که ساختمان به بهینه‌سازی نیاز دارد یا خیر.

۹. انتخاب روش بهینه‌سازی درصورت لزوم

گفتنی است برای حل این پروژه از نشریهٔ شمارهٔ ک-۴۴۳ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن باعنوان «اصول و روش‌های عایق‌کاری حرارتی براساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان» استفاده و طبق روش کارکردی، توان حرارتی وضع موجود با مرجع مقایسه شده‌است.

مطابق این روش مقدار توان حرارتی قبل‌از بهینه‌سازی برابر است با حاصل‌ضرب مساحت در ضریب کاهش ضرب‌در ضریب انتقال حرارت، و مقدار توان حرارتی مرجع حاصل‌ضرب مساحت در ضریب انتقال حرارت مرجع به‌نقل از مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان.

ضریب انتقال حرارت مرجع مطابق صفحهٔ ۲۷ مبحث ۱۹ از جدول شمارهٔ ۲ گروه ۲ غیربرقی و غیرویلایی گرفته و ضریب انتقال حرارت در و پنجره‌ها باتوجه‌به جدول پیوست شمارهٔ ۹ مبحث ۱۹ تعیین شده‌است.

نتیجه در جدول صفحهٔ ۲۲ نشان می‌دهد استفاده از بلوک‌های سیلکس نه‌تنها نیازی به بهسازی و عایق‌کاری دیوار ندارد، بلکه ۱۰٪ هم از توان حرارتی مرجع آیین‌نامه کم‌تر است.

نام عنصر	موقعیت و مشخصات جدار	مساحت (m^2)	ضریب طبقه	ضریب کاهش	ضریب انتقال حرارت (W/m.k)		توان حرارتی (W/k)	
					وضع موجود	مرجع	وضع موجود	مرجع
دیوار	دیوار خارجی از خارج اندود سیمان و از داخل گچ‌کاری	۱۰۱/۰۶	۵	۱/۰۰	۰/۵۶۸	۱/۰۱	۲۸۷/۰۰	۵۱۰/۳۵
	دیوار خارجی از خارج اندود سیمان از داخل کاشی‌کاری	۳۲/۶۷	۵	۱/۰۰	۰/۵۸	۱/۰۱	۹۴/۷۴	۱۶۴/۹۸
	دیوار دو طرف گچ‌کاری (مجاور فضای کنترل‌نشده)	۱۴/۷۱	۵	۰/۴۳۶	۰/۵۴	۰/۶۹	۱۷/۳۲	۵۰/۷۵
	دیوار یک طرف کاشی و یک طرف گچ‌کاری (مجاور فضای کنترل‌نشده)	۲۴/۸۷	۵	۰/۴۳۶	۰/۵۵	۰/۶۹	۲۹/۸۲	۸۵/۸۰
پنجره	پنجره‌های شمالی و جنوبی و نورگیر (از جنس فولادی ساده)	۲۴/۸۶	۵	۱/۰۰	۵/۸۰	۳/۴	۷۲۰/۹۴	۴۲۲/۶۲
در	داخلی به کریدور (از جنس چوب)	۴/۶۲	۵	۰/۴۳۶	۲/۰۰	۰/۶۹	۲۰/۱۴	۱۵/۹۴
	داخلی به سرویس (از جنس چوب)	۲/۹۴	۵	۰/۴۳۶	۲/۰۰	۰/۶۹	۱۲/۸۲	۱۰/۱۴
کف	کف طبقهٔ اول روی سقف پارکینگ هم‌کف تیرچه‌بلوک سفالی	۱۹۱/۵	۱	۰/۴۳۶	۰/۶۷	۰/۶۹	۵۵/۹۴	۱۳۲/۱۴
بام	سقف نمایی طبقهٔ پنجم (بام ساختمان) تیرچه‌بلوک سفالی	۱۹۱/۵	۱	۱/۰۰	۰/۷۷	۰/۶۳	۱۴۷/۴۵	۱۲۰/۶۴
							۱۳۸۶/۱۷	۱۵۱۳/۳۶

محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت دیوار ۲۰ سانتی خارجی (از خارج اندود سیمان و از داخل اندود گچ)

واحد ضخامت لایه‌ها به متر، λ ضریب هدایت حرارتی $(W/m.k)$ و R ضریب انتقال حرارت (m^2k/W) است.

