

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت مسکن و شهرسازی

بررسی و ارزیابی چند سیستم مطرح
در پروژه‌های انبوه‌سازی ساختمان‌های مسکونی

سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی (3D)

Lightweight Three Dimensional Sandwich Panels

دکتر بهروز کاری، دکتر رسول احمدی

و همکاران

سیستم صفحات ساندویچی با بتن پاششی (3D)

Lightweight Three Dimensional Sandwich Panels

تدوین: دکتر بهروز کاری، دکتر رسول احمدی

با همکاری:

مهندس مجتبی طیبات،

مهندس سعید بختیاری،

مهندس امیر مازیار رئیس قاسمی،

مهندس محمد جعفر هدایتی،

مهندس فرهنگ طهماسبی،

مهندس مسعود قاسم زاده،

مهندس آزاده رئیسیان.

پیش‌گفتار

حرکت به سوی صنعتی شدن، به پیشرفت هم‌پای تمام صنایع نیاز دارد. در این میان، صنعت ساختمان، به عنوان یک صنعت کهن، که هر سال مبالغ هنگفتی از سرمایه‌های ملی در آن هزینه می‌شود و در مقایسه با دیگر صنایع پیشرفت قابل ملاحظه‌ای نداشته است، نیازمند توجه ویژه است.

بیش از ۳۰ سال است که در کشور برنامه‌هایی برای صنعتی شدن ساختمان‌سازی تعریف شده، اما موفقیت چندانی حاصل نشده است. دلیل آن را باید در این موضوع جستجو کرد که با وارد کردن چند کارخانه تولیدی که از نظر فناوری تا حد زیادی وابسته به کشورهای صنعتی است، و مقررات و دانش فنی متناسب با آن در کشور وجود ندارد، به هیچ وجه نمی‌توان به اهداف صنعتی شدن دست یافت. صنعتی شدن باید با بررسی دقیق سیستم‌ها و فناوری‌های مطرح روز دنیا و امکان‌سنجی بومی‌سازی آن و حصول اطمینان از قابلیت انطباق آن با الگوهای ساخت و ساز متداول در کشور آغاز شود و با فرهنگ‌سازی و تقویت صنایع مرتبط و ارائه آموزش‌های لازم، در جهت تضمین کیفیت تولید قطعات و اجرای سیستم‌های مختلف، گسترش یابد.

تجربه جهانی نشان داده است در زمان‌هایی که نیاز به ساخت تعداد زیادی ساختمان و مسکن وجود دارد، تنها انبوه‌سازی به شیوه‌های صنعتی با هدف‌گذاری، برنامه‌ریزی، مدیریت و رشد هماهنگ صنایع وابسته میسر است. صنعتی شدن فرآیندی نسبتاً زمان‌بر است که نیاز به تفکر مهندسی - فرهنگی درازمدت دارد و سیاستی است که همه باید برای گسترش آن همواره تلاش کنند.

برای صنعتی کردن ساختمان‌سازی در کشور، تحقیق، ارزیابی و امکان‌سنجی در خصوص بومی‌سازی سیستم‌های مطرح جهانی اولین گام است. به این منظور، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تعدادی از سیستم‌های مطرح تولید صنعتی ساختمان را شناسایی و مشخصات فنی آن‌ها را بررسی کرده است. مشخصات بررسی‌شده این سیستم‌ها، شامل سازه، ایمنی در برابر آتش، عملکرد حرارتی، آکوستیک، دوام، مصالح تشکیل دهنده و نقاط قوت و ضعف آن‌هاست.

به منظور آشنایی و بهره‌برداری دست‌اندرکاران صنعت ساختمان کشور و جلوگیری از استفاده ناآگاهانه از این سیستم‌ها در ساخت ساختمان، که می‌تواند مشکلات زیادی از نظر ایمنی و یا آسایش ساکنان آن ایجاد کند، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن نتایج بررسی‌ها و ارزیابی‌های صورت گرفته را، با ملاک قرار دادن مقررات و الزامات فنی ساختمان، در قالب این نشریات ارائه می‌کند.

امید است که مجموعه این نشریات به آشنایی بیشتر و بهتر دست‌اندرکاران ساختمان با سیستم‌های ساختمانی مختلف کمک کند، زمینه‌های رشد و توسعه کاربرد سیستم‌های نوین را در قالبی منطقی و فنی فراهم سازد، و بدین طریق در جهت توسعه کمی و کیفی ساخت و ساز در کشور مؤثر باشد.

دکتر سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: معرفی سیستم
۷	فصل دوم: معرفی اجزای تشکیل دهنده
۷	۱-۲ شالوده
۸	۲-۲ پانلهای دیوار و سقف
۱۰	۳-۲ اتصالات
۱۰	۱-۳-۲ اتصال کف به پانلها
۱۱	۲-۳-۲ اتصال پانل به سازه
۱۲	۳-۳-۲ اتصال پانلهای مجاور به یکدیگر
۱۴	۴-۳-۲ اتصال دو دیوار کناری
۱۵	۵-۳-۲ اتصال سه دیوار مجاور
۱۷	۶-۳-۲ اتصال چهار دیوار عمود برهم
۱۷	۷-۳-۲ اتصال دیوار و سقف
۱۸	۴-۲ عایقها
۱۹	۵-۲ نما و نازککاری
۲۱	فصل سوم: ویژگیهای فنی مصالح مورد استفاده
۲۱	۱-۳ مشخصات فنی و آزمایشهای مصالح بتن
۲۲	۱-۱-۳ سیمان
۲۲	۲-۱-۳ سنگدانهها
۲۳	۳-۱-۳ آب
۲۳	۴-۱-۳ مواد افزودنی
۲۳	۵-۱-۳ فولاد
۲۴	۱-۵-۱-۳ انواع فولاد
۲۴	۲-۵-۱-۳ مشخصات مکانیکی فولاد
۲۴	۳-۵-۱-۳ جوش پذیری فولاد
۲۴	۴-۵-۱-۳ مشخصات شبکه فولادی



۲۵	۳-۱-۵-۵ انبارکردن، نگهداری و کنترل فولاد
۲۵	۳-۱-۵-۶ آزمایش‌های فولاد
۲۵	۳-۲ پلی‌استایرن منبسط
۲۶	۳-۳ مشخصات فنی بتن
۲۶	۳-۳-۱ آزمایش‌های بتن پاشیده
۲۷	۳-۳-۲ طرح اختلاط
۲۷	۳-۳-۳ بتن و دوام آن
۲۸	۳-۳-۴ کنترل و بازرسی مصالح بتن
۲۸	۳-۴ دوام صفحات ساندویچی (3D) در برابر شرایط جوی
۳۱	فصل چهارم: روش‌های اجرا
۳۱	۴-۱ اجرای شالوده و نصب پانل‌های دیوار
۳۳	۴-۲ اجرای پانل‌های سقف
۳۶	۴-۳ اجرای بازشوها
۳۸	۴-۴ تعبیه و اجرای تاسیسات مکانیکی و الکتریکی
۴۰	۴-۵ بتن‌پاشی
۴۳	۴-۶ عمل آوری
۴۳	۴-۷ حمل و نگهداری پانل‌ها
۴۵	فصل پنجم: بررسی رفتار سازه‌ای سیستم
۴۵	۵-۱ تحقیقات و بررسی‌های انجام‌شده
۴۵	۵-۱-۱ بررسی رفتار پانل ساندویچی تحت اثر بار متمرکز عمود بر صفحه [۵]
۴۹	۵-۱-۲ بررسی رفتار ساختمان در مقیاس کوچک
۵۱	۵-۲ مبانی و روش‌های تحلیل و طراحی ساختمان
۵۱	۵-۲-۱ محدوده کاربرد
۵۱	۵-۲-۲ بارگذاری
۵۱	۵-۲-۳ تحلیل سازه
۵۱	۵-۲-۴ طراحی سازه
۵۱	۵-۲-۴-۱ مبانی طراحی سازه
۵۱	۵-۲-۴-۲ مقاومت خمشی
۵۲	۵-۲-۴-۳ مقاومت برشی
۵۲	۵-۲-۴-۴ مقاومت خمشی-محوری
۵۳	۵-۲-۴-۵ جزییات فولادگذاری، جای‌گذاری مفتول‌ها و پوشش بتن



فصل ششم: بررسی رفتار سیستم در برابر آتش.....	۵۵
۱-۶ کلیات.....	۵۵
۲-۶ مشخصات سیستم 3D در برابر آتش.....	۵۵
۱-۲-۶ واکنش مصالح سازنده در برابر آتش.....	۵۵
۱-۱-۲-۶ رفتار پلی‌استایرن منبسط‌شده در برابر آتش.....	۵۶
۲-۱-۲-۶ ضوابط ایمنی در برابر آتش برای پلی‌استایرن منبسط‌شده.....	۵۶
۲-۲-۶ مقاومت در برابر آتش.....	۵۷
۱-۲-۲-۶ ضوابط مقاومت در برابر آتش.....	۵۷
فصل هفتم: بررسی عملکرد حرارتی سیستم.....	۶۱
۱-۷ ساختار کلی و مشخصات فنی سیستم دیوار.....	۶۱
۲-۷ پژوهش‌ها و بررسی‌های انجام شده.....	۶۲
۱-۲-۷ تأثیر عوامل مختلف بر مقاومت حرارتی دیوار.....	۶۴
۱-۱-۲-۷ تأثیر قطر میل‌گردهای فولادی.....	۶۴
۲-۱-۲-۷ تأثیر ضخامت عایق حرارتی.....	۶۵
۳-۱-۲-۷ تأثیر مشخصات حرارتی عایق.....	۶۶
۲-۲-۷ تحلیل نتایج به دست آمده.....	۶۷
۳-۷ نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات.....	۶۸
فصل هشتم: بررسی عملکرد آکوستیکی سیستم.....	۶۹
فصل نهم: بررسی نقاط قوت و ضعف سیستم.....	۷۱
۱-۹ نقاط ضعف.....	۷۱
۲-۹ نقاط قوت.....	۷۲
فهرست اشکال.....	۷۵
فهرست جداول.....	۷۹
مراجع.....	۸۱

فصل اول

معرفی سیستم

به‌کارگیری بتن، به‌عنوان یک ماده اصلی ساختمانی، نیاز به قالب‌بندی، داربست و اختصاص زمان برای گیرش، عمل‌آوری و مقاوم شدن آن دارد. از این‌رو، از مدت‌ها قبل، ساخت قطعات بتنی پیش‌ساخته مورد توجه قرار گرفت و پیشرفت‌های چشم‌گیری به لحاظ ارائه انواع سیستم‌های پیش‌ساخته حاصل شد. ایراد اصلی استفاده از قطعات پیش‌ساخته بتن مسلح، در درجه اول، نحوه اتصال قطعات است که یک مشکل سازه‌ای است، و در درجه دوم، حمل قطعات از کارخانه به محل نصب است که یک مشکل اقتصادی محسوب می‌شود. مشکل دوم از آن‌جا ناشی می‌شود که قطعات بزرگ معمولاً سنگین و حجیم هستند، لذا هزینه و زمان حمل آن‌ها قابل ملاحظه است. به‌همین دلیل، سعی شده است تا حجم یا وزن و یا زمان حمل قطعات تا حد امکان کاهش یابد.

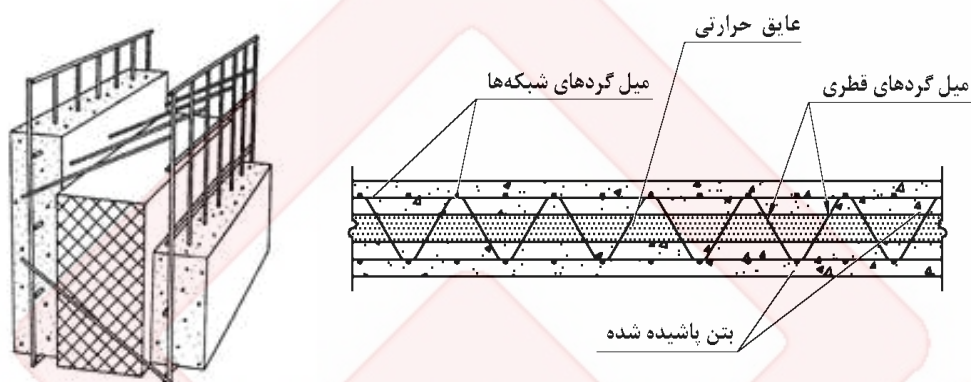
سیستم ساختمانی، که در این‌جا مورد بررسی قرار می‌گیرد، در دهه هشتاد میلادی تحت عنوان «پانل‌های ساندویچی^۱» به روش بتن‌پاشی^۲ (در پای کار) به بازار جهانی معرفی شد و در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفت. لازم به توضیح است اولین نسل این سیستم در سال‌های قبل از انقلاب اسلامی در ایران تولید شد و مورد استفاده قرار گرفت. کشورهای ارائه‌کننده این سیستم در ابتدا اتریش و ایتالیا بودند. لازم به توضیح است این سیستم، با توجه به ضوابط حاکم در کشورهای نام‌برده، کاربرد چندانی ندارد و محدود به ساخت و ساز محدود ویلایی در خارج از شهرها می‌شود. در سال‌های بعد، ساخت و فروش آن در کشورهایی مانند چین، افغانستان، عراق، ترکیه، برزیل، آرژانتین، کلمبیا و ایران گسترش یافت.

در سیستم پانل ساندویچی، صفحات متشکل از پانل عایق حرارتی (پلی‌استایرن منبسط یا پلی‌یورتان)، همراه با دو شبکه فلزی در طرفین عایق، که به‌وسیله مفتول‌های فولادی مورب به یکدیگر متصل شده‌اند، یک شبکه فلزی سه‌بعدی را تشکیل می‌دهد (شکل ۱).

این قطعات پس از انتقال به محل احداث ساختمان، به یکدیگر متصل و از دو طرف به آن‌ها بتن پاشیده می‌شود. از تلفیق پانل و بتن، سازه ساختمان حاصل می‌شود (شکل ۲).

1. 3D Sandwich Panel

2. Shotcrete



شکل ۱ مقطع و نمای سه‌بعدی دیوار پانل ساندویچی با اجرای درجا



شکل ۲ ساختمان در حال ساخت با پانل‌های نیمه‌پیش‌ساخته سه‌بعدی

لازم به توضیح است که در اولین نسل این ساندویچ پانل‌ها، به جای عایق حرارتی پلی‌استایرن منبسط از پلی‌یورتان منبسط استفاده و عایق حرارتی پس از ساخته شدن شبکه خرپایی بر روی یک میز، به داخل قالب ماسه‌ای تزریق می‌شد.

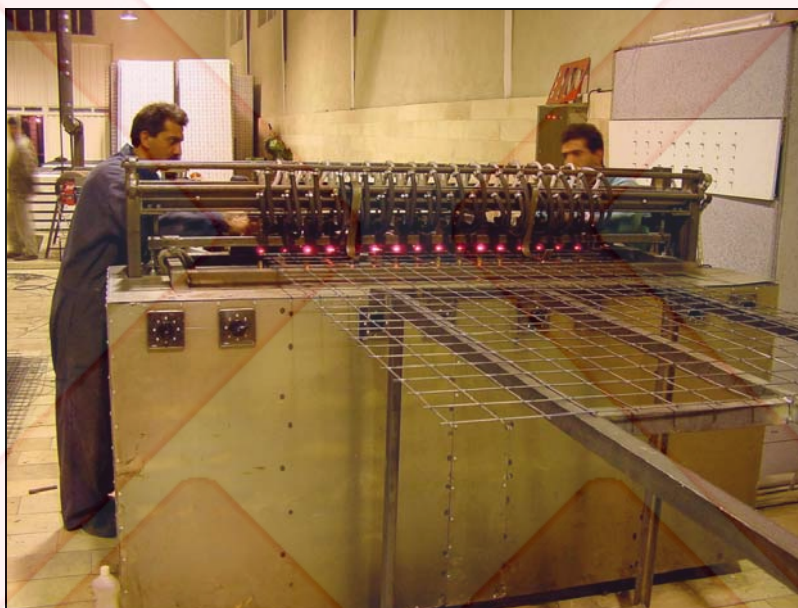
سیستم ساختمانی 3D از پانل‌های دیواری و سقفی تشکیل می‌شود. پانل‌های دیواری، علاوه بر عملکرد جداکننده، نقش سازه‌ای نیز دارند، و باید قادر به تحمل بارهای ثقیل و اثر بارهای جانبی نیز باشند. به عبارت دیگر، هیچ‌گونه عضو باربر خطی مانند ستون در این سیستم سازه‌ای وجود ندارد، و باربری توسط عناصر صفحه‌ای انجام می‌شود. پانل‌های سقفی نیز وظیفه تحمل بارهای اعمال‌شده و انتقال آن را به پانل‌های دیواری،

به صورت مستقیم، و بدون وجود المان خطی، مانند تیر، برعهده دارند. ضخامت پانل‌های دیواری و سقفی متفاوت است و در معرفی اجزای سیستم به آن پرداخته خواهد شد.

میل‌گرد (مفتول) مورد استفاده با قطرهای مختلف، $2/5$ تا 5 میلی‌متر، و شبکه‌ها با چشمه‌های متفاوت، 50×50 تا 150×150 میلی‌متر، توسط تولیدکنندگان مختلف ساخته می‌شود. فاصله دوشبکه موازی نیز بسته به نوع مصرف، میزان بار وارد شده و ضخامت عایق حرارتی از 70 تا نزدیک 150 میلی‌متر تغییر می‌کند.

طبق اطلاعات تولیدکنندگان معتبر خارجی، ضخامت‌های استاندارد لایه پلی‌استایرن میانی 40 ، 50 ، 80 و 100 میلی‌متر و ضخامت لایه بتن پاشیدنی در دو طرف حداقل 45 میلی‌متر است. همچنین ابعاد استاندارد شبکه فولادی 50×50 میلی‌متر و قطر میل‌گرد آن $2/8$ میلی‌متر ذکر شده است (البته امکان تولید شبکه‌های با ابعاد بزرگتر نیز وجود دارد).

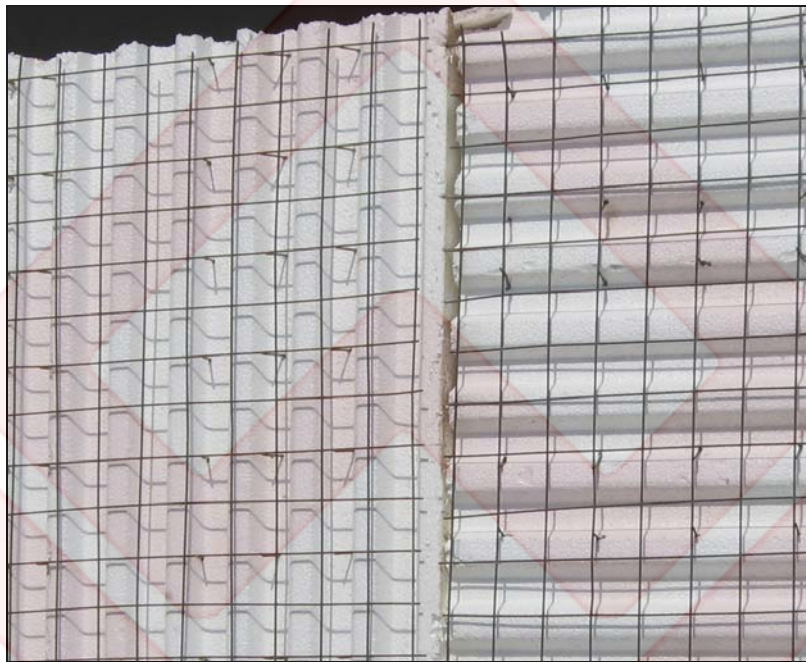
صفحات سه بعدی 3D به عنوان دیوار باربر داخلی و خارجی و نیز عناصر غیر باربر و جدا کننده مطرح هستند. ساخت شبکه‌های فلزی و دیگر بخش‌های پانل باید ترجیحاً به صورت اتوماتیک انجام شود (شکل ۳).



شکل ۳ ساخت شبکه فولادی با جوش نقطه‌ای

در تولیدات متداول در ایران، لایه عایق حرارتی از ورق‌های پلی‌استایرن با ضخامت‌های متفاوت تشکیل می‌شود. در ضمن، در برخی محصولات، عایق حرارتی در دو طرف رویه موج‌دار است (شکل ۴).

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، قابلیت احداث ساختمان تا دو طبقه، با استفاده از قطعات متداول این سیستم، و با رعایت اصولی که در ادامه مطرح شده است وجود دارد. برای طبقات بیشتر، این قطعات صرفاً می‌توانند نقش جداکننده عمودی داشته باشند، و نقش سازه‌ای نخواهند داشت (شکل ۵). در نتیجه، لازم است با استفاده از اسکلت‌های بتنی و فولادی، ایستایی بخش‌های مختلف ساختمان تأمین شود.

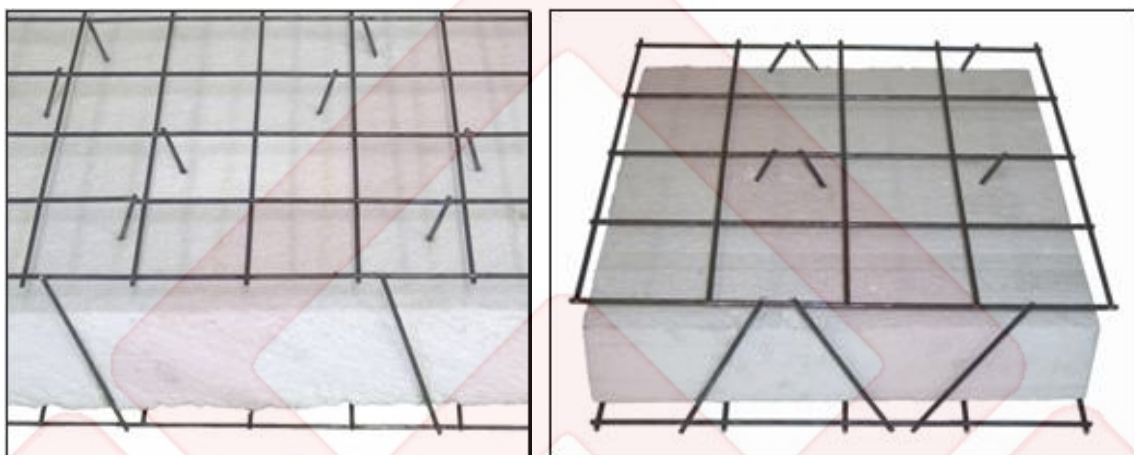


شکل ۴ پانل‌های 3D با عایق‌های حرارتی موج‌دار



شکل ۵ نمونه دیوار خارجی ساختمان در حال ساخت با پانل‌های نیمه‌پیش‌ساخته سه‌بعدی

ابعاد قطعات تولیدشده متفاوت است، اما معمولاً به ابعاد 3×1 متر تولید می‌شوند. این قطعات بسته به میزان بار پیش‌بینی شده و نحوه استفاده، در انواع متفاوتی توسط کارخانه‌های مختلف تولید می‌شوند. تفاوت مشخصات قطعات تولیدی، غالباً در نوع و قطر فولاد مصرفی برای شبکه‌ها، اندازه چشمه‌های شبکه، ضخامت دیوار و نحوه قرارگیری و اتصال میل‌گردهای مورب است (شکل ۶).



شکل ۶ انواع مختلف قرارگیری میل‌گردهای مورب

سقف‌ها را می‌توان از پانل‌های این سیستم و با استفاده از قطعات خاص سقفی اجرا کرد. لازم به توضیح است اجرای سقف با این سیستم با پیچیدگی‌هایی از جمله سختی پاشیدن بتن به سطح زیرین، زیاد بودن ضایعات بتن و خیز سقف هنگام اجرا، روبه‌رو است. به همین علت، در بسیاری موارد، سقف‌های ساختمان، به روش‌های دیگری، مانند تیرچه و بلوک، اجرا می‌شود. در این سیستم‌ها کلاف‌بندی مناسب در انتهای فوقانی دیوارها ضروری است.



شکل ۷ کلاف‌بندی دیوار و سقف پانل سه‌بعدی

بتن مورد استفاده برای پاشیدن در طرفین قطعات، باید از نوع ریزدانه و با روانی در حد مجاز باشد، تا علاوه بر امکان پاشیده‌شدن به وسیله پمپ، مقاومت لازم را نیز داشته باشد. ضخامت بتن پاشیده‌شده در شرایط متعارف، در هر طرف دیوار در حدود پنج سانتی‌متر است که حدود دو و نیم سانتی‌متر پوشش بر روی شبکه فولادی ایجاد می‌کند. در بخش ۳ اطلاعات فنی تکمیلی در این زمینه ارائه شده‌است.

فصل دوم

معرفی اجزای تشکیل دهنده

۱-۲ شالوده

شالوده ساختمان را می‌توان، بسته به شرایط محل اجرا، به‌ویژه از نظر مقاومت خاک، به‌صورت نواری یا گسترده اجرا کرد. نکته قابل ذکر در اجرای شالوده، تمهیدات لازم برای اتصال پانل‌های دیواری به شالوده است، که به‌طور کلی به دو روش انجام می‌شود:

- روش اول که بسیار معمول است، استفاده از میل‌گردهای انتظار در داخل شالوده است، که به پانل دیواری متصل می‌شود (شکل ۸).



شکل ۸ اتصال به فونداسیون با میل‌گرد انتظار

- در روش دوم، در محل نصب پانل‌های دیواری به شالوده، غلافی توخالی در داخل شالوده ایجاد می‌شود و بتن‌ریزی صورت می‌گیرد. سپس پانل‌های دیواری در محل تعیین‌شده قرار می‌گیرد و فضای خالی غلاف با چسب اپوکسی پر می‌شود (شکل ۹). این روش پرهزینه است و در ضمن، یکپارچگی سازه‌ای ساختمان مانند روش اول تأمین نمی‌شود.



