دانشکده مهندسی عمران

بررسی رفتار سیستم مقاوم سازه ای شبکه خارجی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران گرایش سازه

نام دانشجو:

سیما آرامش

استاد راهنما:

دکتر علی خیرالدین

استاد دانشگاه سمنان-دانشکده مهندسی عمران

تابستان ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

نیاز انسان به فضاهای مناسب و کافی برای زندگی و کار از یک سو و تراکم جمعیت و افزایش قیمت زمین و ارائه خدمات شهری از قبیل آب، برق و تلفن، از سوی دیگر استفاده از ساختمان های عمودی عظیم الجثه را مطرح نموده است. امروزه ساخت سازه های بلند در شهرهای با تراکم جمعیت، بیش از پیش رایج شده است. احداث ساختمان های بلند به دلیل افزایش جمعیت و استفاده بهینه از فضاهای شهری امری ضروری می باشد. در همین راستا مهندسین همواره به دنبال مصالح، فرم ها و نیز تکنیک های جدید جهت افزایش ارتفاع ساختمان بوده اند [۱].

به مرور زمان برای کاهش محدودیت ارتفاع به دلیل ضوابط طراحی موجود، ضرورت انتخاب یک سیستم سازه ای به گونه ای که به شکل بهینه بیشترین کارایی را به لحاظ سازه و معماری ایجاد کند، مورد توجه قرار گرفته است. آنچه مسلم است از دیرباز تعامل معماری و سازه مهندسین را به خلق سیستم های سازه ای جدید بر می انگیزد. امروزه تقابل بسیار نزدیک سازه و معماری، منجر به خلق سیستم های سازه ای جدیدی شده است به گونه ای که نیازهای سازه ای و معماری را به خوبی پاسخگو باشد [۲].

یکی از رویکردهای قابل ملاحظه ساخت سازه های بلند در دهه های اخیر، بر اساس روابط اقتصادی و با در نظر گرفتن پارامترهای زیبایی شناختی، شکل گرفته است. در جهت دستیابی به این هدف، پیشرفت چشمگیری در پیدایش سیستم سازه ای جدیدی به نام شبکه خارجی[۱] رخ داد. سیستم مقاوم سازه ای شبکه خارجی از پیشرفته ترین سیستم های سازه ای ساختمان های بلند است. پیش از این سیستم، سیستم های متداول باربر جانبی همچون قاب خمشی، قاب مهاربندی شده، سیستم لوله قابی، لوله مهاربندی شده، لوله در لوله، لوله دسته بندی شده و سیستم شبکه قطری مورد استفاده بوده اند. در میان سیستم های ذکر شده، سیستم شبکه قطری به دلیل استفاده از اعضای مورب قطری؛ مقاومت برشی قابل ملاحظه ای را نسبت به سیستم با اعضای متعامد ایجاد می کند. همچنین قرارگیری این اعضا

[۱] Exoskeleton

در محیط پیرامونی ساختمان در تشابه با رفتار سیستم های لوله ای، کارایی سازه ای این سیستم را به ماکزیمم مقدار خود رسانده است [۳].

سیستم شبکه خارجی نیز تکامل یافته سیستم شبکه قطری است با این تفاوت که در سیستم شبکه خارجی، سیستم سازه ای در خطوط پیرامونی ساختمان، اما به دور از اسکلت اصلی آن قرار می گیرد. این سیستم نوین هم در سازه های فولادی و هم در سازه های بتنی به کار می رود. در سازه های فولادی از مهاربندهای قطری استفاده می شود که این مهاربندها در فاصله ای مشخص از اسکلت اصلی ساختمان قرار می گیرند و اتصال آنها به اسکلت اصلی ساختمان توسط تیرآهن هایی برقرار می گردد که برای کنترل در برش طراحی شده اند. اما در سازه های بتنی، شبکه خارجی از یک پوسته بتن آرمه تشکیل شده است که این پوسته دارای تعداد بی شماری بازشو می باشد. چیدمان بازشوها و آرایش میلگردها در پوسته بتن آرمه به ویژه در پیرامون بازشوها به گونه ای است که شبکه قطری مقاومی در برابر بارهای ثقلی و جانبی ایجاد می نماید.

یکی از مزایای این سیستم، کاهش مصالح مصرفی می باشد. زیرا سیستم شبکه خارجی سبب شده بتن در بهترین وضعیت به کار رود. این سیستم دارای حداقل المان سازه ای است که در آن به میزان مورد نیاز از مصالح استفاده شده است و مصالح تا جایی که امکان پذیر باشد؛ حذف شده اند. این امر از نظر اقتصادی تأثیر به سزایی در ساخت سازه های بلند مرتبه با این سیستم سازه ای خواهد داشت. از طرفی پوسته نه تنها به عنوان سیستم سازه ای اصلی ساختمان، بلکه همانند لایه ای ضد آفتاب که دارای بازشوهایی برای انتقال نور و هوا است؛ عمل می کند. همچنین فاصله ای که ما بین چهاردیواری اصلی ساختمان و پوسته خارجی آن قرار دارد؛ ساختاری مشابه یک دودکش ایجاد می نماید که به موجب آن هوای گرم ساختمان به سمت بالا می رود و به طور مؤثری سطح شیشه ای پنجره های پشت پوسته سوراخ دار را سرد می سازد. به چنین پدیده ای به اصطلاح اثر دودکش[۱] می گویند که یک تکنیک و شگرد خورشیدی غیر فعال و یک جزء طبیعی از سیستم خنک کننده برای برج های بلند با این سیستم است که انرژی مصرفی را کاهش می دهد و در ذخیره سازی انرژی اثر دارد؛ همچنین یکی از جنبه های نوآوری در طراحی ساختمان های بلند است. در نتیجه انتخاب سیستم سازه ای شبکه خارجی نه تنها از

