ویژگیهای معماری و سیستم سازه ای سوپر فریم ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز از نقطه نظر طراحی و اجرا

دکتر علی کمک پناه*، علیرضا شرق**

* استاد دانشگاه تربیت مدرس تهران (a-panah@modares.ac.ir)

** دانشجوی دکتری، دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران (shargh@iust.ac.ir)

چکیده:

ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز با ۳۶ طبقه سازه ای و تنها یک طبقه زیرزمین یکی از دستاوردهای مهم معماری و مهندسی سازه کارشناسان کشورمان می باشد. اگر چه سیستم ساختمانهای بلند پلان آزاد و سازه سوپر فریم مرتبط با آن در کشور ژاپن ابداع و توسعه یافته است، لیکن انطباق فناوری پیشرفته آن به کشور ایران و ارتقاء تولیدات مصالح کشور جهت استفاده از یک سیستم پیشرفته، بزرگترین دستاورد پروژه مرکز تجارت جهانی تبریز بوده است. پلان آزاد به معنی استفاده از کمترین ستونها، حذف تیرها در طبقات ساختمان، استفاده از سقف تخت، اجرای تاسیسات آبرسانی و فاضلاب در کف (با تعبیه منطقه ویژه در کف سازی)، و آزاد بودن کل چهار وجه ساختمان می باشد. در سیستم پلان آزاد، به معمار آزادی عمل کامل در طبقات برای طراحی در حدود ساختمان داده می شود. سیستم سازه ای سوپر فریم با میراگرهای ویسکوز که در اجرای برجهای بلندمرتبه با معماری پلان آزاد بکار برده می شود متشکل از دیوار هسته مرکزی، ابرتیرهای مستقر در تراز فوقانی ساختمان، ستونهای پیرامونی و میراگرهای ویسکوز می باشد. در این سیستم میراگرهای ویسکوز بصورت قائم بین نوک ابرتیرها و ستونهای پیرامونی نصب می شوند. در زمان وقوع زلزله، ابرتیرها و ستونهای پیرامونی لنگر واژگونی هسته مرکزی را کاهش داده، و میراگرهای ویسکوز نصب شده در نوک ابرتیرها نیز لنگر خمشی و خیز جانبی سازه را کاهش می دهند. این سیستم جدید می تواند حتی در مناطق با میزان لرزه خیزی بسیار بالا، تیرهای داخلی و ستونهای داخلی طبقه را حذف کرده و ساختمانهایی با طبقات بدون ستون که دارای فضای مفید بیشتری هستند، فراهم نماید. سیستم سازه ای سوپر فریم برای اولین بار در ایران، با مصالح کاملاً بومی و با تکیه بر دانش فنی متخصصین داخل کشور در احداث ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز بکار گرفته شده است.

در این مقاله پس از معرفی سیستم سازه ای سوپر فریم، به بررسی جزئیات اجرایی تنها نمونه بکار برده شده از این فناوری در داخل کشور (ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز) پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: ساختمانهای بلند، سیستم سازه ای سوپر فریم، میراگر ویسکوز، مرکز تجارت جهانی تبریز

۱. مقدمه

در دهه های گذشته موضوع اجرای ساختمان های بلند بیشتر با هدف نمایش قدرت فنی مهندسان در صنعت ساختمان ساخته می شدند و توجه طراحان اغلب بر طراحی یک سازه پایدار متمرکز می گردید و معماری سازه عموماً تحت مدیریت اجزای سازه ای قرار می گرفت. به همین دلیل اغلب به پوشش های بیرونی ساختمان که تامین کننده نور داخلی و چشم انداز رو به بیرون بود، توجه کمتری می شد. امروزه هماهنگ با سایر

پیشرفتهای تکنولوژی حاصل شده در علوم مختلف، فناوری اجرای ساختمانهای بلند نیز دستخوش توسعه و تغییرات عمده در معماری و به تبع آن در سازه و تاسیسات گردیده است. با گذشت زمان و با توسعه فناوری ساخت برج ها و آسمان خراشها، ضرورت توجه به معماری (چه در حجم و شکل بیرونی و چه در معماری داخلی) از اهمیت بیشتری برخوردار شده و از این رو برجهای جدید روز به روز نسبت به نسل های قبلی متمایزتر گشته اند.

در ژاپن، پس از اینکه که اولین ساختمان بلند مرتبه با سیستم نوین بتن آرمه مقاومت بالا (HiRC) در سال ۱۹۷۰ با موفقیت به اجرا درآمد، به سرعت تعداد زیادی ساختمان با بهره گیری از همین فناوری و با تعداد طبقات محدود به ۳۰ طبقه اجرا گردید. طی تحقیقات و مطالعات گسترده ای که در چند دهه اخیر در رابطه با مهندسی ساخت ساختمانهای بلند مرتبه با مصالح بتن آرمه مقاومت بالا در ژاپن صورت گرفت، این قطعیت حاصل شد که اجرای برج های بلند مرتبه تا ۵۰ طبقه که دارای مقاطع عرضی تیر و ستون مشابه با قاب بتنی ۳۰ طبقه هستند نیز امکان پذیر می باشد. سیستم سازه ای مورد استفاده در این ساختمانها عموماً متشکل از یک قاب مقاوم خمشی ساخته شده از مصالح بتن آرمه مقاومت بالا می باشد.