شکل ۹ اتصال به فونداسیون با چسب اپوکسی در فضای خالی غلاف

۲-۲ پانل‌های دیوار و سقف

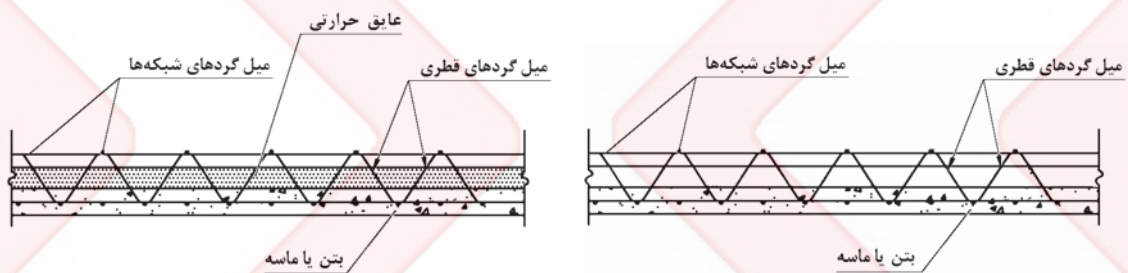
پانل‌های ساندویچی معمولاً به صورت قطعاتی با عرض یک متر و طول سه متر در کارخانه تولید و در محل کارگاه، در موقعیت خود قرار می‌گیرد و به یکدیگر متصل می‌شود. اجزای پانلی شامل یک شبکه خرپایی فضایی از میل‌گردهای ساده به قطر کوچک است که با جوش به یکدیگر اتصال داده می‌شود. مفتول‌ها یا میل‌گردهای به‌کار برده شده در شبکه پانل‌ها، توسط کشش سرد، به قطرهای $2/5$ تا $5/0$ میلی‌متر، توسط دستگاه کشش، تهیه شده و عمل تنش‌زدایی، برای دستیابی به شکل‌پذیری مورد نیاز، بر روی میل‌گردها انجام می‌شود. چشمه شبکه پانل، اکثراً به ابعاد 5×5 ، 8×8 ، 10×10 و 15×15 سانتی‌متر است که از قرارگیری میل‌گردهای سردکشیده شده، به صورت عمود بر هم، و اتصال با استفاده از دستگاه جوش نقطه‌ای اتوماتیک تشکیل می‌شود (شکل ۱۰). میل‌گردهای مورب، که معمولاً به قطرهای ۳ یا ۴ میلی‌متر است، و دو شبکه پانل را به هم متصل می‌کند، به وسیله ماشین خودکار و یا انبرک دستی به شبکه جوش می‌شود. قطعات پانل به طول مورد نیاز توسط دستگاه بریده می‌شود.



شکل ۱۰ اجرای اتصال میل‌گردهای مورب با جوش نقطه‌ای دستی

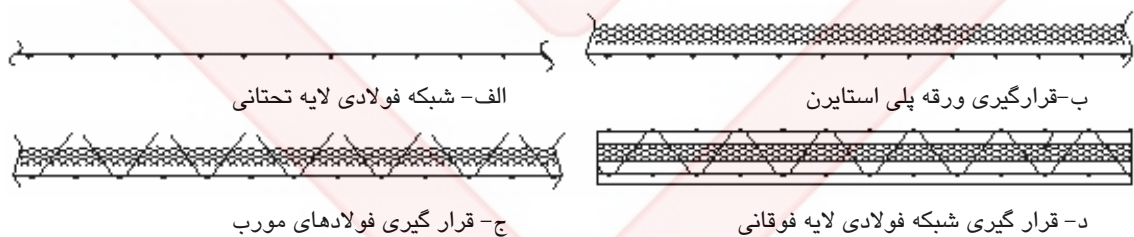


ورق عایق حرارتی، معمولاً از جنس پلی استایرن منبسط، به ضخامت حداقل ۴ سانتی‌متر، در بین دو شبکه جوش‌شده فولادی قرار می‌گیرد، و علاوه بر نقش قالب‌بندی بتن، وظیفه کاهش انتقال حرارت را نیز برعهده دارد. در دو سمت عایق حرارتی، بتن ریزدانه‌ای، به ضخامت ۴ الی ۷ سانتی‌متر با روش "بتن‌پاشی" اجرا می‌شود. میل‌گردهای مورب شبکه خرپایی که از داخل ورق پلی‌استایرن عبور می‌کند، دو شبکه فولادی را در جهت طولی پانل به یکدیگر متصل می‌کند و تشکیل خرپا می‌دهد. این پانل‌ها با ضخامت‌های مختلف برای تحمل برش و خمش در سقف‌ها و برای تحمل بار محوری و برش عرضی در صفحه پانل، در دیوارها به‌کار برده می‌شود. مراحل تولید یک پانل و نوع لایه آن، در نسل‌های اولیه این پانل‌ها، با آنچه که امروزه تولید می‌شود، متفاوت بود. در پانل‌های اولیه، شبکه خرپایی فضایی، شامل دو شبکه فولادی جوش شده بود، که فولادهای مورب به وسیله جوش دو شبکه را به یکدیگر متصل می‌کرد. پس از ساخت شبکه‌های فولادی و اتصال آنها با استفاده از میل‌گردهای اریب، عایق بین دو شبکه، از جنس پلی‌یورتان، اضافه می‌شد. نحوه کار به این صورت بود که لایه تحتانی شبکه خرپایی در داخل ماسه قرار داده می‌شد (یا اینکه بتن‌ریزی لایه زیرین انجام می‌شد) و سپس پلی‌یورتان بروی ماسه ریخته می‌شد تا ضخامت مورد نظر، به‌دست آید. پس از گیرش و سخت شدن پلی‌یورتان، پانل به‌دست آمده، کامل و آماده نصب در محل پروژه بود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱ مراحل اجرای پانل در روش قدیمی (با عایق پلی‌یورتان)

در پانل‌های جدید، ابتدا شبکه جوش شده لایه تحتانی، به‌وسیله جوش نقطه‌ای اتوماتیک ساخته شده و سپس تخته پلی‌استایرن آماده به عرض یک متر و طول سه متر، بروی آن قرار داده می‌شود. مفتول‌های مورب، توسط دستگاهی از داخل تخته پلی‌استایرن عبور داده شده و یک انتهای آنها، به شبکه لایه تحتانی جوش می‌شود. سپس شبکه جوش شده لایه فوقانی، بر روی مجموعه قرار داده شده و به انتهای دیگر مفتول‌های مورب جوش می‌شود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲ مراحل اجرای پانل در روش جدید



علت جایگزینی لایه پلی یورتان با پلی استایرن منبسط، ارزان تر بودن و تولید آسان تر پلی استایرن است. علاوه بر آن، سطوح عایق حرارتی هموارتر و چگالی آن یکنواخت تر است.

۳-۲ اتصالات

۱-۳-۲ اتصال کف به پانل‌ها

برای اتصال کف به پانل‌ها، از میل‌گردهای انتظار در فواصل معین استفاده می‌شود (شکل ۱۳). این میل‌گردها در فضای بین پلی استایرن و شبکه فلزی پانل قرار می‌گیرد و با سیم آرماتوربندی به شبکه پانل مهار می‌شود و سپس مجموعه آن‌ها بتن‌پاشی می‌شود.



شکل ۱۳ اتصال کف به پانل‌ها توسط میل‌گردهای انتظار در فضای بین پلی استایرن و شبکه فلزی پانل

با کندن (یا زدودن) بخشی از ضخامت پلی استایرن پشت میل‌گرد انتظار، فضای مورد نیاز برای ورود بیشتر بتن به پشت میل‌گرد و درگیری میل‌گردهای ریشه با بتن تأمین می‌شود، و اتصال مقاوم‌تری به دست می‌آید (شکل ۱۴).

نوع دیگر اتصال پانل‌ها به شالوده، استفاده از چسب اپوکسی است که نسبت به حالت استفاده از میل‌گرد انتظار، دقت و ظرافت اجرای بیشتری را می‌طلبد (شکل ۹).



شکل ۱۴ درگیری و اتصال مقاوم میل‌گردهای ریشه با بتن

۲-۳-۲ اتصال پانل به سازه

در حالتی که دیوار 3D نقش سازه‌ای و باربری نداشته باشد، لازم است از اتصالاتی مانند میل‌گرد جوش‌شده به اسکلت و یا میل‌گرد انتظار از اسکلت، که در فضای بین شبکه فلزی و عایق پانل قرار می‌گیرد، استفاده شود (شکل ۱۵ و شکل ۱۶). میل‌گردهای مذکور، به وسیله سیم آرماتوربند به شبکه پانل ساندویچی مهار می‌شوند و روی مجموعه، بتن‌پاشی می‌شود.

این روش اجرا، که بسیار متداول است، باعث درگیری کامل دیوار و سازه می‌شود. با توجه به این نکته که طبق بخش ب الزامات طراحی و اجرای این سیستم، پانل‌های 3D نباید در سختی سازه مشارکت داشته باشند، ضروری است درز انقطاعی بین دیوار 3D و تیرها و ستون‌ها در نظر گرفته شود و با یک ماده ارتجاعی پر شود. در ضمن، اجرا باید به گونه‌ای صورت گیرد که انقطاع در لایه بتنی نیز وجود داشته باشد. این امر باعث می‌شود یکپارچگی لایه بتن مسلح خارجی از بین برود و در مدت زمان کوتاهی ترک‌هایی در نمای خارجی به وجود آید.



شکل ۱۵ مهار شبکه فلزی پانل 3D با سیم آرماتوربندی به میل‌گردهای انتظار



شکل ۱۶ میل‌گردهای انتظار برای اتصال پانل به سازه فلزی ساختمان

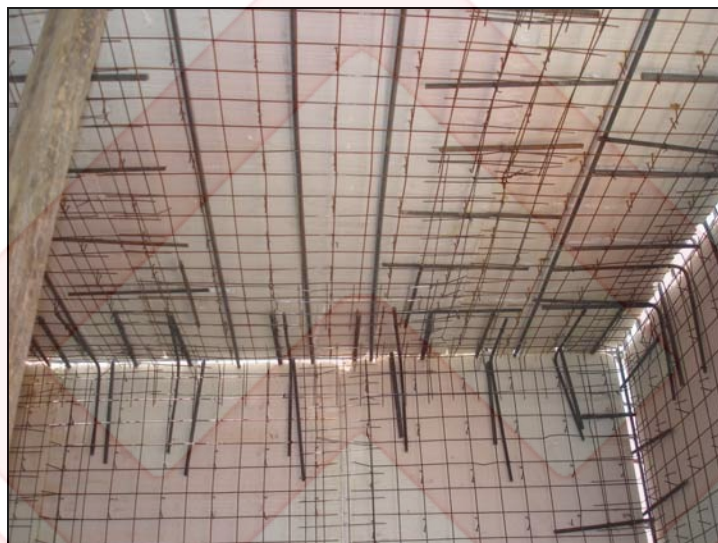
۲-۳-۳ اتصال پانل‌های مجاور به یکدیگر

دیوار یا سقف هر فضا، از مجموعه پانلهایی تشکیل شده است که لازم است به نحوی به یکدیگر متصل شوند. در این موارد، معمولاً از شبکه میل‌گرد در محل درز استفاده شده و دو طرف آن به پانل‌های مجاور متصل می‌شوند (شکل ۱۷).



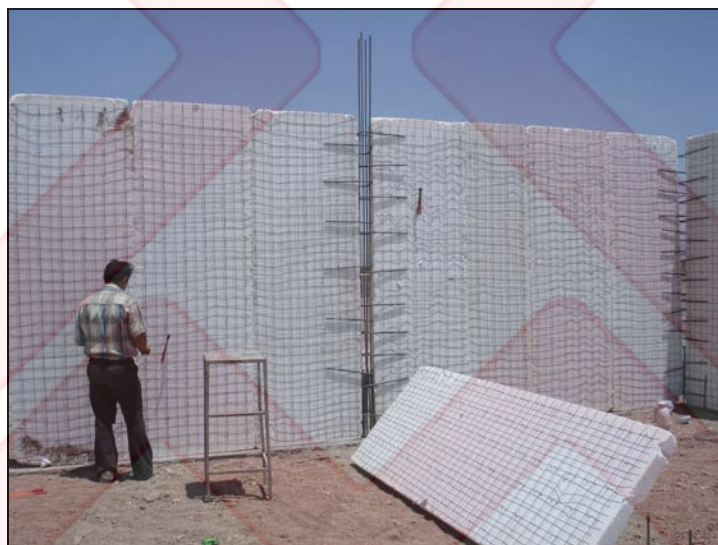
شکل ۱۷ اتصال پانل‌های مجاور به یکدیگر

معمولاً در سقف، علاوه بر کاربرد شبکه فلزی مضاعف، از تعدادی میل‌گرد برای تقویت اتصال نیز استفاده می‌شود (شکل ۱۸).



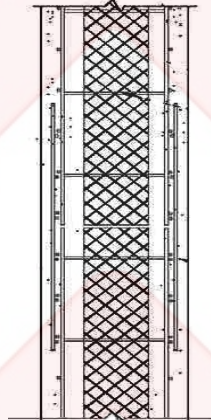
شکل ۱۸ کاربرد شبکه فلزی مضاعف، و میل‌گردها برای تقویت اتصال دیوار و سقف

در صورتی که در محل اتصال دو پانل دیواری مجاور هم‌سطح، کلاف عمودی در نظر گرفته شده باشد، میل‌گردهای U شکل، از دو طرف کلاف، اتصال کلاف به پانل‌ها را تأمین می‌کنند (شکل ۱۹).



شکل ۱۹ کاربرد میل‌گردهای U شکل برای اتصال شناژ به پانل‌ها و خاموت‌بندی شناژ

چنانچه بین پانل‌ها در راستای قائم درزی وجود داشته باشد، از یک نوار شبکه فلزی به عرض حدودی ۳۰ سانتی‌متر در محل درز استفاده می‌شود. این نوار به وسیله سیم آرماتوربندی با شبکه‌های دو پانل هم‌جوار درگیر می‌شود (شکل ۲۰).



شکل ۲۰ درگیر کردن شبکه‌های دو پانل همجوار با یک نوار شبکه فلزی (به وسیله سیم آرماتوربندی)

در مواردی که تعداد پانل‌ها و ارتفاع دیوار زیاد باشد، برای دستیابی به صلبیت بیشتر، از تعدادی میل‌گرد در درزهای اتصال استفاده می‌شود (شکل ۲۱).

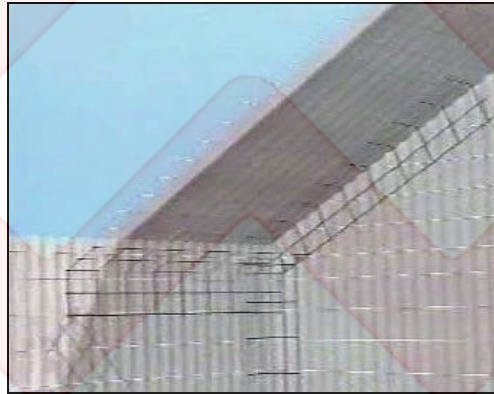


شکل ۲۱ استفاده از تعدادی میل‌گرد در درزهای اتصال برای دستیابی به صلبیت بیشتر (در دیوارهای مرتفع)

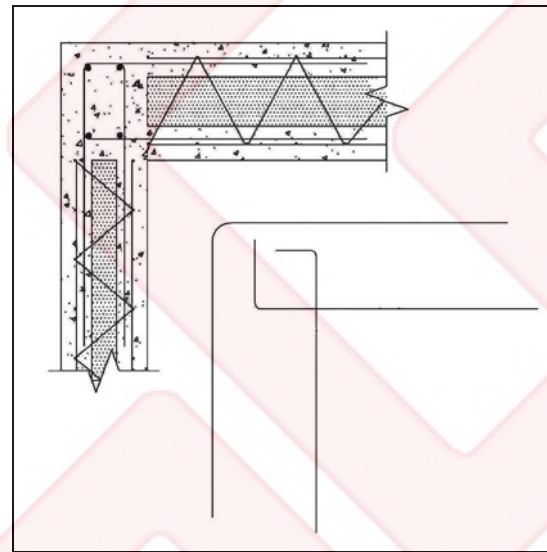
۲-۳-۴ اتصال دو دیوار کناری

نوارهایی از شبکه فلزی که با زوایای خاص، متناسب با زاویه مابین دو پانل، خم شده‌اند، برای مسلح‌سازی اتصال دو پانل متقاطع استفاده می‌شود. این شبکه‌های نواری L شکل، در داخل و خارج گوشه ایجاد شده توسط دو پانل، قرار می‌گیرند، و با سیم آرماتوربندی به آن‌ها متصل می‌شوند (شکل ۲۲). شبکه L شکل داخلی و خارجی، معمولاً به ترتیب به عرض حداقل ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر (در هر وجه) در نظر گرفته می‌شوند.

در صورتی که از کلاف عمودی در محل اتصال دو پانل متقاطع استفاده شود، میل‌گردهای L شکل، علاوه بر ایجاد اتصال بین پانل‌ها و کلاف، به‌صورت خاموت باز در نگهداری میل‌گردهای طولی کلاف شرکت می‌کنند (شکل ۲۳).



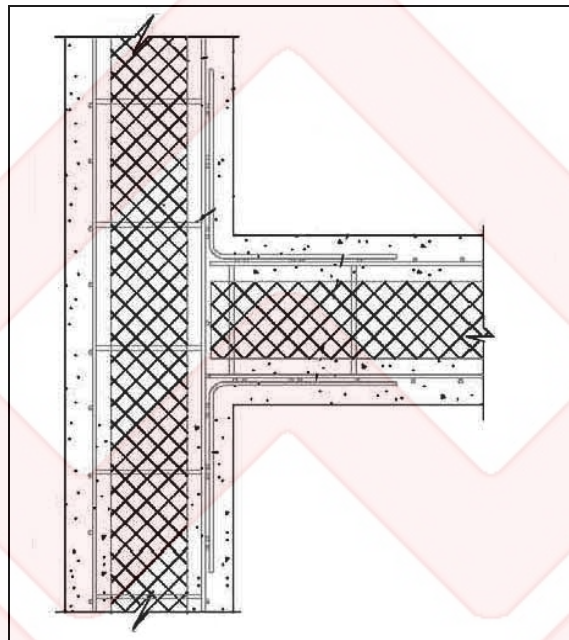
شکل ۲۲ شبکه نواری L شکل داخلی برای اتصال سطوح عمودی و افقی به یکدیگر



شکل ۲۳ نمونه مقطع افقی، فرم میل‌گردها و نمای کلاف قائم در محل اتصال دو دیوار عمود بر هم

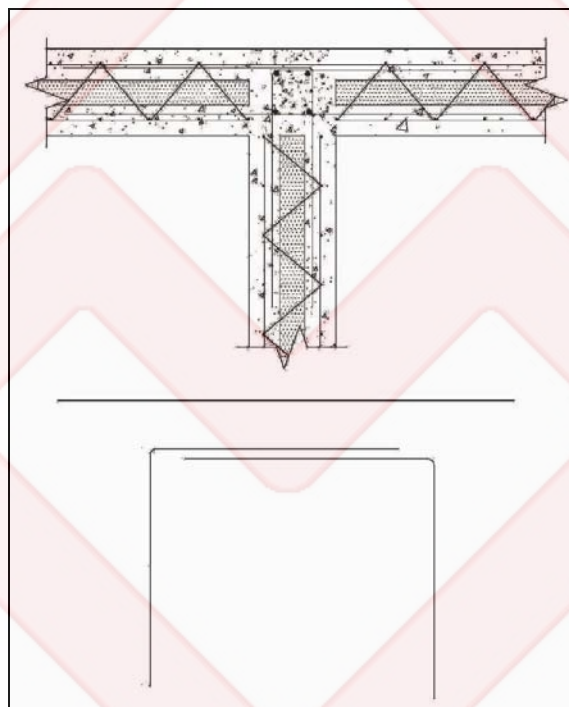
۲-۳-۵ اتصال سه دیوار مجاور

در حالت اتصال دو دیوار متقاطع، از یک پانل ممتد و یک پانل در راستای عمود بر آن استفاده می‌شود. دو طرف محل اتصال پانل عمود بر پانل اصلی، توسط شبکه‌های فولادی خم‌شده به شکل L، به عرض حداقل ۱۵ سانتی‌متر (در هر وجه) مسلح می‌شود. شبکه‌ها با سیم آرماتوربندی به شبکه میل‌گرد پانل‌ها وصل می‌شود (شکل ۲۴).



شکل ۲۴ جزئیات اتصال سهدیوار

در حالتی که در محل تقاطع این پانل‌ها نیاز به اجرای کلاف باشد، از سه پانل مجزا در سه طرف کلاف استفاده می‌شود. آرماتورهای طولی و L شکل نیز علاوه بر اتصال پانل‌ها به کلاف، نقش خاموت باز برای کلاف را ایفا می‌کنند (شکل ۲۵).

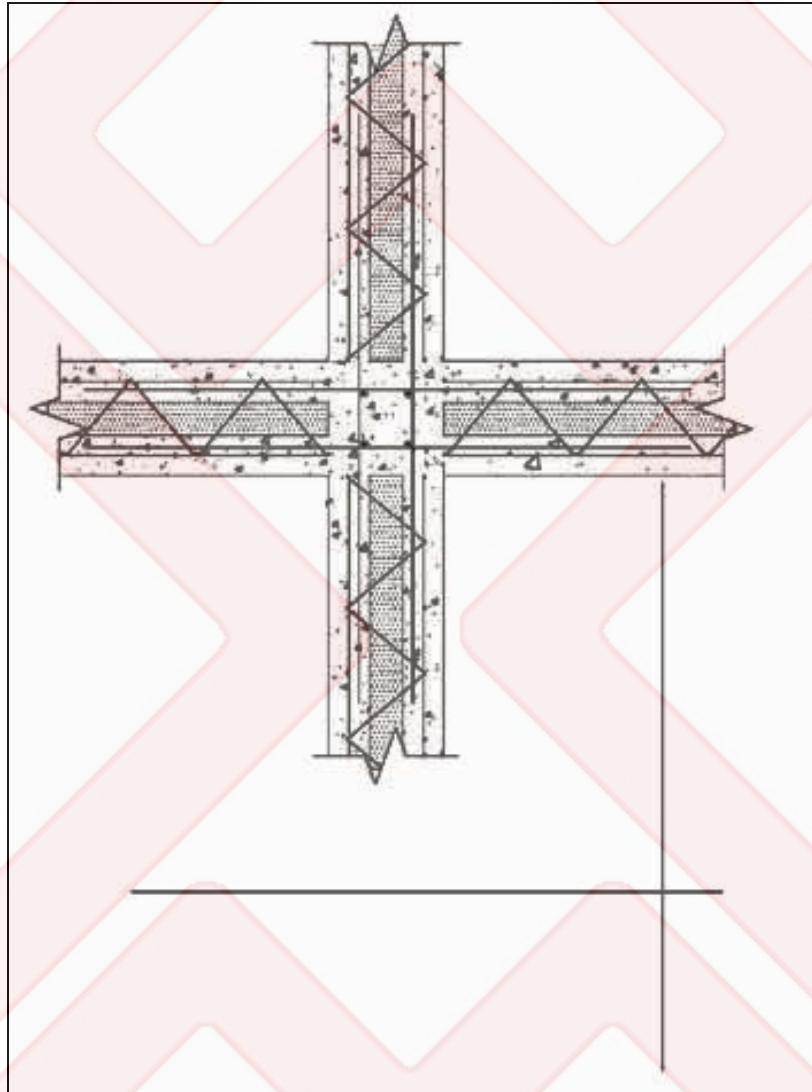


شکل ۲۵ جزئیات اتصال سهدیوار با شناژ در محل تقاطع و شکل میل‌گردهای مورد استفاده



۲-۳-۶ اتصال چهار دیوار عمود برهم

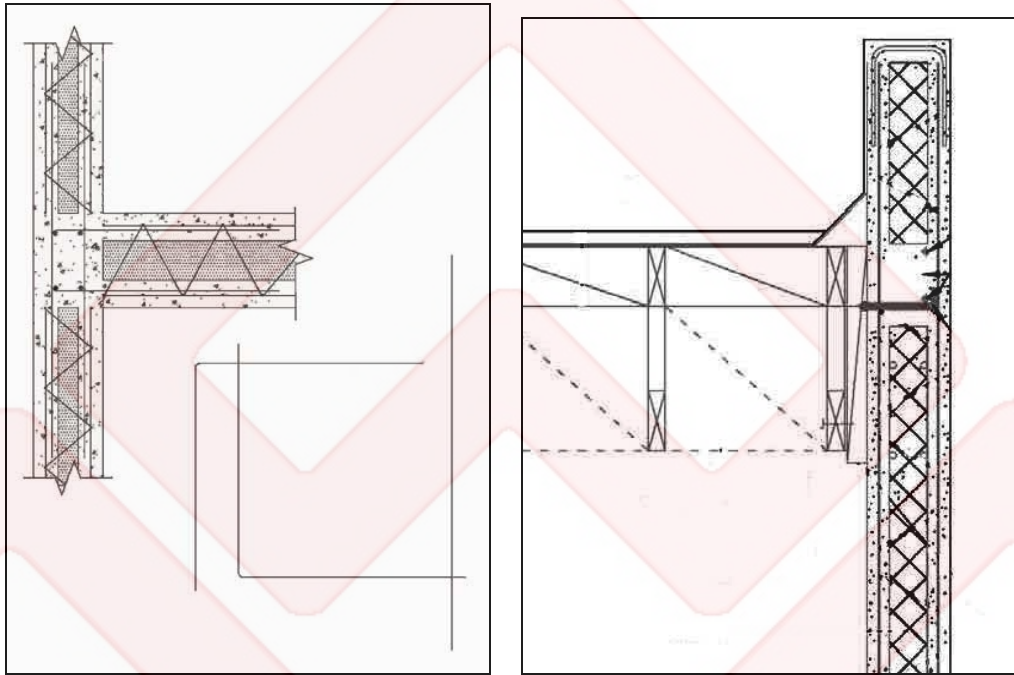
در این حالت نیز از دو جفت میل‌گرد عمود برهم در فواصل ارتفاعی منظم استفاده می‌شود، تا هم پانل‌ها را به یکدیگر متصل کنند، و هم به صورت خاموت باز، میل‌گردهای عمودی کلاف را پشتیبانی کنند (شکل ۲۶).



