بسم الله الرحمن الرحیم

بررسی سبک‌سازی در سیستم‌های نوین ساختمان‌سازی

مجری: سیدسهیل مجیدزمانی

نماینده کارفرما: جناب آقای مهندس شهابی

فهرست مطالب

مقدمه ۶

۱- گزینه های انتخاب سیستم های سازه، سقف و دیوار ۸

۱-۱- سیستم سازه ای ۸

۱-۱-۱-سیستم‌های اسکلت فولادی ۸

۱-۱-۱-۱- قاب فولادی ساده + مهاربندی ۸

۱-۱-۱-۲- قاب خمشی ۸

۱-۱-۱-۳- قاب خمشی + مهاربندی ۹

۱-۱-۲- سیستم های اسکلت بتنی ۹

۱-۱-۲-۱-قاب خمشی ۹

۱-۱-۲-۲-قاب خمشی + دیوار برشی ۱۰

۱-۲-گزینه های انتخاب سیستم سقف ۱۰

۱-۲-۱- سقف‌های تیرچه و بلوک ۱۰

۱-۲-۲- سقف های تیرچه بلوک با بلوک های پلی استایرن ۱۱

۱-۲-۳- سقف مرکب بتن + فولاد ۱۲

۱-۲-۴- دال بتنی دو طرفه ۱۳

۱-۲-۵- دال بتنی نیمه پیش ساخته ۱۴

۱-۲-۶- سقف مجوف بتن مسلح با استفاده از بلوک تو خالی ماندگار از جنس پلی پروپیلن ۱۵

۱-۳-گزینه های انتخاب مصالح دیوار ۱۶

۱-۳-۱- دیوارهای بلوک سفالی ۱۶

۱-۳-۲- پانل ساندویچی موسوم به 3D ۱۷

۱-۳-۳- صفحات روکش دار گچی سبک Gypsum board ۱۷

۱-۳-۴- بلوک های گچی ۱۸

۱-۳-۵-بلوک های بتن سبک AAC ۱۸

۱-۳-۶ پانل‌های دیواری غیرباربر بتنی سبک با دانه‌های پلی‌استایرنی و روکش سیمان الیافی ۱۹

۱-۴- استفاده از بتن سبک در سقف ۲۰

۲- ترکیب گزینه ها ۲۰

۲-۱ اسکلت بتنی ۲۰

۲-۲- اسکلت فولادی ۲۱

۲-۳- انتخاب پلان ساختمان ۲۸

۳- طراحی سازه‌های بتنی ۲۹

۳-۱- نتایج طراحی و نمودارهای مقایسه مدل‌ها ۳۰

۴- طراحی سازه‌های فولادی ۳۵

۴-۱- نتایج طراحی و نمودارهای مقایسه مدل‌ها ۳۶

۴-۲- طراحی و بازرسی جوش در ساختمان های فولادی ۴۳

۴-۲-۱- جوشکاری ۴۴

۴-۲-۲- بازرسی جوش ۴۵

۴-۳ – آزمایش‌های غیر مخرب ۴۸

۴-۳-۱- آزمایش با ذرات مغناطیسی ۴۸

۴-۳-۲- آزمایش با امواج صوتی و یا فرا صوتی ۴۸

۴-۴- ارزیابی بازرسی‌های جوش ۵۸

۴-۵- نتایج مقایسه بازرسی های جوش در مدل های مختلف ۶۰

۵-تحلیل قیمت ها ۶۰

۵-۱- جمع بندی ۶۳

۵-۱-۱- مدل های فولادی ۶۳

۵-۱-۲- مدل های بتنی ۶۴

۵-۲- انتخاب نهایی ۶۵

۶- گزینه‌هائی برای افزایش سرعت اجرای ساختمان ۶۶

۶-۱- گزینه اول ۶۶

۶-۱-۱ پلان معماری ۶۶

۶-۱-۲ تحلیل و طراحی ۶۸

۶-۱-۳ مشخصات اعضای سازه ۷۰

۶-۱-۴ کنترل و طراحی ۷۴

۶-۱-۵ طراحی اتصالات سازه ۷۴
۶-۱-۶ مهاربندی ها و اتصالات مقطع مهاربندها و جوش مهاربند به ورق کمکی ۷۵
۶-۱-۷ طرح سقف مرکب ۷۷
۶-۱-۸- اجزای غیر سازه ای(دیوارها) ۷۹
۶-۲- گزینه دوم ۷۹
۶-۲-۱- پلان معماری بر اساس اصول ساخت آزاد ۷۹
۶-۲-۲- مشخصات ساختمان ۸۳
۶-۲-۳ - طراحی سازه ۸۳
۶-۲-۳-۱- ستون‌های مختلط ۸۴
۶-۲-۳ -۲- تیرهای مختلط ۸۷
۶-۲-۴- مدل هندسی سازهٔ ساختمان ۸۸
۶-۲-۵ - مشخصات سازه طراحی شده ۸۸
۶-۲-۶- اتصالات ۹۰
۶-۲-۷ - پانل های دیواری غیر باربر AAC (Autoclaved Aerated Concrete) ۹۴
۶-۲-۷-۱- فولادگذاری در قطعات پانلی AAC ۹۶
۶-۲-۷-۲- خوردگی فولاد در قطعات AAC ۹۶
۶-۲-۷-۳- جذب آب قطعات AAC ۹۶
۶-۲-۷-۴- نصب پانل‌های دیواری AAC ۹۷
۶-۲-۷-۵- اتصال دیوارها به کف ۹۷
۶-۲-۷-۶ - اتصال دیوارها به سقف ۹۸
۶-۲-۷-۷- نصب تاسیسات برقی و لوله‌کشی ۹۹
۶-۲-۷-۸- پوشش سطوح داخلی ۹۹
۶-۲-۷-۹- پوشش سطوح خارجی ۹۹
۶-۲-۷-۱۰- اتصال پانل‌ها به سازهٔ اصلی ۱۰۰
۶-۳- گزینه سوم ۱۰۴
۶-۳-۱- جزئیات سقف ۱۰۴
۶-۳-۲- مدل هندسی ۱۰۵
۶-۳-۳- مشخصات سازه طراحی شده ۱۰۵

۶-۳-۴ - طرح سقف با پانل های AAC ۱۰۸
۶-۳-۵- طراحی دیافراگم صلب ۱۰۸
۶-۳-۶ - جزئیات اتصال پانل های دیواری غیر باربر AAC ۱۱۱
۶-۴- مقایسه گزینه های ساختمان سریع الاحداث ۱۱۳
۷- مقایسه گزینه های ساختمان سریع الاحداث با گزینه های فولادی متعارف ۱۱۴
۸- نتایج نهائی و توصیه‌ها ۱۱۷
۹- فهرست منابع و مراجع ۱۱۹

مقدمه

ساختمان‌های عمومی کشور دارای کاربری‌های متنوعی مانند اداری ، درمانی و فرهنگی هستند. در این پروژه با توجه به نقش مهم ساختمان‌های دولتی در مجموعهٔ فعالیت‌های روزمرهٔ جامعه و کاربرد آن‌ها در مواقع اضطراری مانند بلایای طبیعی ، مطالعات بر سبک‌سازی ساختمان‌های دولتی به منظور کاهش هزینه‌های احداث و افزایش ایمنی آن‌ها متمرکز می‌گردد. بطور کلی هر ساختمان عمومی مجموعه‌ای از واحدهای عملیاتی و خدماتی است که با دارا بودن طیف گسترده‌ای از سیستم‌های برقی و مکانیکی تعبیه شده در فضاهای متعدد ، در زمرهٔ گونه‌های ساختمانی پیچیده قرار می‌گیرد. ارتباطات متنوع میان بخش‌های مختلف ساختمان و لزوم جابجائی افراد و لوازم کار مابین این بخش‌ها ، شکل‌دهندهٔ فرم و فیزیک ساختمان است. با پیش‌بینی احداث تعداد قابل توجهی ساختمان با عملکرد مشابه ، بهترین نتایج فنی و اقتصادی هنگامی به دست می‌آید که تا حد امکان از ابعاد مدولار و فضاهای تیپ‌بندی شده در طراحی ساختمان استفاده شود. به این ترتیب با منظم شدن و طبقه‌بندی اجزاء ساختمان ، امکان انتخاب مناسب‌ترین مصالح ، اجزا و سیستم‌های ساختمانی از نظر فنی و اجرائی پدید می‌آید.

بنابراین ، برای طراحی ساختمان می‌توان از طرح‌های معماری و سازه هماهنگ و کارآمد توام با نوآوری بهره گرفت و در انتخاب مصالح ساختمانی نیز از مصالح سبک وکارآمد استفاده نمود تا مجموعه ساختمان‌هائی با طراحی زیبا و ایمن و اقتصادی حاصل شود. می توان ترکیب‌های مختلفی از سیستم باربرسازه‌ای ، سیستم باربرکف و تیغه‌های ساختمانی را برای این منظور مورد استفاده قرار داد. هریک از ترکیبات دارای مزایا و معایبی است که در شرایط مشخص هر پروژه می‌تواند منجر به پذیرش یا مردود شدن تعدادی از ترکیبات گردد. یکی‌از پارامترهای عمومی قابل توجه در تمامی طرح های ساختمانی ، میزان مصرف فولاد به عنوان گران‌ترین مصالح سازه‌ای است. در این راستا ، کاهش بار مردهٔ ساختمان در کاهش نیروهای ثقلی وارد بر سازه موثر است و می‌تواند موجب کاهش ابعاد مقاطع سازه‌ای گردد. کاهش وزن قطعات ساختمانی همچنین می‌تواند در سهولت و سرعت اجرای ساختمان موثر باشد. کاهش جرم ساختمان می‌تواند موجب کاهش نیروی وارده بر سازه در هنگام زلزله باشد. از طرف دیگر ، برخی مصالح سبک‌وزن به علت هزینهٔ زیاد و عدم پاسخگوئی به نیازهای فیزیک ساختمان شامل صرفه‌جوئی انرژی ، آسایش صوتی و حرارتی و رفتار خطرناک در برابر حریق می‌توانند نامناسب باشند. همچنین ، توانائی مصالح سبک‌وزن در ایجاد امنیت برای ساکنان ساختمان در برابر خطرات مختلف مانند ورود ناخواستهٔ افراد و اجسام به داخل ساختمان ، مورد سئوال

است. بنابراین برای دستیابی به نتایج کاربردی در طراحی ساختمان با استفاده از فناوری‌های جدید ، لازم است که نقاط قوت و ضعف کاربرد مصالح سبک وزن بررسی شود.

۱-گزینه های انتخاب سیستم های سازه ، سقف و دیوار

در این تحقیق ، ترکیبات مختلف سیستم باربر سازه‌ای ، سیستم باربر سقف و انواع دیوارهای داخلی و پیرامونی مورد بررسی قرار می‌گیرند. مقایسه میان این ترکیبات بر اساس وزن کلی ساختمان ، وزن سازه ، هزینهٔ ساخت و پارامترهای موثر دیگر صورت می‌گیرد.

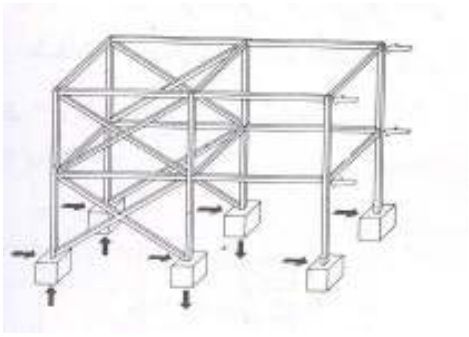
۱-۱- سیستم سازه ای

تحمل بارهای ثقلی و بارهای جانبی وارد بر ساختمان به عهدهٔ سازهٔ آن است. انتخاب نوع سازهٔ ساختمان تبعات مهمی از نظر قیود معماری ساختمان ، میزان مصرف مصالح و هزینه و صعوبت اجرای سازه در بر دارد. سه گروه اصلی اسکلت ساختمانی فولادی و دو گروه اصلی اسکلت بتنی متداول در طراحی سازه ذیلا معرفی می‌شوند.

۱-۱-۱-سیستم‌های اسکلت فولادی

۱-۱-۱-۱- قاب فولادی ساده + مهاربندی

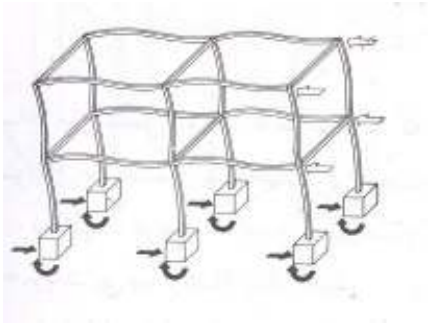
در این قابها فرض می شود اتصالات تیر و ستون بدون گیرداری خمشی قابل توجه هستند. اتصال انتهای تیرها و شاه‌تیرها فقط برای انتقال برش تعبیه شده است و می تواند تحت اثر بار تقریبا آزادانه دوران نماید. سیستم مقاوم در برابر بار جانبی باد یا زلزله، دهانه‌های مهاربندی شدهٔ قابها می باشند(شکل۱). مقاومت در برابر نیروی جانبی بر اثر کشش و فشار در مهاربندها و ستون‌ها و تیرهای متصل به مهاربندی به دست می‌آید.



شکل ۱- قاب فولادی ساده + مهاربندی

۱-۱-۱-۲- قاب خمشی

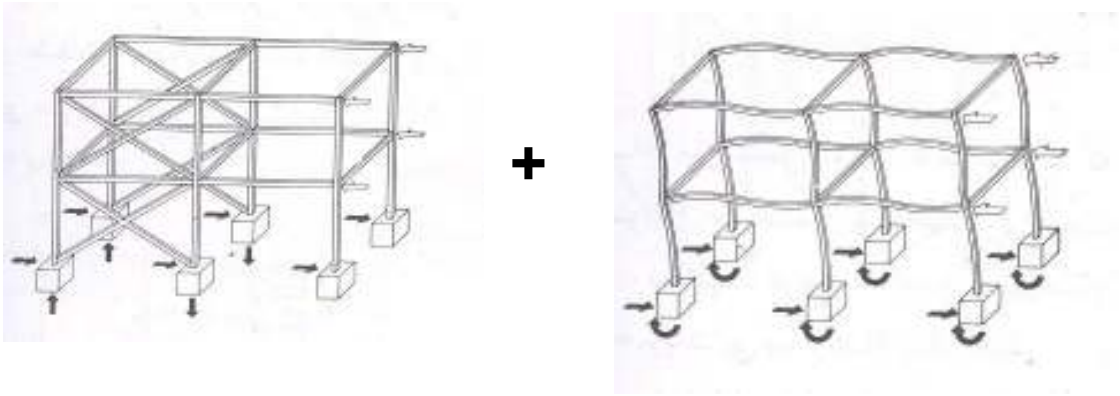
دراین قاب‌ها فرض می شود که اتصالات تیر و ستون به اندازه کافی صلب هستند به طوریکه با تغییر شکل قاب، زاویه قائمه اولیه بین تیر و ستون تقریبا ثابت باقی می‌ماند. مقاومت در مقابل بارهای جانبی عمدتا بر اثر خمش تیرها و ستون‌ها حاصل می‌شود (شکل۲).



شکل ۲- قاب خمشی

۱-۱-۱-۳- قاب خمشی + مهاربندی

در این سازه از ترکیب دو سیستم قاب خمشی و مهاربندی استفاده می شود. مطابق آئین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله[۱] این سیستم، سیستم دوگانه یا ترکیبی نامیده می شود. در این سیستم، مقاومت در مقابل بارهای جانبی ناشی از ترکیب عملکرد قاب‌های خمشی و مهاربندی‌ها می‌باشد.



شکل ۳- قاب خمشی + مهاربندی

۱-۱-۲- سیستم های اسکلت بتنی

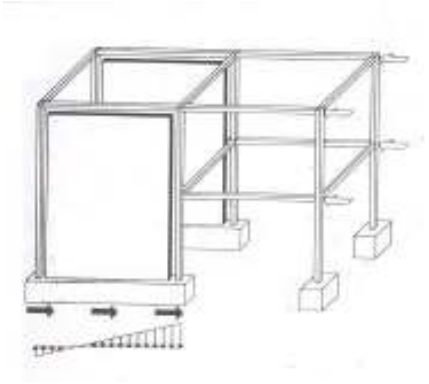
۱-۱-۲-۱- قاب خمشی

استفاده از قاب خمشی به عنوان عنصر مقاوم در برابر نیروهای جانبی به خصوص اگر نیروهای جانبی در اثر زلزله باشند احتیاج به رعایت جزییات خاصی دارد که شکل پذیری کافی قاب را تامین نماید.

۱-۱-۲-۲- قاب خمشی + دیوار برشی

در این ساختمانها از ترکیب دو سیستم قاب خمشی و دیوار برشی استفاده می شود. دستگاه مقاوم در مقابل بارهـای جـانبی ترکیب قابهای خمشی و دیوار برشی می باشد (شکل۴) . دیوار برشی دیواری است که برای مقاومت در برابر اثر توام تلاش محوری ، تلاش خمشی و تلاش برشی ناشی از بار های قائم و بار زلزله طراحی می گردد.

دیوارهای برشی را در قسمت‌های مختلف پلان با توجه به ملاحظات معماری می‌توان قرار داد . لیکن باید دقـت کـافی بـه عمل آید که قرارگیری آن در پلان تا حد امکان متقارن باشد و مرکز ثقل هر طبقه در حوالی مرکز صلبیت دیوارهای برشی باشد .



شکل ۴- قاب خمشی + دیوار برشی

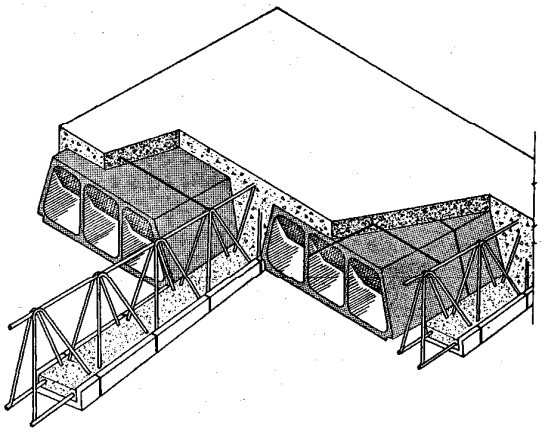
۱-۲-گزینه های انتخاب سیستم سقف

در این زمینه استفاده ازانواع سقف‌های متداول مد نظر است. امروزه در ایران استفاده از سقف‌های تیرچه بلوک رواج دارد، لذا اولین انتخاب این نوع سقف بوده است. استفاده از بلوک‌های پلی استایرین در سقف‌های تیرچه بلوک نیـز طـی دهـهٔ اخیـر بسیار رایج شده است ، لذا این سقف نیز جهت بررسی انتخاب شده است . سقف‌های سبک مرکب بتن و فولاد نیز به عنوان یکی دیگر از سقف‌های متداول انتخاب شده‌اند. در زیر مختصرا به مشخصات این سقف ها پرداخته می‌شود.

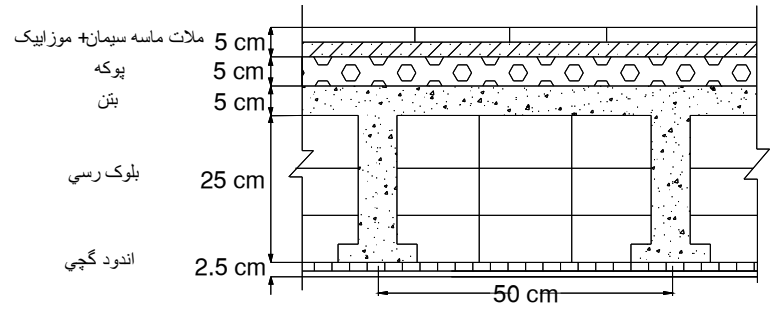
۱-۲-۱- سقف‌های تیرچه و بلوک

در سقف تیرچه بلوک از بلوک‌ها به عنوان قالب دائمی برای قالب بندی گونه جان تیر T شکل و هم چنین قالب بندی بتن درجا استفاده می‌شود و بلوک‌ها به عنوان قالب های دائمی و مصالح پر کننده محسوب می‌شوند (شـکل‌هـای ۵ و ۶). ایـن بلوک‌ها باید قادر به تحمل ضربه‌های ناشی از حمل و نقل مصالح و نیروهای ناشی از بتن‌ریزی باشند. لازم به ذکر است که بلوک ها در محاسبات مقاومت سقف به حساب نمی‌آیند.[۲]

بلوک ها انواع متفاوتی دارند که در ایران بلوک‌های سفالی کاربرد بیشتری دارند.



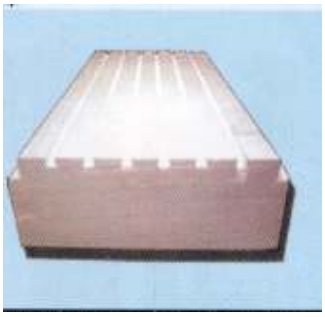
شکل ۵- نمای اجزاء متشکلهٔ سقف تیرچه و بلوک



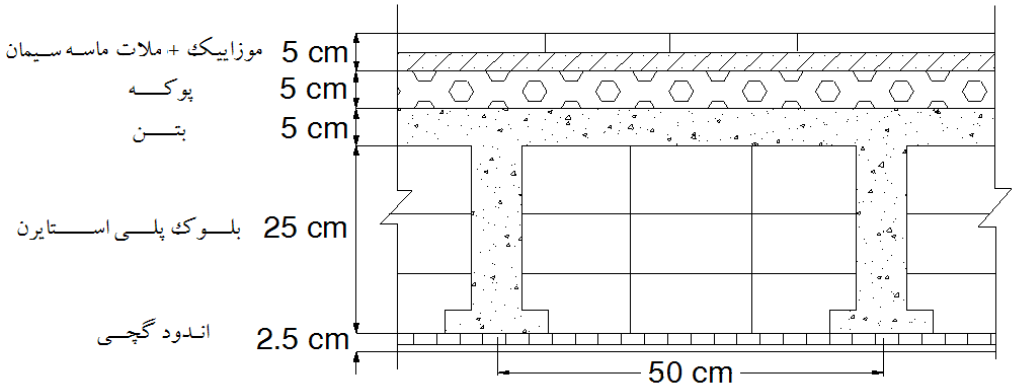
شکل ۶- جزئیات یک سقف تیرچه بلوک

۱-۲-۲- سقف های تیرچه بلوک با بلوک های پلی استایرن

به دلیل آن که در اجرای سقف‌های تیرچه بلوک، بلوک‌ها نقش قالب را دارند و باری تحمل نمی کنند، ایده استفاده از مصالح سبک تر برای بلوک‌ها مطرح شده است. بلوک‌های پلی استایرن سقفی که از مواد اولیه به نام EPS(Expaneded Polystyrene) در کارخانه تولید می شوند یکی ازاین مصالح می باشند. این بلوک‌ها براساس نوع مواد اولیه مصرفی به دو صورت کند سوز (Fire retarded) و قابل اشتغال تولید می‌شوند (شکل۷) . مطابق ضوابط فنی پیشنهادی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن [۳] برای استفاده از بلوک‌های سقفی پلی‌استایرن منبسط شده در ساختمان تنها انواع کند سوز مجاز می باشد. حداقل مقاومت بلوک‌های تولیدی در برابر بارهای حین اجرا باید برابر با ۲۰۰ کیلو گرم به ازای هر ۳۰ سانتی متر طول بلوک باشد. وزن این بلوک ها بین ۴ تا ۵ کیلوگرم بر متر مربع از وزن سقف را تشکیل می‌دهد. در استفاده از این مصالح باید کلیه موارد مندرج در ضوابط مربوط رعایت گردد.



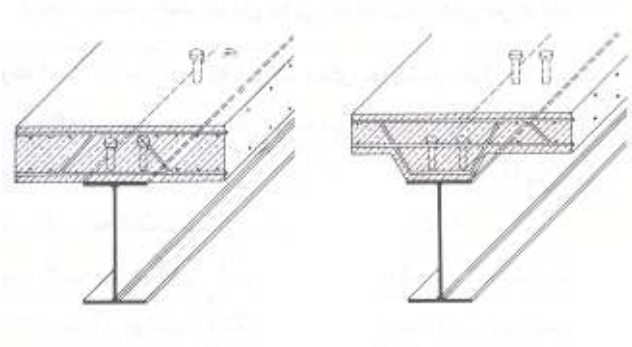
شکل ۷- بلوک پلی‌استایرن



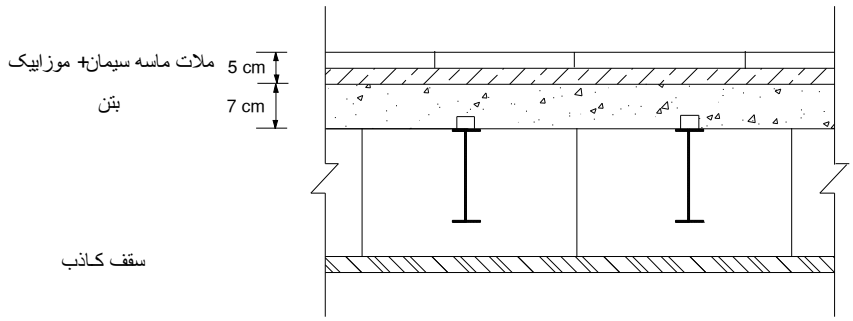
شکل ۸- جزئیات سقف تیرچه بلوک (پلی‌استایرن)

۱-۲-۳- سقف مرکب بتن + فولاد

با استفاده از اتصالات برشی مناسب می توان دال بتنی را به بال فوقانی تیرها و شاه‌تیرهای فولادی زیر دال متصل نمود. این عمل موجب می‌شود که دال بتنی با تیر فولادی تشکیل سقف مرکبی بدهند که دارای سختی و مقاومت خمشی بیشتری نسبت به هریک از دو جزء تشکیل دهنده می باشد. استفاده از این نیمرخ های مرکب برای سقف سازه‌ای امروزه در ایران رایج شده است.



شکل ۹- نمای سقف مرکب بتن + فولاد



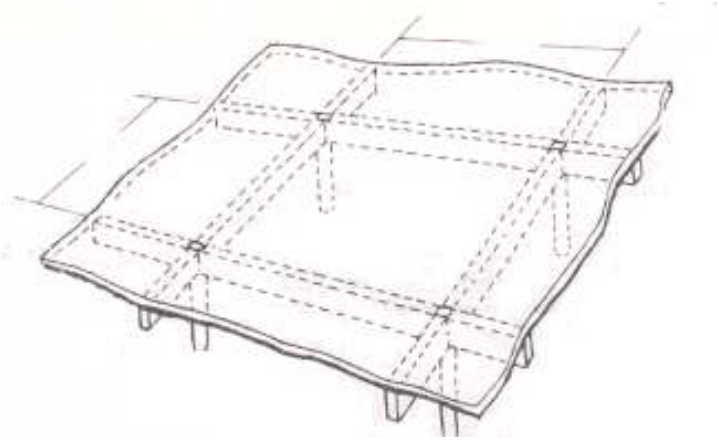
شکل ۱۰- جزئیات سقف مرکب بتن و فولاد

۱-۲-۴- دال بتنی دو طرفه

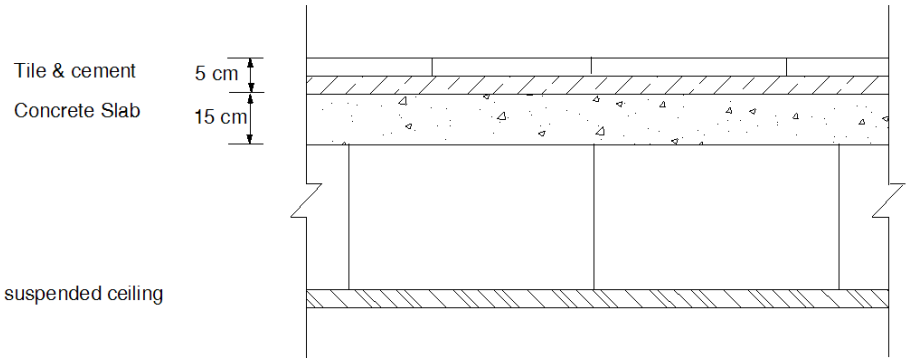
وظیفه دال در یک سازه بتن مسلح ایجاد یک سطح تخت قابل استفاده می باشد .دال بتن مسلح غالبا دارای ضخامت ثابتی است و می تواند روی تیر های بتنی و فولادی ، دیوار بتن مسلح و غیر مسلح و بنایی ، ستون های بتن مسلح و فولادی و بالاخره بستر زمین تکیه داشته باشد.

در دالهای دو طرفه بارهای وارده بر دال توسط دو گروه نوارهای عمود بر هم حمل شده و بر تیرهای چهار طرف منتقل می‌شود (شکل۱۱) .

در تحقیق حاضر ، این نوع سقف در مدل های دارای سازۀ بتنی به کار برده شده است .



شکل ۱۱- نمای دال بتنی دو طرفه

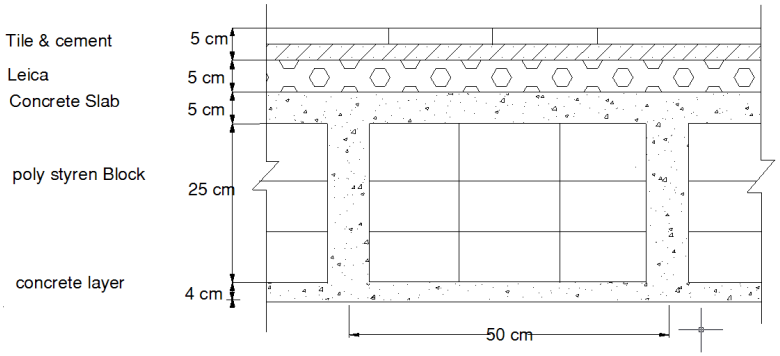


شکل ۱۲ – جزییات دال بتنی دو طرفه

۱-۲-۵- دال بتنی نیمه پیش ساخته

این سقف ها به صورت نبمه پیش ساخته هستند و سیستم توزیع بار در این گونه سقف ها همانند سقف های تیرچه بلوک به صورت دال یک طرفه همراه با تیرچه هایی در فواصل مساوی می باشد (شکل ۱۳). با این تفاوت که در این سقف تیرچه ها در داخل یک دال عریض بتنی به ضخامت ۴ سانتی متری در فواصل مساوی تعبیه میگردند .پس از نصب این دال های بتنی که در کارگاه پیش سازی می شوند ، فواصل بین تیرچه ها با بلوک های پلی استایرن پر شده و آرماتور حرارتی اجرا می گردد. سپس بتن ریزی نهایی به ضخامت ۵ سانتی متر انجام می گیرد.

الف – نمای دال بتنی نیمه پیش ساخته



ب – جزییات مقطع دال

شکل ۱۳– دال بتنی نیمه پیش ساخته

۱-۲-۶ سقف مجوف بتن مسلح با استفاده از بلوک تو خالی ماندگار از جنس پلی پروپیلن

سقف‌های مجوف بتن مسلح، از دولایه بتن مسلح تشکیل شده است که در بالا و پائین دال و بطور گسترده قرار می‌گیرند . در حدفاصل این دو لایه مکعب‌های پرکننده‌ای از جنس پلی‌اتیلن به نام تجاری U-Boot ، تعبیه می‌شوند (شکل ۱۴). این محصول همانند بلوک‌های سفالی یا پلی استایرنی دارای هندسه‌ای مکعبی اما مجوف می‌باشد که با توجه به نیاز پروژه و محاسبات طراحی، ابعاد مختلفی دارند.

در روند اجرای دال‌های مجوف با استفاده از U-Boot، پس از آرماتورگذاری لایهٔ زیرین، مکعب‌های مجوف بطور منظم روی شبکه آرماتور زیرین قرار گرفته و پس از قرارگیری آرماتورهای برشی میانی و همچنین آرماتوربندی لایهٔ فوقانی، بتن‌روئی ریخته می‌شود. در نهایت مقطع دال در هر دو جهت پلان به صورت I شکل در آمده و به دلیل وزن کمتر ، عملکرد بهتری نسبت به مقطع مستطیل توپر خواهد داشت.

از مزایای این دال ، عدم حضور تیر در دال بتنی می‌باشد که البته با توجه به نیاز طراحی، ممکن است تمهیدات خاصی برای تأمین تیرهای پنهان انجام شود.

همچنین از آن‌جا که در برخی از پروژه‌های بزرگ، تامین فواصل زیاد ستون‌ها و دهانه‌های بزرگ برای ساخت پارکینگ و یا عملکرد مناسب سازهٔ ساختمان ضروری است، می‌توان این سقف را به عنوان گزینه مناسبی برای کاربرد در چنین پروژه‌هائی معرفی کرد.

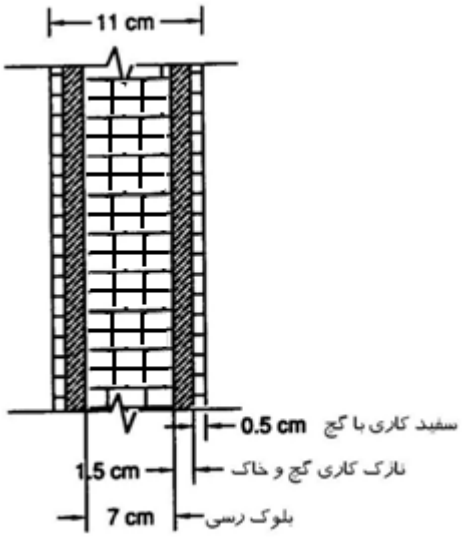
نکتهٔ مهم دیگر در مورد این سقف‌ها امکان اجرای تأسیسات و تامین دسترسی به آن‌ها با بهره‌گیری از فضای مجوف بلوک‌ها است که بنا به نیاز پروژه و نظر طراح صورت می‌گیرد.

شکل ۱۴– نمای سقف بتنی حاوی مکعب‌های U-boot

۱-۳-گزینه های انتخاب مصالح دیوار

۱-۳-۱- دیوارهای بلوک سفالی

استفاده از بلوک‌های سفالی به همراه ملات به دلیل سبکی و سهولت اجرا به عنوان مصالح دیوار در ایران مطرح بوده است و در حال حاضر نیز یکی از رایج ترین مصالح مورد استفاده است. جزئیات دیوار مفروض در این مطالعات در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

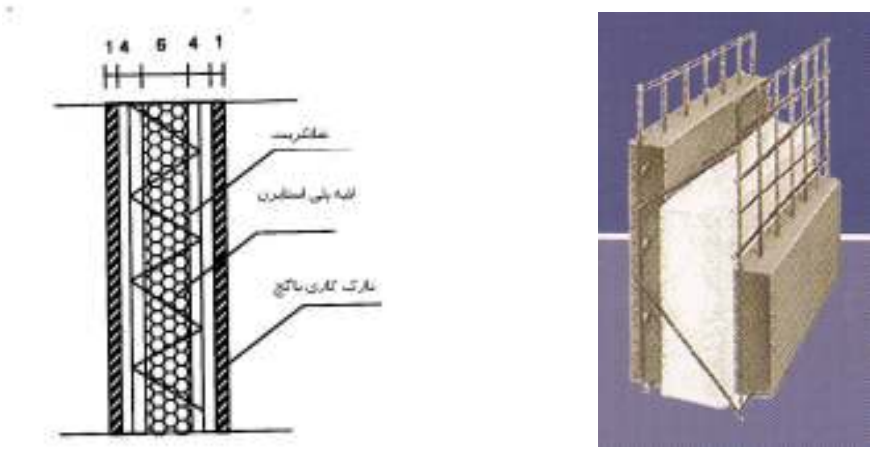


شکل ۱۵– جزئیات دیوار بنائی با بلوک

۱-۳-۲- پانل ساندویچی موسوم به 3D

این پانل‌ها شامل دو شبکه جوش شده فولادی می باشند که یک لایه عایق پلی استایرن در میان آنها قرارگرفته است و توسط تعدادی اعضای خرپائی به یکدیگر متصل شده اند (شکل ۱۶). در طرفین لایه پلی استایرن بر روی شبکه فولادی بتن پاشی انجام می شود.

مدول عرض پانل‌ها ۱۲۰ سانتی متر می باشد و بسته به کاربردهای متفاوت ،طول و ضخامت های مختلف دارند. پانل ها پس از استقرار در محل خود در پلان و تکمیل میلگرد گذاری ، بتن پاشی می شوند. ضخامت لایه پلی‌استایرین حداقل ۴ سانتی متر و فاصله دو شبکه از یکدیگر ۱۰ سانتی متر می باشند. هم چنین قطر اعضای خرپایی دراین پانل ها ۳/۵ میلی متر است. ضخامت بتن شاتکریتی ۴ سانتی‌متر در هر طرف دیوار است. [۴]

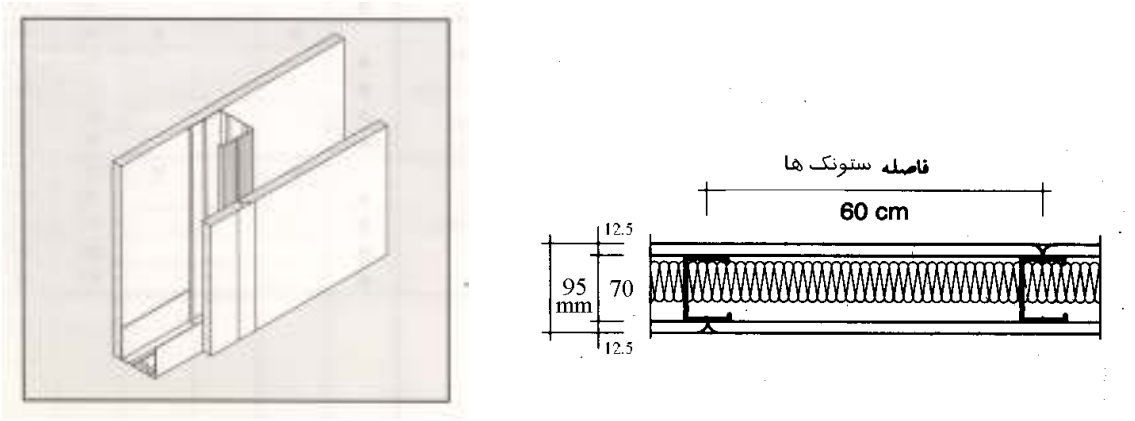


شکل ۱۶- جزئیات مقطع پانل ساندویچی 3D

۱-۳-۳- صفحات روکش دار گچی سبک Gypsum board

یکی از مصالح متداول در دنیا برای اجرای دیوارهای جداکننده خشک ، پانل های گچی می باشد. این نوع دیوارها به صورت گسترده‌ای در سازه‌های بلند رایج است، هر چند در ساختمانهای مسکونی کوچک کمتر مورد استفاده قرارمی‌گیرد. این سیستم با نام پانل گچی خشک Dry wall در ایران شناخته می‌شود (شکل ۱۷).

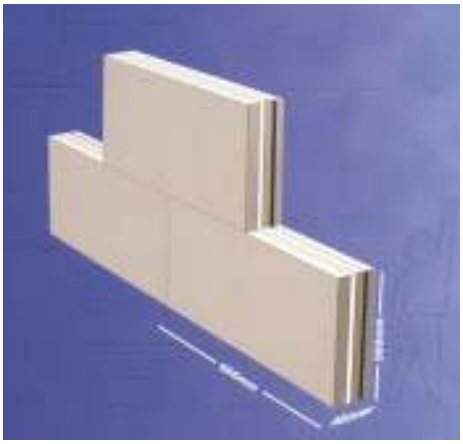
در ایران این پانل ها بر اساس استاندارد DIN 18183 با ضخامت های ۱۸،۱۵،۱۲،۵ میلی متری و به صورت یک لایه یا دو لایه تهیه می شوند. وزن تقریبی این نوع دیوارها $۲۵kg/m^2$ می‌باشد[۵] .

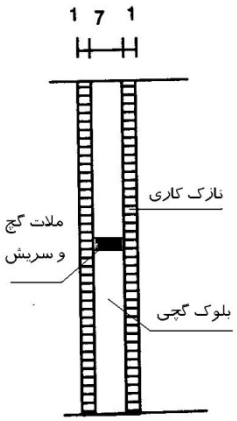


شکل ۱۷- جزئیات مقطع یک دیوار خشک با استفاده از پانل گچی

۱-۳-۴- بلوک های گچی

بلوک‌های گچی از انواع مصالح قابل کاربرد در دیوارهای جداکننده می باشندکه امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این بلوک ها با ابعاد تقریبی ۶۶/۶×۵۰ سانتی متر با ضخامت های ۸ تا ۱۰ میلی متر در ایران تولید می شوند. وزن تقریبی این بلوک‌ها ۲۰ تا ۲۴ کیلو گرم می باشد. مناسب ترین ملات برای این بلوک‌ها ملات گچ می‌باشد ولی به دلیل اینکه گیرش ملات گچ بسیار پائین است به ازای هر ۵۰ کیلوگرم گچ نرم و الک شده، حدود یک کیلوگرم پودر چسب سریش به گچ اضافه می شود.





شکل ۱۸- جزئیات اجرای دیوار با پانل گچی

۱-۳-۵-بلوک های بتن سبک AAC

بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) از افزودن پودر آلومینیوم به مخلوط سیمان پرتلند و سنگدانه یا مخلوط سیمان پرتلند ،آهک زنده و سنگدانه تشکیل می شود. جرم ویژهٔ بلوک‌های AAC در حدود ۴۵۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد .

مقاومت حرارتی این بلوک ها ۱۰ برابر بلوک های معمولی است . این بلوک‌ها بزرگ ، سبک و دارای سطح تختی هستند که اسفنجی با سوراخ های ریز به نظر می‌آید. از ماستیک یا یک ملات نازک برای ساخت دیوار با این بلوک‌ها استفاده می شود .این بتن ها به راحتی اره می شوند و میخ به آسانی در آنها فرو می رود.

دیوار بتنی توپر با بتن سبک با ضخامت حدود ۷ سانتی متر ، یک ساعت مقاومت در برابر آتش و با ضخامتی حدود ۱۰ سانتی متر، ۲ ساعت مقاومت در برابر آتش را تامین می کند .

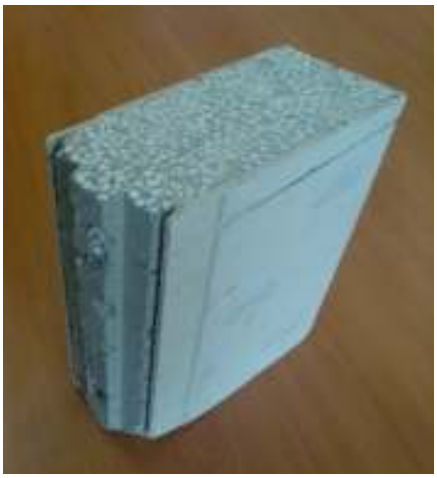
شکل ۱۹- بلوک‌های AAC

بر اساس نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی ، صدابندی دیوار ساخته شده با بلوک های بتنی هوادار اتوکلاوی ، برای جداکننده‌های داخلی ، دیوارهای بین واحدها و دیوارهای نما در تمامی ساختمان‌ها اعم از مسکونی ، هتل یا بیمارستان در حد مجاز قابل تامین است . به عنوان مثال ، دیوار ساخته شده با بلوک‌های AAC با مقاومت فشاری ۴ مگاپاسکال و ضخامت ۲۰ سانتی‌متر می‌تواند ۴۷ دسی‌بل افت صدای هوابرد ایجاد کند.

۱-۳-۶ پانل‌های دیواری غیرباربر بتنی سبک با دانه‌های پلی‌استایرنی و روکش سیمان الیافی

پانل‌های دیوار بتنی سبک با دانه‌های پلی‌استایرنی و روکش سیمان الیافی متشکل از یک لایه بتن سبک فومی میانی و دو لایه روکش سیمان الیافی در طرفین می‌باشد که از سبکی و مقاومت خوبی برای کاربرد به عنوان تیغهٔ ساختمانی برخوردار است. این پانل‌ها به کمک نبشی‌ها و ناودانی‌های فلزی نصب شده روی کف و سقف، به سازه متصل می‌شوند. ابعاد این پانل‌ها ۳ متر ارتفاع و ۰/۶ متر عرض می‌باشد و در ضخامت‌های مختلف تولید می‌شوند. وزن هر متر مربع این پانل‌ها تقریباً بین ۴۰ تا ۶۰ کیلوگرم بر متر مربع است. اتصال پانل‌های کناری به یکدیگر به کمک کام و زبانه‌های تعبیه شده در لبه طولی پانل انجام می‌شود.