در سالهای اخیر، ضرورت فراهم آوردن انعطافپذیری بیشتر در طراحی معماری ساختمانها موجب گردید که در طراحی ها، المانهایی که وظیفه مقاومت در برابر بارهای جانبی را بر عهده داشتند و پیش از این در پیرامون ساختمان استقرار داشتند، به بخش مرکزی ساختمان (چاله های آسانسور و راه پله ها) انتقال داده شوند تا از این طریق یک فضای بدون ستون در طبقه ایجاد گردد. اما مطالعات محققین نشان داد که با این تغییر در الگوی طراحی، ابعاد المانهای مذکور کاهش یافته و سختی جانبی کمتری ایجاد می شود. در این شرایط هنگام وقوع زلزله تغییرشکل طبقات بالاتر از مقادیر مورد انتظار فراتر می رود. در نتیجه ایده اجرای دیوارهای برشی در اطراف چاله های آسانسور و راه پله ها به تنهایی برای مقابله با نیروهای جانبی کافی نبوده و می بایست تغییرات اساسی در سیستم سازه ای ایجاد گردد. مجموعه مطالعات گسترده تحلیلی، آزمایشگاهی و مدلهایی که در مقیاس واقعی مورد بارگذاری و آزمایش قرار گرفتند در نهایت منجر به ابداع سیستم سازه ای سوپر فریم گردید. از مهمترین ویژگیهای یک سیستم سازه ای سوپر فریم این است که علاوه بر تضمین عملکرد لرزه ای فوق العاده ساختمانهای اجرا شده با این فناوری، محدودیتهایی که پیش تر در طراحی های معماری، تاسیسات مکانیکی و الکتریکی ساختمانهای بلند وجود داشت، بطور کامل مرتفع شده است.

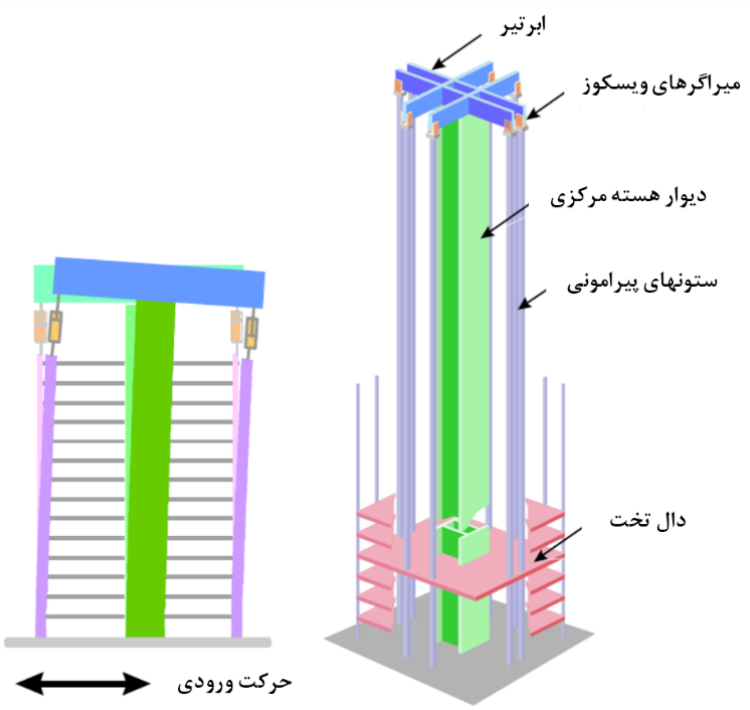
در این مقاله که با هدف آشنایی مهندسین و متخصصین رشته های مرتبط با صنعت ساختمان در داخل کشور، با این فناوری تهیه شده است، نخست سیستم سازه ای سوپر فریم و اجزای تشکیل دهنده آن معرفی می شود و سپس عملکرد این سیستم با سایر سیستمهای سازه ای متداول مورد مقایسه قرار می گیرد. در انتها نیز به معرفی ویژگیهای منحصر به فرد ساختمان برج مرکز تجارت جهانی تبریز که با استفاده از همین فناوری، با مصالح کاملاً بومی، و با تکیه بر دانش متخصصین داخلی در کلانشهر تبریز به اجرا در آمده است پرداخته می شود.