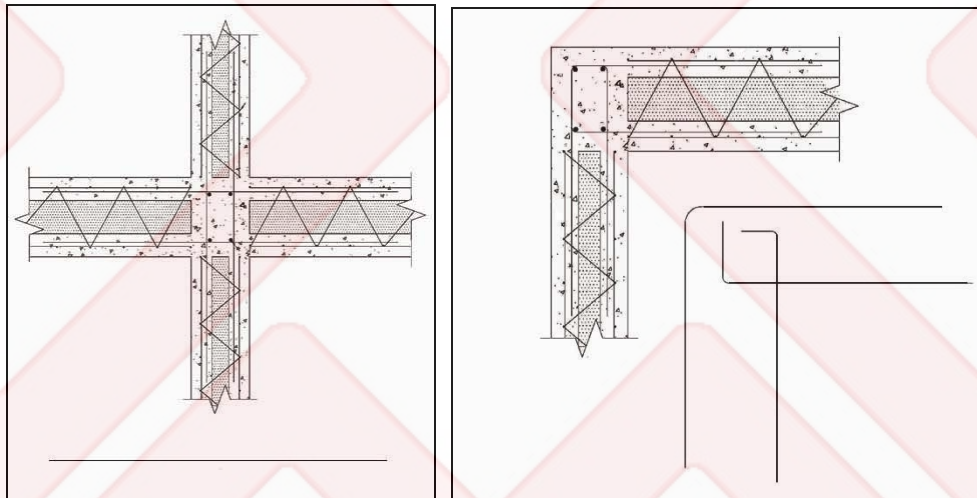
شکل ۲۶ جزئیات اتصال چهار دیوار با کلاف در محل تقاطع و شکل میل‌گردهای مورد استفاده

۲-۳-۷ اتصال دیوار و سقف

نحوه اتصال دیوار و سقف مانند اتصال دیوار و دیوار است. اجرای میل‌گردهای خاموت کلاف افقی و نوارهای شبکه L شکل، از ضروریات اتصال مقاطع مجاور است، که به همان صورت که در اتصال دیوارها توضیح داده شد، اجرا می‌شود (شکل ۲۷ و شکل ۲۸).



شکل ۲۷ جزئیات اتصال دیوار و سقف و شکل میل‌گردهای مورد استفاده



شکل ۲۸ جزئیات اتصال دیوار (گوشه و میانی) و سقف و شکل میل‌گردهای مورد استفاده

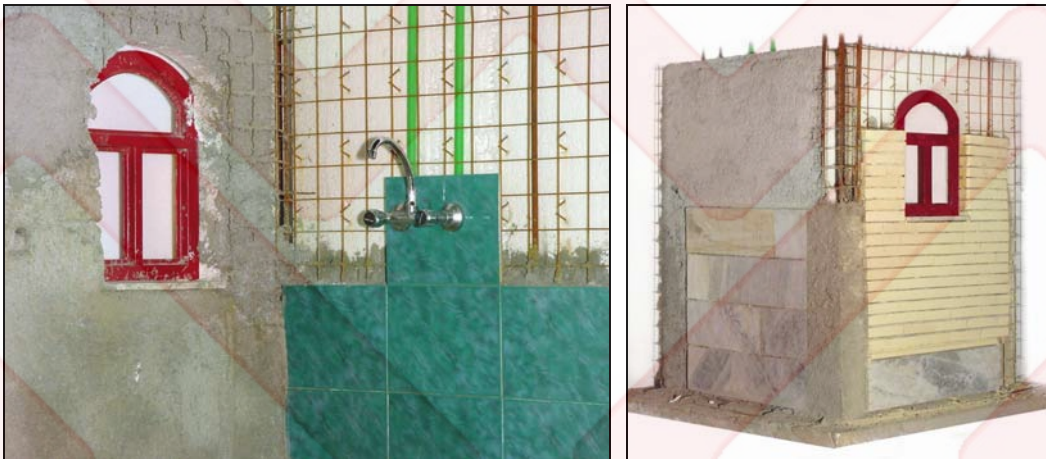
۴-۲ عایق‌ها

همان‌گونه که شرح داده شد، لایه پلی‌استایرن منبسط نصب‌شده در بین شبکه‌های فولادی، علاوه بر نقش قالب بتن پاشیده‌شده، وظیفه عایق‌حرارتی را نیز برعهده دارد. شایان ذکر است مفتول‌های مورب متصل‌کننده شبکه‌های فلزی دو طرف، پلهای حرارتی قابل توجهی هستند و میزان انتقال حرارت از این پل‌ها بستگی به ضخامت و تراکم مفتول‌های مورب و ضخامت عایق دارد که در فصل عملکرد حرارتی به آن پرداخته می‌شود.



۲-۵ نما و نازک‌کاری

سطوح نهایی بتن پاشیدنی در طرفین دیوار، با یک قشر نازک از اندوهای متداول (گچ در داخل و سیمان در خارج) و یا با استفاده از تخته‌های پیش‌ساخته (تخته گچی در داخل و تخته سیمانی در خارج) پوشیده می‌شود. در ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه، نمای خارجی ساختمان را می‌توان با انواع نماسازی از جمله اندوهای سیمانی متداول، سنگ، یا آجر پلاک انجام داد. البته باید ملاحظات لازم برای اتصال درست این نوع نماها به دیوار در نظر گرفته شود (شکل ۲۹).



شکل ۲۹ انواع مختلف پوشش داخلی و خارجی دیوار

فصل سوم

ویژگی‌های فنی مصالح مورد استفاده

در این بخش مشخصات فنی مصالح مختلف تشکیل دهنده بتن مسلح و عایق حرارتی این سیستم شرح داده می‌شود.

۳-۱ مشخصات فنی و آزمایش‌های مصالح بتن

- برخی از انتظارات اصلی در خصوص بتن مصرفی در این سیستم به شرح زیر است:
- مصالح مصرفی در ساخت بتن باید طوری انتخاب شود تا با توجه کافی به شرایط محیطی، ضوابط طراحی از نظر اطمینان از عملکرد سازه‌ای، پایایی و شکل ظاهری سازه تأمین شود.
 - درصد مواد زیان‌آور در مواد تشکیل دهنده بتن نباید از مقادیر تعیین شده به عنوان حداکثر مجاز تجاوز کند.
 - مصالح مصرفی در ساخت باید مطابق ویژگی‌های تعیین شده در استانداردهای مربوط به مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشد. در صورت لزوم باید گواهی تطابق مصالح مصرفی با ویژگی‌های استاندارد ارائه شود.
 - مصالحی که در فهرست استانداردهای آزمایش‌ها درج نشده است، می‌تواند در ساخت بتن به‌کار رود، مشروط بر آن‌که اثر این نوع مصالح بر اساس ضوابط طراحی به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفته شده باشد، و اطلاعات کافی و قابل قبول در مورد مناسب بودن این گونه مصالح در اختیار باشد. همچنین، می‌توان از تجربیات حاصل از نتایج معتبر آزمایش‌های انجام شده بر روی این گونه مصالح استفاده کرد.
 - درصد مواد زیان‌آور در مواد تشکیل دهنده بتن نباید از مقادیر حداکثر تعیین شده در بندهای ۴-۳-۴ و ۴-۳-۵ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تجاوز کند. ویژگی‌های مصالح مصرفی باید مطابق فصل سوم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تأمین شود.



۳-۱-۱ سیمان

سیمان مصرفی در ساخت پانل‌های باربر باید با یکی از مشخصات به شرح زیر یا استاندارد دیگری که قبلاً به تأیید دستگاه نظارت رسیده است، مطابقت داشته باشد:

الف- «مشخصات انواع سیمان پرتلند»

ب- «مشخصات سیمان‌های پرتلند آمیخته روبره‌ای»

پ- «مشخصات سیمان‌های پرتلند آمیخته پوزولانی»

ت- «مشخصات سیمان پرتلند آمیخته آهکی»

سیمان مصرفی در کارگاه باید دارای مشخصات سیمانی باشد که در تعیین نسبت‌های اختلاط به کار رفته است (بند ۶-۲ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان).

۳-۱-۲ سنگ‌دانه‌ها

در مورد سنگ‌دانه‌های مصرفی، موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- سنگ‌دانه‌های مصرفی در بتن، باید دارای کیفیتی باشد، که بتوان با آن‌ها بتنی مقاوم و پایا ساخت.

- سنگ‌دانه‌های مصرفی در ساخت بتن باید با "مشخصات سنگدانه‌های بتن" (استاندارد ملی شماره ۳۰۲) مطابقت داشته باشند.

- سنگ‌دانه‌هایی که برخی از ویژگی‌های آن‌ها مطابق بند ۳-۳ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان نیست، ولی آزمایش‌های ویژه و یا سابقه عملکرد واقعی آن‌ها نشان می‌دهد که می‌توان با آن‌ها بتنی با مشخصات مورد نظر بتن تازه و با مقاومت و پایایی کافی به دست آورد قابل استفاده هستند.

- اندازه اسمی بزرگ‌ترین سنگدانه نباید از هیچ‌یک از مقادیر زیر بیشتر باشد:

الف - یک پنجم کوچک‌ترین بعد داخلی قطعه.

ب - یک سوم ضخامت پانل.

پ - سه چهارم حداقل فاصله آزاد بین میل‌گردها.

ت - سه چهارم ضخامت پوشش روی میل‌گرد.

- به کار بردن سنگ‌دانه‌های درشت‌تر از ۱۵ میلی‌متر در ساخت این ساختمان‌ها توصیه نمی‌شود، و در هیچ حالت اندازه سنگ‌دانه‌ها نباید از ۲۵ میلی‌متر تجاوز کند.

- سنگ‌دانه‌های مصرفی در بتن باید سخت و پایا باشند و مواد زیان‌آور موجود در آن‌ها نباید از مقادیر حداکثر مجاز ذکر شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تجاوز کند.

- مقدار عبوری از الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر (نمره ۲۰۰) سنگ‌دانه‌ها مطابق با الزامات استاندارد "ویژگی‌های سنگ‌دانه‌های بتن" باشد.



۳-۱-۳ آب

آب مصرفی باید دارای مشخصات زیر باشد:

- آب مصرفی برای شستشوی سنگدانه‌ها، ساخت و عمل‌آوری بتن پاشیدنی و درجا باید تمیز و صاف بوده و سخت نباشد؛ باید از مصرف آب حاوی مقادیر زیاد از هر نوع ماده از قبیل روغن‌ها، اسیدها، قلیایی‌ها، املاح، موادقندی، و مواد آلی که قادر به صدمه زدن به بتن یا میل‌گرد باشد، خودداری کرد. به‌طور کلی، آب آشامیدنی برای مصرف در ساخت و عمل‌آوری بتن، مناسب است. آب غیرآشامیدنی مورد تردید را تنها در صورت مطابقت با بند(۳-۴) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان می‌توان به کاربرد. مواد زیان‌آور در آب مصرفی در بتن نباید از مقادیر حداکثر مجاز تعیین شده در جدول (۴-۱۸) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تجاوز کند و روش آزمایش برای هر نوع ماده زیان‌آور باید مطابق با همین جدول باشد.
- آب غیرآشامیدنی را به‌شرطی می‌توان در ساخت بتن به کاربرد که با ضوابط بندهای (۴-۱-۵-۳) و نیز با جدول (۴-۱۸) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان مطابقت داشته باشد.
- انتخاب نسبت‌های اختلاط بتن باید براساس آبی باشد که در کارگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (بند ۴-۶-۲-۲ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان). مقاومت‌های ۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های آزمایشی ملات ساخته شده با آب غیر آشامیدنی، باید حداقل معادل ۹۰ درصد مقاومت‌های نظیر نمونه‌های مشابه ساخته شده با آب مقطر باشد.
- تعیین زمان گیرش سیمان با آب غیرآشامیدنی باید مرد آزمایش قرار گیرد. زمان گیرش نباید بیش از یک ساعت زودتر و تا ۱/۵ ساعت دیرتر از زمان گیرش بدست آمده با آب مقطر باشد.
- آزمایش سلامت سیمان با آب غیرآشامیدنی صورت می‌گیرد و نتیجه حاصل نباید بیش از میزان مجاز مربوط به آب مقطر باشد.
- آزمایش‌های مربوط به این نوع مقایسه‌ها باید در شرایط یکسان و بدون در نظر گرفتن نوع آب مصرفی انجام گیرد.
- مقدار PH آب مصرفی در بتن نباید از ۵ کمتر و از ۸/۵ بیشتر باشد. آزمایش تعیین pH آب باید صورت گیرد.

۳-۱-۴ مواد افزودنی

مواد افزودنی معدنی و شیمیائی قابل مصرف در بتن باید مطابق با الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشد.

۳-۱-۵ فولاد

شبکه جوش‌شده و مفتول‌های قطری باید به لحاظ شکل‌پذیری و مشخصات فنی، مطابق با مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشد. هر نوع فولاد به‌صورت میل‌گرد یا سیم که به‌عنوان فولاد ساختمانی در بتن، میل‌گرد ساده



در پانل‌ها و یا میل‌گرد آجدار در کلاف‌های بتن آرمه مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید مطابق استانداردهای معتبر تولید شود و دارای برگ شناسایی کارخانه سازنده باشد.

۳-۱-۵-۱ انواع فولاد

انواع فولادهای مصرفی اعم از میل‌گردهای ساده پانل‌ها و میل‌گردهای آجدار کلاف‌ها مطابق با بندهای ۴-۹، ۴-۵، ۷-۹ و ۹-۹ از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان است.

۳-۱-۵-۲ مشخصات مکانیکی فولاد

مقاومت مشخصه فولاد بر اساس مقدار تنش کششی آن تعیین می‌شود و معادل مقداری است که حداکثر ۵ درصد مقادیر اندازه‌گیری شده برای تنش کششی ممکن است از آن کمتر باشد. در مورد فولادهای صفحات، چنانچه تنش کششی فولاد به وضوح مشخص نباشد، مقدار آن معادل تنش نظیر ۰/۲ درصد تغییرشکل نسبی ماندگار در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۵-۳ جوش‌پذیری فولاد

جوش‌پذیری میل‌گردها به نحوه تولید و نیز ترکیب شیمیایی نوع فولاد مصرفی بستگی دارد. میل‌گردهای صفحات که به روش سرد اصلاح‌شده و یا گرم اصلاح شده، عمل‌آمده باشد، به حرارت جوش حساسیت بسیار دارند و نباید از روش‌های معمولی جوشکاری استفاده شود. جوشکاری میل‌گردها باید مطابق بند (۴-۹) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و یا (ASTM A185) صورت پذیرد.

۳-۱-۵-۴ مشخصات شبکه فولادی

- شبکه جوش‌شده (مش) با ماشین‌آلات تمام اتوماتیک ساخته شده و می‌بایست با الزامات استاندارد (ASTM AError! Objects cannot be created from editing field codes.) مطابقت داشته باشد.
- مشخصات مفتول شبکه جوش شده و مفتول‌های قطری باید مطابق الزامات ذکر شده در استاندارد (ASTM AError! Objects cannot be created from editing field codes.) باشد.
- مشخصات جوش مفتول‌های قطری باید مطابق با الزامات مندرج در استاندارد (ASTM A185) باشد.
- در صورتی که تنش کششی F_y مفتول‌های به‌کار رفته در شبکه، از 400 MPa فراتر رود، باید تنش نظیر کرنشی برابر با $3/5$ در هزار، مبنای محاسبات تنش کششی قرار گیرد.



- شکل‌پذیری مفتول‌های به کار رفته باید مطابق با الزامات جدول (۴-۴) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشد.
- در مناطق با شرایط محیطی بسیار شدید و فوق‌العاده شدید (طبق بند ۸-۶-۲-۸ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان) باید از مفتول‌های قطری گالوانیزه استفاده شود که مشخصات آن مطابق با استاندارد (ASTM A797) و یا استاندارد مشابه دیگر باشد. همچنین، در صورت تشخیص مراجع معتبر، می‌توان از شبکه جوش شده گالوانیزه استفاده کرد.
- قطر اسمی مفتول‌های شبکه جوش شده از ۳ میلی‌متر تا ۶ میلی‌متر با گام ۰/۵ میلی‌متر است.
- قطر مفتول‌های قطری حداقل ۳/۰ میلی‌متر است.
- مقاومت جوش شبکه فولادی و فولادهای مورب حداقل باید به اندازه مقاومت نهایی فولاد میل‌گردها باشد.
- حداکثر درصد کاهش مقاومت فولادها در اثر جوش نباید بیش‌تر از ده درصد مقاومت اولیه فولاد مبنا باشد.

۳-۱-۵-۵ انبارکردن، نگهداری و کنترل فولاد

- میل‌گردهای فولادی را باید در محل‌های تمیز و عاری از رطوبت انبار کرد تا از زنگ‌زدگی و کثیف شدن سطح آن‌ها جلوگیری شود.
- میل‌گردهایی که تا حد پوسته شدن زنگ زده باشند، به ویژه میل‌گردهایی که به‌طور موضعی و عمیق دچار خوردگی شده‌اند، بدون انجام آزمایش و حصول اطمینان از انطباق مشخصه‌های آن‌ها با مشخصه‌های مورد نظر و در نظر گرفتن کاهش احتمالی سطح مقطع، قابل استفاده در بتن مسلح نیستند.

۳-۱-۵-۶ آزمایش‌های فولاد

- آزمایش‌های گوناگون فولاد روی نمونه میل‌گردهای فولاد مطابق با (ASTM 185-13) و یا طبق بند (۴-۹) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان صورت می‌پذیرد.

۳-۲ پلی‌استایرن منبسط

- بخش قابل توجهی از دیوارهای 3D از پلی‌استایرن منبسط با چگالی بیش از ۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب تشکیل می‌شود. کاربرد چگالی نسبتاً بالا بیش‌تر به دلایل زیر است:
 - آسیب ندیدن قطعه در زمان حمل و نصب
 - مقاومت و عدم تغییر شکل قطعه در برابر فشارهای ایجاد شده توسط بتن‌پاشی



در جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی- مکانیکی EPS در کاربردهای ساختمانی ارائه شده است.

جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی EPS در کاربردهای ساختمانی

نتایج آزمون			واحد	استاندارد آزمون	ویژگی‌ها
PS 30	PS 20	PS15			
۳۰	۲۰	۱۵	kg/m ^۳	EN۱۶۰۲	حداقل چگالی
۳۱-۳۴	۳۳-۳۵	۳۶-۳۸	mW/m.K	DIN۵۲۶۱۲	ضریب هدایت حرارتی در +۱۰°C
۲۰۰-۲۵۰	۱۱۰-۱۴۰	۶۵-۱۰۰	kPa	EN۸۲۶	تنش فشاری در ۱۰٪ تغییر شکل
۴۳۰-۴۹۰	۲۵۰-۳۱۰	۱۵۰-۲۳۰	kPa	EN۱۲۰۸۹	مقاومت خمشی
۳۸۰-۴۸۰	۲۳۰-۳۳۰	۱۶۰-۲۶۰	kPa	EN۱۶۰۸	مقاومت کششی
۷/۵-۱۱	۳/۵-۴/۵	۱/۰-۴/۰	MPa	EN۸۲۶	مدول الاستیسیته (آزمون فشاری)
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	°C	DIN ۱۸۱۶۴-۱	دمای تغییر شکل بر اثر حرارت: کوتاه مدت
۸۰	۸۰	۷۵	°C		بلند مدت تحت بار ۲۰ kPa
(۵-۷) ۱۰ ^{-۵}	(۵-۷) ۱۰ ^{-۵}	(۵-۷) ۱۰ ^{-۵}	K ^{-۱}		ضریب انبساط خطی
۱۲۱۰	۱۲۱۰	۱۲۱۰	J/kg.K	DIN۵۳۷۶۵	ظرفیت حرارتی (گرمای ویژه)
					جذب آب هنگام غوطه‌ور شدن:
۰/۵-۱/۵	۰/۵-۱/۵	۰/۵-۱/۲	درصد حجمی	EN۱۲۰۸۷	پس از ۷ روز
۱/۰-۳/۰	۱/۰-۳/۰	۱/۰-۳/۰	درصد حجمی	EN۱۲۰۸۷	پس از ۲۸ روز
۴۰/۱۰۰	۳۰/۷۰	۲۰/۵۰	-	EN۱۲۰۸۶	ضریب مقاومت به نفوذ بخار آب (قسمت ۴ از DIN 4108)

۳-۳ مشخصات فنی بتن

۱-۳-۳ آزمایش‌های بتن پاشیده

در خصوص آزمایش‌های بتن با روش بتن‌پاشی، موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- بهترین روش آزمایش بتن با روش بتن‌پاشی، مغزه گیری است. به علت محدودیت ضخامت بتن در این نوع ساختارها باید از نمونه مکعبی (چوبی یا فلزی) به ابعاد حداقل (۷۵×۷۵×۴۶۰) میلی‌متر و یا نمونه (۷۵×۷۵×۱۵۰) میلی‌متر بهره گرفت. نمونه نوع اول برای آزمایش مقاومت فشاری مغزه و نمونه نوع دوم برای آزمایش فشاری مغزه و آزمایش‌های دیگر از قبیل تخلخل، وزن حجمی و غیره است. بدین منظور می بایست در نصف سطح نمونه دوم، شبکه جوش شده مشابه صفحات اصلی قرار می‌گیرد.

- وضعیت پوشش میل‌گرد در نمونه‌های بند فوق می‌بایست مشابه شرایط اجرا باشد.

- برای آزمایش مقاومت فشاری باید حداقل ۳ آزمایش انجام شود و در هر آزمایش می‌بایست یک زوج نمونه مغزه از قسمت بتن غیر مسلح گرفت و برای سایر آزمایش‌ها، حداقل ۶ مغزه از قسمت بتن مسلح گرفته شود.



- ارزیابی مقاومت نمونه‌های مغزه باید مطابق بند (۵-۶-۱) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان صورت پذیرد.
- به منظور ارزیابی کیفی بتن پاشیدنی می‌توان از آزمایش‌هایی مانند آزمایش چکش اشمیت، اندازه‌گیری سرعت امواج مافوق صوت، آزمایش بیرون کشیدن و نمونه‌گیری به شکل قالب‌های استاندارد مکعبی یا استوانه‌ای و غیره مطابق با استانداردهای مربوط استفاده کرد و مقاومت مغزه‌ها را با استفاده از نتایج بدست آمده، اصلاح کرد. همچنین به منظور بررسی چسبندگی میل‌گرد و بتن و پرشدن فضاهای پشت و اطراف میل‌گردها می‌توان از آزمایش بیرون کشیدن فولاد استفاده کرد.

۳-۳-۲ طرح اختلاط

- طرح اختلاط بتن باید انتظارات زیر را جوابگو باشد:
- طرح اختلاط بتن مخصوص "بتن‌پاشی" مشابه بتن‌های معمولی و مطابق با بند (۶-۴) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان صورت می‌پذیرد.
- مقدار نسبت وزنی آب به سیمان (W/C) بین ۰/۴ تا ۰/۵۵ است.
- حداقل مقاومت مشخصه بتن مطابق بند (۶-۴-۶) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برای بتن مسلح مشخص می‌شود.
- عیار سیمان در هر متر مکعب بتن مخصوص "بتن‌پاشی" حداقل 350 kg/m^3 بوده و حداکثر به 500 kg/m^3 محدود می‌شود.
- روش اجرای بتن مخصوص "بتن‌پاشی" در این نوع سازه‌ها از نوع تر است.
- کارایی بتن با سیستم "بتن‌پاشی" می‌بایست به گونه‌ای باشد که پمپ‌پذیری آن تأمین شود. محدوده مناسب روانی با روش اسلایپ را می‌توان بین ۴۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفت.
- چگونگی اختلاط بتن، عمل آوری و بتن‌پاشی در هوای سرد و گرم باید بر اساس مندرجات فصل هفتم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان صورت پذیرد.
- زمان استفاده از بتن تازه به شرط تأمین کارایی، حداکثر ۹۰ دقیقه پس از افزودن آب است.
- دمای محیط در زمان بتن‌پاشی حداکثر به ۳۵ درجه سانتیگراد و حداقل ۵ درجه سانتیگراد محدود می‌شود.

۳-۳-۳ بتن و دوام آن

- با توجه به این که در سیستم باربر 3D، تمامی پانل‌ها باید قادر به تحمل بارهای وارد بر ساختمان باشند و به اعضای دیگر منتقل نمایند، دوام و پایایی بتن و محافظت از شبکه میل‌گرد موجود در پانل‌ها بسیار حائز اهمیت است. این امر برای پانل‌هایی که صرفاً نقش دیوار را دارند نیز باید رعایت شود.



با توجه به اینکه در این سیستم، از بتن پاشی استفاده می‌شود و این بتن عموماً دارای تخلخل بیشتری نسبت به بتن معمولی است، و از نظر حداقل پوشش روی میل‌گردها هم دارای محدودیت است، به‌منظور اطمینان از دستیابی به حداقل دوام، نکات زیر باید در نظر گرفته شوند:

- رعایت موارد ذکر شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان
- علاوه بر رعایت الزامات مربوط به پایائی بتن (مبحث نهم مقررات ملی ساختمان) برای ساختمان‌هایی که در مناطق ساحلی خلیج فارس و دریای عمان ساخته می‌شوند، به‌دلیل این‌که در این سیستم، حداقل پوشش ذکر شده در این آیین نامه در اکثر موارد قابل اجرا نیست، باید به‌نحو مقتضی، با استفاده از پوشش‌های محافظتی روی میل‌گرد و یا بتن، و براساس نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی و یا ارزیابی‌های درازمدت میدانی، از دوام کافی بتن و میل‌گردها در شرایط مورد نظر اطمینان حاصل نمود. در اینجا لازم است به این نکته اشاره شود که در بسیاری از تولیدات، از میل‌گردهای با پوشش گالوانیزه استفاده می‌شود، ولی زمانی‌که میل‌گردها برای شکل گرفتن شبکه فولادی به هم جوش می‌شوند، پوشش گالوانیزه محافظ از بین می‌رود و معمولاً خوردگی میل‌گردها از همین نقاط آغاز می‌شود. در نتیجه، در مناطق با خطر خوردگی بالا، کاربرد میل‌گردهای گالوانیزه به تنهایی ملاک مناسبی برای محافظت از میل‌گردها محسوب نمی‌شود.