از مزایای این پانلها به سرعت نصب بالا و عدم نیاز به گچ و خاک و نازک کاری آنها می توان اشاره کرد.



شکل ۲۰- پانل بتنی سبک با دانه‌های پلی‌استایرنی و روکش سیمان الیافی

۱-۴- استفاده از بتن سبک در سقف

از اجزای اصلی تشکیل دهنده همه ساختمان‌ها سقف‌ها هستند. انواع سقف‌های متداول مورد بحث در این تحقیق ، همگی دارای لایه‌ای از بتن رویه می‌باشند. وزن مخصوص بتن به صورت متداول $۲۴۰۰ kg/m^3$ می‌باشد. با استفاده از شیوه‌های مناسب طرح اختلاط می‌توان این وزن را تا حدود $۱۵۰۰ kg/m^3$ ضمن حفظ مقاومت بتن در محدوده قابل قبول تقلیل داد. بدینوسیله می توان در سبک‌تر کردن سقف ها گام موثری برداشت. لذا یکی دیگر از گزینه‌هایی که در مدل‌های ساختمان های فولادی استفاده شده است، استفاده از بتن سقف با وزن مخصوص $۱۵۰۰ kg/m^3$ می‌باشد.

۲- ترکیب گزینه ها

با ترکیب گزینه‌های مختلفی که در بخش ۱ ارایه شده است، مدل های مختلفی به دست آمده است . هر کدام از ترکیبات دارای مزایا و معایبی است که در شرایط مشخص هر پروژه می‌تواند منجر به پذیرش یا مردود شدن آن گردد. ترکیبات به دست آمده در دو گروه اصلی دارای اسکلت بتنی و فولادی در جداول جداگانه برای مقایسهٔ پارامتر های مختلف تنظیم شده اند . مدل های ساخته شده به شرح زیر معرفی می شوند .

۲-۱ اسکلت بتنی

سیستم های سازه ای شامل:

۱. قاب خمشی
۲. قاب خمشی + دیوار برشی

سیستم‌های سقف شامل :

۱. تیرچه و بلوک سفالی
۲. تیرچه و بلوک پلی استایرن
۳. دال دو طرفه
۴. دال بتنی نیمه پیش ساخته

انواع دیوار شامل :

۱. آجر سفالی
۲. پانل های ساندویچی
۳. Dry wall
۴. بلوک های گچی
۵. بلوک بتن سبک AAC

مجموع مدل ها = ۳۴ مدل (بلوک‌های بتنی سبک AAC تنها در ترکیب با سیستم قاب خمشی + دیوار برشی و سقف دال بتنی دو طرفه در مدل‌های cw- ۱۷ و cw- ۱۸ بررسی شده‌اند).

۲-۲ اسکلت فولادی

سیستم‌های سازه‌ای شامل :

۱. قاب ساختمانی ساده + مهاربند
۲. قاب خمشی
۳. قاب خمشی + مهاربند

سیستم‌های سقف شامل :

۱. تیرچه و بلوک سفالی
۲. تیرچه و بلوک پلی استایرن
۳. سقف مرکب

انواع دیوار شامل :

۱. آجر سفالی
۲. پانل های ساندویچی

۳. Dry wall
۴. بلوک های گچی
۵. بلوک بتن سبک AAC

مجموع مدل ها =۷۴ مدل (بلوک های بتنی سبک AAC تنها در ترکیب با سیستم قاب خمشی + مهاربند و سقف های تیرچه بلوک پلی‌استایرن بررسی شده‌اند).

جداول ۱ الی ۵ نمایشگر مشخصات مدل های تحلیلی می باشند.

جدول ۱- مشخصات مدل های دارای سیستم باربر قاب خمشی بتنی

شماره ترکیب	سیستم سازه ای	سیستم کف	سیستم بام	تیغه های داخلی	دیوار پیرامونی
Cf-1	قاب خمشی بتنی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-2	قاب خمشی بتنی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-3	قاب خمشی بتنی	دال بتنی دوطرفه ۵۳۰kg/m ۲	دال بتنی دوطرفه ۶۵۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-4	قاب خمشی بتنی	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه ۵۰۰kg/m۲	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه ۵۹۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-5	قاب خمشی بتنی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-6	قاب خمشی بتنی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-7	قاب خمشی بتنی	دال بتنی دوطرفه ۵۳۰kg/m ۲	دال بتنی دوطرفه ۶۵۰kg/m ۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-8	قاب خمشی بتنی	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه ۵۰۰kg/m۲	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه ۵۹۰kg/m۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-9	قاب خمشی بتنی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	صفحات روکش دار گچی(درای وال) ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-10	قاب خمشی بتنی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	صفحات روکش دار گچی(درای وال) ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-11	قاب خمشی بتنی	دال بتنی دوطرفه ۵۳۰kg/m ۲	دال بتنی دوطرفه ۶۵۰kg/m ۲	صفحات روکش دار گچی(درای وال) ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-12	قاب خمشی بتنی	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه ۵۰۰kg/m۲	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه ۵۹۰kg/m۲	صفحات روکش دار گچی(درای وال) ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-13	قاب خمشی بتنی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-14	قاب خمشی بتنی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-15	قاب خمشی بتنی	دال بتنی دوطرفه ۵۳۰kg/m ۲	دال بتنی دوطرفه ۶۵۰kg/m ۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-16	قاب خمشی بتنی	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه ۵۰۰kg/m۲	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه ۵۹۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Cf-17	قاب خمشی بتنی	دال بتنی مجوف U Boot ۵۰۰kg/m۲	دال بتنی مجوف U Boot ۵۹۰kg/m۲	پانل بتنی سبک با روکش سیمانی ۸۵kg/m ۲	پانل بتنی سبک با روکش سیمانی ۱۳۵kg/m ۲

جدول ۲- مشخصات مدل های دارای سیستم باربر قاب خمشی + دیوار برشی

شماره ترکیب	سیستم سازه ای	سیستم کف طبقات	سقف بام	دیوار داخلی	دیوار خارجی
CW-۱	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	تیرچه+ بلوک سفالی۵۱۰kg/m۲	تیرچه+ بلوک سفالی۶۰۰	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۲	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	تیرچه+ بلوک پلی استایرن۴۳۰kg/m۲	تیرچه+ بلوک پلی استایرن۵۲۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۳	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی دو طرفه۵۳۰kg/m۲	دال بتنی دو طرفه۶۵۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۴	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه۵۰۰kg/m۲	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه۵۹۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۵	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	تیرچه+ بلوک سفالی۵۱۰kg/m۲	تیرچه+ بلوک سفالی۶۰۰	پانل ۳D ۲۳۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۶	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	تیرچه+ بلوک پلی استایرن۴۳۰kg/m۲	تیرچه+ بلوک پلی استایرن۵۲۰kg/m۲	پانل ۳D ۲۳۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۷	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی دو طرفه۵۳۰kg/m۲	دال بتنی دو طرفه۶۵۰kg/m۲	پانل ۳D ۲۳۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۸	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه۵۰۰kg/m۲	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه۵۹۰kg/m۲	پانل ۳D ۲۳۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۹	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	تیرچه+ بلوک سفالی۵۱۰kg/m۲	تیرچه+ بلوک سفالی۶۰۰	درای وال ۲۵kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۱۰	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	تیرچه+ بلوک پلی استایرن۴۳۰kg/m۲	تیرچه+ بلوک پلی استایرن۵۲۰kg/m۲	درای وال ۲۵kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۱۱	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی دو طرفه۵۳۰kg/m۲	دال بتنی دو طرفه۶۵۰kg/m۲	درای وال ۲۵kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۱۲	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه۵۰۰kg/m۲	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه۵۹۰kg/m۲	درای وال ۲۵kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۱۳	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	تیرچه+ بلوک سفالی۵۱۰kg/m۲	تیرچه+ بلوک سفالی۶۰۰	بلوک گچی ۹۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۱۴	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	تیرچه+ بلوک پلی استایرن۴۳۰kg/m۲	تیرچه+ بلوک پلی استایرن۵۲۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۱۵	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی دو طرفه۵۳۰kg/m۲	دال بتنی دو طرفه۶۵۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۱۶	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه۵۰۰kg/m۲	دال بتنی نیمه پیش ساخته یکطرفه۵۹۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m۲
CW-۱۷	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی دو طرفه۵۳۰kg/m۲	دال بتنی دو طرفه۶۵۰kg/m۲	بلوک بتنی سبک ۱۱۰kg/m۲	بلوک بتنی سبک ۲۳۵kg/m۲
CW-۱۸	قاب خمشی بتنی+ دیوار برشی	دال بتنی دو طرفه۵۳۰kg/m۲	دال بتنی دو طرفه۶۵۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m۲	بلوک بتنی سبک ۲۳۵kg/m۲

جدول ۳- مشخصات مدل های دارای سیستم باربر قاب ساده + مهاربندی

شماره مدل	سیستم سازه ای	سیستم کف	سیستم بام	تیغه های داخلی	دیوار پیرامونی
Stl-1	قاب ساده +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-2	قاب ساده +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-3	قاب ساده +مهاربندی	سقف مرکب بتن +فولاد ۳۵۰kg/m۲	سقف مرکب بتن +فولاد ۴۸۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-4	قاب ساده +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-5	قاب ساده +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-6	قاب ساده +مهاربندی	سقف مرکب بتن +فولاد ۳۵۰kg/m۲	سقف مرکب بتن + فولاد ۴۸۰kg/m۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-7	قاب ساده +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-8	قاب ساده +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-9	قاب ساده +مهاربندی	سقف مرکب بتن +فولاد ۳۵۰kg/m۲	سقف مرکب بتن + فولاد ۴۸۰kg/m۲	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-10	قاب ساده +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-11	قاب ساده +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-12	قاب ساده +مهاربندی	سقف مرکب بتن + فولاد ۳۵۰kg/m۲	سقف مرکب بتن + فولاد ۴۸۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲

جدول ۴- مشخصات مدل های دارای سیستم باربر قاب خمشی فولادی

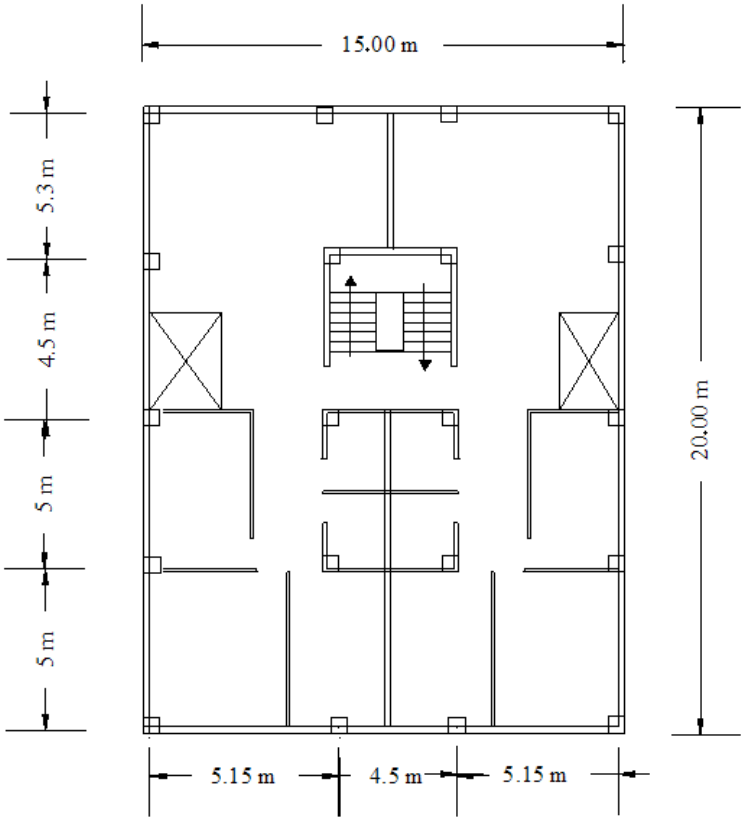
شماره ترکیب	سیستم سازه ای	سیستم کف	سیستم بام	تیغه های داخلی	دیوار پیرامونی
Stl-13	قاب خمشی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-14	قاب خمشی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-15	قاب خمشی	سقف مرکب بتن +فولاد ۳۵۰kg/m۲	سقف مرکب بتن + فولاد ۴۸۰kg/m۲	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-16	قاب خمشی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-17	قاب خمشی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-18	قاب خمشی	سقف مرکب بتن + فولاد ۳۵۰kg/m۲	سقف مرکب بتن + فولاد ۴۸۰kg/m۲	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-19	قاب خمشی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-20	قاب خمشی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-21	قاب خمشی	سقف مرکب بتن + فولاد ۳۵۰kg/m۲	سقف مرکب بتن + فولاد ۴۸۰kg/m۲	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-22	قاب خمشی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m ۲	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m ۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-23	قاب خمشی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m۲	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲
Stl-24	قاب خمشی	سقف مرکب بتن + فولاد ۳۵۰kg/m۲	سقف مرکب بتن + فولاد ۴۸۰kg/m۲	بلوک گچی ۹۰kg/m ۲	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m ۲

جدول ۵- مشخصات مدل های دارای سیستم باربر قاب خمشی + مهاربندی

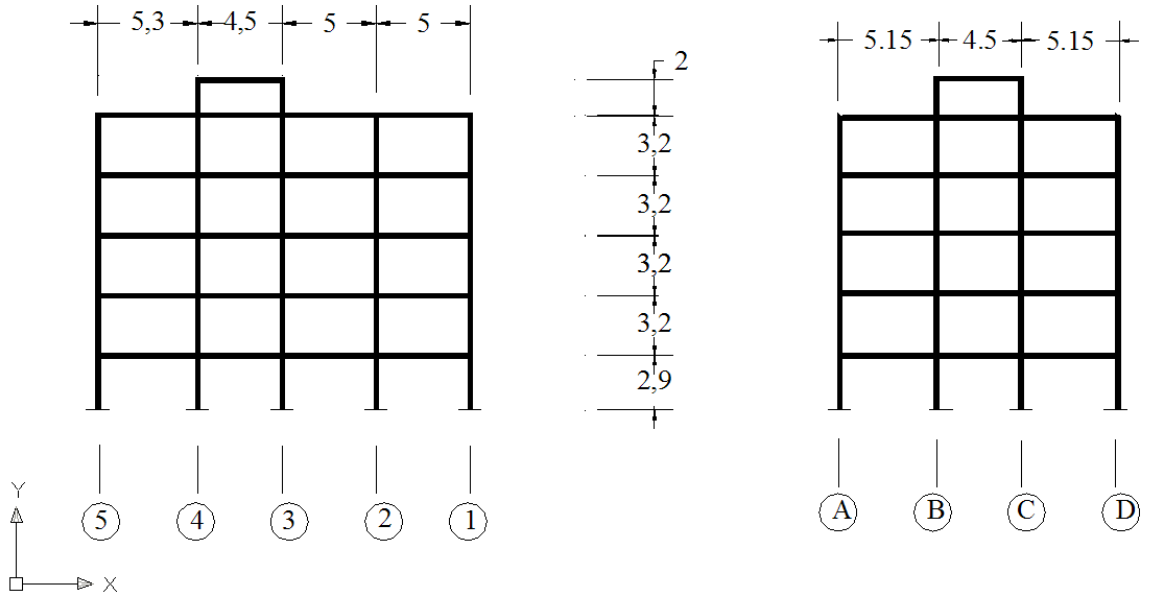
شماره ترکیب	سیستم سازه ای	سیستم کف	سیستم بام	تیغه های داخلی	دیوار پیرامونی
Stl-25	قاب خمشی + مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m^2	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-26	قاب خمشی + مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m^2	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-27	قاب خمشی + مهاربندی	سقف مرکب بتن +فولاد ۳۵۰kg/m^2	سقف مرکب بتن +فولاد ۴۸۰kg/m^2	بلوک سفالی ۱۲۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-28	قاب خمشی + مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m^2	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-29	قاب خمشی + مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m^2	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-30	قاب خمشی + مهاربندی	سقف مرکب بتن + فولاد ۳۵۰kg/m^2	سقف مرکب بتن +فولاد ۴۸۰kg/m^2	پانل ساندویچی ۲۳۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-31	قاب خمشی + مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m^2	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-32	قاب خمشی + مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m^2	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-33	قاب خمشی + مهاربندی	سقف مرکب بتن + فولاد ۳۵۰kg/m^2	سقف مرکب بتن +فولاد ۴۸۰kg/m^2	صفحات روکش دار گچی ۲۵kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-34	قاب خمشی +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۵۱۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک سفالی) ۶۰۰kg/m^2	بلوک گچی ۹۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-35	قاب خمشی +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m^2	بلوک گچی ۹۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
Stl-36	قاب خمشی +مهاربندی	سقف مرکب بتن + فولاد ۳۵۰kg/m^2	سقف مرکب بتن + فولاد ۴۸۰kg/m^2	بلوک گچی ۹۰kg/m^2	بلوک سفالی ۳۰۰kg/m^2
S1	قاب خمشی +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m^2	بلوک گچی ۹۰kg/m^2	بلوکAAC
S2	قاب خمشی +مهاربندی	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۴۳۰kg/m^2	تیرچه بلوک (بلوک پلی استایرن) ۵۲۰kg/m^2	بلوکAAC	بلوکAAC

۲-۳- انتخاب پلان ساختمان

برای تشکیل مدل‌های ساختمانی مورد مطالعه ، پلانی مطابق شکل ۲۱ انتخاب شده است. این پلان صرفا برای مطالعات و مقایسه‌های سازه‌ای در نظر گرفته شده و با ابعاد کلی ۲۰×۱۵ متر، متشکل از دهانه‌های حدود ۵ متر است. ارتفاع هر طبقه به جز همکف از روی کف زیرین تا روی کف بالایی ۳/۲ متر فرض شده است (شکل۲۲). طبقه همکف دارای ارتفاع ۲/۹ متر است. این ساختمان با توجه به دارا بودن حداقل سه دهانه در هر جهت پلان ، از نظر تحلیل و طراحی سازه ، یک مدول مجزا محسوب می‌شود.



شکل۲۱- پلان تیپ مدل‌ها



شکل۲۲- مقطع قائم مدل‌ها

۳- طراحی سازه‌های بتنی

بعد از تحلیل سازه توسط برنامه ETABS ، طراحی مقاطع انجام شده است .در انتخاب مقـاطع سـعی شـده اسـت از مقاطعی استفاده شود که علاوه بر متداول بودن، برای کاربرد مورد نظر بهینه باشند.

در طراحی مدل‌ها از روش طراحی در حالات حدی برای ساختمان‌های بتنی استفاده شده است .

آیین نامه های مورد استفاده در طراحی به شرح زیر می باشد :

- مبحث ششم مقررات ملی ساختمانی ایران (حداکثر بارهای وارده بر ساختمان)
- آیین نامه بتن ایران (آبا)
- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ـ استاندارد ۲۸۰۰ ایران

از جمله مواردی خاص که در طراحی ها کنترل شده است و در نتایج تاثیر گذار بوده است مواردی به شرح ذیل می باشد:

- کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات تحت اثر زلزله . این کنترل در ساختمان های بتنی دارای سیستم باربر جانبی قاب خمشی ، در طراحی مقاطع تعیین کننده است.
- در نظر گرفتن اثرات P-Δ
- در نظر گرفتن اثر پیچش تصادفی معادل ۵ درصد
- در نظر گرفتن اثرات ترک‌خوردگی مقاطع در مدل‌های بتنی

۳-۱ نتایج طراحی و نمودارهای مقایسه مدل‌ها

برای بررسی ترکیبات مختلف ساختمان‌های بتنی ، پارامترهای زیر در مدل‌های گوناگون محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفته است که نمودارهای مربوطه در ادامه ارائه می‌گردد.

الف) نسبت سطح مقطع ستون به سطح پلان

بدیهی است که در میان سازه‌های دارای ظرفیت باربری مشابه ، انواعی با کوچک‌ترین ابعاد اعضای سازه‌ای مطلوب‌تر هستند. ستون‌ها در سازه‌های بتنی معمولا دارای ابعادی هستند که قابلیت پنهان شدن در معماری ساختمان را منتفی می‌سازد. در این شرایط بهتر است که نسبت سطح مقطع ستون‌ها به سطح پلان ساختمان تا حد امکان کوچک باشد. با بررسی نمودار شماره ۱ ملاحظه می شود که این نسبت در مورد قابهای خمشی که در آنها سطح مقطع ستونها بزرگ است زیاد می باشد. در قاب‌های خمشی ، صلبیت خمشی ستون‌ها در کنترل محدودیت تغییر مکانهای نسبی طبقات تحت زلزله نقش مهمی دارد. از این‌رو ، ابعاد مقاطع ستونها لزوما افزایش یافته است و در نتیجه این نسبت مقدار بزرگتری دارد.

ب) نسبت عمق تیر به ضخامت سقف

امکان بهره‌مندی از سقف‌های بدون تیر در معماری داخلی ساختمان نکتهٔ مثبتی تلقی می‌شود. همچنین از نظر سهولت اجرا ، سطح صاف زیر سقف به معنای قالب‌بندی آسان در مقایسه با حالت وجود تیر است. بنابراین ، هرچه بیرون‌زدگی تیر از زیر سقف کم‌تر باشد ، مزیت اقتصادی و کاربردی آن بیشتر خواهد بود. با بررسی نمودار شماره ۲ ملاحظه می‌شود که نسبت عمق تیر به ضخامت سقف در مورد سازه های قاب خمشی با سیستم سقف دال بتنی به ضخامت ۱۴ سانتیمتر ، بیشترین مقدار می باشد. بهره‌گیری از سیستم باربر قاب بعلاوهٔ دیوار برشی و کاربرد سقف تیرچه بلوک موجب کاهش قابل توجه نسبت فوق و برطرف شدن بیرون‌زدگی تیر از سقف می‌شود.

ج) وزن کل ساختمان

با توجه به هدف از این مطالعات که ارزیابی روش های سبک سازی ساختمان است ، پارامتر وزن کلی ساختمان از اهمیت زیادی برخوردار است. با بررسی نمودار شماره ۳ مشخص می شود که بیشترین وزن مربوط به ترکیب شماره ۷ شامل سیستم باربر قاب خمشی بتنی و سیستم سقف دال بتنی دو طرفه با دیوارهای ساندویچی3D می‌باشد. سبک ترین وزن نیز مربوط به ترکیب شماره ۱۰ با سیستم قاب خمشی بعلاوه دیوار برشی بتنی و سیستم سقف تیرچه با بلوک پلی‌استایرن و دیوارهای Dry wall می باشد.

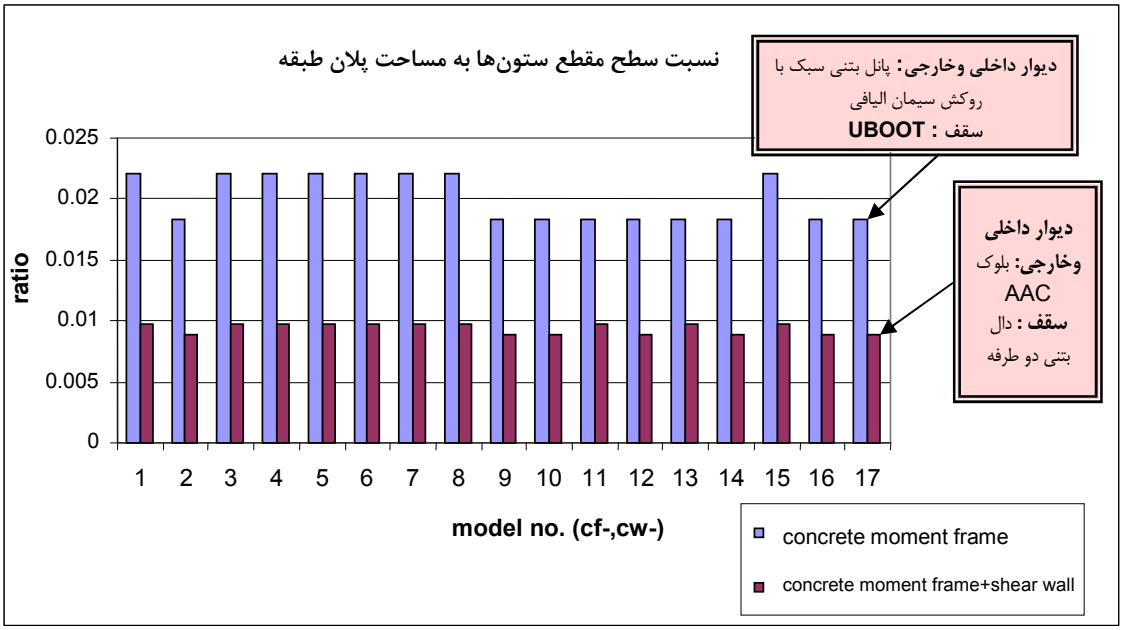
در قاب‌های خمشی بتنی ترکیب شماره ۱۷ شامل سیستم سقف مجوف Uboot و دیوارهای داخلی و خارجی از پانل بتنی سبک با دو لایه روکش سیمان الیافی (به ترتیب به ضخامت ۷ و ۱۰ سانتیمتر) انتخاب شده است. این نوع دیوارها در زمره دیوارهای سبک به حساب می آیند. در مقایسه با مدل‌های دارای قاب خمشی بتنی , وزن ساختمان در این مدل مشابه ترکیب شماره ۱۰ است که جز سیستم های سبک بتنی به حساب می‌آید.

د) وزن میلگرد

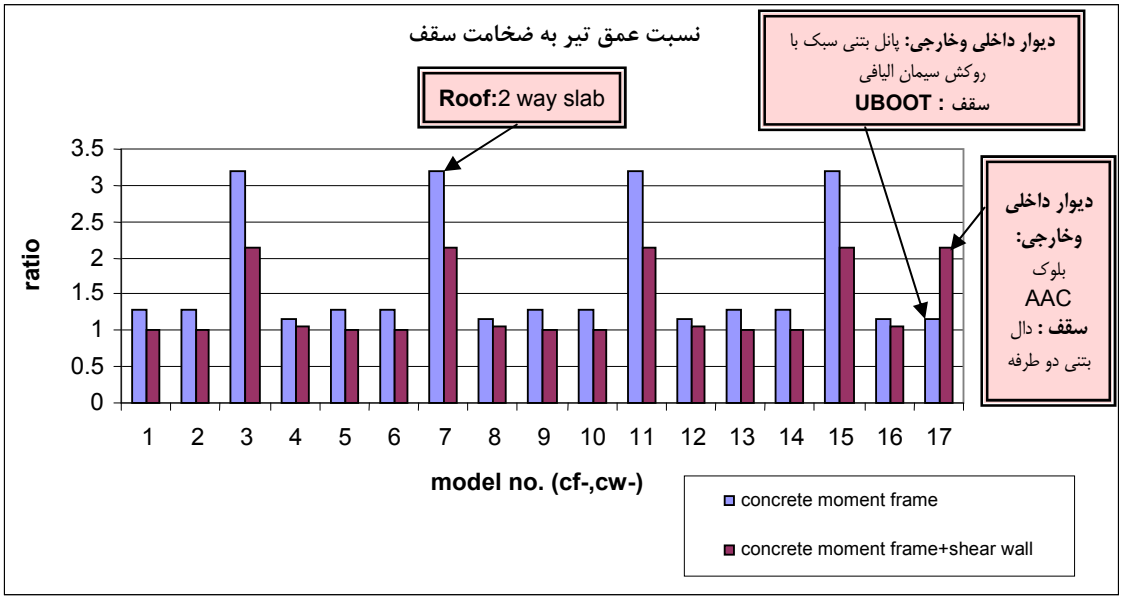
مطابق نمودار شماره ۴ بیشترین وزن میلگرد مربوط به ترکیب شماره ۷ در قاب های خمشی بتنی شامل سیستم سقف دال بتنی دوطرفه و دیوارهای داخلی3D یعنی سنگین‌ترین سیستم وکمترین وزن میلگرد مربوط به ترکیب شماره ۱۷ در سیستم‌های قاب خمشی بتنی یعنی سبک‌ترین سیستم می‌باشد. در نمودار شماره ۵ نسبت وزن میلگرد به وزن ساختمان ارائه شده است .

ه) برش پایه

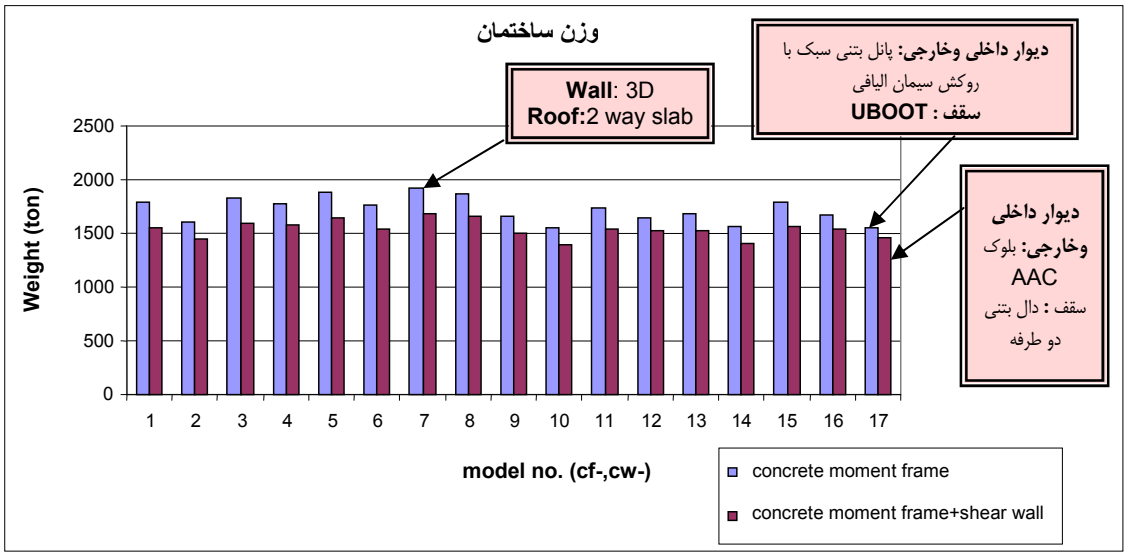
روند تغییرات برش پایه که در نمودار شماره ۶ ارائه شده است ، مشابه تغییرات وزن ساختمان و وزن میلگرد می باشد. کمترین برش پایه مربوط به ترکیب شماره ۱۰ در سیستم های قاب خمشی با دیوار برشی بتنی و بیشترین آن مربوط به ترکیب شماره ۷ یعنی قاب خمشی بتنی شامل سیستم سقف دال بتنی دو طرفه و دیوارهای داخلی3D است که سنگین ترین سیستم می‌باشد.



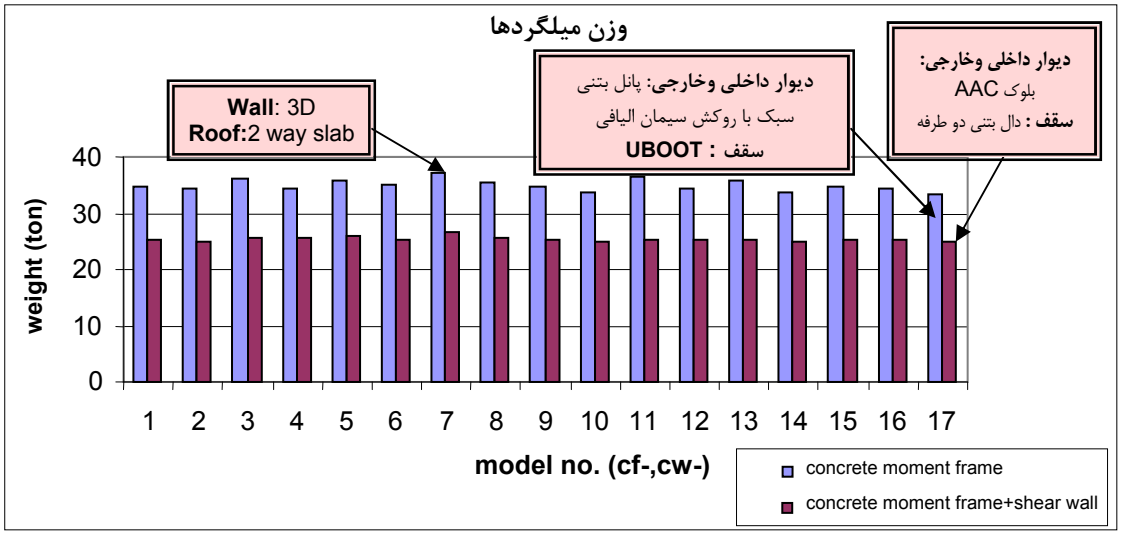
نمودار ۱- نسبت سطح مقطع ستون به سطح پلان



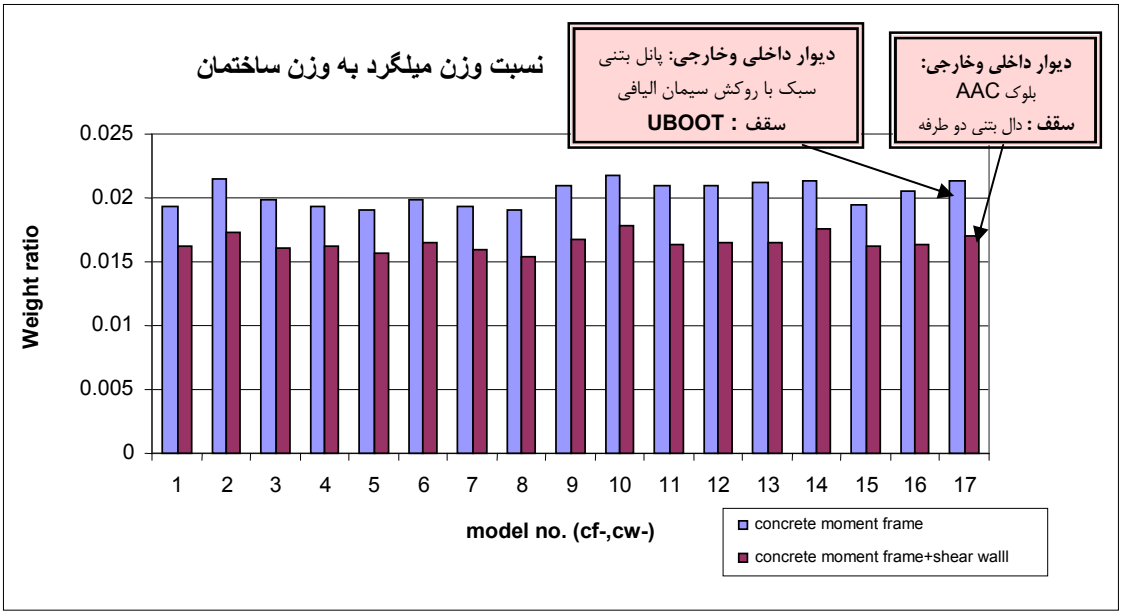
نمودار ۲- نسبت عمق تیر به ضخامت سقف



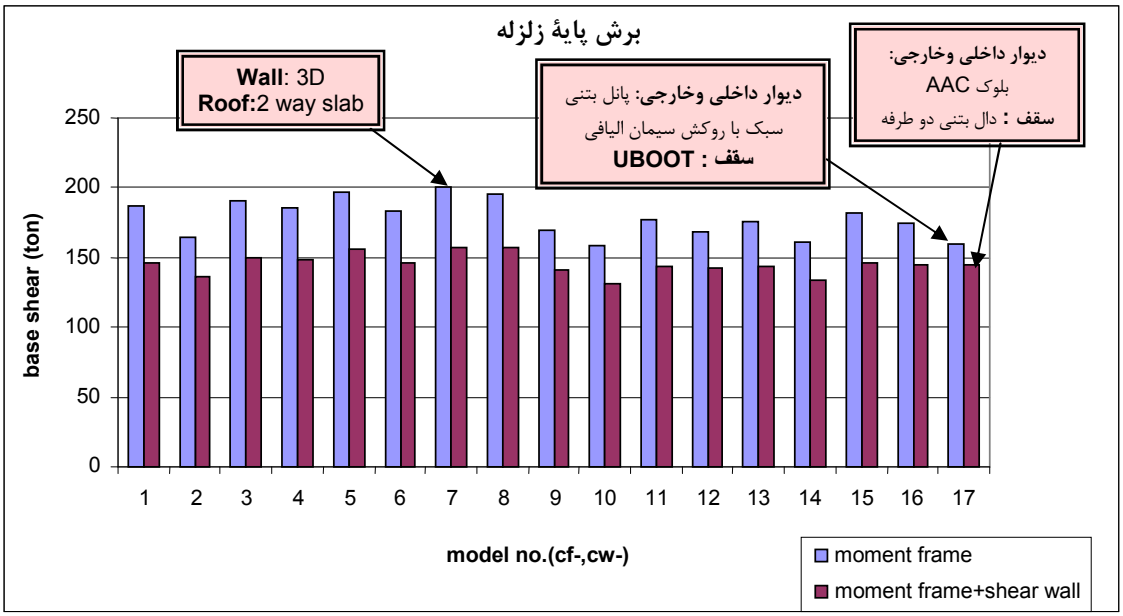
نمودار ۳- وزن کل ساختمان



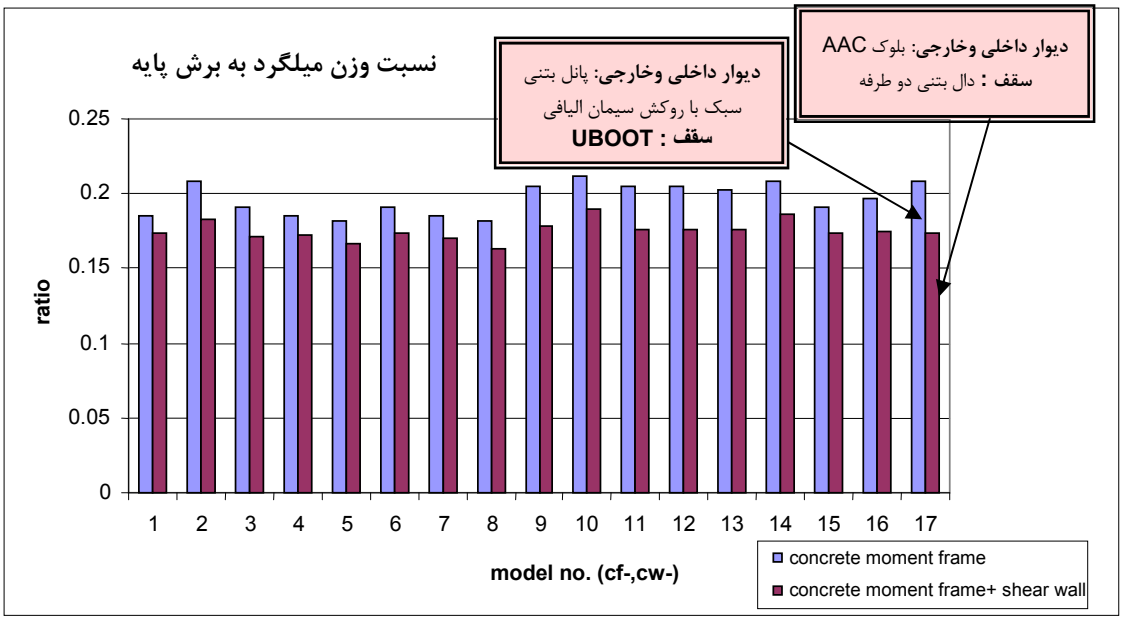
نمودار ۴- وزن میلگردها



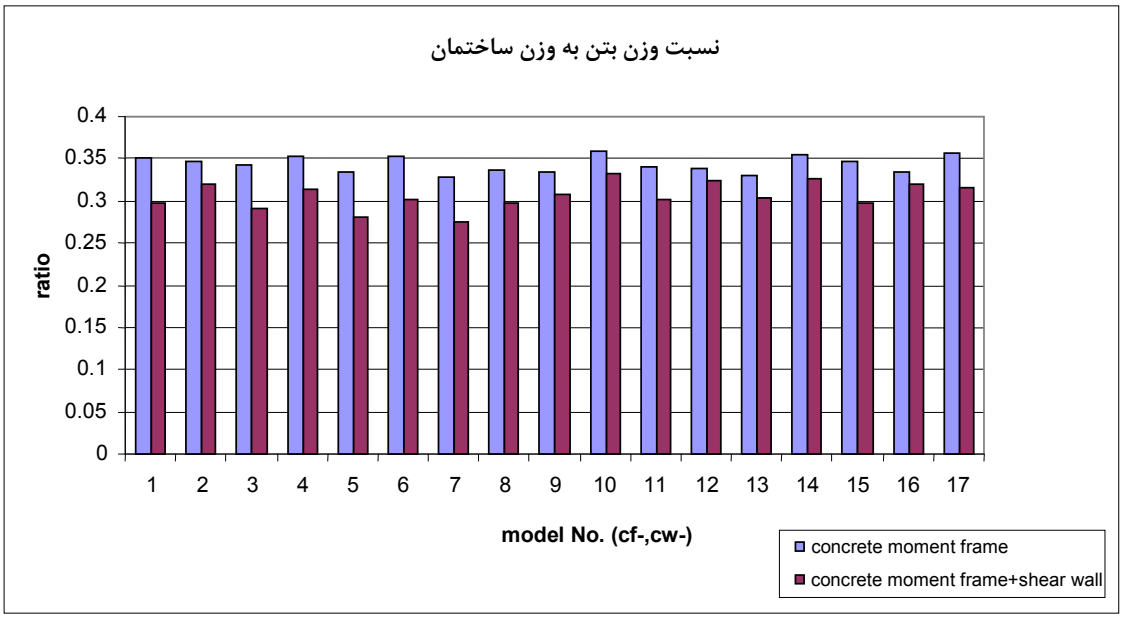
نمودار ۵- نسبت وزن میلگرد به وزن ساختمان



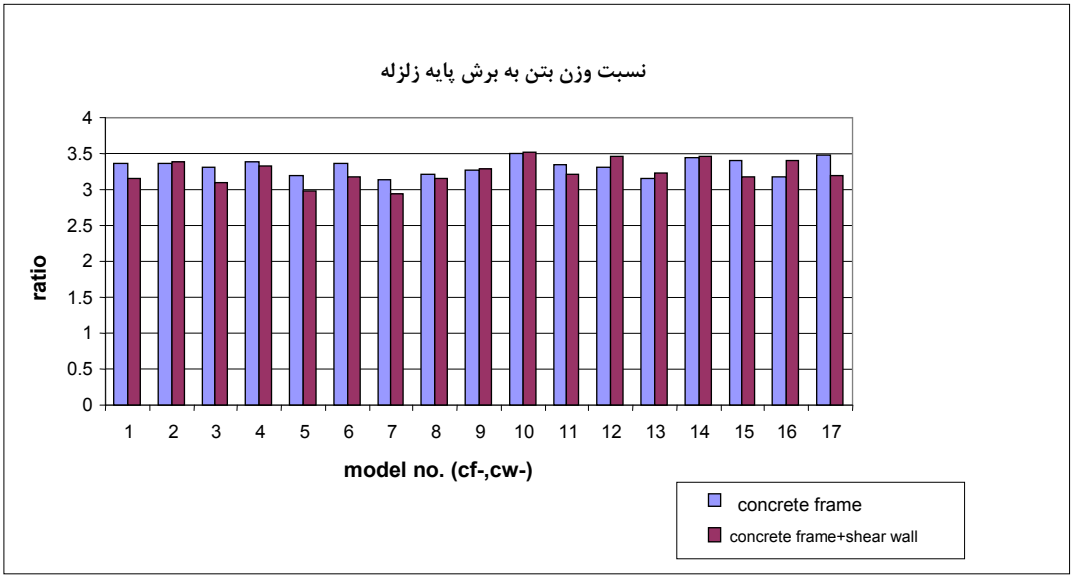
نمودار ۶- برش پایه زلزله



نمودار ۷- نسبت وزن میلگرد به برش پایه



نمودار ۸- نسبت وزن بتن به وزن ساختمان



نمودار ۹- نسبت وزن بتن به برش پایه

۴- طراحی سازه‌های فولادی

بعد از تحلیل سازه که توسط برنامه ETABS صورت گرفته است، طراحی مقاطع به روش تنش مجاز انجام شده است .در انتخاب مقاطع سعی شده است از مقاطعی استفاده شود که برای کاربرد مورد نظر متداول و بهینه باشند .

