تحولات سازه ای در ساختمان های بلند: روندهای کنونی و چشم اندازهای آینده

چکیده: تحولات ساختمان های بلند در سراسر جهان به سرعت در حال افزایش است. این مقاله، تکامل سیستم های سازه ای ساختمان های بلند و نیروی محرکه فن آوری در پشت تحولات ساختمان های بلند را مرور می کند. برای سیستم های اولیه سازه ای، یک طبقه بندی جدید - سازه های داخلی و سازه های خارجی - ارائه شده است. در حالی که اکثر سیستم های سازه ای شاخص برای ساختمان های بلند مورد بحث قرار می گیرند، تاکید این مقاله مروری, بر روندهای فعلی از قبیل سیستم های مهار بازویی و سازه های شبکه قطری است. سیستم های میرایی کمکی کنترل کننده حرکت ساختمان نیز مورد بحث قرار می گیرند. علاوه بر این، روندهای طراحی معماری معاصر "خلاقانه"، مانند اشکال آیرودینامیکی و پیچ خورده، که به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر عملکرد سازه ای ساختمان های بلند تاثیر می گذارند، مرور شده اند. در نهایت، آینده تحولات سازه ای در ساختمان های بلند به طور مختصر پیش بینی شده است.

کلمات کلیدی: (علم) آیرودینامیک, اشکال ساختمان, سیستم های میرایی, سازه های شبکه قطری, سازه های خارجی, سازه های داخلی, سیستم های مهار بازویی, عملکرد سازه ای, سیستم های سازه ای, ساختمان های بلند

مقدمه

ساختمان های بلند در اواخر قرن نوزدهم در ایالات متحده آمریکا پدید آمدند. آنها به منزله یک به اصطلاح " نوع ساختمان آمریکایی" بودند, به این معنی که مهم ترین ساختمان های بلند در ایالات متحده ساخته شدند. با این حال، امروزه آنها یک پدیده معماری در سراسر جهان هستند. بسیاری از ساختمان های بلند در جهان، به ویژه در کشورهای آسیایی مانند چین، کره، ژاپن و مالزی ساخته شده اند. بر اساس داده های منتشر شده در دهه 1980،

حدود 49 درصد از ساختمان های بلند جهان در شمال امریکا (جدول 1-1) قرار گرفته بودند. توزیع ساختمان های بلند اساساً تغییر کرده است که آسیا در حال حاضر دارای بیشترین سهم با 32 درصد و شمال امریکا با 24٪ است (جدول 2-1). این داده ها نشاندهنده رشد سریع ساخت ساختمان های بلند در آسیا در طی این دوره است در حالی که ساخت و ساز در آمریکای شمالی را کند کرده است. در واقع، هشت تا از ده ساختمان بلند برتر در حال حاضر در آسیا هستند و فقط دو، برج Sears و Empire State Building ، در شمال امریکا هستند.

به طور سنتی کارکرد ساختمان های بلند به عنوان ساختمان های اداری و تجاری بوده است. کاربردهای دیگر مانند مسکونی، استفاده ترکیبی، و تحولات برج هتل از آن زمان به سرعت همانطور که شکل 1 نشان داده است افزایش یافته است. شک و تردید در مورد ساخت و ساز ساختمان های بلند از زمان 11 سپتامبر 2001 وجود داشته است، با این حال، آنها همچنان با توجه به مزایای اقتصادی قابل توجه خود در کاربری زمین شهری متراکم ادامه خواهد یافت.

توسعه ساختمان بلند شامل عوامل مختلف پیچیده مانند اقتصادها، زیبایی شناسی، فن آوری، مقررات شهری، و سیاست ها است. در این میان، اقتصاد, عامل حاکم اصلی بوده است. با این حال, این نوع ساختمان جدید به خودی خود نمی توانست بدون حمایت از فن آوری ممکن شود. یک انقلاب سازه ای – یک سازه فولاد اسکلتی - و همچنین سیستم های دیوار پرده شیشه ای رخ داده است، که به آسمان خراش مدرن حال حاضر در شیکاگو منجر شده است. در حالی که این مقاله بررسی, طیف توسعه سیستم های سازه ای ساختمان بلند را در بر می گیرد، تاکید بر روندهای فعلی وجود دارد. گمانه زنی ها در مورد چشم اندازهای آینده تحولات سازه ای در ساختمان های بلند مبتنی بر این بررسی می باشند.

تحولات سیستمهای سازه ای

توسعه سازه ای ساختمان های بلند یک فرایند به طور مداوم در حال تحول بوده است. سابقه سازه ای متمایزی از ساختمان های بلند شبیه به تاریخچه سبک های معماری انها از نظر سن آسمان خراش وجود دارد (Ali و

Armstrong، 1995؛ Huxtable، 1984). این مراحل اعم از چارچوب صلب، لوله، هسته- مهار بازویی تا سیستم های شبکه قطری هستند. شرح مختصری از تحولات گذشته در ساختمان های بلند در زیر ارائه شده است.

جدول 1-1 ساختمان های بلند در نواحی (ca.1982)

ناحیه	کشورها (تعداد)	درصد (٪)	ساختمان ها (تعداد)
آمریکای شمالی	4	48.9	1,701
اروپا	35	21.3	742
آسیا	35	20.2	702
آمریکای جنوبی	13	5.2	181
استرالیا	2	1.6	54
خاور میانه	15	1.5	51
آفریقا	41	1.3	47
آمریکای مرکزی	20	0.1	4
مجموع	**165**		**3,482**

تاریخچه مختصر

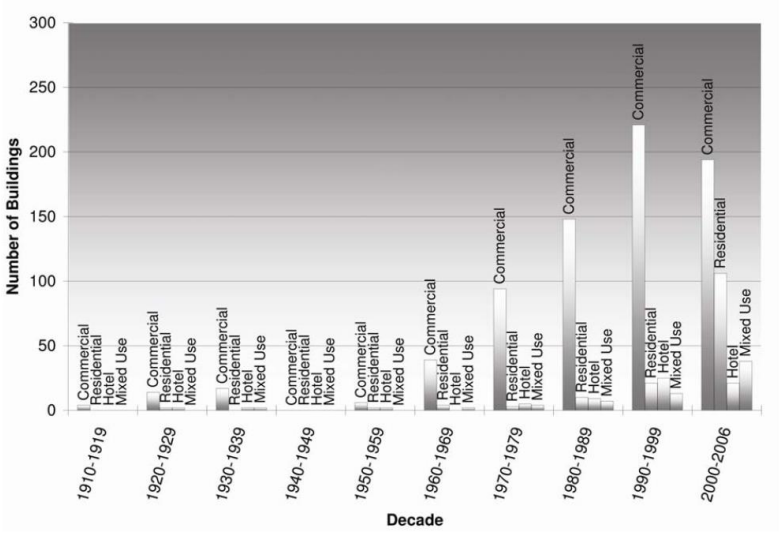
در اواخر قرن نوزدهم، تحولات اولیه ساختمان بلند مبتنی بر معادلات اقتصادی بود - افزایش منطقه قابل اجاره توسط انباشته نمودن فضاهای اداری به صورت عمودی و به حداکثر رساندن اجاره این دفاتر با عرضه نور طبیعی به اندازه ممکن. به منظور خدمت به این محرک اقتصادی، فن آوری های جدید دنبال می شدند که دیوارهای بنایی تحمل بار معمولی را که دهانه های نسبتا کوچک داشتند بهبود دادند. نتیجه, سازه چارچوب فولاد/آهن بود که عمق و عرض اعضای سازه ای را در ساخت و ساز ساختمان های محیطی به حداقل رسانده بود. در نتیجه، دهانه های بزرگتر با شیشه های شفاف پر شدند، در حالی که سازه های آهن / فولاد با دیگر مواد جامد از قبیل آجر و یا سفالینه پوشیده شدند. متفاوت از دیوارهای بنایی سنتی تحمل-بار، این روکش ها, هیچ باری از ساختمان را تحمل نمی

کردند به جز وزن های خود و فشار باد جانبی. یک مفهوم روکش سازی جدید - دیوارهای پرده ای (تیغه ها) - با ظهور سیستم های سازه ای جدید توسعه داده شدند.

قدرت نمادین آسمان خراش های شناخته شده، یک پدیده قابل توجه بود که از مطلع قرن رخ داد. مسابقه ارتفاع آسمان خراش، با شروع از Park Row Building در نیویورک شروع شد که در سال 1899 به 30 طبقه رسید. این مسابقه ارتفاع با تکمیل 102 Empire State Building طبقه بلند در سال 1931 به اوج خود رسید. حتی با اینکه ارتفاع آسمان خراش ها در این دوره به طور قابل توجهی افزایش یافته بودند، بر خلاف شهود، تکامل تکنولوژیکی چندان آشکاری وجود نداشت. از لحاظ سیستم های سازه ای، بلند ترین ساختمان ها در اوایل قرن بیستم از چارچوب های صلب فولادی با مهاربندی بادی استفاده می کردند. در میان آنها, ساختمان مشهور Woolworth سال 1913، Chrysler Building of 1930 و Empire State Building of 1931 قرار داشتند که همه در نیویورک بودند (Ali، 2005). ارتفاعات عظیم آنها در آن زمان, نه با تکامل تکنولوژیکی قابل توجه، بلکه با استفاده بیش از حد از مصالح سازه ای انجام شد. با توجه به عدم وجود تکنیک های تجزیه و تحلیل سازه ای پیشرفته، آنها کاملاً از نظر طراحی زیاده روی می کردند.

جدول 2-1. ساختمان های بلند در نواحی (2006, بر اساس فعال ترین شهرها در نواحی گزارش شده در Emporis.com)

ناحیه	کشورها (تعداد)	درصد (٪)	ساختمان ها (تعداد)
آسیا	20	32.2	35,016
آمریکای شمالی	18	23.9	26,053
اروپا	20	23.7	25,809
آمریکای جنوبی	10	16.6	18,129
اقیانوسیه	7	2.6	2,839
آفریقا	20	1.0	1,078
مجموع	**95**		**108,924**



شکل 1: توزیع نوع ساختمان.

از لحاظ ابراز معماری ساختمان های بلند در این دوره زمانی، همانطور که می توان از بسیاری از ساختمان های بلند سبک گزینشی مشاهده نمود، پس از یک تعقیب کوتاه از یک سبک جدید برای یک نوع ساختمان جدید بر اساس فن آوری های جدید, که عمدتاً توسط معماران شیکاگو در اواخر قرن نوزدهم انجام شد, معماران برای بازنمود کیفیت به معماری سنتی روی آوردند. با این حال، تولد دوباره روح اولیه شیکاگو و کاربرد حرکات مدرن اروپا به سوی ساختمان های بلند, تنها یک مسئله زمانی بود.

در اواسط قرن بیستم، پس از جنگ، عصر تولید انبوه بر اساس سبک بین المللی تعریف شده قبل از جنگ فرا رسید و فن آوری زودتر توسعه یافته بود. نیروی محرکه اصلی تحولات ساختمان بلند, اقتصاد بود. حتی مسابقه ارتفاعی که یک بار شایع شده بود, بعد از جنگ جهانی دوم, تا زمان ساخت و ساز مرکز تجارت جهانی در نیویورک و برج سیرز در شیکاگو، که به ترتیب در سال های 1973 و 1974، تکمیل شدند, رخ نداد.

سیستم های سازه ای برای ساختمان های بلند از زمان سقوط چارچوب های صلب رایج در دهه 1960 به عنوان نوع غالب سیستم سازه ای برای ساختمان های بلند فولادی و یا بتنی, تحت تغییرات چشمگیر قرار گرفته اند. با ظهور اشکال لوله ای که هنوز هم با سبک بین المللی منطبق هستند، چنین تغییراتی در شکل سازه ای و سازماندهی ساختمان های بلند, به واسطه روندهای معماری در حال ظهور در طراحی در رابطه با خواسته های اقتصادی و پیشرفت های تکنولوژیکی در عرصه های تجزیه و تحلیل سازه ای منطقی و طراحی صورت گرفته با ظهور رایانه های

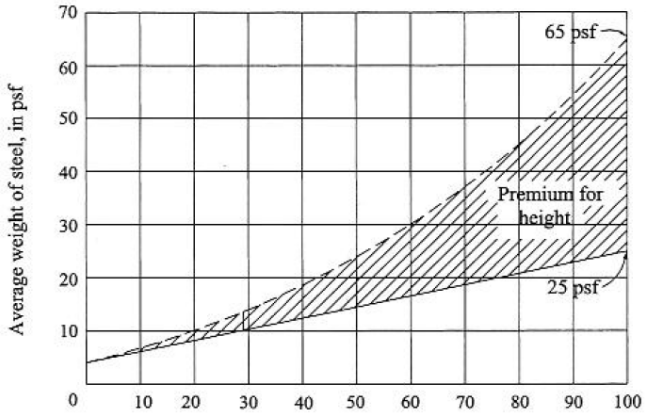
دیجیتال با سرعت بالا ضروری شد. با آغاز در دهه 1980، ساختمان های بلند Miesian رایج تا حد زیادی توسط ویژگی های نمای نمایش های پست مدرن، تاریخی، شبکه قطری و ساختارشکنی جایگزین شدند. این مورد نامطلوب نبود چرا که نسل جدیدی از ساختمان های بلند, یکنواختی فرم برج بیرونی را شکستند و منجر به بروز ارتفاعات بلند مدرن شدند. سیستم های سازه ای نوآورانه شامل لوله ها، چارچوب های عظیم، سیستم های هسته- و- مهار بازویی، سازه های میرا شده به صورت مصنوعی، و سیستم های ترکیبی فولاد-بتن, برخی از پیشرفت های جدید از دهه 1960 هستند.

حق بیمه برای ارتفاع

اسکلت سازه ای اولیه یک ساختمان بلند را می توان به عنوان تیر سگدست عمودی با پایه ثابت آن در زمین مجسم نمود. این سازه باید بارهای گرانش عمودی و بارهای جانبی باد و زلزله را تحمل نماید. بارهای گرانش توسط بارهای مرده (ساکن) و زنده ایجاد می شوند. بارهای جانبی تمایل دارند که ضربه محکمی به ساختمان بزنند یا آن را سرنگون نمایند. بنابراین این ساختمان باید دارای مقاومت برشی و خمشی کافی باشد و نباید قابلیت حمل بار عمودی خود را از دست ندهد.