[۱] Chimney Effect

نظر معماری بلکه از لحاظ مسائل زیست محیطی و اقتصادی بسیار مؤثر بوده است. به طورکلی می توان گفت که در میان انواع سیستم های سازه ای، سیستم شبکه خارجی با رفتار لوله ای کارایی سازه ای را به خوبی مطلوبیت معماری به کار گرفته است [۳ و ۴].

در این پایان نامه به بررسی رفتار سازه ای سیستم شبکه خارجی بتن آرمه پرداخته می شود و مطالعات پارامتریکی بر روی دسته ای از ساختمان های بلند ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ طبقه با نسبت وجوه مختلف (نسبت ارتفاع سازه به بعد پلان) صورت گرفته است.

۱-۲- اهداف پایان نامه

سیستم های سازه ای با رفتار لوله ای یکی از کارآمدترین سیستم ها می باشد. سیستم شبکه خارجی نیز به دلیل قرارگیری تقریباً بیشتر مصالح در دورترین فاصله از تار خنثی جهت ایجاد حداکثر سختی خمشی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

با توجه به مطالب گفته شده، گرچه سیستم شبکه خارجی در میان تمام فرم های سازه ای، نوین ترین سیستم سازه ای جهت استفاده در سازه های بلند بتنی می باشد، ولی به علت رفتار لوله ای این سیستم، وجود پدیده تأخیر برش یا تأخیر برش[۱] همواره به عنوان چالشی بزرگ در این سازه ها مطرح می باشد.

تأخیر برش با توزیع غیریکنواخت نیروها در ستون های بال سازه، موجب کاهش ممان مقاوم و استفاده غیر بهینه از مصالح مصرفی می گردد. این ضعف بزرگ سیستم لوله ای با ابداع فرم های دیگری از این سیستم مانند سیستم لوله مهاربندی شده تا حدودی بهبود می یابد.

در این پایان نامه با توجه به عدم وجود تحقیقات کافی در مورد فرم سازه ای شبکه خارجی، رفتار این سازه ها مورد مطالعه قرار می گیرد. در این تحقیق با مروری بر تحقیقاتی که تاکنون صورت گرفته، رفتار دسته ای از ساختمان ها با نسبت وجوه مختلف، با سیستم شبکه خارجی مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. به طور کلی این مطالعه پارامتریک بوده و از مهمترین اهداف تحقیقاتی مدنظر در این پایان نامه می توان موارد زیر را برشمرد:

۱. تعیین محل بهینه بازشو در ارتفاع یک سازه بلند با سیستم شبکه خارجی با در نظر گرفتن اثرات

[۱] Shear Lag

تأخیر برش.

۲. تأثیر چیدمان بازشو بر رفتار سیستم های شبکه خارجی.

۳. تعیین محل بهینه بازشو در پلان یک سازه بلند با سیستم شبکه خارجی با در نظر گرفتن اثرات تغییرمکان جانبی، زاویه دوران، درصد جذب برش و نحوه عملکرد هسته مرکزی و پوسته خارجی.

۴. بررسی اثر شکل پلان بر رفتار سازه ای سیستم شبکه خارجی.

۱-۳- روش تحقیق

همانطور که ذکر شد در پایان نامه حاضر به بررسی رفتار سیستم سازه ای شبکه خارجی بتن آرمه پرداخته شده است. این سیستم سازه ای از جمله سیستم های مقاوم جانبی نوین در ساختمان های بلند می باشد. در نتیجه با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کافی از رفتار این سیستم تصمیم بر آن گرفته شده که با انجام مطالعات پارامتریک و بررسی نتایج تحلیلی سازه های مذکور، گامی در جهت بهتر شناخته شدن این سیستم مقاوم سازه ای برداشت.

آنالیز و طراحی چنین سیستمی با توجه به پیچیدگی های معماری و سازه ای آن، دشوار بوده است. از طرفی لازم به ذکر است که تنها دو ساختمان بلند دنیا با سیستم شبکه خارجی ساخته شده است که یکی از آنها فلزی و دیگری بتنی می باشد. ساختمان فلزی مذکور در بارسلونا، اسپانیا و ساختمان بتنی با سیستم شبکه خارجی در میامی، آمریکا ساخته شده است. به تازگی ساختمان بلندی در دبی با سیستم شبکه خارجی بتنی افتتاح گردیده که در این پایان نامه از اطلاعات آنالیز و طراحی موجود این سازه استفاده می شود.