- در مناطقی که سطح بیرونی پانل‌ها در برابر صدمات ناشی از چرخه‌های متناوب یخ‌زدن و آب شدن محافظت نشده است، باید با کاهش نسبت آب به سیمان به کمتر از ۰/۳۵، و یا استفاده از مواد حباب‌ساز (طبق استاندارد ملی شماره ۳۲۱۹)، دوام بتن را در برابر صدمات ناشی از چرخه‌های متناوب یخ‌زدن و آب شدن محافظت نمود.

- در مناطقی که احتمال تهاجم سولفات‌ها (از طریق آب‌های زیرزمینی یا خاک آلوده و یا ...) وجود دارد، باید بر اساس بند ۶-۳-۳-۵ آیین نامه بتن ایران اقدامات پیشگیرانه در دستور کار قرار گیرد.

شایان ذکر است در مناطقی که احتمال تهاجم کلرید و سولفات توأم وجود دارد، استفاده از سیمان نوع پنج مجاز نیست.

۴-۳-۳ کنترل و بازرسی مصالح بتن

به‌منظور اطمینان از انطباق ویژگی‌های مصالح مصرفی با استانداردهای یاد شده باید حداقل بازرسی‌ها و آزمایش‌ها مطابق جدول شماره (۶-۹) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان انجام صورت گیرد.

۴-۳ دوام صفحات ساندویچی (3D) در برابر شرایط جوی

در اجرای کلیه مراحل مونتاژ صفحات، باید دقت کافی به عمل آید. در صفحات دیواری، مسأله عدم اعوجاج و موازی بودن و انطباق محورهای صفحات با یکدیگر مورد تأکید است. با توجه به ضخامت محدود دولایه بتن



طرفین، دقت در دانه‌بندی مصالح بتن و تأمین روانی مناسب، بدون کاهش مقاومت بتن، بتن پاشی یکنواخت و به صورت ماشینی و مداوم، با کمترین فضای خالی و ایجاد پوشش کافی برای شبکه میل‌گرد مصرفی باید مد نظر باشد.

با توجه به نقش سازه‌ای تعیین‌کننده شبکه فولادی در این سیستم، محافظت از آن در برابر خوردگی برای دوام سیستم بسیار حائز اهمیت است. بتن روی میل‌گردها نقش اصلی در این محافظت را دارد و باید ضخامت مناسب برای این وظیفه را با توجه به مقاومت بتن و نوع آب و هوای منطقه دارا باشد. برای مثال در نیوزیلند برای شرایط آب و هوایی کنار اقیانوس، بتن دیوار خارجی باید دارای مقاومت حداقل ۲۵ مگاپاسکال و ضخامت حداقل ۵۰ میلی‌متر باشد. در صورت استفاده از بتن با مقاومت بیشتر از ۳۰ مگاپاسکال، ضخامت می‌تواند به حداقل ۴۵ میلی‌متر کاهش یابد. همچنین در مدارک فنی معتبر، انجام آزمایش‌های یخ‌بندان، پاشش نمک و برخی آزمایش‌های دیگر دوام نیز خواسته شده است.

نگهداری مناسب از سیستم در برابر شرایط جوی بسیار مهم است، به طوری که توصیه شده حداقل سالی یک بار کل پوشش خارجی ساختمان از نظر محافظت در برابر شرایط جوی و عدم نفوذ رطوبت کنترل شود.

فصل چهارم

روش‌های اجرا

پانلهایی که در کارخانه تولید می‌شود، به‌طور معمول به‌وسیله کامیون‌های کفی به کارگاه ساختمان حمل می‌شود و طی مراحل زیر به اجرا درمی‌آید.

۴-۱ اجرای شالوده و نصب پانل‌های دیوار

همان‌گونه که در بخش‌های قبلی ذکر شد، نکته قابل توجه در اجرای شالوده، پیش‌بینی تمهیدات لازم برای اتصال پانل‌های دیواری به شالوده است که به‌طور کلی به دو روش انجام می‌شود:

- روش اول که متداول‌تر است، استفاده از میل‌گردهای انتظار در داخل شالوده است که به پانل دیواری متصل می‌شوند (شکل ۳۰). در این روش، میل‌گردهای انتظار، به‌گونه‌ای در شالوده اجرا می‌شوند که هنگام استقرار پانل دیواری بر روی شالوده، میل‌گردهای فوق، بین شبکه جوش شده و ورق پلی‌استایرن قرار گیرند، تا به‌خوبی با بتن پاشیده شده و قطعه پانل درگیر شوند (شکل ۱۴). حذف لایه‌ای از پلی‌استایرن پشت میل‌گرد با هدف افزایش فضای قابل بتن پاشی در پشت میل‌گرد و درگیری پانل با شالوده، از ظرافت‌های اجرای این سیستم است.
- در روش دوم، در محل نصب پانل‌های دیواری به شالوده، غلافی توخالی در داخل شالوده ایجاد می‌کنند و بتن ریزی انجام می‌دهند و سپس پانل‌های دیواری در آن غلاف قرار می‌دهند و فضای خالی غلاف با چسب اپوکسی پر می‌کنند (شکل ۹). شایان ذکر است، از آن‌جا که وزن یک متر مربع هر پانل در حدود ۵/۵ کیلوگرم است، عمل جابه‌جایی و نصب، به‌راحتی به‌وسیله یک یا دو نفر در محل انجام می‌شود.

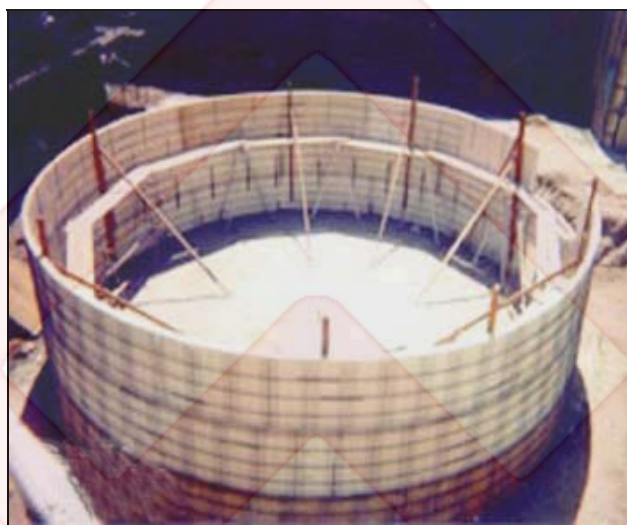


شکل ۳۰ میل‌گردهای انتظار پیش‌بینی شده در شالوده برای ایجاد اتصال به دیوارها

سبک بودن این پانل‌ها، آن‌ها را در برابر باد و نیروهای مشابه جانبی (بتن‌پاشی) آسیب‌پذیر می‌کند، در نتیجه لازم است پیش از بتن‌پاشی دیوار، آن‌ها را توسط مهارهایی تقویت کرد. این مهارها (پشت‌بندها) در طرف مخالف سمتی که قرار است اول بتن‌پاشی شود، کار گذاشته می‌شود؛ پشت‌بندها باید در فاصله ۰/۸۰ تا ۱/۰ متر از بالای دیوار و به فاصله حداکثر ۳/۰ متر از یکدیگر قرار گیرد. همچنین، محل تکیه مهارهای افقی و صفحات باید کمترین سطح را اشغال کند تا ناحیه بدون بتن به کمترین مقدار ممکن برسد برای این منظور، استفاده از مقطع دایره‌ای شکل توصیه می‌شود (شکل ۳۱ و شکل ۳۲).



شکل ۳۱ مهارهای جانبی برای استقرار و تثبیت پانل‌ها قبل از بتن‌پاشی



شکل ۳۲ مهارهای جانبی در یک ساختمان گرد

۲-۴ اجرای پانل‌های سقف

این سیستم، در انواع مختلف سقف به کار می‌رود. سقف می‌تواند تخت، شیب‌دار یا گنبدی باشد. در همه حالت‌ها لازم است طراحی و اجرا با رعایت ضوابط مرتبط صورت گیرد. سقف‌های تخت را می‌توان با پانل‌هایی شبیه پانل‌های دیواری اجرا کرد. این پانل‌ها معمولاً ضخامت بیشتری نسبت به پانل‌های دیواری دارند. در قسمت اتصالات، در مورد اتصال پانل‌های مجاور و اجرای کلاف توضیح داده شد. در صورتی که دهانه‌های سقف بزرگ باشد، باید از میل‌گردهای تقویتی در بالا و زیر سقف، استفاده شود (شکل ۳۳).



شکل ۳۳ استفاده از میل‌گردهای تقویتی در بالا و زیر سقف برای دهانه‌های بزرگ



در این حالت، زیر سقف با شمع تقویت می‌شود تا بتواند تحمل بارهای در حین اجرای بتن‌ریزی را داشته باشد. اجرای شمع‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که حداقل آسیب به شبکه تحتانی پانل سقف وارد شود. البته در هر صورت، وجود شمع‌بندی باعث می‌شود تا میل‌گردهای شبکه فولادی زیرین به عایق بچسبد و در نتیجه پوشش بتن دور میل‌گرد به نحو مطلوبی انجام نشود (شکل ۳۴ و شکل ۳۵). همچنین، اجرای بتن‌پاشی این نوع سقف، خصوصاً سطح زیرین آن با مشکلات اساسی روبه‌رو است و زمانی که شمع‌بندی‌ها برای بتن‌پاشی قسمت‌های پوشیده شده توسط آن‌ها جمع می‌شود، سقف دچار خیز قابل توجهی می‌شود. لذا توصیه می‌شود در وسط دهانه تیرها خیز منفی به مقدار $1/200$ طول دهانه ایجاد شود.



شکل ۳۴ اقدامات شمع‌بندی سقف 3D



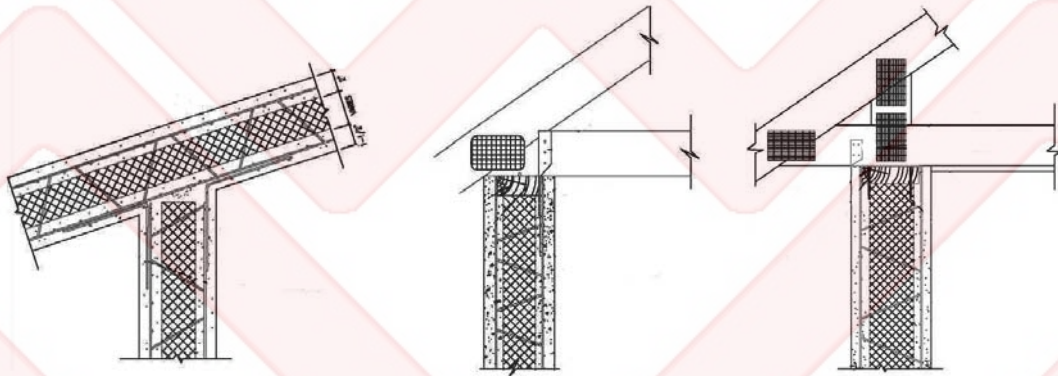
شکل ۳۵ شمع‌بندی انجام‌شده سقف 3D

علاوه بر روش مذکور، می‌توان با استفاده از تیرچه‌های بتنی، دهانه‌های بزرگ‌تری را نیز با این پانل‌ها پوشش داد. در این حالت، لازم است تمهیدات خاصی برای اتصال تیرچه‌های سقف به دیوار در نظر گرفته شود.



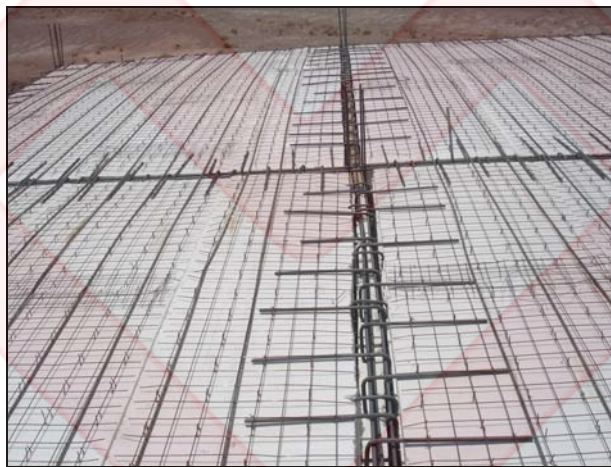
چنانچه سقف از سیستم متفاوتی نظیر تیرچه‌های فلزی سبک، با پوششی از انواع ورق در نظر گرفته شود، لازم است کلاف‌بندی مناسبی در انتهای فوقانی دیوارها اجرا شود، تا توزیع بار به صورت اصولی صورت گیرد. برای اتصال تیرچه‌های سقف به دیوارها نیز باید تمهیدات لازم نظیر اجرای ورق‌های فلزی بر روی کلاف‌بندی در نظر گرفته شود.

اجرای سقف شیب‌دار، توسط خرپای مثلثی یا شیب‌دار، از دیگر روش‌های اجرای سقف است. نکته مهم در اجرای این‌گونه سقف‌ها، اتصال خرپا و دیوار پایه آن است که جزئیات متنوعی برای آن پیشنهاد می‌شود (شکل ۳۶).



شکل ۳۶ نمونه‌های جزئیات مختلف اتصال خرپای سقف و دیوار

در مواردی که اجرای تیر تقویتی ضروری است، در محل اتصال دیوار و سقف، تیرهایی در دو مرحله اجرا می‌شود: در مرحله اول، پانل از یک سمت، به اندازه عرض تیر، بتن‌پاشی می‌شود و سپس از سمت دیگر، پلی‌استایرن بخشی که قرار است تیر اجرا شود، حذف می‌شود، و پس از کار گذاشتن میل‌گردها، بتن‌پاشی تیر انجام می‌شود. گاهی نیز تیر به همراه بتن‌ریزی سقف و یکپارچه با آن انجام می‌شود (شکل ۳۷).



شکل ۳۷ اجرای تیر تقویتی در محل اتصال دیوار و سقف



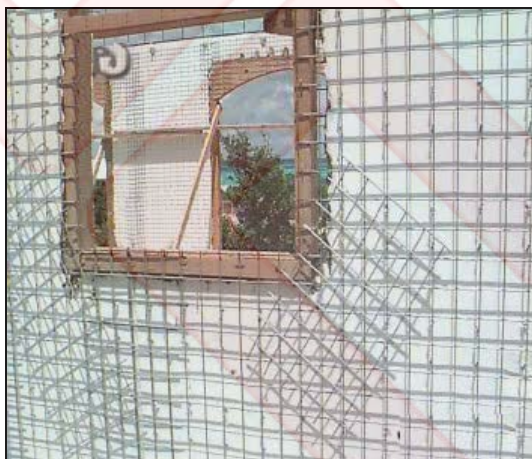
۳-۴ اجرای بازشوها

قبل یا بعد از استقرار قطعات دیواری، می‌توان محل اجرای بازشوها را در آن‌ها تعبیه کرد. در این حالت که طبق نقشه‌های دقیق کارگاهی انجام می‌شود، محل بازشوها به‌طور دقیق روی پانل‌ها مشخص می‌شود و پس از قطع کردن شبکه‌های پانل، پلی‌استایرن آن توسط تیغ یا اره بریده و جدا می‌شود (شکل ۳۸).



شکل ۳۸ برش و خروج قسمت پیش‌بینی شده برای بازشو

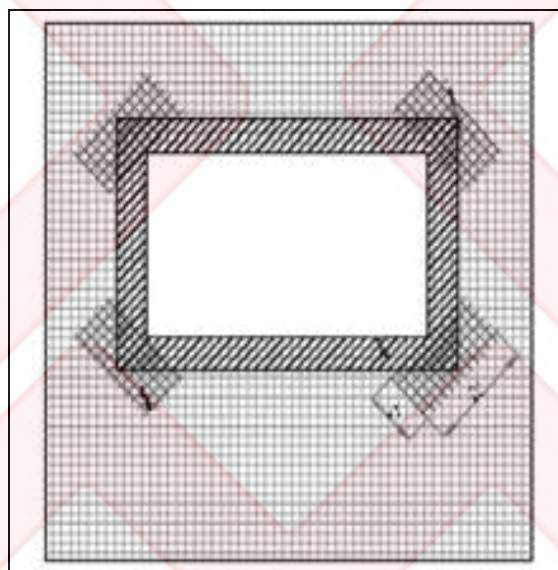
باید دقت شود برش پلی‌استایرن، کاملاً عمود بر صفحه پانل انجام شود، و در برش محل استقرار بازشوها، ابعاد قاب محیطی پنجره نیز لحاظ شود. این قاب به لبه‌های شبکه برش خورده، متصل و پس از بتن‌پاشی، مخفی می‌شود (شکل ۳۹).



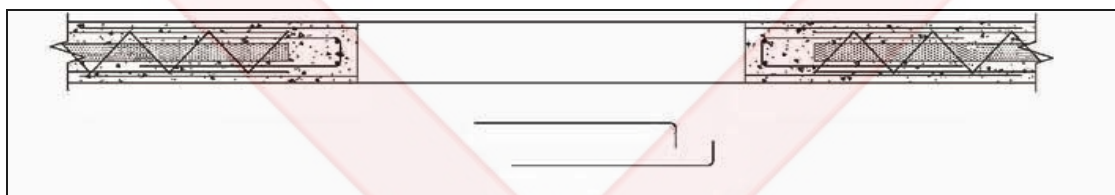
شکل ۳۹ جاگذاری قاب بازشو و تقویت شبکه فلزی



برای تقویت لبه بازشوها، از شبکه فلزی U شکل در لبه‌های بازشو استفاده می‌شود. همچنین، در محل بازشوها، اعم از در و پنجره، باید پوشش ۲۰ میلی‌متری بتن در اطراف میل‌گردهای تقویتی دور تا دور بازشوها کاملاً رعایت شود. نوارهای شبکه فلزی نیز در چهارگوشه هر بازشو و در دو طرف پانل به صورت ۴۵ درجه اجرا می‌شوند تا از ترک‌های احتمالی گوشه‌ها جلوگیری کنند (شکل ۴۰ و شکل ۴۱).



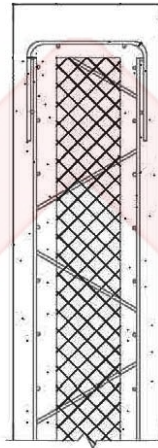
شکل ۴۰ تقویت لبه‌ها و گوشه‌های بازشوها



شکل ۴۱ مقطع افقی بازشدگی و میل‌گردهای تقویت آن



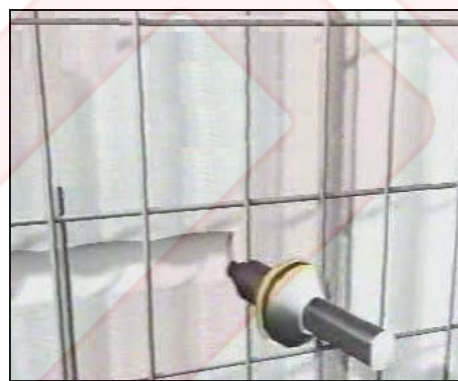
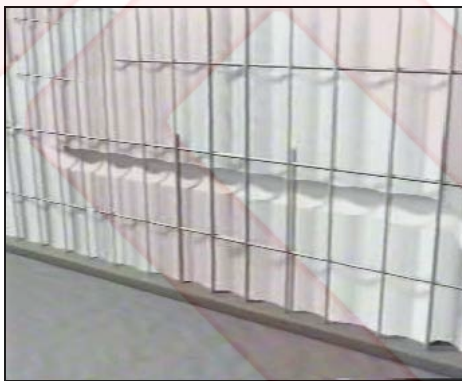
در مواردی که بازشو بزرگ باشد، از میل‌گردهای تقویتی، موازی لبه بازشو استفاده می‌شود (شکل ۴۱). در نقاط انتهایی، مانند جان‌پناه بام و بالکن که پانل آزاد است، لبه پانل با افزودن شبکه فلزی و سپس بتن‌پاشی آن، هم‌زمان با بتن‌پاشی جداره‌های دست‌انداز، قابل مهار است (شکل ۴۲).



شکل ۴۲ تقویت لبه جان‌پناه

۴-۴ تعبیه و اجرای تاسیسات مکانیکی و الکتریکی

شبکه تاسیسات مکانیکی در سازه‌های صفحه‌ای ترجیحاً باید روکار باشد؛ اجرای توکار لوله‌کشی‌های تاسیساتی در این سیستم، پیش از بتن‌پاشی انجام می‌شود. بدین منظور، پس از تعیین مسیرهای لوله‌کشی به وسیله ماژیک یا اسپری، عایق میانی در این مسیرها، به روش‌های مختلف از جمله نوب کردن با وسیله دمنده هوای گرم و یا برداشتن با ابزارهای ساده‌تر، به عمق لازم برداشته می‌شود و پس از عبور غلاف لوله از داخل مسیر، لوله‌کشی انجام می‌گردد (شکل ۴۳).



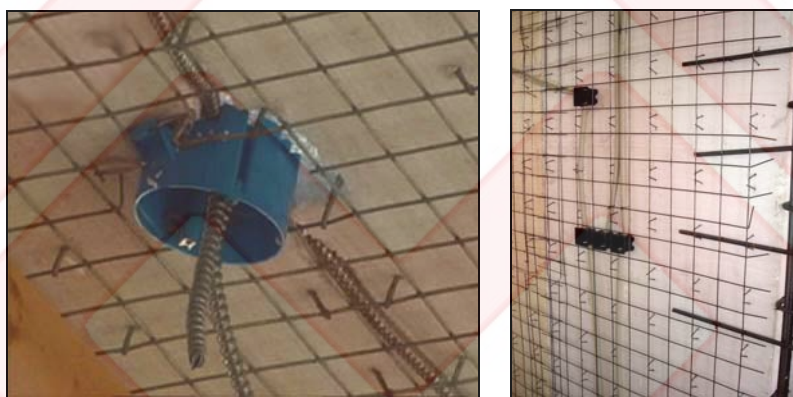
شکل ۴۳ خالی کردن محل عبور لوله‌کشی‌های تاسیساتی

در صورت لزوم، می‌توان بخشی از شبکه را برید و پس از حذف پلی‌استایرن، شبکه‌های برق و تاسیسات را عبور داد. نکته مهم در این بخش، به حداقل رساندن بخش‌های قطع شده شبکه فلزی پانل است. پس از اجرای تاسیسات، یک قطعه شبکه، روی قسمت قطع شده شبکه قرار می‌گیرد و با سیم آرماتوربندی، به آن متصل می‌شود (شکل ۴۴).



شکل ۴۴ قطع شبکه فلزی برای عبور مدارها و پوشش مجدد آن

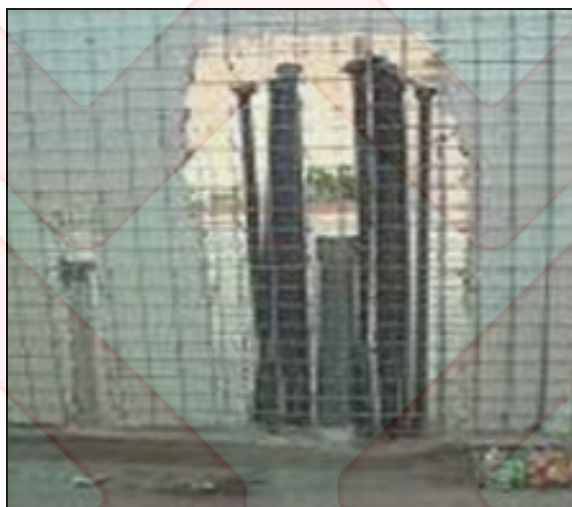
لوله‌های آب باید از جنس پلیمری مناسب باشد؛ در اجرای توکار باید پلی‌استایرن اطراف لوله‌های آب گرم به فاصله حدود ۲۰ میلی‌متر برداشته شود، به طوری‌که، دور تا دور لوله‌های آب گرم با لایه‌ای از بتن پوشانده شود. قوطی‌ها و ترمینال‌های تاسیسات، به گونه‌ای کار گذاشته و اجرا می‌شوند، که پس از بتن‌ریزی در بتن مدفون نشوند. بنابراین، محل اجرای لبه قوطی‌ها، با در نظر گرفتن ضخامت بتن و نازک‌کاری تعیین می‌شود (شکل ۴۵).



شکل ۴۵ قوطی‌ها و ترمینال‌های تاسیسات

اجرای توکار لوله‌های تاسیسات نباید باعث کاهش ضخامت بتن پاشیدنی شود؛ این امر برای لوله‌های با قطر بالا مشکل‌ساز می‌شود. هرچند ضخامت بتن بر اساس محاسبات تعیین می‌شود، ولی عموماً ضخامت بتن پاشیده شده به اندازه دو برابر فاصله شبکه تا عایق حرارتی است.