Fazlur Khan برای اولین بار متوجه شد که با بلندتر شدن ساختمان ها، یک "حق بیمه برای ارتفاع" با توجه به بارهای جانبی و تقاضا در مورد سیستم سازه ای به طور چشمگیری افزایش یافته وجود دارد، و در نتیجه، کل مصرف مصالح سازه ای به طور چشمگیری افزایش می یابد (Ali، 2001). اگر هیچ نیروی جانبی در ساختمان مانند باد یا زلزله وجود نداشته باشد، هر ساختمان ارتفاع-بلند را می توان فقط برای بارهای گرانشی طراحی نمود. سیستم چارچوب بندی کف (طبقه) معمولاً حامل تقریباً همان بارهای گرانش در هر طبقه است، اگر چه شاه تیرها در امتداد خطوط ستون باید به تدریج به سمت پایه ساختمان سنگین تر شوند تا نیروهای فزاینده جانبی را تحمل نمایند و سفتی ساختمان تقویت شود. به دلیل افزایش انباشته شده در بارهای گرانش منتقل شده از طبقات بالا, اندازه های ستون به تدریج به سمت پایه ساختمان افزایش می یابد. علاوه بر این، ستون ها باید حتی به سمت پایه برای مقاومت در برابر بارهای جانبی سنگین تر شوند. نتیجه نهایی این است که زمانی که ساختمان بلندتر می شود و

نوسان ساختمان با توجه به نیروهای جانبی, بحرانی می شود، یک تقاضای بیشتر در مورد شاه تیرها و ستون هایی که سیستم چارچوب-صلب را برای حمل نیروهای جانبی تشکیل می دهند وجود دارد. مفهوم حق بیمه برای ارتفاع در شکل 2 نشان داده شده است.

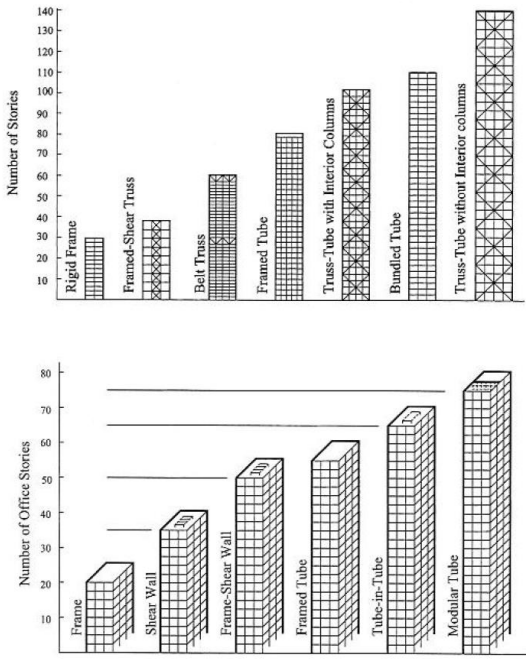


شکل 2: حق بیمه برای ارتفاع.

اگر همان اندازه های طاقنما را فرض کنیم، کمیت های مصالح مورد نیاز برای چارچوب بندی طبقه, بدون در نظر گرفتن تعداد طبقات, تقریبا یکسان است. مصالح مورد نیاز برای چارچوب بندی طبقه به طول عناصر چارچوب بندی بستگی دارد, یعنی، فاصله ستون به ستون و نه به ارتفاع ساختمان. مقدار مصالح مورد نیاز برای مقاومت در برابر بارهای جانبی، از سوی دیگر، حتی بیشتر افزایش می یابد و بیشتر شدن هزینه های سازه ای شروع می شود, اگر یک سیستم چارچوب-صلب برای سازه های بسیار بلند استفاده شود. این خواستار یک سیستم سازه ای است که به خوبی فراتر از مفهوم چارچوب صلب ساده می رود. بر اساس تحقیقات خود, Khan استدلال کرد که با افزایش ارتفاع فراتر از 10 طبقه، رانش جانبی شروع به کنترل طراحی می نماید، به جای قدرت, سختی به عامل غالب تبدیل می شود، و حق بیمه برای ارتفاع به سرعت با تعداد طبقات افزایش می یابد. پیرو این خط استدلال، Khan تشخیص داد که یک سلسله مراتب از سیستم های سازه ای را می توان با توجه به اثربخشی نسبی در بارهای جانبی مقاومتی برای ساختمان های فراتر از محدوده 20- تا 30 طبقه (Khan، 1969) دسته بندی کرد.

طبقه بندی سیستمهای سازه ای ساختمان بلند

در سال 1969, Fazlur Khan سیستم های سازه ای برای ساختمان های بلند را در ارتباط با ارتفاعات آنها با ملاحظات برای بهره وری در قالب نمودارهای "ارتفاعات برای سیستمهای سازه ای" (Khan، 1969) طبقه بندی نمود. این کار آغاز یک دوره جدید از انقلاب آسمان خراش ها را در سیستم های سازه ای چندگانه مشخص می نمود. بعدها، او این نمودارها را از طریق تغییرات (Khan، 1972، 1973) به روز رسانی نمود. او این طرح ها را برای هر دوی فولاد و بتن توسعه داد, همانطور که می توان از شکل 3 دید (Ali و Armstrong، 1995؛ Schueller، Ali 1986، 2001). Khan استدلال کرد که چارچوب صلب که بر طراحی و ساخت و ساز ساختمان بلند مسلط شده بود, تنها سیستم متناسب برای ساختمان های بلند نبود. به علت درک بهتر از مکانیک مصالح و رفتار اعضا، او استدلال کرد که سازه را می توان به یک شکل کلی در نظر گرفت، یعنی، ساختمان را می توان در سه بعد تجزیه و تحلیل نمود، توسط شبیه سازی های کامپیوتری قابل پشتیبانی است، و نه به عنوان یک سری از سیستم های مسطح در هر جهت اصلی. سیستم های سازه ای امکان پذیر، به گفته وی، چارچوب های صلب، دیوارهای برشی، ترکیبات دیوار چارچوب-برشی تعاملی، خرپاهای کمربندی، و دیگر سیستم های مختلف لوله ای می باشند.



شکل 3: طبقه بندی سیستم های سازه ای ساختمان بلند توسط Fazlur Khan (بالا: فولاد؛ زیر: بتن).

در این مقاله یک طبقه بندی جدید توسط نویسندگان ارائه شده است که شامل شاخص ترین سیستم های سازه ای ساختمان بلند امروزی می شود. این طبقه بندی برای هر دو سازه اولیه و پس از آن سیستم های میرایی کمکی انجام می شود. با توجه به اهمیت حق بیمه برای ارتفاعات برای ساختمان های بلند، طبقه بندی سیستم های سازه ای بر اساس قابلیت های جانبی مقاوم در برابر بار است.

سیستم های سازه ای ساختمان های بلند را می توان به دو رده عمده تقسیم نمود: سازه های داخلی و سازه های بیرونی. این طبقه بندی مبتنی بر توزیع اجزای سیستم مقاوم در برابر بار جانبی اولیه روی ساختمان است. یک سیستم به عنوان یک سازه داخلی دسته بندی می شود, زمانی که بخش عمده ای از سیستم مقاوم در برابر بار جانبی در داخل فضای داخلی ساختمان واقع شده است. به همین ترتیب، اگر بخش عمده ای از سیستم مقاوم در برابر بار جانبی در محیط ساختمان قرار گرفته باشد، این سیستم به عنوان یک سازه بیرونی طبقه بندی می شود. با این حال، لازم به ذکر است که هر سازه داخلی به احتمال زیاد دارای برخی از اجزای جزئی سیستم مقاوم در برابر بار جانبی در محیط ساختمان است و هر سازه بیرونی ممکن است برخی از اجزای جزئی را در داخل ساختمان داشته باشد.

جداول 1-2 و 2-2 خلاصه جزئیات مربوط به سیستم ها در هر رده است. علاوه بر این، شکل 1-4 و 2-4 نشاندهنده مفهوم هر یک سیستم از نظر هندسی است. این طبقه بندی سیستم های سازه ای بیشتر به عنوان یک راهنما ارائه شده است و باید بدین طریق در نظر گرفته شود. ضروری است که وابسته به دیگر معیارهای طراحی و خدمات مربوط به شکل ساختمان، نسبت ابعاد، کارکردهای معماری، شرایط بار، ثبات ساختمان و محدودیت های محل, هر سیستم دارای طیف گسترده ای از کاربردهای ارتفاع باشد. با این حال، برای هر وضعیت، همیشه یک سیستم سازه ای مطلوب وجود دارد، با وجود اینکه ممکن است با توجه به تاثیر غالب عوامل دیگر در فرم ساختمان, این سیستم لزوماً با یکی از آن جداول سیستم مطابقت نداشته باشد. بنابراین محدودیت های ارتفاع نشان داده شده, بر اساس تجربه و پیش بینی نویسندگان در یک محدوده قابل قبول از نسبت ابعاد ساختمان ها، مثلاً حدود 6 تا 8 احتمالی هستند. در برخی موارد، یک سازه بیرونی ممکن است با یک سازه داخلی ترکیب شود، مانند وقتی که یک

چارچوب لوله ای نیز مهاربندی شده است و یا مهارهای بازویی حمایت شده توسط-هسته و خرپاهای کمربندی، به منظور افزایش سختی ساختمان فراهم شده است.

سازه های داخلی

دو نوع سیستم مقاوم در برابر بار جانبی در رده سازه های داخلی, چارچوب های مقاوم در برابر-ممان و خرپاهای برشی / دیوارهای برشی می باشند. این سیستم ها معمولاً به صورت مونتاژهای مسطح در دو جهت متعامد اصلی مرتب می شوند و می توانند با هم به عنوان یک سیستم ترکیبی به کار گرفته شوند که در آن تعامل داشته باشند. یکی دیگر از سیستم های بسیار مهم در این رده, سازه مهار بازویی حمایت شده توسط-هسته است، که به طور بسیار گسترده ای برای ساختمان های بسیار بلند در این نوشته استفاده می شود.

چارچوب مقاوم در برابر ممان (MRF) شامل اعضای (شاه تیر) افقی و (ستون) عمودی می شود که به طور سفت و سخت با هم در یک فرم شبکه مسطح متصل شده اند. چنین چارچوب هایی درجه اول از طریق سختی خمشی اعضا, در برابر بار مقاومت می کنند (Kowalczyk, Sinn, & Kilmister، 1995). اندازه ستون ها عمدتاً توسط بارهای گرانشی کنترل می شود که به سمت پایه ساختمان انباشته می شوند و موجب ظهور اندازه های ستون به تدریج بزرگتر به سمت پایه از سقف شده اند. اندازه شاه تیرها، از سوی دیگر، توسط سختی چارچوب به منظور حصول اطمینان از نوسان جانبی قابل قبول ساختمان کنترل می شود. اگر چه بار گرانش, در همه طبقات معمول یک ساختمان بلند کم و بیش وجود دارد، اندازه های شاه تیر باید افزایش یابند تا سفتی چارچوب افزایش یابد. به همین ترتیب، ستون های از قبل اندازه بندی شده برای بارهای گرانش باید مختصراً افزایش یابند تا سفتی چارچوب نیز افزایش یابد. MRFs را می توان در و یا در اطراف هسته، در قسمت بیرونی، و در سراسر فضای داخلی ساختمان در امتداد خطوط شبکه قرار داد.

چارچوب های مهاربندی به طور جانبی توسط خرپاهای فولادی عمودی که خرپاهای برشی نیز نامیده می شود حمایت می شوند که عمدتا از طریق سختی محوری اعضا, در برابر بارهای جانبی مقاومت می کنند. اینها به عنوان خرپاهای سگدست عمودی عمل می کنند که در آن ستون ها به عنوان اعضای وتر و مهارهای K، V، و یا X متحد

المرکز به عنوان اعضای وب عمل می کنند. چنین سیستمهایی, چارچوب های مهاربندی شده متحدالمرکز (CBF) نامیده می شود. چارچوب های مهاربندی شده مختلف المرکز (EBF)، از سوی دیگر، که به تیرهای کف متصل می شوند که عناصر افقی خرپا را با آفست های محوری برای عرضه خمش و برش در چارچوب (Popov، 1982) تشکیل می دهند. این باعث کاهش نسبت سختی به وزن می شود اما شکل پذیری را افزایش می دهد و در نتیجه EBFs برای مناطق لرزه ای استفاده می شوند که در آن شکل پذیری یک نیاز ضروری در طراحی سازه ای است. EBFs را نیز می توان برای جای دادن درب های گسترده و دهانه های دیگر استفاده نمود و در برخی موارد, برای مناطق غیر لرزه ای (Corrin و Swensson، 1992) استفاده می شوند. چارچوب های مهاربندی شده به طور کلی در نواحی هسته آسانسور و خدمات ساختمان های بلندواقع می شود. قطرهای چارچوب در داخل دیوار محصور شده است.

جدول 1-2 سازه های داخلی

نمونه های ساختمان	معایب	مزایا	حد ارتفاع کارآمد	مصالح/پیکربندی	زیرزده	رده
اپارتمان های 860 & 880 Lake Shore Drive (شیکاگو, آمریکا, 26 طبقه, 82 متر. Business Men's Assurance Tower (کانزاس سیتی, آمریکا, 19 طبقه), Seagram Building , 30ام تا طبقه بالا (نیویورک, آمریکا,	اتصالات گران ممان. ضد حریق گران قیمت	فراهم نمودن انعطاف پذیری در برنامه ریزی کف, ساخت سریع	30	فولاد	-	چارچوب های صلب

38 طبقه, 157 متر)						
Ingalls Building (سین سیناتی, آمریکا, 16 طبقه, 65 متر)	چارچوب گران, ساخت کند	فراهم نمودن انعطاف پذیری در برنامه ریزی کف. به آسانی قابل ذوب	20	بتن		
ساختمان های کم- ارتفاع	محدودیت های برنامه ریزی داخلی به علت قطرها در خرپاهای برشی. اتصالات قطری گران.	به طور کارآمد در برابر بارهای جانبی توسط نیروهای محوری در اعضاهای خرپا مقاومت می کند. به کاربرد تیرهای کم عمق تر, در مقایسه با چارچوب های صلب بدون قطرهاست.	10	خرپاهای برشی فولادی + چارچوب های آویزان فولادی	-	چارچوب های آویزان مهاربندی شده
77 West Wacker Drive	محدودیت های برنامه	به طور موثر توسط	35	دیوار برشی بتنی + چارچوب	-	دیوار برشی/

(شیکاگو, آمریکا, 50 طبقه, 203.6 متر), Casselden Place (ملبورن, استرالیا, 43 طبقه, 160 متر)	ریزی داخلی ناشی از دیوارهای برشی.	دیوارهای برشی بتنی در برابر برش جانبی مقاومت می کند		آویزان فولادی		چارچوب های آویزان
Empire State Building (نیویورک, آمریکا, 102 طبقه, 381 متر), Seagram Building, طبقه 17ام تا 29ام (نیویورک, آمریکا, 38 طبقه, 157 متر)	محدودیت های برنامه ریزی داخلی ناشی از خرپاهای برشی	توسط تولید خرپای برشی, سیستم تعامل چارچوب- به طور موثر در برابر بارهای جانبی مقاومت می کند	40	خرپاهای برشی فولادی + چارچوب های صلب فولادی	چارچوب های صلب مهاربندی شده	دیواره برشی (یا خرپای برشی)- سیستم تعامل چارچوب
Seagram Building , تا طبقه 17ام (نیویورک, آمریکا, 38 طبقه, 157 متر)	محدودیت های برنامه ریزی داخلی ناشی از دیوارهای برشی	توسط تولید خرپای برشی, سیستم تعامل چارچوب- به طور موثر در برابر بارهای	60	دیواره برشی بتنی + چارچوب صلب فولادی	دیوار برشی/ چارچوب های صلب	