۲. معرفی سیستم سازه ای سوپر فریم[1]

مطابق تصویر شماتیک نشان داده شده در شکل ۱، سیستم سازه ای سوپر فریم از یک سوپر سازه T شکل تشکیل می شود که اجزای آن دیوار هسته مرکزی، ابرتیرها، ستونهای پیرامونی، دالهای تخت و میراگرهای ویسکوز می باشند. دیوار هسته مرکزی که در بخش مرکزی پلان قرار دارد از مصالح بتن آرمه مقاومت بالا ساخته می شود. این دیوار می تواند در مقابل بیشتر بارهای خارجی جانبی مقاومت کند. ابرتیرها فقط در بالای سازه و بر روی دیوار هسته مرکزی قرار دارند. ستونهای پیرامونی که در بخش بیرونی پلان ساختمان آرایش داده می شوند، اساساً وظیفه حمل بارهای قائم را بر عهده دارند. میراگرهای ویسکوز بصورت قائم بین نوک ابرتیرها و برخی از ستونهای پیرامونی نصب می شوند. این میراگرها از نوع میراگرهای روغنی با کارایی بسیار زیاد[2](HiDam) می باشند. در هنگام اعمال بارهای جانبی بر سازه، تغییرشکل خمشی هسته مرکزی موجب تغییرشکل قائم نوک ابر تیرها میشود، که در اثر آن میراگرها وارد عمل شده و از این طریق انرژی ارتعاشی ناشی از تحریک زلزله مستهلک می شود. این مکانیسم باعث می شود که لنگر خمشی در دیوار هسته مرکزی و خیز جانبی در سازه (به خصوص در ترازهای بالاتر) کاهش یابد. برای بهینه سازی عملکرد میراگرها در هنگام وقوع زلزله، ابر تیرها معمولاً توسط تاندونهای متشکل از کابلهای فولادی مقاومت بالا، پس کشیده می شوند. این نوع سیستم سازه ای که در آن اعضای باربر جانبی در داخل ساختمان قرار دارند اصطلاحاً سیستم سازه ای درونی از نوع اوتریگر[3]نامیده می شود.

در یک قاب سوپر فریم، با در نظر گرفتن ملاحظات مربوط به سرویس پذیری ناشی از لرزش طبقه برای ساکنین، سیستم طبقه از دال تخت بتنی پس کشیده ساخته می شود. به این ترتیب دیگر تیر طبقه در بین هسته مرکزی و ستونهای بیرونی وجود ندارد و در نتیجه امکان عبور آزادانه لوله ها و تاسیسات ساختمان تامین می گردد. با حذف تیرهای داخل طبقه، امکان کاهش ارتفاع طبقه نیز فراهم می شود که دستاورد آن صرفه جویی قابل توجه در هزینه ساخت خواهد بود.

[1] Super Frame System
[2] High performance oil dampers
[3] Outrigger



شکل ۱. تصویر شماتیک از سیستم سازه ای سوپر فرم (سیستم قاب بتنی مقاومت بالا)

۳. ویژگیهای لرزه ای سیستم سوپر فریم

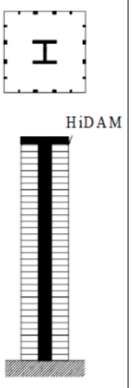
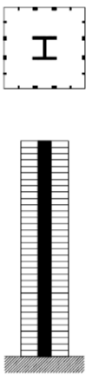
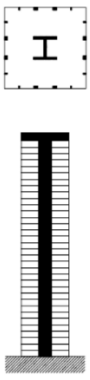
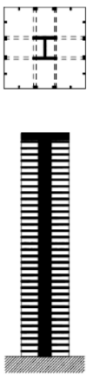
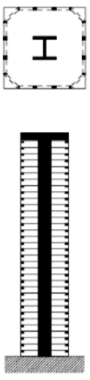
در این بخش برای درک کامل ویژگیهای دینامیکی سیستم سوپر فریم، نتایج تحلیل پاسخ لرزه ای انجام شده در یک مدل نمونه با سیستمهای سازه ای دیگر مقایسه می شود. مدل نمونه شامل یک ساختمان ۳۵ طبقه به ارتفاع ۱۲۲ متر با هسته مرکزی H شکل واقع در مرکز طبقه و ۱۶ ستون پیرامونی می باشد. مشخصات سیستمهای سازه ای که با این آرایش برای تحلیل مقایسه ای بکار گرفته شده اند، در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول سیستم سوپر فریم به عنوان حالت شماره ۱ نامگذاری شده است. حالت شماره ۲ شامل یک سیستم هسته مرکزی است که در آن فقط هسته مرکزی می تواند در برابر باهای جانبی مقاومت نماید. حالت شماره ۳ سیستمی را ارائه می کند که در آن ابر تیرها و ستونهای پیرامونی بصورت صلب به هم متصل شده اند. حالت شماره ۴ یک سیستم تیر و هسته مرکزی است که در آن تیرهای مرزی در هر طبقه بین هسته مرکزی و ستونهای بیرونی قرار گرفته اند. حالت شماره ۵ از یک سیستم هسته مرکزی و لوله تشکیل می شود که در آن تیرهای محیطی بصورت صلب به ستونهای بیرونی متصل هستند و تشکیل قاب لوله ای می دهند. در همه حالتها ، اعضای سازه بصورت منطقی به عنوان یک عضو بتن مسلح طراحی شده اند. تحلیل پاسخ دینامیکی با ملاحظه ویژگیهای غیر خطی هر عضو تحت حرکت زلزله مخرب انجام شده است، که از طیف طراحی پیشنهاد شده در یک پروژه ملی ژاپن، به نام پروژه New-RC شبیه سازی شده است.