نام، جنس و موقعیت لایه	آجر		سفال		تیغهٔ گچی		لیکا		سیلکس	
	λ_1	R_1	λ_2	R_2	λ_3	R_3	λ_4	R_4	λ_5	R_5
دیوار به‌ضخامت ۰/۲ m	۱	۰/۲۰	۰/۵۱	۰/۳۹۵	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۱۴۱	۱/۴۱۸	۰/۱۳۲	۱/۵۱۵
اندود سیمان ۲ سانتی خارجی	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۵۱	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷
اندود گچ ۲ سانتی داخلی	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷
لایه‌های هوا	—	۰/۱۷	—	۰/۱۷	—	۰/۱۷	—	۰/۱۷	—	۰/۱۷
		۰/۴۴۴		۰/۶۳۹		۰/۸۱۴		۱/۶۶۲		۱/۷۵۹
		$U_1 = ۲/۲۵۲$		$U_2 = ۱/۵۶۵$		$U_3 = ۱/۲۲۸$		$U_4 = ۰/۶۰۱$		$U_5 = ۰/۵۶۸$

محاسبهٔ وزن هر مترمربع دیوار ۲۰ سانتی با مصالح مختلف (از خارج اندود سیمان و از داخل اندود گچ)

وزن به کیلوگرم در مترمربع	آجر	سفال	تیغهٔ گچی	لیکا	سیلکس
وزن مصالح دیوار	۰/ ۲ × ۱۸۵۰	۰/۲ × ۸۵۰	۰/۲ × ۶۳۰	۰/۲ × ۹۰۰	۰/۲ × ۵۵۰
وزن اندود سیمان	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰
وزن اندود گچ	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰
وزن هر مترمربع دیوار به کیلوگرم	۴۳۸	۲۳۸	۱۹۴	۲۴۸	۱۷۸

محاسبهٔ ضریب انتقال حرارتی دیوار ۲۰ سانتی خارجی (از خارج اندود سیمان از داخل کاشی‌کاری)

واحد ضخامت لایه‌ها به متر، λ ضریب هدایت حرارتی $(W/m.k)$ و R ضریب انتقال حرارت (m^2k/W) است.

نام، جنس و موقعیت لایه	آجر		سفال		تیغه گچی		لیکا		سیلکس	
	λ_1	R_1	λ_2	R_2	λ_3	R_3	λ_4	R_4	λ_5	R_5
دیوار به‌ضخامت ۲۰cm	۱	۰/۲	۰/۵۱	۰/۳۹۵	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۱۴۱	۱/۴۱۸	۰/۱۳۲	۱/۵۱۵
اندود سیمان ۲ سانتی خارجی	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷
کاشی‌کاری ۰/۵ سانتی	۱/۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵
ملاط زیر کاشی‌کاری ۲ سانتی	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷
لایه‌های هوا	—	۰/۱۷	—	۰/۱۷	—	۰/۱۷	—	۰/۱۷	—	۰/۱۷
		۰/۴۰۹		۰/۶۰۴		۰/۷۷۹		۱/۶۲۷		۱/۷۲۴
		U_1 = ۲/۴۴۵		U_2 = ۱/۶۵۵		U_3 = ۱/۲۸۳		U_4= ۰/۶۱۴		U_5 =۰/۵۸۰

محاسبهٔ وزن هر متر مربع دیوار ۲۰ سانتی داخلی با مصالح مختلف (از خارج اندود سیمان و از داخل کاشی‌کاری)

وزن هر مترمربع به کیلوگرم	آجر	سفال	تیغهٔ گچی	لیکا	سیلکس
وزن مصالح دیوار	۰/۲ × ۱۸۵۰	۰/۲ × ۸۵۰	۰/۲ × ۶۳۰	۰/۲ × ۹۰۰	۰/۲ × ۵۵۰
اندود سیمان	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰
کاشی‌کاری	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰
وزن ملاط زیر کاشی‌کاری	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰
وزن هر مترمربع دیوار	۴۶۲	۲۶۲	۲۱۸	۲۷۲	۲۰۲

محاسبهٔ ضریب انتقال حرارتی دیوار ۲۰ سانتی (دو طرف اندود گچ)

واحد ضخامت لایه‌ها به متر λ_1، ضریب هدایت حرارتی $(W/m.k)$ و واحد R ضریب انتقال (m^2k/W) است.

نام، جنس و موقعیت لایه	آجر		سفال		تیغهٔ گچی		لیکا		سیلکس	
	λ_1	R_1	λ_2	R_2	λ_3	R_3	λ_4	R_4	λ_5	R_5
دیوار به‌ضخامت ۲۰ سانتی‌متر اندود گچ	۱	۰/۲	۰/۵۱	٪۳۹۵	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۱۴۱	۱/۴۱۸	۰/۱۳۲	۱/۵۱۵
اندود گچی یک طرف دیوار	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷
اندودگچی طرف دیگر	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷
لایه‌های هوا	—	۰/۲۲	—	۰/۲۲	—	۰/۲۲	—	۰/۲۲	—	۰/۲۲
		۰/۵۳۴		۰/۷۲۹		۰/۹۰۴		۱/۷۵۲		۱/۸۴۹
		U_1 = ۱/۸۷۲		U_2 = ۱/۳۷۲		U_3 = ۱/۱۰۶		U_4 = ۰/۵۷۱		U_5 = ۰/۵۴

محاسبهٔ وزن هر مترمربع دیوار ۲۰ سانتی داخلی با مصالح مختلف (دو طرف اندود گچ).