لوله‌ها و ترمینال‌ها به وسیله سیم آرماتوربندی به شبکه فلزی پانل، مهار می‌شوند. قبل از بتن‌پاشی، لازم است تمام قوطی‌ها و ترمینال‌ها و لوله‌ها سربسته شوند تا با بتن پاشیده شده، مسدود نشوند. شایان ذکر است حذف پلی‌استایرن هیچ‌گونه خللی به سیستم سازه‌ای وارد نمی‌کند و در مواردی که ضرورت می‌یابد، می‌توان بخشی از عایق حرارتی را کاملاً حذف کرد و تأسیسات را درون آن قرار داد، و بتن‌پاشی را روی شبکه‌های اطراف آن انجام داد (شکل ۴۶). باید توجه کرد که نقش عایق حرارتی در بخش سازه‌ای، صرفاً قالب بتن و عاملی برای کاهش مصرف بتن است.



شکل ۴۶ حذف بخشی از عایق حرارتی برای فرارگیری تأسیسات

نکته مهم در رابطه با تأسیسات، مدفون شدن لوله‌کشی‌ها در داخل دیوار است و دسترسی به تأسیسات یادشده در دوره بهره‌برداری تنها با تخریب لایه بتن ممکن خواهد بود. از این رو، لازم است تا هم‌زمان با نصب تأسیسات، نقشه اجرایی تأسیسات برقی و مکانیکی توکار تهیه شود تا در صورت بروز مشکلات احتمالی، محل و مسیر دقیق تأسیسات مشخص باشد و تخریب اضافی صورت نگیرد؛ همچنین باید از لوله‌های مقاوم و بادوام استفاده کرد.

باید توجه کرد بتن‌پاشی، الزاماً پس از انجام کلیه اقدامات آماده‌سازی پانل، انجام نمی‌شود. گاهی برای افزایش سرعت کار، از بتن‌پاشی طرف خارجی پانل، پیش از (یا هم‌زمان با) اجرای تأسیسات در پانل استفاده می‌شود.

۴-۵ بتن‌پاشی

در ساخت بتن، پیمانانه کردن وزنی مصالح توصیه می‌شود. ساخت بتن با توجه به طرح اختلاط الزاماً باید توسط هم‌زن‌های خودکار صورت گیرد و استفاده از روش‌های دستی ممنوع است.



- در صورتی که بتن با دستگاه بتن‌ساز تهیه شود، باید در طول مدت حداکثر ۹۰ دقیقه مورد استفاده قرار گیرد. این زمان برای شرایط آب و هوایی گرم (دمای بالای ۲۵ درجه) ۴۵ دقیقه است. برای بتن‌های خاص با مواد افزودنی یا پوزولان، زمان‌های فوق مطابق با نوع و میزان آن مواد تعیین می‌شود. اما در هیچ حالتی این مدت از مدت زمان ۱۲۰ دقیقه پس از اختلاط نباید بیشتر شود.

- عملیات بتن‌پاشی باید در شرایط آب و هوایی زیر متوقف شود:

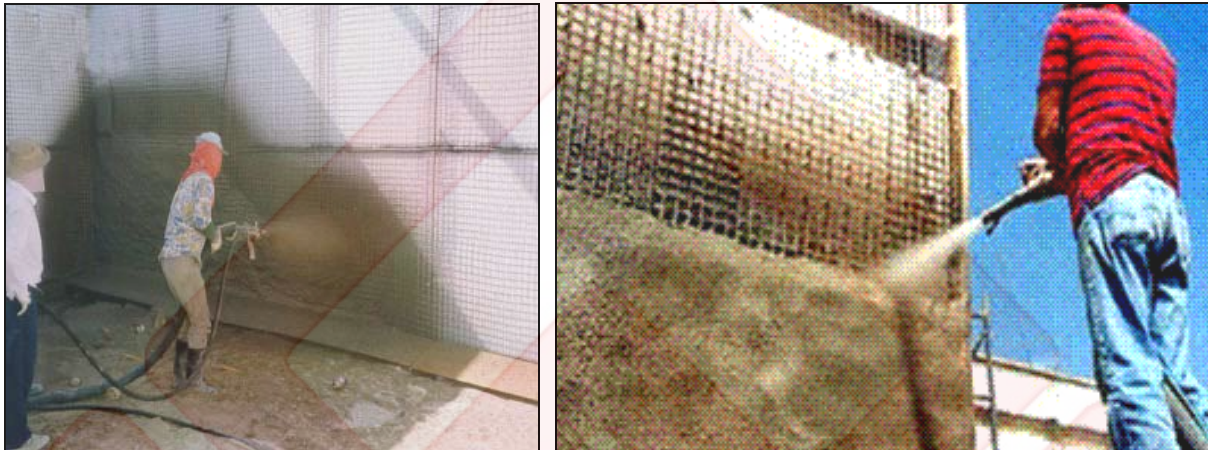
(الف) - وزش بادهای شدید به نحوی که از اجرای مناسب بتن‌پاشی ممانعت شود و یا باعث جدایی مصالح و در نتیجه کاهش مقاومت شود. طبعاً بتن‌پاشی در فضای درون ساختمان بدون اشکال خواهد بود.

(ب) - دمای محیط شرایط بند (۷-۶) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان را برآورده نکند.

(ج) - بارش باران باعث شسته شدن یا پوسته شدن سطح بتن‌پاشی تازه شود.

در صورت امکان، کل ضخامت دیوار در یک لایه پاشیده شود. در جاهایی که یک لایه بتن توسط لایه دیگری پوشانده می‌شود، ابتدا باید اجازه داد لایه کمی سخت شود. آن‌گاه تمامی ناهمواری‌ها و مصالح اضافی و بازگشتی که به سطح کار چسبیده است، به وسیله جارو و یا دیگر وسایل، خراشیده و یا برداشته شود. سپس سطح مزبور با جریان سریع هوا که از افشانک خارج می‌شود، تمیز شود. در نهایت، سطح کار باید به‌طور کامل توسط یک چکش بررسی شود تا محل‌های سست، حفره‌ها یا عدم پیوستگی بتن‌پاشی، مشخص و حذف شود. به دلیل لزوم اجرای یکپارچه بتن‌پاشی، لازم است ابزاری برای دسترسی هم‌زمان افشانک^۱ به تمام پانل فراهم شود. بدین لحاظ، اجرای داربست و ابزارهایی از این قبیل، در اجرای این سیستم ضروری است. زاویه افشانک نسبت به سطح دیوار باید حدود ۹۰ درجه باشد. در غیر این صورت، مصالح به سطح نمی‌چسبد و فرو می‌ریزد. همچنین، تراکم و مقاومت بتن تا حد محسوسی کاهش می‌یابد. در داخل کنج‌ها پاشیدن بتن روی نیمساز زاویه کنج صورت می‌گیرد تا اتلاف مصالح و تخلخل به حداقل برسد. افشانک بتن هرگز نباید بیش از ۴۵ درجه از سطح مورد نظر زاویه بگیرد. در صورتی که افشانک با زاویه خیلی بیشتر از زاویه عمود بر سطح قرار گیرد، بتن پاشیدنی چین می‌خورد و سطوح ناهموار و بافت موجی ایجاد می‌شود. این کار، علاوه بر هدر دادن مصالح، باعث تخلخل و غیریکنواختی بتن پاشیده شده نیز می‌شود. به منظور توزیع یکنواخت بتن پاشیدنی و کاهش اثر گلوله شدن، افشانک تقریباً عمود بر سطح دیوار (تا حدود ۱۵ درجه) قرار داده می‌شود و به صورت یکنواخت با یک رشته از حرکت‌های بیضوی یا دایره‌ای شکل کوچک چرخانده می‌شود.

توصیه می‌شود بتن‌پاشی دیوار، از پایین به طرف بالا و از گوشه به طرف وسط انجام شود تا سطح نسبتاً هموارتری حاصل شود. این عمل تا فاصله‌ای حدود ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر از بالای دیوار ادامه می‌یابد؛ سپس بقیه عمل بتن‌پاشی از کنج دیوار و سقف به سمت پایین انجام می‌شود (شکل ۴۷).



شکل ۴۷ پاشش بتن عمود بر سطح و از پایین به بالا

در طول بتن‌پاشی، بخش قابل توجهی از بتن پاشیده شده به سطح دیوار نمی‌چسبد^۱ و باعث افزایش حجم بتن می‌شود. این وضعیت در مورد بتن سقف تشدید می‌شود؛ استفاده مجدد از این بتن‌ها به هیچ شکلی مجاز نیست. حرکت افشانک به صورت جلو و عقب، زاویه برخورد را عوض می‌کند و باعث هدر رفتن مصالح می‌شود. فاصله بهینه افشانک تا سطح مورد پاشش بر حسب قطر افشانک و فشار پشت آن بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر است. در شرایطی که فاصله افشانک از این مقدار بیشتر یا کمتر شود، باعث افزایش فروریزش مصالح می‌شود. در ضمن، در صورت کاهش فاصله، شخص بتن‌پاش در معرض اصابت ذرات بازگشتی قرار خواهد گرفت. به عنوان یک ارزیابی چشمی، چسبیدن بتن پاشیدنی روی شبکه میل‌گرد جوش شده، نشان‌دهنده دور بودن بیش از حد نازل و یا کم بودن سرعت آن است. جمع شدن تدریجی بتن در پشت شبکه نشانگر بتن‌پاشی صحیح است. اسلامپ کم باعث هدر رفتن بیش از حد مصالح می‌شود. اسلامپ بیشتر می‌تواند باعث روان شدن مصالح روی سطح و یا ریزش مصالح شود. بنابراین محدوده اسلامپ مطابق بند (دت ۴۹۲) برای بتن پاشیدنی باید رعایت شود.

مهارت فرد بتن‌پاش در کیفیت، مقاومت، تخلخل و تراکم بتن پاشیدنی بسیار مؤثر است. لذا باید قبل از شروع بتن‌پاشی به فرد بتن‌پاش آموزش لازم داده شود، و در پایان آموزش مورد آزمایش قرار گیرد. توصیه می‌شود از نمونه‌های پاشیده شده توسط فرد بتن‌پاش مغزه‌گیری شود، تا از یکنواختی و کیفیت بتن پاشیده شده اطمینان حاصل شود.

در عملیات بتن‌پاشی نباید به دلیل نصب قرنیز، ضخامت بتن پایین دیوار کاسته شود. به همین علت، استفاده از قرنیز چوبی و نصب آن بعد از اتمام نازک‌کاری توصیه می‌شود.

بتن‌پاشی بر روی پانل‌های نصب شده بر اساس استاندارد ACI 506R انجام می‌شود. پس از انجام بتن‌پاشی، می‌بایست سطح بتن پرداخت شود. این عمل در دو مرحله به وسیله ماله تخته‌ای و ماله فلزی انجام می‌شود.



جدول ۲ حداکثر مقدار اتلاف ناشی از برگشت مصالح در روش بتن‌پاشی را نشان می‌دهد.

جدول ۲ حداکثر مقدار اتلاف ناشی از برگشت بتن پاشی

سطح	درصد بازگشت مصالح
کف یا سقف	۰ - ۵
دیوارهای قائم یا شیب‌دار	۵ - ۱۰
کار در شرایط بالای سر	۱۰ - ۲۰

از دیگر معایب این سیستم، افزایش حجم کار در اثر عملیات مجدد، برای زدودن ضایعات بتن از کف فضاها است. لذا یک لوله دم‌نده هوا در طول عمل بتن‌پاشی باید مورد استفاده قرار گیرد تا از انباشتگی مصالح روی سطوح جلوگیری شود. در صورتی که امکانات استفاده از این وسیله وجود نداشته باشد، باید یک تخته چوبی یا یونولیت جلوتر از بتن‌پاش حرکت کند تا مواد اضافی ناشی از بتن‌پاشی روی دیوار نچسبد.

۴-۶ عمل آوری

یکی از مهمترین مراحل اجرای بتن، که نقش به‌سزایی در افزایش دوام و مقاومت بتن دارد، عمل‌آوری است. به علت ضخامت کم بتن در سازه‌های صفحه‌ای، تبادل حرارتی محیط با بتن و تبخیر سطحی بیش از حد در این حالت، باید توجه ویژه‌ای به محافظت و عمل‌آوری بتن معطوف شود. در حال حاضر، دستورالعمل مناسبی برای عمل‌آوری وجود ندارد و عوامل محیطی می‌توانند به صورتی جدی کیفیت عمل‌آوری بتن را تحت‌الشعاع قرار دهند. عمل‌آوری باید بلافاصله پس از پاشش آن شروع شود. در این سیستم، با توجه به این‌که دیوارها، سقف و احتمالاً کف ساختمان هم‌زمان بتن‌پاشی می‌شود، اتخاذ روشی جهت اعمال مراحل عمل‌آوری و رعایت حداقل طول مدت آن (طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان) الزامی است. این امر در شرایط اقلیمی گرم (و خشک) از اهمیت زیادی برخوردار است. در ضمن، عدم استفاده از غشاء عمل‌آوری در اکثر موارد می‌تواند کیفیت بتن را به‌صورت جدی تحت شعاع قرار دهد.

۴-۷ حمل و نگهداری پانل‌ها

پانل‌های ساندویچی به‌طور معمول به‌وسیله کامیون‌های کفی حمل می‌شود. به علت وزن کم پانل‌ها، تخلیه و انبار آن به‌صورت دستی و یا ماشینی امکان‌پذیر است (شکل ۴۸). برای نگهداری صحیح پانل‌ها موارد زیر رعایت شود:

- صفحات باید در محیط‌های دور از تابش مستقیم نور خورشید، بارش باران، رطوبت و تغییرات حرارتی شدید نگهداری شود.
- صفحات باید دور از حرارت و مواد آتش‌زا که باعث احتراق پلی‌استایرن می‌شود نگهداری شوند. همچنین باید دور از حلال‌هایی مانند مواد نفتی و غیره نگهداری شوند.
- صفحات باید دور از مواد و شرایط محیطی خوردنده فولاد و حلال‌های پلی‌استایرن نگهداری و انبار شود.
- نگهداری صفحات روی یکدیگر باید به گونه‌ای باشد که جوش شبکه و مفتول‌ها آسیب نبیند.
- از بارگذاری و راه رفتن روی صفحات باید جلوگیری شود.



شکل ۴۸ حمل و تخلیه پانل‌ها در محل کارگاه

فصل پنجم

بررسی رفتار سازه‌های سیستم

۵-۱ تحقیقات و بررسی‌های انجام شده

اولین فعالیت در زمینه پانل‌های ساندویچی بتنی [۱] در سال ۱۹۶۰ میلادی صورت گرفت و در ادامه، آزمایش‌ها و بررسی‌هایی بر روی قطعات ساندویچی بتنی انجام شد. در سال‌های ۱۹۶۴ تا ۱۹۸۸، آزمایش‌های تکمیلی انجام و در آیین‌نامه PCI [۲] ارائه شده است.

در سال ۱۹۶۲ میلادی اولین تحقیقات و آزمایش‌های سازه‌ای در زمینه کماتش پانل‌ها انجام شد. مسلح کردن پانل‌ها بر اساس حالت‌های مختلف بارگذاری با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی، در سال ۱۹۸۲ میلادی در موسسه تحقیقاتی بتن نوریک انجام شد [۳]. اولین تحقیقات ویژه در خصوص پانل‌های ساندویچی در سال ۱۹۹۲ میلادی انجام شد [۴]. در سال ۱۹۹۹ مدلی با مقیاس ۱/۲، به صورت ساختمان متشکل از مجموعه پانل‌های ساندویچی تحت آزمایش قرار گرفت [۵]. همچنین در سال ۱۹۹۹، آزمایش‌های استاندارد برای تعیین مقاومت نهایی پانل‌ها انجام شد [۶]. در سال ۲۰۰۱ میلادی مطالعاتی بر روی رفتار تئوریک اتصالات پانل‌های ساندویچی انجام شد [۷].

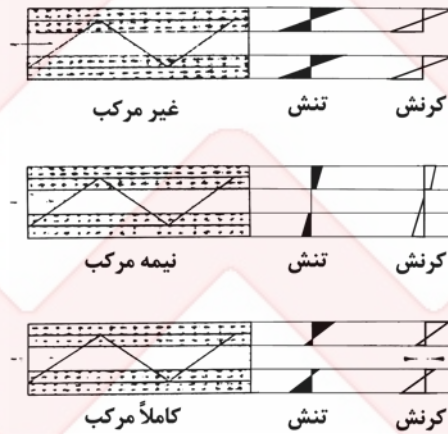
۵-۱-۱ بررسی رفتار پانل ساندویچی تحت اثر بار متمرکز عمود بر صفحه [۵]

در یک تحقیق [۵] بررسی رفتار پانل ساندویچی تحت اثر بار متمرکز عمود بر صفحه پانل، عمدتاً عملکرد فولادهای مورب در تحمل نیروهای برشی مورد نظر بوده است. آزمایش بر روی پانل‌ها، تحت اثر بارهای متمرکز، امکان تعیین رفتار خمشی-برشی پانل‌ها را فراهم می‌کند و با تحلیل دو بعدی (با روش عناصر محدود) مطابقت داده شده است.

در این تحقیق، تعیین ظرفیت برشی اتصال مورد توجه قرار گرفته است. در این زمینه میزان انعطاف‌پذیری عایق پلی‌استایرن نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. برای تعیین عملکرد اعضای متصل کننده بین دو لایه تحتانی و فوقانی، نمونه‌های کوچکی از نمونه پانل اصلی و با استفاده از انواع مختلف اتصالات برشی ساخته و با حرکت دادن یکی از لایه‌ها نسبت به لایه دیگر، میزان باربری نمونه‌ها تعیین شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در پایان با انجام آزمایش برش در پانل خمشی تحت اثر بارهای متمرکز، به اتصالات برشی پرداخته شده است.

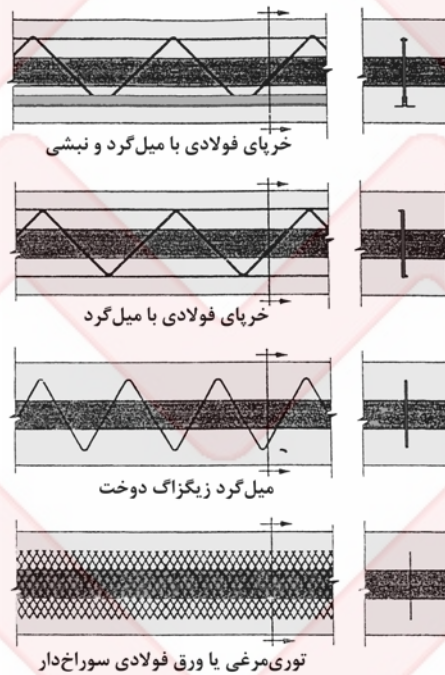


این نوع پانل‌ها به سه گروه کامپوزیت کامل، نیمه کامپوزیت و غیرکامپوزیت گروه‌بندی می‌شوند. دیاگرام توزیع تنش- کرنش سه گروه یاد شده در شکل ۴۹ نشان داده شده است.



شکل ۴۹ توزیع تنش و کرنش پانل‌های ساندویچی

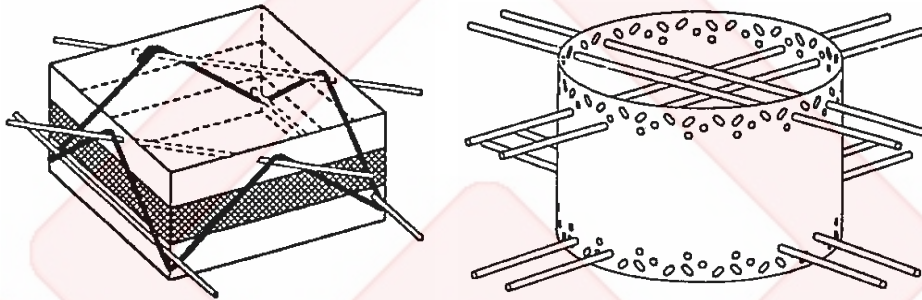
اتصالات بین دو لایه تحتانی و فوقانی پانل‌های ساندویچی، به دو دسته اصلی اتصالات برشی و اتصالات غیربرشی تقسیم می‌شود. اتصال برشی، اتصالی است که می‌تواند برش طولی را بین دو لایه انتقال دهد و با توجه به مسیر انتقال نیروی برشی که می‌تواند در یک یا دو مسیر صورت پذیرد، به دو دسته اتصالات برشی یک‌طرفه و دو طرفه تقسیم می‌شود. شکل ۵۰ اتصالات برشی یک طرفه را نشان می‌دهد.



شکل ۵۰ اتصالات برشی یک طرفه



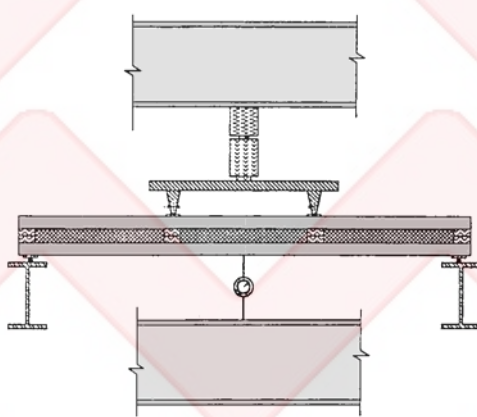
اتصال برشی دوطرفه قابلیت انتقال برش در دو جهت سطح پانل را دارا است (شکل ۵۱)



شکل ۵۱ اتصالات برشی دوطرفه

به‌هنگام اعمال نیروها و در نتیجه گسیختن نمونه‌ها، صدای شکستن تعدادی از اتصالات (به احتمال قوی اتصال میله‌های مورب به شبکه‌های داخل لایه‌های بتنی) قبل از رسیدن به ظرفیت حداکثر شنیده می‌شود. این موضوع را از کاهش ناگهانی در منحنی‌های بار-تغییر مکان نیز می‌توان استنباط کرد. در عمل، در هیچ کدام از اتصالات آزمایش‌شده ظرفیت واقعی پیش‌بینی شده به‌دست نیامد، که به‌طور عمده به دلیل بازتوزیع نسبی نیروها بین میل‌گردهای مورب است.

اصلی‌ترین و مهم‌ترین آزمایش انجام شده [۸] آزمایش بر روی نمونه پانل خمشی است (شکل ۵۲). هدف از این آزمایش، بررسی رفتار میله‌های مورب بین دو لایه پانل تحت بارگذاری واقعی است. متأسفانه در این آزمایش از نمونه‌های کوچک شده استفاده شده و در مقیاس در نظر گرفته شده هیچ‌گونه توضیحی ارائه نشده است.



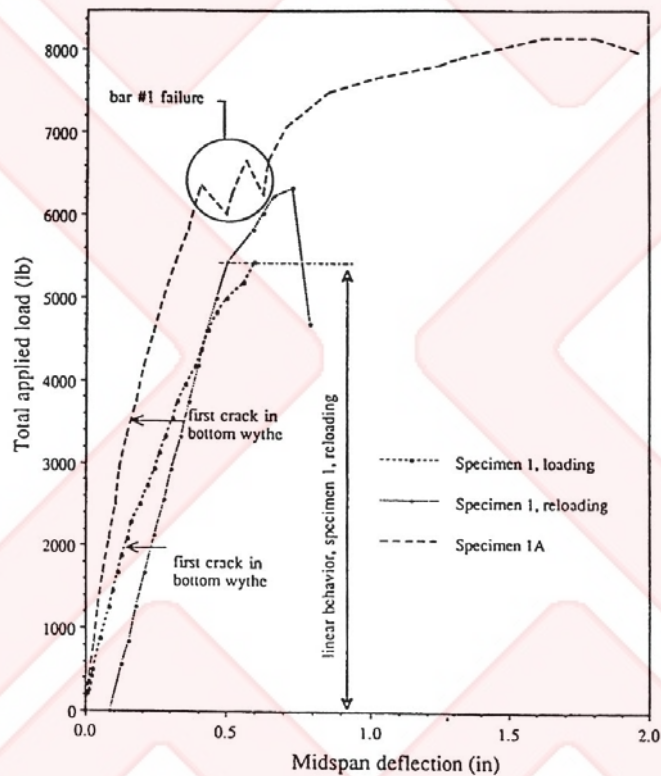
شکل ۵۲ ابزاربندی آزمایش پانل تحت خمش

نمودار ارائه شده در شکل ۵۳ منحنی بار-تغییر مکان دو نمونه مشابه را نشان می‌دهد. تنها تفاوت در نحوه بارگذاری است، به‌طوری‌که در نمونه شماره ۱ بارگذاری به صورت بارگذاری اولیه، باربرداری و بارگذاری مجدد انجام شده است و در نمونه شماره 1A بارگذاری بدون باربرداری تا گسیختگی کامل نمونه انجام شده



است. همان‌طور که از شکل ۵۳ پیداست، کلیه منحنی‌ها قبل از ترک خوردگی به صورت خطی است. نکته قابل‌توجه در منحنی مربوط به بارگذاری مجدد است. این منحنی نسبت به بارگذاری اولیه به صورت خطی گسترش یافته و بعد از ترک‌خوردگی غیرخطی می‌شود. این موضوع به دلیل از بین رفتن پیوستگی بین بتن و ماده پلی‌استایرن در مرحله بارگذاری مجدد است که جای تامل در این موضوع وجود دارد.

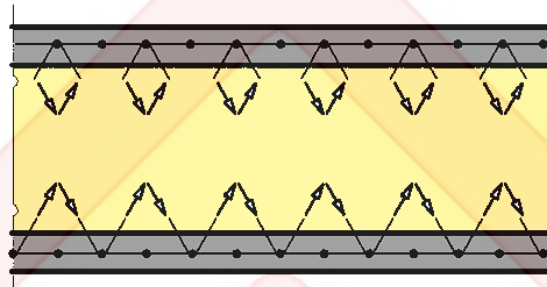
نتایج آزمایش، گسیختگی نمونه به واسطه شکست قطری در زیر محل اثر بار نقطه‌ای را نشان می‌دهد؛ این در حالی است که تنش در فولادهای کششی به نقطه تسلیم خود نرسیده است که علت این موضوع امر می‌تواند شکست موضعی فولادهای مورب باشد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که اتصالات برشی تحت نیروی محوری کم‌تر از ظرفیت نهایی میله‌های مورب، منهدم می‌شود.