نمونه پاسخهای حداکثر بدست آمده از تحلیلهای پاسخ، در شکل ۲ ارائه شده است. مطابق شکل ملاحظه می شود که به جز حالت شماره ۲، در سایر موارد زوایای drift طبقه در حوالی 1/100 باقی می ماند. با توجه به نتایج حاصل شده برای حالت شماره ۲ می توان نتیجه گرفت که سیستم هسته مرکزی نمی تواند به تنهایی

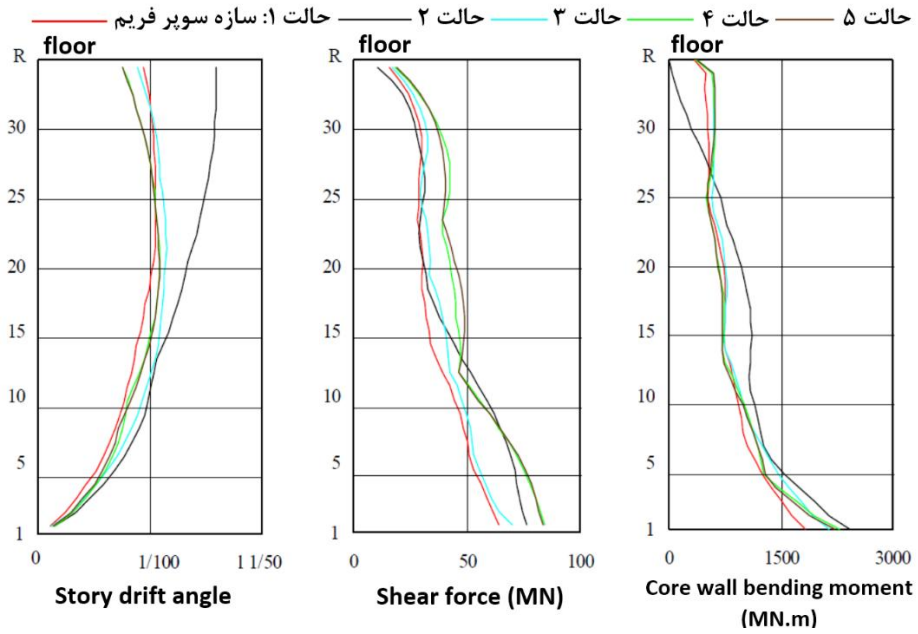
مانع خمیدگی طبقات بالاتر شود. حالت شماره ۱ که همان سیستم سوپر فریم می باشد، در مقایسه با سایر حالات کمترین پاسخها را نشان می دهد. عموماً، نیروی برشی طبقه با افزایش پریود طبیعی کاهش می یابد (به دلیل کاهش انرژی ارتعاش ورودی)، لیکن خیز جانبی و drift طبقه میل به افزایش می یابد. سیستم سوپر فریم که مطابق جدول ۱ طولانی ترین پریود طبیعی را دارد، علاوه بر اینکه مزیتهای کاهش انرژی ارتعاشی اعمال شده را حفظ می کند، میراگرهای ویسکوز نصب شده نیز انرژی ارتعاشی را جذب کرده و مانع تغییر شکل می شوند.

در طراحی دینامیکی یک سیستم سازه سوپر فریم، تحلیل پاسخ لرزه ای غیر خطی با استفاده از مدل ارتعاشی معادل صورت می پذیرد. بطور مثال، در یک ساختمان با n طبقه سازه ای، وقتی جرم کل هر طبقه در تراز طبقه متمرکز باشد، یک مدل با n حباب جرمی می توان در نظر گرفت. تمامی دیوارهای هسته مرکزی، ابر تیرها، ستونهای بیرونی، تیرهای متصل کننده، دالهای تخت و قابهای محیطی به وسیله اعضای برشی- خمشی معادل، مدل می شوند. خصوصیات غیر خطی این اعضا بر اساس داده های تجربی و مطالعه تحلیلی آنها (نظیر یک تحلیل استاتیکی غیر خطی با یک مدل رشته ای انعطاف پذیر[1] برای دیوارهای هسته مرکزی، یک تحلیل المان محدود غیر خطی برای دالهای تخت، یک تحلیل غیر خطی با بارگذاری تدریجی برای تیرهای پیرامونی، و...) ارزیابی می شود.