وزن هر مترمربع (kg)	آجر	سفال	تیغهٔ گچی	لیکا	سیلکس
وزن مصالح دیوار	۰/۲ × ۱۸۵۰	۰/۲ × ۸۵۰	۰/۲ × ۶۳۰	۰/۲ × ۹۰۰	۰/۰۲ × ۵۵۰
وزن اندود گچ یک طرف	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲× ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰
اندود گچ طرف دیگر	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰
وزن هر مترمربع دیوار	۴۲۲	۲۲۲	۱۷۸	۲۳۲	۱۶۲

محاسبهٔ ضریب انتقال حرارتی دیوار ۲۰ سانتی داخلی (کاشی‌کاری و اندود گچ)

واحد ضخامت لایه‌ها به متر، λ ضریب هدایت حرارتی $(W/m.k)$ و R ضریب انتقال حرارتی (m^2k/W) است.

نام، جنس و موقعیت لایه	آجر		سفال		تیغه گچی		لیکا		سیلکس	
	λ_1	R_1	λ_2	R_2	λ_3	R_3	λ_4	R_4	λ_5	R_5
دیوار به‌ضخامت ۲۰ cm	۱	۰/۲۰	۰/۵۱	۰/۳۹۵	۰/۳۵	۰/۵۷	۰/۱۴۱	۱/۴۱۸	۰/۱۳۲	۱/۵۱۵
اندود گچی ۲ cm	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷	۰/۳۵	۰/۰۵۷
کاشی‌کاری ۵ میلی‌متری	۱/۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵	۱/۰۵	۰/۰۰۵
ملاط زیر کاشی‌کاری ۲ cm	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷	۱/۱۵	۰/۰۱۷
لایه‌های هوا	—	۰/۲۲	—	۰/۲۲	—	۰/۲۲	—	۰/۲۲	—	۰/۲۲
		۰/۴۹۹		۰/۶۹۴		۰/۸۶۹		۱/۷۱۷		۱/۸۱۴
		$U_1 = ۲/۰۰$		$U_2 = ۱/۴۴۱$		$U_3 = ۱/۱۵۱$		$U_4 = ۰/۵۸۲$		$U_5 = ۰/۵۵$

محاسبهٔ وزن هر مترمربع دیوار ۲۰ سانتی داخلی با مصالح مختلف (یک طرف اندود گچ و طرف دیگر کاشی‌کاری)

وزن هر مترمربع به کیلوگرم	آجر	سفال	تیغهٔ گچی	لیکا	سیلکس
وزن مصالح دیوار	۰/۲ × ۱۸۵۰	۰/۲ × ۸۵۰	۰/۲ × ۶۳۰	۰/۲ × ۹۰۰	۰/۲ × ۵۵۰
وزن اندود گچ‌کاری	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰	۰/۰۲ × ۱۳۰۰
وزن کاشی	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰	۰/۰۰۵ × ۱۷۰۰
وزن ملاط زیر کاشی‌کاری	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰	۰/۰۲ × ۲۱۰۰
	۴۴۶	۲۴۶	۲۰۲	۲۵۶	۱۸۶

محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت و وزن سقف

لایه	d ضخامت (m)	λ (W/m.k)	R (m^2k/W)
آسفالت ماسه‌ای	۰/۰۳	۱/۱۵۰	۰/۰۲۶
عایق قیرگونی	۰/۰۱	۰/۲۳۰	۰/۰۴۳
ملاط ماسه‌سیمان	۰/۰۲	۱/۱۵۰	۰/۰۱۷
بتن سبک شیب‌بندی	۰/۰۸	۰/۴۶	۰/۱۷۴
تیرچه‌بلوک سفالی	—	—	۰/۲۶
گچ‌کاری زیر سقف	۰/۰۲	۰/۳۵۰	۰/۰۵۷
لایه‌های هوا	—	—	۰/۱۴۰
$U = ۱/۳۹$			۰/۷۱۷