۱-۴- ساختار پایان نامه

پایان نامه حاضر شامل هشت فصل به شرح زیر می باشد:

۱- فصل اول با عنوان "مقدمه" که در این فصل کلیاتی از مطالب ارائه شده در این پایان نامه مطرح شده است. سپس اهداف این تحقیق، روش تحقیق و جزئیاتی از فصول این پایان نامه ارائه می گردد.

۲- فصل دوم "تاریخچه تحقیقات" در این فصل ابتدا تاریخچه پیدایش ساختمان های بلند

و سپس تاریخچه تحقیقات انجام شده در مورد سازه های بلند و همینطور پدیده تأخیر برش در سازه های بلند مطرح می شود.

۳- فصل سوم "سیستم های مقاوم جانبی در سازه های بلند و مفاهیم تأخیر برش" در این فصل به معرفی سیستم های سازه ای متداول در سازه های بلند پرداخته و ضمن معرفی سیستم شبکه خارجی به عنوان مؤثرترین فرم سازه ای، جزئیاتی از ویژگی های رفتاری و اجرایی آن بیان می شود. در ادامه مفاهیم و تعاریف تأخیر برش، علل پیدایش و پارامترهای مؤثر بر آن معرفی می گردد.

۴- فصل چهارم "مشخصات هندسی، تحلیل و طراحی سازه های مورد مطالعه" در این فصل مشخصات مدل های مورد مطالعه و فرضیات به کار رفته در مدلسازی آنها بیان می شود. همچنین حالت های مختلف توزیع بازشو در یک سازه با سیستم شبکه خارجی معرفی می گردد.

۵- فصل پنجم "تعیین محل بهینه بازشو در ارتفاع با در نظر گرفتن اثرات تأخیر برش" در این فصل، با استفاده از آنالیز دینامیکی طیفی خطی، اثر تأخیر برش برای یک سازه دارای سیستم شبکه خارجی با آرایش و توزیع بازشو در پنج حالت مختلف محاسبه و حالتی که بیشترین تأثیر را در کاهش تأخیر برش دارد، به عنوان حالت بهینه معرفی می گردد. همچنین در پایان این فصل، مطالعه ای بر روی چیدمان بازشو در سیستم شبکه خارجی و اثر آن بر روی رفتار این سیستم انجام شده است.

۶- فصل ششم "تعیین محل بهینه بازشو در پلان سازه های شبکه خارجی" کارهای انجام شده در فصل پیشین بر روی چگونگی توزیع بازشو در ارتفاع سازه های مورد مطالعه بوده است اما در این فصل، چگونگی توزیع بازشو در پلان سازه ها در سه حالت مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد. همچنین پارامترهای مورد مطالعه در این فصل عبارتند از: تغییرمکان جانبی طبقه، شاخص دریفت هر طبقه، زاویه دوران، درصد جذب برش ناشی از نیروی زلزله بین هسته مرکزی و شبکه خارجی، لنگر واژگونی و نحوه عملکرد هسته داخلی و پوسته خارجی.

۷- فصل هفتم "تأثیر شکل پلان بر رفتار سازه های شبکه خارجی" در این فصل اثرات سه شکل متفاوت پلان بر روی رفتار سازه ای سیستم شبکه خارجی با در نظر گرفتن پارامترهایی همچون تغییرمکان جانبی و تأخیر برش، بررسی می گردد. پلان های مورد مطالعه در این فصل مربع، دایره و منحنی می باشند.

۸- فصل هشتم "نتیجه گیری و پیشنهادات" در این فصل ضمن بیان نتایج حاصل در فصول گذشته، پیشنهاداتی جهت تحقیقات آینده ارائه می گردد.

در نهایت مراجع ذکر می گردد. در بخش مراجع، تمام کارهای انجام شده توسط دیگر محققان در چند سال اخیر در دنیا، همراه با ذکر مراجع آورده شده است.

فصل ۲:

تاریخچه تحقیقات

۲-۱- مقدمه

امروزه ساخت سازه های بلند به عنوان نمادی از پیشرفت و توسعه تکنولوژی و اقتصادی کشورها، گسترش یافته است. از این رو در این فصل مطالبی برای آشنایی هر چه بیشتر چگونگی پیدایش ساختمان های بلند ارائه گردیده است. همچنین در این فصل سعی بر آن است که تا حد امکان خلاصه ای از مهمترین تحقیقات انجام شده داخلی و خارجی در زمینه سازه های بلند و چالش های مطرح شده در این سازه ها مانند پدیده تأخیر برش گردآوری و بیان گردند.

از آنجاییکه سیستم شبکه خارجی سیستمی نوین برای ساختمان های بلند است و تاکنون مطالعات زیادی بر روی آن انجام نشده است و با توجه به آن که رفتار این سیستم سازه ای تا حد زیادی مشابه با رفتار سازه های لوله ای است، از این رو تحقیقات انجام شده بر روی سازه های بلند به ویژه سازه های لوله ای در این فصل مطرح می گردد. در پایان نیز با توجه به تشابه رفتار سازه های شبکه خارجی با سیستم های لوله ای و این که سیستم های لوله ای با چالش بزرگی به نام پدیده تأخیر برش مواجه می باشند، به معرفی تحقیقات انجام شده بر روی پدیده تأخیر برش پرداخته می شود.