در طراحی مدل‌ها از روش تنش های مجاز برای سازه‌های فولادی استفاده شده است .

آیین‌نامه های مورد استفاده در طراحی به شرح زیر می باشد :

- مبحث ششم مقررات ملی ساختمانی ایران (حداکثر بارهای وارده بر ساختمان)
- مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمانی ایران- طرح و اجرای ساختمان های فولادی
- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ـ استاندارد ۲۸۰۰ ایران

از جمله مواردی که در طراحی ها کنترل شده و در نتایج تاثیر گذار بوده است به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- کنترل ترکیبات ویژه بارگذاری زلزله روی ستون های ساختمان های فولادی
- کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات . این کنترل در ساختمان های فولادی با قاب خمشی در طراحی مقاطع بـر تنش های مجاز غالب است و تعیین کننده می باشد.
- در نظر گرفتن اثرات $P\text{-}\Delta$
- در نظر گرفتن اثر پیچش تصادفی معادل ۵ درصد
- کنترل نیروی برکنش در ستون ها در مدل های فولادی قاب ساده + مهاربندی

۴-۱ نتایج طراحی و نمودارهای مقایسه مدل‌ها

در مدل‌های گوناگون پارامترهای زیر بررسی و مورد مقایسه قرار گرفته است که نمودارهای مربوطه نیز در ادامه آورده شده است.

الف) وزن کلی ساختمان

در نمودارشماره (۱۰) وزن کلی ساختمان‌ها مربوط به جداول (۳) تا (۵) بصورت ستونی نشان داده شده است.

به ازای هر ترکیب سیستم باربر، کف و تیغه های داخلی همواره بیشترین وزن کل ساختمان مربوط به سیستم قاب خمشی فولادی و کمترین وزن کل مربوط به سیستم قاب ساده بعلاوه مهاربندی هم محور است. تفاوت وزن ساختمان در دو حالت فوق به ازای ترکیبات مختلف بین ۴٪ تا ۳۰٪ می‌باشد. وزن ساختمان در صورت دارا بودن سیستم سازه‌ای قاب خمشی فولادی بعلاوه مهاربندی هم محور همواره اندکی بیشتر از ساختمان دارای قاب ساده بعلاوه مهاربندی است.

حداکثر وزن ساختمان مربوط به ترکیب شماره ۱۶ (قاب خمشی ، سقف تیرچه بلوک ، دیوار پانل 3D) با وزن ۱۴۴۲ ton و حداقل وزن ساختمان مربوط به ترکیب شماره ۹ (قاب ساده + مهاربند ، سقف مرکب ، دیوار سبک Dry wall) با وزن ۱۰۱۳ ton می باشد که در حدود ۳۰٪ با یکدیگر تفاوت دارند.

ب) تاثیر بتن سبک در وزن کل ساختمان

در صورت استفاده از بتن با وزن حجمی $1500\ kg/m^3$ به جای بتن معمولی رویه کف های بتنی ، کاهش وزنی بین۹۰ تا ۱۳۰ton در ساختمانهای مورد بررسی اتفاق می‌افتد. تفاوت وزن کل ساختمان بین ۱۶٪ برای مدل STL 28 تا ۹٪ برای مدل STL9 متغیر است . نتایج وزن کل ساختمان برای مدل های ۱ تا ۳۶ در نمودار های شماره (۱۱) تا (۱۳) نشان داده شده است.

در نمودار شماره (۱۴) وزن کل ساختمان ها نسبت به وزن ساختمان مدل STL1 نرمال شده است . مدل STL1 دارای سنتی ترین ترکیب شامل قاب ساده فولادی بعلاوه مهاربندی هم محور ، سقف تیرچه بلوک و تیغه های بلوک سفالی است. با بررسی نتایج مدل STL9 دیده می شود که با استفاده از اجزا سبک وزن می توان وزن ساختمان را تا ۲۰٪ نسبت به مدل STL1 کاهش داد. علاوه بر آن در صورت استفاده از بتن سبک برای رویه دال های بتنی کف، وزن ساختمان تا ۲۸٪ قابل کاهش است.

در مقابل در مدل STL16 با استفاده از قاب خمشی فولادی بدون مهاربندی و نیز با جایگزین کردن تیغه های ساندویچی 3D به جای تیغه های سفالی ، وزن کل ساختمان تا ۱۲٪ نسبت به مدل STL1 افزایش می‌یابد.

ج) وزن اسکلت

در نمودار شماره ۱۵ وزن اسکلت برای ۳۶ مدل مورد بررسی ارائه شده است. بیشترین وزن اسکلت در حالت استفاده از قاب خمشی فولادی بدون مهاربند و کمترین وزن به ازای قاب فولادی ساده بعلاوه مهاربند همگرا حاصل می‌شود.

در نمودار شماره ۱۶ وزن اسکلت تمامی مدل ها نسبت به مدل شماره (۱) که دارای سنتی ترین ترکیب می باشد ، نرمال شده است . مدل شماره (۱) دارای اسکلت قاب ساده فولادی بعلاوه مهاربندی همگرا ، سقف تیرچه بلوک و تیغه های بلوک سفالی است.

در مدل شماره ۱۶ وزن اسکلت به دلیل بهره گیری از قاب خمشی فولادی ، سقف تیرچه بلوک و تیغه های ساندویچی بتنی 3D ، تا دو برابر حالت سنتی افزایش یافته است.

از نمودارهای شماره ۱۵ و شماره ۱۶ دیده می شود که قاب خمشی فولادی از نظر مصرف مصالح بسیار نامناسب است. ترکیب مهاربندی همگرا با قاب خمشی فولادی در مدل های ۲۵ تا ۳۶ در کاهش مصرف مصالح بسیار موثر بوده است.

در نمودار شماره (۱۷) نسبت وزن اسکلت به وزن کل ساختمان در تمامی مدل ها نشان داده شده است. دیده می شود که در مدل های(۱) تا (۱۲) که دارای قاب ساده بعلاوه مهاربندی همگرا هستند ، در حدود ۴٪ وزن کل ساختمان به اسکلت اختصاص یافته است. در مدل های ۲۵ تا ۳۶ استفاده از ترکیب قاب خمشی فولادی بعلاوه مهاربندی موجب شده است که

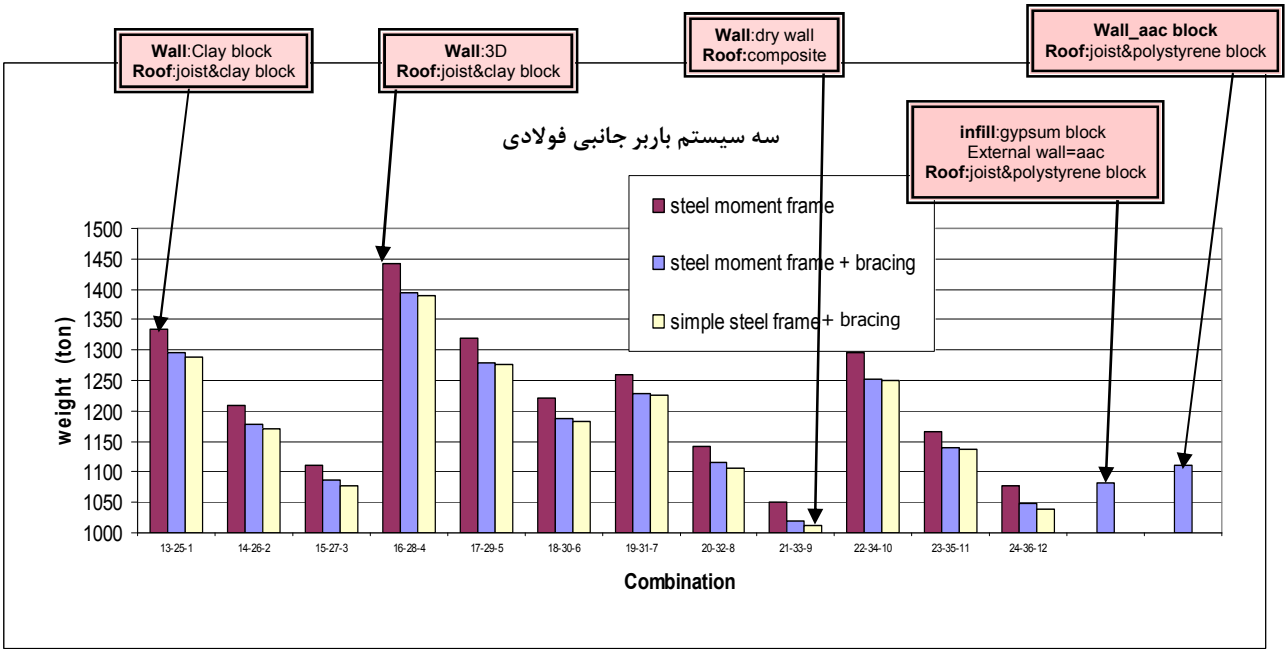
در حدود ۵٪ وزن ساختمان به اسکلت اختصاص پیدا کند. اما بدون مهاربندی و فقط با تکیه بـر قـاب خمشـی فـولادی در مدل‌های ۱۳ تا ۲۴ وزن اسکلت به ۷/۵٪ وزن ساختمان رسیده است.

در نمودار شماره (۱۸) نسبت وزن اسکلت به برش پایـهٔ زلزلـه بـرای کلیـه مـدل‌هـا نشـان داده شـده اسـت. ایـن نمـودار نشان دهنده میزان کارایی سیستم سازه‌ای در تحمل نیروی جانبی زلزله است. برای ترکیـب قـاب سـاده فـولادی بعـلاوه مهاربندی می توان وزن اسکلت را در حدود ۳۰٪ برش پایه برآورد نمود. برای ترکیب قاب خمشی و مهاربندی این نسبت به ۴۰٪ و برای قاب خمشی خالص به ۷۰٪ می رسد. علت اصلی این تفاوت ها در نرمی قاب خمشی خالص و عملکرد ضعیف آن در کنترل تغییر مکان جانبی است.

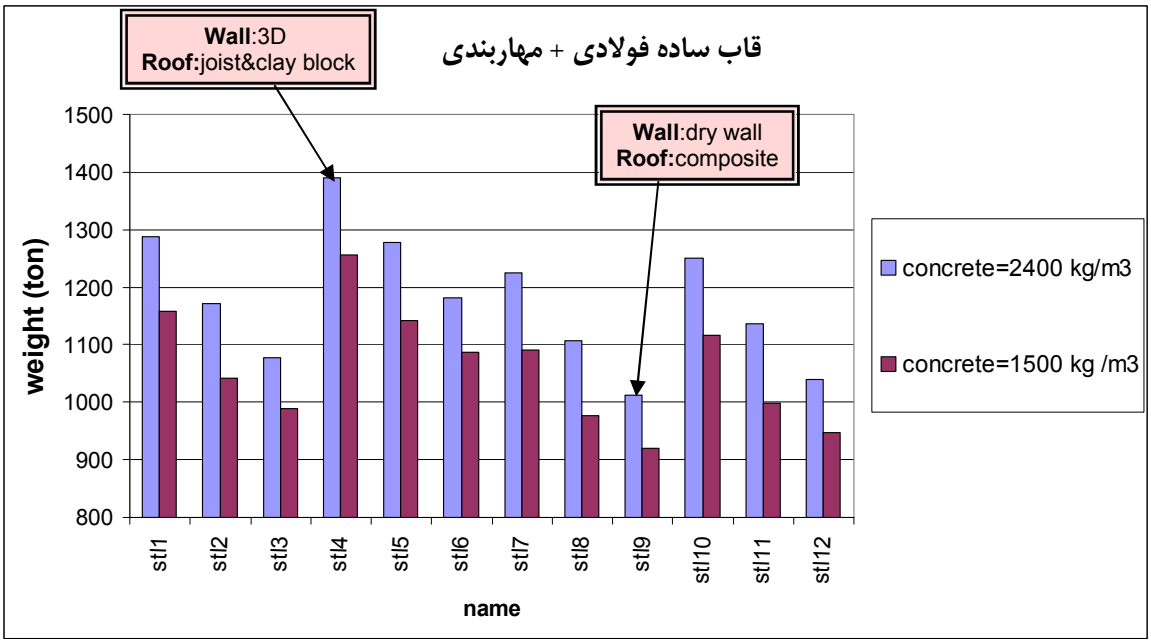
د) نیروی بَرکَنِش ستون ها (Up Lift)

در قاب‌های مهاربندی شده ، لنگر واژگونی ناشی از نیروی جانبی زلزله به یک کوپـل نیـرو در پـای سـتون هـای طـرفین دهانه‌های مهاربندی شده تبدیل می شود. میزان نیروی برکنش پای ستون که بصورت کشش بر پی اثر می کند و مهارآن نیازمند تمهیدات ویژه ای مانند تعبیه شمع کششی در زیر پی می باشد، در طراحی شالوده مهم است .

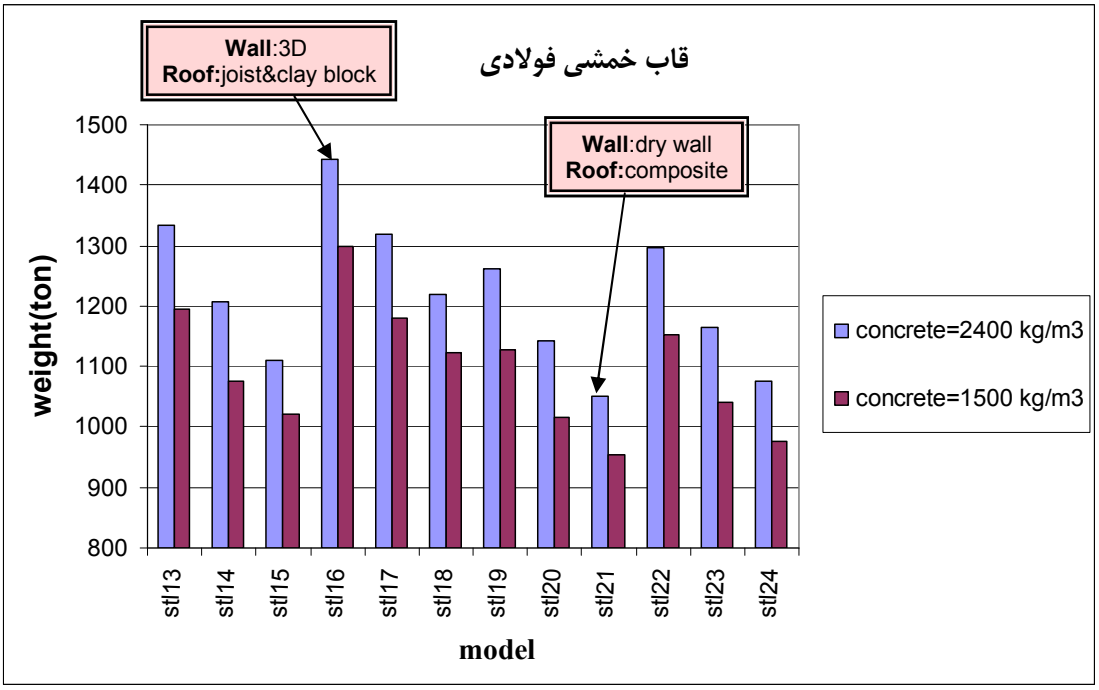
در نمودار شماره (۱۹) نسبت کل نیروی برکنش ستون ها به وزن ساختمان نشان داده شده است . ایـن نسـبت بـرای قـاب های خمشی فولادی تقریبا برابر صفر است. در ترکیب قاب ساده فولادی و مهاربندی این نسـبت بـه ۱۰٪ وزن سـاختمان می‌رسد ، حال آنکه در صورت ترکیب قاب خمشی فولادی و مهاربند نسبت فوق به حدود ۲/۵٪ کاهش می یابد.از این نظر ترکیب قاب خمشی فولادی و مهاربندی همگرا دارای برتری عمده ای می باشد .



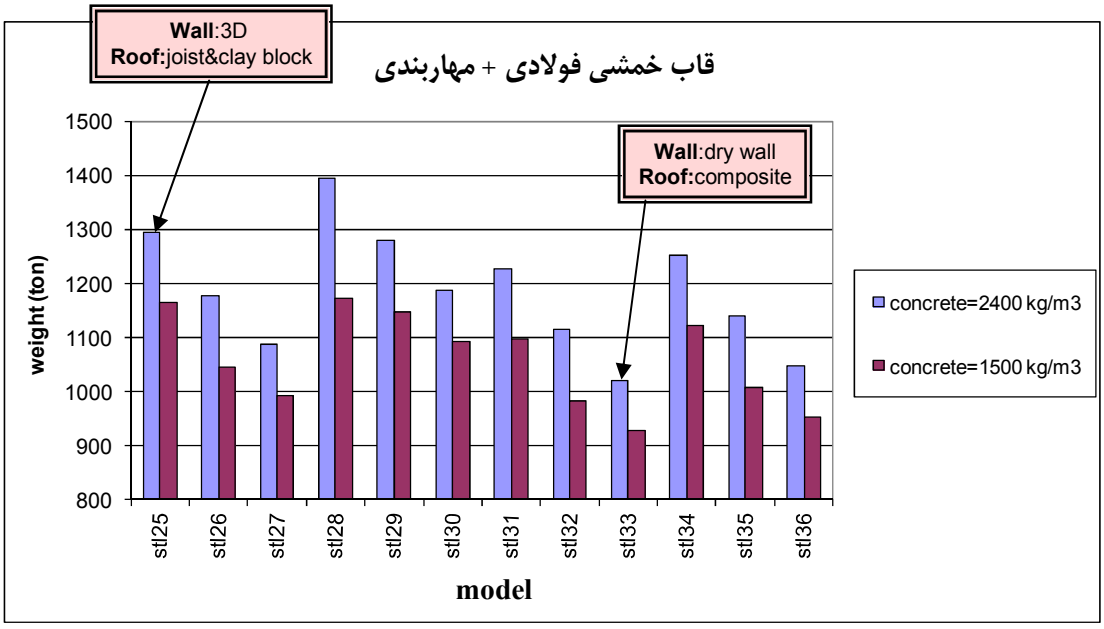
نمودار ۱۰- مقایسه وزن نهایی ساختمان در کلیه مدل ها



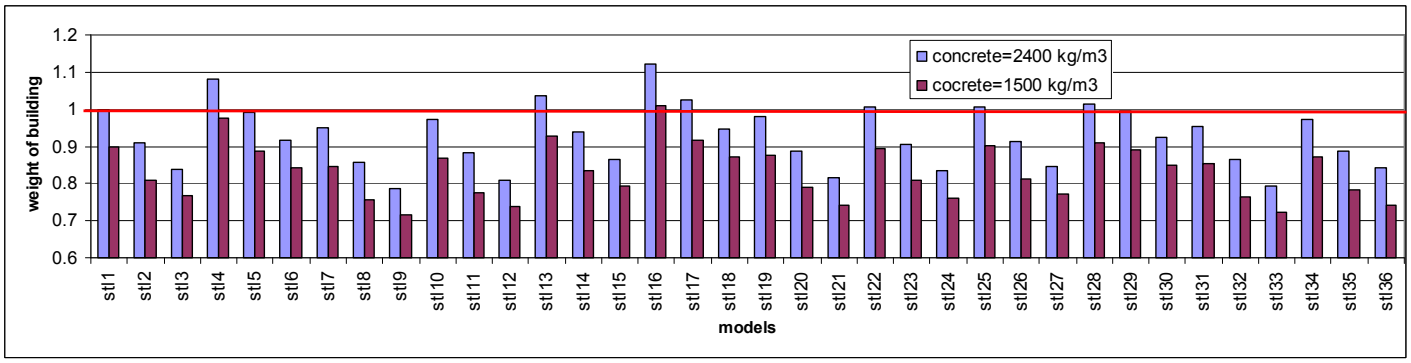
نمودار ۱۱- وزن کل ساختمان در سیستم قاب ساده + مهاربندی در دو حالت استفاده از بتن معمولی و سبک



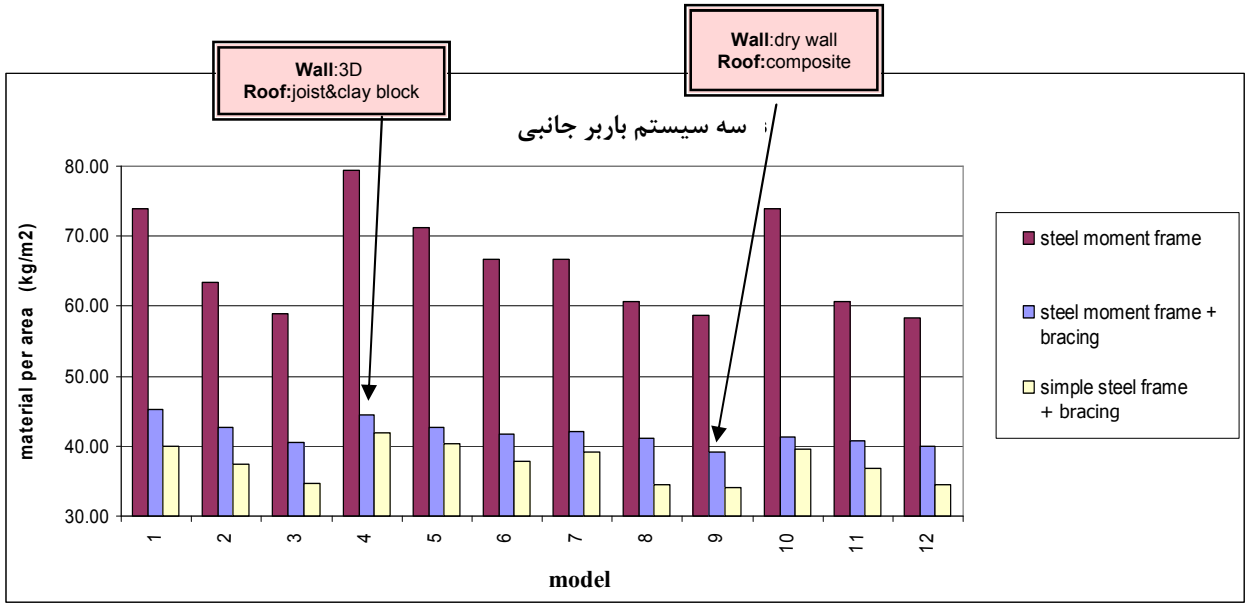
نمودار۱۲- وزن کل ساختمان در سیستم قاب خمشی در دو حالت استفاده از بتن معمولی و سبک



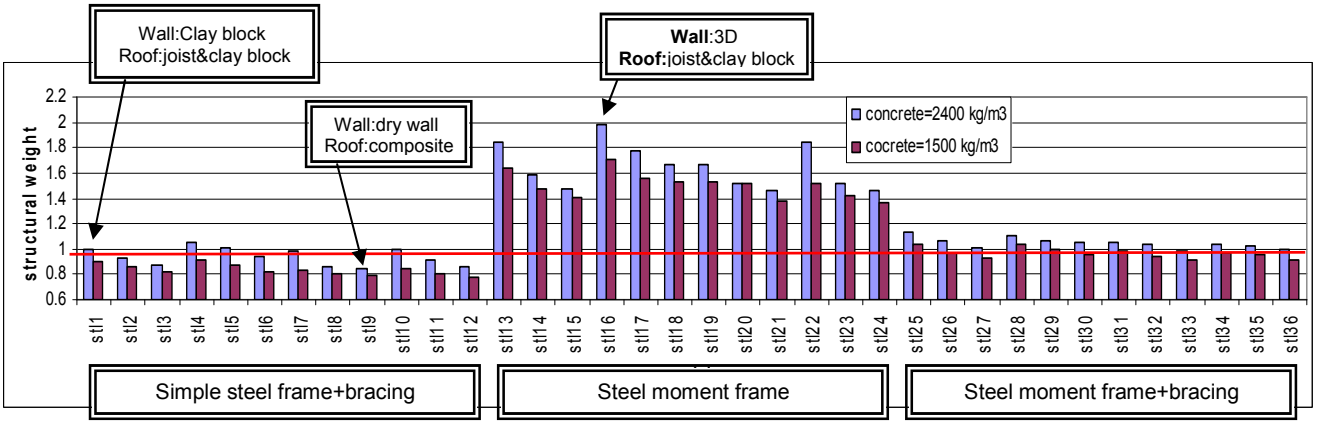
نمودار ۱۳- وزن کل ساختمان در سیستم قاب خمشی + مهاربندی در دو حالت استفاده از بتن معمولی و سبک



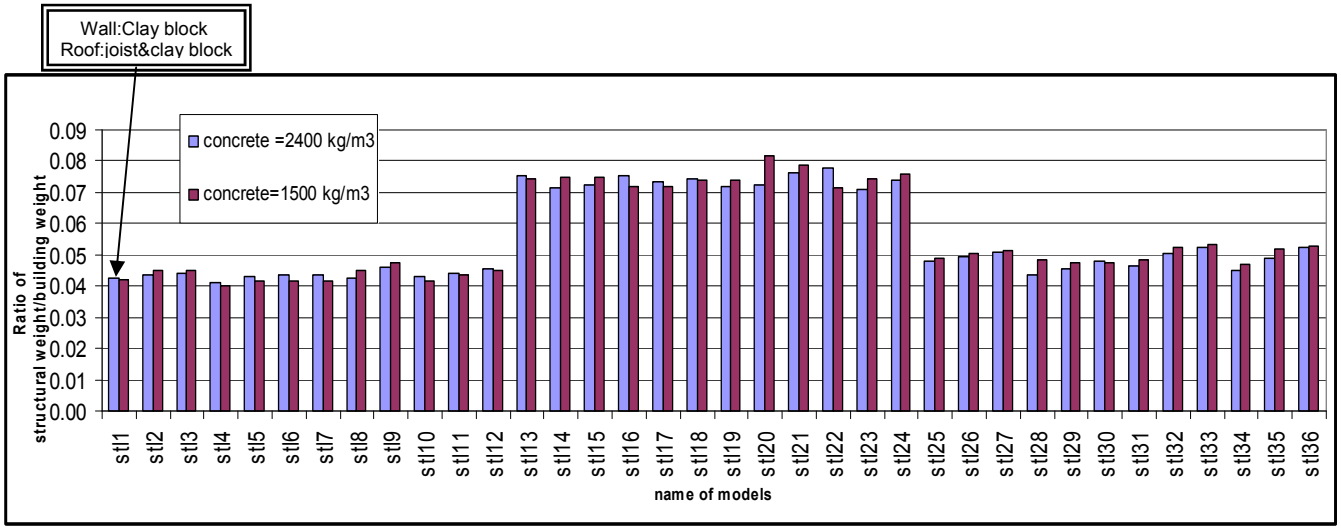
نمودار۱۴- میزان وزن کل ساختمان در مدل های مختلف (این نمودار نسبت به مدل شماره stl-1 نرمال شده است)



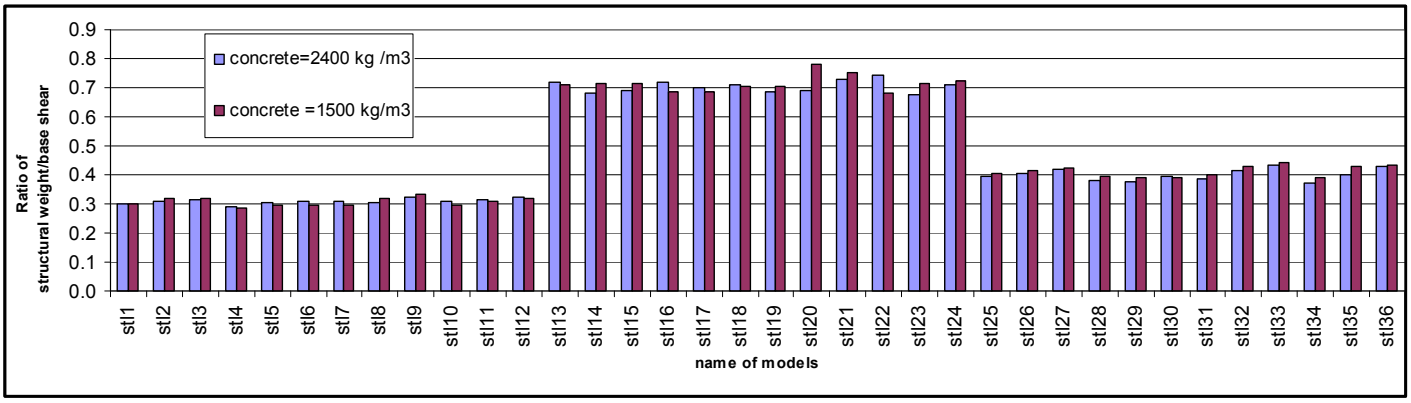
نمودار۱۵- میزان مصرف مصالح در واحد سطح برای مدل های مختلف



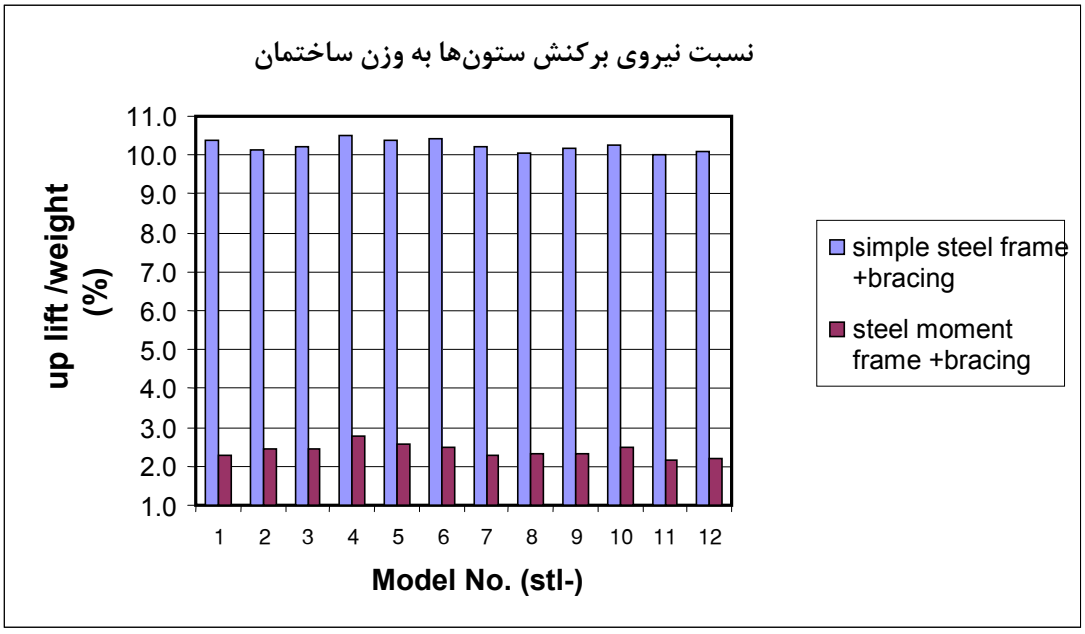
نمودار ۱۶- میزان وزن اسکلت در مدل های مختلف (این نمودار نسبت به مدل شماره stl-1 نرمال شده است)



نمودار ۱۷- نسبت وزن سازه ا ی به وزن کل ساختمان در مدل های مختلف



نمودار ۱۸- نسبت وزن سازه ا ی به برش پایه در مدل های مختلف



نمودار ۱۹- مقایسه نیروی بر کنش ستونها در سیستم "قاب ساده + مهاربندی" و سیستم "قاب خمشی + مهاربندی"

۴-۲- طراحی و بازرسی جوش در ساختمان های فولادی

اکثریت قریب به اتفاق ساختمانهای فولادی متعارف با کاربری غیر صنعتی در ایـران دارای اتصـالات جوشـکاری شـده در کارگاه ساختمانی هستند. بنابراین اهمیت کیفیت جوشکاری در تأمین ایمنی ساختمانها در برابر بارهای وارده و به ویـژه بـار زلزله تا حد زیادی روشن می‌شود. سه سیستم باربر اصلی سازه‌های فولادی در ایران به ترتیب کثرت عبارتند از قـاب سـاده بعلاوه مهاربندی همگرا، قاب خمشی بعلاوه مهاربندی همگرا و قاب خمشی بدون مهاربندی. صرفنظر از ظرفیت و عملکرد سازه‌ای این سیستم‌های سازه‌ای، میزان حساسیت آنها به کیفیت جوشکاری نیز متفاوت است.

در این قسمت اتصالات مدل‌های مختلف ساختمان های فولادی پس از طراحی اسکلت طراحی می شود .

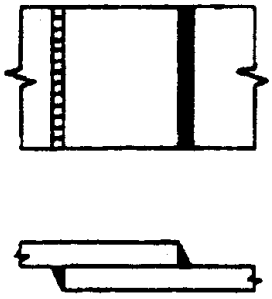
هدف این است که میزان وابستگی عملکرد ایمن سازه به کیفیت جوش‌های اتصـالات بررسـی شـود. بـا ایـن فـرض کـه ساختمان‌های طراحی شده طبق مقررات ملی ساختمانی ایران و اسـتاندارد ۲۸۰۰ از ایمنـی نسـبتاً یکسـان در برابـر زلزلـه برخوردارند، بهترین گزینه از نظر جوشکاری سازه‌ای خواهد بود که جوشکاری اتصالات آن کمترین صعوبت را داشته باشد.

در این جا ، صعوبت به زبان دیگری مطرح شده است و آن نیاز جوش‌ها به بازرسی‌های لازم پس از تکمیل جوشکاری است. برای برآورد نیاز جوش‌ها به بازرسی، لازم است که از دستورالعمل معتبری در این زمینه پیروی شـود. در راهنمـای انجمـن کارهای فولادی ساختمان انگلستان، جدول کاملی برای تعیین لزوم انجام بازرسی‌های جوش براساس وضعیت جوشـکاری، نوع جوش و ضخامت ورق‌های متصل شونده ارائه شده است. از جدول مورد نظر برای تعیین تعداد بازرسـی از هـر یـک از انواع چشمی، ذرات مغناطیسی و اولتراسونیک در سازه‌های مورد بررسی استفاده شده است.

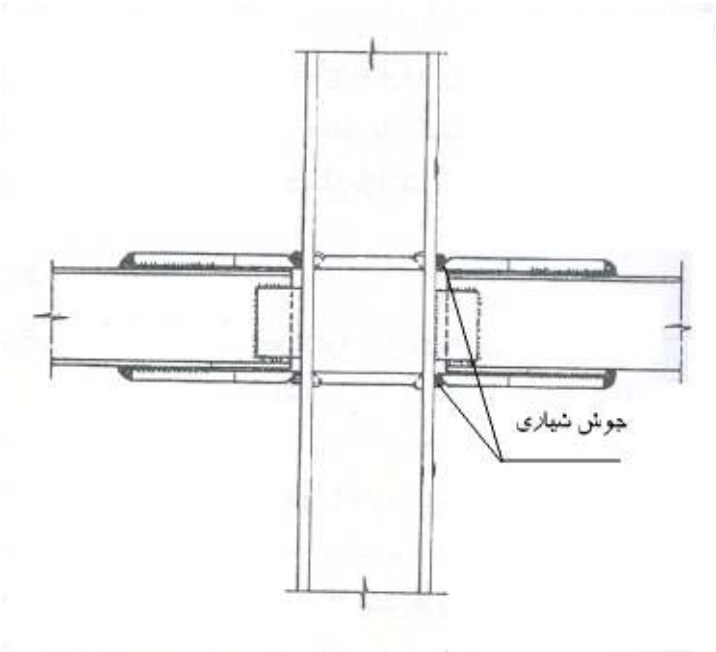
۴-۲-۱- جوشکاری

جوشکاری عبارت است از اتصال دو قطعه فلز به یکدیگر به وسیله حرارت و ذوب فلز که با روش‌های دیگر نظیر اتصال با پیچ و پرچ متفاوت است. در جوشکاری با قوس الکتریکی که متداولترین نوع جوشکاری در ساختمان سازی است، اتصال بین مصالح با ذوب کردن لبه‌های درز و سخت شدن بعدی آنها صورت می‌گیرد. در حین ذوب، فلز پایه و فلز جوش با یکدیگر ممزوج شده و پس از سخت شدن، اتصال قطعات تأمین می‌گردد.

در ساختمان‌های مورد نظر از جوش گوشه و شیاری در اتصالات استفاده شده است. جوش گوشه متداولترین نوع جوش در سازه‌های فولادی است (شکل۲۳). در اکثر اتصالات در این ساختمان‌ها نیز از جوش گوشه استفاده شده است. در ساختمان‌های دارای قاب خمشی که اتصالات بین تیر و ستون از نوع صلب می‌باشد، بال تیر به کمک ورق اتصال بال (ورق اتصال بالایی و پائینی) توسط جوش شیاری یا نفوذی کامل به بال ستون متصل می‌شود (شکل ۲۴).



شکل۲۳- جوش گوشه



شکل۲۴- جوش شیاری در اتصال بال تیر به ستون با استفاده از ورق اتصال

۴-۲-۲- بازرسی جوش

از ابتدای کاربرد به عنوان ابزار ساخت اسکلت‌های فولادی، مقاوم بودن درز اتصال جوش شده تحت شرایط بهره‌برداری و شرایط بحرانی (مثل نیروهای زلزله) از مهم‌ترین عوامل ایمنی سازه تلقی شده است. به همین جهت در کنار گسترش کاربرد جوش، روش‌هایی جهت تعیین کیفیت جوش و کنترل و ارزیابی صلاحیت فنی جوشکار و در نهایت بازرسی و تأیید کار تمام شده نیز تدوین شده است.

قابلیت اعتماد به عملکرد سازه ایجاب می‌نماید که فلز جوش و درز جوشکاری شده از لحاظ مقاومت، سلامت و دیگر خصوصیات مورد نظر سازه‌ای و عاری بودن از عیوب جوشکاری مورد آزمایش و امتحان قرار گیرد.

مراحل بازرسی و کنترل کیفیت جوش :

برای تائید یک سازه جوش شده، بازرسی در سه مرحله انجام می‌شود:

۱- بازرسی قبل از شروع جوشکاری

۱-۱- کنترل و بررسی نقشه‌ها و ارزیابی نحوه جوشکاری

۱-۲- کنترل و بازرسی مواد مصرفی و مصالح مورد نیاز

۱-۳- بازرسی تجهیزات و دستگاه‌های مورد نیاز

۲- بازرسی فنی جوشکاری

۲-۱- آماده سازی لبه‌ها با توجه به طرح اتصال مورد نظر

۲-۲- پاک و تمیز بودن سطح جوشکاری از هر گونه آلودگی

۲-۳- کنترل نحوه اجرای جوش و وضعیت مناسب جوشکاری به منظور کاهش تابیدگی اجزاء اتصال

۲-۴- بررسی مهارت و کارایی جوشکار و اپراتور و رعایت نکات ایمنی مربوط

۲-۵- کنترل مواد و مصالح مصرفی

۲-۶- کنترل جوشکاری در شرایط نامساعد جوی

۳- بازرسی بعد از جوشکاری

۳-۱- بازدید و بازرسی چشمی جوش شامل کنترل وجود و اندازهٔ ترک‌ها، نحوه اتصال و عرض و ارتفاع جوش، ظاهر جوش، لبه جوش، شروع و پایان جوش و میزان نفوذ جوش

۳-۲- انجام دادن آزمایشهای غیر مخرب

۳-۳- انجام دادن آزمایش‌های مخرب یا مکانیکی

در این گزارش ملاک عمل برای بازرسی‌های بعد از جوشکاری برای انواع جوش‌ها ، راهنمای انجمن کارهای فولادی ساختمانی انگلستان[۱] می‌باشد. مطابق جداول ارائه شده تمامی جوش‌ها باید قبل از انجام هر گونه آزمایش های غیر مخرب بر حسب نیاز، مورد بازرسی چشمی از نظر وجود عیوب مرئی، ترک‌های سطحی، بریدگی کناره جوش، سوختگی، تقعر یا تحدب زیاد گرده جوش، نامساوی بودن ساق‌ها، گُرده اضافی، عدم پُرشدگی کامل، نفوذ اضافی، موجدار بودن، کیفیت انتهای جوش، گره قطع و وصل قوس و غیره قرار گیرند.

شرایط الزام آزمایش غیر مخرب در شرایط و حالات گوناگون مطابق جدول (۶) می‌باشد. آزمایش‌های غیر مخرب مورد استفاده در این راهنما شامل آزمایش با ذرات مغناطیسی[۲] و آزمایش با امواج صوتی یا فرا صوتی[۳] می‌باشد. که قبل از ارائه شرایط الزام انجام این آزمایشات مختصری از فرایند این در آزمایش در زیر عنوان می‌شود.

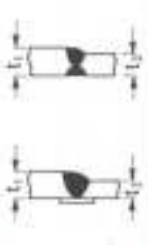
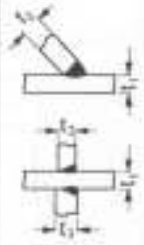
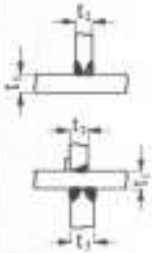
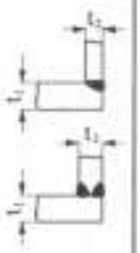
[۱] Biritish Constructional Steelwork Association
[۲] Magnetic Particle
[۳] Ultrsonic testing

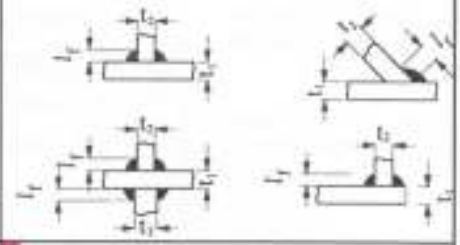
جدول ۶- شرایط الزام آزمایش غیر مخرب در "راهنمای انجمن کارهای فولادی ساختمانی انگلستان "

TABLE 1 WELDS - SCOPE OF INSPECTION

The requirements of this table shall not preclude the use of Non-Destructive Testing outside the limits shown should the results of visual inspection or NDT indicate that a lapse in quality may have occurred in specific joints.