محاسبهٔ وزن هر مترمربع سقف بام به کیلوگرم

لایه	ضخامت	وزن مخصوص	وزن کل
آسفالت ماسه‌ای	۰/۰۳	۲۲۰۰	۶۶
عایق قیرگونی	۰/۰۱	—	۱۵
ملاط ماسه‌سیمان	۰/۰۲	۲۱۰۰	۴۲
بتن سبک شیب‌بندی	۰/۰۸	۶۰۰	۴۸
تیرچه‌بلوک سفالی	—	—	۳۳۰
گچ‌کاری زیر سقف	۰/۰۲	۱۳۰۰	۲۶
			۵۲۷

محاسبهٔ ضریب انتقال حرارت و وزن کف

لایه	d ضخامت (m)	λ (W/m.k)	R (m^2k/W)
موزاییک	۰/۰۲۵	۱/۷۵	۰/۰۱۴
ملاط ماسه‌سیمان زیر موزاییک	۰/۰۳۰	۱/۱۵	۰/۰۲۶
بتن سبک کف‌سازی	۰/۰۸	۰/۴۶	۰/۱۷۴
تیرچه‌بلوک سفالی	—	—	۰/۲۶۰
اندود گچی زیرین	۰/۰۳	۰/۳۵	۰/۰۸۶
لایه‌های هوا	—	—	۰/۳۴۰
$U = ۱/۱۱$			۰/۹۰

محاسبهٔ وزن هر مترمربع کف به کیلوگرم

لایه	ضخامت d (m)	وزن مخصوص	وزن کل
موزاییک	۰/۰۲۵	۲۲۰۰	۵۵
ملاط ماسه‌سیمان زیر موزاییک	۰/۰۳۰	۲۱۰۰	۶۹
بتن سبک کف‌سازی	۰/۰۸	۶۰۰	۴۸
تیرچه‌بلوک سفالی	—	—	۳۳۰
اندود گچ زیر سقف	۰/۰۳	۱۳۰۰	۳۹
			۵۴۱

محاسبهٔ ضریب کاهش در مصالح مختلف دیوار

باتوجه‌به نحوهٔ محاسبهٔ ضریب کاهش که در صفحات قبل به‌تفصیل آمده‌است، ضریب کاهش مصالح مختلف دیوارها محاسبه شده که نتایج آن به‌شرح زیر است:

جنس دیوار	ضریب کاهش
آجری	۰/۵۱۱
سفال	۰/۴۹۷
تیغهٔ گچی	۰/۴۹۴
لیکا	۰/۴۸۰
سیلکس	۰/۴۳۶

مقایسهٔ توان حرارتی دیوارهای با مصالح مختلف با توان حرارتی مرجع

باتوجه‌به جدول صفحهٔ ۱۶۵ توان حرارتی مصالح مختلف برای دیوارهای این پروژه محاسبه شد که نتایج آن به‌شرح زیر است:

جنس دیوار	توان حرارتی موجود (W/m)	توان حرارتی مرجع (W/k)	درجهٔ افزایش	درجهٔ کاهش
آجری	۲۸۶۹/۱۱	۱۵۱۳/۳۶	۱/۸۹۵	—
سفالی	۲۳۳۰/۶۶	۱۵۱۳/۳۶	۱/۵۴۰	—
تیغهٔ گچی	۲۰۷۰/۵۹	۱۵۱۳/۳۶	۱/۳۶۸	—
لیکا	۱۵۸۴/۳	۱۵۱۳/۳۶	۱/۰۵	—
سیلکس	۱۳۸۶/۱۷	۱۵۱۳/۳۶	—	نزدیک‌به ۱۰٪

باتوجه‌به جدول بالا، استفاده از دیوارهای آجری، سفالی، تیغهٔ گچی و لیکا، چنان‌چه به‌صورت تنها به‌کار روند، توان حرارتی آن‌ها از توان حرارتی مرجع بیش‌تر خواهد بود. بنابراین باید با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی پوسته (مانند لایهٔ پلی‌استایرن یا پشم‌سنگ) به‌منظور دستیابی به ضوابط مبحث ۱۹ هماهنگ شوند. کاربرد دیوارهای سیلکس نزدیک‌به ۱۰٪ از توان حرارتی مرجع نیز کم‌تر است و بنابراین صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف انرژی صورت می‌پذیرد.

۱۰. تنظیم جدول خلاصه

در جدول صفحهٔ بعد با استفاده از فصل سوم «مقایسهٔ بلوک‌های سیلکس با سایر مصالح معمول و متداول در کشور» وزن کل دیوارهای پروژه درصورت استفاده از هریک از مصالح پنج‌گانه و نیز اختلاف وزن کل ساختمان با وزن مینیمم محاسبه و درنهایت، وزن کل ساختمان در حالت‌های گوناگون باهم مقایسه شده‌است.