۲-۲- تاریخچه پیدایش ساختمان های بلند

نیاز انسان به فضاهای مناسب و کافی برای زندگی و کار از یک سو و تراکم جمعیت و افزایش قیمت زمین و ارائه خدمات شهری از قبیل آب، برق و تلفن، از سوی دیگر استفاده از ساختمان های عمودی عظیم الجثه را مطرح نموده است. اولین ساختمان چند طبقه، توسط رومیان و با ده طبقه با دیوارهای باربر ساخته شد. کاربرد قاب فولادی در ساختمان ها حدوداً از سال ۱۸۰۱ میلادی برای اولین بار و در یک کارخانه هفت طبقه در منچستر انگلیس صورت گرفت که با حذف دیوارهای باربر، استفاده از سالن ها با دهانه های بزرگ ممکن گردید. اما با حذف دیوارهای باربر و استفاده از قاب های فلزی یا بتنی، سختی ساختمان ها در مقابل نیروهای جانبی

کاهش چشمگیری یافت و تغییر مکان های بزرگ ایجاد شده توسط نیروهای جانبی به ویژه نیروهای باد، در ساختمان های قابی به نحوی بود که مهندسین را به ابداع سیستم های سازه ای برای کاهش تغییر مکان های ناشی از نیروهای جانبی، تشویق نمود.

در سرتاسر تاریخچه های ثبت شده برای ساختمان ها، شاید هیچ چیز جذاب تر از به وجود آوردن سازه های بلند برای انسان ها نباشد. سازه های بلند نخستین بار در اواخر قرن نوزدهم در ایالات متحده آمریکا پدید آمدند. در سال ۱۸۸۵ یک مهندس آمریکایی به نام ویلیام لیبارون جنی[۱] هنگامی که پی برد یک ساختمان اداری می تواند به طور کلی با استفاده از مواد مختلف ساخته شود، خالق یک آسمان خراش مدرن شد. او فولاد سازه ای را انتخاب کرد و با بکارگیری آن توانست ساخت برج های اداری بلند را که امروزه نماد کلان شهرهای مدرن هستند؛ میسر سازد. او به جای تکیه بر دیوارهای بنایی سنگین برای تحمل وزن طبقات بالایی و همچنین بارهای ثقلی، ایده مبتکرانه ای مطرح کرد. سرانجام ساختمان او به نام خانه بیمه[۲] در شیکاگو با ۱۰ طبقه و اسکلت فولادی ساخته شد (شکل ۲-۱-الف) [۱].

ساختمان های بنایی نیز با ساخت بنای Monadnock در شیکاگو در سال ۱۸۹۱ به اوج خود رسید. این ساختمان دارای ۱۷ طبقه و ارتفاع ۶۴ متر (۲۱۰ فوت) می باشد که سازه ای تأثیر گذار بوده و توانست یک موقعیت تاریخی برجسته را به دست آورد (شکل ۲-۱-ب). در این برج لنگرهای واژگونی و ثقلی تولید شده توسط نیروهای باد، تنها به وسیله دیوارهای بنایی که ضخامتی برابر با ۲/۱۳ متر (۷ فوت) در طبقه همکف دارند؛ مهار شده است. همچنین سطح اشغال شده توسط دیوارها در طبقه همکف این ساختمان که احتمالاً آخرین سازه بلند با مصالح سنگین است، ۱۵ درصد سطح پلان می باشد. با وجود این که بنای Monadnock ارتفاعی بیشتر از ساختمان خانه بیمه داشت اما به دلیل استفاده از سیستم سازه ای دیوارهای باربر که برای کاربرد در سازه های بلند، به دلیل ایجاد ابعاد زیاد در طبقات پایین ساختمان دچار محدودیت بودند، مورد توجه واقع نشد [۳].

---

[۱] William LeBaron Jenny

[۲] Insurance Building

از آنجاییکه در آن زمان هیچگونه تعریف منطقی از سازه بلند وجود نداشت، ساختمان خانه بیمه شیکاگو به عنوان اولین ساختمان بلند شناخته شد. با گذشت زمان بسیاری پذیرفتند که از نقطه نظر عملکرد سازه ای، سازه بلند سازه ای است که بلندی آن روی عملکرد و ضوابط طراحی تأثیر داشته باشد. بنابراین کارل کاندیت[۱] این ساختمان را به عنوان اولین سازه بلند، مورد نقد قرار داد. زیرا در ساخت این سازه هیچگونه تمهیداتی برای تحمل بار جانبی در نظر گرفته نشده بود.

به تدریج دو پیشرفت اساسی، یکی به کارگیری آسانسورها و دیگری ساخت قاب های فولادی مدرن، محدودیت ارتفاع ساختمان ها را از بین برد. رقابت برای کلان شهر بودن که بر اساس ارتفاع ساختمان ها قضاوت می شد؛ بین شیکاگو و نیویورک آغاز شد. با روی کار آمدن این نوع سیستم های کارآمد سازه ای، ساخت سازه های بلند بر مبنای تکنولوژی گسترش یافت؛ به طوری که در سال ۱۸۹۳ به دلیل ترس از بحران مالی، کنسولگری شهر شیکاگو محدودیت های ارتفاعی را وضع کرد. آنها ارتفاع سازه های بلند را به ۱۳۰ فوت محدود کردند. این محدودیت در طول سه دهه بعد منجر به کاهش ساخت سازه های بلند در شیکاگو نسبت به نیویورک شد [۴].

