

دانشکده فنی و مهندسی

به نام خدا





دانشکده فنی و مهندسی



درس سازه های بلند

دکتر جعفر کیوانی

سال تحصیلی ۹۸-۱۳۹۷



دانشکده فنی و مهندسی



سر فصل های درس

- ۱- مفاهیم عمومی، مبانی طراحی
- ۲- ملاحظات طراحی از دیدگاه معماری، ژئوتکنیکی و سازه ای
- ۳- فرم های ساختمانی
- ۴- سیستم های سازه ای
 - ۴-۱- قابهای مهاربندی شده (Braced Frames Structures)
 - ۴-۲- قابهای صلب (Rigid Frames)
 - ۴-۳- دیوارهای برشی (Shear Walls)
 - ۴-۴- دیوارهای برشی کوبل (Coupled Shear Walls)
 - ۴-۵- سازه های قاب - دیوار (Wall-Frame Structure)
 - ۴-۶- سازه های جداره ای یا لوله ای (Tube Structures)
 - ۴-۷- سازه های با مهار بازویی (Outrigger-Braced Structures)
 - ۴-۸- سازه های هسته ای (Core Structures)
- ۵- پایداری در سازه های بلند
- ۶- چالشهای طراحی سازه های بلند و لاغر
- ۷- طراحی سازه های بلند، طراحی اولیه و بهینه سازی



دانشکده فنی و مهندسی

منابع درس



1. Structural Analysis and Design of Tall Building, Bangale S. Taranath, B.S., McGraw Hill, 1980.
2. Wind, & Earthquake Resistant Building, B.S. Taranath, 2005.
فصل هشتم کتاب به طور ویژه درباره موضوعات مرتبط با سازه های بلند است. صص. ۷۳۱ تا ۸۷۳
3. Reinforced Concrete Design of Tall Building, B.S. Taranath, Taylor & Francis Group, 2010.
فصول هشتم و نهم کتاب درباره سازه های بلند و موضوعات مرتبط با آن است. صص. ۶۸۵ تا ۹۰۰
4. Design of Tall Building, Preliminary Design and Optimizatim, P. Jayschandran, Worcester Polytechnic Ins.
5. Design and Analysis of Tall and Complex Structures , Feng Fu.
6. Stractural Design of High Rise Building Erik Hallebrand & Wilhelm Hallebrand
7. Design of Slender Tall Buildings for Wind and Earthquake, J. Quareshi
8. Simple Analysis of Framed-Tube Structures with Multiple Internal Tubes, Kang-Kun Lee, Yew-Chaye Loo, and Hong Guan.



دانشکده فنی و مهندسی



منابع درس - ادامه

۹- سازه های بلند، برایان استفورد اسمیت و آلکس کول، ترجمه دکتر حسن حاجی کاظمی، انتشارات دانشگاه مشهد.

۱۰- سازه های ساختمان بلند، ولف گانگ شومر، ترجمه دکتر حجت عادل، انتشارات دهخدا

۱۱- طرح پایداری قابهای فولادی، **Chen** و **Lui**، ترجمه دکتر طیبی نیا.

۱۲- طرح لرزه ای سازه های فولادی، جلد چهارم، دکتر ازهری و دکتر میرقادری.

۱۳- سیستم های مقاوم سازه ای در ساختمانهای بلند، دکتر علی خیرالدین، سیما آرامش.



دانشکده فنی و مهندسی



مفاهیم عمومی، تاریخچه و مبانی طراحی

تعریف ساختمان بلند:

بلندی و کوتاهی یک مفهوم نسبی است. در عرف مهندسی، ساختمانی را بلند گویند که ارتفاع آن باعث شود تا نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله بر طراحی سازه تأثیر چشمگیری بگذارد. برخی مرز بین سازه کوتاه و سازه بلند را نیاز سازه بلند به تحلیل دینامیکی و عده ای دیگر به تحلیل $P-\Delta$ می دانند.

در ساختمانهای کوتاه، عامل تعیین کننده اندازه ی عضوهای سازه، بار ثقیلی است؛ چرا که در صورت وجود بار جانبی، تنشهای مجاز برای بار ثقیلی هر قدر باشد، برای ترکیب (بار ثقیلی + بار باد) $1/3$ افزایش می یابد. لذا، می توان سازه ای را طراحی کرد که بابت بارهای جانبی مصالح اضافه ای نیاز نداشته باشد. طراحی چنین سازه ای برای ساختمانهای کوتاه و متوسط حداکثر تا ۱۳ یا ۱۴ طبقه امکان پذیر است. البته، برای چنین طرحی عواملی نظیر نسبت H/D و نیز فاصله های ستونها تأثیرگذارند. در ساختمانهای ۲۰ طبقه به بالا عامل تعیین کننده اندازه اعضا علاوه بر بار ثقیلی، بار جانبی است و با افزایش ارتفاع، مصالح مورد نیاز به نحو آشکاری افزایش می یابد.