محاسبهٔ وزن کل ساختمان پروژه با درنظر گرفتن دیوارهای با مصالح مختلف

وزن کل (ton)					وزن واحد سطح دیوارهای مختلف (kg)					سطح کل دیوار (m^2)	اندودهای مختلف دو طرف دیوار
سیلکس	لیکا	تیغه گچی	آجر سفالی	آجر فشاری	سیلکس	لیکا	تیغهٔ گچی	آجر سفالی	آجر فشاری		
۸۹/۹	۱۲۵/۳	۹۸/۰	۱۲۰/۲	۲۲۱/۳	۱۷۸	۲۴۸	۱۹۴	۲۳۸	۴۳۸	۵ × ۱۰۱/۰۶	اندود سیمان + اندود گچ
۳۳/۰	۴۴/۴	۳۵/۶	۴۲/۸	۷۵/۴	۲۰۲	۲۷۲	۲۱۸	۲۶۲	۴۶۲	۵ × ۳۲/۶۷	اندود سیمان + کاشی‌کاری
۱۱/۹	۱۷/۰	۱۳/۱	۱۶/۳	۳۱/۰	۱۶۲	۲۳۲	۱۷۸	۲۲۲	۴۲۲	۵ × ۱۴/۷۱	اندود گچ در دو طرف
۲۳/۰	۳۱/۸	۲۵/۱	۳۰/۶	۵۵/۴	۱۸۶	۲۵۶	۲۰۲	۲۴۶	۴۴۶	۵ × ۲۴/۸۷	اندود گچ + کاشی‌کاری
۵۵/۴	۹۹/۹	۸۵/۱	۱۰۷/۹	۲۰۹/۸	۵۶	۱۰۱	۸۶	۱۰۹	۲۱۲	۵ × ۱۹۸	بار معادل تیغه‌بندی
۹۵۷	۹۵۷	۹۵۷	۹۵۷	۹۵۷	وزن قسمت‌های ثابت بام طبقات، راه‌پله و آسانسور به تن						
۱۱۷۰	۱۲۷۵	۱۲۱۴	۱۲۷۵	۱۵۵۰	وزن کل ساختمان به تن						
	۱۰۵	۴۴	۱۰۵	۳۸۰	افزایش وزن کل ساختمان نسبت‌به ساختمانی با دیوارهای ساخته‌شده از بتن AAC						

همان‌گونه که می‌بینید ساختمان موردنظر در مقایسه با آجر فشاری ۳۸۰ تن و با آجر سفالی و لیکا بیش‌از صد تن سبک شده‌است که این موضوع برش پایه را هنگام زلزله حدود ۱۰٪ کاهش می‌دهد. محاسبات سازه‌ای نشان می‌دهند که این کاهش نیروی برش پایه در همین حدود در کاهش وزن اسکلت فلزی مصرفی بنا و هم‌چنین صرفه‌جویی در مصرف آرماتورها در اسکلت بتنی بسیار مؤثر است. علاوه‌براین، نازک‌تر شدن ضخامت تیغه‌ها با AAC چند مترمربع در هر طبقه به سطح مفید بنا می‌افزاید.

منابع

۱. تابش‌پور، محمدرضا، *دیوار پرکنندهٔ آجری در قاب‌های سازه‌ای*، ایساتیس، تهران، ۱۳۸۸.
۲. تابش‌پور، محمدرضا، *الزامات دیوار پرکنندهٔ آجری در آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰*، ایساتیس، تهران، ۱۳۸۸.
۳. مقدم، حسن، *طرح لرزه‌ای ساختمان‌های آجری*، مؤسسهٔ انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۸۰.
۴. مقدم، حسن، *اصول مبانی بارگذاری لرزه‌ای*، مرکز تحقیقات مطالعات راه‌وترابری، تهران، ۱۳۷۵.
۵. انواری، علی‌مسعود، *تیغه‌های جداکنندهٔ داخلی در ساختمان‌سازی*، نشر کتاب دانشگاهی، تهران، ۱۳۸۵.
۶. ریاضی، جمشید، *اصول محاسبهٔ انتقال حرارت در اجزای ساختمان* (*نشریهٔ ۴۴۳*)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۷۴.
۷. معاونت امور فنی، دفتر امور فنی تدوین معیارها، مشخصات فنی ـ عمومی کارهای ساختمانی (*نشریهٔ ۵۵*)، سازمان برنامه‌وبودجه ـ مرکز مدارک اقتصاری ـ اجتماعی و انتشارات، تهران، ۱۳۷۷.
۸. رئیس‌قاسمی، سیدمازیار، *sys و زیر sys قطعات بتن هوادار اتوکلاوشده*، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
۹. اصول و روش‌های عایق‌کاری در ساختمان (*نشریهٔ ۴۴۳*)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
۱۰. *آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ ایران* (طراحی ساختمان‌ها دربرابر زلزله)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۷۸.
۱۱. *استانداردهای شمارهٔ ۸۵۹۸ ـ ۸۵۹۱*، مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی کشور.
۱۲. *مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان* (صرفه‌جویی در مصرف انرژی)، وزارت مسکن و شهرسازی، نشر توسعهٔ ایران، تهران ۱۳۸۸.
۱۳. صالحی، مجید، *نقش بتن اتوکلاوشده در کاهش مصرف سوخت ساختمان*، از مقالات سمینار مرکز تحقیقات مسکن.
۱۴. کوچکی‌نژاد، محمدرضا، *چگونگی تولید مصرف و ویژگی‌های بتن متخلخل اتوکلاوشده*، از مقالات سمینار مرکز تحقیقات مسکن.
۱۵. کتاب *Autoclaved Aerated concrete*
۱۶. *هندبوک ایتونگ*، شرکت فراورده‌های ساختمانی.