جدول۱. مطالعه مقایسه ای در سیستمهای سازه ای

حالت شماره ۱	حالت شماره ۲	حالت شماره ۳	حالت شماره ۴	حالت شماره ۵
				
T1=3.53 sec	T1=3.31 sec	T1=3.26 sec	T1=2.98 sec	T1=2.77 sec

[1] Fiber flexibility model



شکل ۲. حداکثر پاسخ لرزه ای در مطالعه مقایسه ای

۴. معرفی ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز

ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز، به عنوان اولین مرکز تجارت جهانی ساخته شده در ایران، با سیستم سازه ای سوپرفریم در ۳۶ طبقه سازه ای به ارتفاع ۱۴۰ متر (تا بالای گنبد) با زیربنای کل ۴۱۴۵۷ مترمربع در منطقه کوی ولیعصر تبریز و در موقعیتی با چشم انداز مشرف به کل شهر اجرا شده است. این ساختمان علاوه بر برخورداری از سیستم سازه ای منحصر به فرد، دارای طراحی معماری زیبا با پوسته بیرونی باز می باشد که برای تامین روشنایی و چشم انداز رو به بیرون برای ساکنان آن در نظر گرفته شده است. مسیرهای ارتباطی به ساختمان شامل ورودی غربی (مسیر اختصاصی) از خیابان شریعتی جنب پارک یاس، ورودی شرقی از میدان تجارت جهانی، خیابان صفا، و وروی جنوبی از خیابان لیدا می باشد. کاربری های اصلی تعریف شده در این ساختمان شامل اداری خدماتی (۲ تا ۳۱) و گردشگری (۳۲ تا ۳۶) می باشد. کل مجموعه گردشگری برج در داخل بخش گنبدی برج قرار می گیرد. شکل ۳ نمای کلی برج مرکز تجارت جهانی تبریز را نشان می دهد.

این ساختمان دارای ویژگی بسیار مهم پلان آزاد[1] در طبقات خود است که به واسطه آن، تقسیمات داخلی طبقه می تواند بدون هرگونه مشکل معماری و یا تاسیسات (که از دغدغه های مهم طراحی بشمار می رود) با تنوع بسیار زیاد طراحی و اجرا گردد. یک طبقه از برج مرکز تجارت جهانی تبریز می تواند شامل یک واحد بزرگ و یا یازده واحد کوچک برای کاربری خدماتی مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که پیش تر هم عنوان شد، این مزیت در معماری لازمه فناوری پیشرفته در سازه است، زیرا پلان آزاد ایجاب می کند که تیرها در سقف حذف شوند و تاسیسات مربوط به آبرسانی و فاضلاب در کف قرار گیرند. از طرف دیگر اجزاء سازه ای محدود کننده دیگر همانند ستونها و دیوارهای برش باید حذف و یا به حداقل ممکن برسند. در طراحی برج

[1] Plan free

مرکز تجارت جهانی تبریز از سازه سوپر فریم[1] و یا ابرقاب که دستاورد سالها تحقیق و انجام آزمایش مدل بر روی میز لرزه و آزمایشگاه دیوار و کف قوی توسط مهندسان ژاپنی می باشد استفاده شده است. این سیستم نوین قادر است که ضمن تامین اهداف معماری، سازه را در برابر عوامل مخرب همانند زلزله های قوی بیمه نماید.

شکل۳. نمای کلی از ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز

برای فراهم نمودن امکان اجرای سیستم سازه ای سوپر فریم در داخل کشور پیش نیازهایی لازم بود که عناوین آنها به همراه محل استفاده آن در اجرای ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز در جدول ۲ ارائه شده است.

۱-۴. فونداسیون جعبه ای مستقر بر روی شمع های بتنی

در طراحی فونداسیون ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز به ابعاد (۳۱/۵ در ۳۱/۵ متر)، ۳۵ عدد شمع بتنی به قطر ۲/۲ متر و عمق تا ۳۰ متر در محل ستونها و دیوار هسته مرکزی ساختمان توزیع شده است که قطر شمع ها در بخش انتهایی آن بصورت پافیلی تا ۳/۸ متر افزایش یافته و بر روی سنگ بستر قرار گرفته اند. آرماتورگذاری شمع ها به روش پیش ساخته و بتن ریزی آن به شیوه ترمی انجام شده است. در محل اتصال شمع به فونداسیون سرشمعهایی طراحی شده است که بسته به باربری ستونها و هسته مرکزی، آرایش آرماتورگذاری متفاوتی دارند. این سرشمع ها بصورت یکپارچه با تیرهای عمیق یکجا آرماتوربندی و بتن ریزی

[1] Super Frame Structure

می شود. ارتفاع تیرهای عمیق ۴/۵ متر می باشد. عرض تیرهای عمیق در نقاط مختلف فونداسیون از ۸۰ سانتیمتر تا ۲۰۰ سانتیمتر متغیر می باشد که آرایش آرماتورهای آن نیز در هر بخش متفاوت است. تیرهای عمیق و سرشمع ها به وسیله دالهای بتنی در بالا و پایین فونداسیون به هم متصل می باشند و از این طریق کل مجموعه به شکل یک جعبه دیده می شود. مقاومت مشخصه بتن فونداسیون ۵۴ مگاپاسکال می باشد که به دلیل تراکم بسیار بالای میلگردها در بعضی از قسمتها می بایست با کارایی بالا تولید و اجرا شود. تصاویر مربوط به اجرای شمع ها و فونداسیون جعبه ای ساختمان را می تواند در شکل ۴ مشاهده نمود.