شکل ۵۳ منحنی «بار- تغییر مکان» نمونه تحت خمش

در بررسی‌های انجام‌شده، برای تحلیل نتایج آزمایش‌های انجام‌شده از ایده خرپای کامل پانل‌های ساندویچی استفاده شده است که در آن لایه تحتانی و فوقانی پانل، یال‌های بالا و پایین خرپای فرضی را تشکیل می‌دهد و فولادهای مورب، نقش اعضای قطری خرپا را ایفا می‌کند (شکل ۵۴).

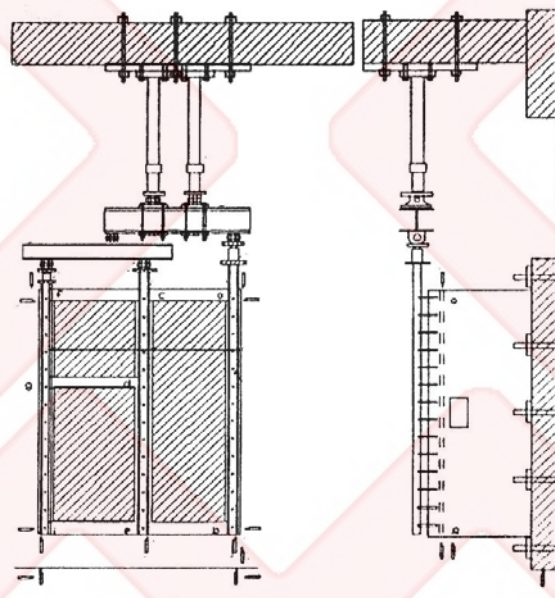
نکته قابل‌ذکر در خصوص این پژوهش، استفاده از بتن درجا برای ساخت نمونه‌هاست؛ در حالی که یکی از مشخصات پانل‌های ساندویچی استفاده از بتن با سیستم بتن‌پاشی درجاست.



شکل ۵۴ ایده عملکرد کامل خرپایی در اتصالات برشی پانل‌های ساندویچی

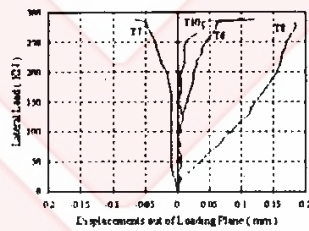
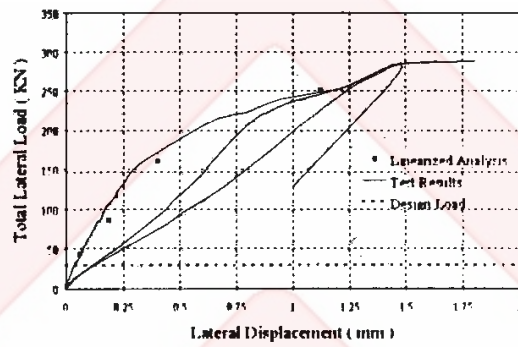
۵-۱-۲ بررسی رفتار ساختمان در مقیاس کوچک

در یکی از تحقیقات انجام شده، ساختمانی یک طبقه دارای بازشو و دیوار میانی با مقیاس ۱/۲ ساخته و تحت اثر بارگذاری و باربرداری متوالی قرار گرفته است [۵]. شکل ۵۵ ابزاربندی ساختمان و نحوه توزیع بار اعمال شده بر روی نمونه را نشان می‌دهد. بتن به‌کار برده شده در این آزمایش از نوع بتن با سیستم بتن‌پاشی درجاست.

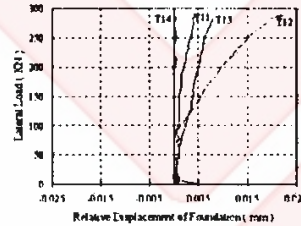


شکل ۵۵ ابزاربندی ساختمان از یک طبقه با مقیاس ۱/۲ توسط مورتاجا

نمودارهای ارائه شده در شکل ۵۶ نتایج حاصل از آزمایش را نشان می‌دهد. منحنی‌های به‌دست آمده بار-تغییرمکان به صورت بارگذاری و باربرداری است و نمی‌توان مدل رفتاری ساختمان را تحت اثر بار رفت و برگشتی نشان داد. منحنی‌های تغییر شکل نشان داده شده در شکل، حاکی از رفتار برشی ساختمان دارد و برای آنالیز مدل آزمایشگاهی از نرم افزار SAP 90 استفاده شده است که در شکل نتایج حاصله با نتایج آزمایشگاهی نشان داده شده است.



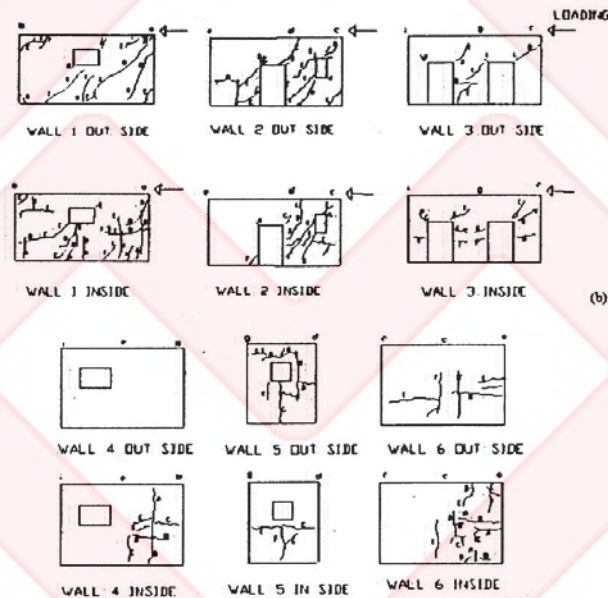
(a)



(b)

شکل ۵۶ نتایج حاصل از آزمایش بصورت منحنی های "بار- تغییر مکان" و منحنی تغییر شکل

تصاویر نشان داده شده در شکل ۵۷، ترک‌های ایجاد شده در گام‌های مختلف بارگذاری را نشان می‌دهد. تحقیقات انجام شده در این قسمت، حالت مشاهده‌ای دارد و تفسیر قابل تأملی بر روی ترک‌ها و نحوه گسترش آن‌ها در گام‌های مختلف بارگذاری انجام نشده است.



شکل ۵۷ ترک‌های ایجاد شده در ساختمان تحت آزمایش



۲-۵ مبانی و روش‌های تحلیل و طراحی ساختمان

۱-۲-۵ محدوده کاربرد

ضوابط این فصل مربوط به اصول کلی است که در تحلیل و طراحی سازه‌ها باید رعایت شود. این اصول عبارتند از: روش طراحی، نحوه بارگذاری و ترکیبات بار، ضرایب ایمنی توصیه شده، فرضیات مربوط به روش‌های متفاوت تحلیل سازه و ضوابط کلی که در طراحی بعضی قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۲-۵ بارگذاری

برای تعیین بارهای ناشی از زلزله، در ساختمان‌های متشکل از صفحات ساندویچی، باید مبحث ششم مقررات ملی ساختمان تحت عنوان "بارهای وارده بر ساختمان" ملاک عمل قرار گیرد. همچنین برای تحلیل سازه باید نامساعدترین حالت بارگذاری به لحاظ عملکرد توأم ترکیبات احتمالی بارهای وارد بر سازه، مطابق بند (۳-۵-۱۰) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شود.

۳-۲-۵ تحلیل سازه

منظور از تحلیل سازه، تعیین تلاش‌ها و تغییرمکان‌های موجود در اعضای سازه‌ای، تحت تأثیر اثرهای بارهای وارد بر آن، با در نظر گرفتن مشخصات هندسی و مکانیکی آن است. مبانی تحلیل باید منطبق بر بند (۳-۱۰) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشد.

۴-۲-۵ طراحی سازه

۱-۴-۲-۵ مبانی طراحی سازه

طراحی اعضای سازه‌ای در نظام صفحه‌ای براساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان صورت می‌گیرد؛ مگر در مواردی که صریحاً آیین‌نامه دیگری ذکر شده باشد. مبانی طراحی شامل هدف طراحی، روش طراحی و ضرایب ایمنی، مطابق بند (۲-۱۰) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان صورت می‌گیرد.

۲-۴-۲-۵ مقاومت خمشی

برای تأمین مقاومت خمشی می‌بایست موارد زیر رعایت شود:
- عملکرد سازه‌ای صفحات کف، در صورت کفایت مفتول‌های قطری، به صورت مقطع مرکب کامل و به صورت دال یک‌طرفه خواهد بود.
- در صورت عدم کفایت مفتول‌های قطری، برای تأمین شرایط بند فوق می‌بایست عملکرد مقطع با



- بهره‌گیری از تحلیل و محاسبات دقیق مشخص شود.
- طراحی خمشی براساس ضوابط فصل یازدهم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان انجام گیرد.
- حداقل میل‌گرد مصرفی در صفحات سقف باید طبق بند (۱۵-۴-۱) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تعیین شود.
- محدودیت‌های میل‌گردها در قطعات خمشی مطابق بند (۱۱-۵-۲) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تعیین شود.
- ضوابط کلی طراحی پانل‌های سقفی بر مبنای فصل پانزدهم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان صورت گیرد.
- چنانچه از تیرهای بتن‌آرمه جهت تقسیم بار در پانل‌های سقفی استفاده می‌شود، باید مقیاس ناشی از فولادگذاری صفحات پانل با تیرها مطابق بند (۱۵-۴-۲) از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان رعایت شود.

۳-۴-۲-۵ مقاومت برشی

- برای تأمین مقاومت برشی باید موارد زیر ملاک عمل قرار گیرد:
- مقاومت برشی صفحات دیواری باید طبق ملاحظات فصل دوازدهم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تعیین شود. در این حالت حداکثر ضخامت کل دیوار باید معادل مجموع ضخامت لایه‌های بتنی دو طرف در نظر گرفته شود.
- مقاومت برشی صفحات سقفی با توجه به مشخصات هندسی، تعداد و نوع اعضای قطری موجود در صفحات طبق مقررات فصل دوازدهم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان محاسبه می‌شود.
- در تعیین مقاومت برشی تأمین شده در مقاطع صفحات سقفی، تنها برش مقاوم ناشی از میل‌گردهای مورب ملاک عمل است و از مقاومت برشی بتن صرف‌نظر می‌شود.
- مقاومت برشی تأمین شده در جهت طولی مقاطع صفحات دیواری ناشی از دو عامل مقاومت برشی تأمین شده توسط بتن و مقاومت برشی تأمین شده توسط میل‌گردهای مورب (در صورت وجود در صفحه برش) و به ترتیب مطابق بند (۱۲-۳) و (۱۲-۴) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان است.

۴-۴-۲-۵ مقاومت خمشی - محوری

- برای تأمین مقاومت خمشی - محوری باید موارد زیر رعایت شود:
- چنانچه مقاومت خمشی - محوری صفحات دیواری در صفحه اصلی پانل مدنظر باشد، باید طبق ضوابط فصل شانزدهم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و با توجه به عملکرد سازه‌ای دیوار تعیین شود.
- چنانچه مقاومت خمشی - محوری صفحات دیواری در صفحه عمود بر صفحه اصلی پانل مدنظر



- باشد، باید طبق ضوابط فصل یازدهم مبحث از نهم مقررات ملی ساختمان و با توجه به عملکرد ترکیبی، نیمه ترکیبی و غیرترکیبی مقطع دیوار، تعیین شود.
- محدودیت‌های طراحی باید در هر حالت مطابق بند (۱۶-۴) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشد.
- مقاومت خمشی - محوری صفحات دیواری باید طبق مقررات فصل شانزدهم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و با توجه به عملکرد ترکیبی، نیمه ترکیبی و یا غیر ترکیبی آن‌ها محاسبه شود.
- محدودیت میل‌گرد دیوارها طبق بند (۱۶-۴) مبحث نهم مقررات ملی ساختمان است.

۵-۴-۲-۵ جزئیات فولادگذاری، جای‌گذاری مفتول‌ها و پوشش بتن

- برای اجرای صحیح جزئیات آرماتورگذاری می‌بایست موارد زیر رعایت شود:
- چگونگی جاگذاری مفتول‌ها در شبکه جوش شده و میل‌گردهای تقویتی باید مطابق با ملاحظات فصل هشتم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان صورت گیرد.
- مهار و وصله آرماتورها و شبکه جوش شده طبق ملاحظات فصل هجدهم از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان است.
- حداقل مقاومت مشخصه (محاسباتی) بتن (fc) نباید از ۲۰ مگاپاسکال کمتر باشد.
- پوشش بتنی روی شبکه جوش شده یا آرماتورها، نباید کمتر از ۱۸ میلی‌متر باشد.
- در اطراف بازشوها باید فولاد تقویتی با سطح مقطعی معادل میل‌گردهای قطع شده در هر جهت جاگذاری شود؛ میل‌گرد تقویتی باید در چهار طرف بازشو و به صورت متمرکز در همان راستا قرار داده شود.
- در هر پانل دیواری، سطح بازشوها نباید از یک‌سوم سطح کامل پانل بیش‌تر شود.
- فاصله بازشو تا انتهای دیوار باید حداقل ۷۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود؛ در غیر اینصورت باید تحلیل دقیق صفحات با در نظر گرفتن بازشوها انجام گیرد.

فصل ششم

بررسی رفتار سیستم در برابر آتش

۱-۶ کلیات

با توجه به وجود لایه بتن در دو طرف صفحات پلی‌استایرن منبسط‌شده، در صورت استفاده از جزئیات اجرایی مناسب، امکان دستیابی به مقاومت لازم در برابر آتش وجود دارد. البته باید توجه کرد که استفاده از پلی‌استایرن منبسط‌شده نوع کندسوز (خود خاموش‌شو) ضروری بوده و به علاوه برای جلوگیری از گسترش حریق احتمالی از یک فضا به فضاهای مجاور باید آتش‌بندی فضاهای خالی به نحو مناسب صورت گیرد. جزئیات بیشتر این موضوع در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۶ مشخصات سیستم 3D در برابر آتش

مشخصات این سیستم در برابر آتش از دو جنبه واکنش مصالح سازنده در برابر آتش و مقاومت سیستم در برابر آتش قابل بررسی است. مطالبی که در اینجا در این خصوص ارائه می‌شود، حاصل آزمایش‌های انجام‌شده در مرکز روی نمونه‌های متعدد پلی‌استایرن منبسط و نیز مطالعه و بررسی آیین‌نامه‌ها و مقررات ساختمانی کشورهای مختلف (از جمله آیین‌نامه ۴۴۴ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن) و تعدادی گزارش‌های معتبر و گواهینامه فنی مربوط به این سیستم در کشورهای خارجی است.

۱-۲-۶ واکنش مصالح سازنده در برابر آتش

سیستم صفحات 3D از سه مصالح اصلی زیر تشکیل شده است: پلی‌استایرن منبسط‌شده، بتن پاششی و فولاد. از بین این سه ماده، تنها پلی‌استایرن قابل اشتعال است. فولاد و بتن معمولی از این نظر غیر قابل سوختن بوده و مشارکت خاصی در گسترش آتش‌سوزی ندارند. بنابراین، در این قسمت، به توضیح در خصوص و رفتار پلی‌استایرن منبسط‌شده در برابر آتش پرداخته می‌شود.



۶-۲-۱-۱ رفتار پلی استایرن منبسط شده در برابر آتش

به طور کلی دو نوع پلی استایرن منبسط شده در صنعت ساختمان عرضه می شود، که یکی از آنها با عنوان معمولی و دیگری با عنوان خودخاموش شو یا کندسوز (و گاهی به اشتباه با عنوان نسوز) خوانده می شوند. اسفنج نوع معمولی به سادگی و با قرار گرفتن در معرض منابع نسبتاً کوچک آفرزش قابل اشتعال است. پلی استایرن منبسط شده در دمای بالای ۱۰۰ درجه سلسیوس به تدریج شروع به نرم شدن می کند و در طی این فرآیند جمع و با افزایش دما ذوب می شود. سرعت جمع شدن و دوری از شعله بستگی به میزان حرارت دارد، به طوری که هر چه شار حرارتی بیشتر باشد، عقب نشینی اسفنج نیز بیشتر است. این موضوع باعث می شود تا برخی اوقات یک منبع اشتعال کوچک (مانند یک شعله کبریت با شار حدود ۲۰-۲۵ کیلووات بر متر مربع) که باعث عقب نشینی سریع اسفنج نمی شود، از یک منبع اشتعال بزرگ خطرناکتر باشد. با افزایش دما، واکنش های تجزیه رخ داده و گازهای حاصله آزاد می شوند. در دمای حدود ۳۶۰ درجه سلسیوس، اسفنج مشتعل می شود. برای پلی استایرن منبسط شده نوع معمولی این اتفاق می تواند حتی بر اثر تماس کوتاه با منابع کوچک حرارتی مانند براده های جوشکاری یا شعله کبریت رخ دهد. پیشروی سطحی شعله روی نوع معمولی سریع است و در صورت دسترسی به اکسیژن کافی در نهایت به طور کامل می سوزد.

پلی استایرن منبسط شده از نوع خودخاموش شو در مدت کوتاهی پس از قرار گرفتن در معرض شعله، جمع شده و ابتدا بدون آفرزش از منبع دور می شود. در صورتی که اسفنج به مدت نسبتاً طولانی در معرض شعله با شار حرارتی کافی قرار گیرد، مشتعل می شود، اما شدت رهایش گرما و سرعت پیشروی شعله روی آن کمتر از نوع معمولی خواهد بود. ضمن اینکه با دور شدن منبع حرارتی از اسفنج، اشتعال آن نیز متوقف شده و به سوختن ادامه نخواهد داد.

آزمایش ها نشان داد که مقادیر دود و منوکسید کربن آزاد شده ناشی از سوختن EPS معمولی بیشتر از انواع کندسوز می باشد. خصوصاً مقدار بیشینه^۱ دود و منوکسید کربن برای نوع معمولی به مراتب بیشتر از نوع کندسوز است. این موضوع نشان می دهد که خطرات ناشی از سوختن EPS نوع معمولی در آتش سوزی ها به مراتب بیشتر است. لازم به ذکر است که اکثر تلفات ناشی از آتش سوزی ها به علت دود و گازهای سمی است و نه حرارت.

۶-۲-۱-۲ ضوابط ایمنی در برابر آتش برای پلی استایرن منبسط شده

بر اساس آزمایش ها و بررسی های انجام شده در مرکز، ضوابط استفاده از پلی استایرن منبسط شده در ساختمان، از نظر ایمنی در برابر آتش به نحو زیر است:

- ۱- پلی استایرن منبسط شده باید مطابق با استانداردهای معتبر از نوع خود خاموش شو باشد.
- توجه ۱: هیچگاه در هیچ سیستم ساختمانی از پلی استایرن منبسط شده نوع معمولی استفاده نشود.



۲- روی بلوک‌های پلی‌استایرن منبسط‌شده باید از داخل و خارج ساختمان به وسیله پوشش مناسب مانند اندود گچی، اندود ماسه سیمان یا تخته گچی محافظت شود. برای طرف خارجی ساختمان لازم است تا پوشش در برابر شرایط جوی نیز مقاوم باشد. استفاده از انواع نما در صورت استفاده از مصالح و روش اجرای مناسب، بلامانع است.

توجه ۲: هیچ سیستم ساختمانی، از پلی‌استایرن منبسط‌شده بدون پوشش محافظت‌کننده، استفاده نشود. حداقل ضخامت قابل قبول برای پوشش‌های داخلی به شرح زیر است:

اندود یا تخته گچی: ۱/۵ سانتی‌متر

اندود ماسه سیمان: ۲/۵ سانتی‌متر

۳- پوشش محافظت‌کننده باید به وسیله سیستم مکانیکی مناسب به دیوار سازه‌ای متصل شود. اتصال مستقیم پوشش به بلوک قابل قبول نیست، زیرا پلی‌استایرن منبسط‌شده به سادگی و به شدت در دماهای کمتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس جمع شده، در نتیجه پوشش محافظ به سادگی دچار ریزش می‌شود و پلی‌استایرن در معرض مستقیم آتش قرار می‌گیرد. برای پوشش نوع اندود باید از توری رابیتس یا شبکه فلزی مناسب استفاده شود. رابیتس یا شبکه باید به وسیله اتصالات مطمئن و با فواصل مناسب به دیوار بتنی متصل گردد. لازم به توضیح است برای سیستم 3D این موضوع با توجه به طرح سیستم، خود به خود تأمین شده است.

۶-۲-۲ مقاومت در برابر آتش

اصولاً مقررات ایمنی در برابر آتش برای ساختمان‌هایی با بیش از ۲ یا ۳ طبقه (تعداد دقیق طبقات و نیز حدود مجاز سطح اشغال بستگی به نوع کاربری دارد) اجازه استفاده از ساختارهای قابل سوختن را نمی‌دهد. لذا اصولاً استفاده از سیستمی که به طور وسیع در آن از پلی‌استایرن منبسط استفاده می‌شود، به غیر از برای ساختمان‌های کوچک توصیه نمی‌شود. با این وجود، با توجه به این که لایه پلی‌استایرن منبسط در این سیستم در نهایت بیشتر نقش عایق حرارتی را دارد و نقش ساختاری خاصی برای آن در نظر گرفته نمی‌شود، در صورت رعایت ضوابط ایمنی در برابر آتش، امکان استفاده از این سیستم در ساختمان‌های کوتاه و بلند مرتبه وجود دارد.

توجه: بحث‌های ارائه شده در این قسمت فقط مربوط به ایمنی در برابر آتش است و مسائل

سازه‌ای را پوشش نمی‌دهد.

۶-۲-۲-۱ ضوابط مقاومت در برابر آتش

برای استفاده از این سیستم به عنوان عنصر سازه‌ای یا جداکننده، نکات زیر حتماً باید رعایت شود:

- مقاومت دیوار در برابر آتش مطابق با مقررات و آیین‌نامه‌های آتش برآورده شود (به آیین‌نامه ۴۴۴ مرکز مراجعه شود).

برای این منظور، باید ضخامت پوشش بتنی به اندازه کافی باشد. به عنوان مثال، مقاومت دو نوع دیوار جداکننده و برابر مطابق با نتایج آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه‌های آتش مالزی و سنگاپور مطابق با استاندارد BS 476 در زیر آورده شده است (جدول ۳). همچنین مقاومت تعدادی از سیستم‌های دیواری 3D مطابق با گواهینامه‌های فنی امریکایی برای تعدادی از شرکت‌های تولیدکننده این سیستم در جدول ۴ ارائه شده است.

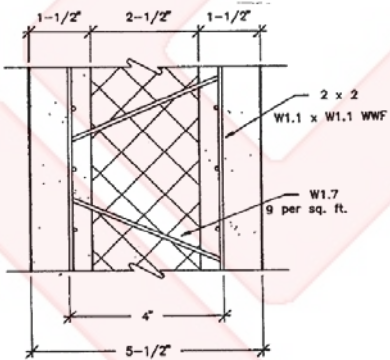
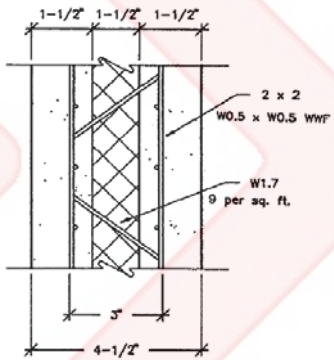
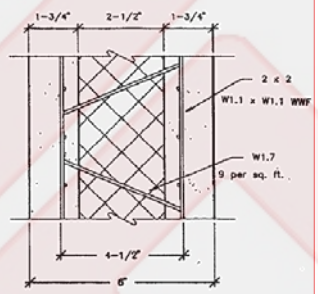
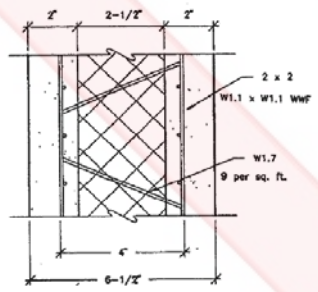
جدول ۳ درجه مقاومت در برابر آتش برای دو نوع دیوار 3D

زمان برآورده شده مقاومت در برابر آتش (دقیقه)		نوع دیوار	ضخامت سیستم (بتن/پلی‌استایرن/بتن)
نارسانایی	یکپارچگی		
۹۰	۹۰	جداکننده	۳۸/۵۰/۳۸
۱۲۵	۱۲۵	برابر	۷۵/۸۰/۷۵

- لایه پلی‌استایرن بین واحدهای مستقل نباید امتداد داشته باشد و حتماً باید به وسیله مصالح غیر قابل سوختن با مقاومت کافی در برابر آتش قطع شود. در شکل ۵۸ لایه پلی‌استایرن به طور پیوسته بین دو واحد مسکونی و دیوار پلکان امتداد یافته، که اشتباه است.
- لایه پلی‌استایرن باید در محل سیستم کف/سقف قطع شود (امتداد نداشته باشد). خصوصاً هرگونه امتداد عمودی لایه پلی‌استایرن در شفت‌های پلکان، آسانسور و سایر شفت‌ها می‌تواند بسیار خطرناک باشد. در شکل ۵۹ نیز پلی‌استایرن در قفسه پلکان (که باید برای فرار از حریق استفاده شود) به طور پیوسته بین چند طبقه امتداد دارد که می‌تواند خطرناک باشد.
- چنانچه هرگونه سوراخ یا گشودگی در دیوار ایجاد شود (مثلاً برای عبور تأسیسات)، گشودگی باید به نحو مناسب، آتش‌بندی شود، به گونه‌ای که درجه مقاومت در برابر آتش دیوار کاهش نیابد و ضمناً لایه پلی‌استایرن منبسط‌شده در برابر آتش کماکان محافظت شود. در شکل ۶۰ نمونه عبور اجزای مکانیکی یا الکتریکی از میان لایه پلی‌استایرن و عبور از گشودگی افقی بدون ایجاد موانع حریق نشان داده شده است که نادرست است.
- بدیهی است که کلیه مقررات ایمنی در برابر آتش مطابق با ضوابط مصوب کشور نیز باید رعایت شوند.