PART A	VISUAL INSPECTION	Prior to Non-Destructive Testing all welds to be visually inspected by a suitably qualified person (See Clause 5.5.2)

PART B		THICKNESSES WHEN NON-DESTRUCTIVE TESTING BECOMES MANDATORY (All dimensions in mm)				
WELD TYPE		BUTT (full, partial penetration & with reinforcing fillets.)				
JOINT TYPE		IN-LINE		TEE and CRUCIFORM		CORNER
PROCEDURES		Single sided	Double sided & Single sided plus backing.	Single sided	Double sided & Single sided plus backing.	ALL
		Examples				
	Design Grade					
MPI	43/50	$t_{max} < 10$	$t_{max} < 12$	$t_{max} \geq 20$	$t_{max} \geq 20$	$t_{max} \geq 20$
	55	$t_{max} < 10$	$t_{max} < 10$	$t_{max} \geq 15$	$t_{max} \geq 15$	$t_{max} \geq 15$
U/S	43/50	$t_{max} \geq 10$	$t_{max} \geq 12$	$t_{max} \geq 12$	$t_{max} \geq 30$	$t_{max} \geq 30$
	55	$t_{max} \geq 10$	$t_{max} \geq 10$	$t_{max} \geq 10$	$t_{max} \geq 20$	$t_{max} \geq 20$

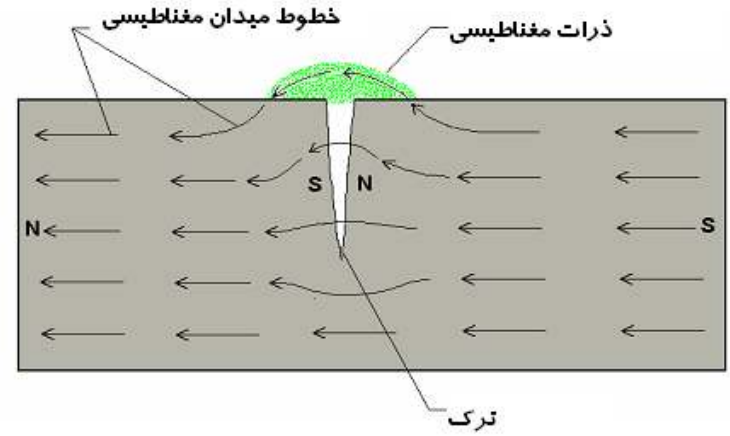
WELD TYPE		FILLET	
JOINT TYPE		LAP	TEE and CRUCIFORM
PROCEDURES		ALL	ALL
		Examples	
	Design Grade		
MPI	43/50	$t_{max} \geq 20$	$t_{max} \geq 20$
	55	$t_{max} \geq 15$	$t_{max} \geq 15$
U/S	43/50	Not Mandatory	$l_{f\,max} \geq 20$
	55	Not Mandatory	$l_{f\,max} \geq 15$

Notation:-
- MPI Magnetic Particle Inspection (see Clause 5.5.3)
- U/S Ultrasonic Examination (see Clause 5.5.4)
- < Less than
- ≥ Greater than or equal to

۴-۳ – آزمایش‌های غیر مخرب

۴-۳-۱- آزمایش با ذرات مغناطیسی

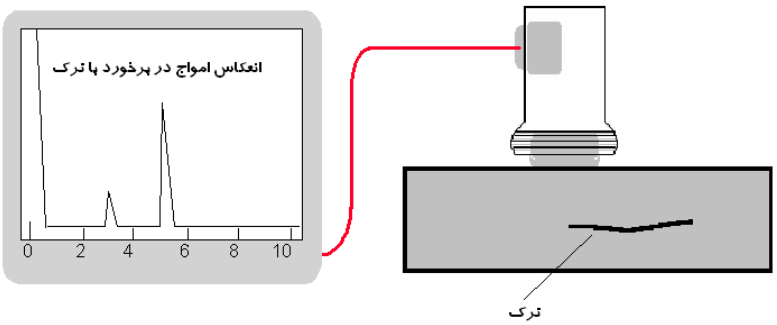
آزمایش با ذرات مغناطیسی شونده از روش‌های ساده در تشخیص عیوب جوش می‌باشد. در این روش، عیوب سطحی و یا کمی زیر سطح نظیر ترکهای خیلی ریز، ذرات محبوس شده و خلل و فرج که در عمق زیادی قرار نداشته باشند مشخص می‌شوند. روش کار به این ترتیب است که قطعه در یک میدان مغناطیسی قوی قرار داده می‌شود و سپس پودر ریز مغناطیس شونده روی آن پاشیده می‌شود اگر جایی از جوش معیوب باشد خطوط مغناطیسی در محل مذکور قطع و موجب تمرکز ذرات و انحراف شدید خطوط مغناطیسی می‌شود و بدین وسیله شکل و اندازه و موقعیت عیوب مشخص می‌شود.



شکل۲۵- آزمایش با ذرات مغناطیسی

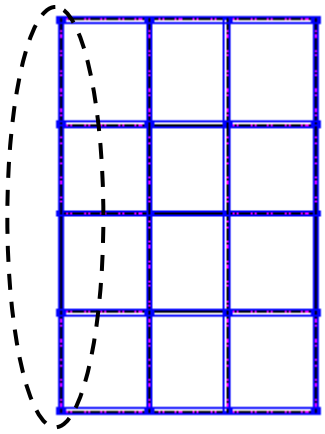
۴-۳-۲- آزمایش با امواج صوتی و یا فرا صوتی

در آزمایش با امواج صوتی، یک موج صوتی با بسامد بالا به داخل فلز مورد آزمایش فرستاده می‌شود. اگر در مسیر حرکت موج، ترک یا هر عیب دیگری وجود داشته باشد به علت تغییر محیط امواج در برخورد به آن منعکس می‌شود. از روی موج رفت و برگشتی موقعیت و اندازه عیوب سطحی و عمقی نظیر خلل و فرج، ترک، سر باره محبوس شده ، نفوذ و حتی ضخامت جوش یا قطعه کار مشخص می‌شود.

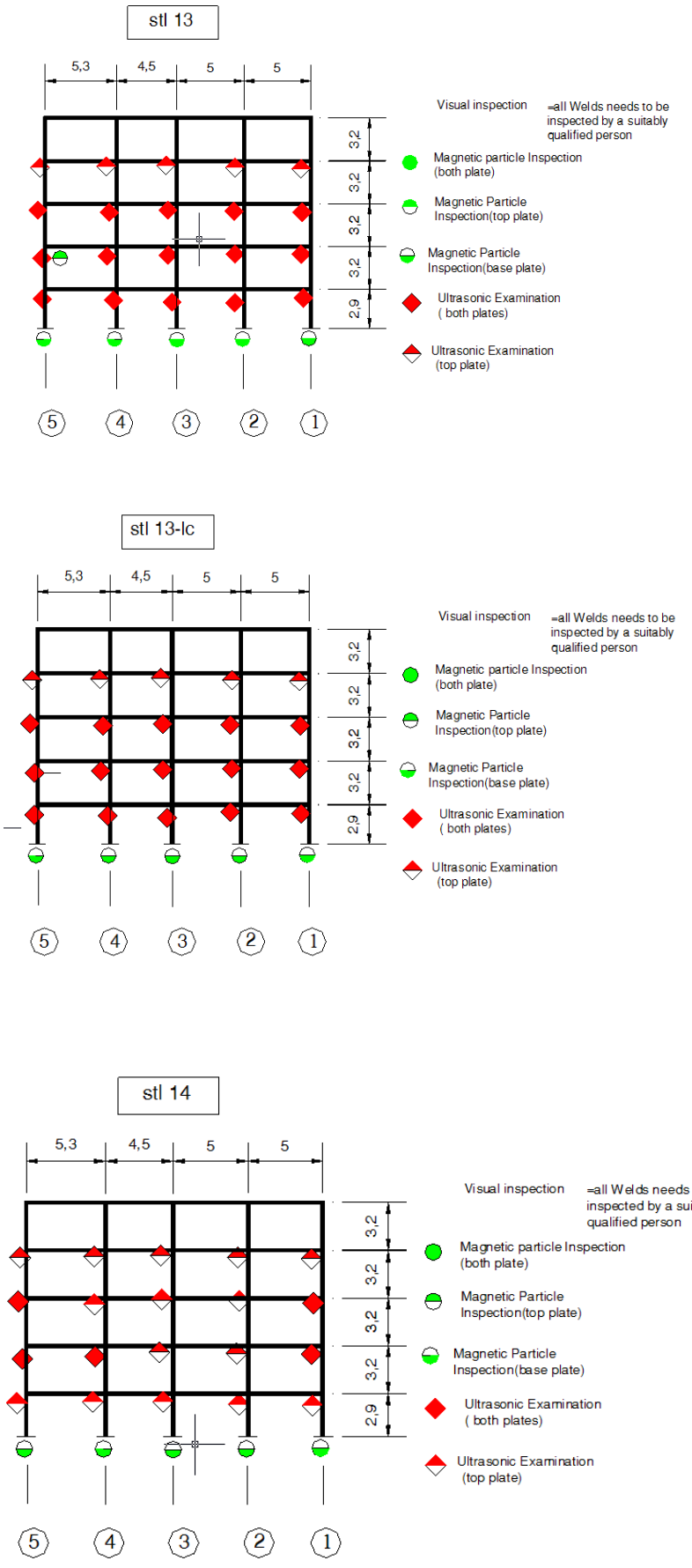


شکل۲۶- آزمایش با امواج صوتی و یا فرا صوتی

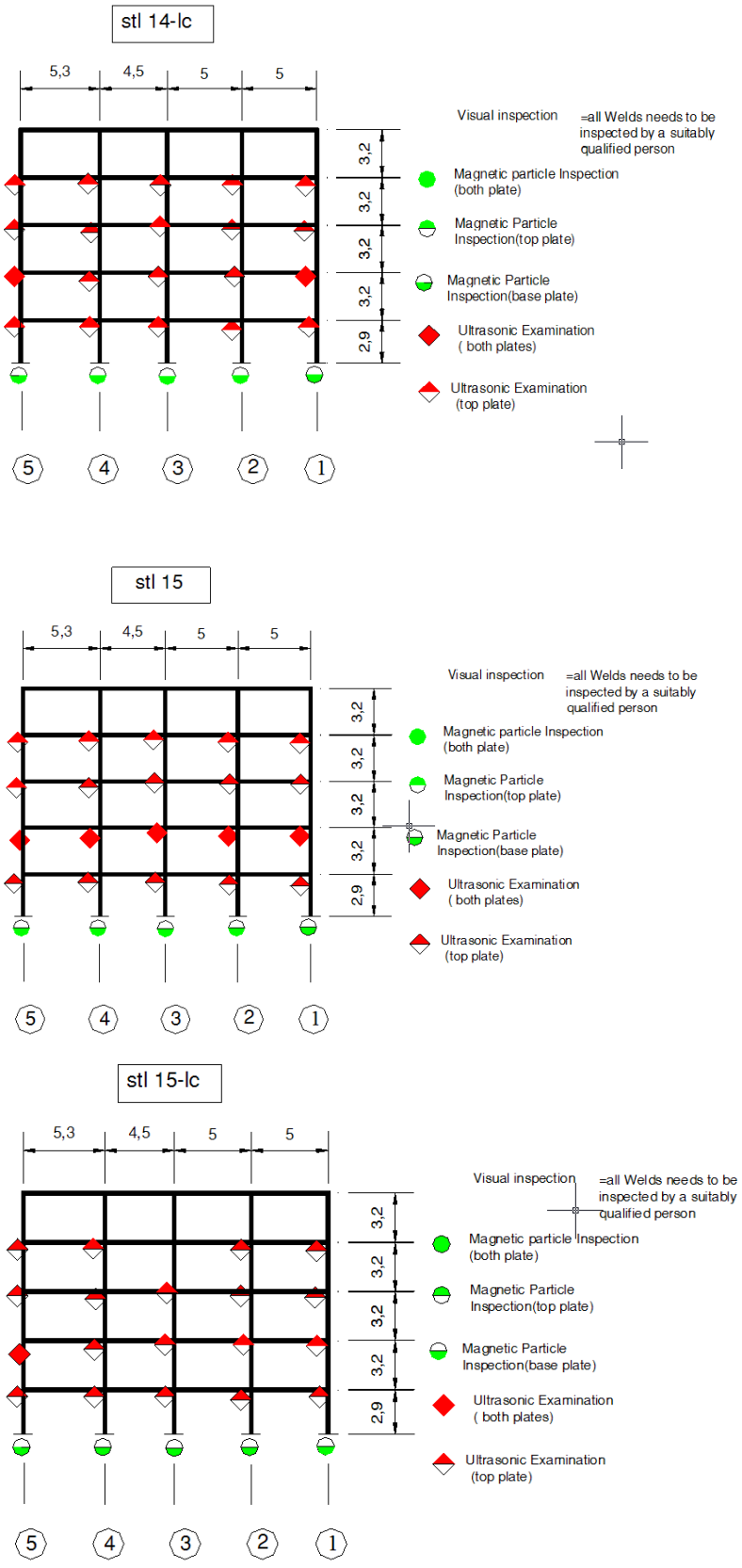
برای بررسی ازمایشات غیر مخرب مورد نیاز مطابق جدول۶ در ۷۲ ساختمان طراحی شده ، یکی از قاب‌های پلان مطابق شکل (۲۷) انتخاب شده و کلیه اتصالات تیر وستون در قاب مورد نظر طراحی و براساس ضخامت ورق‌های اتصال نوع و تعداد این آزمایش‌ها مشخص شده است. تعدادی از نتایج این محاسبات در شکل (۲۸) دیده می‌شوند. علامت LC در نامگذاری مدل‌ها نشان‌دهندهٔ کاربرد بتن سبک سازه‌ای در کف طبقات است.



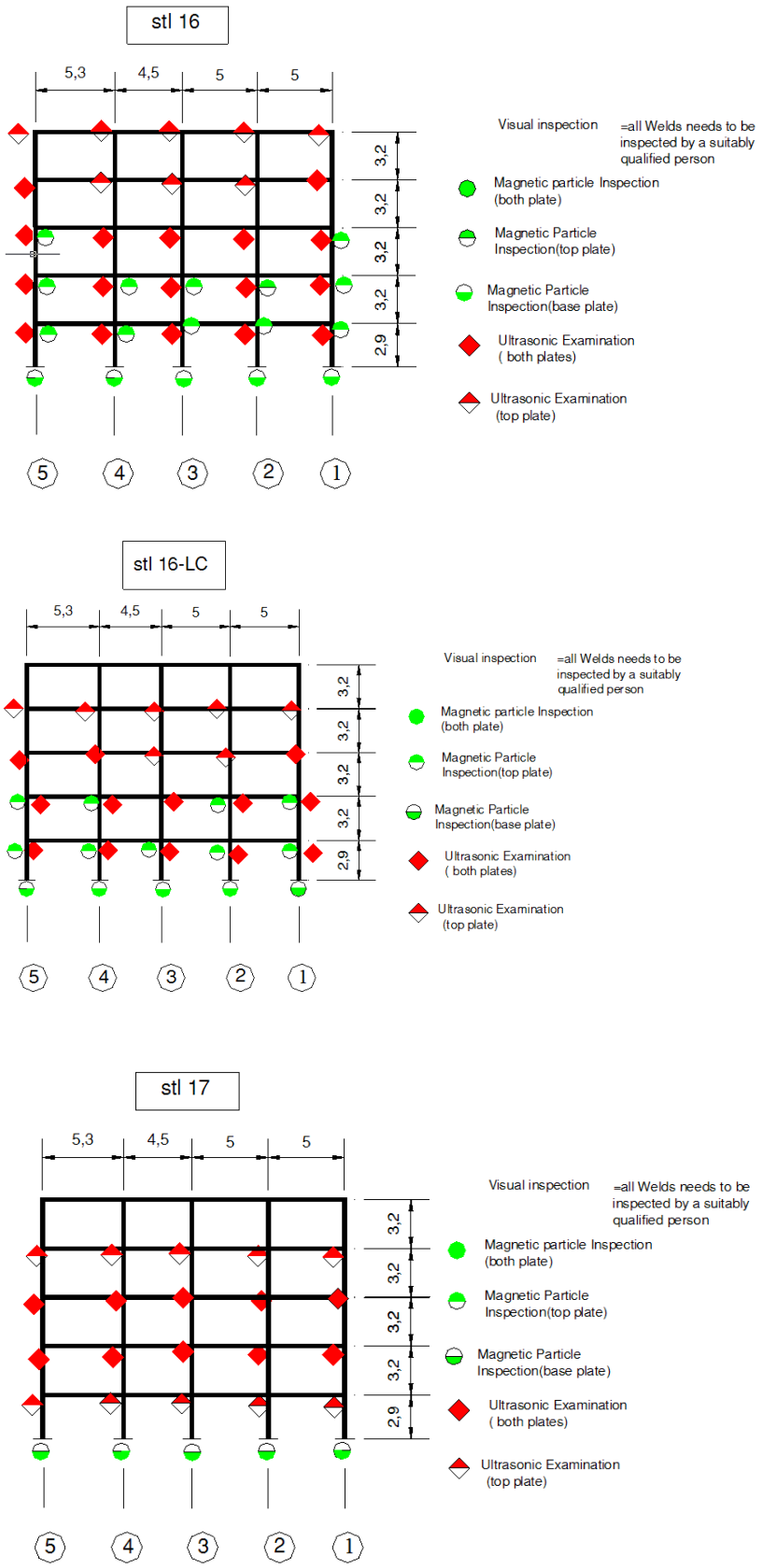
شکل ۲۷- موقعیت قاب انتخابی



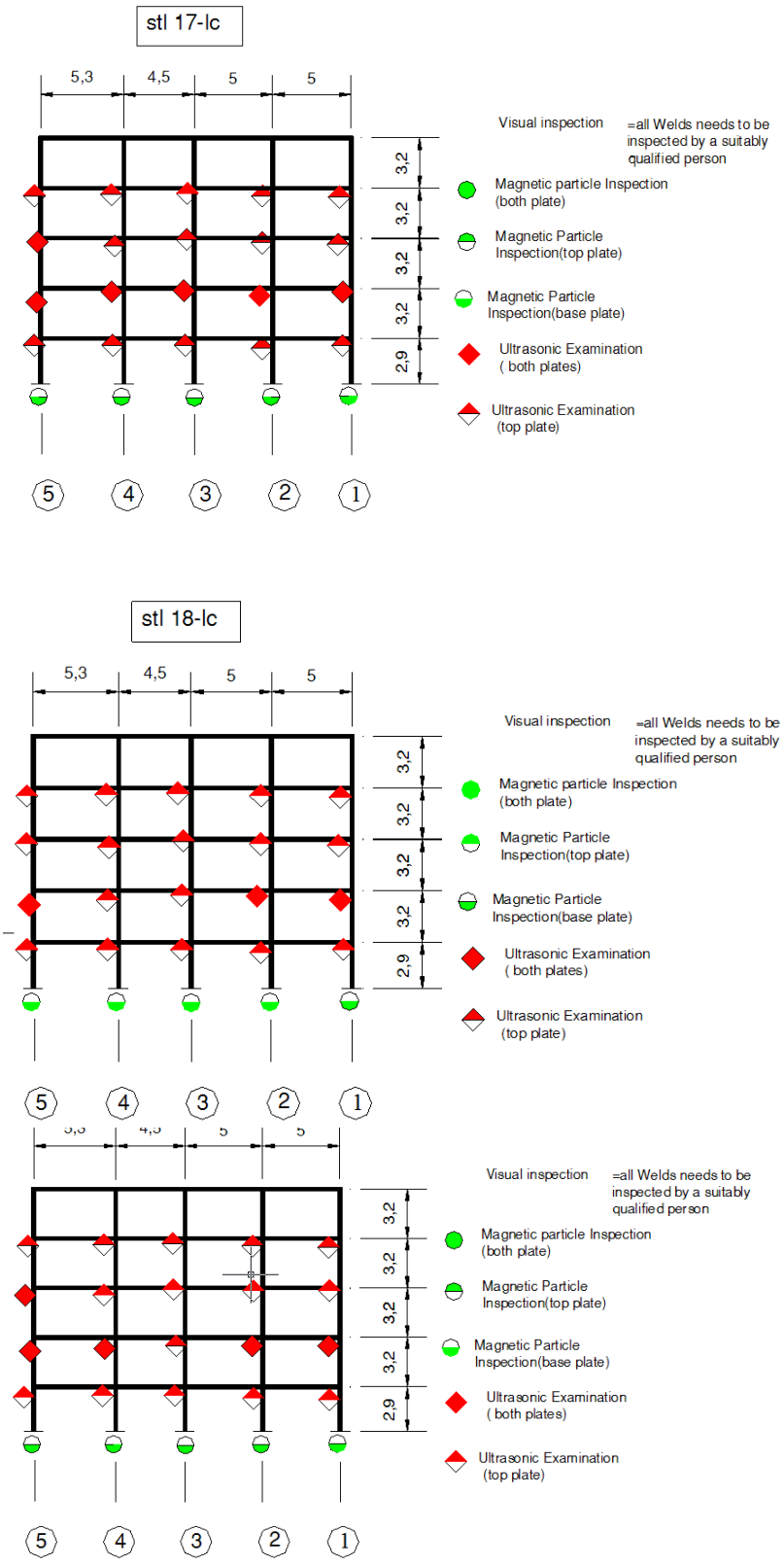
شکل ۲۸- نمایش شماتیک آزمایش‌های مورد نیاز جوشکاری در قاب نمونه (ادامه دارد)



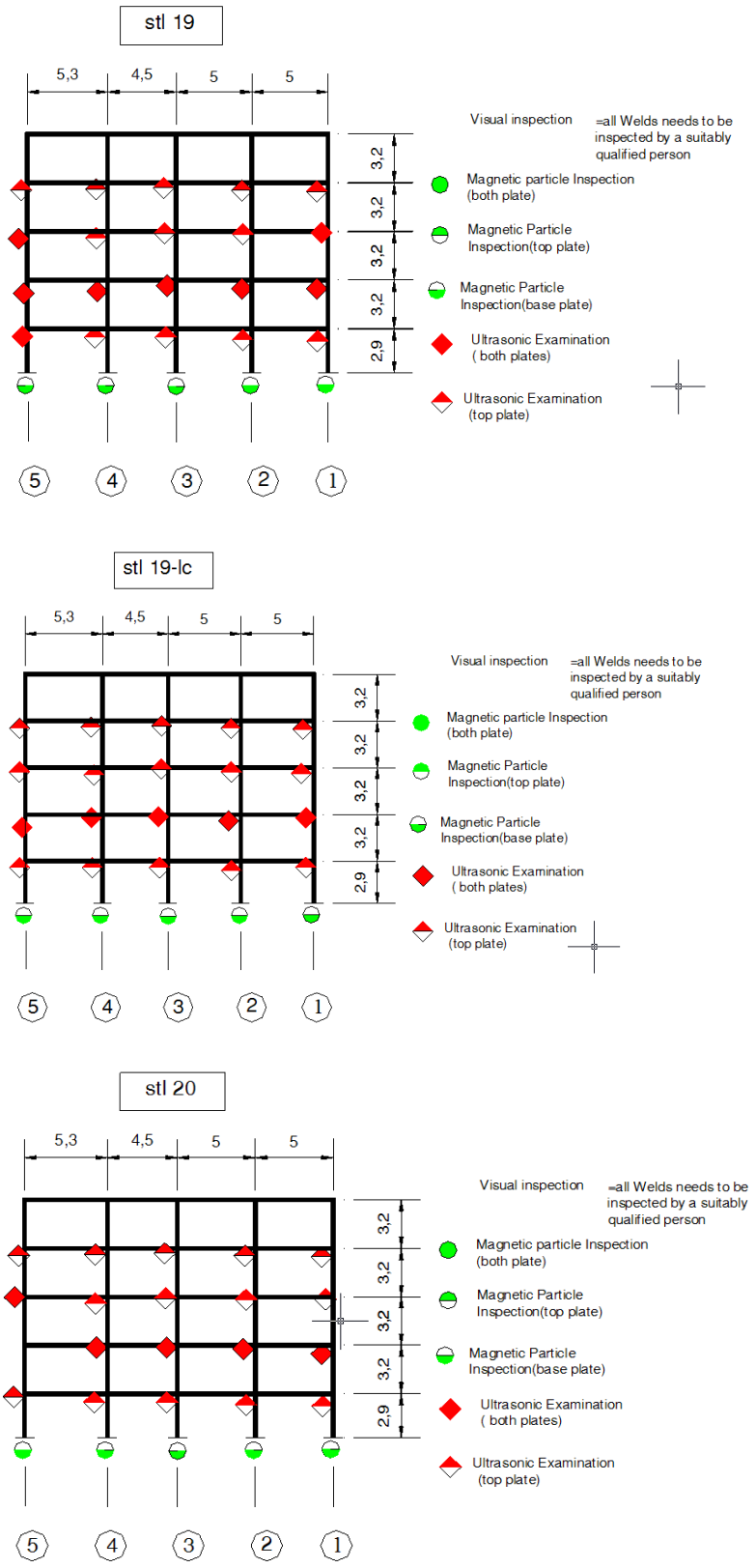
شکل ۲۸– نمایش شماتیک آزمایش‌های مورد نیاز جوشکاری در قاب نمونه (ادامه دارد)



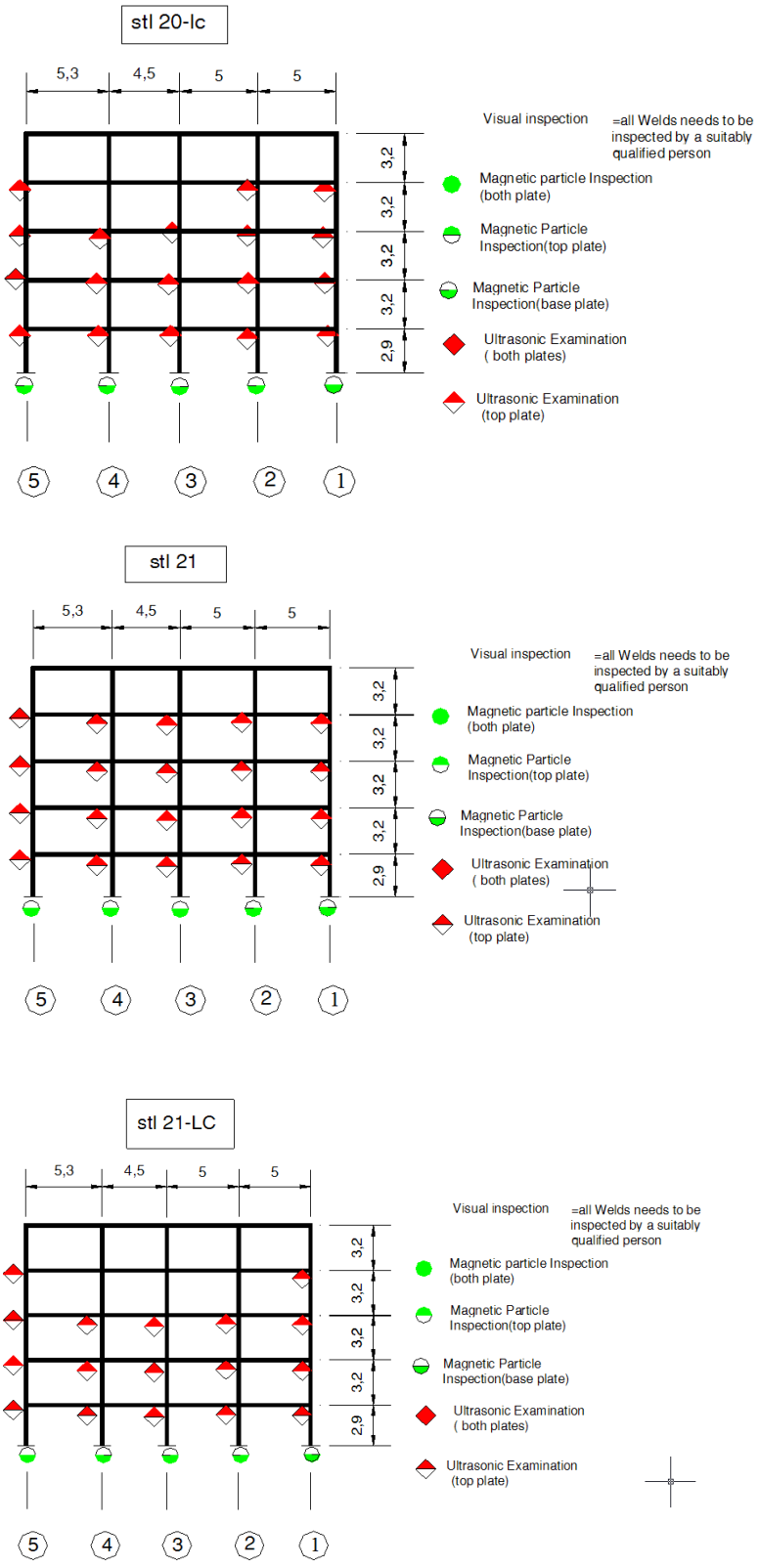
شکل ۲۸- نمایش شماتیک آزمایش‌های مورد نیاز جوشکاری در قاب نمونه (ادامه دارد)



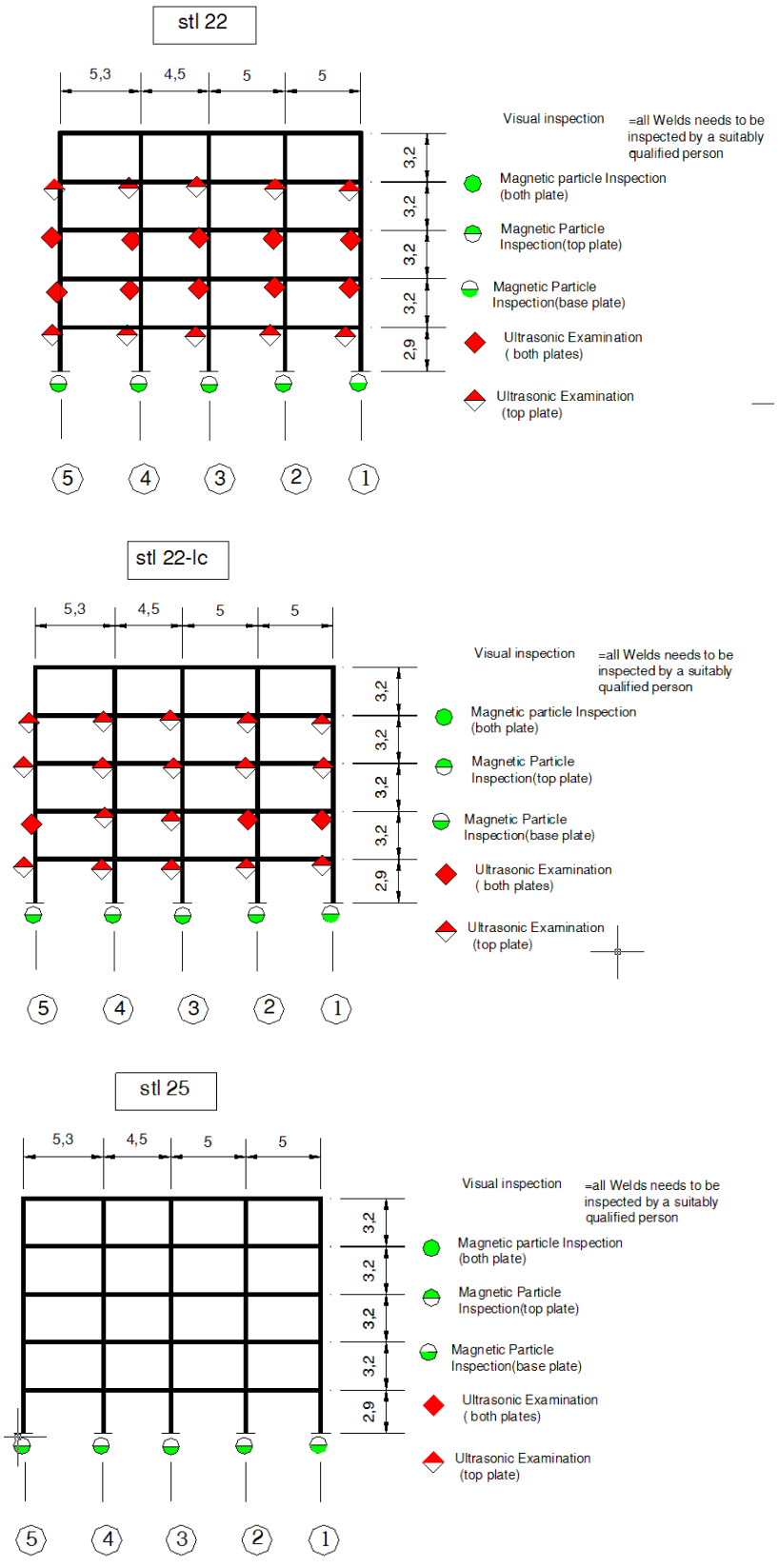
شکل ۲۸– نمایش شماتیک آزمایش‌های مورد نیاز جوشکاری در قاب نمونه (ادامه دارد)



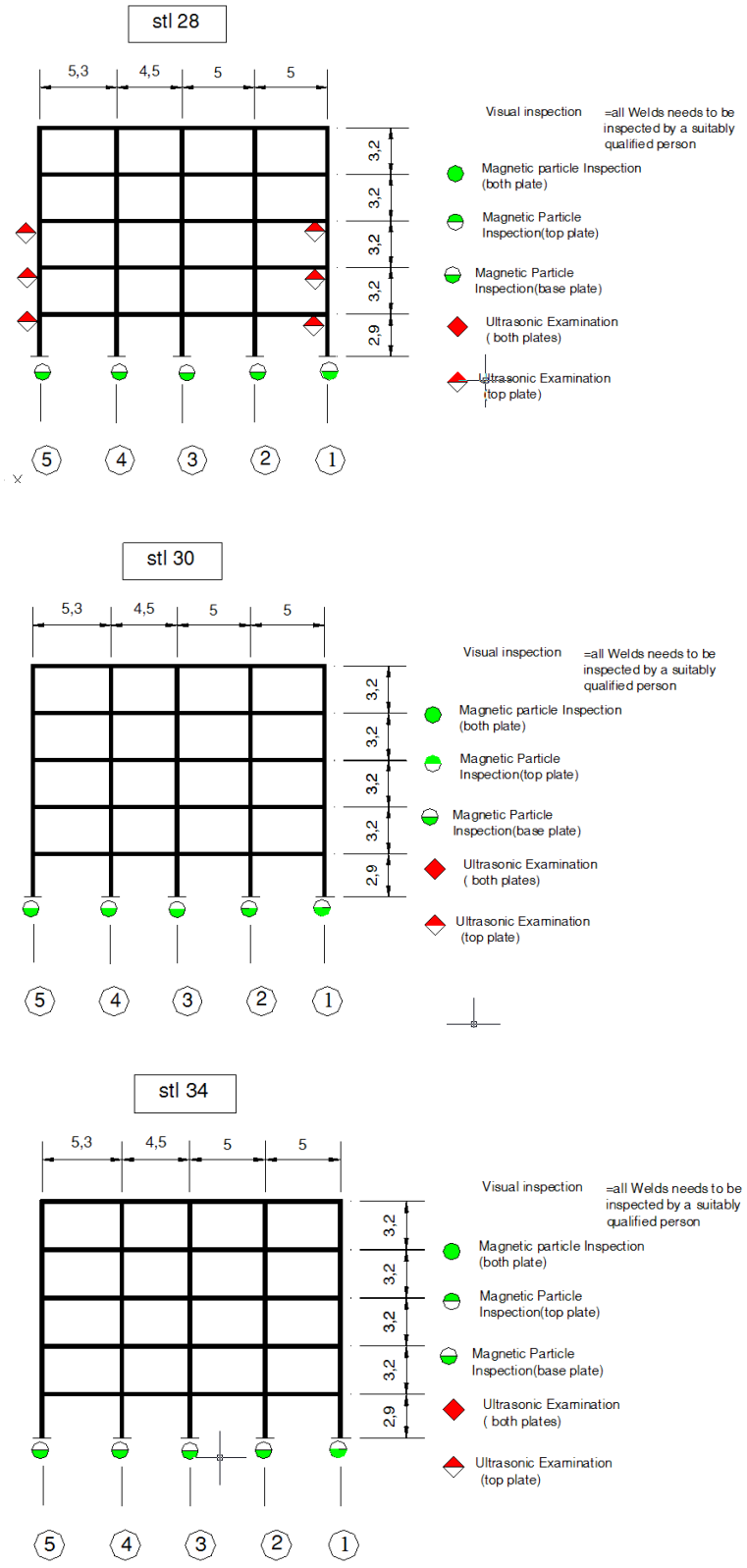
شکل ۲۸- نمایش شماتیک آزمایش‌های مورد نیاز جوشکاری در قاب نمونه (ادامه دارد)



شکل ۲۸- نمایش شماتیک آزمایش‌های مورد نیاز جوشکاری در قاب نمونه (ادامه دارد)



شکل ۲۸- نمایش شماتیک آزمایش‌های مورد نیاز جوشکاری در قاب نمونه (ادامه دارد)



شکل ۲۸- نمایش شماتیک آزمایش‌های مورد نیاز جوشکاری در قاب نمونه

۴-۴- ارزیابی بازرسی‌های جوش

برای ارزیابی ساختمان‌های مورد نظر از لحاظ جوشکاری و میزان تأثیر ترکیبات مختلف اجزاء ساختمانی بر جوش‌ها ، تعداد بازرسی‌های مورد نیاز در اتصالات مدل‌های ساختمانی مورد توجه قرار گرفته است. قبل از مقایسه کلی این ساختمان‌ها ابتدا بازرسی‌ها خود ارزیابی می‌شوند و سپس این شاخص ارزیابی در مجموع اتصالات قاب نمونه از این ساختمان‌ها جمع بندی می‌شود.

پارامترهایی که برای ارزیابی بازرسی‌ها در نظر گرفته شده‌اند به شرح زیر می‌باشد:

۱- وسایل و تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش

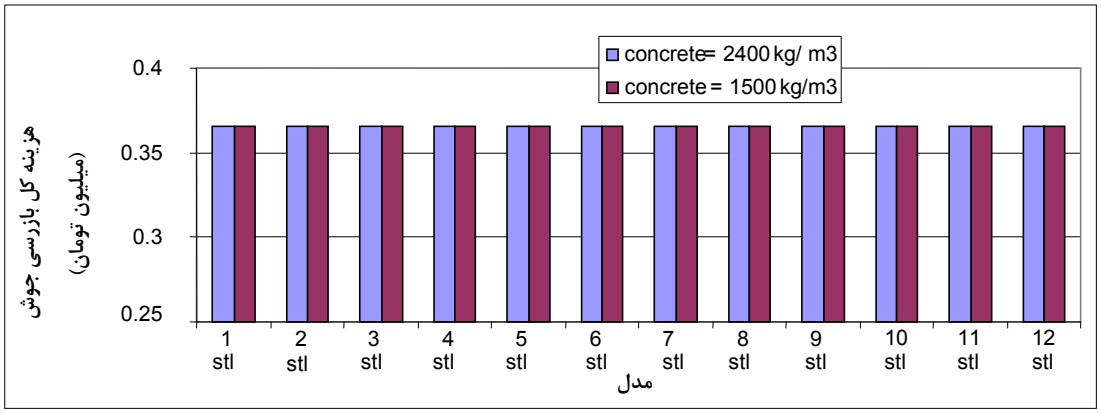
۲- تعداد نفرات مورد نیاز برای انجام آزمایش

۳- سطح مهارت مورد نیاز برای انجام آزمایش

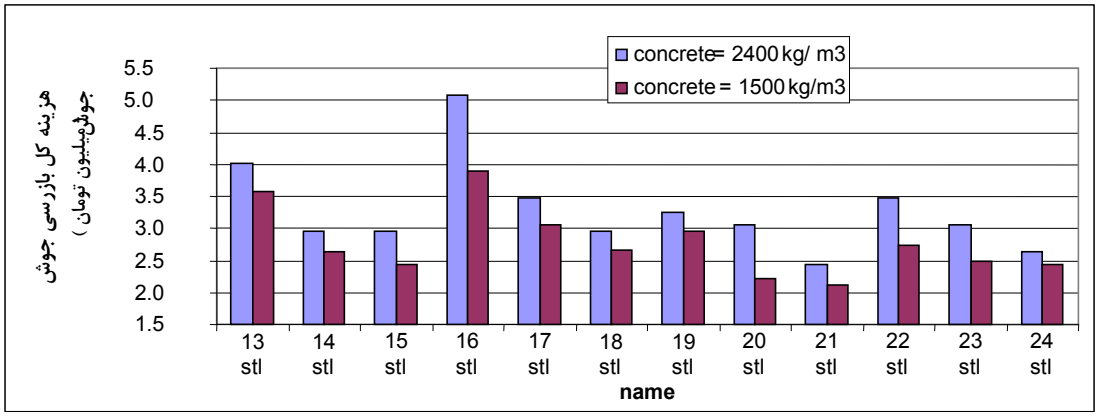
۴- زمان مورد نیاز برای انجام آزمایش

در مجموع با قضاوت کارشناسی مبتنی بر تجربیات در خصوص هر یک از پارامترهای عنوان شده ، هزینهٔ در نظر گرفته شده برای انجام هر آزمون فرا صوتی ۱۰۰/۰۰۰ ریال، آزمون ذرات مغناطیسی ۳۰ /۰۰۰ ریال و بازرسی چشمی ۳۵۰۰ ریال می‌باشد.

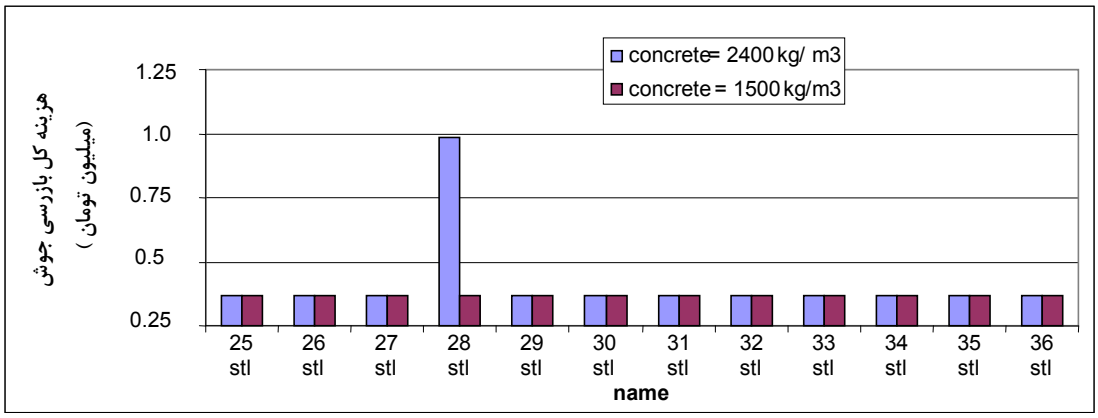
کلیه اتصالات قاب‌های ساختمان با احتساب هزینه های بالا ارزیابی شده‌اند و نتیجه به صورت نمودارهای زیر ارائه می‌شود.



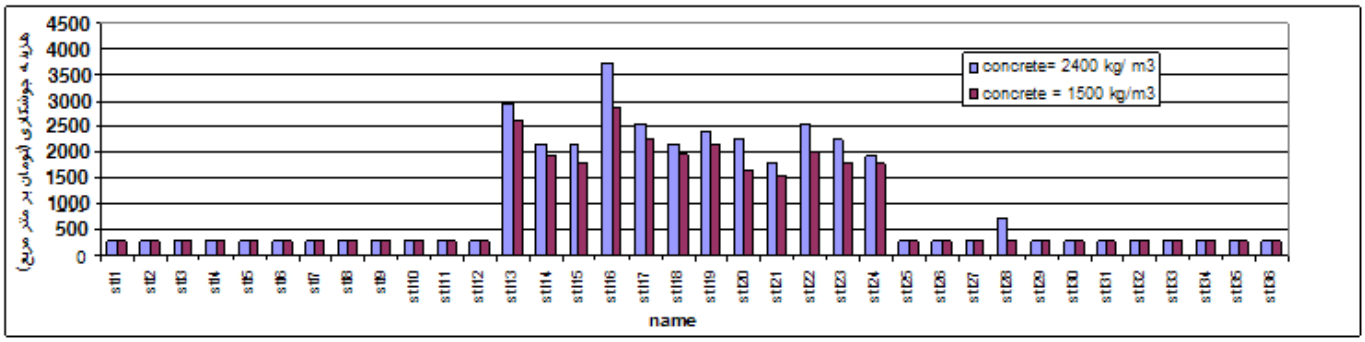
نمودار ۲۰- هزینه کل بازرسی جوش‌ها در ساختمان نمونه با سیستم قاب ساده فولادی + مهاربندی



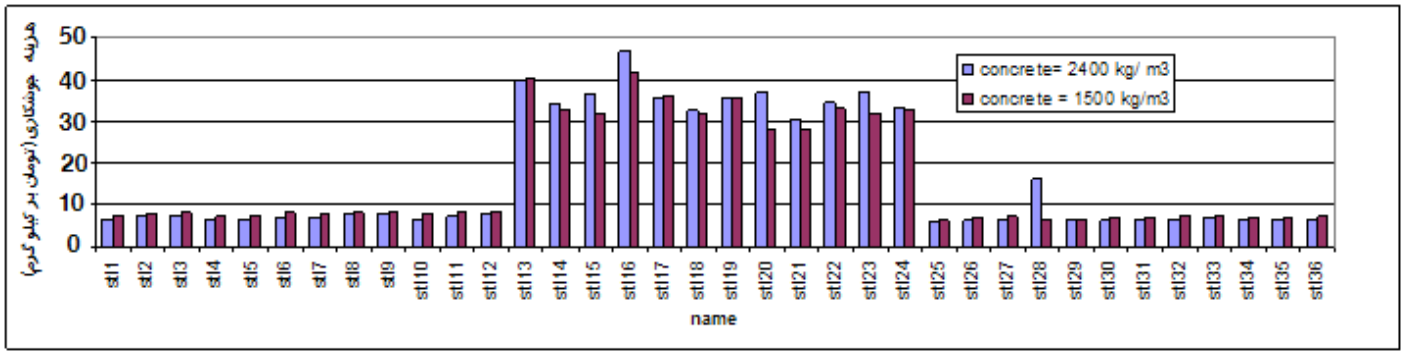
نمودار ۲۱- هزینه کل بازرسی جوشها در ساختمان نمونه با سیستم قاب خمشی فولادی



نمودار ۲۲- هزینه کل بازرسی جوش‌ها در ساختمان نمونه با سیستم قاب خمشی فولادی بعلاوه مهاربندی



نمودار ۲۳- هزینه بازرسی جوشکاری (تومان بر متر مربع زیربنا) در مدل‌های مورد بررسی



نمودار ۲۴- هزینه بازرسی جوشکاری (تومان به ازاء هر کیلوگرم وزن اسکلت) در کلیه ساختمان ها

۴-۵- نتایج مقایسه بازرسی های جوش در مدل های مختلف

۱- بازرسی چشمی تمام جوش ها توسط کارشناس ذیصلاح الزامی است.