		جانبی مقاومت می کند				
311 South Wacker Drive (شیکاگو, آمریکا, 75 طبقه, 284 متر), Cook County Administration Building, former Brunswick Building (شیکاگو, آمریکا, 38 طبقه, 145 متر)	-	-	70	دیواره برشی بتنی + چارچوب بتنی		
Taipei 101 (تایپه, تایوان, 101 طبقه, 509 متر), Jin Mao Building (شانگهای, چین, 88 طبقه, 421 متر)	سازه مهار بازویی, مقاومت برشی را نمی افزاید	با ستون های خارجی متصل به مهارهای بازویی گسترش یافته از هسته, به طو موثر در برابر خمش مقاومت می کند.	150	هسته های برشی (خرپاهای فولادی یا دیواره های برشی بتنی) + مهارهای بازویی (خرپاهای فولادی یا دیوارهای بتنی) + (خرپاهای کمربندی) + ستون های کامپوزیت (سوپر) فولادی یا بتنی	-	سازه های مهار بازویی

دیوارهای بتن آرمه مسطح جامد و یا برشی تزویج شده, به یکی از محبوب ترین سیستم های مورد استفاده برای ساخت و ساز بلند به منظور مقاومت در برابر نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله تبدیل شده است. آنها به عنوان سگدست های عمودی ثابت شده در پایه در نظر گرفته می شود. هنگامی که دو یا چند دیوار برشی در یک صفحه توسط تیرها یا اسلب به هم پیوسته می شوند، همانند دیوارهای برشی با درب و یا دهانه های پنجره ، سختی کل سیستم بیش از مجموع سخت های تک تک دیوارها می شود. این بدان دلیل است که تیر اتصال دهنده, دیوار را مجبور می کند که به عنوان یک واحد تک عمل کند و این توسط مهار عمل های سگدست منفرد رخ می دهد. اینها به عنوان دیوارهای برشی تزویج شده شناخته می شوند. دیوارهای برشی مورد استفاده در ساختمان های اداری بلند به طور کلی در اطراف هسته های خدمات و بالابر و راه پله ها واقع می شوند. در واقع، در بسیاری از ساختمان های بلند، دیوار های هسته جامد عمودی که خدمات ساختمان را محصور می کند می تواند برای ایجاد ثبات و سفت کردن ساختمان در برابر بارهای جانبی مورد استفاده شود. بسیاری از امکانات با هسته های تک یا چندتایی با توجه به موقعیت ، شکل، تعداد و ترتیب آنها در یک ساختمان بلند وجود دارد. دیوارهای اصلی, اساساً دیوارهای برشی هستند که می توانند به عنوان عناصر مسطح در هر جهت اصلی و یا به عنوان عناصر سه بعدی با استفاده از برنامه های کامپیوتری مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند..

چارچوب های صلب می توانند با خرپاهای فولادی عمودی یا دیوارهای برشی بتن آرمه برای ایجاد سیستم های تعامل چارچوب- دیوار برشی (یا خرپای برشی) ترکیب شوند. سیستم های چارچوب صلب برای ساختمان های بیش از 30 طبقه در ارتفاع کارآمد نیستند چرا که جزء قفسه برشی انحراف ناشی از خم شدن ستون ها و تیرها باعث می شود که ساختمان نوسان بیش از حد داشته باشد. از سوی دیگر، خرپاهای برشی فولادی عمودی یا دیوارهای برشی بتن به تنهایی می توانند مقاومت را برای ساختمان ها تا حدود 10 یا 35 طبقه، بسته به نسبت ارتفاع به عرض سیستم (جدول 2-1) ارائه دهند. هنگامی که خرپاهای برشی یا دیوارهای برشی با MRFs ترکیب می شوند، یک سیستم تعامل چارچوب- خرپای برشی (یا دیوار برشی) حاصل می شود. مشخصات منحرف شده نوع-برشی تقریباً خطی MRF، زمانی که با حالت نوسان سگدست سهموی خرپای برشی یا دیوارهای برشی ترکیب شود، منجر به یک

شکل رایج سازه می شود, زمانی که دو سیستم مجبور می شوند تا توسط دیافراگم کف صلب, منحرف شوند. قسمت بالایی خرپا توسط چارچوب مهار می شود، در حالی که در قسمت پایین، دیوار برشی و یا خرپا, چارچوب را محدود می کند (شکل 5). این اثر, صلبیت جانبی فزاینده ساختمان را تولید می کند. این نوع سیستم دارای کاربردهای گسترده ای برای ساختمان ها تا حدود 40 تا 70 طبقه در ارتفاع است. یک مقاله "نقطه عطف" توسط Khan و Sbarounis (1964), مکانیک یک سیستم تعامل دیوار-چارچوب برشی را ارائه نمود که به توسعه سیستم های سازه ای ابتکاری منجر شد که مقرون به صرفه (Ali، 2001) هستند.

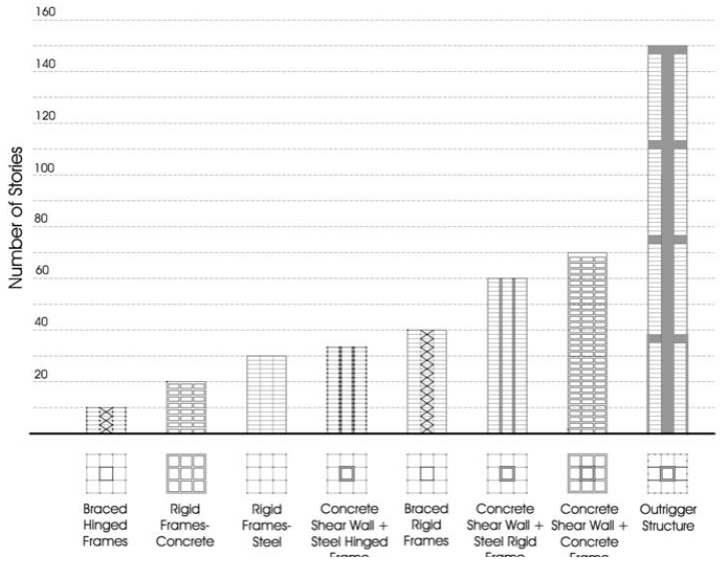
نمونه های ساختمان	معایب	مزایا	حد ارتفاع کارآمد	مصالح/پیکربندی	زیررده	رده
Aon Center (شیکاگو, آمریکا, 83 سبقه, 346 متر)	عقب افتادگی برشی مانع رفتار لوله ای صحیح می شود. فضادهی ستون باریک مانع دید می شود.	توسط موقعیت یابی سیستم جانبی در محیط ساختمان, به طور موثر در برابر بارهای جانبی مقاومت می کند.	80	فولاد	لوله چارچوب بندی شده	لوله
Water Tower Place (شیکاگو, آمریکا, 74 طبقه, 262 متر)	-	-	60	بتن		

John Hancock Center (شیکاگو, آمریکا, 100 طبقه, 344 متر)	مهاربندی ها مانع دید می شوند.	با نیروهای محوری در اعضای قطری, به طور موثر در برابر برش جانبی مقاومت می کند. فضادهی ستون گسترده تر ممکن در مقایسه با لوله های چارچوب بندی شده. عقب افتادگی برشی کاهش یافته	100 (با ستون های داخلی)- 150 (بدون ستون های داخلی)	فولاد	لوله های مهاربندی شده	
Onterie Center (شیکاگو, 58 طبقه, 174 متر), 780 Third Avenue (نیویورک,	-	-	100	بتن		

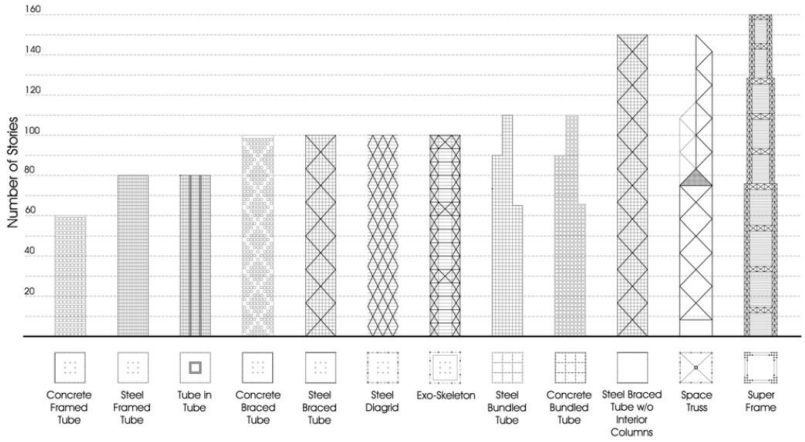
آمریکا, 50 طبقه, 174 متر)						
Sears Tower (شیکاگو, آمریکا, 108 طبقه, 442 متر)	محدودیت های برنامه ریزی داخلی ناشی از پیکربندی لوله همراه	عقب افتادگی کاهش یافته	110	فولاد	لوله همراه	
Carnegie Hall Tower (نیویورک, آمریکا, 62 طبقه, 230.7 متر)	-	-	110	بتن		
181 West Madison Street (شیکاگو, آمریکا, 50 طبقه, 207 متر)	محدودیت های برنامه ریزی داخلی ناشی از هسته برشی.	با تولید هسته برشی داخلی- سیستم تعامل لوله چارچوب بندی شده خارجی, به طور موثر در برابر بارهای جانبی مقاومت می کند	80	لوله چارچوب بندی شده خارجی (فولاد یا بتن) + لوله هسته داخلی (فولاد یا بتن)	لوله در لوله	

Hearst Building (نیویورک, آمریکا, 42 طبقه, 182 متر), 0 St Mary Axe که همچنین به عنوان Swiss Re Building شناخته شده است (لندن, بریتانیا, 41 طبقه, 181 متر)	اتصالات پیچیده	با نیروهای محوری در اعضای قطری, به طور موثر در برابر برش جانبی مقاومت می کند.	100	فولاد	-	شبکه قطری
O-14 Building (دبی)	چارچوب گران. ساخت کند	-	60	بتن		
Bank of China (هنگ کنگ, چین, 72 طبقه, 367 متر)	مانع دید می شود. می تواند مانع دید شود	با نیروهای برشی در اعضای خرپای فضایی, به طور موثر در برابر برش جانبی مقاومت می کند.	150	فولاد	-	سازه های خرپای فضایی

Chicago World Trade Center (شیکاگو, آمریکا, 168 طبقه, ساخته نشده)	شکل ساختمان وابسته به درجه بالایی در سیستم سازه ای است	می تواند ساختمان بسیار بلند تولید کند	160	فولاد	-	سوپرچارچوب ها
Parque Central Tower (کاراکاس, ونزوئلا, 56 طبقه, 221 متر)	-	-	100	بتن		
Hotel de las Artes (بارسلونا, اسپانیا, 43 طبقه, 137 متر)	انقباض/انبساط حرارتی. پل های حرارتی سیستمیک	با ستون های محیطی, طبقه داخلی هرگز ممانع نمی شود.	100	فولاد	-	اسکلت خارجی



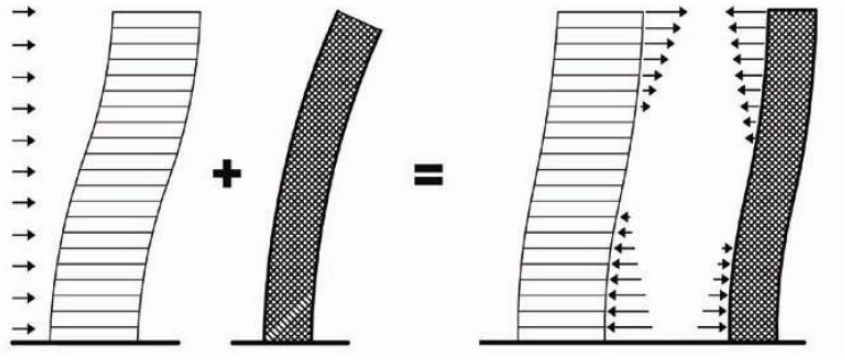
شکل 1-4: سازه داخلی.



شکل 2-4: سازه بیرونی.

سیستم های مهار بازویی در طول تاریخ توسط کشتی های دریانوردیبرای کمک به مقاومت در برابر نیروهای باد در بادبان خود استفاده شده اند که دکل های بلند و باریک را با ثبات و قوی ساخته است. هسته در یک ساختمان بلند شبیه به دکل کشتی است که با مهارهای بازویی به عنوان گسترش دهنده ها عمل می کنند و ستون های بیرونی مانند مهارها باقی می مانند. همانند کشتی های دریانوری، مهارهای بازویی به منظور کاهش ممان واژگون شدن در هسته به کار گرفته می شوند که در غیر این صورت به عنوان سگدست خالص، و برای انتقال ممان کاهش یافته برای ستون های بیرونی از طریق مهارهای بازویی اتصال دهنده هسته به این ستون ها عمل می کنند (شکل 6). هسته می تواند به صورت مرکزی با مهارهای بازویی گسترش یافته در هر دو طرف واقع شود یا در برخی موارد ممکن است

در یک طرف از ساختمان با مهارهای بازویی گسترش یافته به ستون های ساختمان در طرف دیگر (Taranath، 1998) واقع شوند.



شکل 5: سیستم تعامل چارچوب- (یا خرپای برشی) دیوار برشی.

مهارهای بازویی به طور کلی در قالب خرپاها در سازه های فلزی، و یا دیوارها در سازه های بتنی قرار دارند که به طور موثر به عنوان لوله های اصلی القاکننده یک زوجه تنش-فشرده سازی در ستون های بیرونی عمل می کنند. خرپاهای کمربندی اغلب برای توزیع این نیروهای کششی و فشاری بر تعداد زیادی از ستون های چارچوب بیرونی ارائه می شوند. خرپاهای کمربندی نیز در به حداقل رساندن افزایش طول دیفرانسیل و کوتاه نمودن ها ستون کمک می کنند. مهارهای بازویی نیز می توانند در مگاستون ها در محیط ساختمان پشتیبانی شوند. اگر چه این سازه در درجه اول یک سیستم داخلی است، خرپاهای کمربندی یا مگاستون ها, یک محیط گسترده تر را ارائه می دهند و در نتیجه در برابر فشار جانبی گسترش پای ساختمان مقاومت می کنند.