جدول ۲. پیش نیازهای لازم برای اجرای یک سازه سوپر فریم

عنوان پیش نیاز	محل استفاده در ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز
دستیابی به فناوری تولید و اجرای بتن های با مقاومت بالا	* فونداسیون جعبه ای برج (مقاومت ۵۴ مگاپاسکال) * ستونهای ساختمان (تا مقاومت ۶۰ مگاپاسکال) * دیوار هسته مرکزی (تا مقاومت ۶۰ مگاپاسکال) * ابر تیرها (مقاومت ۶۰ مگاپاسکال) * دال تخت طبقات (تا ۴۸ مگاپاسکال)
دستیابی به فناوری تولید میلگردهای مقاومت بالا	* دیوار هسته مرکزی (تا تنش تسلیم ۷۰۰ مگاپاسکال) * ابر تیرها (تا تنش تسلیم ۵۰۰ مگاپاسکال)
دستیابی به تولید و اجرای اتصالات تزریقی میلگردهای پرمقاومت (NMB- Splice Sleeve)	* دیوار هسته مرکزی * ابر تیرها * ستونهای پیش ساخته طبقات فوقانی
دستیابی به فناوری اجرای پیش ساخته ساختمانهای بلند به روش R-PC	* اجرای طبقات فوقانی برج به روش R-PC
دستیابی به فناوری طراحی و ساخت میراگرهای ویسکوز	* مابین ابرتیرها و ستونهای پیرامونی در بالای برج
دستیابی به فناوری ساخت و اجرای قطعات پانلی پیش ساخته سرامیکی	* نمای سرامیکی ساختمان و گنبد
دستیابی به فناوری طراحی و اجرای سیستم پس کشیده	* دال تخت طبقات * ابرتیرها

شکل۴. اجرای فونداسیون جعبه ای ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز

۲-۴. ستونهای ساختمان

مجموعاً ۲۹ ستون در طرح سازه ای ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز در نظر گرفته شده است که همانطور که در تعریف سیستم سازه ای سوپر فریم عنوان شد، بصورت محیطی در بخشهای بیرونی پلان ساختمان توزیع شده اند. بر خلاف ساختمانهای معمولی که در آنها با ثابت بودن مقاومت بتن و میلگرد، ابعاد ستون در پایین ترین تراز بیشترین مقدار و در بالاترین تراز کمترین اندازه را داراست، در این ساختمان از همان طبقه

اول، با افزایش مقاومت بتن، ابعاد ستون با حداقل مقدار ممکن به اجرا در می آید. به این ترتیب در طبقات بالاتر ساختمان تغییری در ابعاد ستون ایجاد نمی شود، بلکه مقاومت بتن و مقدار میلگرد آن کاهش می یابد (مقاومت بتن از ۶۰ مگاپاسکال در طبقه اول تا ۳۵ مگاپاسکال در طبقه آخر تغییر میکند). این روش علاوه بر افزایش فضای مفید طبقه در طبقات پایین تر، و کاهش تغییرات زیاد سختی ساختمان در ارتفاع آن که بر عملکرد سازه ای موثرزمی باشد، مشکلات اجرایی مربوط به کاهش ابعاد ستون را نیز مرتفع می سازد. نوع آرایش میلگردها در ستونهای ساختمان سوپر فریم مرکز تجارت جهانی تبریز به دلیل استفاده از بتن آرمه مقاومت بالا (Hi-RC) با شیوه طراحی مرسوم در کشور کاملاً متفاوت می باشد. در ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز ستونهای ساختمان به دو شیوه درجا و پیش ساخته به اجرا درآمده است. در اجرای درجا، جهت وصله میلگردهای طولی به هم از کوپلرهای مکانیکی استفاده شده است. در اجرای پیش ساخته از فناوری R-PC با اتصالات ویژه NMB استفاده شده است. شکل ۵ تصاویر مربوط به اجرای ستونهای ساختمان مرکز تجارت جهانی را به هر دو شیوه درجا و پیش ساخته نشان می دهد.