۲- بازرسی با ذرات مغناطیسی برای جوش ستون به کف ستون در تمام موارد ضروری است .

۳- هزینه های بازرسی جوش برای ساختمان های دارای سیستم قاب خمشی نسبت به دو سیستم دیگر (قاب ساده + مهاربندی ، قاب خمشی + مهاربندی) بیشتر می باشد . اگر چه در هر دو سیستم قاب خمشی و قاب خمشی + مهاربند از جوش های نفوذی استفاده می گردد، اما وجود مهاربندی موجب کنترل تغییر شکل جانبی سازه می‌شود و با کاهش لنگر خمشی منجر به کاهش اندازه جوش ها و ضخامت ورق های اتصال می‌گردد. این امر باعث کاهش موارد بازرسی جوش و هزینه‌های مربوطه می‌گردد.

۴- هزینه بازرسی جوش در سیستم قاب ساختمانی ساده که اتصالات به صورت ساده اجرا می شوند و تنها نیاز به بازرسی چشمی دارند ، بسیار نزدیک به سیستم قاب خمشی + مهاربند می باشد که دارای اتصالات گیردار با جوش های نفوذی می‌باشد. زیرا دراین حالت به علت وجود مهاربندها ، سازه صلبیت بیشتری نسبت به سیستم قاب خمشی داشته و تغییر مکان جانبی پارامتر غالب برای تعیین مقاطع نیست و مقاطع و ابعاد اتصالات به سیستم قاب ساده + مهاربندی نزدیک می باشد. در حقیقت طراحی سیستم به صورت قاب خمشی + مهاربندی هزینه‌های اضافی برای جوشکاری در بر ندارد.

۵-کیفیت جوشکاری درتامین ایمنی ساختمان در برابر بار های وارده به ویژه زلزله از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است .لزوم انجام بازرسی های جوش بر اساس وضعیت جوشکاری نیز در این راستا می باشد . از نمودار های ۲۰ الی ۲۴ برداشت می‌شود که هزینه این بازرسی ها نسبت به هزینه کل ساختمان هزینه بالایی نمی باشد و می توان با انجام این بازرسی ها در تامین ایمنی ساختمان گامی مهم برداشت .

۵-تحلیل قیمت ها

از عوامل تاثیر گذار در انتخاب یک الگوی ساختمانی هزینه تمام شده کل پروژه می باشد که نسبت به سایر عوامل ، تاثیری چشمگیر در انتخاب نهایی دارد .

در این قسمت با آنالیز هزینه های هر یک از الترناتیو های انتخابی به تفکیک سعی بر تعیین هزینه نهایی ساختمان در مدل های مختلف و در نهایت مقایسه این مدل ها از لحاظ هزینه می‌باشد .لذا برای هر گروه ساختمان های فولادی و بتنی بنابر شرایط طراحی ، هزینه‌های ساخت محاسبه شده است .

هزینه نهایی ساختمان در سازه‌های های فولادی با منظور کردن موارد زیر محاسبه شده است :

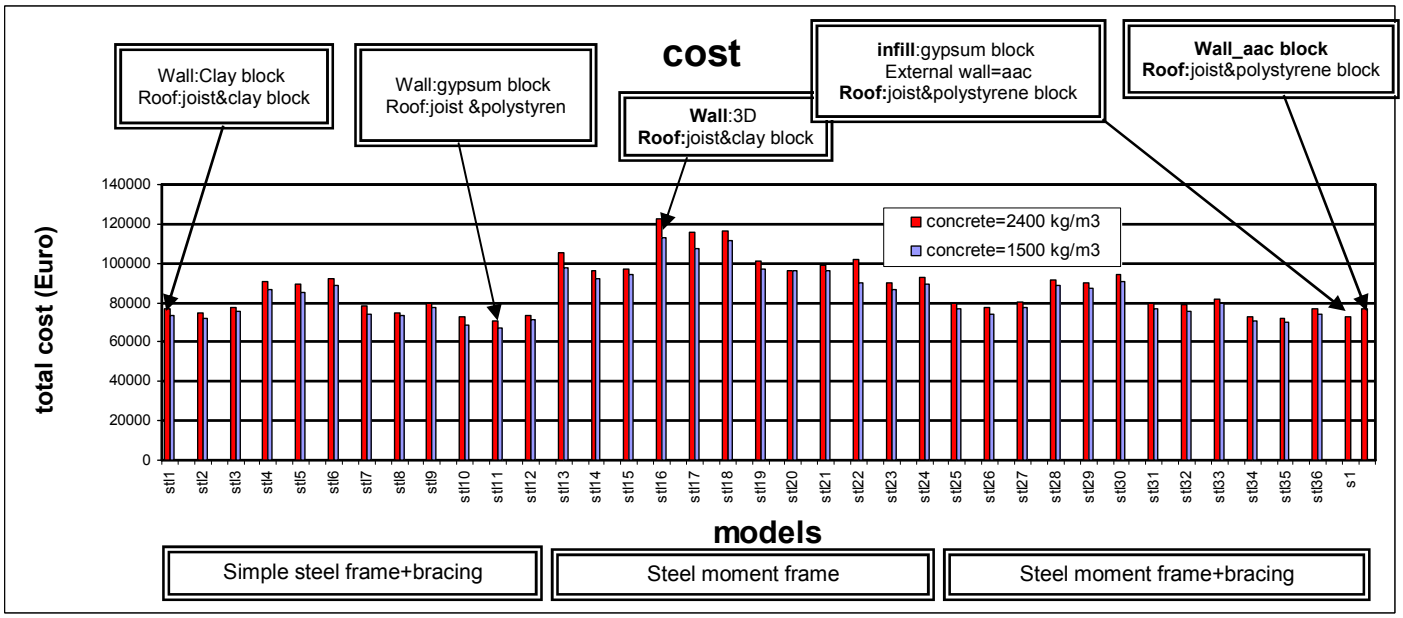
- اسکلت
- اتصالات
- بازرسی های جوش
- سقف ها
- دیوار های جدا کننده
- دیوار های خارجی
- شمع در زیر شالوده (این هزینه برای ساختمان های با سیستم قاب ساده + مهاربندی که نیروی برکنش ستون ها در آنها قابل توجه می باشد در نظر گرفته شده است)

ذکر این نکته ضروری است که در هزینه های محاسبه شده هزینه مصالح ، ساخت و حمل برای دیوار ها ملحوظ شده است.

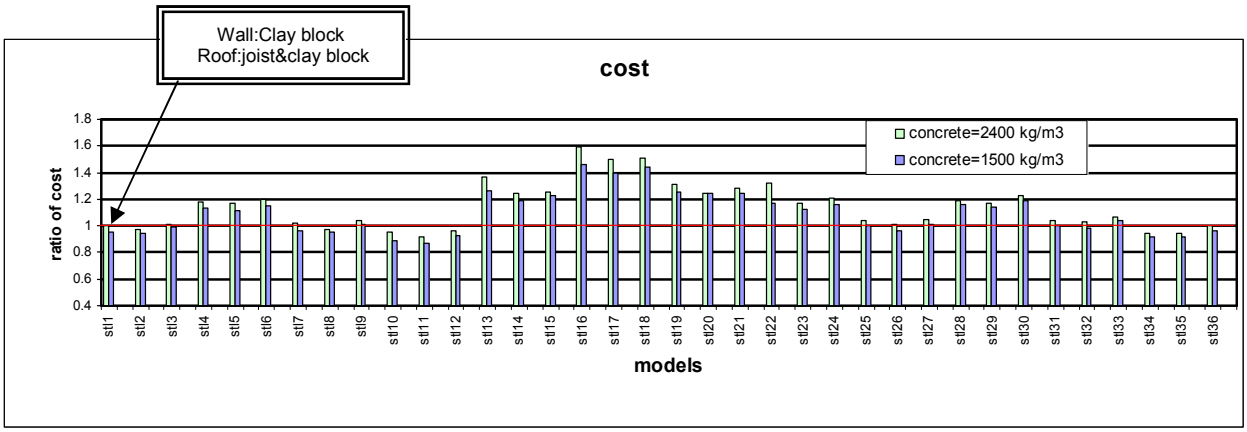
هزینه نهایی ساختمان در سازه‌های بتنی با منظور کردن موارد زیر محاسبه شده است :

- اسکلت (شامل میلگرد ها ، قالب بندی و بتن ریزی)
- سقف
- دیوار های جدا کننده
- دیوار های خارجی

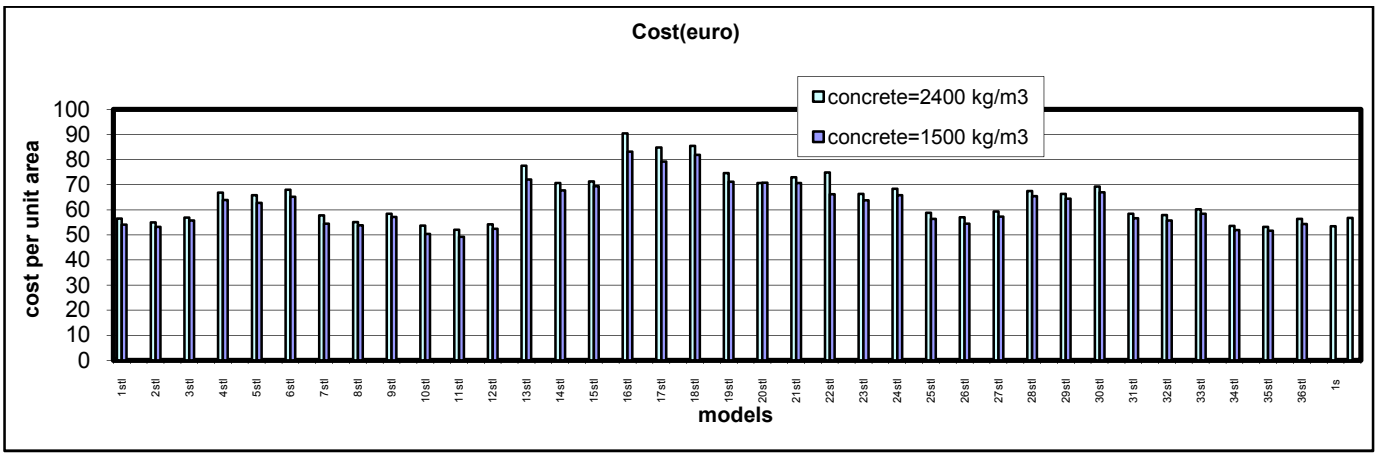
در نمودارها از واحد پول یورو استفاده شده است که نوسان آن در طول زمان بسیار کمتر از واحد ریال می باشد. به این ترتیب ، امکان مقایسه قیمت ها در زمان آینده و با ورود محصولات جدید به صنعت ساختمان امکان پذیر خواهد بود.



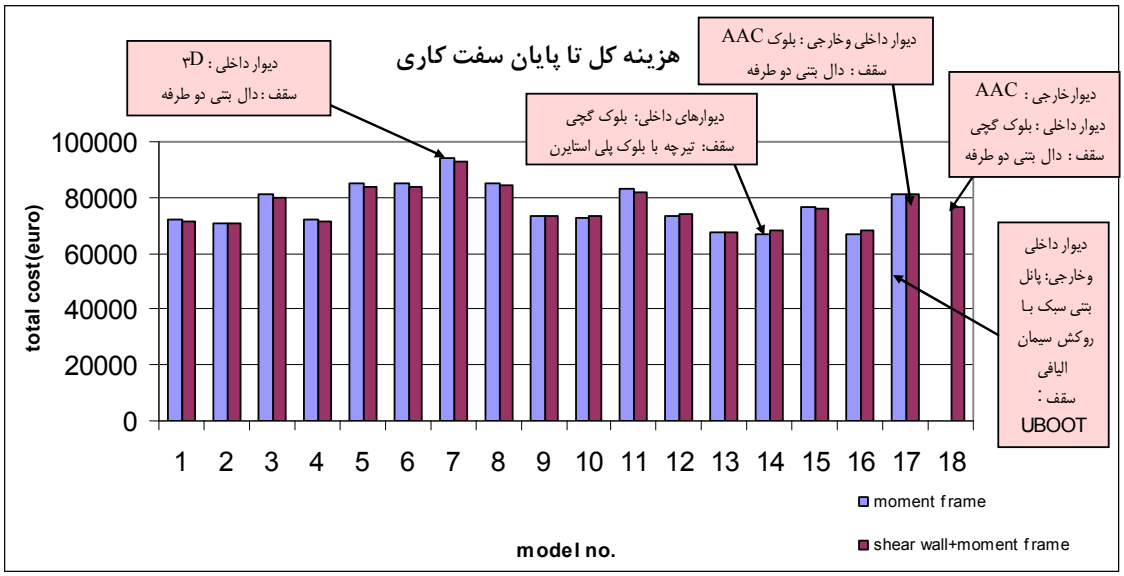
نمودار ۲۵- هزینه نهایی اسکلت و سفت‌کاری ساختمان‌های فولادی در مدل‌های مختلف



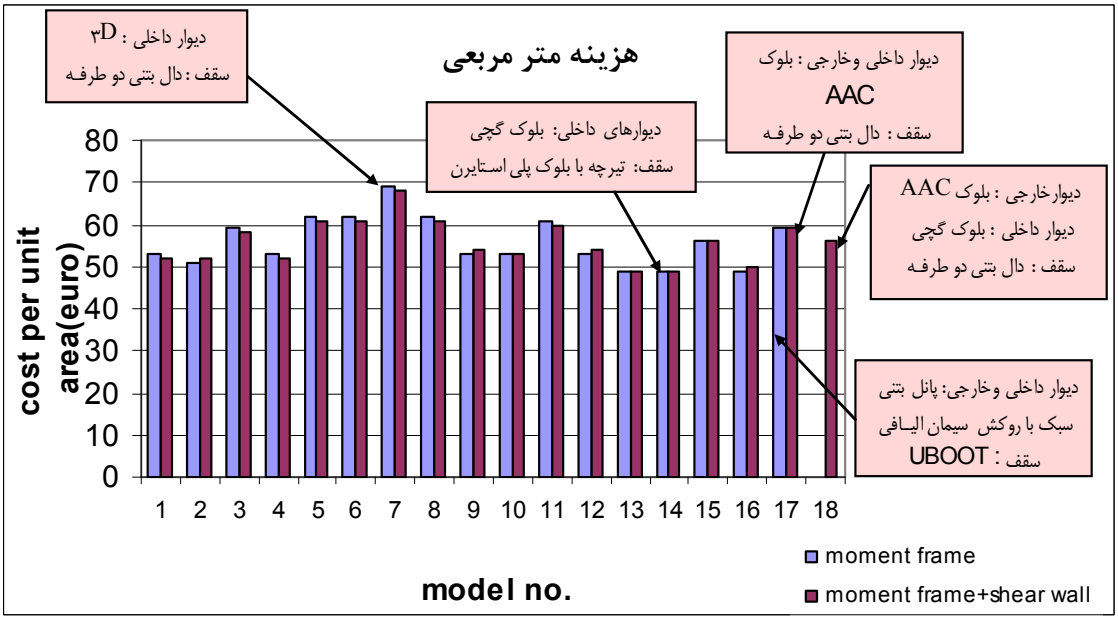
نمودار ۲۶- هزینه نهایی ساختمان‌های فولادی در مدل‌های مختلف که نسبت به مدل stl-1 نرمال شده‌اند



نمودار ۲۷- هزینه نهایی ساختمان های فولادی در متر مربع در مدل های مختلف (بر حسب یورو)



نمودار۲۸- هزینه نهایی اسکلت و سفت‌کاری ساختمان های بتنی در مدل های مختلف (بر حسب یورو)



نمودار۲۹- هزینه نهایی هر متر مربع ساختمان های بتنی در مدل های مختلف (بر حسب یورو)

۵-۱- جمع بندی

۵-۱-۱- مدل های فولادی

با مقایسه نمودارهای ۲۵ الی ۲۷ نکات زیر در ارتباط با هزینه های ساختمان تا پایان مرحله سفت کاری قابل استنتاج است :

۱- در سیستم قاب ساده + مهاربندی با تغییر در سیستم های سقف و دیوار در حدود ۲۰ ٪ اختلاف هزینه بین بیشترین تا کمترین هزینه برای مدل های مختلف دیده می‌شود . بالاترین هزینه مربوط به مدل stl-6 (سقف مرکب بتن + فولاد و دیوار های بتنی 3D) می باشد. پانل‌های 3D علاوه بر وزن زیاد ، هزینه ساخت بالایی نیز دارند. کمترین هزینه مربوط به مدل stl-11 (سقف تیرچه بلوک پلی استایرن و دیوار های بلوک گچی) می باشد. هزینه ساخت و اجرای بلوک‌های گچی از سایر سیستم های دیوار کمتر می باشد .

۲- در سایر سیستم ها (قاب خمشی ، قاب خمشی + مهاربند) نیز کمترین و بیشترین هزینه به ترکیبات عنوان شده سقف و دیوار مذکور در بند ۱ بالا تعلق می‌گیرد .

۳ – در مجموع می توان گفت مدل های دارای سیستم سازه ای قاب خمشی به علت سنگینی وزن اسکلت نسبت به دو سیستم سازه‌ای دیگر هزینه‌های بالاتری دارند . بیشترین هزینه در بین مجموع مدل ها مربوط به مدل stl-16 (سیستم قاب خمشی + سقف تیرچه با بلوک های سفالی + دیوار های پانل ساندویچی) می باشد .

۴ – کمترین هزینه مربوط به مدلهای s1 و s2 می باشد . این مدل ها در بر گیرنده ترکیبات قاب خمشی + مهاربند ،سقف تیرچه با بلوک پلی استایرن و دیوار های بلوک AAC میباشد . همانطور که از فصل های قبل نیز نتیجه گیری شد این سیستم سازه ای نسبت به سیستم قاب ساده + مهاربندی به دلیل وجود نیروی برکنش کنترل شده در ستون ها و عدم نیاز به ساخت شالودهٔ شمعی ، ارجحیت دارد . سیستم قاب خمشی به علت وجود تغییر مکان جانبی زیاد نیازمند اعضای سازه‌ای ستبر است که منجر به مصرف فولاد زیاد در اسکلت و به تبع آن هزینه های بالاتر می شود . سیستم سازه‌ای قاب خمشی + مهاربندی با وجود جوش های نفوذی در اتصالات و نیاز به بازرسی های بیشتر ، همانطور که از نمودار های بند ۶ استنتاج می شود، هزینه اضافی نسبت به سیستم قاب ساده + مهاربندی ندارد.

لذا در نهایت با توجه به جمیع پارامتر های در نظر گرفته شده در بندهای مختلف ، سیستم قاب خمشی + مهاربند با سقف های متشکل از تیرچه با بلوک های پلی استایرن و دیوار های شامل بلوک‌های AAC به عنوان ترکیب بهتر در مدل های فولادی پیشنهاد می گردد.

۵-۱-۲- مدل های بتنی

با مقایسه نمودارهای ۲۸و۲۹ نتیجه می شود که چه در مورد سیستم قاب خمشی و چه در مورد سیستم قاب خمشی همراه با دیوار برشی ، ارزان ترین سیستم مربوط به مدل‌های دارای سقف تیرچه با بلوک پلی استایرن و تیغه های داخلی بلوک گچی می‌باشد. همچنین گران ترین سیستم مربوط به سقف دال دوطرفه و تیغه های داخلی 3D می باشد.

در مورد چند ترکیب جذاب‌تر از نظر سبکی و هزینه ، ذیلا توضیحات بیشتری ارائه می‌شود:

الف) سیستم باربر قاب خمشی + دیوار برشی و سقف دال دو طرفه با دیوارهای خارجی از نوع بلوک های بتنی AAC و تیغه های داخلی از نوع بلوک های بتنی AAC : هزینه تمام شده برای این سیستم تا انتهای سفت کاری اندکی بیش از میانگین هزینهٔ تمامی گزینه‌های بتنی است. با توجه به اینکه دیوارهای AAC نیاز به عایق‌کاری حرارتی ندارند ، هزینهٔ نهائی با میانگین هزینهٔ سایر گزینه‌ها قابل مقایسه است.

ب) سیستم باربر قاب خمشی + دیوار برشی و سقف دال دو طرفه با دیوارهای خارجی از نوع بلوکهای بتنی AAC و تیغه های داخلی از نوع بلوک گچی. بین تمام سیستم هایی که دال بتنی دو طرفه دارند هزینه تمام شده برای این سیستم تا انتهای سفت کاری ، اندکی گرانتر از گزینه‌ای است که دیوارهای خارجی آن بلوک سفالی می باشد. ولی مابه التفاوت هزینه عایق کاری این اختلاف هزینه را جبران خواهد کرد و این گزینه را در ردیف ارزانترین‌ها قرار می‌دهد.

ج) سیستم سازه ای قاب خمشی و سقف دال دو طرفهٔ مجوف Uboot با دیوارهای خارجی از نوع پانل بتنی سبک با دو لایه روکش الیاف سیمانی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و دیوارهای داخلی از نوع پانل بتنی سبک با دو لایه روکش الیاف سیمانی به ضخامت ۷ سانتیمتر. این گزینه به دلیل کاربرد قاب خمشی دارای بیشترین آزادی عمل در معماری ساختمان است. پانل بتنی سبک با دو لایه روکش الیاف سیمانی به دلیل سبکی و به دلیل اینکه نیاز به عایق کاری ندارد گزینه مناسبی می باشد. سقف دال دو طرفهٔ مجوف Uboot نیز کاملا سبک و کارآمد است. هزینهٔ این گزینه در حد میانگین مقادیر برای ساختمان‌های بتنی است.

۵-۲- انتخاب نهایی

با جمع بندی نهایی از آلترناتیو های ارایه شده سه الگوی مختلف فولادی و بتنی با مشخصات زیر پیشنهاد می‌گردد:

الگوی ۱) ساختمان با اسکلت فولادی:

- سیستم سازه ای : قاب خمشی + مهار بندی
- سقف: تیرچه و بلوک پلی استایرن
- دیوار های داخلی : بلوک های بتن سبک AAC و یا پانل های گچی
- دیوار های خارجی : بلوک های بتن سبک AAC به ضخامت ۲۵ سانتیمتر

الگوی ۲) ساختمان با اسکلت بتنی

- سیستم سازه ای : قاب خمشی + دیوار برشی

- سیستم سقف: دال بتنی دو طرفه.
- دیوارهای داخلی : بلوک های بتن سبک AAC و یا پانل های گچی
- دیوار های خارجی : بلوک های بتن سبک AAC به ضخامت ۲۵ سانتیمتر.

الگوی ۳) ساختمان با اسکلت بتنی

- سیستم سازه ای : قاب خمشی
- سیستم سقف: دال بتنی دو طرفه مجوف U-boot
- دیوارهای داخلی : پانل بتنی سبک با دو لایه روکش الیاف سیمانی به ضخامت ۷ سانتیمتر
- دیوار های خارجی : پانل بتنی سبک با دو لایه روکش الیاف سیمانی به ضخامت ۱۰ سانتیمتر

۶- گزینه‌هائی برای افزایش سرعت اجرای ساختمان

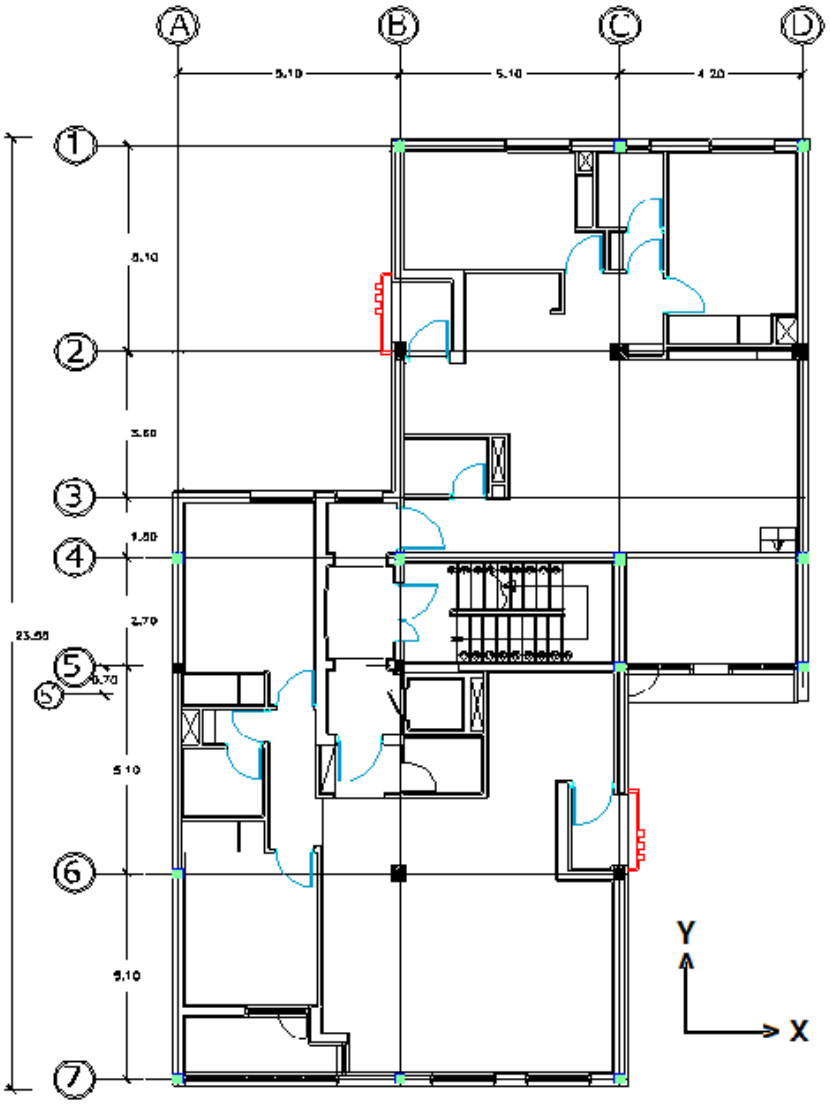
نتایج مطالعات قبلی بر روی بیش از یکصد و ده ترکیب سازه و اجزاء غیر سازه‌ای، به عنوان راهنمای طراحی یک ساختمان با بهره‌گیری از روش‌های ساختمانی رایج در ایران به کار گرفته شده است. ضمن اینکه یک عامل جدید به پارامترهای موثر در انتخاب اجزاء ساختمان اضافه شده است. این پارامتر جدید، سرعت اجرای ساختمان است که در بهره‌وری کلی هر طرح ساختمانی نقش مهمی ایفا می‌کند. با توجه به تجارب پیش گفته و مطالعه مجدد سیستم های مختلف سقف، دیوار و اسکلت، سه گزینهٔ حاصل از بررسی ترکیبات سیستم های فولادی با هدف ارتقاء معیارهای اصلی طراحی ساختمان ضمن حفظ هماهنگی بین عناصر طرح در این بخش معرفی شده است. لازم به ذکر است که سازهٔ فولادی از نظر سبکی و سرعت اجرا دارای برتری ذاتی نسبت به سازهٔ بتنی است و این امر دلیل تمرکز بر سازهٔ فولادی در این بخش است.

۶-۱ گزینه اول

گزینهٔ اول در واقع نقطهٔ شروع حرکت از گزینهٔ بهینهٔ فولادی بند ۵-۲ است که قبلا در مورد آن توضیح داده شده است. تنها تغییری که در آن گزینه داده شده است، استفاده از اتصالات پیچی به جای اتصالات جوشی است. این تغییر به منظور افزایش سرعت اجرای سازه و نیز حذف جوشکاری کارگاهی صورت گرفته است.

۶-۱-۱ پلان معماری

برای طراحی گزینهٔ اول فولادی از یک پلان معماری که بر اساس طرح مدولار و با توجه به ضوابط معماری و شهرسازی طراحی شده، استفاده شده است. در این پلان ، امکان تعبیهٔ مهاربندهای مناسب در جهت عرضی پلان وجود ندارد و به همین علت از قاب خمشی فولادی به عنوان سیستم باربر جانبی در عرض ساختمان استفاده می‌شود.



شکل۲۹- پلان معماری گزینهٔ اول

سیستم باربر جانبی: سیستم باربر جانبی در جهت شمالی- جنوبی قاب ساده بعلاوهٔ مهاربند همگرای فولادی و در جهت شرقی - غربی قاب خمشی فولادی متوسط می‌باشد. استفاده از قاب خمشی فولادی در یک جهت پلان به دلیل محدودیت معماری ساختمان در استفاده از مهاربند صورت گرفته است. علیرغم عدم صرفهٔ اقتصادی قاب خمشی فولادی، این سیستم در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی به عنوان تنها گزینهٔ ممکن مطرح می‌شود. به این ترتیب در گزینهٔ اول امکان بررسی جزئیات طراحی قاب خمشی با مهاربند و بدون آن به وجود آمده است.

مشخصات سقف: دال بتنی کامپوزیت با تیرچه های فولادی سبک‌ترین گزینهٔ ممکن است که علاوه بر تامین نیازهای طراحی سازه‌ای ، عبور لوله‌های تاسیساتی را نیز تسهیل می‌کند. قالب بندی سقف از نوع قالب‌های فلزی بدون شمع بندی قابل توصیه است که امکان اجرای همزمان سقف‌های طبقات را پدید می‌آورد و سرعت اجرای ساختمان را به شدت افزایش می دهد.

دیوارهای داخلی: بلوکهای گچی به ضخامت ۷ سانتیمتر انتخاب شده است که ارزانترین و سبکترین گزینهٔ ممکن است.

دیوارهای خارجی: بلوکهای بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) برای دیوارهای خارجی در نظر گرفته شده‌اند که علاوه بر سبکی و قیمت مناسب دارای ویزگی‌های مناسب برای کاربرد به عنوان عایق حرارتی در جدار خارجی ساختمان هستند. با کاربرد این بلوک‌های سبک وزن که دارای جرم حجمی کمتر از $800\ kg/m^3$ هستند ، نیازی به عایق‌کاری حرارتی جداگانه نمی‌باشد و صرفه‌جویی قابل توجهی در وزن و هزینه‌های احداث ساختمان صورت می‌گیرد. علاوه بر این ، ابعاد بزرگ این بلوک‌ها در مقایسه با آجرهای معمولی ، سرعت ساخت دیوارهای ساختمان را افزایش می‌دهد.

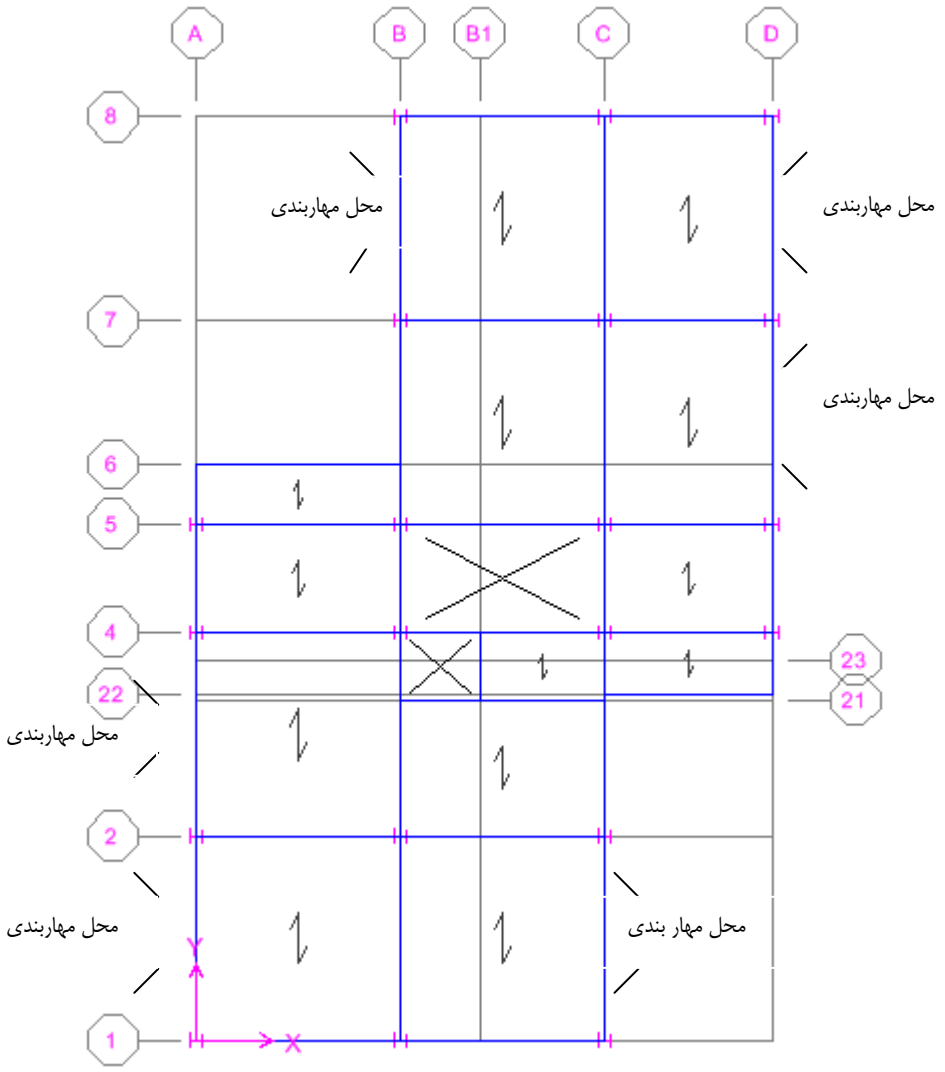
۶-۱-۲ تحلیل و طراحی

تحلیل سازه به روش خطی ارتجاعی با لحاظ کردن اثرات $P\text{-}\Delta$ و طراحی سازه به روش تنش های مجاز انجام شده است. اثرات ناشی از نیروی زلزله به روش تحلیل استاتیکی معادل (تحلیل تک مودی) مطابق ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شده است. طراحی اتصالات براساس روش حدی، مبتنی بر آخرین تغییرات انجام‌شده در مبحث دهم مقررات ملی ایران صورت گرفته است.

فولاد مصرفی در اعضای سازه‌ای از نوعSt37 با مقاومت جـاری شـدن ۲۴۰۰ کیلـوگرم بـر سـانتیمتر مربـع و میل‌گرد فولادی در کف بتنی طبقات از نوع S300 با حداقل تنش جاری شـدن ۳۰۰۰ کیلـوگرم بـر سـانتیمتر مربع است. مقاومت مشخصه فشاری بتن در کف بتنی طبقات : $f'c=210\ kg/cm2$ می باشد.

ملاحظات زیر در تحلیل در نظر گرفته‌شده است:

- اثر P-Delta
- اثر خروج از مرکزیت تصادفی ۵٪



شکل ۳۰ پلان مدل هندسی گزینهٔ اول

۶-۱-۳ مشخصات اعضای سازه

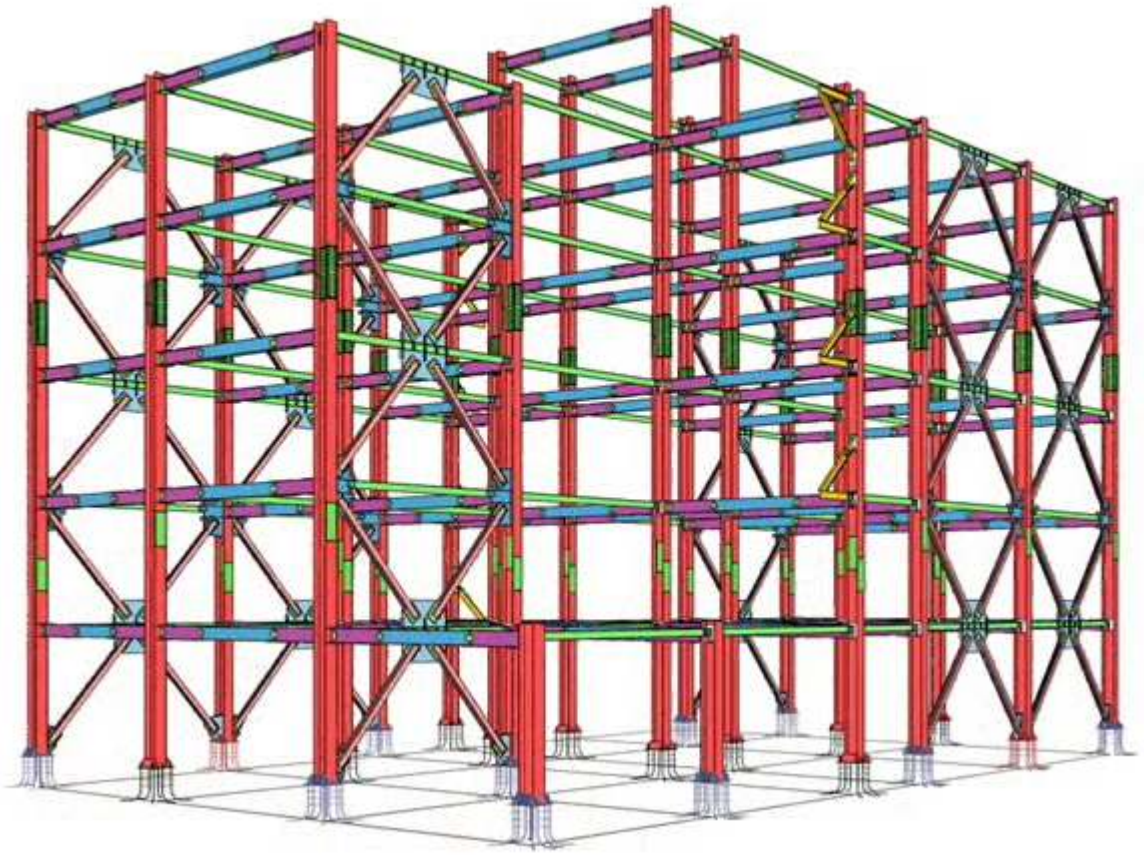
- ستونها: تیر ورق H شکل

مقطع H شکل به دلیل نیاز به عملکرد خمشی در قاب‌های عرضی شمارهٔ ۱ تا ۸ و سهولت طراحی اتصالات تیر و ستون با این مقطع ، انتخاب شده است. به دلیل عدم دسترسی آسان به مقاطع نورد شده H شکل با ابعاد مورد نظر ، ساخت کلیه این مقاطع به صورت تیر ورق در کارخانه انجام می شود. بدیهی است که کنترل کیفیت جوشکاری و دقت ساخت ستون‌ها در کارخانه از عوامل کلیدی در حصول نتایج مورد نظر در طراحی این ساختمان است.

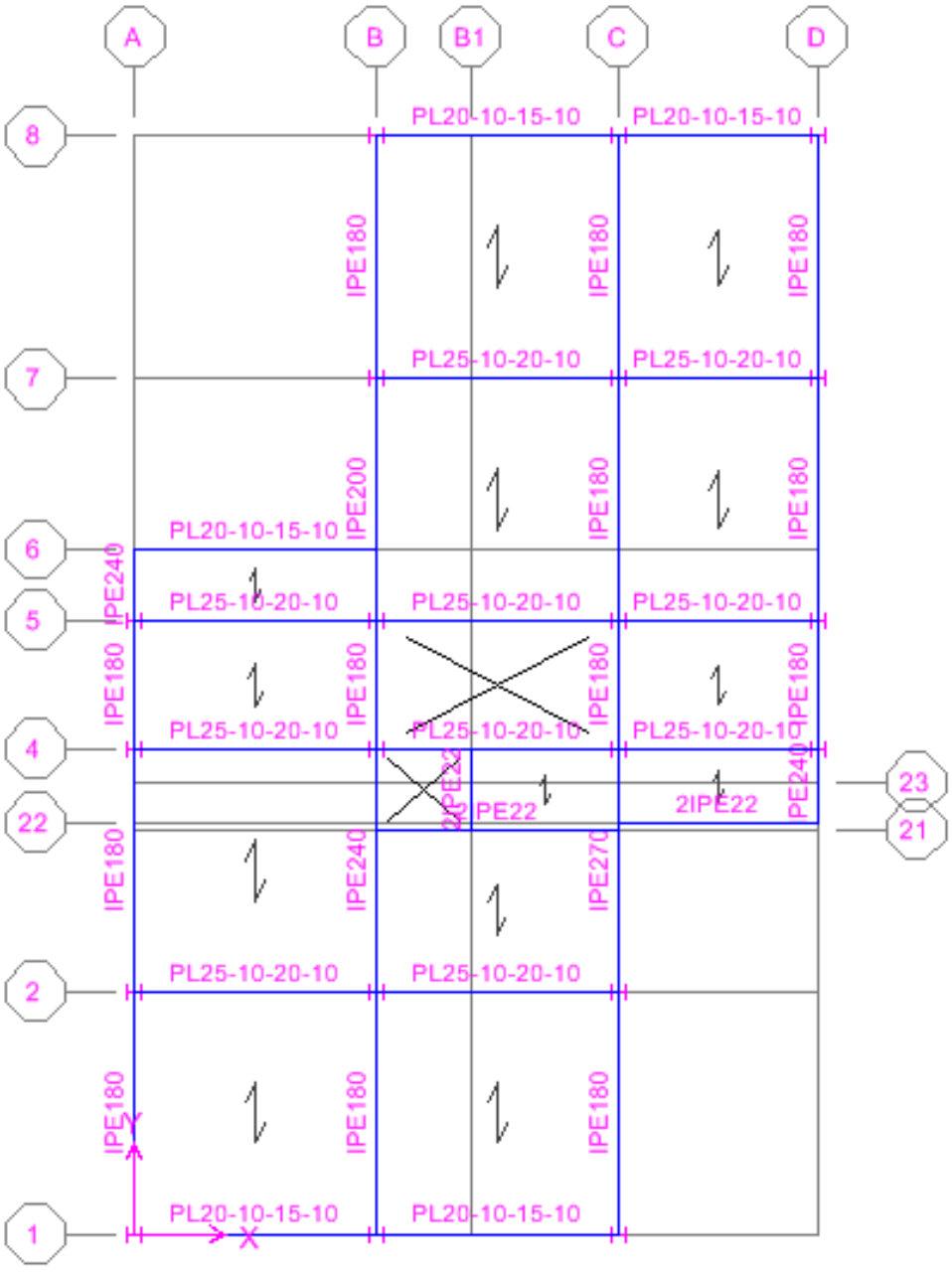
- تیرها : ۱- تیرهای I شکل اصلی به دلیل ابعاد بزرگ مقطع آن‌ها به صورت نورد شده در بازار ایران به سهولت یافت نمی‌شوند. بنابراین این تیرها از نوع تیر ورق با ساخت کارخانه‌ای در نظر گرفته شده‌اند.