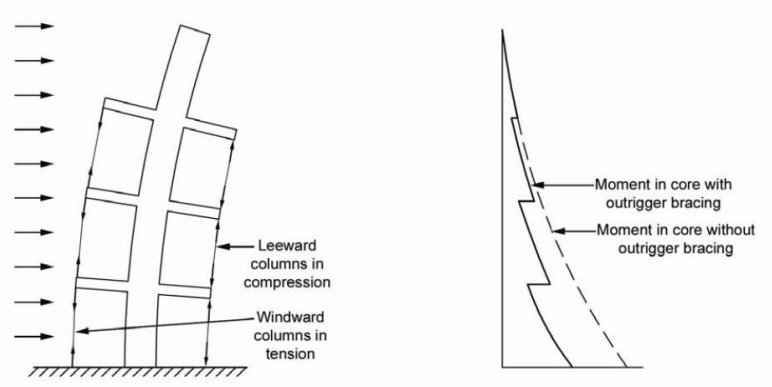
برای ساختمان ها بین 30 تا 70 طبقه، هسته مهاربندی شده فولادی و یا دیوار های هسته بتن آرمه به طور کلی برای مقاومت در برابر بارهای جانبی موثر هستند. با این حال، برای ارتفاعات بیشتر، مقاومت سیستم های هسته ای به خمش ناشی از واژگون شدن به تدریج ناکارآمد می شود. علاوه بر این، یک سیستم هسته ای با ویژگی بسیار بلند و باریک آن می تواند نیروهای بالابرنده اضافی را در ستون های اصلی و نیروهای واژگون شدن بالا در سیستم فنداسیون تولید کند. در هسته های بتون آرمه، عناصر اضافی دیوار که در آن نیروهای بزرگ کششی خالص توسعه می یابند, به راحتی می توانند بهره وری ذاتی بتن را در فشار لغو نمایند. به همین ترتیب، در هسته های فولادی،

پیوندهای کششی جوش داده شده یا پیچ شده اضافی می توانند تا حد زیادی سهولت نصب و ساخت را کاهش دهند. سیستم هسته-مهار بازویی, این مشکل را خفیف می کند.

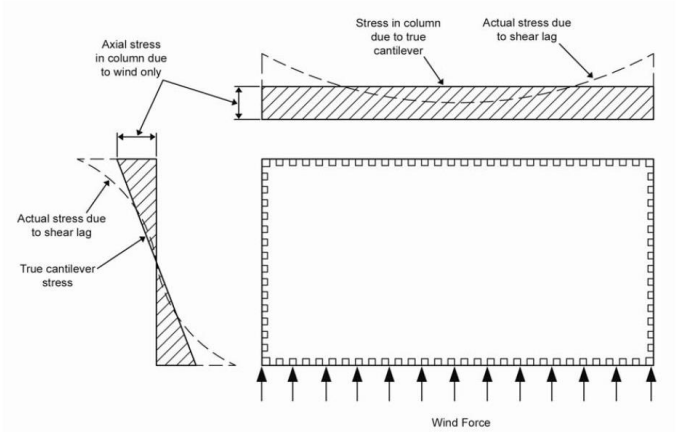
برخی از مزایای دیگر سیستم هسته-و-مهار بازویی اینست که فضادهی ستون بیرونی به راحتی می تواند نیازهای زیبایی شناسی و عملکردی را برآورده سازد و سیستم چارچوب بندی اطراف ساختمان می تواند بدون نیاز به اتصالات نوع-چارچوب-صلب, شامل چارچوب بندی تیر-ستون ساده باشد. برای ساختمان های فرابلند، اتصال مهارهای بازویی با مگاستون های بیرونی, سیستم نما را برای بیان زیبایی شناسی و معماری انعطاف پذیر باز می کند و در نتیجه بر نقطه ضعف اصلی سیستم های لوله ای فرم-بسته غلبه می کند. علاوه بر این، سیستم های مهار بازویی دارای پتانسیل ارتفاع بزرگ تا حدود 150 طبقه و احتمالا بیشتر هستند.

معایب اصلی اینست که مهارهای بازویی با فضای قابل اشغال یا قابل اجاره تداخل دارند و عدم ماهیت تکراری نتایج چارچوب بندی سازه ای منجر به تاثیر منفی بر فرآیند افراشتن می شود. با این حال، این اشکالاتی را می توان توسط برنامه های معماری و سازه ای دقیق مانند قرار دادن مهارهای بازویی در طبقات مکانیکی و توسعه دستورالعمل های افراشتگی مشخص غلبه کرد.

سیستم های مهار بازویی می توانند در هر ترکیبی از ساخت و ساز فولاد، بتن و کامپوزیت تشکیل شوند. به علت بسیاری از مزایای کاربردی سیستم های مهار بازویی و مزایای ذکر شده در بالا، این سیستم به تازگی برای ساختمان های فرابلند در سراسر جهان بسیار محبوب شده است. یک مثال خیلی اولیه از سازه مهار بازویی را می توان در بسیار محبوب Place Victoria Office Tower of 1965 در مونترال یافت که توسط Nervi و Moretti طراحی شده است. همچنین توسط Fazlur Khan در First Wisconsin Center of 1973 42 طبقه در میلواکی، ویسکانسین استفاده شد. با این حال، کاربرد اصلی این سیستم سازه را می توان در آسمان خراش معاصر مانند Jin Mao Building در Shanghai و the Taipei 101 Tower در Taipei دید.



شکل 6: سازه های مهار بازویی پشتیبانی شده- هسته ای



شکل 7: تاخیر برشی.

سازه های خارجی

ذات پیرامون های ساختمان دارای اهمیت سازه ای بیشتر در ساختمان های بلند نسبت به هر نوع ساختمان دیگر به دلیل بلندقامتی بسیار آنهاست که به معنی آسیب پذیری بیشتر به نیروهای جانبی، به ویژه بارهای باد می باش. بنابراین، تمرکز اجزای سیستم مقاوم در برابر بار جانبی تا حد ممکن بر محیط ساختمان های بلند برای افزایش عمق سازه ای آنها و به نوبه خود، مقاومت آنها به بارهای جانبی نسبتاً مطلوب است.

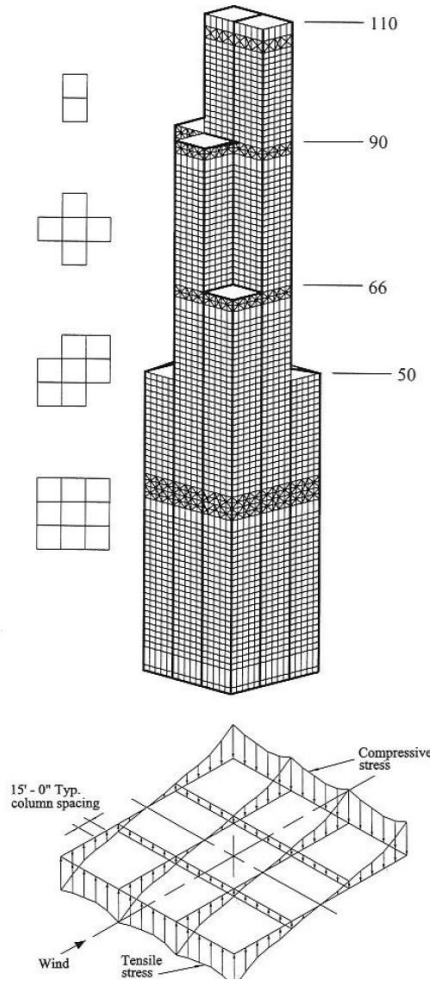
یکی از معمول ترین سازه های بیرونی, لوله است که می تواند به عنوان یک سیستم سازه ای سه بعدی استفاده کننده از تمام محیط ساختمان برای مقاومت در برابر بارهای جانبی تعریف شود. اولین کاربرد مفهوم لوله ای به Fazlur Khan نسبت داده می شود که این مفهوم را در سال 1961 تصور نمود (Ali، 2001) و DeWitt- 43 Chestnut Apartment Building طبقه را در 1965 طراحی نمود, که در سال 1965 تکمیل شد و اولین

ساختمان طراحی شده به عنوان یک لوله چارچوب بندی شده است. چند ساختمان بلند دیگر استفاده کننده از این مفهوم عبارتند از برج 110 طبقه سیرز، John Hancock Center 100 طبقه ، و 83 Amoco building طبقه، همه در شیکاگو و 110 World Trade Center Towers طبقه (تخریب شده در 2001 توسط یک حمله تروریستی) در نیویورک هستند. بسیاری از ساختمان های اخیر دیگر دارای بیش از 50 طبقه, از مفهوم لوله ای و یا یک تنوع آن بهره گرفته اند. معرفی سیستم های لوله, از اولین بار که پاسخ سه بعدی ساختمان به طور مستقیم به نفع انحراف از سیستم چارچوب صلب معمولی متشکل از شبکه های تیر-ستون مسطح متصل شده صلب به بهره برداری رسید, یک انقلاب بوده است. اشکال لوله ای دارای انواع مختلفی هستند که وابسته به بازده سازه ای است که آنها می توانند برای ارتفاع های مختلف فراهم کنند.

در یک سیستم لوله چارچوب بندی، که شکل پایه لوله ای است، این ساختمان ها از نزدیک ستون ها و تیرهای عمیق پشت بغل به طور صلب متصل شده با هم در سراسر چارچوب های بیرونی را فاصله گذاری نموده اند. بسته به هندسه سازه ای و نسبت ها، فاصله گذاری ستون بیرونی باید از 5 تا 15 فوت (1.5 تا 4.5 متر) در مراکز باشد. عمق های تیر پشت بغل عملی باید از 24 تا 48 اینچ متغیر باشد (600 تا 1200 میلی متر). سازماندهی سازه ای حاصل نه تنها, بیان سازه ای نما را فراهم می کند و در نتیجه روزنه های معماری را تعریف می کند، بلکه همچنین می تواند هزینه را با حذف نیاز به آلات عمودی دیوار پرده به طور کامل و یا تا حدودی کاهش دهد. همانطور که در شکل 7 نشان داده شده است، برای یک لوله چارچوب بندی شده تحت بارهای جانبی، نیروهای محوری در ستون های گوشه, بزرگترین هستند و توزیع, برای هر دو چارچوب وب (یعنی, چارچوب موازی با باد)، و چارچوب فلنج (یعنی، چارچوب عمود بر باد) غیر خطی است. این بدان دلیل است که نیروهای محوری در ستون ها به سمت وسط چارچوب های فلنج از نیروهای محوری نزدیک گوشه به تاخیر می افتند که این ناشی از ماهیت یک لوله چارچوب بندی است از یک لوله دیوار-جامد متفاوت می باشد. این پدیده به عنوان تاخیر برشی شناخته شده است. هدف از طراحی بهینه یک لوله چارچوب بندی شده, محدود کردن اثر تاخیر برشی و هدف برای رفتار بیشتر از نوع-سگدست

سازه درون حدود معقول و عملی (یعنی، با دستیابی به یک انحراف سگدست 50 تا 80 درصد نوسان جانبی کلی ساختمان).

یک لوله مهاربندی شده, یک تغییر در لوله چارچوب بندی شده است و برای اولین بار در John Hancock 100 Center طبقه در سال 1970 در شیکاگو (Ali، 2001) استفاده شد. این مفهوم از این واقعیت سرچشمه می گیرد که به جای استفاده از ستون های محیطی فاصله گذاری شده از نزدیک، سفت کردن ستون های فاصله گذاری شده به طور عریض توسط مهارهای مورب برای ایجاد ویژگی های دیوار-مانند ممکن است. لوله چارچوب بندی شده, روی 60 طبقه, به تدریج ناکارآمد می شود, زیرا چارچوب های وب شروع به رفتار نمودن به عنوان چارچوب های صلب معمولی می نمایند. در نتیجه، طرح های تیر و ستون توسط عمل خم شدن کنترل می شوند که منجر به اندازه بزرگ می شود. علاوه بر این، رفتار سگدست سازه تضعیف می شود و اثر تاخیر برشی تشدید می شود. یک لوله مهاربندی شده با سفت نمودن چارچوب های محیطی در صفحات خود, بر این مشکل غلبه می کند. مهارها نیز بارهای گرانش را از طبقات جمع آوری می کنند و به عنوان ستون متمایل عمل می کنند. قطرهای یک لوله خرپایی شده متصل به تون ها در هر مفصل به طور موثر اثرات تاخیر برشی را در سراسر چارچوب لوله ای از بین می برد. بنابراین، ستون ها را می توان به طور عریض تر فاصله گذاری نمود و اندازه های پشت بغل و ستون ها می توانند کوچکتر از مقادیر مورد نیاز برای لوله های چارچوب بندی شده باشند که دهانه های پنجره ای بزرگتر را نسبت به لوله های چارچوب بندی شده میسر می سازد (Khan، 1967).



شکل 8. لوله همراه (*Sears Tower, Chicago*)

یک لوله همراه, یک خوشه از لوله های فردی متصل شده به هم است که به عنوان یک واحد عمل می کنند. برای سازه های بسیار بلند، یک لوله چارچوب بندی شده تک کافی نیست، از آنجا که عرض ساختمان در پایه آن باید برای حفظ نسبت بلندی و باریکی معقول, بزرگ باشد (یعنی، ارتفاع به عرض) به طوری که ساختمان بیش از حد انعطاف پذیر نباشد و بیش از حد نوسان نکند. بهره وری سیستم به طور قابل ملاحظه در یک لوله چارچوب بندی شده تک با ارتفاع بسیار زیاد به علت اثر تاخیر برشی کاهش می یابد. برای چنین سازه ای، پاسخ سه بعدی سازه می تواند با ارائه دیوار متقاطع و یا چارچوب های متقابل در ساختمان, از نظر استحکام و سفتی بهبود یابد.

برج سیرز 110-طبقه تکمیل شده در سال 1974, اولین سازه لوله همراه بود که در آن نه لوله چارچوب بندی شده فولادی در پایه همراه شدند که برخی از آنها در سطوح مختلف در امتداد ارتفاع ساختمان با دو لوله پیوسته بین

طبقه 90ام و سقف متوقف شدند (Ali، 2001). چنین انعطاف پذیری سازماندهی مناطق کف، از بسیار بزرگ در پایه تا بسیار کوچکتر در بالا، یک مزیت اضافه شده را به این سیستم لوله همراه ارائه نمود. مفهوم لوله همراه نیز فاصله گذاری عریض تر ستون در دیواره های لوله ای را میسر ساخت که که جای دادن خطوط چارچوب داخلی را بدون به خطر انداختن جدی برنامه ریزی فضای داخل ساختمان ممکن ساخت. در نتیجه سیستم لوله همراه, آزادی زیادی را از نظر برنامه ریزی معماری با ایجاد یک فرهنگ لغت قدرتمند برای شکل های مختلف ساختمان های موجود ارائه می دهد. شکل 8 نشاندهنده مفهوم لوله همراه است, زیرا برای برج سیرز استفاده شد.

یک ساختمان لوله ای همراه بتنی, One Magnificent Mile of 1983 در شیکاگو است. در این ساختمان چندمنظوره، مونتاژ لوله های فردی در هر پیکربندی ممکن بود و در ارتفاع های مختلف بدون از دست دادن تمامیت سازه ای خود خاتمه می یافت. با انجام بیشتر ایده لوله های چارچوب بندی شده همراه، اضافه نمودن قطرها به آنها برای افزایش محدودیت ارتفاع کارآمد ممکن می باشد. علاوه بر این، شایان ذکر است که برای رفتار نمودن به عنوان یک لوله همراه, لوله های فردی می توانند دارای اشکال مختلف، مانند مستطیل، مثلث یا شش ضلعی باشند همانطور که در این ساختمان نشان داده شده است.