نشر کتاب دانشگاهی

فهرست آثار موجود

نام کتاب	مؤلف / مترجم
مکانیک مهندسی: استاتیک- ویرایش۶، رنگی	مریام - کریگ / افضلی، محمدرضا
راهنمای مسائل استاتیک مریام - ویرایش۶	مریام - کریگ / جلائیان - افضلی
مکانیک مهندسی: دینامیک- ویرایش۶ ، رنگی	مریام - کریگ / افضلی، محمدرضا
راهنمای مسائل دینامیک مریام- فصل‌های ۱ تا ۴	مریام - کریگ / افضلی، محمدرضا
راهنمای مسائل دینامیک مریام- فصل‌های ۵ تا ۸ و پیوست‌ها	مریام - کریگ / افضلی، محمدرضا
مقدمه‌ای بر مکانیک سیالات- ویرایش۶ ، رنگی	فاکس- مک‌دونالد و ... / پوستی، بهرام
راهنمای مسائل مکانیک سیالات: فصل‌های ۱ تا ۶ - ویرایش۶	فاکس- مک‌دونالد و ... / پوستی، بهرام
راهنمای مسائل مکانیک سیالات: فصل‌های ۷ تا ۱۲ و پیوست‌ها - ویرایش ۶	فاکس- مک‌دونالد و ... / پوستی، بهرام
مقاومت مصالح	پوپوف، ایگور / افضلی، محمدرضا
آزمایشگاه مقاومت مصالح	خورشیدی، بهزاد
اصول مهندسی ژئوتکنیک: مکانیک خاک- ویرایش ۵	داس، براجا ام. / اطیابی، اردشیر
آزمایشگاه مکانیک خاک- ویرایش۲	تی‌تی‌دژ و ... [زیرنظر اسکروچی]
ژئوتکتیک، مکانیک خاک، ژئوفیزیک	مبشری، محسن
راهنمای نرم‌افزارهای ژئوتکنیک- با CD	فتحی، علی- رشیدی، مسعود
درآمدی بر مکانیک سنگ	وتوکوری - کاتسویاما / حسینی، محمدفاروق
طبقه‌بندی زمین در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها	فاضلی ماسوله، عیسی
ابزاردقیق سدهای بتنی (طراحی، تهیه، اجرا و بهره‌برداری)	هزارخوانی- سراج - باسره
مسائلی از بارگذاری جلد۱	محمدی، امیرعباس
جزئیات اجرای ساختمان (به زبان اصلی)	ACI (انجمن بتن امریکا)
دیکشنری معماری و ساختمان (به زبان اصلی)	هریس
ژئودزی پایه برای مهندسان و دانشجویان نقشه‌برداری	شهامت - شهبازی - سجادی
تأسیسات مکانیکی و برقی ساختمان - ویرایش۲	تائو - جانیس / افضلی، محمدرضا
فرهنگ تأسیسات ساختمان - ویرایش۲	سلطاندوست، محمدرضا
طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها براساس سطح عملکرد بااستفاده از تحلیل پوش‌آور SAP2000	تقی‌نژاد، رامین
خودآموز و مرجع دستورات SAP 2000	رئیسیان‌زاده، سپهر
طراحی شبکه‌های فاضلاب‌رو SEWER	مداک-داهندیا / حمیدخانی
تحلیل سه‌بعدی پیشرفته از دستگاه‌های ساختمانی ETABS	حبیب‌الله، اشرف / مختارزاده
تحلیل استاتیکی و دینامیکی سازه‌ها SAP 90	حبیب‌الله - ویلسون / مختارزاده
تحلیل و طراحی شالوده‌های گسترده و مرکب MATS	ویلسون-حبیب الله / مختارزاده
برنامه طراحی سازه‌های بتن آرمه SAPCON	ویلسون-حبیب الله / مختارزاده
برنامه طراحی سازه‌های فولادی SAPSTL	ویلسون - حبیب‌الله / مختارزاده
پروژه‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها STAAD-III جلد۱: سازه‌های فلزی - پی	خوشنود، حمیدرضا