  ۲- تیرهای فرعی دارای مقطع نورد شدهٔ IPE هستند .

- مهاربندها: مقطع قوطی متشکل از دو ناودانی در ابعاد 2UNP100, 2UNP120, 2UNP140 در نظر گرفته شده‌اند. به دلیل تمرکز مصالح در جداره‌های مقطع قوطی ، این مقطع از شعاع ژیراسیون بالائی برخوردار است که مقاومت آن را در برابر کمانش افزایش می‌دهد. با توجه به سهولت دسترسی به مقطع ناودانی سازه‌ای با کیفیت مناسب در بازار ایران ، استفاده از این مقطع نسبت به مقطع لولهٔ فولادی ارجحیت دارد.



شکل ۳۱- نمای سه بعدی سازهٔ گزینهٔ اول



شکل ۳۲- پلان تیرریزی طبقه سوم

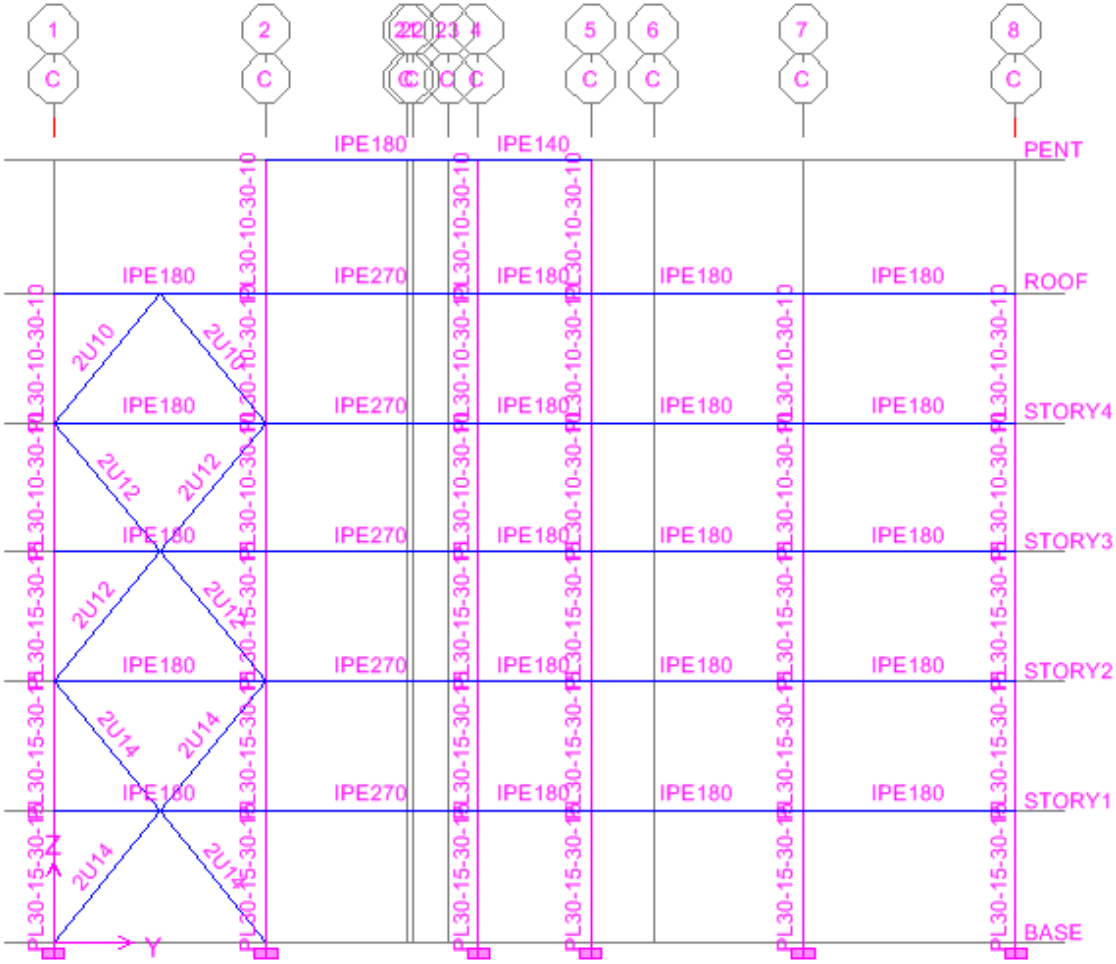
در شکل ۳۲ مشخصات تیر ورق‌ها با روش زیر نمایش داده شده‌اند :

PL[a]-[b]-[c]-[d] : a : ارتفاع جان برحسب سانتیمتر

b : ضخامت جان برحسب میلیمتر

c : عرض بال برحسب سانتیمتر

d: ضخامت بال برحسب میلیمتر



شکل ۳۳- نمای قاب C

در شکل ۳۳ مشخصات تیر ورق‌ها با روش زیر نمایش داده شده‌اند :

PL[a]-[b]-[c]-[d] :

a : ارتفاع جان برحسب سانتیمتر

b : ضخامت جان برحسب میلیمتر

c : عرض بال برحسب سانتیمتر

d: ضخامت بال برحسب میلیمتر

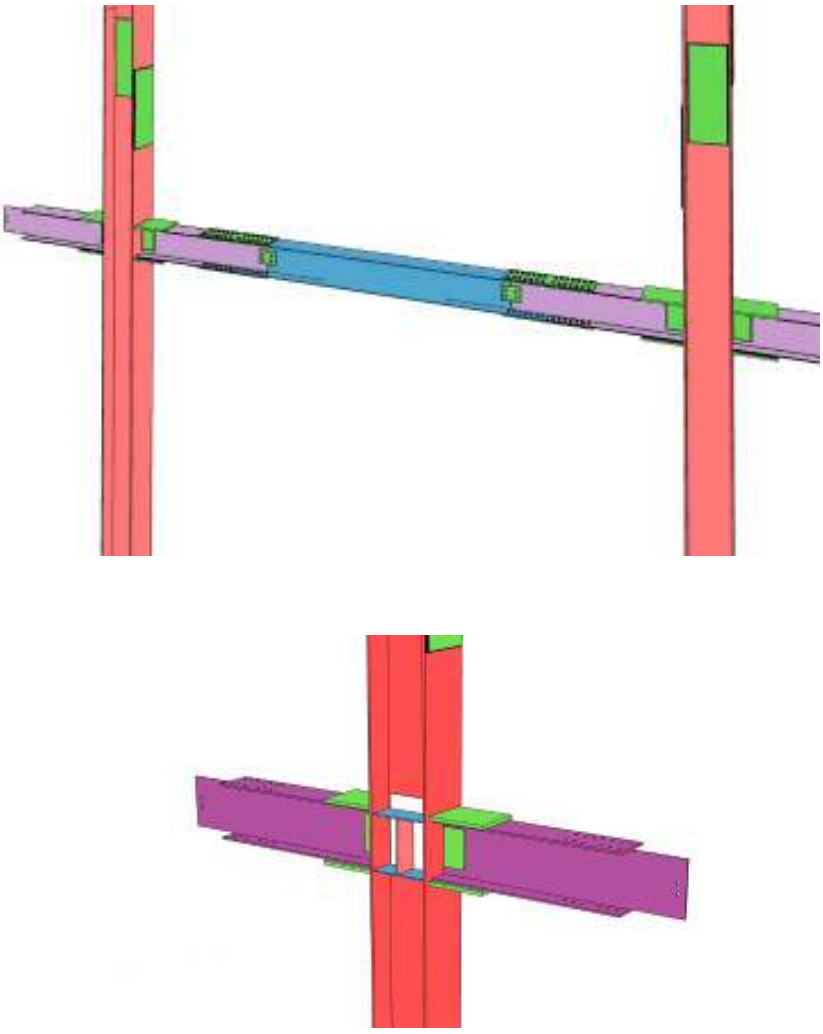
۶-۱-۴ کنترل و طراحی

- کنترل تغییر مکان جانبی برای قاب خمشی انجام می شود.

در طراحی ستونها و تیرهای اصلی کنترل تغییرشکل مجاز عامل تعیین کننده ابعاد مقاطع می باشد.

- کنترل مقاومت ستونها برای نیروی محوری ناشی از ترکیبات بارگذاری مطابق بنـد ۱۰- ۳- ۶- ۱ مبحـث دهم مقررات ملی
- کنترل واژگونی به نحوی که حداقل ضریب اطمینان در مقابل واژگونی، ۱/۷۵ باشد .

۶-۱-۵ طراحی اتصالات سازه

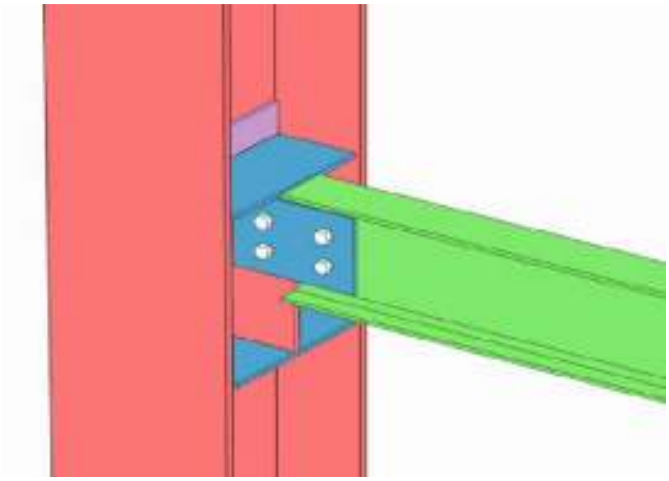


شکل ۳۴- اتصال تیرهای اصلی با استفاده از ورق های Cover Plate

در راستای طولی پلان ، از سیستم قاب ساده با مهاربند همگرا با شکل پذیری متوسط استفاده شـده اسـت. بـه همین دلیل اتصال تیرها با ستونها در این راستا، با فرضیات اتصال ساده، که تنها توان انتقال بـرش را داشـته و لنگری به ستون انتقال نمی دهد، طراحی شده است.

برای این منظور از اتصال ساده تیر به ستون با استفاده از یک ورق اتصال یکطرفه در جـان بهـره گرفتـه شـده است. در این اتصال، یک ورق مستطیلی شکل در ناحیه میان سخت کننده های بالا و پائین ستون قرار میگیـرد که به طور سرتاسری به جان ستون (و یا ورقهای تقویتی متصل به جان) و محل تمـاس بـا سـخت کننـده هـا جوش می شود. هنگامی که ستون در محل خود در کارگاه مستقر شد و تیر برای اتصال به محـل خـود منتقـل شد، یک ورق اتصال کمکی، همزمان به تیر و به ورق اتصال مستطیلی شکل بین سخت کننـده هـا، بـا پـیچ و مهره متصل می شود.

اغلب تیرهای به کار رفته در قابهای ساده، از نوع پروفیلهای گرم نورد با مقطع IPE180 می باشد.



شکل ۳۵ نمای سه بعدی اتصال تیر فرعی به ستون (به صورت مفصلی)

طراحی براساس روش حدی، مبتنی بر آخرین تغییرات انجام‌شده در مبحث دهم مقررات ملی ایران انجـام شـده است.

۶-۱-۶ مهاربندی ها و اتصالات مقطع مهاربندها و جوش مهاربند به ورق کمکی

با توجه به اینکه در طرح حاضر، بخش اعظم قطعات در کارخانه ساخته می‌شوند و سپس برای نصب به کارگـاه منتقل خواهد شد، لذا ترجیح داده می‌شود تا مقاطع مهاربندی به نحوی انتخاب شود که ضـمن پاسـخگوئی بـه

نیازها و نیروهای طراحی، با استفاده از کوچکترین مقطع، بتوان راحتی نصب را نیز تامین نمود. به همـین دلیـل، برای مقطع اعضای مهاربندی دو ناودانی که رو به روی هم قرار گرفته و بال‌های آن‌ها در دو طـرف یـک ورق کمکی، جوش شده‌اند، در نظر گرفته می‌شود. . در طراحی مقاطع مهاربندی، اثرات ورق کمکی ناچیز شمرده شده و در طراحی مهاربندها در مدل کامپیوتری، فقط زوج ناودانی‌ها مدل شده‌اند. به همین دلیل نیروهای مربوط بـه طراحی اتصالات، با در نظر گرفتن این زوج ناودانی محاسبه می‌شوند.

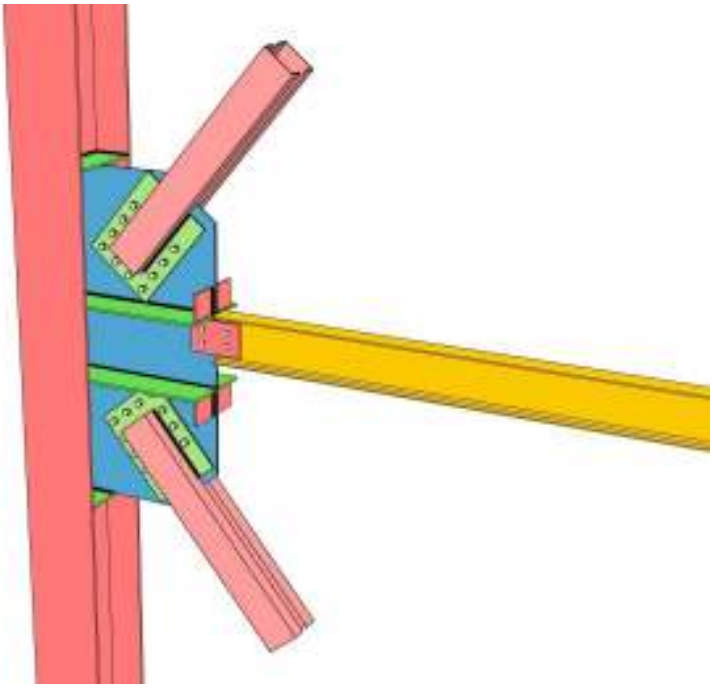
جدای از موارد موجود در طراحی اتصالات، لازم است اتصال ناودانی به ورق کمکی، که با جـوش گوشـه انجـام می‌شود، نیز طراحی شود.

در طراحی اتصال مهاربند باید سه کنترل زیر انجام شود :

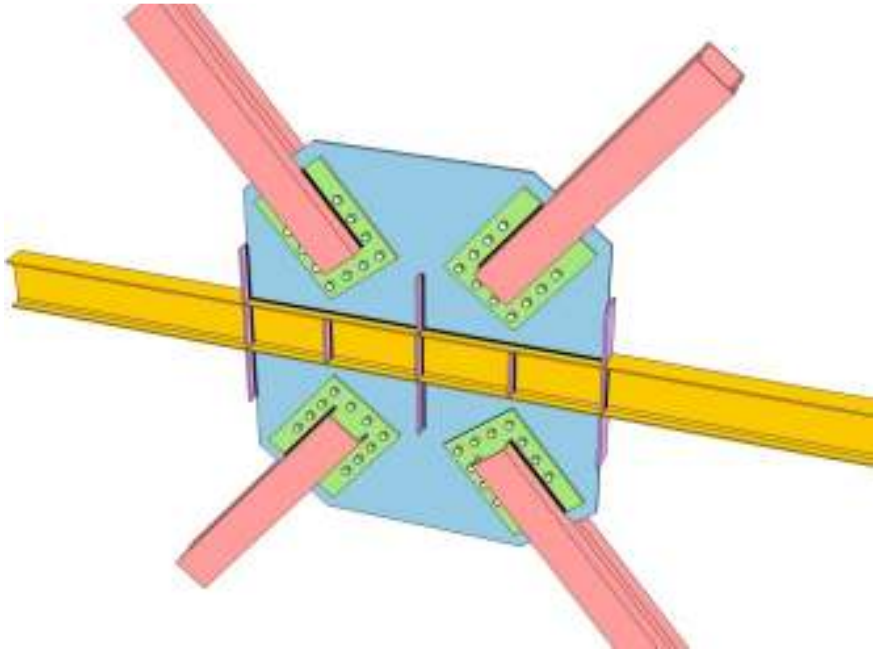
- کنترل ورق اتصال
- اتصال عضو مهاربند به ورق اتصال
- اتصال ورق اتصال به ستون و تیر

جزئیات ارائه‌شده در مبحث دهم مقررات ملی در خصوص ضوابط ویژه طرح لرزه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

با مدنظر قرار دادن ملاحظات اجرائی و سهولت جاگذاری قطعات در هنگام اجرا، ، شکل ورق اتصال به صـورت ارائه‌شده در نقشه‌های اجرائی در خواهد آمد. نمونه هایی از جزئیات اتصالات در اشکال بعد نشان داده شده است.



شکل ۳۶. اتصال مهاربندها به تیر و ستون

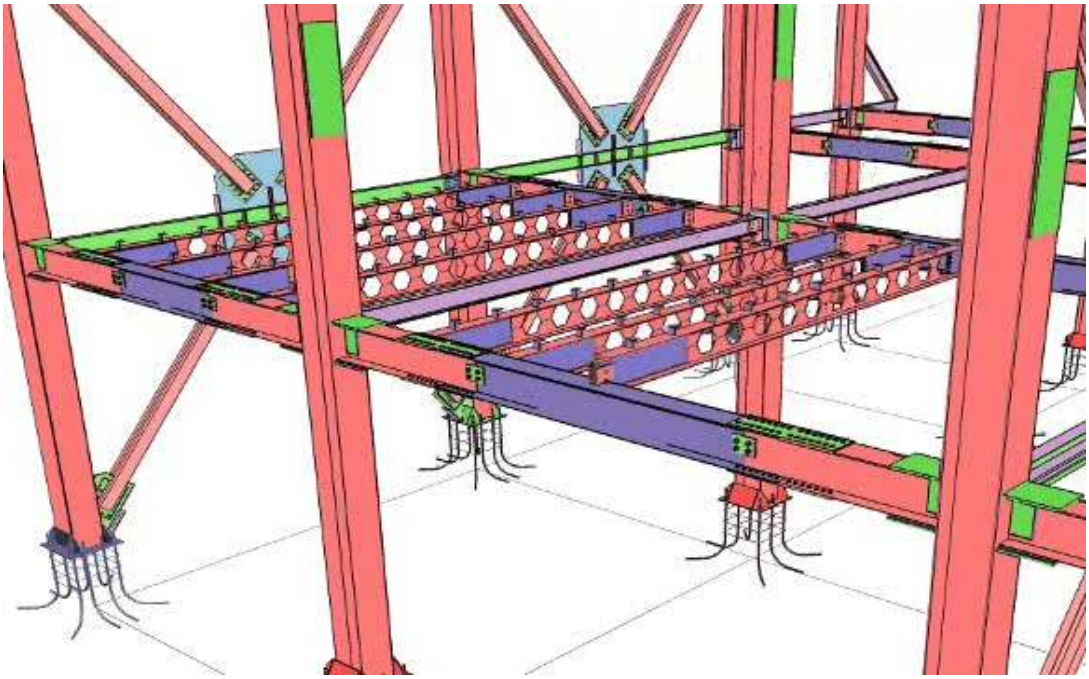


شکل ۳۷ . اتصال مهاربندها به وسط دهانه تیرهای فرعی

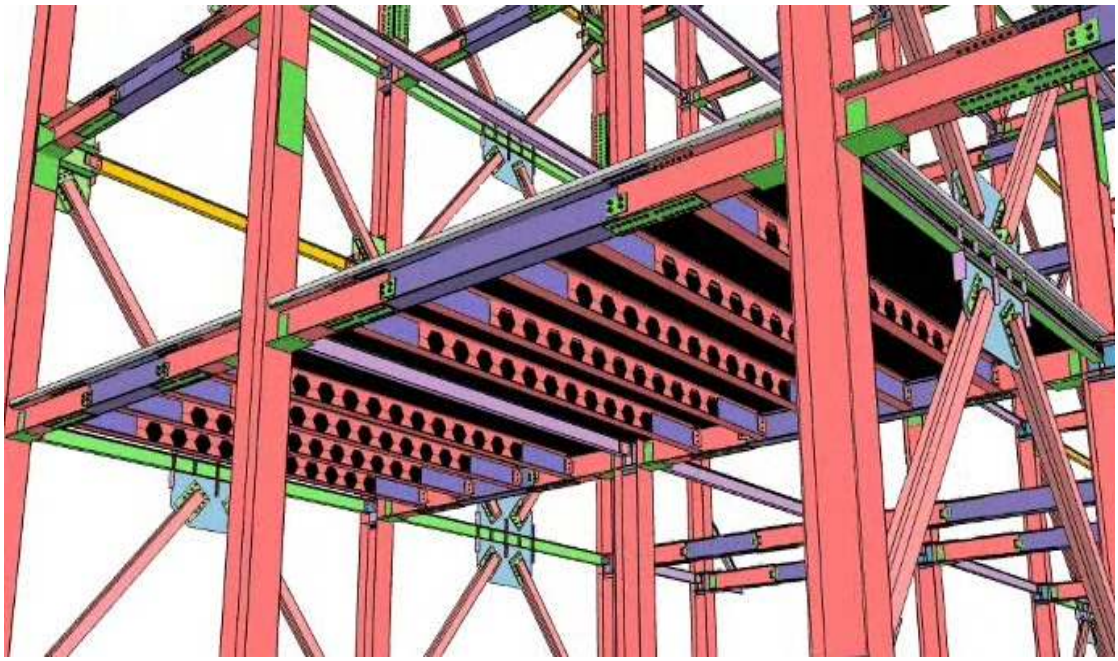
۶-۱-۷ طرح سقف مرکب

در گزینهٔ حاضر از سیستم سقف مرکب بتن و فولاد بدون استفاده از شمع بندی استفاده می‌شود. اکثر دهانه‌های پلان حدود ۵ متر بوده و فواصل تیرچه‌ها تقریباً در همهٔ دهانه‌ها یکسان است. تعیین بارهای ثقلی با فرض کاربری مسکونی و در نظر گرفتن ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع بار مرده اضافی به عنوان بار گستردهٔ تیغه‌بندی در کف‌ها صورت گرفته است. تیرچه‌ها همگی از نوع CPE180 و برش‌گیرها از نوع پروفیل نبشی درنظر گرفته شده است. بتن مصرفی جهت دال رویه با مقاومت ۲۸ روزهٔ نمونهٔ استوانه‌ای برابر با $f'_c = 210\ kg/cm^2$ و میلگردهای مورد استفاده از نوع S300 با مقاومت حد جاری شدن برابر با $f_y = 3000\ kg/cm^2$ در محاسبات منظور شده است.

طراحی سقف مرکب براساس مقررات ملی ساختمانی ایران بند ۱۰-۱- ۲- ۷ و آیین‌نامهٔ AISC بند۱-۱۱، انجام می شود.



شکل ۳۸ تیر ریزی سقف



شکل ۳۹ نمای زیر سقف مرکب سازه‌ای

۶-۱-۸ اجزای غیر سازه ای(دیوارها)

در انتخاب نوع و جنس دیوارهای پرکننده و غیر باربر ساختمانی، پارامترهای متعددی باید مورد توجه قرار گیرد. نظر به اینکه، اجزاء ساختمانی غیرسازه‌ای یکی از مهمترین عوامل تاثیر گذار بر وزن سازه می‌باشند، انتخاب صحیح گزینه‌های قابل استفاده در پروژه‌های ساختمانی، می‌تواند در نیل به اهداف سبک‌سازی و مقاوم‌سازی بسیار موثر باشد. از سوی دیگر امروزه، توجه به مسائلی مانند صرفه‌جویی در مصرف انرژی و لزوم عایق‌بندی حرارتی جداره‌ها، مقاومت اجزاء ساختمانی در برابر حریق و عملکرد آکوستیکی این اجزاء از اهمیت به سزایی برخوردار می‌باشد. همچنین برای انتخاب گزینهٔ مناسب، باید ضمن در نظر داشتن اهداف عملکردی ساختمان، جنبه‌های اقتصادی موضوع را نیز لحاظ نمود. با توجه به مجموع موارد فوق، در این پروژه سعی شده است تا با بهره‌گیری از روش‌های اجرای اقتصادی و صنعتی، در کنار برآورده نمودن کلیه اهداف عملکردی، اجزا ساختمانی مناسب انتخاب شود.

در این راستا، در دیوارهای جداکنندهٔ فضاهای داخلی ، از بلوک‌های گچی و برای دیوارهای پیرامونی ساختمان از بلوک‌های ساخته‌شده از بتن هوادار اتوکلاوشده (بتن گازی یا AAC) استفاده شده‌است.

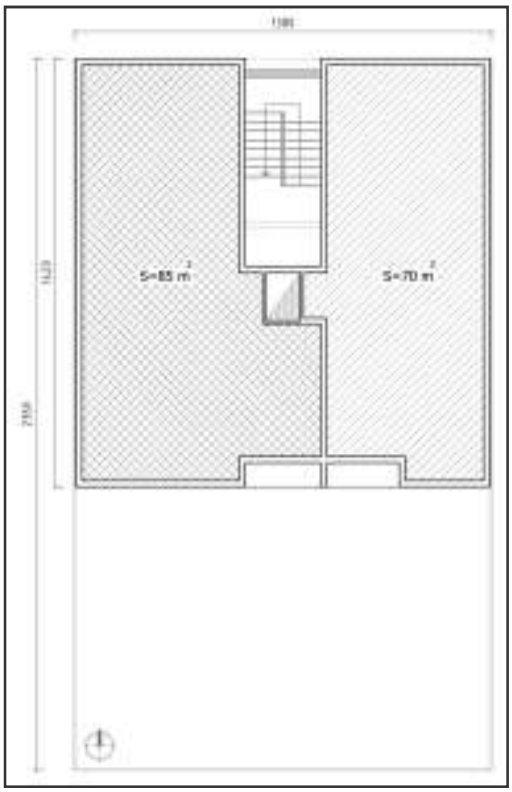
۶-۲ گزینه دوم

گزینهٔ دوم با الهام‌گرفتن از گزینهٔ اول و با دو هدف کاهش مصرف فولاد سازه‌ای و افزایش سرعت اجرای ساختمان طراحی شده است. برای کاهش مصرف فولاد ، سعی شده است تا با اصلاح معماری و استفاده از مهاربندی در هر دو جهت پلان ، عملکرد ستون‌ها تا حد امکان بدون لنگرهای خمشی و صرفا تحت نیروی محوری باشد. در این شرایط ، با انتخاب مقطع قوطی فولادی و پر کردن آن با بتن، امکان بهره‌گیری از مقاومت فشاری بتن در ستون‌ها و کاهش سطح مقطع فولاد پدید می‌آید. در گزینهٔ اول از بلوک‌های بتن سبک در دیوارهای خارجی ساختمان استفاده شده بود که در گزینهٔ دوم برای افزایش سرعت اجرا از پانل‌های بتن سبک هوادار در دیوارهای خارجی و داخلی ساختمان بهره‌گیری شده است .

۶-۲-۱ پلان معماری بر اساس اصول ساخت آزاد

ساخت آزاد نظریه‌ای کاربردی بوده و طی سال‌ها، مسائل فنی و اجرایی طراحی و ساخت را متناسب با نیاز جوامع، مطرح نموده و راه‌حل‌های لازم را ارائه کرده‌است. با این حال کاربرد این رویکرد برای طراحی در ایران، نیازمند توجه به ویژگی‌های فرهنگی، اجتماعی، قانونی و فنی این کشور است. بدین منظور کوشش گردید تا در مراحل طراحی از آغاز انتخاب ابعاد زمین و سپس در مراحل بعدی طراحی توجه به این ویژگی ها مد نظر قرار

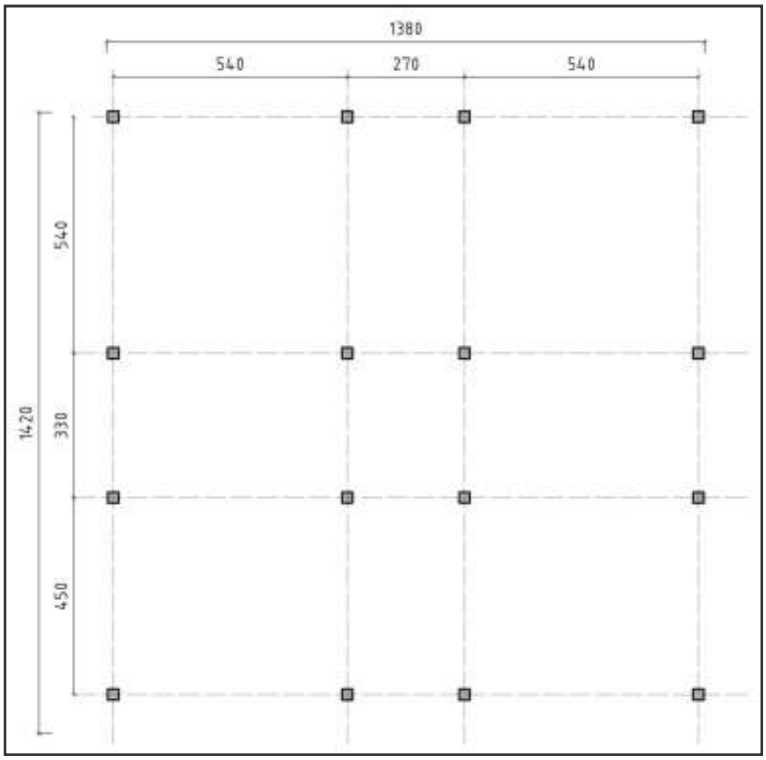
گیرد. در انتخاب ابعاد زمین تلاش شد قطعه زمینی که به عنوان نمونه برای طراحی در نظر گرفته می‌شود تا حد ممکن مطابق با ابعاد متداول قطعات زمین های مسکونی شهر تهران باشد. نهایتا با بررسی شکل متعارف قطعات تفکیکی زمین در ایران و با تکیه بر نتایج به دست آمده از طرح های اولیه اتود شده برای پلان معماری، زمینی جنوبی به ابعاد ۱۳/۸۰ × ۲۳/۶۰ متر (به مساحت ۳۲۰ مترمربع) با کشیدگی در جهت شمال - جنوب انتخاب گردید که امکان نورگیری از دو جهت شمال و جنوب دارد و جبهه های شرقی و غربی بنا، مجاور واحدهای همسایه و بدون نورگیر فرض شده اند. علت انتخاب قطعه جنوبی بهره‌مندی از نور بهتر و استفاده بهتر از زمین (عدم نیاز به تعبیه نورگیر در طرح بنا) بود.



شکل ۴۰- موقعیت ساختمان در زمین

ستون‌گذاری با رعایت اصل کاهش هزینه‌ها و بر اساس مدول ۳۰ سانتیمتر که بنا بر تحقیقات قبلی مناسب‌ترین مدول جهت تعیین فواصل و اندازه هاست، انجام شد. بدین‌ترتیب با توجه به لزوم طراحی فضای بهینه برای پارکینگ، با تطابق پلان پارکینگ با پلان طبقات در چند مرحله و با در نظر داشتن اصول انعطاف‌پذیری طرح، نهایتا ستون‌گذاری مطابق شکل ۴۱ در فواصل ۲۷۰، ۳۳۰، ۴۵۰ و ۵۴۰ سانتیمتر تثبیت گردید. در تعیین فاصله

محور ستونها به منظور تسریع در اجرای ساختمان و بهینه بودن هزینه‌ها ، تلاش شد ابعاد و اندازه‌ها تا حد ممکن یکسان باشد.



شکل۴۱- پلان ستون گذاری

شکل ۴۲ پلان معماری تیپA

شکل ۴۳. پلان معماری تیپ B

۶-۲-۲ مشخصات ساختمان

اسکلت ساختمان: فولادی با ستونهای مختلط بتن + فولاد

اتصالات: اتصالات از نوع پیچ و مهره ای می باشد. جوشکاری های مورد نیاز در کارخانه انجام می‌شود.

سیستم باربر جانبی: سیستم باربر جانبی در هر دو جهت قاب ساده بعلاوهٔ مهاربندی همگرا می باشد.

مشخصات سقف: دال بتنی کامپوزیت با تیرچه‌های فولادی ، قالب بندی سقف از نوع قالبهای بدون شمع بندی می باشد.

دیوارهای داخلی و خارجی: پانل‌های بتن سبک ساخته شده از AAC غیر مسلح که در بخش ۶-۲-۶ به طور مفصل معرفی شده اند.

۶-۲-۳ طراحی سازه

در طراحی سازهٔ گزینه دوم امکان استفاده از اعضای مختلط تیر و ستون به شرح زیر بررسی شده است:

۶-۲-۳-۱ ستون‌های مختلط

ستون‌های مختلط به کار رفته در سیستم‌های ساختمانی مرکب بر دو نوع‌اند. نوع اول دارای یک هسته فولادی‌اند، که توسط بتن مسلح احاطه شده و نوع دوم متشکل از مقطع قوطی یا لوله‌ای است که با بتن پر می‌شود. چنین قطعاتی قادرند که نیروی به مراتب بزرگتری را نسبت به ستون‌های بتن مسلح با همان ابعاد تحمل نمایند. در شکل ۴۴ چند نمونه از ستون‌های مختلط نشان داده شده است. در شکل (الف) یک نیمرخ نورد شده I شکل در بتن دفن گردیده است. مقطع ستون مختلط که بر طبق نیاز می‌تواند شکل مربع یا مستطیل داشته باشد در چهارگوشه خود دارای میلگرد طولی است و این میلگردها توسط خاموتهایی با فواصل مناسب بسته شده اند. خاموتهای بکار رفته در بالابردن ظرفیت باربری ستون بسیار مهم هستند، زیرا نه تنها از جابجا شدن میلگردهای طولی جلوگیری می کنند بلکه از کمانه کردن آنها تحت اثر بار محوری ممانعت کرده و از شکستن و خرد شدن بتن لایه بیرونی ستون در اثر کمانش میلگرد طولی نیز جلوگیری می نماید. در شکل (۴۴ – ب) یک ستون لوله ای و در شکل (۴۴ – ج) یک ستون قوطی شکل که با بتن پر شده اند نشان داده شده است. پرکردن مقاطع فلزی توخالی با بتن علاوه براینکه به طور طبیعی باعث افزایش ظرفیت باربری می گردد بلکه استفاده بهینه ازمصالح نیزخواهد بود زیرا بتن هسته ازکمانش جداره فلزی به طرف داخل جلوگیری نموده و فولاد جداره نیز بتن هسته را دورگیری نموده و بتن به صورت سه محوری عمل کرده و مقاومت فشاری آن افزایش می‌یابد. بارهای وارده به ستونهای مختلط توپر باید بین فولاد و بتن تقسیم شود. هنگامی که نیروی خارجی به مقطع فولادی و یا به بتن پر شده وارد می شود، انتقال نیرو از مقطع فولادی به هسته بتنی از طریق اندرکنش چسبندگی مستقیم، اتصال برشی یا باربری مستقیم مورد نیاز است. انتقال بار به ستون بدون تمهیدات خاصی موجب جدایی جداره فلزی از هسته بتنی می گردد.

الف) عضو محوری مختلط محاط در بتن

ب)عضو محوری مختلط قوطی شکل پر شده با بتن

ج)عضو محوری مختلط پر شده با بتن

شکل ۴۴. مقاطع مختلف ستونهای مختلط

- **مزایای ستون‌های مختلط**

به طور سنتی نیمرخهای فولادی را به منظور حفاظت از حریق و یا خوردگی با بتن می پوشانیدند و توجهی به افزایش استحکام نیمرخ در اثر این عمل نمی کردند. به مرور و با افزایش کاربرد سازه های مختلط طراحان سازه سعی کردند استحکام اضافی حاصل از این اختلاط را در محاسبات منظور کنند.

ستونهای مختلط را می توان در ساختمانهای کوتاه و بلند استفاده کرد. در ساختمانهای کوتاه نظیر انبارها و محل پارک وسائط نقلیه و مشابه آن نیمرخ فولادی را به منظور حفاظت در برابر حریق و یا تصادم وسائط نقلیه در بتن دفن می کنند، در این حالت می‌توان از باربری بتن استفاده کرده و نیمرخ فولادی کوچکتری به‌کار برد.

در ساختمانهای بلند ابعاد ستون‌های مختلط به مراتب کوچکتر از ستونهای بتن مسلح با باربری یکسان است و به این جهت ازنظر فضای طبقات استفاده از ستونهای مختلط بسیار مناسب تر است.

در ساختمانهای مختلط، نیمرخ‌های فولادی تنها بدون بتن وظیفهٔ تحمل وزن سازه و بارهای ثقلی و جانبی حین اجرای ساختمان و وزن بتن پوششی روی نیمرخهای I شکل و یا وزن بتن پرکننده نیمرخ‌های لوله ای یا قوطی شکل پس از اجرا را به عهده دارند. در چنین سازه ای از مزایای هر دو نوع سازه بتنی و فولادی به همراه هم استفاده می شود، به عنوان مثال بتن مسلح به راحتی میزان تغییرمکان جانبی سازه را محدود می کند و به همراه آن اسکلت فولادی سبب می شود وزن سازه و ابعاد ستون کنترل شده و بتوان از پی های کوچکتری استفاده کرد.

- **معایب ستونهای مختلط**

نکته قابل ذکر در مورد ستونهای مختلط این است که اطلاعات جامعی در مورد قدرت چسبندگی بتن و انواع نیمرخ های فولادی وجود ندارد. چنین مسئله‌ای در محاسبهٔ مقدار لنگر خمشی قابل انتقال از طریق اتصال تیر و ستون بسیار مهم است، چرا که همواره این خطر وجود دارد که اگر تغییر کرنش قابل توجهی تحت لنگر خمشی در زمان زلزله اتفاق افتد گسیختگی اتصال را سبب شود.

- **ضوابط آیین نامه ها در مورد ستونهای مختلط**

به طور کلی رفتار ستون‌های مختلط مشابه ستون‌های بتن مسلح می‌باشد. به عبارت دیگر مقطع فولادی میانی را می‌توان با آرماتور تسلیح معادل جانشین نمود. در واقع این مفهوم اساس تولید منحنی‌های ظرفیت اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی در آیین‌نامه ACI 318-05 برای ستون‌های مرکب می‌باشد. تا پیش از سال

۱۹۸۶ طراحی ستون‌های مختلط فقط بر اساس آیین‌نامه ACI 318-05 انجام می‌شد. ضوابط طراحی ستون-های مختلط در این آیین‌نامه بر اساس اصول مشابه طراحی ستون‌های بتن مسلح می‌باشد. با کاهش درصد فولاد میانی، مقاومت ستون به ستون‌های بتن مسلح نزدیک می‌شود. آیین نامه ACI 318-05 استفاده از هر شکل مقطع فولادی را در داخل ستون مجاز دانسته است، اما مقاومت تسلیم فولاد مصرفی را به ۳۵۰ Mpa محدود نموده است. در این ستون‌ها حداقل نسبت تسلیح طولی ۱ درصد و حداکثر آن به ۸ درصد در طراحی معمولی و ۶ درصد در طراحی لرزه‌ای محدود شده است. در تفسیر بندهای ۱۰- ۱۶-۲ و ۱۰- ۱۶-۳ آیین‌نامه ACI 318-05 (بندهای ۱۰- ۱۳ ویرایش سال ۲۰۰۸) ذکر شده است که، بتن محصور کننده یک نیمرخ فولادی سازه‌ای می‌تواند موجب سختی نیمرخ شود، اما لزوماً مقاومت آنرا افزایش نخواهد داد. به عبارت دیگر در آیین‌نامه ACI 318-05 بیشتر عملکرد و رفتار ستون‌های مختلط با هسته بتنی مورد توجه قرار گرفته است.

برای طراحی ستون‌های مختلط همچنین ضوابطی توسط انجمن فولاد آمریکا AISC 360-05 ارائه شده است[۱۸]. در آیین‌نامه AISC 360-05 ستون‌های مختلط با اولویت مباحث طراحی فولادی مورد توجه قرار گرفته و ضمن ارائه حداقل‌های مربوط به طراحی میلگردهای طولی و عرضی، در مباحث طراحی بتن مسلح به آیین‌نامه ACI 318-05 رجوع داده شده است. طبق آیین‌نامه AISC 360-05، صرف نظر کردن از مقاومت بتن و مدل‌سازی آن فقط در سختی سازه، صرفاً برای بتن های پر مقاومت (مقاومت بیشتر از ۷۰ Mpa) بدون انجام آزمایش‌های بیشتر مطرح می‌باشد. در این آیین‌نامه حداقل نسبت مساحت مقطع فولادی میانی به مساحت کل مقطع ۱ درصد و حداقل نسبت تسلیح طولی ۴ درصد در نظر گرفته شده است. به طور کلی با افزایش درصد مقطع فولادی میانی، مقاومت ستون به مقاومت ستون‌های فولادی نزدیک می‌شود.

در نوع دوم ستون‌های مختلط، عموماً از میلگردگذاری طولی و عرضی در داخل ستون استفاده نمی‌شود. در این ستون‌ها، مشابه نوع اول ستون‌های مختلط لازم است تا زائده‌های برشی به وجه داخلی مقطع فولادی به منظور تامین عملکرد مختلط بتن و پوسته فولادی جوش شوند. از آنجا که در این نوع نیازی به قالب بندی برای بتن ریزی نیست، از این نوع ستون‌های مختلط هم در ستون‌های میانی و هم در ستون‌های کناری و گوشه استفاده می‌شود. در حالی که از نوع اول ستون‌های مختلط با هسته فولادی به دلیل محدودیت‌های مربوط به قالب‌بندی عموماً فقط در ستون‌های کناری و گوشه که محدودیت فضا وجود ندارد استفاده می‌شود. اگرچه گروه دوم از ستون‌های مختلط به دلیل مزیت نسبی حذف قالب‌بندی، دارای سابقه طولانی‌تری در کارهای ساختمانی، خصوصاً ساختمان‌های بلند می‌باشند، اما سوالات جدی نظیر کیفیت بتن داخل ستون، رفتار پس از تسلیم مقطع، پتانسیل کمانش موضعی پوسته فولادی، عملکرد و پیوستگی بتن و فولاد تحت بارهای سیکلی و گرمای

هیدراتاسیون بتن هنوز به صورت روشن پاسخ داده نشده‌اند. از طرف دیگر، ستون‌های مختلط با بتن رویه از مزیت ایجاد مقاومت و محافظت نسبی در برابر حریق بر خوردار می‌باشند، اگرچه این احتمال وجود دارد که بتن رویه در یکی از وجوه مختلف ستون نازک باشد. در این صورت ابهاماتی در مورد اندرکنش کامل هسته فولادی و بتن مسلح و عدم جدا شدن بتن از از وجوه صاف هسته فولادی وجود دارد. لذا قرار دادن تنگ‌های جانبی بیشتر، نسبت به ستون‌های بتن مسلح معمولی برای باقی نگه داشتن بتن پیرامون هسته فولادی معقول به نظر می‌رسد. به دلیل احتمال جدا شدن هسته فولادی از بتن پیرامون آن (در کرنش‌های زیاد) میلگردهای طولی در سختی مقطع غیر موثر خواهند بود؛ حتی اگر در نیروهای فشاری دائم نیز مفید واقع شوند.

۶-۲-۳ -۲ تیرهای مختلط

با استفاده از اتصالات برشی مناسب می توان پوشش هایی بتنی را به بال فوقانی تیرها و شاهتیرهای فلزی یکپارچه نمود. این عمل موجب می شود که پوشش بتنی با تیر فولادی تشکیل تیر مرکبی بدهد که دارای سختی و مقاومت خمشی بیشتری نسبت به تیر فولادی تنها می باشد. پوشش بتنی جزئی از بال فشاری تیر شده در نتیجه محور خنثای مقطع به سمت بالا حرکت و ظرفیت کششی در زیر تار خنثی افزایش پیدا می کند. چنین طرحی باعث کاهش سطح مقطع تیر فولادی و وزن واحد طول آن می شود و چون پوشش بتنی به منزله سقف ساختمان عمل می نماید بنابراین تنها اتصالات برشی مقداری بر هزینه‌های ساخت می‌افزایند. تیرهای مختلط با دهانه های ساده و یکسره با برشگیرها و یا تیرهای محاط در بتن با پایه های موقت و یا بدون استفاده از آن‌ها اجرا می‌شوند. برشگیرها ، قطعات فولادی می باشند که برای انتقال برش بین مصالح فولاد و بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- **مزایای تیرهای مختلط**

در مجموع می‌توان نکات زیر را به عنوان مزایای کاربرد تیرهای مختلط عنوان کرد:

۱-کاهش مصرف فولاد (بین ۲۰ تا ۳۰ درصد)

۲- کاهش در ارتفاع نیمرخ فولادی

۳- افزایش سختی سیستم کف

۴- افزایش در طول دهانهٔ قابل استفاده برای یک نیمرخ مشخص

۵-افزایش ظرفیت باربری نهایی نسبت به حالتی که ظرفیت نهایی دال و تیر جداگانه در نظر گرفته می شود.