سختی یک لوله چارچوب بندی شده را نیز می توان با استفاده از هسته برای مقاومت در برابر بخشی از بار جانبی ارتقا داد که منجر به یک سیستم لوله در لوله می شود. دیافراگم کف اتصال دهنده هسته و لوله ی خارجی, بارهای جانبی را به هر دو سیستم انتقال می دهد. هسته به خودی خود می تواند از یک لوله جامد، یک لوله مهاربندی شده، و یا یک لوله چارچوب بندی شده ساخته شود. چنین سیستمی یک لوله در لوله نامیده می شود، که یک مثال از آن, One Shell Plaza 52 طبقه 1971 در هوستون، تگزاس است. همچنین معرفی بیش از یک لوله در داخل لوله محیطی ممکن است.

لوله ی داخلی در یک سازه لوله در لوله می تواند به عنوان یک خط دوم دفاع در برابر حمله بدخواهانه با هواپیما یا موشک عمل کند. به عنوان مثال، یک هسته جامد بتنی در مرکز تجارت جهانی در نیویورک، احتمالاً می توانست زندگی بسیاری از افرادی را که در آتش سوزی بالاتر از سطوح برخورد هواپیما به دام افتاده بودند نجات دهد.

نوع دیگری از سازه بیرونی, یک سیستم شبکه قطری است. با بهره وری سازه ای آنها به عنوان یک نسخه متفاوت از سیستم های لوله، سازه های شبکه قطری به عنوان یک روند زیبایی شناسی جدید برای ساختمان های بلند در این دوره از سبک های کثرت گرا در حال ظهور هستند. طرح های اولیه ساختمان های بلند, اثربخشی اعضای مهاربند قطری را در مقاومت در برابر نیروهای جانبی شناساندند. بسیاری از سیستم های سازه ای مستقر برای ساختمان های بلند اولیه, چارچوب های فولادی با مهاربندهای قطری از پیکربندی های مختلف مانند X، K بودند. با این حال، در حالی که اهمیت سازه ای قطرها نیز شناخته شد، پتانسیل زیبایی آنها اذعان نشد, زیرا آنها به عنوان مانعی برای مشاهده خارج از منزل در نظر گرفته شدند. بنابراین، قطرها به طور کلی در درون هسته های ساختمان تعبیه شدند که معمولا در داخل ساختمان واقع شده بودند.

تغییری عمده از این رویکرد طراحی, هنگامی رخ داد که سازه های لوله ای مهاربندی شده در اواخر دهه 1960 معرفی شدند. برای 100 John Hancock Center-طبقه بلند در شیکاگو، به منظور به حداکثر رساندن اثربخشی سازه ای آنها و سرمایه گذاری بر روی نوآوری زیبایی, قطرها در امتداد سطوح محیط خارج از ساختمان قرار گرفتند. این استراتژی خیلی موثرتر از محدود نمودن قطرها به هسته های باریک تر است ساختمان. با وجود همزیستی مشخص بین عمل سازه ای و هدف زیبایی Hancock Tower، این رویکرد طراحی کلی به عنوان ارجحیت زیبایی شناسی منفرد معماران پدید نیامده است. با این حال، به تازگی استفاده از قطرهای محیطی - در نتیجه اصطلاح " شبکه قطری" - برای اثربخشی سازه ای و زیبایی شناسی شبکه – مانند, علاقه به طراحان معماری و سازه ای ساختمان های بلند را ایجاد شده است.

تفاوت بین چارچوب سازه های مهاربندی شده-بیرونی معمولی و سازه های شبکه قطری فعلی این است که، برای سازه های شبکه قطری، تقریبا همه ستون های عمودی معمولی حذف شده اند. این بدان دلیل ممکن است که اعضای مورب در سیستم های سازه ای شبکه قطری می توانند بارهای گرانش و همچنین نیروهای جانبی را با توجه به پیکربندی مثلثی خود به شیوه ای توزیعی و یکنواخت حمل نمایند. در مقایسه با سازه های لوله ای چارچوب بندی معمولی بدون قطرها، سازه های شبکه قطری در به حداقل رساندن تغییر شکل برشی بسیار موثر هستند زیرا

آنها برش را با عمل محوری اعضای مورب تحمل می کنند، در حالی که سازه های لوله ای معمولی, برشی را توسط خم شدن ستون های عمودی و پشت بغل های افقی (Moon، 2005) تحمل می کنند.

شبکه قطری را می توان با یک سیستم سازه ای رایج دیگر، سازه های مهار بازویی مقایسه نمود. اگر این سازه به طور مناسب طراحی شود، یک سازه مهار بازویی در کاهش ممان واژگون شدن و رانش ساختمان موثر است. با این حال، اضافه نمودن خرپاهای مهار بازویی بین هسته برشی و ستون های بیرونی, صلبیت برشی جانبی را به هسته اضافه نمی کند. بنابراین، ساختمان های بلند که سیستم های مهار بازویی را به کار می گیرند, هنوز هم نیاز به هسته هایی دارند که دارای استحکام برشی قابل توجه است. سازه شبکه قطری, صلبیت خمشی و برشی را فراهم می کند. بنابراین، بر خلاف سازه های مهار بازویی، سازه های شبکه قطری به هسته های استحکام برشی بالا نیاز ندارند, زیرا برش را می توان توسط شبکه های قطری واقع در محیط تحمل نمود، حتی اگر ساختمان های فرابلند با یک سیستم شبکه قطری بتوانند بیشتر تقویت شوند و توسط درگیر شدن هسته سفت شوند که یک سیستم شبیه به یک سیستم لوله در لوله را ایجاد می کند.

یک نمونه اولیه از سازه شبکه قطری-مانند امروزی, ساختمان IBM 1963 در پیتسبورگ است. با ارتفاع ساختمان 13-طبقه ای خود، این ساختمان توجه زیادی را توسط معماران و مهندسان به خود جلب نکرد، و به عنوان یک سیستم سه بعدی طراحی نشد, همانطور که در حال حاضر انجام شده است. در اوایل دهه 1980, رقابت Humana Headquarters، یک سازه شبکه قطری توسط Sir Norman Foster پیشنهاد شد. با این حال، برنده در آن زمان یک ساختمان تاریخی از سبک پست مدرن طراحی شده توسط Michael Graves بود. فقط اخیراً ساختمان های بلند شبکه قطری قابل توجه راه اندازی شده است. نمونه ها عبارتند از 30 St. Mary Axe در لندن- که همچنین به عنوان Swiss Re Building شناخته می شود (شکل 9) - و Hearst Headquarters در New York ، هر دو توسط Sir Norman Foster, و Guangzhou Twin Towers in Guangzhou توسط Wilkinson Eyre. یکی دیگر از ساختمان های بلند فوق العاده در حال حاضر طراحی شده توسط Skidmore,

Owings و Merrill , Lotte Super Tower در کره جنوبی است، که از یک نمای چند وجهی در شبکه قطری استفاده می کند.

در حالی که شبکه های قطری ارائه شده تا کنون, سازه های فولادی هستند، که به وضوح بیانگر شبکه های قطری منظم آنها در نماهای آنهاست، روش طراحی جدید دیگر از بتون آرمه استفاده می کند که ابرازات زیبایی معماری جدید متفاوت از موارد تولید شده توسط سازه های فولادی را تولید می کند. هر دو ساختمان COR در میامی (شکل 10) Chad Oppenheim Architecture و YsraelSeinuk of YAS Consulting Engineers و ساختمان O-14 در دبی (شکل 11) توسط معماری RUR, از شبکه های قطری بتن آرمه به عنوان سیستم های مقاوم در برابر بار جانبی اصلی آنها استفاده می کند. با توجه به ویژگی های بتن، الگوهای شبکه قطری سازه ای، که به طور مستقیم به عنوان زیبایی شناسی نمای ساختمان بروز می یابند، در این ساختمان ها, متحرک و نامنظم هستند و متفاوت از ویژگی های صریح و بکر شبکه های قطری فولادی می باشند.

شکل 9: *30 Mary Axe طبقه* تبر در طول ساخت و ساز (عکس از John E. Fernadez)

انواع دیگر سیستم های مقاوم در برابر بار جانبی در رده سازه های بیرونی شامل خرپاهای فضایی، سوپر چارچوب ها و اسکلت خارجی می شوند. اینها گاهی اوقات برای ساختمان های بلند استفاده می شوند. سازه های خرپای فضایی, لوله های مهاربندی شده اصلاح شده با قطرهای متصل کننده بیرونی به داخل هستند. در یک سازه لوله مهاربندی شده معمول، تمام قطرها، که اعضای وتر – ستون های گوشه ای عمودی کلی را اتصال می دهند, در صفحه موازی با نماها واقع شده اند. با این حال، در خرپاهای فضایی، برخی قطرها به داخل ساختمان نفوذ می کنند. مثالها عبارتند از Bank of China Tower سال 1990 توسط I. M. Pei در هنگ کنگ.

یک سوپرچارچوب متشکل از مگاستون های تشکیل دهنده چارچوب های مهاربندی شده با ابعاد بزرگ در گوشه های ساختمان است، که توسط خرپاهای چند طبقه در حدود هر 15 تا 20 طبقه مرتبط می شوند. مفهوم سوپرچارچوب را می توان به روش های مختلف برای ساختمان های بلند، مانند Parque Central Complex 56 Towers-طبقه در کاراکاس، ونزوئلا و 168 World Trade Center-طبقه پیشنهادی توسط Fazlur Khan در سال 1982 (Ali ، 2001؛ Iyengar، 1986) استفاده نمود.

شکل 10: ساختمان COR (عکس از Chad Oppenheim and dbox)

در سازه های اسکلتی خارجی، سیستم های مقاوم در برابر بار جانبی در خارج خطوط ساختمان دور از نماهای خود قرار می گیرن. مثالها عبارتند از Hotel de las Artes در بارسلونا. با توجه به ویژگی های ترکیبی سیستم، این به عنوان یک شناسه اولیه ساختمان عمل می کند – که یکی از نقش های اصلی نماهای ساختمان در موارد کلی است. با توجه به محل آن در بیرون از خط ساختمانی, ضد حریق بودن این سیستم یک مسئله جدی نیست. با این حال، انبساط / انقباض حرارتی این سیستم، در معرض آب و هوای همیشه در حال تغییر در فضای باز، و پل های حرارتی سیستمیک باید به دقت در طراحی در نظر گرفته شوند.

استراتژی های میرایی برای سیستمهای سازه ای

جهت تکامل سیستم های سازه ای ساختمان بلند، بر اساس مفاهیم سازه ای جدید با مصالح به تازگی اتخاذ شده با مقاومت بالا و روش های ساخت، به سمت بهره وری افزوده بوده است. در نتیجه، سیستم های سازه ای ساختمان بلند, بسیار سبک تر از نمونه های پیشین شده است. این جهت تکامل سازه ای به سمت سبکی، با این حال، اغلب باعث مشکلات حرکت سازه ای جدی - در درجه اول به علت حرکت ناشی از باد شده است.

از نظر خواص مصالح سازه ای، با توجه به تاخیر در سختی مصالح در مقایسه با قدرت مصالح، خدمات دهی سازه به طور بالقوه به یک عامل حاکم در طراحی ساختمان بلند تبدیل شه است, زمانی که مصالح با مقاومت بالا استفاده می شوند. به عنوان مثال، امروزه، فولاد سازه ای از 170 تا 690 مگاپاسکال در دسترس (24-100 KSI) است. با این حال، ماژول الاستیسیته آن تقریبا بدون توجه به تغییر در قدرت آن یکسان باقی مانده است. تغییر فرایند تولید یا عملیات حرارتی بر قدرت آن تاثیر می گذارد, اما نه بر مدول الاستیسیته. با توجه به بتن، افزایش در استحکام آن منجر به افزایش در مدل الاستیسیته و البته افزایش شکنندگی آن می شود. با این حال، این افزایش در مدول الاستیسیته در مقایسه با افزایش در قدرت (استحکام) نسبتا کوچک است. بنابراین، سازه های سبک تر تولید شده توسط مصالح با مقاومت بالا می توانند موجب مشکلات حرکت شود.

کنترل این حرکت سازه ای باید با توجه به بارهای استاتیک و دینامیک و همچنین بارهای پویا در نظر گرفته شود. در مقابل اثر استاتیک بارهای باد، سازه های سخت تر, جابجایی جانبی کمتر را تولید می کنند. با توجه به اثر پویای

بارهای بادی، نه تنها پاسخ بادگیر بلکه پاسخ سرتاسر باد سازه باید در نظر گرفته شود. به طور کلی، در ساختمان های بلند، ارتعاش جانبی در جهت سراسری- باد ناشی از گردابه نسبت به جهت بادگیر مهم تر است.