الف- اجرای ستونها بصورت درجا (با اتصالات کوپلر)

ب- اجرای ستونها به روش پیش ساخته (با اتصالات NMB)

شکل۵. اجرای ستونهای ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز

۳-۴. دیوار هسته مرکزی ساختمان

دیوار هسته مرکزی (یا همان سوپر وال) که مسئولیت اصلی مقاومت در برابر بارگذاری لرزه ای را برعهده دارد، در ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز با مقطع افقی H شکل طراحی شده است. دیوار هسته مرکزی در قسمت تحتانی به فونداسیون متصل شده و در انتهای دیگر، در بالاترین تراز به چهار ابر تیر ختم می شود. ابعاد مقطع دیوار در کلیه طبقات ثابت می باشد، لیکن آرایش میلگردها، مقاومت مشخصه بتن و مقاومت کششی میلگردها که در طبقه اول بیشترین مقدار را دارد، در طبقات بالاتر کاهش می یابد. به دلیل بالا بودن اندازه میلگردهای طولی و همچنین نوع آرایش آرماتورگذاری در مقطع دیوار هسته مرکزی، آرماتوربندی این

عضو می بایست در دو بخش پیش ساخته (برای میلگردهای مقاومت بالا) و درجا انجام پذیرد. برای اتصال میلگردهای بخش پیش ساخته که در قفسه های به ارتفاع ۱۲ متر در سکوی کنار برج ساخته می شوند، از اتصالات تزریقی NMB استفاده شده است. پس از نصب قفسه های پیش ساخته، سایر جزئیات آرماتورگذاری بصورت درجا و طبقه به طبقه اجرا شده و قالب بندی و بتن ریزی هر مرحله از هسته مرکزی در هر طبقه انجام شده است. از آنجائیکه در طرح دیوار هسته مرکزی از آرماتورگذاری با تراکم بالا استفاده شده است، نوع بتن آن بصورت خود متراکم (SCC) تهیه و اجرا شده است. شکل ۶ تصاویر مربوط به اجرای دیوار هسته مرکزی ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز را نشان می دهد.

شکل۶. تصاویر مربوط به اجرای دیوار هسته مرکزی ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز

۴-۴. دال تخت طبقات

در سیستم سازه ای ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز، کف ها بصورت دیافراگمهای تخت با ضخامت ۳۰ سانتیمتر طرح شده اند و تنها یک تیر داخلی با ارتفاع ۶۰ سانتیمتر در کف قرار دارد که به واسطه آن اختلاف تراز کف در دو بخش مرکزی و پیرامونی ساختمان، شکل گرفته است. به بیان ساده تر، در هر طبقه بخش بیرونی طبقه از لحاظ رقومی ۳۰ سانتیمتر بالاتر از بخش مرکزی اجرا می شود. این طراحی به منظور عبور تاسیسات از کف طبقه در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح است که پس از اجرای تاسیسات و اتمام نازک کاری ساختمان، رقوم کف طبقه در دو بخش مرکزی و پیرامونی یکسان خواهد بود. این نوع اتصال کف ها دارای خواص سازه ای نیز می باشد و به نوعی بخش مرکزی دال سقف که به دیوار هسته مرکزی متصل می باشد، از بخش بیرونی که ستونهای پیرامونی را در بر می گیرد توسط یک مرز با عملکرد مفصل پلاستیک جدا شده است. شکل ۷ تصاویر مربوط به اجرای دال تخت طبقات را نشان می دهد. با توجه به اینکه فواصل ستونها در طبقه نسبتاً زیاد بوده و در برخی از دهانه ها به بیش از ۱۰ متر نیز می رسد، دال تخت طبقه بصورت

موضعی در بعضی قسمتها به کمک تاندونهای تک کابلی نچسبیده، پس کشیده شده است. سیستم قالب بندی بکار رفته در اجرای سقف طبقات نیز متفاوت می باشد.

شکل ۷. اجرای دال تخت طبقات در سیستم سازه ای سوپر فریم مرکز تجارت جهانی تبریز

۵-۴. ابرتیرها و میراگرهای ویسکوز

همانطور که پیش تر نیز عنوان گردید ابرتیرها فقط در بالای سازه و بر روی دیوار هسته مرکزی قرار دارند. در سیستم سازه ای برج مرکز تجارت جهانی چهار ابرتیر به عرض یک متر و ارتفاع چهار متر در نظرگرفته شده است که در وسط دهانه به دیوار هسته مرکزی متصل شده اند. بطور قطع، اجرای ابرتیر با این ابعاد در ارتفاع ۱۲۰ متری از تراز زمین نیازمند اتخاذ تمهیدات اجرایی خاصی می باشد. بر همین اساس، اجرای این بخش در دو مرحله ساخت و نصب بخش تحتانی تیر بصورت پیش ساخته، و اجرای بخشهای فوقانی بصورت درجا، انجام شده است. در هر یک از ابرتیرها ۸ عدد تاندون گروهی پس کشیده چسبیده قرار دارد. در شکل ۸ تصاویری از مراحل مختلف اجرای ابرتیرها نشان داده می شود. در هر یک از دو انتهای چهار ابرتیر اجرا شده، چهار عدد میراگر ویسکوز (مجموعاً ۳۲ عدد) نصب شده اند. اساس کار این نوع میراگرها استهلاک انرژی توسط عبور پر فشار روغن سیلیکون از درون روزنه تعبیه شده در کلاهک پیستون به هنگام وقوع ارتعاشات دینامیکی میباشد بطوریکه عبور مایع با فشار زیاد از درون روزنه پیستون سبب ایجاد اختلاف فشار در دو طرف کلاهک پیستون و در نتیج آن نیروی میراگر تولید میگردد. نیروی میراگر ویسکوز وابسته به سرعت