در سال ۱۹۱۳ ساختمان Woolworth (شکل ۲-۲-ج) اولین بنایی بود که به ۶۰ طبقه با ارتفاع ۲۴۲ متر (۷۹۲ فوت) رسید. این ساختمان که از جمله سازه های قابی است، در محله منهتن در نیویورک واقع شده است و با سبک کلیسای گوتیک هنوز بعد از ۷۰ سال قابل استفاده و سرویس دهی است و دارای آسانسورهای اتوماتیک و سیستم تهویه هوا می باشد. اما بیشتر ساختمان های بلندی که از دهه ۱۹۶۰ به بعد برافراشته شده اند، شامل یک سازه پیرامونی شبیه یک لوله اند که این لوله دارای ستون های نزدیک به هم یا ستون ها یا ابعاد بزرگ[۲] و با فاصله زیاد به همراه مهاربندها می باشند. درون این سازه پیرامونی، یک هسته بتنی یا فولادی و یا ترکیبی از این دو وجود دارد که شامل بسیاری از قسمت ها مانند آسانسورها، پله ها، تجهیزات مکانیکی، تأسیساتی و سرویس های بهداشتی می باشد. در نتیجه در آن زمان، یکی از موثرترین سیستم های مقاوم سازه ای که نیاز ساختمان های بلند را برآورده می ساخت، سیستم های لوله ای بودند [۱].

---

۱ Carl Condit

۲ Mega Column

ساخت برج های دو قلوی مرکز تجارت جهانی در نیویورک با استفاده از سیستم لوله ای گامی بلند در جهت پیشرفت این تکنولوژی بود. برج های دوقلوی مرکز تجارت جهانی بلندترین ساختمان جهان در سال ۱۹۷۲ بوده و هر برج آن دارای ارتفاع ۴۱۷ متر (۱۳۶۸ فوت) می باشد (شکل ۲-۲).

(الف) (ب) (ج)

شکل (۲-۱) الف) ساختمان خانه بیمه در شیکاگو، ب) ساختمان Monadnock در شیکاگو، ج) ساختمان Woolworth [۱]

ارتفاع این برج ها یه علاوه آنتن های تلویزیونی و سایر آنتن ها ۵۲۵ متر (۱۷۲۷ فوت) است. متاسفانه این برج ها به خاطر حمله تروریستی در ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱ از بین رفتند. طرح به کار رفته در این برج ها، موجب تغییرات اساسی معیار زیبا شناختی در معماری شد. پیکربندی این ساختمان به گونه ای بود که سیستم سازه ای پشت دیوارها پنهان نمی شد و به طور آشکار در نمای سازه دخالت می کرد. چه بسا نمای سازه در واقع سیستم سازه ای آن بود. سیستم لوله مهاربندی شده، سیستم سازه ای بود که در مرکز جان هان کوک[۱] در شیکاگو در سال ۱۹۷۴ مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲-۳).

سیستم لوله دسته بندی شده در برج سیرز[۲] در شیکاگو از دیگر انواع سیستم های لوله ای بود (شکل ۲-۴). برج سیرز از ۹ لوله تشکیل شده که هر یک مطابق شکل ۲-۴ در ارتفاعی مشخص قطع می گردند.

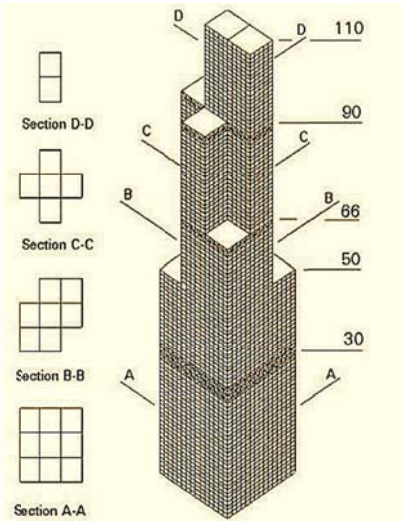
[۱] John Hancock Center

[۲] Sears Tower

یکی دیگر از سیستم های جدید، سازه با مهار بازویی است که توسط هسته داخلی نگه داشته می شود. از قدیمی ترین نمونه های سازه با مهار بازویی ساختمان ۴۲ طبقه فرست ویسکانسین سنتر[۱] در سال ۱۹۷۴ (شکل ۲-۵) و ساختمان مرکب جین مائو[۲] در چین در سال ۱۹۹۹ (شکل ۲-۶) بوده است [۱، ۳ و ۴].