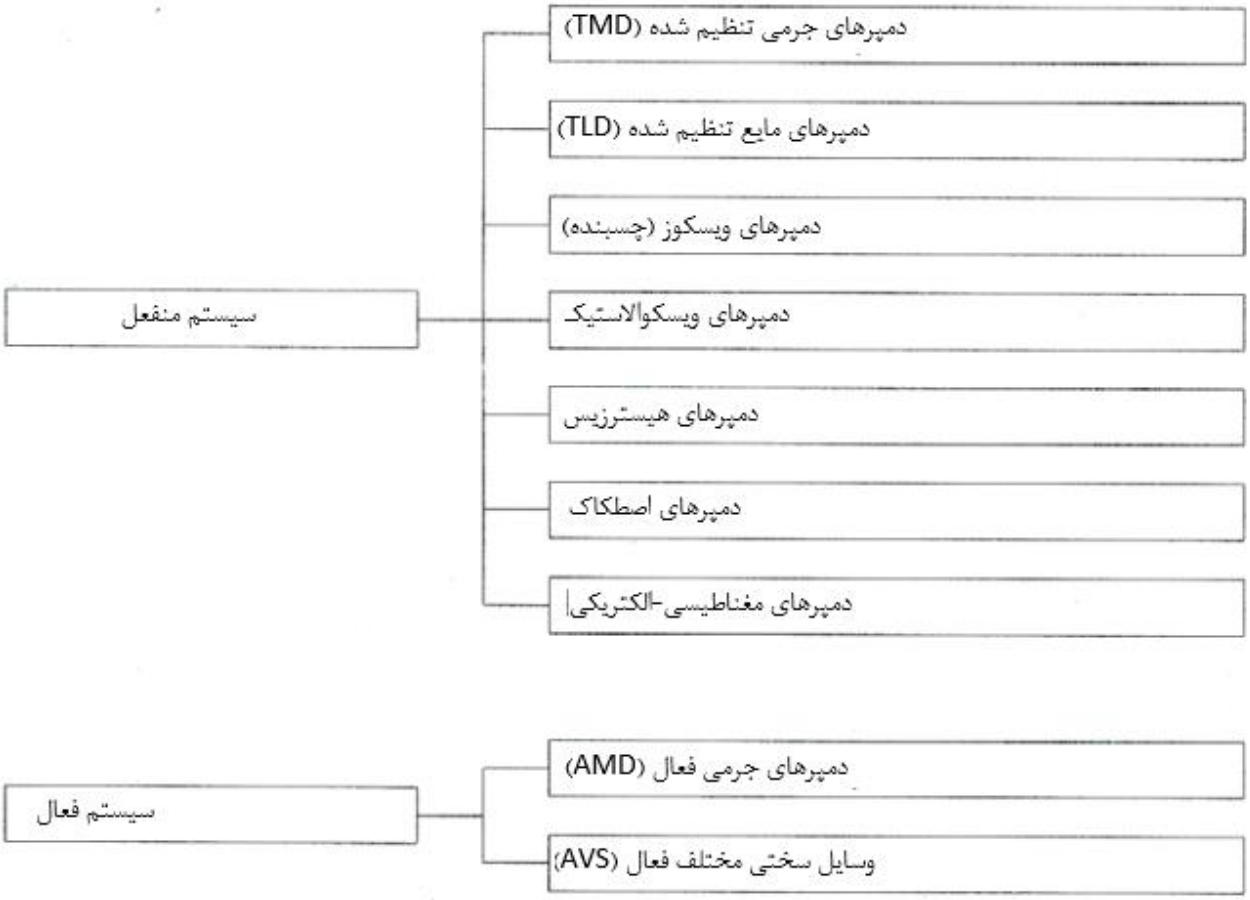
شکل 11: ساختمان O-14 (عکس از Jesse Reiser, RUR Architecture)

با توجه به هر دو جهت، سازه ها با میرایی بیشتر, شدت ارتعاش را کاهش می دهند و ارتعاش را سریع تر تلف می کنند. با توجه به ارتعاش در جهت سراسری باد، یک سازه سخت تر, احتمال وضعیت قفل شدن را کاهش می دهد زیرا زمانی که فرکانس اساسی یک سازه افزایش می یابد، سرعت باد که باعث وضعیت قفل شدن می شود نیز افزایش می یابد. از آنجا که جهت طبیعی تکامل سازه ای به سمت سبکی به احتمال زیاد در آینده معکوس نمی شود، سفتی بیشتر و ویژگی های میرایی باید حداقل یک مقدار مینیمم از مصالح (Moon، 2005) به دست آیند.

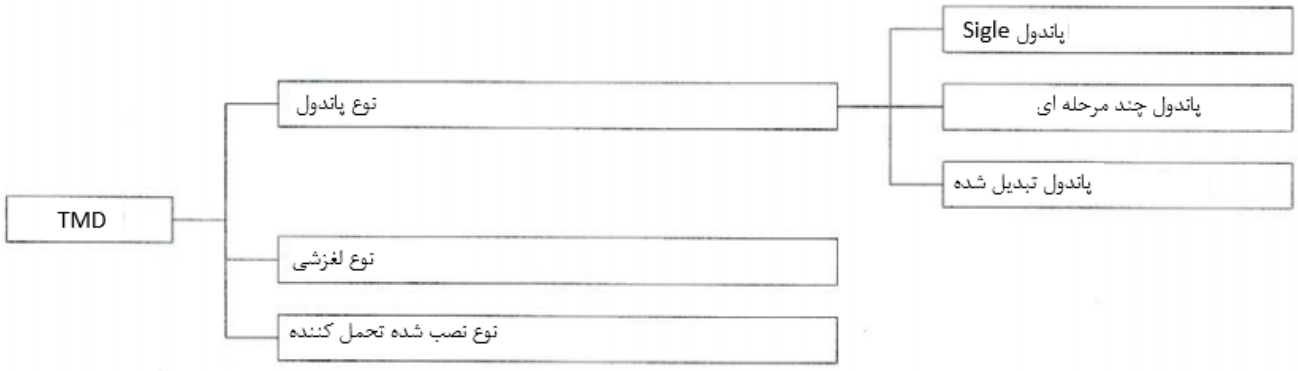
دستیابی به سختی بیشتر در ساختمان های بلند به پیکربندی سیستم های سازه ای اولیه مربوط می شود که در بخش های قبلی مورد بحث قرار گرفت. به عنوان مثال، روندهای سازه ای اخیر از قبیل لوله ها، شبکه های قطری و سازه های مهار بازویی پشتیبانی شده- هسته به طور کلی سختی بسیار بالاتری را نسبت به سازه های چارچوب

صلب سنتی کسب می کنند. کسب میرایی بیشتر نیز به انتخاب سیستم های سازه ای اولیه و مصالح مرتبط است. با این حال، میرایی به دست آمده توسط سازه اولیه کاملاً نامشخص است تا زمانی که ساخت و ساز ساختمان تکمیل شود. افزایش دقیق تر و قابل اعتماد در میرایی، برای حل و فصل مشکلات حرکت ساختمان بلند را می توان توسط نصب دستگاه های میرایی کمکی در سیستم سازه ای اولیه به دست آورد. اثر چنین میرایی را می توان نسبتاً با دقت برآورد نمود. بنابراین، هنگامی که مشکلات لرزش شدید ناشی از باد انتظار می رود، نصب دستگاه های میرایی کمکی می تواند یک راه حل قابل اعتماد باشد.

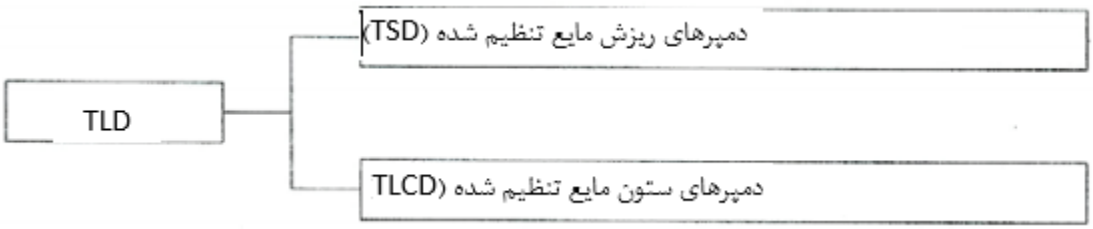
استراتژی های میرایی مختلف به منظور کاهش اثر بارهای باد اعمال شده برای ساختمان های بلند به کار می روند. آنها را می توان به دو دسته تقسیم نمود، سیستم های فعال (اکتیو) و منفعل (پسیو). سیستم های منفعل دارای ویژگی های ثابت هستند، و در جهت عمل آنها به صورت در نظر گرفته شده، آنها به انرژی نیاز ندارند، در حالی که سیستم های فعال به یک "محرک" و یا مکانیزم "کنترل فعال" با تکیه بر یک منبع انرژی برای تغییر خواص سیستم در برابر بارهای در حال تغییر نیاز دارند. بنابراین، سیستم های فعال، به طور کلی، موثر تر از سیستم های منفعل هستند. با این حال، با توجه به اقتصاد و قابلیت اطمینان آنها، سیستم های منفعل معمولاً بیش از سیستم های فعال در سازه های ساختمانی استفاده می شوند. انواع مختلف سیستم های میرایی کمکی در شکل 12 خلاصه شده است.



شکل 12. سیستم های میرایی کمکی برای ساختمان های بلند



شکل 13. دمپرهای جرمی تنظیم شده



شکل 2-13 دمپرهای مایع تنظیم شده

سیستم های منفعل

سیستم میرایی منفعل می توانند بیشتر به دو دسته زیر تقسیم شوند: (1) سیستم های میراکننده مبتنی بر مصالح اتلاف کننده انرژی مانند میراگرهای ویسکوز و دامپرهای ویسکو-الاستیک، و (2) سیستم های جرمی کمکی برای تولید نیروهای اینرسی مقابله کننده مانند دامپرهای جرمی تنظیم شده (TMD) و دامپرهای مایع تنظیم شده (TLD).

سیستم های میراکننده مبتنی بر مصالح اتلاف کننده انرژی به طور کلی به عنوان بخش های جدایی ناپذیر از سیستم های سازه ای اولیه در مکان های بهتر نصب می شوند و باعث کاهش حرکت پویای ساختمان های بلند می شوند. نیروی میرایی در یک دمپر چسبناک و یا دمپر ویسکو-الاستیک وابسته به نرخ زمانی تغییر در تغییر شکل است. میرایی از طریق تغییر فاز بین نیرو و جابجایی انجام می شود. یک مثال از میراگرهای ویسکوز، که به عنوان بخشی جدایی ناپذیر از اعضای مهاربندی نصب می شوند، را می توان در Torre Mayor در Mexico City یافت - بلندترین ساختمان در امریکای لاتین در حال حاضر، و دامپرهای ویسکو-الاستیک در World Trade Center Towers در نیویورک نصب شدند. انواع دیگر سیستم های میراکننده که در آن مکانیزم میرایی از طریق اتلاف مستقیم انرژی سیستم صورت می گیرد شامل میرایی هیسترتیک و میرایی اصطکاک می شود.

یک TMD از جرم بزرگ تولیدکننده نیروی اینرسی مقابله کننده همراه با دستگاه های مکانیکی نسبتا پیچیده تشکیل شده است که عملکرد در نظر گرفته شده جرم را اجازه می دهد و حمایت می کند. فرکانس جرم TMD به طور کلی به فرکانس بنیادی سازه اولیه تنظیم می شود. بنابراین، هنگامی که حالت بنیادی سازه اولیه تحریک می شود، جرم TMD خارج از فاز با سازه اولیه نوسان می کند و نیروی اینرسی مقابله کننده را تولید می کند. یک

سیستم TMD، واقع در نزدیکی بالای ساختمان برای بهترین عملکرد خود، در یک اتاق نصب می شود که معمولاً در دسترس عموم قرار نمی گیرد، همانند موارد TMDهای نوع کشویی نصب شده در John Hancock Building در Boston and the Citicorp Building درNew York . با این حال، TMD نوع-پاندول نصب شده در برج Taipei 101 به عنوان یک عنصر تزئینی در داخل ساختمان استفاده می شود که همچنین علاقه بازدید کنندگان را جذب می کند.

TLD، مانند دمپرهای ریزش مایع تنظیم شده (TSD)، از مواج نمودن توده آب به عنوان یک تولیدکننده نیروی اینرسی مقابله کننده استفاده می کنند. بنابراین، این سیستم را می توان با استفاده از منبع آب موجود در ساختمان های بلند، از قبیل یک استخر یا مخزن آب واقع در نزدیکی بالای یک ساختمان طراحی نمود. در یک TSD، فرکانس های ریزش مایع توسط تنظیم ابعاد ظرف نگهداری آب و عمق آب تنظیم می شوند. نوع دیگری از TLD تنظیم شده, دمپرهای ستون مایع (TLCD) است که از یک ظرف U شکل استفاده می کند. TMD و TLD بیشتر به صورت نشان داده شده در اشکال 1-13 و 2-13 به ترتیب طبقه بندی می شوند.

سیستم های فعال

Connor (2003), سیستم کنترل سازه ای فعال را به عنوان "یک سیستم تعریف می کند که دارای توانایی تعیین وضعیت کنونی سازه، تصمیم گیری بر اساس مجموعه ای از اقدامات که این حالت را به یک حالت مطلوب تر تغییر خواهد داد، و انجام این اقدامات با یک شیوه کنترل شده و در یک زمان دوره کوتاه است. "در حالی که برخی از سیستم های منفعل، مانند TMDها یا TSDها، فقط برای یک محدوده باریک از شرایط بارگذاری موثر هستند، سیستم های فعال می توانند به طور موثر در یک محدوده بسیار گسترده تر عمل نمایند و آنها یک نوع پیشرفته تر از فن آوری های عملکرد-محور کارکردی در معماری هستند. نمونه ها, دامپرهای جرمی فعال (AMD) و دستگاه های سختی متغیر فعال (AVSD) می باشند.

AMDها در ظاهر شبیه به TMDها هستند، اگر چه لرزش یک ساختمان توسط یک سنسور، توان کنترل ارتعاش بهینه محاسبه شده توسط یک کامپیوتر ضبط می شود و جنبش ساختمان توسط جابجایی یک جرم قابل حرکت با

یک محرک کاهش می یابد. AVSDها به طور مداوم سختی ساختمان را برای حفظ فرکانس ساختمان دور از فرکانس نیروهای خارجی، از جمله زلزله ها، برای جلوگیری از شرایط تشدید تغییر می دهند. اگر چه مسائل هزینه-محور بودن و قابلیت اطمینان آنها, محدودکننده استفاده از سیستم های فعال در حال حاضر است، با تحقیقات بیشتر، آنها پتانسیل بسیار زیادی برای برنامه های آینده دارند.

تحولات اخیر در فرم ساختمان های بلند

جهت تکامل سیستم های سازه ای ساختمان بلند به طور موثر به سوی افزایش سختی جانبی در برابر بارهای جانبی- مقدمتاً بارهای باد بوده است. به منظور به دست آوردن سختی جانبی لازم، در ابتدا چارچوب های مهاربندی شده و MRFs و به دنبال آن سازه های لوله ای، سازه های مهار بازویی پشتیبانی شده-هسته ای، و اخیراً سازه های شبکه قطری معرفی شدند. روابط متقابل بین این تحول سازه ای و زیبایی شناسی معماری همراه, شایسته بحث و بررسی است. چندین جهت معاصر استراتژی های طراحی از نظر تولید اشکال جدید "خلاقانه"، مانند آیرودینامیک، پیچ خورده، و دیگر اشکال در زیر بحث شده اند.

تحول سازه ای و ابراز معماری

عظمت ساختمانی ذاتی آسمان خراش ها که از مقیاس آنها حاصل می شود, ابراز معماری آنها در هر زمینه شهری که در آن آنها افزایش یافته است, بسیار چشمگیر می سازد. بنابراین، ساخت هر ساختمان بلند به مطالعات دقیق بر روی کفایت زیبایی سازه جدید در درون بافت شهری موجود نیاز دارد. برخی از سیستم های سازه ای برای ساختمان های بلند دارای اثرات مهم در زیبایی شناسی ساختمان بوده اند، در حالی که دیگران فقط اثرات جزئی داشته اند.

در چارچوب های های سنتی مهاربندی شده، مهارها - ارائه دهنده سختی جانبی اصلی - به طور کلی در هسته های داخلی محدود شد، و تنها در خدمت عملکرد سازه ای به کار گرفته می شود. در نتیجه، هیچ ابراز زیبایی از این مهاربندی های تا زمان ظهور سازه های لوله ای مهاربندی شده-بیرونی مانند John Hancock Center در شیکاگو در پی بوده است.

در سازه های مهار بازویی، یک سیستم مقاوم در برابر بار جانبی, از هسته معمولی به ستون های محیط ساختمان از طریق مهارهای بازویی که آنها را اتصال می دهد گسترش می یابد. این پیکربندی اولیه اغلب به سوپرستون های محیطی و / یا خرپاهای کمربندی در سطوح مهار بازویی نیاز دارد و این عناصر سیستم مهار بازویی گاهی اوقات با زیبایی شناسی ساختمان ترکیب می شود. به عنوان مثال، First Wisconsin Center in Milwaukee به وضوح بیانگر خرپاهای کمربندی در نما در سطوح مهار بازویی به عنوان یک عنصر ساختمان زیبایی است.