جدول ۴ درجه مقاومت در برابر آتش برای چند نوع دیوار 3D بر اساس یک گواهینامه فنی خارجی

شکل	درجه مقاومت در برابر آتش (ساعت)		نوع پانل
	سنگدانه سیلیسی	سنگدانه کربناتی	
	۱	۱/۵	استاندارد
	۱	۱/۵	حداقل
	۱/۵	۱/۷۵	حداکثر
	۲	۲	پانل با درجه ۲ ساعت



شکل ۵۸ عبور پیوسته افقی



شکل ۵۹ عبور پیوسته قائم



شکل ۶۰ عبور اجزای مکانیکی یا الکتریکی از میان پلی استایرن و از گشودگی افقی بدون ایجاد موانع حریق

فصل هفتم

بررسی عملکرد حرارتی سیستم

مطالعات و بررسی‌های متعددی بر روی انواع سیستم‌های نمای ساندویچی، به صورت کلی، انجام شده‌است [۹]. ولی در مورد دیوارهای سه بعدی، تحقیقات در زمینه عملکرد حرارتی بسیار محدود است. با توجه به کاربرد مصالح مختلف در این سیستم، برای ارزیابی مشخصات حرارتی در حالت‌های مختلف و تعیین ضریب انتقال حرارت سطحی لازم است آزمایش‌ها و محاسبات متعددی صورت گیرد. در این راستا بررسی‌های گسترده‌ای صورت گرفته است، که بخشی بر پایه اندازه‌گیری بر روی نمونه‌های واقعی، و بخشی نیز تلفیق اندازه‌گیری و شبیه‌سازی (محاسبات عددی) است.

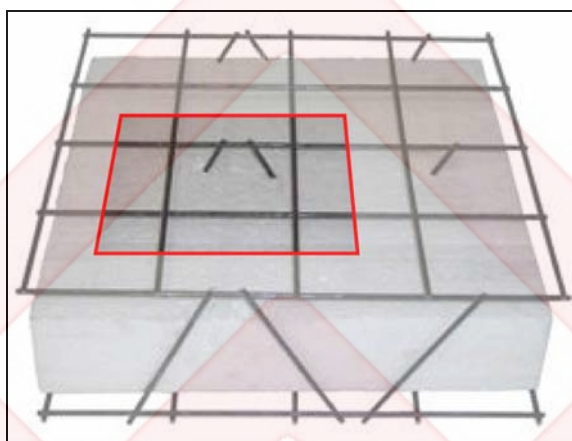
در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن نیز بررسی‌های جامعی در این زمینه انجام گرفته است و مشخصات حرارتی برخی از تولیدات کارخانجات کشور ارزیابی شده‌است. در ادامه، خلاصه‌ای از نتایج به‌دست آمده ارائه می‌شود [۱۰].

۷-۱ ساختار کلی و مشخصات فنی سیستم دیوار

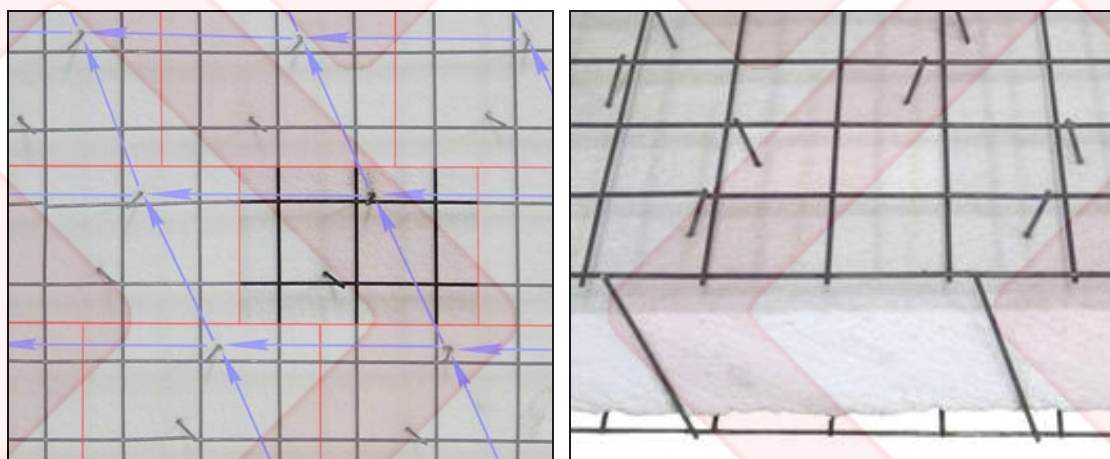
این دیوارها از نظر عملکرد حرارتی به دو نوع تقسیم می‌شوند. لازم به ذکر است تفاوت‌های اصلی بین این دو نوع در نحوه قرارگیری میل‌گردهای مورب است :

نوع اول دارای جانمایی منظم و متقارن میل‌گردهاست. در این حالت، به راحتی می‌توان صفحات متقارن متعددی تعریف کرد که در شبیه‌سازی‌ها به‌عنوان مرزهای آدیاباتیک در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۶۱).

در نوع دوم، هیچ صفحه تقارنی وجود ندارد. میل‌گردهای اریب، در دو ردیف متوالی جهت‌های متفاوتی دارند. با توجه به این وضعیت، در این نوع پانل، برای تعیین ضریب انتقال حرارت با شبیه‌سازی عددی، به‌طور هم‌زمان ۷ مدول در نظر گرفته می‌شود و سهم مدول وسط در پایان محاسبات تفکیک می‌شود (شکل ۶۲).



شکل ۶۱ مقطع پانل نوع اول و مدول پایه در نظر گرفته شده برای شبیه سازی [۱۰]



شکل ۶۲ مقطع پانل نوع دوم و مدول پایه در نظر گرفته شده برای شبیه سازی [۱۰]

پوشش نهایی روی دیوارهای سه بعدی می تواند متنوع باشد [۱۱]. معمولاً برای به حداقل رسانیدن هزینه ها سعی می شود اندود نازکی روی آن اجرا شود، و یا این که مستقیماً رنگ شود.

۲-۷ پژوهش ها و بررسی های انجام شده

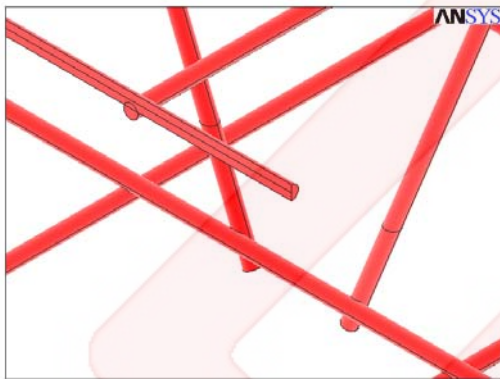
در سیستم دیوار سه بعدی متغیرهای متعددی وجود دارد، و در نتیجه لازم است مطالعات به صورت پارامتریک و با در نظر گرفتن متغیرهای اصلی صورت گیرد. متغیرهای اصلی در این بررسی به شرح زیر هستند:

۱- قطر میلگردهای مورد استفاده

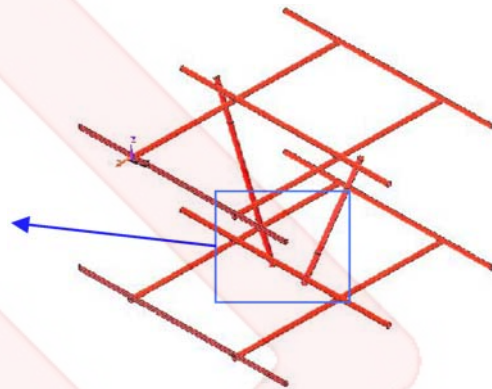
۲- ضخامت عایق حرارتی

۳- مشخصات حرارتی عایق

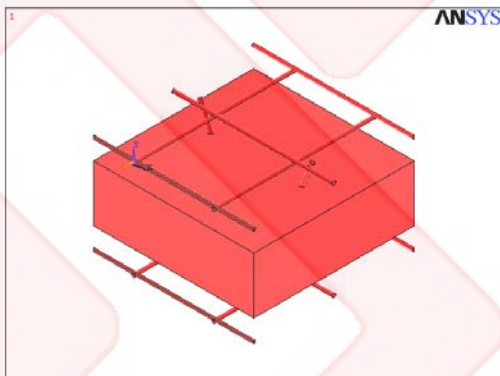
در شکل ۶۳ تا شکل ۶۶ جزییات شبکه فلزی و اتصالات آن در یک مدول پایه ارائه شده است.



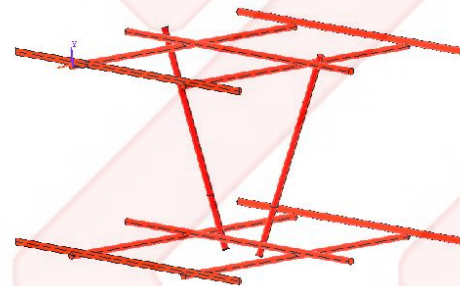
شکل ۶۴ بزرگ‌نمایی قسمتی از میل‌گردها در مرز محدوده مدل‌سازی شد [۱۰]



شکل ۶۳ نمای مدل سه‌بعدی مدل میل‌گردها و عایق حرارتی [۱۰]

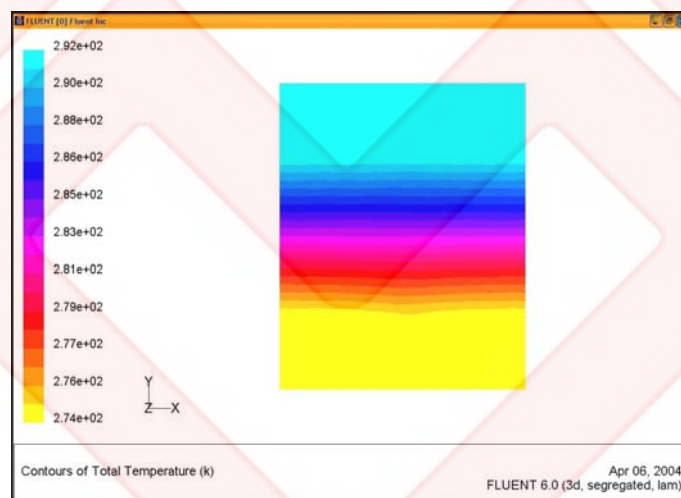


شکل ۶۶ نمای سه‌بعدی مدل میل‌گردها و عایق حرارتی [۱۰]

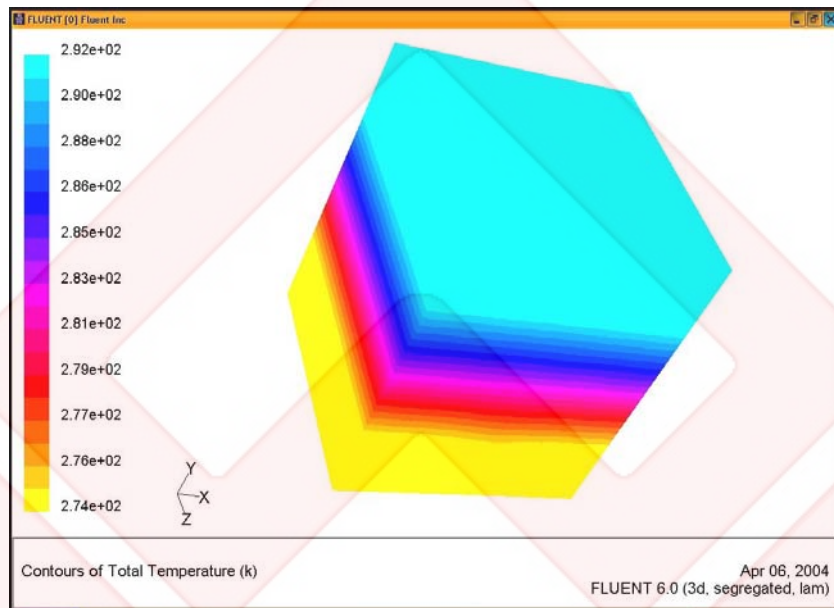


شکل ۶۵ نمای سه‌بعدی مدل میل‌گردها [۱۰]

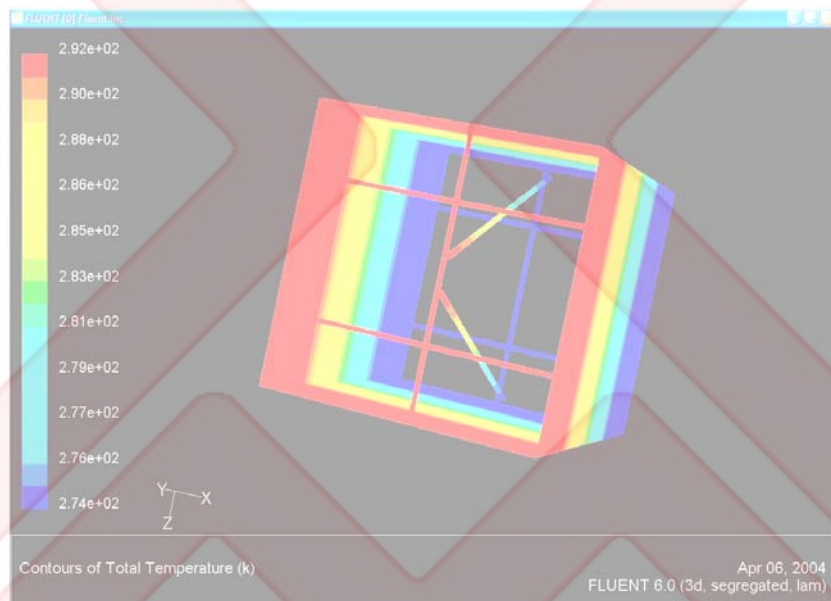
شکل ۶۷ تا شکل ۶۹ تغییرات دما در یک نمونه از موارد را نشان می‌دهد.



شکل ۶۷ نمودار هم‌دمایی در مدل موردنظر (دید از روبه‌رو)



شکل ۶۸ نمودار هم‌دمایی در مدل موردنظر (حالت سه بعدی)



شکل ۶۹ نمودار هم‌دمایی در مدل موردنظر (حالت سه بعدی-دید از بالا)

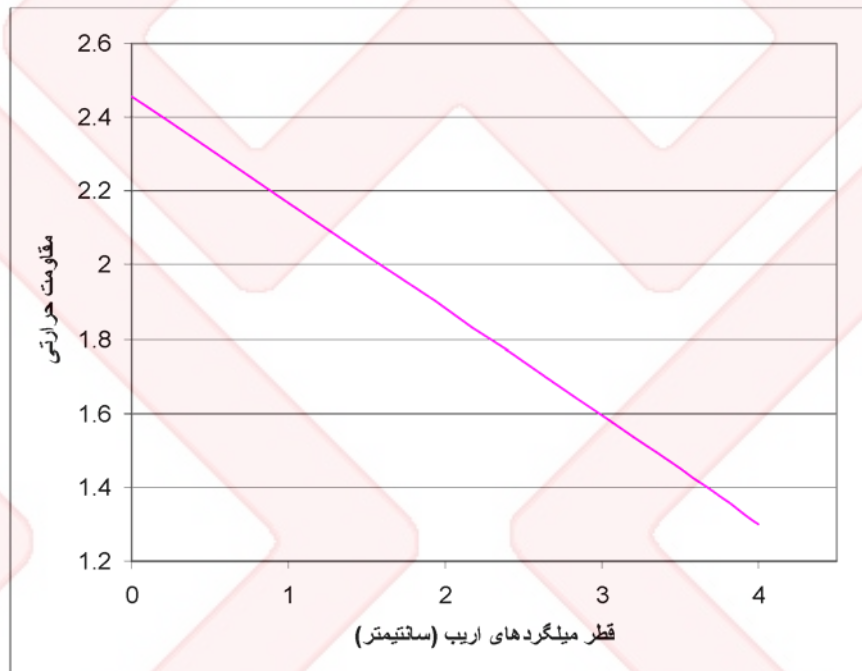
۱-۲-۷ تأثیر عوامل مختلف بر مقاومت حرارتی دیوار

۱-۱-۲-۷ تأثیر قطر میل‌گردهای فولادی

با توجه به این‌که انتقال حرارت بیشتر در جهت میل‌گردهای اریب است، بنابراین، بیشترین تأثیر در مقدار مقاومت حرارتی مدل مربوط به میل‌گردهای اریب است.



شکل ۷۰ نمودار تغییرات مقاومت حرارتی دیوار ($m^2.K/W$) بر حسب قطر میلگردهای اریب است. با توجه به این نمودار، مشخص می‌شود تغییرات مقاومت حرارتی با قطر میلگردها رابطه‌ای تقریباً خطی دارد، و مقاومت حرارتی مدل با قطر کوچکتر ($3/5$ میلی‌متر) به اندازه ۱۰ درصد بهتر از مدل با قطر ۴ میلی‌متر است. نتیجه‌گیری دیگر این است که در صورتی که در سیستم دیوار ساندویچ پانل بتنی 3D میلگردهای اریب ۴ میلی‌متری حذف شوند، مقاومت حرارتی دیوار دو برابر می‌شود [۱۰].



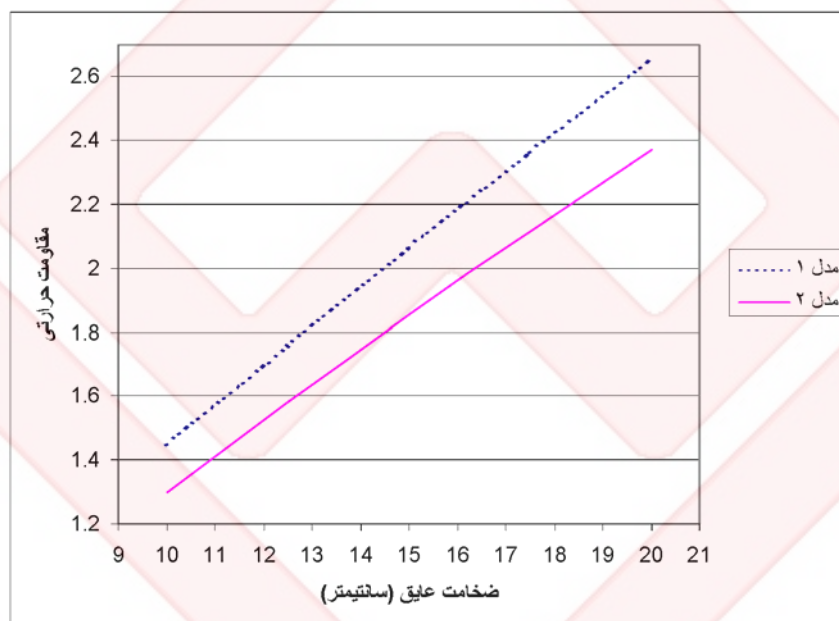
شکل ۷۰ تاثیر قطر میلگردهای اریب [۱۰]

با توجه به تأثیر بالای میلگردهای اریب بر روی مقاومت حرارتی دیوار، بررسی‌های متعددی در دیگر کشورها انجام شده است تا در صورت امکان به جای میلگردهای فولادی از الیاف و میلگردهای شیشه‌ای یا پلیمری برای مسلح‌سازی استفاده شود [۱۲ و ۱۳].

۷-۲-۱-۲ تأثیر ضخامت عایق حرارتی

در بررسی‌ها، ضخامت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ در نظر گرفته شده است. مقادیر در نظر گرفته شده برای ضرایب هدایت حرارت میلگردها و بتن مشابه بخش قبلی هستند. در مورد ضریب هدایت حرارت پلی‌استایرن نیز مراجع معتبر خارجی [۱۴] و همچنین با انجام آزمایش‌ها بر روی تولیدات داخل کشور مبنا قرار گرفته است [۱۰]. در ضمن، در مطالعات جداگانه‌ای، مقاومت‌های دیوار برای ضخامت عایق حرارتی ۵ سانتیمتر تعیین شده است.

نمودار شکل ۷۱ تغییرات مقاومت حرارتی دیوار با ضخامت عایق را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر به دست آمده، این نتیجه به دست می‌آید که تغییرات مقاومت حرارتی نسبت به ضخامت روندی تقریباً خطی دارد.



شکل ۷۱ نمودار تغییرات مقاومت حرارتی بر حسب ضخامت عایق حرارتی [۱۰]

۳-۱-۲-۷ تأثیر مشخصات حرارتی عایق

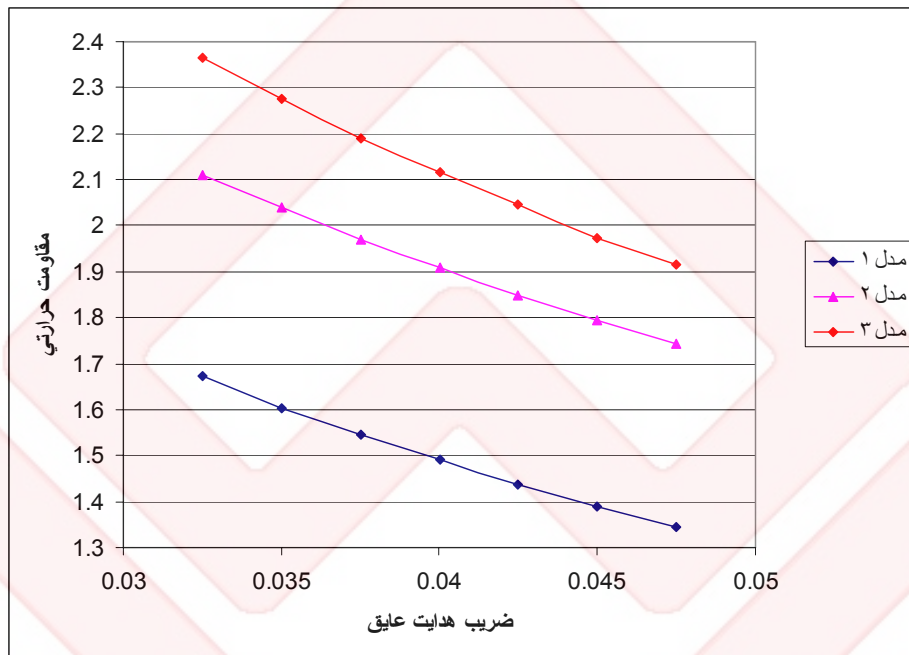
سه مدل با مشخصات ارائه شده در جدول ۶ مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۵ مشخصات مدل‌ها [۱۰]

فاصله میلگردهای شبکه فلزی (سانتی‌متر)	ضخامت بتن پاشیده شده (در هر طرف) (سانتی‌متر)	ضخامت عایق حرارتی (سانتی‌متر)	قطر میلگردهای اریب (میلی‌متر)	قطر میلگردهای شبکه (میلی‌متر)	مدل
۸x۸	۵	۱۰	۳/۵	۳	مدل ۱
۸x۸	۵	۱۵	۴	۴	مدل ۲
۸x۸	۵	۱۵	۳/۵	۳	مدل ۳

نمودار شکل ۷۲ تغییرات مقاومت حرارتی ($m^2.K/W$) با ضریب هدایت حرارت عایق ($W/m.K$) را نشان

می‌دهد.



شکل ۷۲ تغییرات مقاومت حرارتی با ضریب هدایت حرارت عایق [۱۰]

۲-۲-۷ تحلیل نتایج به دست آمده

همان‌گونه که در بخش‌های قبلی مطرح شد، مدل‌های بررسی شده دارای مشخصات کلی به شرح زیر هستند:

جدول ۶ مشخصات مدل‌ها

فاصله میلگردهای شبکه فلزی (سانتیمتر)	ضخامت بتن پاشیده شده (در هر طرف)	قطر میلگردهای اریب (میلی‌متر)	قطر میلگردهای شبکه (میلی‌متر)	مدل
۸x۸	۵	۳/۵	۳	مدل ۱
۸x۸	۵	۴	۴	مدل ۲

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده بر روی چند نمونه از این سیستم، تعیین ضریب هدایت حرارت λ بر حسب چگالی ρ [kg/m³] می‌تواند با استفاده از رابطه زیر به دست آید:

$$\lambda = 0.000076191 \times \rho^2 - 0.003210831 \times \rho + 0.072426413$$



البته، در اینجا باید به این نکته اشاره کرد که این رابطه تنها برای ارزیابی کلی اولیه پیشنهاد می‌شود، زیرا صحت آن تنها در مورد نمونه‌های بررسی‌شده به اثبات رسیده است، و تنها زمانی می‌توان به آن استناد کرد که از صحت آن در مورد تعداد زیادی نمونه اطمینان حاصل شده باشد. از طرف دیگر، با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات پارامتریک، تعیین مقاومت حرارتی دیوار در حالت‌های مختلف، برای مدل‌های ۱ و ۲، برای ضخامت‌ها و ضرایب هدایت مختلف عایق حرارتی، با استفاده از روابط زیر امکان‌پذیر است:

$$R = 0.95 \times 0.54394 \times (0.107 d + 0.2358) \times (-24.436 \lambda + 2.8934) \quad \text{برای مدل ۱:}$$

$$R = 0.95 \times 0.48344 \times (0.1206 d + 0.2474) \times (-29.986 \lambda + 3.325) \quad \text{برای مدل ۲:}$$

که در اینجا R مقاومت حرارتی ($m^2.K/W$)، λ ضریب هدایت بر حسب ($W/m.K$) و d ارتفاع عایق بر حسب سانتی‌متر است.

۳-۷ نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

با استفاده از روابط به دست آمده در بخش‌های قبلی، تعیین مقاومت حرارتی دیوار با در نظر گرفتن ضریب اطمینانی برابر ۱۵ درصد یا بیشتر عملی به نظر می‌رسد. بدیهی است این ضریب اطمینان باعث کاهش مقاومت حرارتی محاسبه‌شده می‌شود. استفاده از روابط به دو صورت می‌تواند صورت گیرد:

- در صورت طراحی با روش کارکردی مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و مشخص بودن ضخامت و مشخصات حرارتی عایق حرارتی، مقاومت حرارتی محاسبه شده و با استفاده از رابطه زیر ضریب انتقال حرارت تعیین می‌شود:

$$U = 1 / (R + 0.17)$$

- در صورت طراحی با روش تجویزی، با مشخص بودن مقاومت حرارتی حداکثر، می‌توان ضخامت حداقل عایق حرارتی را تعیین کرد.