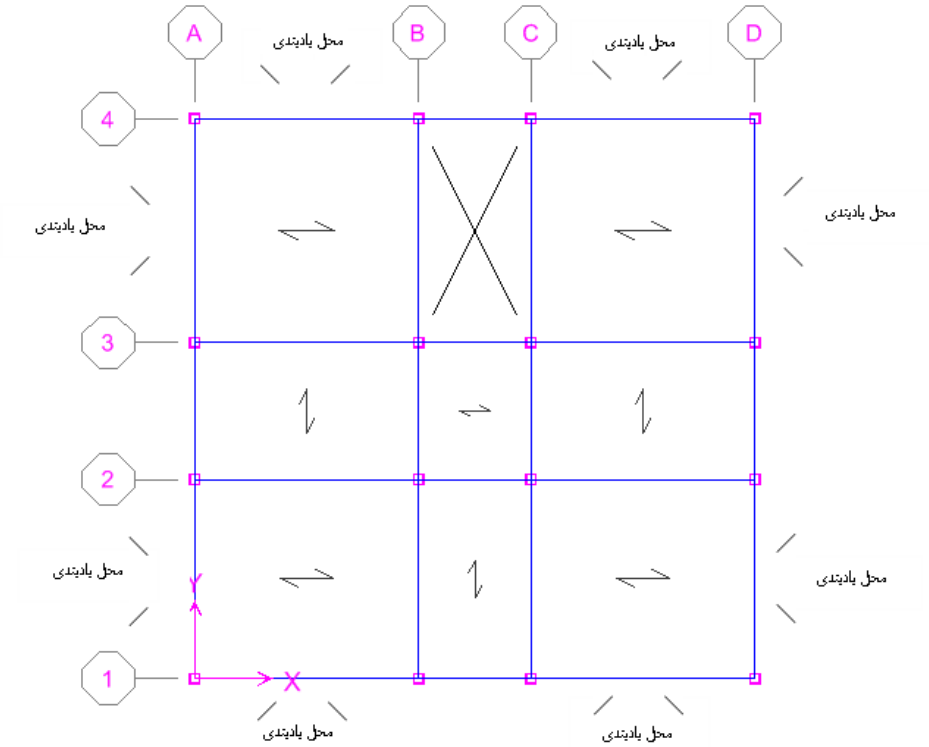
- **معایب تیرهای مختلط**

معایب اصلی تیرهای مختلط به شرح زیر قابل بیان هستند:

۱- تغییرشکلهای دراز مدت به علت پدیده خزش در بتن فشاری

۲- عملکرد غیرمرکب در نواحی لنگر منفی تیرهای یکسره

۶-۲-۴ مدل هندسی سازهٔ ساختمان

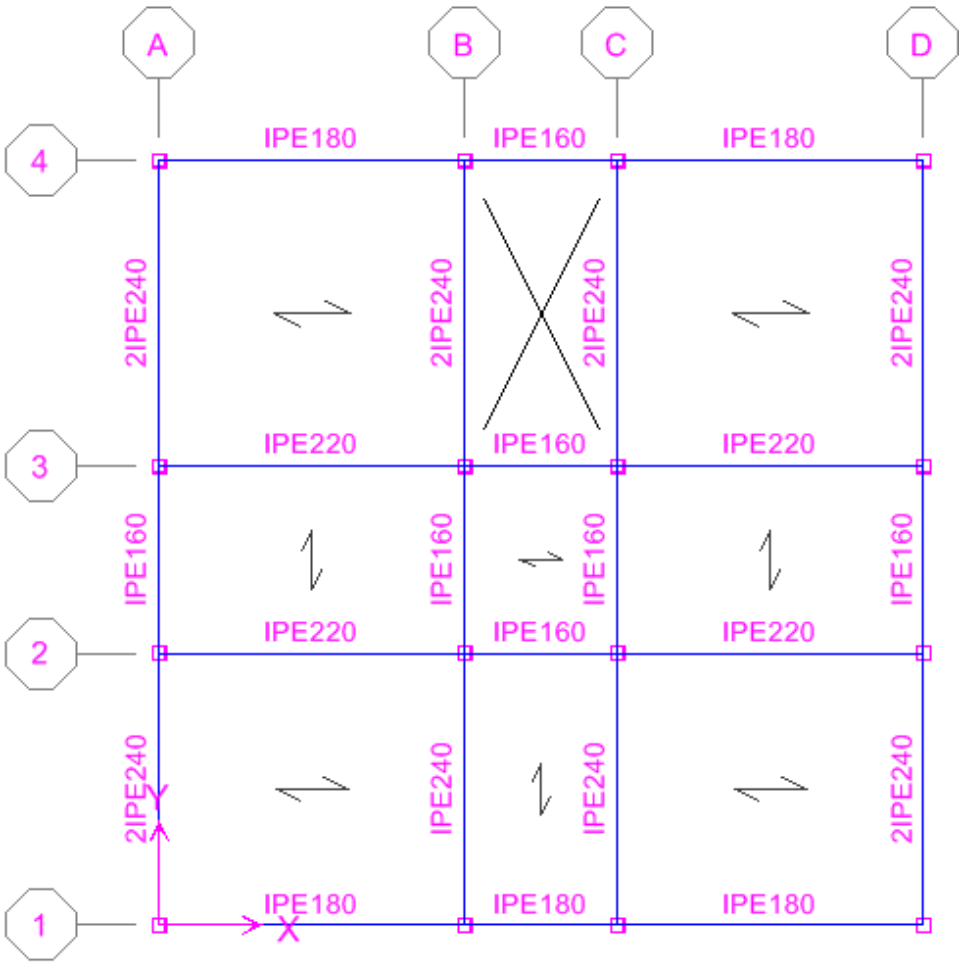


شکل۴۵ نمایش پلان سازه‌ای

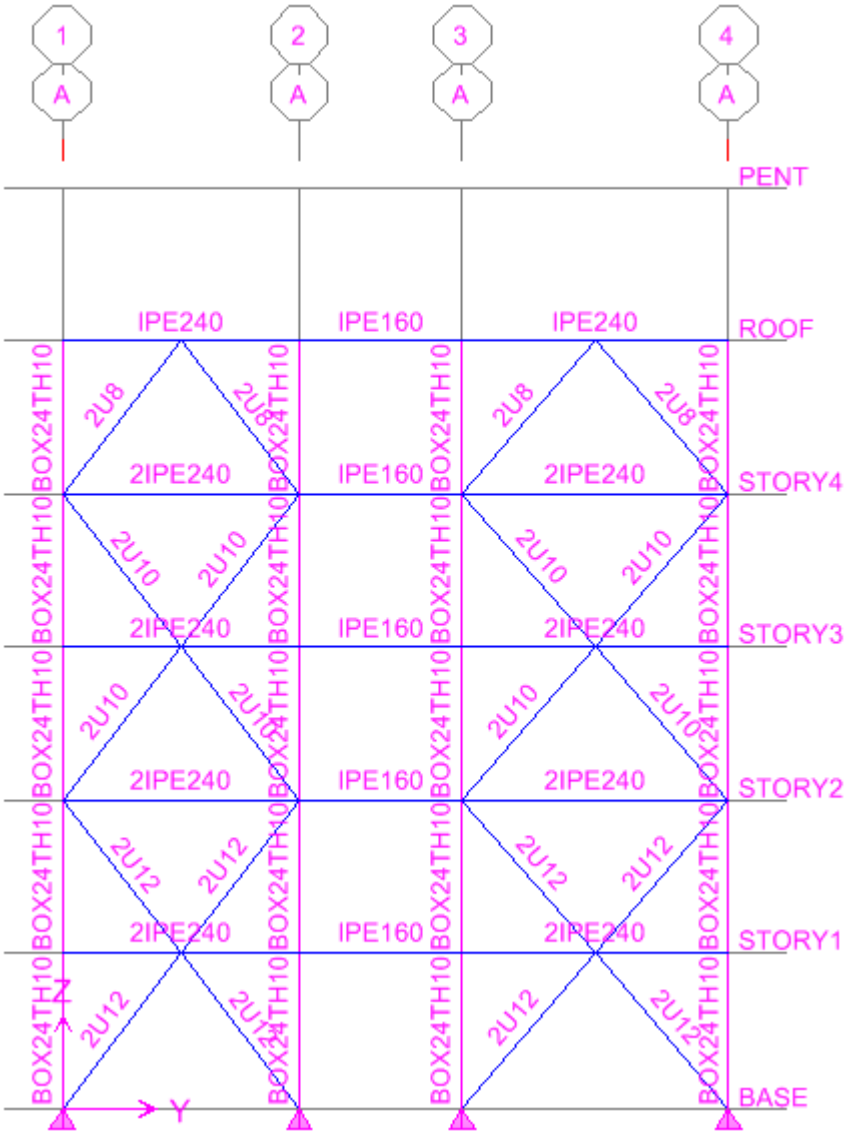
۶-۲-۵ مشخصات سازه طراحی شده

در طراحی ستون‌ها از ستون‌های مختلط پر شده با بتن استفاده شده است. مقررات مربوط به طراحی ستون‌های مختلط توپر مطابق مبحث دهم مقررات ملی ایران می باشد. برای ستونها کنترل ضوابط لرزه ای بند۱۰-۳-۶ مبحث دهم انجام می گیرد.

در طراحی تیرها از پروفیل‌های نورد شده از نوع IPE و در طراحی مهاربندها از پروفیل ناودانی دوبل استفاده شده است.



شکل۴۶- پلان تیرریزی طبقات



شکل۴۷- نمای قاب A

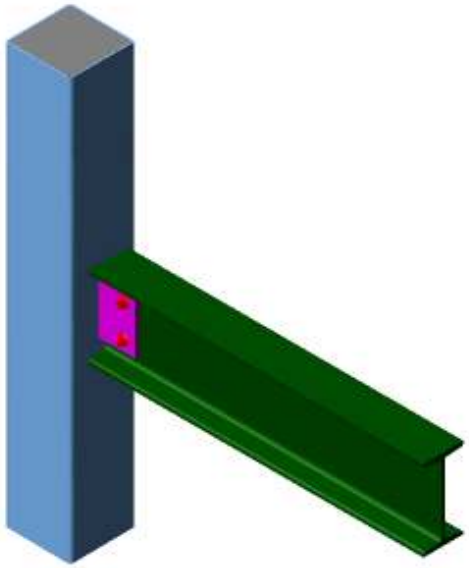
از علائم مشابه مورد زیر در شکل ۴۷ و نمای سایر قاب‌ها استفاده شده است:

BOX 240 TH10: مقطع ستون قوطی به ابعاد ۲۴۰×۲۴۰ میلیمتر و ضخامت مقطع ۱۰ میلیمتر

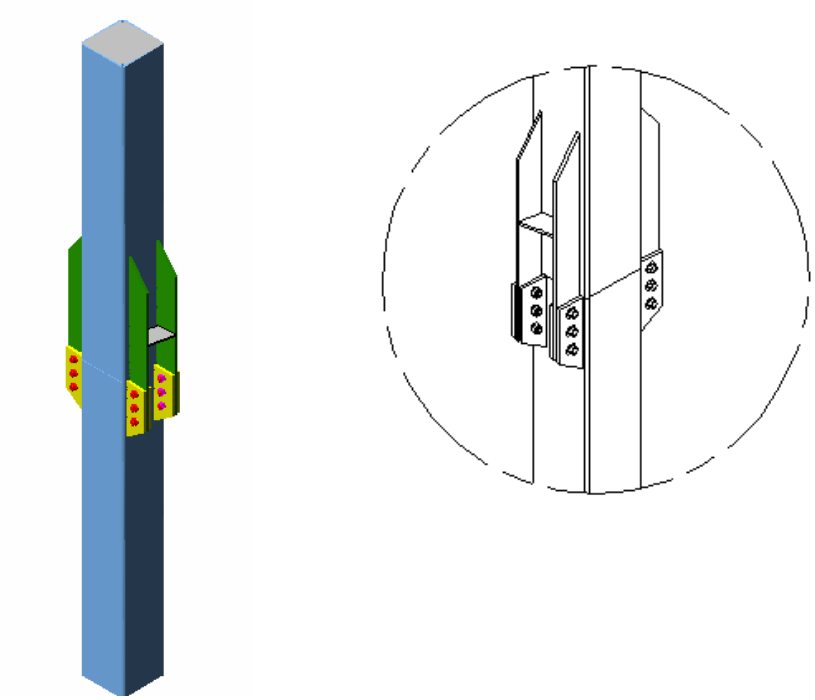
۶-۲-۶ اتصالات

سیستم سازه ای سیستم قاب ساده با مهاربند همگرای معمولی می باشد. به همین دلیل اتصال تیرها با ستونها در این راستا، با فرضیات اتصال ساده، که تنها توان انتقال برش را داشته و لنگری به ستون انتقال نمی‌دهد، طراحی شده است.

برای این منظور از اتصال ساده تیر به ستون با استفاده از یک ورق اتصال یکطرفه در جـان بهـره گرفتـه شـده است. اغلب تیرهای به کار رفته در قابهای ساده، از نوع پروفیل‌های گرم نورد با مقطع IPE می باشد.

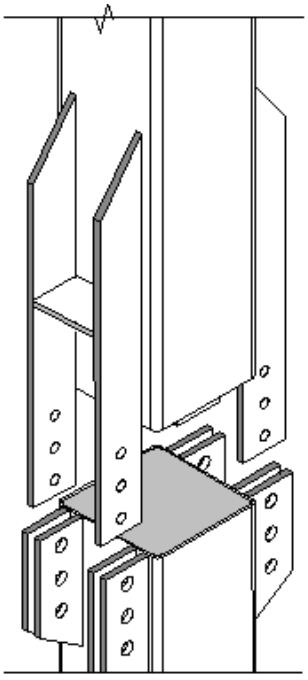


شکل۴۸- نمایش اتصال ساده تیر به ستون



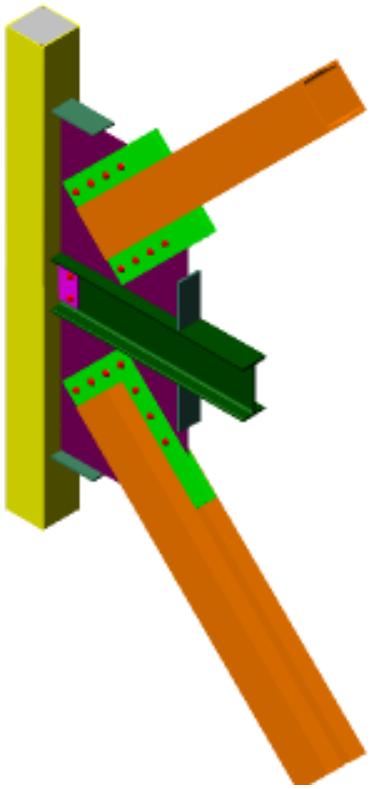
شکل۴۹ وصله ستونها

ستون‌ها در گزینهٔ دوم از نوع مختلط و پیش‌ساخته هستند. ساخت این ستون‌ها در کارخانه انجام می‌شود و طول هر قطعهٔ پیش‌ساخته می‌تواند تا ۱۲ متر نیز باشد که توسط تریلرهای متعارف قابل حمل است. وزن چنین قطعه‌ای در حدود ۲/۶ تن است که به وسیلهٔ جرثقیل‌های رایج در نصب اسکلت فولادی قابل جابجائی است. برای ستون‌های بلندتر باید از وصلهٔ ستون مانند آنچه گفته شد ، استفاده نمود. نمای بزرگ‌تری از محل وصلهٔ ستون‌ها در شکل ۵۰ نشان داده شده است. برای عملکرد مرکب بتن و فولاد لازم است برشگیرهای فولادی در جدار داخلی ستون قوطی فولادی نصب شوند. شمای کلی یک ستون قوطی فولادی به همراه برشگیرهای آن در شکل ۵۱ نشان داده شده‌اند.

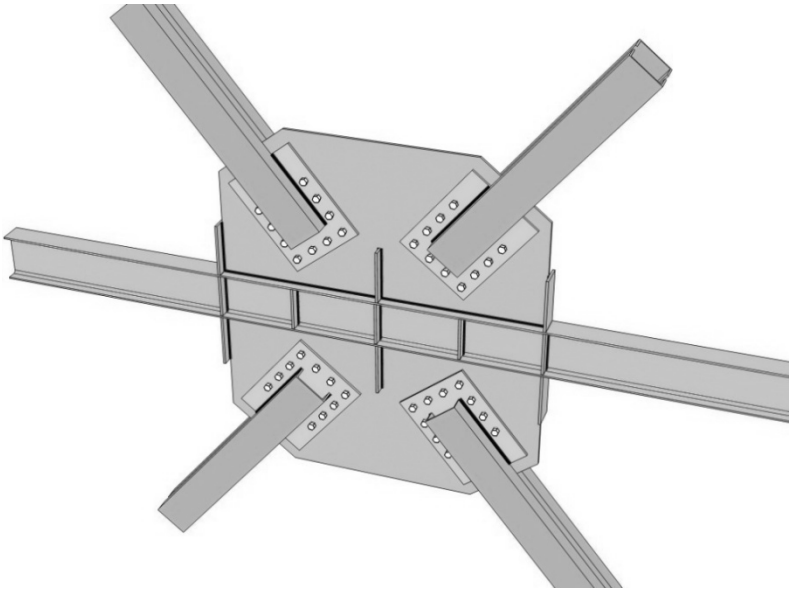


شکل ۵۰ . جزئیات انتهای ستون در محل وصله

شکل ۵۱. جزئیات برشگیر داخل ستون



شکل ۵۲ . نمای سه بعدی اتصال مهاربند به ستون



شکل ۵۳ اتصال مهاربند ها به ورق اتصال

۶-۲-۷ پانل های دیواری غیر باربر AAC (Autoclaved Aerated Concrete)

بتن سبک یا بتن متخلخل در سال ۱۹۲۴ میلادی توسط یک آرشیتکت سوئدی اختراع گردید . هم اکنون در اروپا بتن سبک تحت نام‌های تجاری مختلف از جمله (Ytong) و (Hebelex) عرضه می شود . ساخت این محصول با استفاده از تکنولوژی پیشرفته از طریق اختلاط و پخت مواد اولیه : ماسه سیلیسی، آهک ، سیمان ، پودر آلومینیوم و آب انجام می گیرد . وزن کم و مقاومت مناسب آن در مقابل آتش، عملکرد حرارتی مطلوب ، عدم نیاز به عایق‌های حرارتی مجزا ، کاهش انتقال صوت ، افزایش سرعت ساخت و ... باعث گسترش کاربرد این مصالح ساختمانی در صنعت ساختمان می باشد.

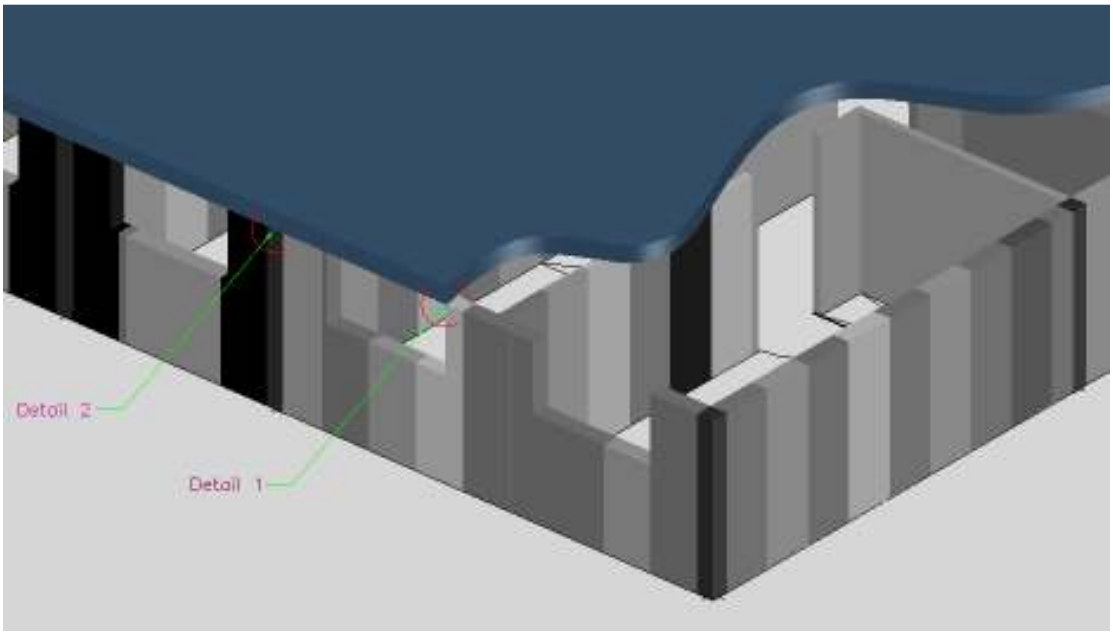
انواع پرمقاومت این ماده درکاربردهای سازه ای نقش دیوارهای باربررا داشته و اقلام با مقاومت فشاری محدود بیشتر درکاربردهای غیر سازه ای به عنوان جداکننده و دیوار خارجی کاربرد دارد .

پانل‌های ساخته شده با بتن AAC باید دارای حداقل مقاومت ۴ مگا پاسکال و میانگین مقاومت ۵ مگا پاسکال باشند. این حد از مقاومت با رده AAC-4 طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۸۵۹۳ انطباق دارد. وزن مخصوص بتن سبک گازی در دامنه ۳۵۰ تا ۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب چیزی در حدود یک ششم تا یک سوم وزن مخصوص بتن های معمول می باشد .

بتن های گازی می‌تواند برای کاربردهای متنوعی تولید شوند، از جمله پانل‌های دیواری باربر (قائم) ، پانل‌های سقف و کف و هم‌چنین انواع مختلفی از بلوک در ابعاد و مقاومت های مختلف.

شکل ۵۴. قطعات مختلف ساخته شده از بتن سبک با کاربرد ساختمانی

AAC به عنوان مصالح اصلی در ساخت دیوارها معمولاًبه دوشکل بلوک و پانل مرسوم است که در شکل ۵۵ کاربرد پانل های ساخته شده با این مصالح به طور شماتیک نمایش داده شده است.



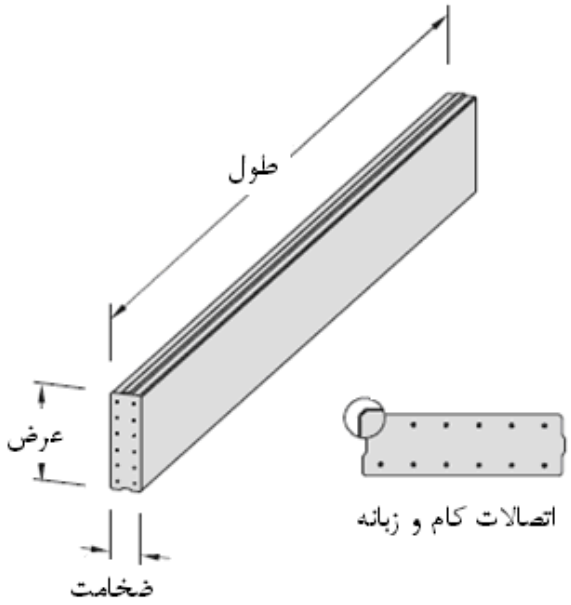
شکل۵۵ کاربرد پانل هایAAC به عنوان دیوارهای خارجی و جداکننده داخلی

(برای دیدن جزئیات ۱ و ۲ به شکل‌های ۶۱و ۶۲ مراجعه شود)

ابعاد متعارف برای پانل‌ها در جدول شماره ۷ ارائه شده است :

جدول ۷ ابعاد متعارف برای پانل‌های *AAC*

نوع قطعه	ضخامت (میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	طول (میلی‌متر)
پانل دیواری	۵۰ تا ۳۷۵	۶۱۰	۶۰۹۰



شکل ۵۶ . پانل AAC

رواداریهای ابعادی برای پانل‌های دیواری مسلح مطابق جدول ۸ می‌باشد :

جدول ۸ رواداریهای ابعادی برای پانل‌های دیواری

نوع قطعه	ضخامت(میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	طول (میلی‌متر)	زبانه (میلی‌متر)	کام (میلی‌متر)
پانل دیواری	±۳	±۳	±۵	±۳	±۳

در صورت کاربرد این نوع مصالح به عنوان جداکننده داخلی ، مطابق استاندارد EN برای تامین سطوح متفاوت مقاومت در برابر آتش ضخامت های متفاوتی از ۵۰ تا ۱۵۰ میلیمتر پیشنهاد شده است . به منظور کنترل تغییرشکل های ناشی از تغییرات دما نسبت ارتفاع به ضخامت دیوارها محدود به ۴۰ می باشد و از این رو در دیوارهای به ارتفاع آزاد ۳ متر ساخته شده از AAC حداقل ضخامت باید ۷/۵ سانتی متر باشد.

۶-۲-۷-۱ فولادگذاری در قطعات پانلی AAC

در پانل های AAC باربر لازم است که شبکه فولاد حداقل پیش بینی شود . از سویی در قطعات غیر باربر نیز به منظور کنترل ترک خوردگی ناشی از حمل و نقل، نصب و تنش های حرارتی پیش بینی فولادگذاری اجتناب ناپذیر به نظر می رسد . از این رو مطابق استاندارد EN حداقل فولادگذاری از مفتول با قطر حداقل ۴ میلی متر به صورت طولی در قطعات پانل و در فواصل ۵ تا ۷۰ سانتی متر بکار می رود . در یک قطعه پانل دیواری لازم است حداقل ۲ عدد آرماتور طولی پیش بینی شود.

۶-۲-۷-۲ خوردگی فولاد در قطعات AAC

به منظور مقابله با خوردگی ، فولاد مورد استفاده در قطعات AAC یا می باید از نوع stainless steel باشد یا دارای پوشش های مواد ضد خوردگی باشد. تنها در صورتی که قطعه غیر باربر بوده و مقاومت مشخصه بتن در آن کمتر از ۴ مگاپاسکال باشد، چنانچه پوشش بتن روی مفتول بیش از ۴۵ میلیمتر باشد می‌توان پوشش حفاظتی را حذف نمود .

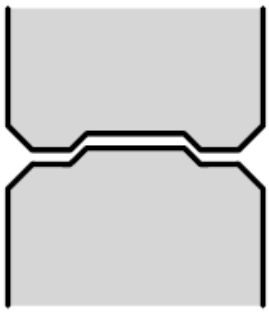
۶-۲-۷-۳ جذب آب قطعات AAC

به دلیل وجود ساختار سلولی و متخلخل جذب آب قطعات AAC قابل توجه بوده و از این رو به منظور جلوگیری از جذب سریع رطوبت پلاستر روکار و یا ملات مورد استفاده در اجرای نما، پلاستری ویژه جهت جلوگیری از

نفوذ آب روی سطح این قطعات ایجاد می گردد . پلاستر مورد نظر به طور معمول توسط تولیدکنندگان AAC به همراه بلوک ها ارائه می گردد.

۶-۲-۷-۴ نصب پانل‌های دیواری AAC

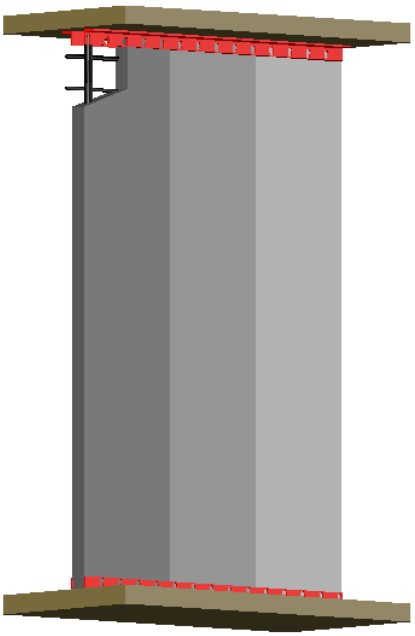
چیدمان پانلهای دیواری غیر باربر معمولا به صورت لایه‌های افقی انجام می‌شود. قبل از نصب پانلها لازم است، ابعاد دقیق و فاصله بین دیوارهای اصلی اندازه‌گیری شود. محل اتصال، باید با استفاده از ملات و شمشه‌گیری کاملاً صاف و تراز شود. سپس، بر روی سطح صاف و تراز شده، پانل زیرین قرارگرفته و به ترتیب پانلهای بعدی روی یکدیگر قرار می گیرند . اتصالات پانلها به یکدیگر توسط کام و زبانه انجام می شود و نیازی به ملات نمی باشد . درزهای افقی و عمودی توسط درزگیر هایی که معمولا سلیکونی می‌باشند پوشش داده می‌شوند.



شکل۵۷ . جزییات اتصال پانلها به یکدیگر که به صورت اتصالات کام و زبانه می باشد.

۶-۲-۷-۵ اتصال دیوارها به کف

برای اتصال دیوارها به کف، از یک ناودانی، که به طور سراسری در زیر دیوار قرار می‌گیرد استفاده می‌شود. این ناودانی از یک ورق سرد نورد ساخته می‌شود و استفاده از پروفیل‌های موجود در بازار توصیه نمی‌شود. برای اتصال این ناودانی به کف، می‌توان از چکش هیلتی و یا اتصال ساده با میخ یا پیچ در فواصل معین بهره جست.

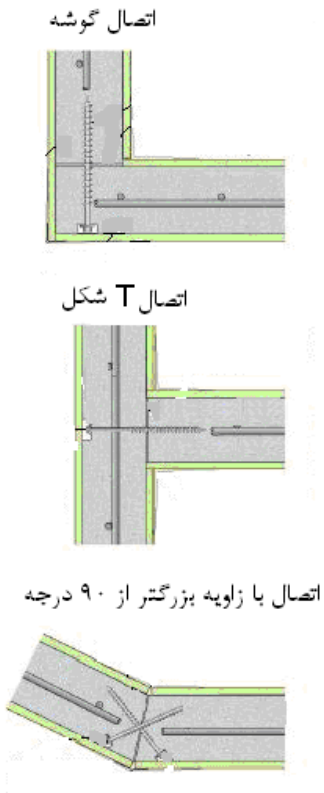


شکل ۵۸ . اتصال دیوارها به کف

۶-۲-۷-۶ اتصال دیوارها به سقف

برای این اتصال، و به منظور دستیابی به اهدافی که پیشتر به آن اشاره شد، از پروفیل نبشی گرم نوردشده، استفاده می‌شود. پس از تکمیل دیوار چینی و رسیدن ارتفاع دیوار به زیر سقف، در هر طرف دیوار، یک پروفیل نبشی قرار می‌گیرد. این پروفیل‌ها با اتصال ساده توسط پیچ یا میخ در فواصل معین، به سقف متصل می‌شود و دیوار در دو طرف بواسطه آنها نگه‌داشته می‌شود. این نبشی‌ها به دیوار متصل نمی‌شوند، به همین دلیل، علاوه بر حفظ تعادل دیوار در برابر بارهای خارج از صفحه، می‌توان از تاثیر مستقیم و قابل توجه دیوار در سختی جانبی سازه جلوگیری کرد.

شکل ۵۹ . اتصال دیوارها به سقف توسط پروفیل نبشی



شکل ۶۰ . جزییات اتصال پانل‌ها به یکدیگر در تقاطع‌ها به کمک پیچ‌های بلند

۶-۲-۷-۷ نصب تاسیسات برقی و لوله‌کشی

با ایجاد مسیرهای شیاری در پانل‌ها می‌توان تاسیسات برقی و مکانیکی را عبور داد. در هنگام ایجاد شیارها باید به این نکته توجه داشت که عمق این شیارها باید در حدی باشد که پانل یکپارچگی خود را از دست ندهد. برای عبور لوله‌های قطور لازم است از کانالهای عبور تاسیسات استفاده شود.

۶-۲-۷-۸ پوشش سطوح داخلی

گزینه های مختلفی برای پوشش سطوح داخلی پانل‌های AAC وجود دارد . پوشش‌های مورد استفاده باید از لحاظ خواص الاستیسیته و تغییرات حرارتی با پانل‌ها سازگار باشند . انواع پوششی که مورد استفاده قرار می گیرند شامل اندود، تخته گچی، کاشی و یک نوع اندود با دوام بسیار زیاد است که بیشتر برای ساختمانهای با کاربرد تجاری به کار میرود .

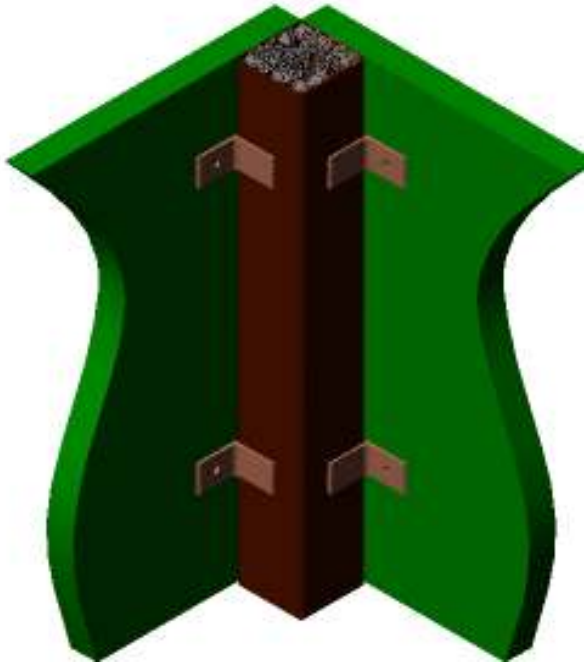
۶-۲-۷-۹ پوشش سطوح خارجی

برای پوشش سطوح خارجی نیز گزینه های مختلفی وجود دارد که این پوشش‌ها نیز مانند پوشش سطوح داخلی باید به گونه‌ای باشند که با خصوصیات فیزیکی بتن AAC سازگار باشند . از انواع پوشش رایج مورد استفاده می‌توان به اندود سیمانی اصلاح شده (Stucco) ، رنگ و نماسازی با مصالح بنایی اشاره کرد.

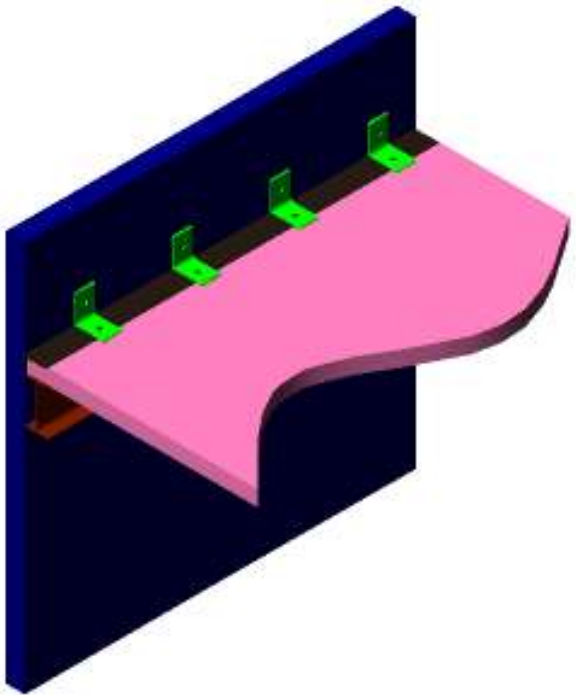
Stucco نوعی اندود سیمانی اصلاح شده با پلیمر است که این اندود در مقابل بخار بسیار نفوذ ناپذیر است.

۶-۲-۷-۱۰ اتصال پانل‌ها به سازهٔ اصلی

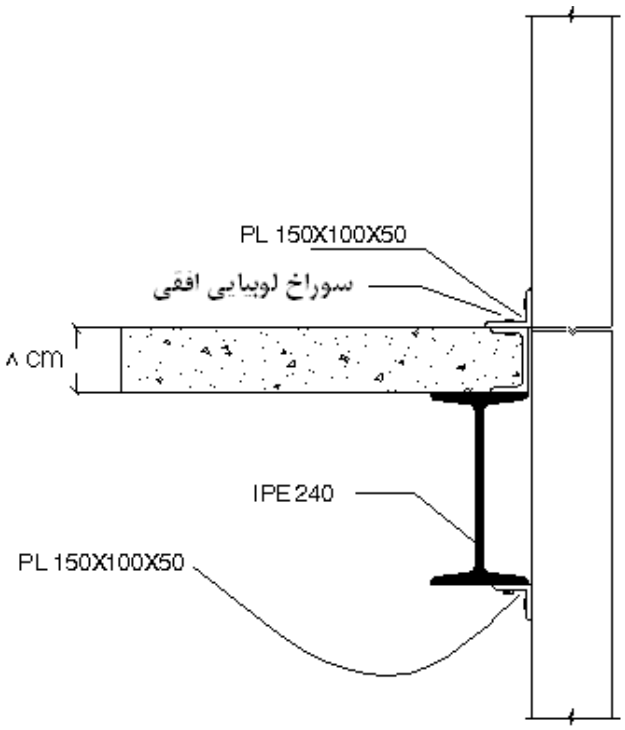
برای اتصال پانل‌های AAC به سازه می‌توان از انواع جزئیات ارائه شده برای پانل‌های پیش‌ساخته استفاده کرد. در شکل‌های ۶۱ تا ۶۴ چندین اتصال ساده که نیازهای ایستائی پانل را تامین می‌کنند، پیشنهاد شده است. عنصر اصلی در این اتصال ، نیم‌رخ نبشی سوراخ‌دار فولادی است که به وسیلهٔ پیچ به پانل متصل می‌شود.



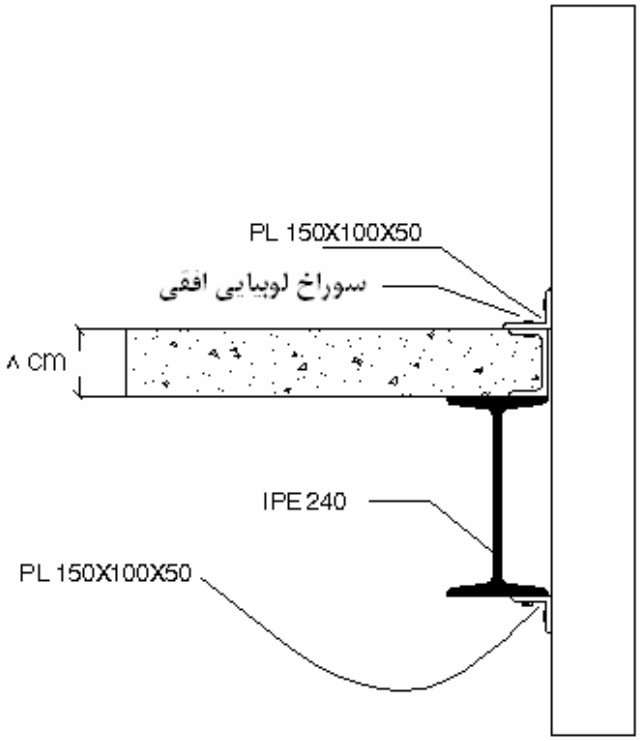
شکل ۶۱ . نمایش شماتیک اتصال پانل ها به ستونهای فولادی



شکل ۶۲. نمایش شماتیک اتصال پانل‌های خارجی به کف طبقات

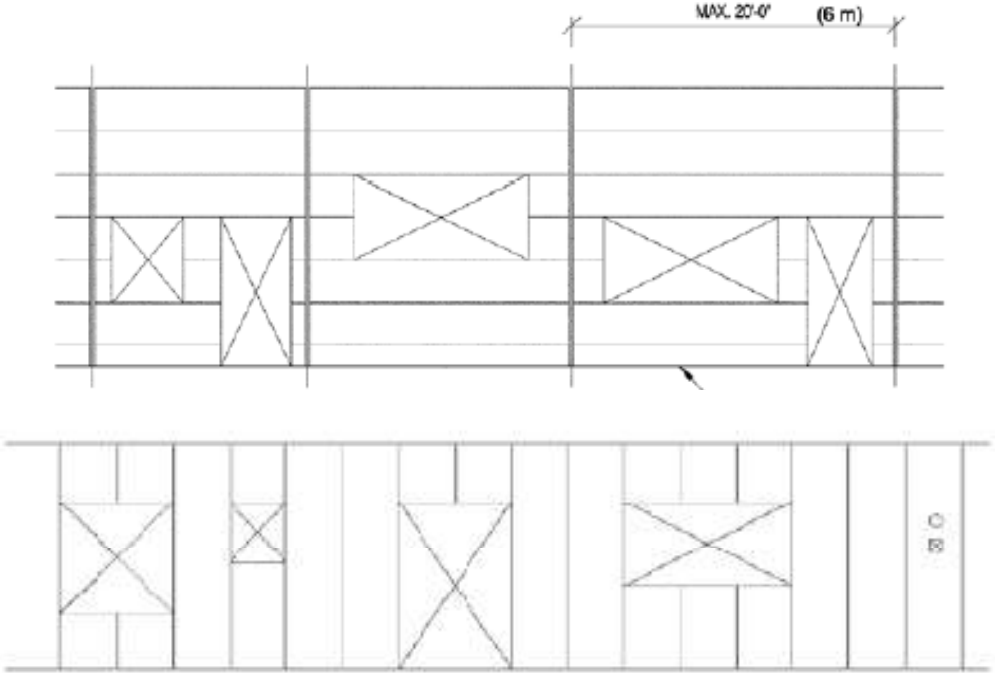


شکل ۶۳. جزئیات اتصال پانل خارجی به کف مرکب بتن و فولاد

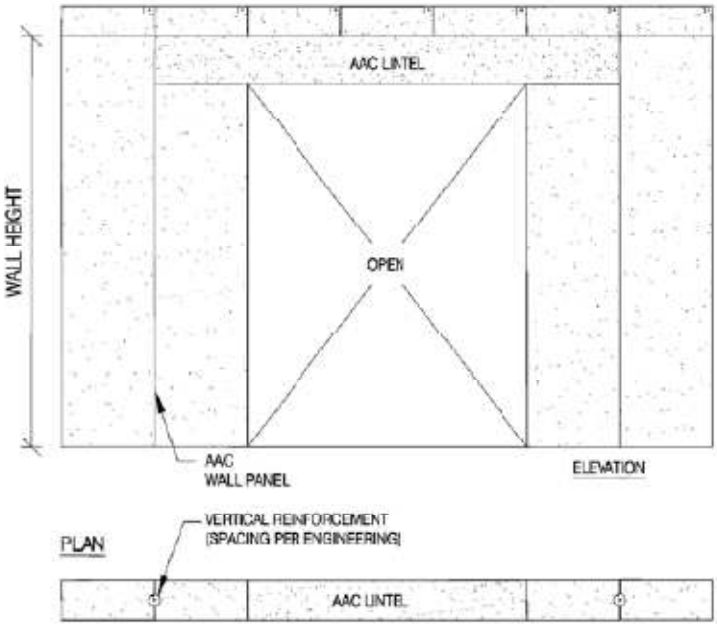


شکل ۶۴ . جزئیات اتصال پانل خارجی کوتاه به کف در زیر یا بالای بازشو

به طور کلی پیشنهاد می شود طراحی نمای ساختمان در طبقات مختلف از لحاظ وجود بازشوها یکسان باشد. در صورتی که در طبقات مختلف تغییری در وضعیت قرارگیری بازشوها وجود داشته باشد ، باید طراحی جزئیات و یا پانلها در محل بازشو به صورت خاص انجام شود و یا از روشهای دیگر مانند بلوک چینی استفاده کرد.