سازه های لوله ای، از جمله سوپرچارچوب ها و سازه های شبکه قطری اخیر، اجزای مقاوم در برابر بار جانبی عمده خود را در پیرامون های ساختمان قرار می دهند که در آن نماهای ساختمان، سلطه سازه ای را در بیان ساختمان ایجاد می کند. این مجاورت ناشی از عملکرد به طور طبیعی به یک رویکرد طراحی یکپارچه بین سیستم سازه ای و سیستم نما منجر می شود. بنابراین، در ساختمان های بلند که این نوع از سیستم های سازه ای را به کار می گیرند، اجزای فن آوری و اجزای معماری نماهای ساختمان, جدا نشدنی هستند، که یکی دیگری را تکمیل می کند. این شرایط نیاز به همکاری بسیار صمیمی بین معماران و مهندسان دارد.

سازه های لوله ای چارچوب بندی شده و لوله ای همراه، با عناصر سازه ای متراکم عمود بر نماهای ساختمان، به خوبی با معماری مدرن دهه 1960 و دهه 1970 پیش رفتند که در درجه اول از موارد عمودی و افقی خالص تشکیل شده است. در مقابل، در موقعیت های شهری معاصر، سازه های بلند شبکه قطری کاملاً بی شباهت به همسایگان بلند خود هستند. در حالی که بسیاری از تصمیم گیری زیبایی شناسی معاصر به طور قابل ملاحظه ای توسط داوری های بصری ذهنی هدایت شدند، استفاده از سازه های شبکه قطری به عنوان یک نوآوری مطرح می شود که نیاز به یک همکاری بین منافع فنی و ترکیبی دارد. این سازه های بیرونی می توانند یک نوع زیبایی شناسی، به اصطلاح بیان سازه ای تشریح شده توسط Fazlur Khan و دیگران را ایجاد کنند (؛ Billington، 1983 Ali، 2001). با این حال، مفهوم بیان سازه ای در حال حاضر با ظهور اشکال دیگر بیان زیبایی در حال حاضر عقب نشینی نموده است. سیستم شبکه قطری, همچنان یک استثنا باقی مانده است.

ابراز ناحیه ای

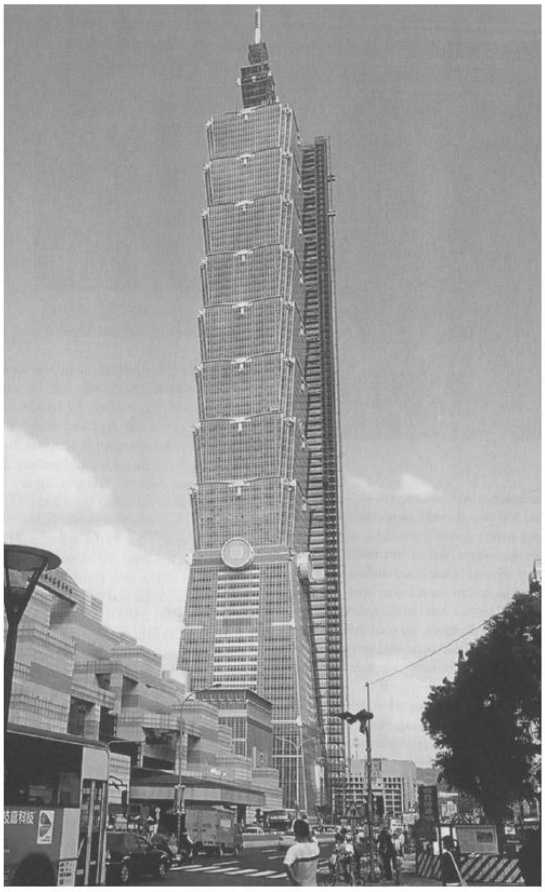
همانطور که قبلاً بحث شده است، تنظیم فعال ترین توسعه ساختمان بلند از شمال امریکا به آسیا در دهه گذشته تغییر یافته است. قابل توجه ترین روند ساختمان های بلند ساخته شده در کشورهای مختلف آسیایی این است که آنها به عنوان انگیزه اصلی طراحی, از سنت های معماری و فرهنگی منطقه خود استفاده می کنند. این روند را می توان به راحتی از ساختمان های بلند اخیر قابل توجه مانند Jin Mao Building در Shanghai, Petronas Towers در Kuala Lumpur (شکل 14)، Landmark Tower در Yokohama ، و Taipei 101 Tower در Taipei (شکل 15) دید. پشت تصاویر سنتی, محصولات فن آوری معاصر مانند سازه های لوله ای در مورد Landmark Tower و یا سازه های مهار بازویی هسته ای پشتیبانی شده در موارد Jin Mao Building و Taipei 101 Tower قرار دارد. حتی اگر یک سطح معینی از تنوع در این روند طراحی منطقه ای وجود داشته باشد، این مسیر جدید به طور کلی معماری زمینه ای را تولید می کند.

شکل 14: برج پتروناس (عکس از Abbas Aminmansour)

فرم آیرودینامیک

در رابطه با سختی جانبی فزاینده در برابر بادها، یک روند اخیر در عمل طراحی ساختمان بلند, بهبود ویژگی های آیرودینامیکی ساختمان های بلند به منظور کاهش نیروهای باد حمل شده توسط آنهاست. این را می توان توسط ملاحظات مختلف توده ها و اشکال ساختمان به دست آورد. یک نمونه اولیه از یک شکل آیرودینامیکی را می توان از پروژه uckminster Fuller's Dymaxion یافت که در آن سپر آیرودینامیک حول یک محور مطابق با جهت باد به منظور حداقل رساندن تاثیر نیروی باد می چرخد (Abalos و Herreros، 2003). نمونه های به کار گرفته شده در ساختمان های بلند معاصر, گوشه پخ و یا مخروطی، اشکال ساده، اشکال مخروطی، دهانه ها از طریق یک ساختمان، و شکاف های گرد هستند. Shanghai World Financial Center و the Kingdom Center در Riyadh از یک دهانه بزرگ از میان-ساختمان در بالا همراه با یک شکل مخروطی استفاده می کند. نماهایی فرم قیف پیشنهادی Guangzhou Pearl River Tower, نه تنها برای کاهش حرکت ساختمان, باد طبیعی را می گیرد بلکه برای تولید انرژی با استفاده از باد این کار را انجام می دهد. با توجه به ماهیت این استراتژی که جرم ها و اشکال ساختمان را دستکاری می کند، این رویکرد به طور مناسب با زیبایی شناسی معماری در می آمیزد.

اشکال آیرودینامیک به طور کلی پاسخ در طول-باد و نیز ارتعاش در سراسر باد ساختمان های ناشی از حالت-گردابی توسط باد "گیج کننده" را کاهش می دهد (یعنی، با قطع حالت-گردابی و لایه مرزی در اطراف نما و ایجاد آشفتگی خفیف در آنجا). در حالی که اشکال نامنظم, چالش هایی را برای مهندسان سازه در توسعه چارچوب سازه ای مطرح می کنند، آنها می توانند در کاهش اثرات بار باد و پاسخ های ساختمان سودمند باشند. علاوه بر سبک های معماری کثرت گرای امروزی که تنوع را ترویج می نمایند، این منطق آیرودینامیک عقلانی منجر به پیچش، کاهش تدریجی، و یا دیگر اشکال ساختمان با ناپیوستگی ها و نماهای چند وجهی شده است که در چشم انداز افق شهری در حال ظهور هستند.

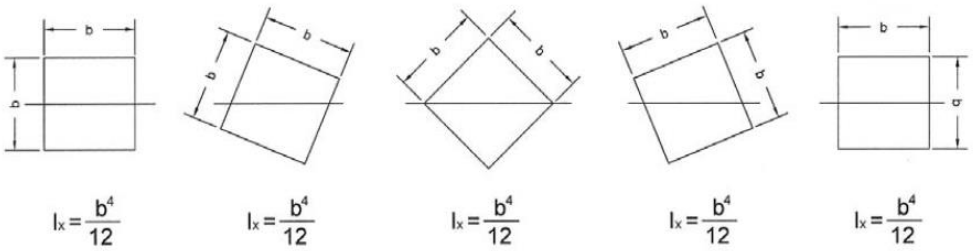


شکل 15: *Taipei 101 (عکس از Shaw Shieh Evergreen consultats Ltd)*

ظهور اشکال پیچیده

یک رویکرد جالب در طراحی معاصر ساختمان بلند, اشکال پیچ خورده است. اشکال پیچ خورده به کار گرفته شده برای ساختمان های بلند امروزی را می توان به عنوان یک واکنش به اشکال جعبه ای معماری مدرن درک نمود. در واقع، این پدیده معماری معاصر در معماری, جدید است. این قابل مقایسه با اشکال پیچیده معماری Mannerism در پایان معماری رنسانس است. برای مثال، در Cortile della Cavallerizza در Palazzo Ducale در Mantua، ستون های پیچ خورده طراحی شده Giulio Romano. این شکل پیچ خورده را می توان دوباره در طرح های ساختمان بلند امروز مانند Turning Torso، آپارتمان، برج های اداری، در مالمو، سوئد و Chicago Spire Project در Chicago پیشنهادی طراحی شده توسط Santiago Calatrava یافت.

به طور کلی، اشکال پیچیده توسط مغشوش نمودن گردابه, در کاهش پاسخ دینامیکی گردابی ناشی از ساختمان های بلند موثر هستند. از لحاظ پاسخ استاتیک، اشکال پیچ خورده, مفید نیستند. اگر مقاطع جامد در نظر گرفته شوند، ممان اینرسی یک طرح مربعی, بدون در نظر گرفتن زاویه پیچ خورده آن (شکل 16) همان است. بنابراین، جابجایی های ناشی از خمش نیز یکسان هستند. با این حال اگر چارچوب های نوع ساختمانی در نظر گرفته شوند، سختی جانبی اشکال پیچیده به بزرگی اشکال مستقیم نیست.

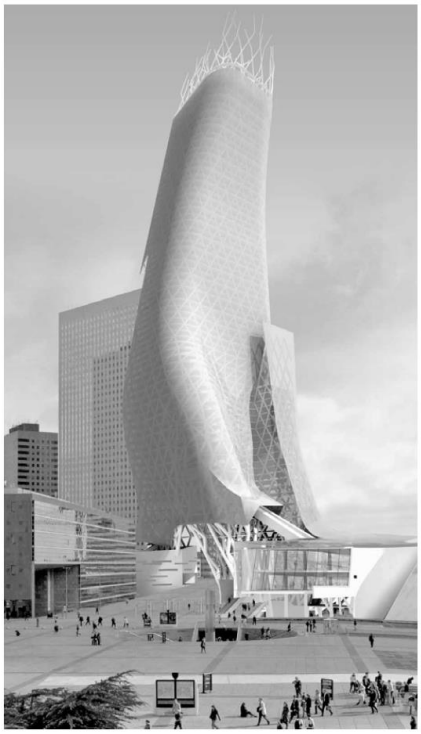


شکل 16: ممان اینرسی اشکال پیچ خورده

اشکال آزاد

تعداد پروژه های ساختمان بلند شکل آزاد (عاری از شکل) امروزه به سرعت در حال افزایش است. در گذشته، تنها چند پروژه ساختمان بلند شکل آزاد توسط برخی از معماران مانند eter Eisenman و Frank Gehry پیشنهاد شد، اما آنها هرگز ساخته نشدند. با این حال، در چارچوب طراحی لوله، نمونه های سازه شکل آزاد, Sears Tower و One Magnificent Mile Building ، هر دو در شیکاگو هستند که یک سیستم لوله همراه است (Ali، 1990) نمونه. امروزه، بسیاری از ساختمان های بلند شکل-آزاد طراحی شده اند و در واقع ساخته شده اند. انجام طرح های سازه ای و تجزیه و تحلیل های ساختمان های بلند شکل-آزاد نامنظم در گذشته کاملا یک کار دشوار بود. هم اکنون این کار را می توان به راحتی با توسعه طراحی سازه های پیچیده و تجزیه و تحلیل با استفاده از نرم افزار های کامپیوتری انجام داد. با تکیه بر پشتیبانی قدرتمند مهندسان سازه ای معاصر، برخی از معماران, راه حل های طراحی خود را در فرم های آزاد امکان پذیر یافته اند. این معماران شامل Daniel Libeskind, Zaha Hadid و Thom Mayne of Morphosis می شوند اگرچه سیستم های سازه ای حمایتی در پشت اشکال آزاد مهار بسته به شرایط خاص-پروژه متغیر هستند، شبکه های قطری اغلب به عنوان سازه های اولیه برای ساختمان های بلند

شکل-آزاد به کار می روند, همانطور که می توان از Daniel Libeskind’s Fiera Milano Tower and Morphosis’ Phare Tower in La Defense مشاهده نمود (شکل 17). دیگر ساختمان های بلند (شاعرانه، سینمایی و کج) شکل-آزاد معاصر عبارتند از Hadid’s Dancing Tower in Dubai and Peter Pran’s Oil Company Headquarters in Jeddah (ساخته نشده, شکل 18) and The Sail @ Marina Bay in Singapore (شکل 19).



تصویر 17: برج Phare (عکس از Unibail- Morphosis)

چشم اندازهای آینده

توسعه فن آوری های جدید بر اساس لزوم رخ می دهد، و تکنولوژی به سمت بهره وری ارتقایافته تکامل می یابد. توسعه سازه های چارچوب مهاربندی شده برای تولید فضاهای قابل اجاره در زمین های متراکم شهری با ساخت ساختمان های بلند در گذشته و مسیرهای تکاملی انها حتی به سوی سازه های بلندتر و کارآمد تر برای به حداکثر رساندن استفاده از زمین بیشتر از نظر اقتصادی در این مسیر قرار دارند. ساختمان های بلند، که از برج های اداری

10 طبقه در اواخر قرن نوزدهم آغاز شدند، به ابرسازه ها مانند برج دبی تکامل یافتند که بیش از 150 طبقه است و بلندترین ساختمان در جهان در زمان اتمام آن در سال 2009 خواهد بود.

همچنان یک نیاز برای ساختمان رو به بالا وجود دارد. جمعیت ها در سراسر جهان به سرعت رشد کرده اند، و مهاجرت افراد از مناطق روستایی به شهری، در تراکم بالا به ابرشهرها منجر شده است. شهرهای متراکم تر با ابرسازه ها از نظر مصرف انرژی و کاربری زمین کارآمد تر هستند. با کوچک تر و متراکم تر شدن یک شهر، شبکه برق کوچکتر می شود، که انتقال انرژی الکتریکی را کارآمدتر می سازد. نیاز به کاهش حمل و نقل خودرو و همچنین نیاز به حمل و نقل شخصی که کمک کننده بزرگی به مشکلات مصرف انرژی کارآمد و آلودگی است. با ایجاد شهرهای متراکم تر با ساختمان های بلند، فضای سبز طبیعی تر را می توان در سطح جهان نجات داد. با این حال، فشردگی در ازدحام و از این رو تعادل باید لحاظ شود.