نام کتاب	مؤلف / مترجم
مقدمه‌ای بر انتقال گرما- ویرایش۴، رنگی	اینکروپرا - دویت / پوستی، بهرام
انتقال گرما- ویرایش۸	هولمن / حقیقی‌تاجور، حسن
راهنمای مسائل انتقال گرما- ویرایش۸	هولمن / سمیع‌پور، محمد
اصول ترمودینامیک- ویرایش۶، رنگی	ون‌وایلن- زونتاگ - بورگناک / پوستی، بهرام
راهنمای مسائل اصول ترمودینامیک ون‌وایلن جلد۲- ویرایش۶	پوستی - میلانی - زمانی آقایی
راهنمای مسائل اصول ترمودینامیک ون‌وایلن جلد۱- ویرایش۶	دانشور-جهانی- پوستی
پدیده‌های انتقال	برد-استوارت-لایت‌فود / افضلی، محمدرضا
راهنمای مسائل پدیده‌های انتقال؛ بخش اول: انتقال اندازهٔ حرکت	برد-استوارت-لایت‌فود / داوودی‌نژاد و ...
خودآموز CATIA : آموزش دو محیط تخصصی قالب‌سازی و ورق‌کاری با CD	بیناء، مجتبی
مدل سازی با CATIA در محیط Part Design (طراحی ۱۵ قطعهٔ صنعتی) با DVD	بیناء - مدنی‌نسب
شکل دادن فلزات: خلاصهٔ دروس و حل تشریحی تست‌های ارشد و مسائل کتاب کَدِل و ...	سیدین، شهرام
طراحی سیستم‌های هیدرولیک	مشکین‌فام، فرشید
دروس و پاسخ آزمون‌های ارشد مکانیک [انتقال حرارت، ترمودینامیک، سیالات]	بیات- ذاتی- آخوندپور و ...
دروس و پاسخ آزمون‌های ارشد مکانیک [استاتیک، مقاومت مصالح، طراحی اجزا]	بیات- ذاتی- آخوندپور و ...
دروس و پاسخ آزمون‌های ارشد مکانیک [دینامیک، دینامیک ماشین، ارتعاشات، کنترل]	بیات- ذاتی- آخوندپور و ...
مقدمه‌ای بر نانو مکانیک- با CD	رحمانی- قربان‌پور- سلطانی
مقدمه‌ای بر نانوکامپوزیت‌ها و نانولوله‌ها- با CD	رحمانی- قربان‌پور- راستگو
مقدمه‌ای بر نانوفناوری- با CD	رحمانی- قربان‌پور- شکروی
سنتز و به‌کارگیری نانوذرات روی بسترهای پلیمری- با CD	دادور- اورومئی- حسن‌زاده
شنوایی‌سنجی صنعتی	رهبر، نریمان
تحلیل و تفسیر ارتعاشات ماشین‌آلات دوار	رضایی - سعیدی
شیمی‌فیزیک آلی	کاکانژادی‌فرد، علی
طراحی راکتورهای شیمیایی	فوگلر، اسکات / کاظمینی - حسامی
ترمودینامیک مهندسی شیمی - ویرایش ۵	اسمیت- ون‌نس / رحمتی، محمدمهدی
عملیات واحد مهندسی شیمی ج۱- ویرایش۶	مک‌کیب - اسمیت- هریوت / پوستی، بهرام
عملیات واحد مهندسی شیمی ج۲- ویرایش۶	مک‌کیب - اسمیت- هریوت / پوستی، بهرام
تشریح مسائل عملیات واحد مهندسی شیمی [بخش انتقال جرم و عملیات واحد]	مک‌کیب و .... / داوودی‌نژاد - یوسف‌نژاد
تشریح مسائل عملیات واحد مهندسی شیمی [بخش مکانیک سیالات]	مک‌کیب و .... / داوودی‌نژاد - یوسف‌نژاد
آزمون‌های کارشناسی ارشد شیمی- ۸۴ تا ۸۶	سیدحجازی - علیپور و ...
خلاصه دروس و پاسخ آزمون‌های کارشناسی ارشد شیمی آلی- ۶۷ تا ۸۷	جاویدی صباغیان، علی
آزمون‌های کارشناسی ارشد شیمی (شیمی‌فیزیک و شیمی‌تجزیه)	معصومی- امینی
راهنمای مسائل نظریهٔ اساسی مدارها و شبکه‌ها	کو- دسور / کامل، حمید
راهنمای حل مسائل مدارهای الکتریکی نیلسون- فصل‌های ۱ تا ۱۴	نیلسون / میرزایی، محمدتقی
مبانی کاربردی تلویزیون و ویدئو	گروب، برنارد / شریف‌مقدم
۲۰۰۰ مسئلهٔ حل شدهٔ الکترونیک [به زبان اصلی] سری شاوم	Cathey کتی