است، بنابراین نیروی حداکثر میراگر در زلزله همیشه با جابجایی اختلاف فاز ایجاد میکند و سرعت ماکزیمم در زمانی اتفاق می افتد که جابجایی در سیستم صفر است، این امر از مزیت های این میراگرها میباشد زیرا در زمانی که سازه در اثر جابجایی ناشی از زلزله تحت نیروهای داخلی شدید قرار دارد فشار مضاعفی بر سازه وارد نمیکند. میراگرهای ویسکوز بصورت قائم بین نوک ابرتیرها و برخی از ستونهای بیرونی نصب می شوند. در شکل ۸ میراگرهای نصب شده در نوک یکی از ابرتیرها نشان داده شده است.

فناوری ساخت این نوع میراگرها بسیار پیچیده است و تنها تعداد بسیار معدودی از کشورها نسبت به ساخت و تولید آنها پرداخته اند. تلاشهای پژوهشی متخصصان کشور اگر چه زمان بر بوده است لیکن به دستیابی این فناوری پیشرفته منجر شده و میراگرهای برج مرکز تجارت جهانی تبریز به دست متخصصان کشورمان ساخته شده اند. جهت اخذ تائیدیه عملکرد آن نیز نمونه اصلی در خارج از کشور مورد آزمایش قرار گرفته و تائیدیه رفتار و عملکرد آن اخذ شده است.

شکل۸. مراحل مختلف اجرای ابرتیرها و نصب میراگرهای ویسکوز در ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز

۶-۴. نمای پانلی پیش ساخته سرامیکی

پیشرفت علم و فناوری در زمینه مواد و مصالح موجب گردیده است تا استفاده از مصالح زیبا، با دوام و اقتصادی در نمای ساختمانها مورد توجه سازندگان در نقاط مختلف جهان قرار گیرد. کشور ژاپن که خود در تحقیقات و ابداع مصالح مدرن یکی از کشورهای پیشرو جهان است، به فناوری استفاده از کاشی و سرامیک در نمای ساختمانها بیشترین توجه را داشته است. ژاپنی ها که در صنعت ساختمان همواره به دنبال بادوام ترین و زیباترین نماها بوده اند، به وضوح در مدارک فنی خود به الهام گیری از معماری ایرانی بکار رفته در کاشی کاری بیرونی مساجد و دوام طولانی مدت این مصالح در مقابل عوامل جوی، اذعان داشته اند. با در نظر گرفتن ملاحظات مختلف مربوط به نمای ساختمان نظیر زیبایی، دوام، عملکرد در مقابل زلزله، و همچنین سرعت در

اجرا، طی دهه های اخیر محققین ژاپنی پانلهای پیش ساخته سرامیکی را ابداع کرده و در اغلب ساختمانهای خود بکار برده اند. امروزه در اجرای نمای حدود ۸۰ درصد از ساختمانهای مدرن ژاپن، از نمای کاشی با رنگهای مختلف و متنوع استفاده می شود. پانلهای پیش ساخته نما دارای مقطع سازه ای بتن مسلح بوده و بوسیله اتصالات مفصلی (اغلب با پیچ و مهره) و با درزهای انقطاع مشخص از هم، به گونه ای به سازه ساختمان متصل می گردند که در صورت وقوع زلزله و تغییرشکلهای زاویه ای ساختمان، هر پانل نسبت به پانلهای اطراف خود آزادانه جابجا شده، بطوریکه نه به پانل و نه به کاشی ها و نه به در و پنجره نصب شده به نما آسیبی وارد نشود. نصب پانل های پیش ساخته در نمای ساختمان به همراه پیشروی ساختمان در ارتفاع صورت می گیرد، به این ترتیب همزمان با تکمیل سازه ساختمان، نمای آن نیز به اتمام می رسد. تنها نمونه اجرا شده از این سیستم در داخل کشور، مربوط به ساختمان مرکز تجارت جهانی تبریز (شکل ۹) می باشد که در آن هم در اجرای نمای اصلی ساختمان و هم نمای گنبدی از پانلهای پیش ساخته متصل به سازه استفاده شده است.

شکل۹. پانلهای پیش ساخته بکار رفته در اجرای نمای ساختمان تجارت جهانی تبریز

۵. فهرست مراجع

- Omika, Y., Sugano, T., and Yamamoto, Y., et al. (2000). Seismic design of a super frame structural system with passive energy dissipation devices. 12WCEE, 744/6/A.
- Omika, Y., Yamamoto, Y., Kawano, K., and Fukada, Y. (2006). Study on structural principle of flexural deformation response control system. Journal of Structural and Construction Engineering of Architectural Institute of Japan, 602, 111-118.