ایده یک ابرسازه که می تواند به عنوان یک ساختمان بلند بسیار بزرگ چند-کاربری حاوی تقریباً شهر در درون خود در نظر گرفته شود, مقوله جدیدی نیست. در سال 1956، Frank Lloyd Wright, Mile-High Illinois Tower را در شیکاگو پیشنهاد نمود. این برج از پنج منطقه عمودی که هریک دارای 100 طبقه بودند تشکیل شده بود. پروژه های ابرسازه اخیرا پیشنهادشده شامل Bionic Tower در شانگهای طراحی شده توسط معماران Celaya, Pioz & Cevera Architects، Sky City 1000 در توکیو (شکل 20) و برج Holonic توسعه یافته توسط شرکتtakenaka، X-Seed 4000 در توکیو طراحی شده توسط Taisei Construction Corporation، و برج هزاره در توکیو طراحی شده توسط Norman Foster (شکل 21) می شوند.

شکل 18: روغن ستاد گروهان، ساخته نشده

(عکس از Peter Pran/ Ellerbe Becket, توسط Dan Cornish)

گستره ارتفاع این ابرسازه های به تازگی پیشنهاد شده از حدود برج Holonic بلند 600 متری تا X-Seed بلند 4000 متری است. ارتفاع یک ساختمان 500 متری, در حال حاضر توسط Taipei 101 به دست آمده است و 700 متر احتمالا به زودی توسط Burj Dubai حاصل خواهد شد. برای ابرسازه های آینده در کلانشهرها، انتظار می رود که ارتفاع ساختمان به طور مداوم در رابطه با پیشرفت ها در تکنولوژی در سیستم های سازه ای، مصالح، دستگاه آسانسور، حفاظت از حریق، بهره وری انرژی و سیستم های میرایی افزایش یابد. استراتژی های بهتر یکپارچه سازی برای به انجام رساندن آسمان خراش های با عملکرد بالا در آینده مورد نیاز هستند (Ali و Armstrong، 2007). سیستم سازه ای اولیه آینده می تواند به عنوان یک سیستم بی سابقه به تازگی توسعه یافته، و یا یک تنوع از یک سیستم موجود، و یا احتمالا یک ترکیب عمودی منطقی از دو یا چند سیستم موجود برای مرتفع تر ساختن پنداشته شود.

با توجه به سیستم میرایی کمکی، جهت اصلی تکامل آن به سمت افزایش عملکرد کنترل حرکت بوده است. علاوه بر این روند، دستگاه های میرایی در آینده، نه تنها برای اتلاف انرژی, بلکه برای تولید حرکات ساختمان مهارکننده-

انرژی استفاده خواهند شد. با توجه به افزایش علاقه در معماری پایدار که شامل طراحی با مقرون به صرفگی در انرژی می شود، انتظار می رود که تحقیق بر روی این جهت طراحی, در دانشگاه و عمل بسیار مهم شود.

یکی دیگر از جهت های پیش بینی شده، به خصوص با توجه به طراحی دستگاه های میرایی نوع-جرمی، توسعه استراتژی های صرفه جویی در فضا از طریق ادغام سیستم بین جرم دمپر و دیگر سیستم های موجود ساختمان است. برای بهترین عملکرد، دمپرهای نوع جرمی نزدیک به بالای ساختمان نصب می شوند، که از یک حیث، ارزش ترین فضای ساختمان در نزدیکی بالا را اشغال می کنند. توسط یکپارچه سازی سیستم، این فضا را می توان برای کارکرهای دیگر را ذخیره نمود. سیستم های میرایی به طور سنتی توسط طراحان به عنوان یک آیتم مکمل گران قیمت افزوده شده به یک ساختمان به منظور کاهش حرکات برای راحتی سرنشینان در نظر گرفته می شوند. برای ساختمان های بلندتر تغییردهنده چشم انداز افق در شهر، این مفهوم باید تغییر یابد. به جای در نظر گرفتن آن به عنوان چاره، در صورت لزوم، سیستم های میرایی باید به عنوان یک عنصر پایه در طراحی سازه ساختمان های بلند اندیشیده شوند و به روش های نوآورانه که در آن فضای کمی را اشغال کنند و موثر تر باشند, پیاده سازی شوند.

در نهایت، انتظار می رود که معماران و مهندسان به کاوش در مورد پتانسیل زیبایی نه تنها از سیستم های سازه ای اولیه، بلکه از سیستم های میرایی کمکی بپردازند.

تصویر 19: خلیج *Sail @ Marina (عکس از Peter Pan, NBBJ و Publicis Singapore)*

نتیجه گیری

در این مقاله, یک مرور کلی از سیستم های سازه ای برای ساختمان های بلند ارائه شده است. بر خلاف طبقه بندی های مبتنی بر ارتفاع در گذشته، یک طبقه بندی گسترده مبتنی بر سیستم (یعنی، سازه های بیرونی در مقابل سازه های داخلی) پیشنهاد شده است. سیستم های سازه ای مختلف در هر رده از طبقه بندی جدید با تاکید بر نوآوری توصیف شده اند. تکامل سیستم های سازه ای در رابطه با فرم های معماری و زیبایی شناسی، از چارچوب صلب معمولی تا سیستم اخیر دوباره تشکیل شده "خلاقانه"، ترسیم شده است. گمانه زنی ها در مورد آینده امکانات ساختمان های بلند از نقطه نظر سازه ای ساخته شده است. نتیجه گرفته شد که پدیده ساختمان بلند در مقیاس بزرگتر برای پاسخگویی به نیازهای جمعیت رو به رشد در شهرهای بزرگ آینده ادامه خواهد یافت.

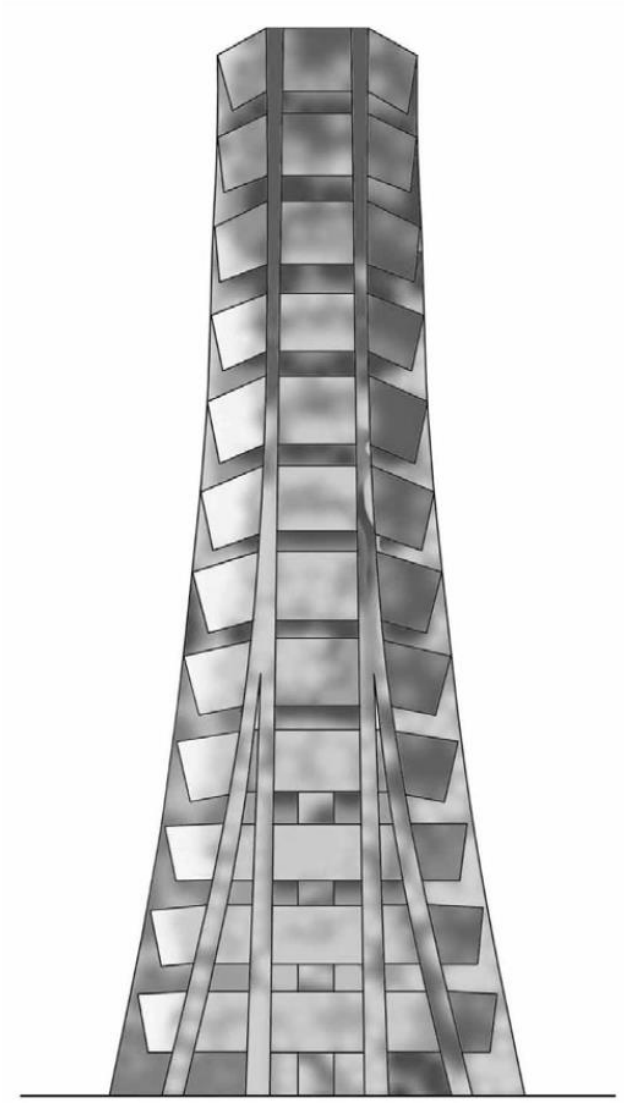
این مقاله نشان می دهد که سیستم های سازه ای, یک راه طولانی را از اواخر قرن نوزدهم, زمانی که آنها به عنوان سیستم های چارچوب بندی شده اند, درک می شدند, طی کرده اند. نیاز به ایجاد یک بانک اطلاعاتی جامع از سیستم های سازه ای برای ساختمان های بلند در سراسر جهان وجود دارد. سیستم های نوآورانه و در حال ظهور را می توان در این طرح طبقه بندی ارائه شده در این مقاله قرار داد و می تواند به طور مداوم به نفع متخصصان حرفه ای و محققان به روز نمود.

با توسعه ساختمان های به طور فزاینده بلندتر با استفاده از اعضای سبک تر، مسائل قابلیت خدمات دهی مانند نوسان جانبی، لرزش زمین، و راحتی سرنشینان باید توسط محققان بیشتر مورد ملاحظه قرار گیرد. سیستم های میراکننده مورد بحث در این مقاله می توانند در این زمینه بسیار مفید باشند. نوآوری های آینده در سیستم های میرایی منفعل و فعال مقرون به صرفه و فن آوری های مرتبط بسیار مطلوب می باشند.

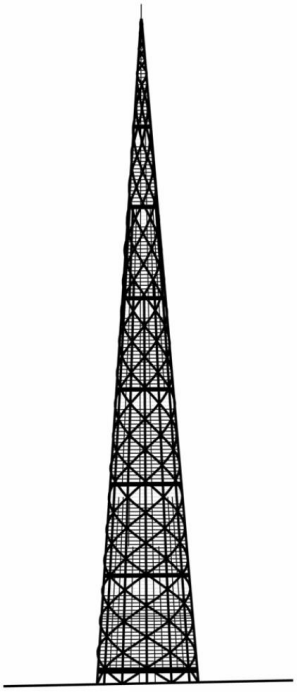
تحقیقات بیشتر برای سیستم های سازه ای بیرونی که از لحاظ فنی کارآمدتر هستند, مورد نیاز است همانطور که در جدول 2-2 و شکل 2-4 دیده می شود. با این حال، قرار دادن چارچوب های سازه ای در محیط دارای برخی از اشکالات از دیدگاه معماری است. راه حل های سازه ای برای غلبه بر این مشکلات بسیار مورد نیاز است. سیستم های سازه ای کارآمد در مناطق لرزه ایت نیز نیاز به بررسی بیشتر دارند.

سیستم های سازه ای نوآورانه برای نسل بعدی ساختمان های پایدار فوق العاده-بلند و ابرسازه ها باید توسعه یابد. یک چالش عمده برای سازه های بلند چند-کاربری, منطبق نمودن آنها با تغییرات احتمالی در اشغال در سطوح مختلف طبقه است که به خواسته های موجود در بازار املاک و مستغلات پاسخگو باشد.

در نهایت، سیستم های جدیداً در حال تحول "خلاقانه" باید به طور جدی از نظر بهره وری سازه ای و اقتصاد آنها بررسی شوند. تجزیه و تحلیل هزینه چنین سیستم های نامنظمی را می توان برای تعیین کارایی نسبی اقتصادی این سیستم ها با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف هندسی انجام داد. این مطالعات نشان می دهند که آیا پیچیدگی های دخیل در این ساختمان ها ساخت و ساز مداوم آنها را در درون محدودیت منابع محدود توجیه می کنند یا خیر.



تصویر 20: Sky City 1000



شكل 21: برج Millenium

References

Abalos, I., & Herreros, J. (2003). *Tower and Office: From Modernist Theory to Contemporary Practice.* Cambridge, MA: MIT Press.

Ali, M.M. (1990). Integration of structural form and esthetics in tall building design: the future challenge. In L.S. Beedle & D. Rice (Eds.), *Proceedings of the 4th World Congress of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Tall Buildings-2000 and Beyond.* Chicago, IL: Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 3-12.

Ali, M.M. (2001). *Art of the Skyscraper: The Genius of Fazlur Khan.* New York: Rizzoli.

Ali, M.M. (2005). The skyscraper: epitome of human aspirations. In *Proceedings of the 7th World Congress of the Council on Tall Buildings and Urban Habitat: Renewing the Urban Landscape* [CD-ROM]. Chicago, IL: Council on Tall Buildings and Urban Habitat.

Ali, M.M., & Armstrong, P.J. (Eds). (1995). *Architecture of Tall Buildings.* Council on Tall Buildings and Urban Habitat Monograph. New York: McGraw-Hill.

Ali, M.M., & Armstrong, P.J. (2007). Strategies for integrating sustainable tall buildings. In *Proceedings of the AIA Convention 2007: Growing Beyond Green.* Washington, DC: American Institute of Architects.

Billington, D.P. (1983). *The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Corrin, M.E., & Swensson, K.D. (1992). Eccentrically braced frames: Not just for seismic design. *Modern Steel Construction,* 33-37.

Connor, J.J. (2003). *Introduction to Structural Motion Control.* New York: Prentice Hall.

Huxtable, A.L. (1984). *The Tall Buildings Artistically Reconsidered: The Search for a Skyscraper Style.* New York: Pantheon Books.

Iyengar, H. (1986). Structural and steel systems. *Techniques and Aesthetics in the Design of Tall Buildings,* Bethlehem, PA: Institute for the Study of High-Rise and Habitat, Lehigh University, 57-69.

Khan, F.R. (1967). The John Hancock Center. *Civil Engineering, 37*(10), 38-42.

Khan, F.R. (1969). Recent structural systems in steel for high-rise buildings. In *Proceedings of the British Constructional Steelwork Association Conference on Steel in Architecture.* London: British Constructional Steelwork Association.

Khan, F.R. (1972). Influence of design criteria on selection of structural systems for tall buildings, In *Proceedings of the Canadian Structural Engineering Conference.* Toronto: Canadian Steel Industries Construction Council, 1-15.

Khan, F.R. (1973). Evolution of structural systems for high-rise buildings in steel and concrete. In J. Kozak (Ed.), *Tall Buildings in the Middle and East Europe: Proceedings of the 10th Regional Conference on Tall Buildings-Planning, Design and Construction.* Bratislava: Czechoslovak Scientific and Technical Association.

Khan, F.R., & Sbarounis, J. (1964). Interaction of shear walls and frames in concrete structures under lateral loads. *Structural Journal of the American Society of Civil Engineers, 90*(ST3), 285-335.

Kowalczyk, R., Sinn, R., & Kilmister, M.B. (Eds) (1995). *Structural Systems for Tall Buildings* (Council on Tall Buildings and Urban Habitat Monograph). New York: McGraw-Hill.

Moon, K. (2005). *Dynamic Interrelationship between Technology and Architecture in Tall Buildings.* Unpublished PhD Dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

Popov, E.P. (1982). Seismic framing systems for tall buildings. *Engineering Journal/American Institute of Steel Construction, 19*(Third Quarter), 141-149.

Schueller, W. (1986). *High-Rise Building Structure* (2nd ed). Malabar, Florida: Krieger.

Taranath, B. (1998). *Steel, Concrete, & Composite Design of Tall Buildings.* New York: McGraw-Hill.