شکل ۶۵. قرار گیری پانل‌های دیوار به صورت افقی و عمودی با چیدمان اقتصادی



شکل ۶۶ . جزییات اجرای نعل درگاهی

۶-۳ گزینه سوم

درگزینه‌های اول و دوم معرفی شده در بندهای ۶-۱ و ۶-۲ به منظور کاهش زمان اجرای ساختمان از پانل‌های بتن سبک در دیوارهای ساختمان استفاده شده است. در گزینهٔ سوم، کاربرد این پانل‌ها به کف‌های ساختمان نیز گسترش پیدا کرده است. در حالی که کاربرد پانل‌های بتن سبک AAC در دیوارها کمترین پیچیدگی را از نظر جزئیات نصب و ارضای نیازمندی‌های سازه‌ای در بر دارد، برای کاربرد در کف‌های ساختمان احتیاج بـه رعایـت نکات فنی بیشتری وجود دارد که در گزینهٔ سوم به آن‌ها پرداخته می‌شود. از نظر سـایر ویژگـی‌هـای سـاختمان مانند اسکلت، سیستم باربر جانبی و دیوارها ، گزینهٔ سوم مانند گزینهٔ دوم است و برای دیدن جزئیات این مـوارد می‌توان به بند ۶-۲ رجوع کرد. در این گزینه برای سقف از پانلهای بتن سبک سـاخته شـده از AAC مسـلح استفاده شده است.

۶-۳-۱ جزئیات سقف

الف) جزئیات کف طبقات:

موزائیک (tile)	$0.025*2200=55\ kg/m^2$
ملات ماسه و سیمان (cement mortar)	$0.025*2100=52.5\ kg/m^2$
دال AAC (AAC slab)	$0.25*750=187.5\ kg/m^2$
میلگرد تسلیح	$6\ kg/m^2$
سقف کاذب (suspended ceiling)	$50\ kg/m^2$
	$351\ kg/m^2$

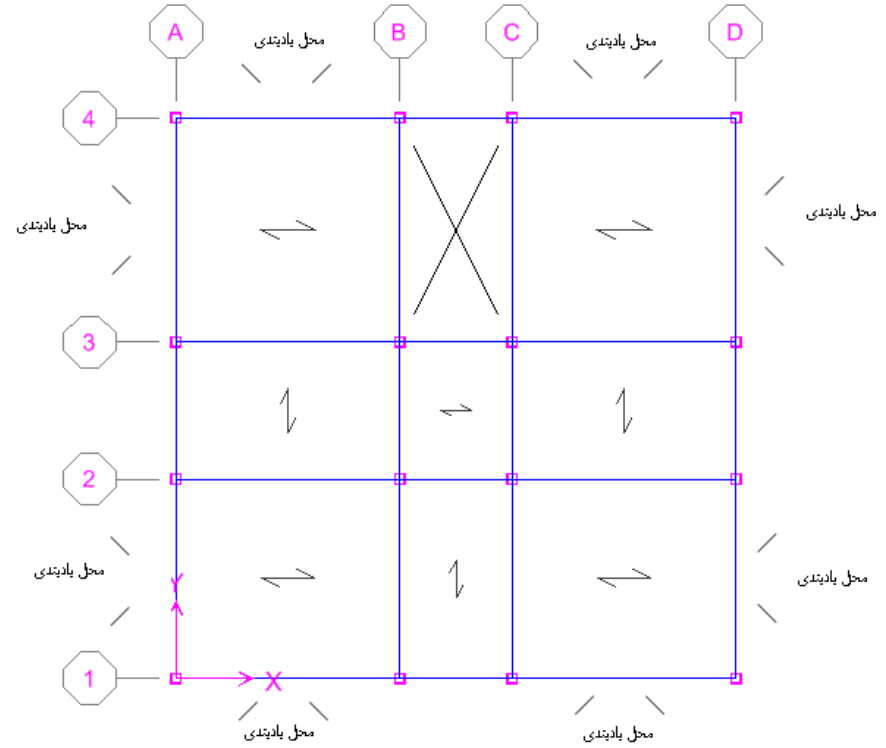
ب) جزییات بام:

آسفالت (asphalt)	$0.02*2200=55\ kg/m^2$
قیر و گونی (asphaltic felt)	$15\ kg/m^2$
ملات ماسه و سیمان (cement mortar)	$0.02*2100=52.5\ kg/m^2$
پوکه و سیمان (light weight concrete)	$0.15*800=120\ kg/m^2$
دال AAC (AAC slab)	$0.25*750=187.5\ kg/m^2$
	$6\ kg/m^2$

سقف کاذب (suspended ceiling) $50kg/m^2$

486 ≈490 kg/m2

۶-۳-۲- مدل هندسی



شکل۶۷ . پلان سازه‌ای ساختمان

۶-۳-۳ مشخصات سازه طراحی شده

- **ستونها**

در طراحی ستونها از ستونهای قوطی فولادی مختلط پر شده با بتن استفاده شده است.

برای ستونها کنترل ضوابط لرزه ای بند ۱۰- ۳- ۶ مبحث دهم مقررات ملی ساختمان انجام می گیرد.

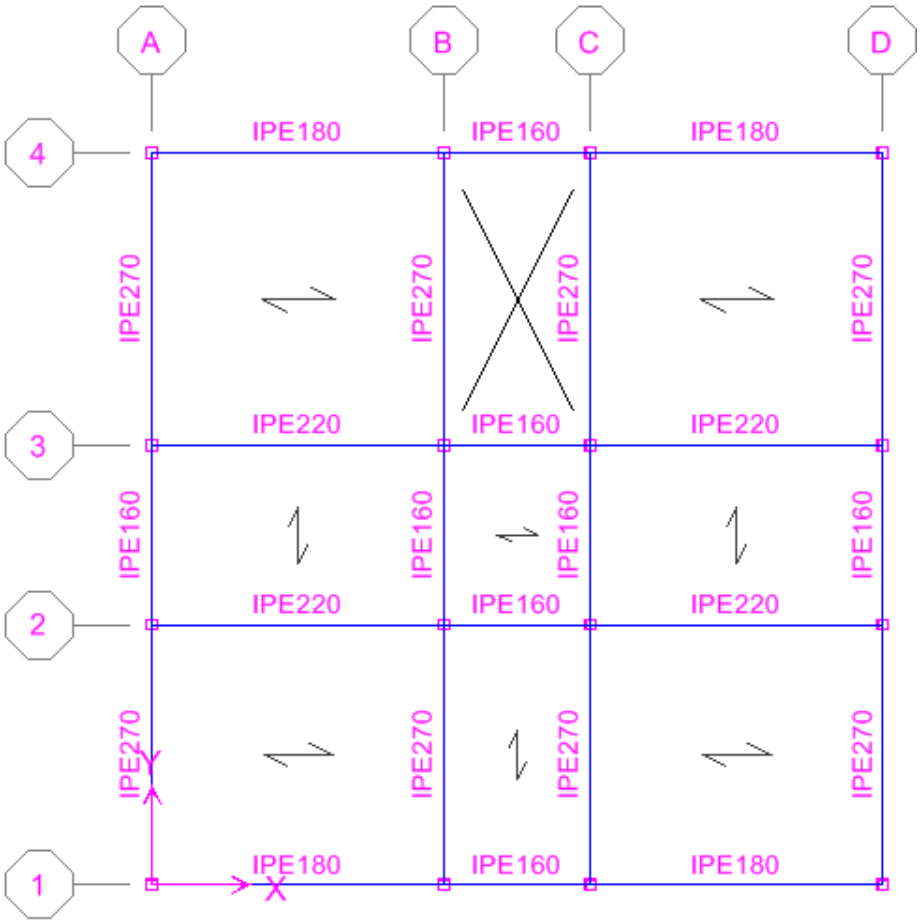
مطابق بند ۱۰- ۳- ۶- ۱- الف، ظرفیت بار محوری ستون در فشار یا کشش بدون در نظرگرفتن لنگر خمشی وارد بر آن نباید کمتر از بار محوری تعیین شده در ترکیبات بارگذاری زلزله تشدید یافته باشد.

- **طراحی تیرها**

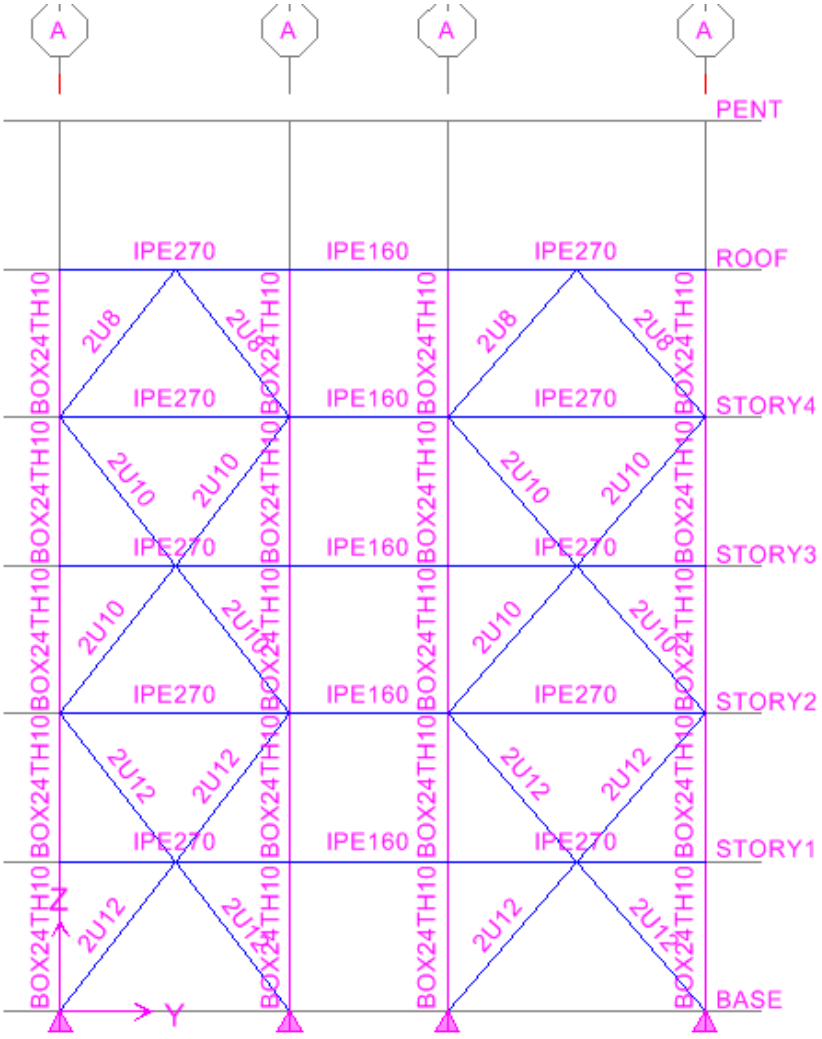
در طراحی تیرها از پروفیلهای نورد شده از نوع IPE استفاده شده است.

- **طراحی مهاربند**

در طراحی مهاربندها از پروفیل ناودانی دوبل استفاده شده است : 2UNP100, 2UNP120, 2UNP80



شکل ۶۸ پلان تیرریزی طبقات



شکل ۶۹ . نمای قاب A

در نمای قاب‌ها از علائمی مانند مورد زیر برای نشان دادن ابعاد ستون‌ها استفاده شده است:

BOX 240 TH 10: مقطع ستون قوطی به ابعاد ۲۴۰×۲۴۰ میلیمتر و ضخامت مقطع ۱۰ میلیمتر

۶-۳-۴ - طرح سقف با پانل های AAC

در گزینه سوم از پانل‌های AAC برای پوشش سقف‌ها استفاده شده است . مشخصات و ویژگیهای این پانل‌ها به صورت مشروح در معرفی گزینهٔ دوم در بند ۹-۲ ارایه شده است. ضوابط طراحی و اجرای این پانلها براساس راهنمای طراحی و ساخت پانلهایAAC (ACI 523-4R) بوده و با مبحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمانی ایران مطابقت داده شده است.

مشخصات و فرضیات طراحی پانلهای مورد استفاده به شرح زیر می‌باشد:

ابعاد :

عرض = ۶۰ سانتی‌متر طول = طول دهانه مورد استفاده ضخامت = مطابق محاسبات

مقاومت مشخصه پانل‌ها = ۵ MPa

وزن مخصوص = ۷۵۰ Kg/m^3

مدول الاستیسیته AAC = ۱۱۱۸۰ MPa

مدول الاستیسیته شبکه‌های مفتولی جهت تسلیح = ۲×۱۰^{۵} MPa

در پانل های سقفی از دو لایه شبکه مفتولی $\Phi 7@10cm$ در بالا و پایین پانل جهت تسلیح استفاده شده است. میلگردهای مورد استفاده از نوع آج ۴۰۰ می‌باشد . ضخامت پانلها بر اساس روابط حاکم بر تغییر مکان محاسبه می‌شود. آنچه در کاربرد این پانل‌ها حائز اهمیت می باشد ، در نظر گرفتن شرایط صلبیت (دیافراگم صلب) و اتصالات این پانل‌ها به یکدیگر و سازه اصلی می‌باشد. جهت برقراری صلبیت سقف‌ها مطابق ضوابط و آنچه در آیین نامه طراحی ذکر شده است از یک سری تسمه‌های فولادی مورب در دهانه‌های سقف استفاده شده است .

۶-۳-۵ طراحی دیافراگم صلب:

جزئیات اجرایی پانلهای کف به شرح زیر است:

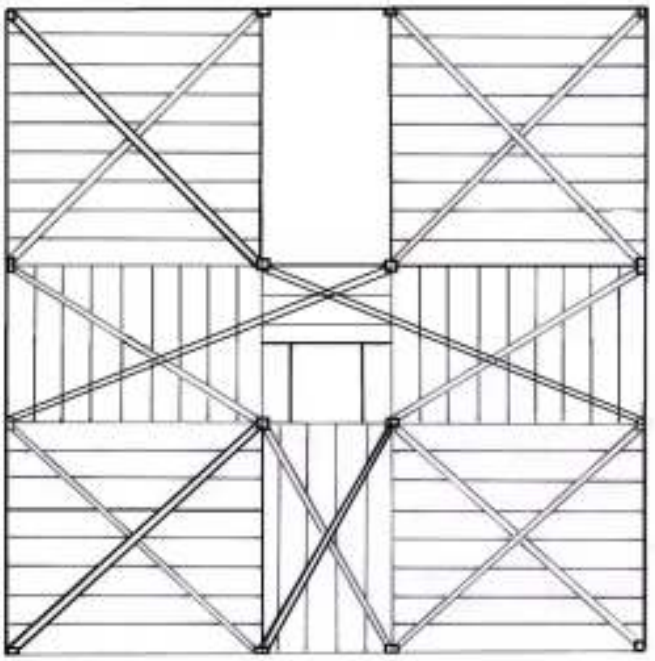
با توجه به پلان چیدمان پانل‌ها ، در محل تقاطع محور طولی هر پانل و محور طولی تیرها میلگردهای انتظار قائم مطابق جزئیات شکل ۷۵ ، به تیر جوش می شود.

سوراخی به قطر حدود ۱۰ سانتیمتر در دو انتهای پانلهای AAC بر روی محور طولی پانل ایجاد می شود.

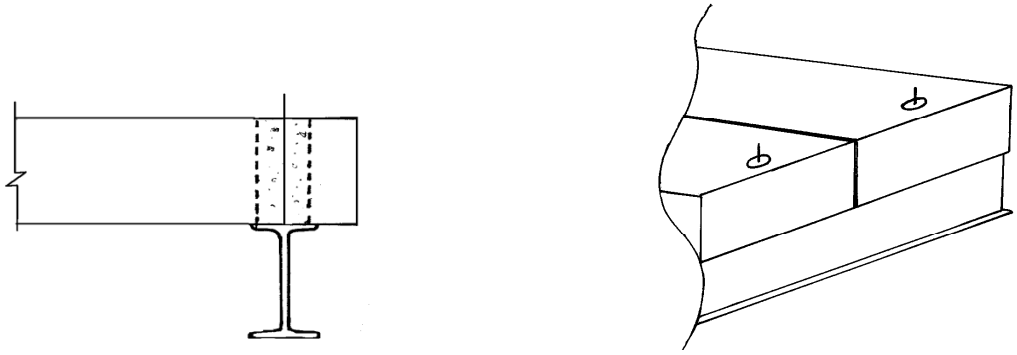
پانلهای AAC از دو طرف مطابق شکل ۷۴ بر روی تیرهای کف قرار می گیرد به نحوی که میلگرد انتظار جوش شده به تیر ، داخل سوراخ انتهای پانل قرار گیرد.

پس از نصب تمامی پانل‌ها و تراز نمودن آنها داخل سوراخ‌ها با گروت پر می شود.

برای ایجاد دیافراگم صلب از تسمه های سوراخ‌دار فولادی مورب بر روی پانل‌های AAC استفاده شده است. این المانها که بر روی پانل‌های AAC کف نصب می شود، ستونها را به یکدیگر متصل می‌نماید. برای اتصال تسمه ها به پانلها از پرچ در محل سوراخ‌های تسمه‌ها استفاده می گردد. سوراخ‌های روی تسمه‌ها می‌تواند در فواصل حدود ۲۵ سانتی‌متر روی محور تسمه ایجاد شود به نحوی که روی هر پانل حداقل دو سوراخ برای نصب پرچ وجود داشته باشد.



شکل ۷۰. پلان چیدمان پانل های سقفی به همراه تسمه های فولادی



(ب) (الف)

شکل ۷۱ . جزئیات اتصال پانل‌های کف به تیر اصلی

به منظور بررسی صلبیت دیافراگم، دیافراگم سازه توسط نرم افزار SAP2000 مدل‌سازی شده و نیروی جانبی زلزله موثر بر آن ، F_p ، بر اساس رابطه ۲-۱۹ بند ۲- ۹ استاندارد ۲۸۰۰ محاسبه می‌شود:

$$F_p = \frac{\sum_{j=i}^{n} F_j}{\sum_{j=i}^{n} W_j} W_i$$

نیروی بدست آمده از رابطهٔ فوق در طبقات مختلف به سازه اعمال شده است.

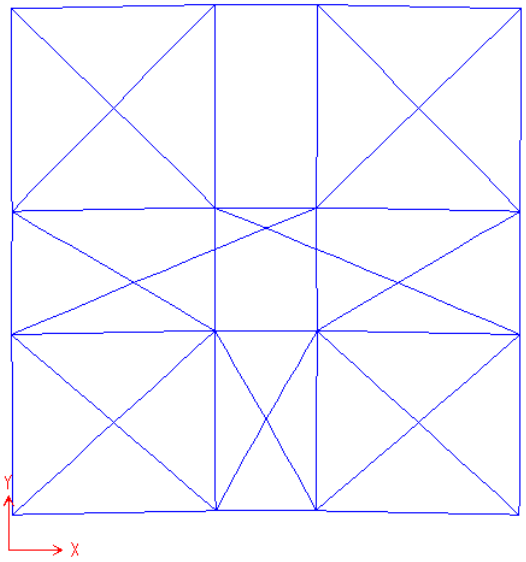
پس از تحلیل، Δ_{story} در دو راستای متعامد پلان بدست می‌آید .در مرحله بعد با در نظر گرفتن تغییرشکل های برشی، Δ_{diaph} بر اساس بند ۳ از پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰ قابل محاسبه خواهد بود. برای صلبیت دال باید رابطهٔ زیر برقرار باشد:

$$\frac{\Delta_{diaph}}{\Delta_{story}} < 0.5$$

Δ_{story} :جابجایی طبقه

Δ_{diaph}: جابجایی دیافراگم

بر این اساس ابعاد مقطع ورق مورد استفاده تسمه های فولادی جهت تامین صلبیت دیافراگم برابر با ۱۵۰×۱۰ mm بدست می آید.



شکل ۷۲ تغییر شکل جانبی دیافراگم تحت بار زلزله در جهت y (پلان طبقه)

- **اتصال تسمه های فولادی به ستون**

تسمه فولادی برای ماگزیمم نیروی کششی طراحی می شود.

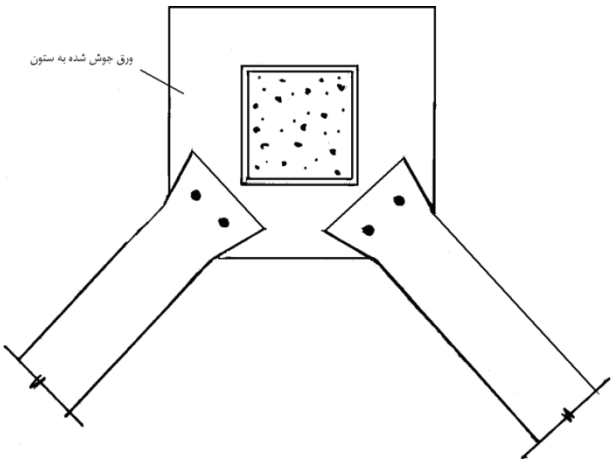
T= ۱۱/۴ ton

مقاومت برشی پیچ $Fv=0.17*8000=1360\ kg/cm^2$

سطح مقطع لازم پیچ =۱۱۴۰۰/ ۱۳۶۰ =۸/۳۸

سطح مقطع هر پیچ سایز ۲۴= $۴/۵۴\ cm^2$

عدد ۲ = تعداد

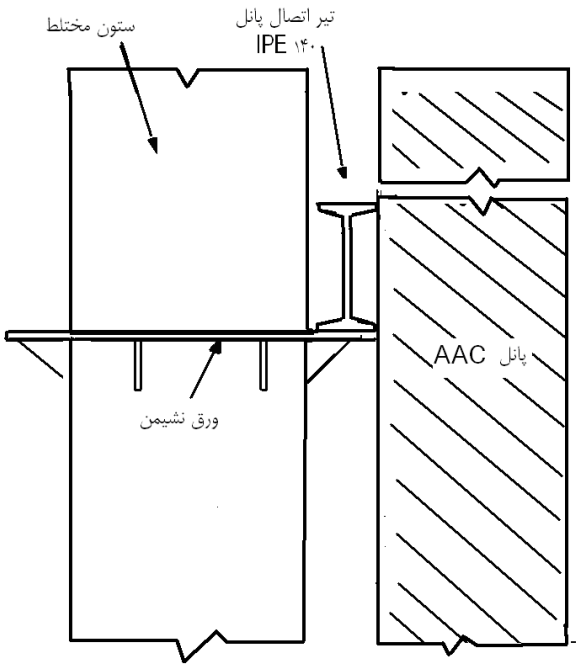


شکل ۷۳ جزئیات اتصال تسمه فولادی به ستون (ستون وسط)

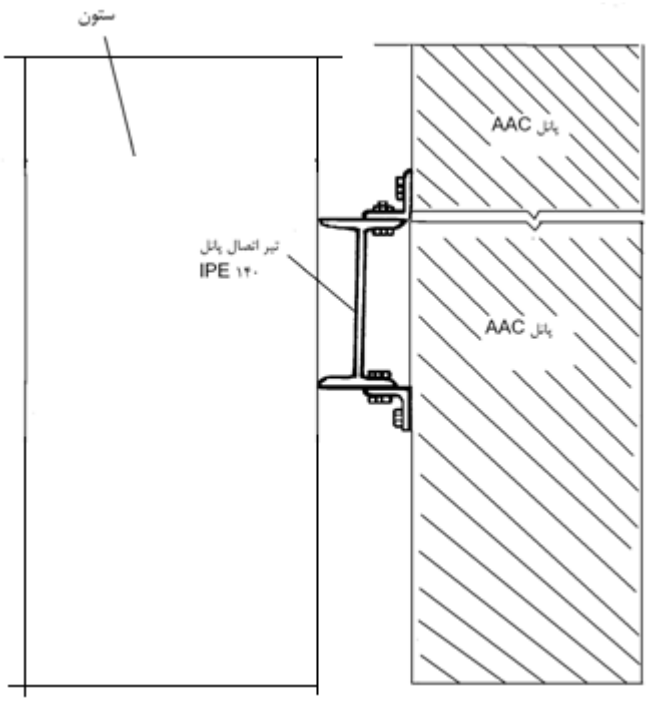
۶-۳-۶ جزئیات اتصال پانل های دیواری غیر باربر AAC

مشخصات پانل های دیواری غیر باربر AAC مطابق توضیحات گزینه دوم می باشد.

در ادامه جزئیات اتصال پانل‌ها به ستون های فولادی ارائه شده است.



شکل ۷۴ . جزییات قرار گیری پانل‌ها در مجاورت ستون فولادی



شکل ۷۵ . جزییات اتصال پانل‌های خارجی به تیر پیرامونی متصل به ستون‌ها در نقاط خارج از محدوده ستون

۶-۴ مقایسه گزینه های ساختمان سریع الاحداث

گزینه‌های سه‌گانهٔ ارائه شده ضمن برآوردن نیاز اصلی سرعت اجرا و صنعتی‌سازی ساختمان ، در کاهش مصرف فولاد سازه‌ای نیز موفق بوده‌اند. این موفقیت در گزینهٔ دوم ناشی از کاربرد سیستم باربر قاب فولادی بعلاوهٔ مهاربندی همگرا در دو جهت پلان است که در کنترل تغییرشکل‌های جانبی موثرترین سیستم محسوب می‌شود. در گزینهٔ سوم ، کاربرد پانل‌های مسلح AAC در کف طبقات باعث حذف تیرچه‌های فولادی و کاهش بیشتر در مصرف فولاد شده است. در هر دو گزینهٔ دوم و سوم ، کاربرد ستون‌های فولادی پر شده با بتن موجب کاهش چشمگیر مصرف فولاد ستون‌ها شده است.

جدول ۹ مشخصات ساختمان

ردیف	ستون ها	تیرها	سیستم باربر جانبی	سقف	دیوار داخلی	دیوار خارجی
گزینه اول	تیر ورق I شکل	تیر ورق و مقاطع IPE	مهاربندی در یک جهت – قاب خمشی در جهت دیگر	سقف مرکب بتن وفولاد	بلوکهای گچی	بلوک های AAC
گزینه دوم	ستونهای مختلط پر شده با بتن	مقاطع IPE	مهاربندی در دو جهت	سقف مرکب بتن وفولاد	پانلهای AAC	پانلهای AAC
گزینه سوم	ستونهای مختلط پر شده با بتن	مقاطع IPE	مهاربندی در دو جهت	پانلهای AAC مسلح	پانلهای AAC	پانلهای AAC

با مقایسهٔ ارقام مصرف کلی فولاد در سازه در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود که با کاربرد روش‌های پیشنهاد شده در این مطالعات ، مصرف فولاد در گزینهٔ سوم تا ۳۶٪ نسبت به گزینهٔ اول کاهش یافته که بسیار قابل توجه است.

جدول ۱۰ مقایسه میزان مصرف مصالح فولادی بر حسب کیلوگرم بر متر مربع

ردیف	ستون	تیر	مهاربند	اتصالات	سقف	مجموع
گزینه اول	۲۵/۳	۲۳/۹۰	۵/۴۰	۵/۴۰	۲۰	۸۰
گزینه دوم	۱۹	۱۸/۸	۶/۱۰	۴/۳	۲۰	۶۸/۲۰
گزینه سوم	۱۹	۱۵/۵	۶/۱۰	۴/۰	۶/۵	۵۱/۱۰

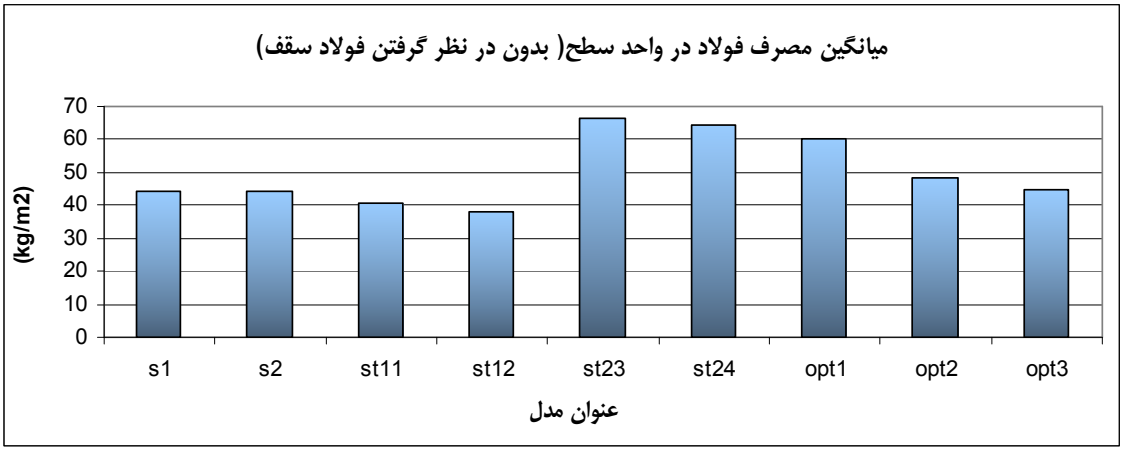
۷- مقایسه گزینه های ساختمان سریع الاحداث با گزینه های فولادی متعارف

در فصل اول این گزارش به گزینه‌های ساختمانی متشکل از سازه‌های فولادی متعارف مانند قاب خمشی با اتصالات جوشی و اجزاء غیر سازه‌ای بنائی پرداخته شد. در فصل ۶ ، گزینه‌های ساختمان فولادی سریع الاحداث با اتصالات پیچ و مهره‌ای و کاربرد پانل‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای مورد بحث قرار گرفت. در این فصل مقایسه‌ای میان تعدادی از بهترین ترکیبات ساختمانی متعارف و ترکیبات سریع الاحداث بر اساس پارامترهای عمده شامل وزن ساختمان ، مصرف مصالح و هزینهٔ اجرا انجام می‌شود.

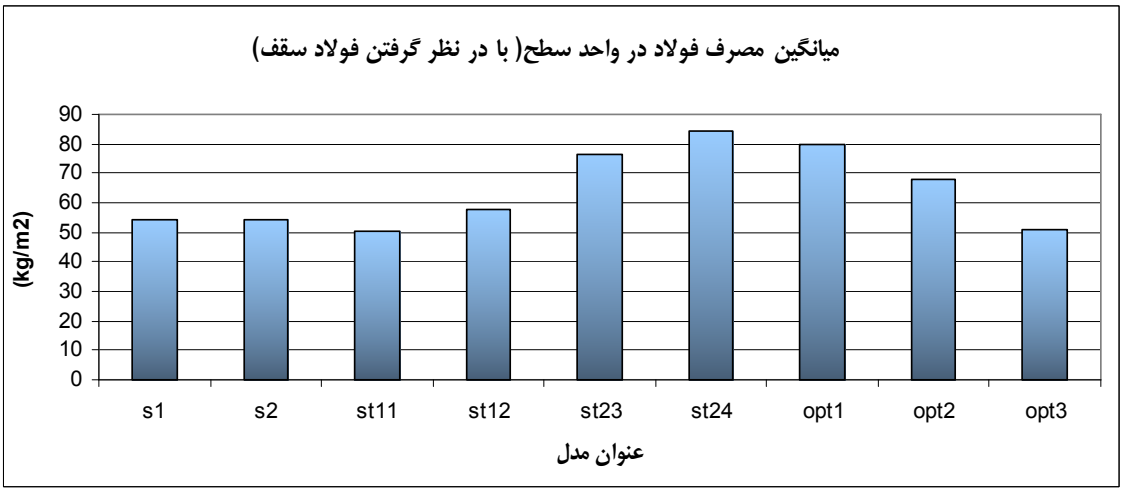
عنوان مدل	توضیحات	مصرف فولاد (بدون احتساب تیرریزی سقف) (kg/m^2)	مصرف فولاد (با احتساب تیرریزی سقف) (kg/m^2)	قیمت تا انتهای سفت کاری (یورو بر m^2)	وزن ساختمان در واحد سطح (kg/m^2)
S1	(قاب خمشی + مهاربندی)سیستم دوگانه+ تیرچه بلوک (پلی‌استایرن)+ بلوک گچی+بلوکAAC	۴۴	۵۴	۶۹	۸۶۶
S2	(قاب خمشی + مهاربندی)سیستم دوگانه + تیرچه بلوک (پلی‌استایرن)+ بلوک AAC + بلوک AAC	۴۵	۵۵	۷۵	۸۸۸
***St*.11**	قاب ساده + مهاربندی+ تیرچه بلوک(پلی استایرن) + بلوک گچی + بلوک سفالی	۴۰	۵۰	۶۵	۸۳۷
***St*.12**	قاب ساده + مهاربندی+ سقف‌مرکب+ بلوک گچی+ بلوک سفالی	۳۸	۵۸	۷۴	۷۶۳
***Stl*.23**	قاب خمشی + تیرچه بلوک (پلی استایرن)+ بلوک گچی+ بلوک سفالی	۶۷	۷۷	۸۰	۷۹۱
***Stl*.24**	قاب خمشی + سقف‌مرکب+ بلوک گچی+ بلوک سفالی	۶۴	۸۴	۸۹	۸۵۶

Opt.1 (گزینه‌اول)	قاب خمشی + مهاربندی(یک جهت)+ سقف مرکب + بلوک گچی +بلوک AAC	۶۰	۸۰	۹۴	۷۹۴
Opt.2 (گزینه‌دوم)	قاب خمشی+ مهاربندی(یک جهت)+ سقف مرکب+ پانل AAC+ پانل AAC	۴۸	۶۸	۹۱	۸۰۵
Opt.3 (گزینه‌سوم)	قاب خمشی + مهاربندی+ پانل AAC+ پانل AAC+ پانل AAC	۴۵	۵۱	۷۰	۷۲۱

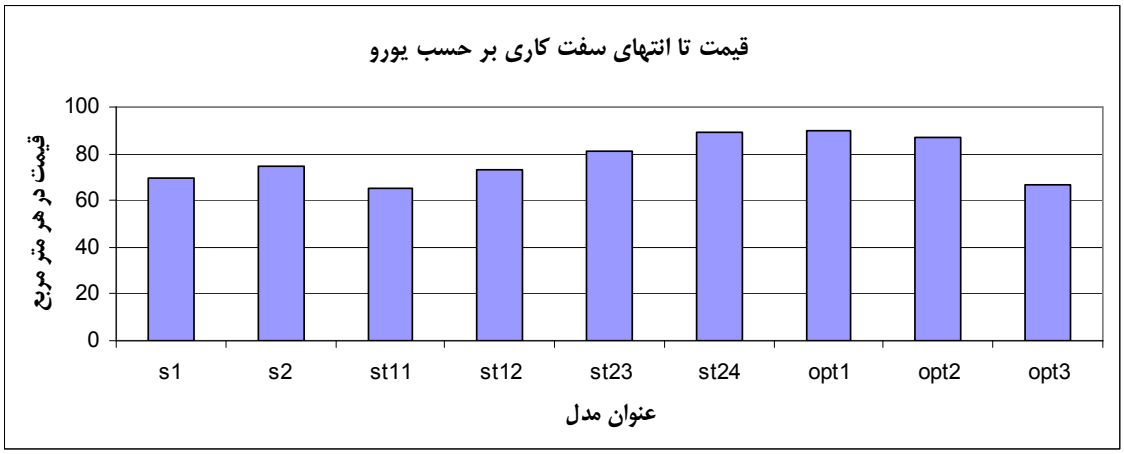
در نمودارهای صفحه بعد میانگین مصرف فولاد ، قیمت ها و وزن ساختمان ها در مدلهای مختلف برای مقایسه ارائه شده است.



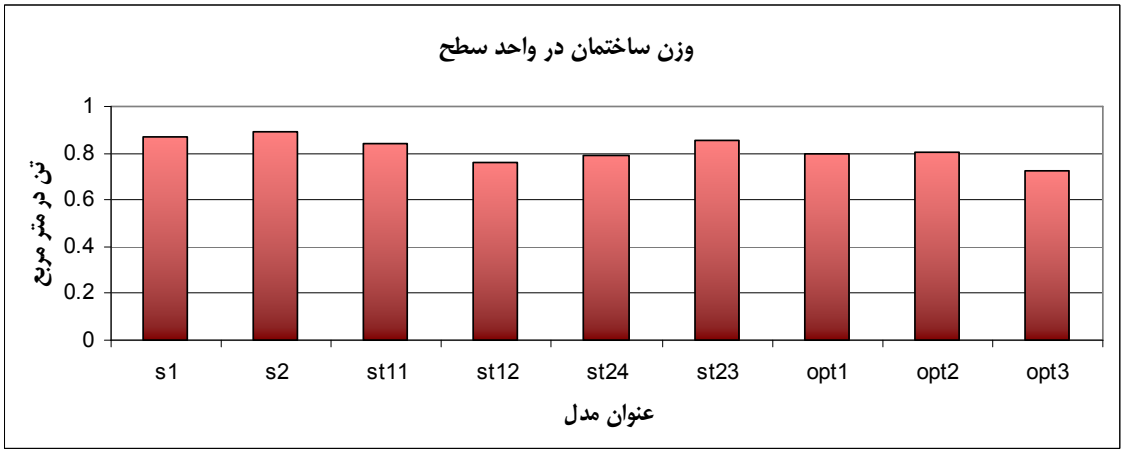
نمودار ۳۰ – مصرف فولاد اسکلت در واحد سطح زیربنای ساختمان فولادی



نمودار ۳۱ – مصرف فولاد در اسکلت و سقف در واحد سطح زیربنای ساختمان فولادی



نمودار ۳۲- هزینهٔ اجرای ساختمان فولادی تا پایان سفت‌کاری (یورو)



نمودار ۳۳- وزن کلی ساختمان فولادی در واحد سطح زیربنا

از نظر مقادیر وزنی ، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که:

- گزینهٔ سریع الاحداث سوم سبک‌ترین ترکیب را ارائه می‌دهد. در این گزینه ازقاب خمشی فولادی و مهاربندی هم محور در دو جهت پلان ، ستون‌های مرکب بتن و فولاد و پانل‌های بتن سبک AAC در دیوارها و کف طبقات استفاده شده است. این گزینه ۲۰٪ سبک‌تر از سنگین‌ترین گزینهٔ مورد مطالعه بوده است.
- کاربرد دال مرکب بتن و فولاد در کاهش وزن ساختمان‌های فولادی موثر است و بطور مثال در مقایسه با کاربرد تیرچه و بلوک پلی استایرین ، می‌تواند منجر به ۸٪ کاهش در وزن کلی ساختمان و وزن سازه ، شود.
- کاربرد پانل‌های بتن سبک AAC در کف طبقات ساختمان اثر مهمی به میزان ۲۵٪ در کاهش مصرف فولاد سازه‌ای داشته است. این پانل‌ها همچنین موجب ۱۰٪ کاهش وزن کلی ساختمان شده‌اند.
- کاربرد مهاربندی در قاب فولادی موجب ۳۵٪ کاهش مصرف فولاد نسبت به کاربرد قاب خمشی تنها می‌شود.

از نظر هزینهٔ اجرای سازه و سفت‌کاری می‌توان گفت که:

- گزینهٔ متداول و سنتی مشتمل بر قاب فولادی ساده بعلاوهٔ مهاربندی ، تیرچه و بلوک پلی‌استایرین ، بنائی با بلوک گچی برای دیوارهای داخلی و بنائی با بلوک سفالی برای دیوارهای خارجی ، ارزانترین گزینه است.
- کاربرد گزینهٔ سوم سریع الاحداث فقط ۸٪ گران‌تر از ارزان‌ترین گزینهٔ مورد مطالعه است. در گزینهٔ سوم پانل‌های بتن سبک AAC در سقف و دیوارها به کار رفته‌اند که عایق مناسبی برای صوت و حرارت محسوب می‌شود. این ویژگی بطور مستقیم در محاسبات هزینه اعمال نشده است و می‌تواند علاوه بر تامین آسایش ساکنان و صرفه‌جوئی در انرژی ، از نظر هزینهٔ ساخت نیز بسیار اقتصادی باشد.
- کاربرد مهاربندی در قاب فولادی می‌تواند منجر به ۱۹٪ کاهش هزینهٔ ساخت نسبت به گزینهٔ قاب خمشی خالص شود.
- کاربرد سقف مرکب بتن و فولاد می‌تواند باعث ۱۱٪ افزایش هزینهٔ ساخت نسبت به سقف تیرچه و بلوک پلی استایرین شود.

۸- نتایج نهائی و توصیه‌ها

نتایج حاصل از این تحقیق در بخش‌های ۳-۱ ، ۴-۱، ۴-۵ ، ۵-۱ ، ۵-۲ ، ۶-۴ و ۷ به صورت مقایسهٔ پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب گزینه‌های مورد مطالعه ، ارائه شده‌اند. در هر یک از این بخش‌ها ، مقایسه‌های جزئی در مورد گروه‌های خاصی از سازه‌ها انجام شده است که می‌تواند در انتخاب ترکیب بهینه در شرایط خاص طرح مورد استفاده قرار گیرد. اما از دید کلی و از میان تمامی این گزینه‌ها که بالغ بر ۱۲۰ مورد است ، می‌توان انتخاب‌های زیر را به عنوان نتیجهٔ کاربردی بیان نمود:

۱- برای سبک شدن سازه و کاهش مصرف مصالح فولادی لازم است که با هماهنگ نمودن سازه و معماری ساختمان، از مهاربندی در قاب فولادی و از دیوار برشی در قاب بتنی استفاده شود.

۲- سیستم قاب خمشی بعلاوهٔ مهاربند با سقف های متشکل از تیرچه و بلوک های پلی استایرن و دیوارهای شامل بلوک‌های AAC به عنوان ترکیب بهتر در گزینه‌های فولادی رایج پیشنهاد می‌گردد.

۳- گزینه متشکل از قاب خمشی فولادی و مهاربندی هم محور با اتصالات پیچ و مهره‌ای ، ستون‌های مرکب بتن و فولاد و پانل‌های بتن سبک AAC در دیوارها و کف طبقات به عنوان سریع‌ترین ، سبک‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه قابل پیشنهاد است.

۴- در میان ساختمان‌های بتنی ، گزینهٔ متشکل از قاب خمشی بعلاوهٔ دیوار برشی ، سقف دال بتنـی دو طرفه و دیوارهای بنائی با بلوک بتنی سبک AAC قابل توصیه است. سرعت اجرای این گزینه کم است و برای شرایط پرداخت تدریجی هزینه‌های ساخت توسط کارفرما ، قابل توصیه است.

۹-فهرست منابع و مراجع

۱- کمیته دائمی بازنگری ایین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله .مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،"آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله" ، استاندارد ۲۸۰۰ ، ویرایش دوم ،آذر ۷۸

۲-فامیلی . علی اکبر ،مصالح شناسی ساختمان و تکنولوزی مواد ، انتشارات دانش تایپ

۳- "ضوابط فنی پیشنهادی مر کز تحقیقات ساختمان و مسکن در خصوص بلوک های پلی استایرن" ،مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

۴-"مجموعه معیار های فنی برای نظام صفحات ساندویچی "، وزارت مسکن و شهر سازی ، سازمان ملی زمین ومسکن معاونت فنی و اجرایی ، دفتر مهندسی ۱۳۸۰،

۵-"مشخصات فنی صفحات روکش دار گچی" ، شرکت کناف ایران

۶-مقررات ملی ساختمانی ایران ، " مبحث ۱۰ طرح و اجرای ساختمان های فولادی " ، بخش مقررات و ضوابط ساختمانی دفتر نظامات مهندسی

۷-آیین نامه بتن ایران (آبا)، ، نشریه شماره ۱۲۰ ساز مان مدیریت و برنامه ریزی کشور ، معاونت امور فنی ، دفتر امور فنی و معیار ها

۸- راهنمای انجمن کارهای فولادی ساختمانی انگلستان ، British Constructional Steelwork Association

۹-مجموعه مقالات دوره آموزشی "کنترل کیفی جوشکاری و تاثیر آن بر سازه های فولادی"،تیر ۸۴، مرکز حقیقات ساختمان و مسکن

۱۰-"آیین نامه جوشکاری ساختمانی ایران"، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، نشریه شماره ۲۲۸، ۱۳۸۰