شکل (۲-۲) برج های دوقلوی مرکز تجارت جهانی، نیویورک [۱]

شکل (۲-۳) ساختمان جان هان کوک، شیکاگو [۱۸]



شکل (۲-۴) ترکیب لوله ها در برج سیرز، شیکاگو [۳]

[۱] First Wisconsin center

[۲] Jin Mao

شکل (۲-۵) ساختمان ۴۲ طبقه فرست ویسکانسین سنتر [۳]

شکل (۲-۶) ساختمان مرکب ۸۸ طبقه جین مائو [۳]

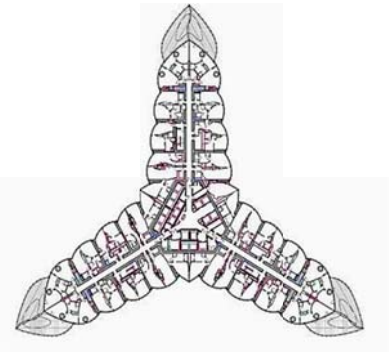
اخیراً نیز سیستم های سازه ای جدیدی تحت عنوان سیستم های شبکه ای مورد توجه قرار گرفته است که شامل سیستم های شبکه قطری و شبکه خارجی می باشد. نمونه هایی از سیستم های شبکه ای در فصل سوم بیان می گردد.

تا سال های اخیر هنگامی که از آسمان خراش ها صحبت می شد، توجه بیننده به سوی شهرهای بزرگ مانند نیویورک و شیکاگو جلب می شد. اما این عنوان ابتدا توسط برج های دو قلوی پتروناس در کوالالامپور (شکل ۲-۷) و سپس توسط برج تایپه ۱۰۱ در تایپه (شکل ۲-۸) و اخیراً توسط برج ۱۶۰ طبقه خلیفه (که یک برج مسکونی و بتنی در خلیج تجاری دبی است)، ربوده شده است [۳].

شکل (۲-۷) برج پتروناس در مالزی [۳]

شکل (۲-۸) برج تایپه ۱۰۱ در تایپه [۳]

(الف)



(ب)

شکل (۲-۹) الف) نمای برج خلیفه، ب) پلان برج خلیفه [۵ و ۶]

برج خلیفه که در شکل ۲-۹ نشان داده شده است، یک آسمان خراش بسیار بلند در دبی، امارات متحده عربی است [۵، ۶ و ۷]. این برج دارای پلان Y شکل با عقب نشینی هایی[۱] در هر بخش از پلان می باشد. این عقب نشینی ها با یک الگوی پلکانی مارپیچی به طرف بالا حرکت کرده و سبب شده سطح مقطع طبقات برج به سمت بالا کاهش یابد [۸، ۹ و ۱۰].

امروزه با استفاده از کامپیوترها ساختمان هایی طراحی می شوند که هیچ پیشینه تاریخی نداشته اند. استفاده از سیستم های سازه ای جدید در ساختمان های بلند، بیانگر توانایی مهندس در تحلیل و اعتماد به راه حل های کامپیوتری می باشد. کامپیوترها محاسباتی را که زمانی مشکل بوده اند، آسان کرده اند و به مهندس اجازه می دهند تا پیکربندی های جدید را برای کاهش هزینه سازه ای تجربه کند. به علاوه آنچه که حائز اهمیت است کاهش چشمگیر در مصالح سازه ای است که مهندسین به خاطر تکنیک های طراحی نوین، قادر به دستیابی آن بوده اند.

همانطور که اشاره شد، سازه های بلند در اواخر قرن نوزدهم در ایالات متحده آمریکا پدید آمدند. با دیدن یک سازه بلند شاید این اصطلاح در اذهان تداعی شود که یک سازه آمریکایی است؛ بدین معنی که مهمترین سازه های بلند در کشور آمریکا ساخته شده اند. اما در واقع بسیاری از ساختمان های بلند در سرتاسر دنیا مخصوصاً در قاره آسیا مانند چین، کره، ژاپن و

[۱] Set Back

مالزی گسترش یافته اند. بر اساس آمار و اطلاعات جمع آوری شده در دهه ۱۹۸۰ که در جدول ۲-۱ آمده است؛ تقریباً ۴۹ درصد سازه های بلند جهان، در آمریکای شمالی قرار دارند. این رقم نشان می دهد که بیشترین درصد ساخت در آن زمان مربوط به این ایالت بوده است. نتایج بررسی های جدید در دهه های اخیر مطابق جدول ۲-۲ نشان می دهد که توزیع ساختمان های بلند تغییر کرده است؛ به طوری که حدود ۳۲٪ ساختمان های بلند مربوط به آسیا و ۲۴٪ مربوط به آمریکا می باشد. این تغییرات بیانگر آن است که بیشتر توسعه سازه های بلند در آسیا بوده و فقط ۲ عدد از ساختمان های بلند در این دوره، یعنی ساختمان سیرز و امپایر استیت در آمریکای شمالی قرار دارند [۱۱].