نام کتاب	مؤلف / مترجم
ریاضیات پایه	وهابی، حمیدرضا
راهنمای مسائل حساب دیفرانسیل توماس- ج۲	زاهدی‌سرشت- ابراهیمی‌بقا
مسائل و حل مسائل جبرخطی	هافمن / خسروانی مقدم
مفاهیم، نکات درسی و حل مسائل پژوهش عملیاتی ویژهٔ آزمون‌های ارشد - ویرایش ۳	مهرگان، محمدرضا
پژوهش عملیاتی-ویرایش۴، رنگی	مهرگان، محمدرضا
پژوهش عملیاتی پیشرفته	مهرگان، محمدرضا
برنامه‌ریزی خطی (فصل‌های ۱ تا ۶)	بازارا، مختار / خُرم، اسماعیل
برنامه‌ریزی خطی و جریان‌های شبکه‌ای (فصل‌های ۷ تا ۱۲)	بازارا، مختار / خُرم، اسماعیل
راهنمای مسائل برنامه‌ریزی خطی بازارا	زاهدی‌سرشت- ابراهیمی‌بقا
راهنمای کاربران GAMS به‌همراه مدل‌های DEA	طلوع-جوشقانی
آماروا‌حتمالِ مهندسی و علوم	والپول- مایرز/ خرم، اسماعیل
آمار استنباطی در علوم رفتاری	خردمندنیا، منوچهر
آنالیز حقیقی۱ (مفاهیم، نکات درسی و حل مسائل کتاب آنالیز حقیقی رودین)	فروتن، محمدرضا
آزمون‌های کارشناسی ارشد ریاضی- ۸۴ تا۸۶	بهرامی بیدکلمه و ....
آزمون کارشناسی ارشد ریاضی- ۷۴ تا ۸۳	بهرامی بیدکلمه - حسن‌باروق
ریاضیات و آمار: پاسخ آزمون‌های ارشد اقتصاد، مدیریت و حسابداری-۸۷ و ۸۸	حسین‌پناهی، کاوه
۲۰۰۰ مسئله حل‌شدهٔ ریاضیات گسسته	لیپ شوتز- لیبسون / ابراهیم‌زاده قلزم، حسین
روش‌های فوریه برای مهندسان و محققان	کارت رایت / جهانشاهی- خاتمی
فیزیک الکتریسیته و مغناطیس	راشدمحصل- معینی
راهنمای مسائل فیزیک الکتریسیته و مغناطیس راشدمحصل	حسنی - بنی‌شریف و ...
آشنایی با مکانیک کوانتومی- ویرایش۲	گریفیث، دیوید / مشفق - واشهری و ...
فیزیک پایه۲ : خلاصهٔ دروس و تشریح مسائل و آزمون‌های دانشگاه پیام نور - بنسون	محمدحسینی، بابک
اصطلاحات تخصصی مدیریت - انگلیسی به انگلیسی	وحدتی، حجت
شبیه‌سازی با VISUAL SLAM و AweSim	پریتسکر- اُرایلی / آزاده و ...
ترفندهای EXCEL	هاولی / حسنی نژاد، کیانوش
برنامه نویسی با C [درمحیط‌های توربو C و توربو ++C]	گاتفرید، بایرن اس. / ابراهیم‌زاده قلزم، حسین
مدیریت تولید	کُبو، بولنت / اسماعیلی، محمودرضا
تشریح مسائل آزمونهای کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی- اجتماعی ۸۲ تا ۸۵	رستمی‌بشمنی - ایزدبخش و ...
تشریح مسائل آزمون‌های کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- ۷۸ تا۸۱	رستمی‌بشمنی - ایزدبخش
تحلیل مسائل آزمون‌های ارشد مجموعه علوم اقتصادی ۷۸ تا ۸۷	رنجبران - غیاثوند
آزمون‌های کارشناسی ارشد زمین‌شناسی- ۷۴ تا ۸۹	دولتی - باقرزاده
TTL Cookbook	Lancaster