برای مثال، در صورتی که ساختمان مورد طراحی جزو گروه ۲ باشد، و در صورتی که ضریب هدایت حرارت پلی‌استایرن منبسط $0.044 [W/m.K]$ باشد، ضخامت حداقل عایق برای مدل‌های ۱ و ۲ به ترتیب برابر با $18/7$ و $16/9$ سانتی‌متر خواهد بود. البته روشن است که در صورت طراحی به روش کارکردی، ضخامت عایق کمتر از حالت تجویزی خواهد بود، ولی در این حالت ضخامت عایق بستگی به مشخصات دیگر جدارهای پوسته خارجی ساختمان خواهد داشت و نمی‌توان مقاومت حداقلی را برای تمامی ساختمان‌ها که به روش کارکردی طراحی می‌شوند پیشنهاد کرد.

فصل هشتم

بررسی عملکرد آکوستیکی سیستم

در این سیستم، سازه ساختمان با استفاده از پانل‌های دیواری و سقفی 3D ساخته می‌شود. این جدارها باید از نظر صدابندی جوابگوی مقادیر ارائه شده در مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان باشند (جدول ۷). بدین منظور مقادیر صدابندی بعضی از دیوارها ساخته شده با این پانل‌ها در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۷ حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان

نوع ساختمان	عملکرد دیوار	حداقل شاخص کاهش صدای وزن‌یافته (R_w) به دسی‌بل
مسکونی	بین اتاق خواب و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۵
	بین اتاق نشیمن و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۰
	بین آشپزخانه و فضاهای بیرونی ساختمان	۳۵
	بین واحد مسکونی و راهرو عمومی	۳۰
	بین دو واحد مسکونی مجاور	۵۰
هتل	بین اتاق مهمان و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۵
	بین دو اتاق مهمان	۵۰
آموزشی	بین کلاس درس نظری و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۰
	بین کارگاه یا آزمایشگاه و فضاهای بیرونی ساختمان	۳۵
	بین دو کلاس درس نظری	۵۰
بیمارستان‌ها و مراکز بهداشتی و درمانی	بین کلیه اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، زایمان و فضاهای بیرونی ساختمان	۴۵
	بین کلیه اتاق‌های بخش بستری، مراقبت‌های ویژه، زایمان	۵۰
اداری و تجاری	بین اتاق‌ها، مراکز کامپیوتری، سالن‌های عمومی بانک‌ها و فضاهای بیرونی ساختمان	۳۵



جدول ۸ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای 3D

شاخص کاهش صدای ورن یافته R_w (dB)	جزئیات اجرایی	ضخامت کلی (mm)	شرح سیستم
۴۶		۱۲۰	دیوار 3D با پلی استایرن به ضخامت ۴۰ میلیمتر هر طرف ۴۰ میلیمتر بتن و اندود
۴۷		۱۵۰	دیوار 3D با پلی استایرن به ضخامت ۴۰ میلیمتر هر طرف ۵۵ میلیمتر بتن و اندود
۴۸		۱۵۰	دیوار 3D با پلی استایرن به ضخامت ۴۰ میلیمتر یک طرف ۴۰ میلیمتر بتن و اندود طرف دیگر ۷۰ میلیمتر بتن و اندود
۴۳		۱۴۰	دیوار 3D با پلی استایرن به ضخامت ۶۰ میلیمتر هر طرف ۴۰ میلیمتر بتن و اندود
۴۵		۲۰۰	دیوار 3D با پلی استایرن ذوزنقه‌ای به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر هر طرف ۵۰ میلیمتر بتن و اندود

از بررسی نتایج اندازه‌گیری صدابندی هوابرد دیوارهای ساخته شده با پانل‌های دیواری 3D می‌توان نتیجه

گرفت:

- هرچقدر ضخامت پلی استایرن کمتر شود صدابندی افزایش می‌یابد.
- هرچقدر ضخامت بتن پاشیدنی بیشتر شود صدابندی افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج اندازه‌گیری‌های مندرج در جدول فوق و همچنین ضوابط ارائه شده در مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان (جدول ۸)، دیوارهایی که شاخص کاهش صدای وزن یافته " R_w " (در استاندارد ASTM، این شاخص درجه تراگیسیل صدا، "STC" نامیده می‌شود که مقادیر هر دو شاخص تقریباً با هم مساوی است) آن‌ها از ۵۰ دسی‌بل بیشتر است، برای دیوارهای خارجی و دیوار بین واحدهای مستقل در ساختمان‌های مسکونی قابل قبول می‌باشند و دیوارهایی که STC آن از ۴۵ دسی‌بل بیشتر باشد، در ساختمان‌های اداری و نمای ساختمان قابل قبول است.

بررسی نقاط قوت و ضعف سیستم

۹-۱ نقاط ضعف

- در حالت سازه کامل 3D، محدودیت ارتفاع ساختمان و دهانه‌های سقف‌های آن
- دیوار خارجی تمام شده در گروه دیوارهای سنگین قرار می‌گیرد
- دیوار داخلی تمام شده نیز، بر خلاف جداکننده‌های متداول (تیغه گچی یا سفالی) در گروه دیوارهای سنگین قرار می‌گیرد
- ضخامت بالای دیوارهای داخلی در مقایسه با دیگر تیغه‌های متداول
- محدودیت ابعاد بازشوها در حالت سیستم کامل 3D (طبق ضوابط طراحی سقف‌ها و دیوارهای بتن مسلح)
- عدم امکان بازیافت مصالح و استفاده مجدد
- لازمه ارائه آموزش‌های تخصصی لازم برای اجرای بخش‌های مختلف.
- نقش تعیین‌کننده عوامل اجرا در دقت و کیفیت اجرا، به‌ویژه در مورد بتن پاششی
- تعدد نسبی ابزارهای کمکی اجرا (دستگاه شات‌کریت، دوخت میل‌گردها، ...)
- لزوم فراوری مواد و مصالح در کارگاه
- سختی و در بسیاری از موارد (در شرایط اقلیمی حاد) عدم امکان کنترل رواداری‌ها و شرایط عمل‌آوری لایه‌های بتن پاشیده شده
- وجود محدودیت‌های جدی فصلی در اجرا
- سختی کنترل کیفیت، خصوصاً در مورد تعیین ضخامت پوشش‌های بتن روی میل‌گردها
- لازمه انجام بازدیدهای ادواری برای حصول اطمینان از عدم وجود مشکلات خوردگی در پوشش خارجی دیوار
- سختی و در بعضی موارد عدم وجود امکان ایجاد تغییرات در زمان ساخت و در دوره بهره‌برداری



- سختی و در بعضی موارد عدم وجود امکان دسترسی به تأسیسات مکانیکی و برقی در حالت اجرای توکار مدارها
- عدم امکان تعمیر یا جایگزینی قطعات
- لزوم در نظر گرفتن تمهیدات اضافی برای جواب‌گویی به انتظارات در زمینه صدابندی
- لزوم در نظر گرفتن تمهیدات اضافی برای جواب‌گویی به انتظارات در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی
- عدم وجود امکان حذف پل‌های حرارتی به دلیل عملی نبودن پیوستگی لایه عایق حرارتی
- وجود خطر جذب آب و یخ‌بندان لایه بتنی خارجی (در مناطق سردسیر)
- عملکرد ضعیف در محیط‌های مهاجم و خورنده
- عملکرد ضعیف در مناطقی که تغییرات دمای روزانه و فصلی قابل توجه است، به‌خصوص زمانی که ضخامت لایه بتنی خارجی اندک است.
- میزان بالای اتلاف و ضایعات بتن (خصوصاً در حالت پاشش تحت فشار با دستگاه در زیر سقف)

۲-۹ نقاط قوت

- سهولت شکل‌دهی به پانل‌ها برای انطباق آن با طرح‌های معماری.
- ضخامت نسبتاً کمتر دیوارهای خارجی در مقایسه با دیوارهای خارجی متداول. البته در صورتی که برای جواب‌گویی به انتظارات صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ضخامت عایق حرارتی افزایش یابد، ضخامت‌ها تقریباً یکسان خواهد بود.
- در حالت سیستم کامل، ایفای نقش جداکننده و عضو سازه‌ای به‌صورت همزمان
- پیوستگی بین کلیه دیوارها و سقف ساختمان و در نتیجه بازپخش و توزیع مطلوب نیروها در اعضای مختلف سازه
- در حالت سیستم کامل، ایجاد اتصالات خطی در محل تلاقی پانل‌های سقفی به پانل‌های دیواری (به‌جای اتصالات گرهی)، در نتیجه توزیع یکنواخت‌تر نیروهای اعمال شده در اعضای دیواری، و نظارت بیشتر و بهتر بر حسن اجرای اتصالات
- سهولت و سرعت نصب و آماده‌سازی پانل‌ها برای بتن‌پاششی، به دلیل سبکی و محدودیت اقدامات اجرایی
- عدم نیاز به امکانات سنگین نصب
- قابلیت انطباق با شیوه‌های طراحی مدولار
- عدم وجود محدودیت خاص در مورد پرداخت نهایی سطوح و تنوع در نما. البته بهترین توجیه اقتصادی در حالت نمای ساده با رنگ یا خود رنگ است.
- سهولت تأمین مصالح و تجهیزات مورد نیاز در داخل کشور



- وابستگی اندک به فناوری‌های خارجی
- امکان موازی کردن اقدامات اجرایی، با توجه به عدم نیاز به قالب و قالب‌بندی
- امکان کاربرد قطعات چندکاره و تیپ و محدود بودن مصالح و قطعات مورد نیاز
- هوابندی نسبتاً مناسب دیوارهای خارجی ساختمان
- وجود دانش فنی قابل قبول و ضوابط طراحی (سازه، ایمنی در برابر آتش) در مورد ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه
- عدم وجود محدودیت شعاع حمل و مصرف اقتصادی
- اندک بودن احتمال آسیب‌دیدگی قطعات در حمل و نقل

فهرست اشکال

- شکل ۱ مقطع و نمای سه‌بعدی دیوار پانل ساندویچی با اجرای درجا..... ۲
- شکل ۲ ساختمان در حال ساخت با پانل‌های نیمه‌پیش‌ساخته سه‌بعدی..... ۲
- شکل ۳ ساخت شبکه فولادی با جوش نقطه‌ای..... ۳
- شکل ۴ پانل‌های 3D با عایق‌های حرارتی موج‌دار..... ۴
- شکل ۵ نمونه دیوار خارجی ساختمان در حال ساخت با پانل‌های نیمه‌پیش‌ساخته سه‌بعدی..... ۴
- شکل ۶ انواع مختلف قرارگیری میل‌گردهای مورب..... ۵
- شکل ۷ کلاف‌بندی دیوار و سقف پانل سه‌بعدی..... ۵
- شکل ۸ اتصال به فونداسیون با میل‌گرد انتظار..... ۷
- شکل ۹ اتصال به فونداسیون با چسب اپوکسی در فضای خالی غلاف..... ۸
- شکل ۱۰ اجرای اتصال میل‌گردهای مورب با جوش نقطه‌ای دستی..... ۸
- شکل ۱۱ مراحل اجرای پانل در روش قدیمی (با عایق پلی‌یورتان)..... ۹
- شکل ۱۲ مراحل اجرای پانل در روش جدید..... ۹
- شکل ۱۳ اتصال کف به پانل‌ها توسط میل‌گردهای انتظار در فضای بین پلی‌استایرن و شبکه فلزی پانل..... ۱۰
- شکل ۱۴ درگیری و اتصال مقاوم میل‌گردهای ریشه با بتن..... ۱۱
- شکل ۱۵ مهار شبکه فلزی پانل 3D با سیم آرماتوربندی به میل‌گردهای انتظار..... ۱۱
- شکل ۱۶ میل‌گردهای انتظار برای اتصال پانل به سازه فلزی ساختمان..... ۱۲
- شکل ۱۷ اتصال پانل‌های مجاور به یکدیگر..... ۱۲
- شکل ۱۸ کاربرد شبکه فلزی مضاعف، و میل‌گردها برای تقویت اتصال دیوار و سقف..... ۱۳
- شکل ۱۹ کاربرد میل‌گردهای U شکل برای اتصال شناژ به پانل‌ها و خاموت‌بندی شناژ..... ۱۳
- شکل ۲۰ درگیر کردن شبکه‌های دو پانل هم‌جوار با یک نوار شبکه فلزی (به وسیله سیم آرماتوربندی)..... ۱۴
- شکل ۲۱ استفاده از تعدادی میل‌گرد در درزهای اتصال برای دستیابی به صلبیت بیشتر (در دیوارهای مرتفع)..... ۱۴
- شکل ۲۲ شبکه نواری L شکل داخلی برای اتصال سطوح عمودی و افقی به یکدیگر..... ۱۵
- شکل ۲۳ نمونه مقطع افقی، فرم میل‌گردها و نمای کلاف قائم در محل اتصال دو دیوار عمود بر هم..... ۱۵
- شکل ۲۴ جزییات اتصال سه‌دیوار..... ۱۶
- شکل ۲۵ جزییات اتصال سه‌دیوار با شناژ در محل تقاطع و شکل میل‌گردهای مورد استفاده..... ۱۶
- شکل ۲۶ جزییات اتصال چهار دیوار با کلاف در محل تقاطع و شکل میل‌گردهای مورد استفاده..... ۱۷
- شکل ۲۷ جزییات اتصال دیوار و سقف و شکل میل‌گردهای مورد استفاده..... ۱۸
- شکل ۲۸ جزییات اتصال دیوار (گوشه و میانی) و سقف و شکل میل‌گردهای مورد استفاده..... ۱۸



- شکل ۲۹ انواع مختلف پوشش داخلی و خارجی دیوار..... ۱۹
- شکل ۳۰ میل‌گردهای انتظار پیش‌بینی شده در شالوده برای ایجاد اتصال به دیوارها..... ۳۲
- شکل ۳۱ مهارهای جانبی برای استقرار و تثبیت پانل‌ها قبل از بتن‌پاشی..... ۳۲
- شکل ۳۲ مهارهای جانبی در یک ساختمان گرد..... ۳۳
- شکل ۳۳ استفاده از میل‌گردهای تقویتی در بالا و زیر سقف برای دهانه‌های بزرگ..... ۳۳
- شکل ۳۴ اقدامات شمع‌بندی سقف 3D..... ۳۴
- شکل ۳۵ شمع‌بندی انجام‌شده سقف 3D..... ۳۴
- شکل ۳۶ نمونه‌های جزییات مختلف اتصال خرپای سقف و دیوار..... ۳۵
- شکل ۳۷ اجرای تیر تقویتی در محل اتصال دیوار و سقف..... ۳۵
- شکل ۳۸ برش و خروج قسمت پیش‌بینی شده برای بازشو..... ۳۶
- شکل ۳۹ جاگذاری قاب بازشو و تقویت شبکه فلزی..... ۳۶
- شکل ۴۰ تقویت لبه‌ها و گوشه‌های بازشوها..... ۳۷
- شکل ۴۱ مقطع افقی بازشدگی و میل‌گردهای تقویت آن..... ۳۷
- شکل ۴۲ تقویت لبه جان‌پناه..... ۳۸
- شکل ۴۳ خالی کردن محل عبور لوله‌کشی‌های تأسیساتی..... ۳۸
- شکل ۴۴ قطع شبکه فلزی برای عبور مدارها و پوشش مجدد آن..... ۳۹
- شکل ۴۵ قوطی‌ها و ترمینال‌های تأسیسات..... ۳۹
- شکل ۴۶ حذف بخشی از عایق حرارتی برای قرارگیری تأسیسات..... ۴۰
- شکل ۴۷ پاشش بتن عمود بر سطح و از پایین به بالا..... ۴۲
- شکل ۴۸ حمل و تخلیه پانل‌ها در محل کارگاه..... ۴۴
- شکل ۴۹ توزیع تنش و کرنش پانل‌های ساندویچی..... ۴۶
- شکل ۵۰ اتصالات برشی یک‌طرفه..... ۴۶
- شکل ۵۱ اتصالات برشی دو‌طرفه..... ۴۷
- شکل ۵۲ ابزاربندی آزمایش پانل تحت خمش..... ۴۷
- شکل ۵۳ منحنی «بار- تغییرمکان» نمونه تحت خمش..... ۴۸
- شکل ۵۴ ایده عملکرد کامل خرپایی در اتصالات برشی پانل‌های ساندویچی..... ۴۹
- شکل ۵۵ ابزاربندی ساختمان از یک طبقه با مقیاس ۱/۲ توسط مورتاجا..... ۴۹
- شکل ۵۶ نتایج حاصل از آزمایش بصورت منحنی‌های «بار- تغییرمکان» و منحنی تغییرشکل..... ۵۰
- شکل ۵۷ ترک‌های ایجاد شده در ساختمان تحت آزمایش..... ۵۰
- شکل ۵۸ عبور پیوسته افقی..... ۶۰
- شکل ۵۹ عبور پیوسته قائم..... ۶۰
- شکل ۶۰ عبور اجزای مکانیکی یا الکتریکی از میان پلی‌استایرن و از گشودگی افقی بدون ایجاد موانع حریق..... ۶۰



- شکل ۶۱ مقطع پانل نوع اول و مدول پایه در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی [۱۰]..... ۶۲
- شکل ۶۲ مقطع پانل نوع دوم و مدول پایه در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی [۱۰]..... ۶۲
- شکل ۶۳ نمای مدل سه‌بعدی مدل میل‌گردها و عایق حرارتی [۱۰]..... ۶۳
- شکل ۶۴ بزرگ‌نمایی قسمتی از میل‌گردها در مرز محدوده مدل‌سازی شد [۱۰]..... ۶۳
- شکل ۶۵ نمای سه‌بعدی مدل میل‌گردها [۱۰]..... ۶۳
- شکل ۶۶ نمای سه‌بعدی مدل میل‌گردها و عایق حرارتی [۱۰]..... ۶۳
- شکل ۶۷ نمودار هم‌دمایی در مدل موردنظر (دید از روبه‌رو)..... ۶۳
- شکل ۶۸ نمودار هم‌دمایی در مدل موردنظر (حالت سه بعدی)..... ۶۴
- شکل ۶۹ نمودار هم‌دمایی در مدل موردنظر (حالت سه بعدی - دید از بالا)..... ۶۴
- شکل ۷۰ تاثیر قطر میل‌گردهای اریب [۱۰]..... ۶۵
- شکل ۷۱ نمودار تغییرات مقاومت حرارتی بر حسب ضخامت عایق حرارتی [۱۰]..... ۶۶
- شکل ۷۲ تغییرات مقاومت حرارتی با ضریب هدایت حرارت عایق [۱۰]..... ۶۷

فهرست جداول

- جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی EPS در کاربردهای ساختمانی.....۲۶
- جدول ۲ حداکثر مقدار اتلاف ناشی از برگشت بتن پاشی۴۳
- جدول ۳ درجه مقاومت در برابر آتش برای دو نوع دیوار 3D.....۵۸
- جدول ۴ درجه مقاومت در برابر آتش برای چند نوع دیوار 3D بر اساس یک گواهینامه فنی خارجی۵۹
- جدول ۵ مشخصات مدل‌ها [۱۰].....۶۶
- جدول ۶ مشخصات مدل‌ها.....۶۷
- جدول ۷ حداقل شاخص کاهش صدای وزن یافته مورد نیاز برای دیوارها در ساختمان۶۹
- جدول ۸ صدابندی هوابرد چند نمونه از دیوارهای 3D۷۰

مراجع

- 1 Holmberg, A. and Plem, E., "Behavior of Load Bearing Sandwich – type Structures, "Handout No. 49, State Institute for Construction Research, Lund, Sweden, 1965.
- 2 "PCI Design Handbook- Precast and Prestressed Concrete" Third Edition, Precast / Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1985, Chapter 9, pp. 2-22, 55-61.
- 3 15. Jokela, J. and Sarja, A., Development of Reinforcement of Sandwich Façade Element, "Research Note No. 19, VTT-Technical Research Center of Finland, Espoo, 1981.
- 4 Einea. A. "Structural and Thermal Efficiency of Precast Concrete Sandwich Panel System", Ph.D. Dissertation, University of Nebraska-Lincoln, Omaha, Aug. 1992
- 5 Waiel Mourtaja, Faruk Karadogan, Eracan Yukel, Aeper Ilik and Arda Balic "3D Behavior of Shotcreted Light Weight Panel Buildings" 12rd Word Conferecne on Earthquake Engineering, Code Num. 0957.,May. 2001
- 6 باقرزاده، بررسی تحلیلی – تجربی، رفتار سازه ای سیستم پانلهای ساندویچی شاتکریتی، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه امیرکبیر، زمستان ۱۳۷۸، تهران، ایران
- 7 شالچیان، سعید، تعیین تجربی مقاومت، شکل پذیری و استهلاک انرژی در اتصالات مرسوم به 3D پایان نامه دوره کارشناسی ارشد- مهندسی زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۰، تهران، ایران،
- 8 Einea. A., Tadros. M.K., Salmon, D.C, and Culp. T.D., "A New Structural and Thermally Efficient Sandwich Panel System, "PCI Journal, VOL. 39, NO. 4, July – Aug. 1994, pp. 90-101
- 9 Olin, J., Ratvio, J., and Jokela, J., Development of Heat Economy and Construction of Façade Elements," Research Report No. 28, VTT- Technical Research Center of Finland, Espoo, 1984.
- 10 گزارشهای پروژههای "بررسی و ارزیابی مشخصات حرارتی دیوارهای ساخته شده از پانل شرکت های سپ، بانبار و پوما" – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۲-۱۳۸۴
- 11 revêtements applicables sur les murs réalisés à l'aide de procédés à base de blocs coffrages en polystyrène expansé faisant l'objet d'un avis technique, Conditions générales d'emploi et de mise en oeuvre, Commission chargée de formuler des Avis Techniques, groupe spécialisé n° 16 produits et procédés spéciaux pour la maçonnerie, octobre 1995, ISBN 2-86891-039-4
- 12 Wade, T.G., Porter, M.L., and Jacobs, D.R., "Glass- Fiber Composite Connectors for Insulated Concrete Sandwich Walls", Report, Engineering Research Institute, Iowa State University, Ames, 1988.
- 13 Système de liaison et isolation pour panneaux sandwichs (Binding and insulating system for sandwich panels), Thermomass (Construction Systems Marketing), Avis technique 1/99-750, CSTB, Commission chargée de formuler des Avis Techniques, Groupe Spécialisé n° 1, Préfabrication lourde, novembre 200012. "Thermomass Building Systems- Architectural/ Engineering Manual", Composite Technologies Corporation, Ames, IA, 1987.
- 14 Strzepek, W.R., "Overview of Physical Properties of Cellular Thermal Insulations, "Insulation Materials, Testing, and Application, ASTM STP 1030, D. L. MceElory and J. F. Kimpflen, Eds., American Society for Testing and Matericals, Philadelphia, 1990, pp. 121-140.
15. "Behavior of Composite Sandwich Panels", Progress Report, University of Oklahoma, Norman, 1989.



16. Holmberg, A. and Plem, E., "Behavior of Load Bearing Sandwich – type Structures, "Handout No. 49, State Institute for Construction Research, Lund, Sweden, 1965.
17. Hopp, J. and Hermstad, A., and Dilger, W.H., "Time-dependant Analysis of Composite Frames, "Journal of Structural Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 103, No. ST4, April 1977, pp. 871- 884.
18. Gustaferro, A.H., and Martin, L.D., "Design for Fire Resistance of Precast Prestressed Concrete", PCI Fire Committee, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1988.
19. Subcommittee 2, ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures, "Symposium on Effect of Creep, Shrinkage, and Temperature, SP-27, American Concrete Institute, Detroit, 1971.
20. Martin, I., "Effect of Environmental Conditions on Thermal Variations and Shrinkage of Concrete Structures in the United States," SP-27-14, American Concrete Institute, Detroit.
21. ICC Evaluation Service, Legacy Report (on the 1997 UBC), ER-5618, reissued March 1, 2006, Division 03- Concrete, Section: 03370- Specially placed concrete, TridiPanels 3D/EVG, Insteel PanelMex
22. National Evaluation Service (NES), National Evaluation Report, report no NER-454, Jan 1998, ICS-3 Wall Panels, Panel Works, Inc (Panel Mex S.A.),
23. National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, CCMC 12621-R, Evaluation Report, Division 03371, Issued 1994-08-03, Re-Evaluation 2002-03-25, Revised 2002-10-01, Re-evaluation due 2003-08-03, ICS 3-D® Building Panel
24. Jokela, J. and Sarja, A., Development of Reinforcement of Sandwich Façade Element, "Research Note No. 19, VTT-Technical Research Center of Finland, Espoo, 1981.
25. "Architectural Precast Concrete", Precast / Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 1989, pp. 280-286.
26. "Manual for Structural Design of Architectural Precast Concrete Institute, Chicago, IL, 1977, Chapter 6, pp. 1-15.
27. Insteel Construction Systems, Inc., 2610 Sidney Lanier Drive, Brunswick, GA 31520, product information Literature.
28. S.K Ghosh "Earthquake-Resistant Concrete Structures Inelastic Response and Design", ACI SP-127, Library of Congress 1991
29. T. Paulay & M.J. N. Priestly "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building" John Wiley, INC-1 1990
30. Miroru Wakabayashi, "Design Earthquake-Resistant Building" MCGRAW-HILL BOOK COMPANY 1921
31. Insteel Construction Systems, Structural Engineering Bulletin, Department of Housing and Urban Development (Housing-Federal Housing Commissioner), no 1120 rev.1, Feb. 4, 1997 (reviewed Feb. 4, 2000).