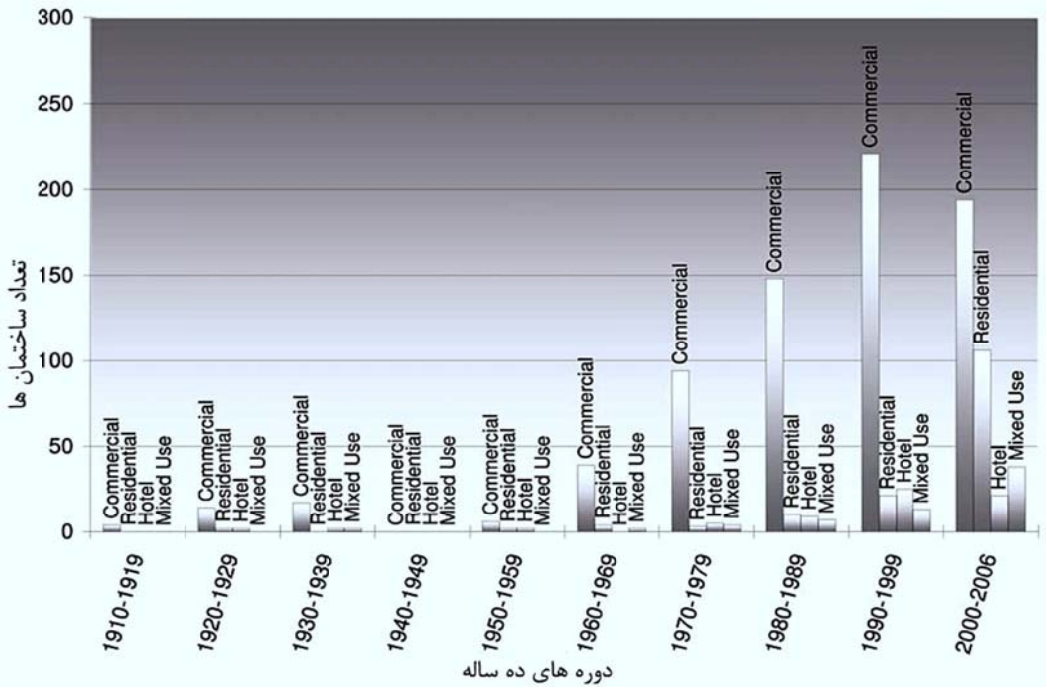
جدول (۲-۱) توزیع ساختمان های بلند در دهه ۱۹۸۰ [۱۱]

منطقه	تعداد کشور	تعداد ساختمان	درصد
آمریکای جنوبی	۴	۱۷۰۱	۴۸/۹
اروپا	۳۵	۷۴۲	۲۱/۳
آسیا	۳۵	۷۰۲	۲۰/۲
آمریکای جنوبی	۱۳	۱۸۱	۵/۲
استرالیا	۲	۵۴	۱/۶
خاور میانه	۱۵	۵۱	۱/۵
آفریقا	۴۱	۴۷	۱/۳
آمریکای میانی	۲۰	۴	۱/۰
کل	۱۶۵	۳۴۸۲	۱۰۰

جدول (۲-۲) توزیع ساختمان های بلند در دهه های اخیر [۱۱]

منطقه	تعداد کشور	تعداد ساختمان	درصد
آسیا	۲۰	۳۵۰۱۶	۳۲/۲
آمریکای شمالی	۱۸	۲۶۰۵۳	۲۳/۹
اروپا	۲۰	۲۵۸۰۹	۲۳/۷
آمریکای جنوبی	۱۰	۱۸۱۲۹	۱۶/۶
اقیانوسیه	۷	۲۸۳۹	۲/۶
آفریقا	۲۰	۱۰۷۸	۱
کل	۹۵	۱۰۸۹۲۴	۱۰۰

تحقیقات صورت گرفته بر روی اهداف کاربردی ساختمان های بلند در دهه های قرن بیستم نشان می دهد که در میان کاربری های متنوعی همچون تجاری، مسکونی و هتل ها، چند منظوره بودن در این گونه سازه ها به منظور اقتصادی تر شدن، رشد چشمگیری داشته است (شکل ۲-۱۰).



شکل (۲-۱۰) توزیع انواع ساختمان های بلند بر اساس کاربری آنها [۱۱]

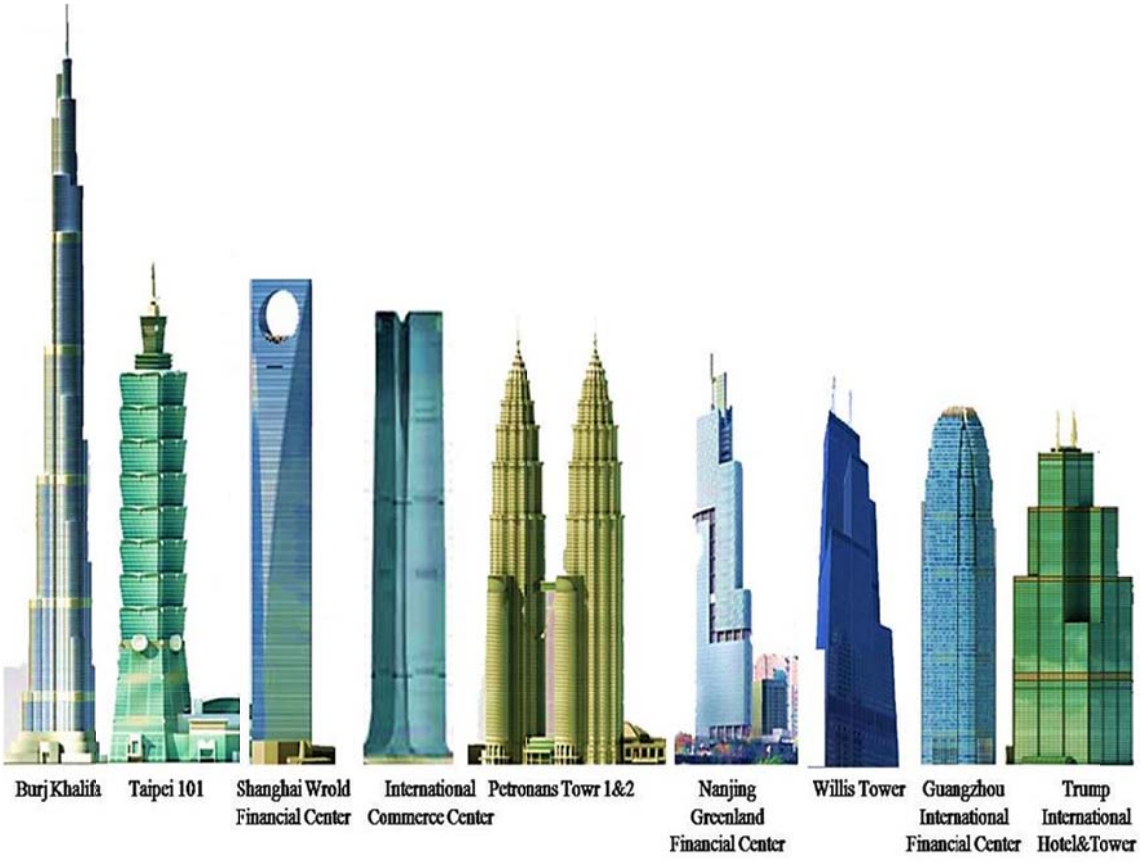
جزئیات ده ساختمان بلند دنیا تا سال ۲۰۱۰ در جدول ۲-۳ و نمای این ده ساختمان بلند در شکل ۲-۱۱ به نمایش درآمده است [۱۱ و ۱۲]. همانطور که در جدول ۲-۳ مشاهده می گردد، بلندترین برج دنیا، برج خلیفه در کشور دبی است که هم اکنون با ارتفاع بی نظیر خود، لقب بلندترین برج دنیا را به خود اختصاص داده است [۵، ۶ و ۷].

۲-۳- تاریخچه تحقیقات

ایده استفاده از سیستم لوله ای اولین بار در سال ۱۹۶۳ میلادی توسط فضلورخان در ساختمان ۴۳ طبقه Dewitt Chestnut مورد استفاده قرار گرفت [۱۳ و ۱۴]. پس از آن تلاش های بسیاری توسط محققان مختلف در مورد این سازه ها و شناخت بهتر از رفتار آن ها به خصوص در نظر گرفتن پدیده تأخیر برش در تحلیل ها انجام گرفت.

جدول (۲-۳) مشخصات ده ساختمان بلند دنیا در سال ۲۰۱۰ [۱۱]

ردیف	نام ساختمان	شهر	سال	تعداد طبقات	ارتفاع طبقات		مصالح	کاربری
					متر	فوت		
۱	Burj Khalifa	دبی	۲۰۱۰	۱۶۳	۸۲۸	۲۷۱۷	بتن-فولاد	هتل-مسکونی-اداری
۲	Taipei ۱۰۱	تایپه	۲۰۰۴	۱۰۱	۵۰۸	۱۶۶۷	کامپوزیت	اداری
۳	Shanghai Wrold Financial Center	شانگهای	۲۰۰۸	۱۰۱	۴۹۲	۱۶۱۴	کامپوزیت	اداری-هتل
۴	International Commerce Center	هونگ کونگ	۲۰۱۰	۱۰۷	۴۸۳	۱۵۸۵	کامپوزیت	اداری-هتل
۵	Petronans Towr ۱	کوالا لامپور	۱۹۹۸	۸۸	۴۵۲	۱۴۸۳	کامپوزیت	اداری
۶	Petronans Towr ۲	کوالا لامپور	۱۹۹۸	۸۸	۴۵۲	۱۴۸۳	کامپوزیت	اداری
۷	Nanjing Greenland Financial Center	نانجینگ	۲۰۱۰	۶۹	۴۵۰	۱۴۷۶	کامپوزیت	اداری-هتل
۸	Willis Tower	شیکاگو	۱۹۷۴	۱۰۸	۴۴۲	۱۴۵۱	فولاد	اداری
۹	Guangzhou International Financial Center	گوانگجو	۲۰۱۰	۱۰۳	۴۳۸	۱۴۳۵	کامپوزیت	اداری-هتل
۱۰	Trump International Hotel&Tower	شیکاگو	۲۰۰۹	۹۸	۴۲۳	۱۳۸۹	بتن	هتل-مسکونی



شکل (۲-۱۱) نمای ده ساختمان بلند دنیا در سال ۲۰۱۰ [۱۲]