دانشکده فنی و مهندسی



علل و دلایل ایجاد ساختمان‌های بلند

- ۱- در گذشته انگیزه اصلی سازه‌های بلند نظیر باروهای بلند اطراف شهرها و برجهای دیدبانی، عمدتاً **دفاعی** بوده است.
- ۲- برخی از سازه‌های بلند نظیر مناره‌ها **جنبه مذهبی** داشته و بعضاً برای راهنمایی کاروانها بوده است.
- ۳- برخی از سازه‌های بلند **جنبه نمادین** و علامت تشخیص بعضی از شهرها یا ملتها بوده است، مانند مجسمه آزادی در نیویورک و برج ایفل در پاریس و برج میلاد در تهران؛
- ۴- در سده نوزدهم و نیمه اول قرن بیستم سازه‌های بلند عمدتاً با کاربرد **تجاری یا اداری** برای پاسخگویی به نیازهای متنوع مردم و جمعیت خدمات عمومی در یک ساختمان و بعضاً با کاربرد تبلیغاتی بوده است.
- ۵- با افزایش جمعیت در شهرها و ایجاد کلانشهرها در کشورهای مختلف نیاز به ساختمانهای بلند با **کاربری مسکونی** با توجه به گرانی زمین و نیاز به حفظ زمین‌های کشاورزی احساس شد. افزایش هزینه‌های بلند مرتبه‌سازی با توجه به گرانی قیمت زمین دارای توجیه اقتصادی شد.
- ۶- پیدایش **مصالح پرمقاومت** (مانند فولاد و بتن)، شناسایی **فرمهای سازه‌ای پربازده**، ابداع **آسانسور** و گسترش **ماشین‌های حسابگر** برای تحلیل سازه‌های بلند و توسعه **تکنولوژی‌های ساخت** و ساز و **ماشین‌های بالابر** برای کار در ارتفاع از علل مهم ساخت سازه‌های بلند محسوب می‌شوند.



دانشکده فنی و مهندسی



روند تغییر سازه ها از ۲۰۰ سال پیش تا کنون

Heavy and Thick Structures



Light and Thin Structures

عوامل روند تغییر سازه ها:

- استفاده از مصالح با مقاومت بالا
- ضرورت اقتصادی بودن سازه ها
- نیاز به سیستم های پیچیده و ظریف سازه ای
- پیشرفت روشهای طراحی و ابداع روشهای نوین
- ارتقای سطح تکنولوژی ساخت
- پیشرفت تکنیک های بهینه سازی
- ابداع مصالح نوین



دانشکده فنی و مهندسی



تاریخچه سازه‌های بلند

سازه‌های تاریخی مانند اهرام ثلاثه مصر، معابد یونان، تخت جمشید در ایران و تاج محل در هند از سنگ ساخته شده‌اند.

با پیدایش مصالح پرمقاومت در ۱۵۰ سال اخیر به ویژه فولاد و بتن تحولی در ارتفاع ساختمانها به وجود آمد.

در این خصوص لازم است به شاخص ازدحام پلان سازه‌ای **Structural Plan Density Index** اشاره کنیم.

سطح کل زیربنای سازه در طبقه اول / سطح کل اعضای قائم باربر سازه = (SPDI)



دانشکده فنی و مهندسی



با پیشرفت دانش سازه و تولید مصالح پرمقاومت تر این شاخص در طول زمان کاهش یافته است. برای مثال، شاخص ازدحام پلان سازه ای برای نمونه هایی از ساختمانهای تاریخی در جدول زیر آمده است.

شاخص spdi	نام سازه
٪۱۰۰	اهرام مصر
٪۵۰	تاج محل
٪۲۵	معبد سنت پیترز رم
٪۱۵	ساختمان موندنوک در شیگاگو (ساختمان ۱۶ طبقه)
۲ تا ۳٪	ساختمانهای معاصر



دانشکده فنی و مهندسی



تاریخچه سازه های بلند

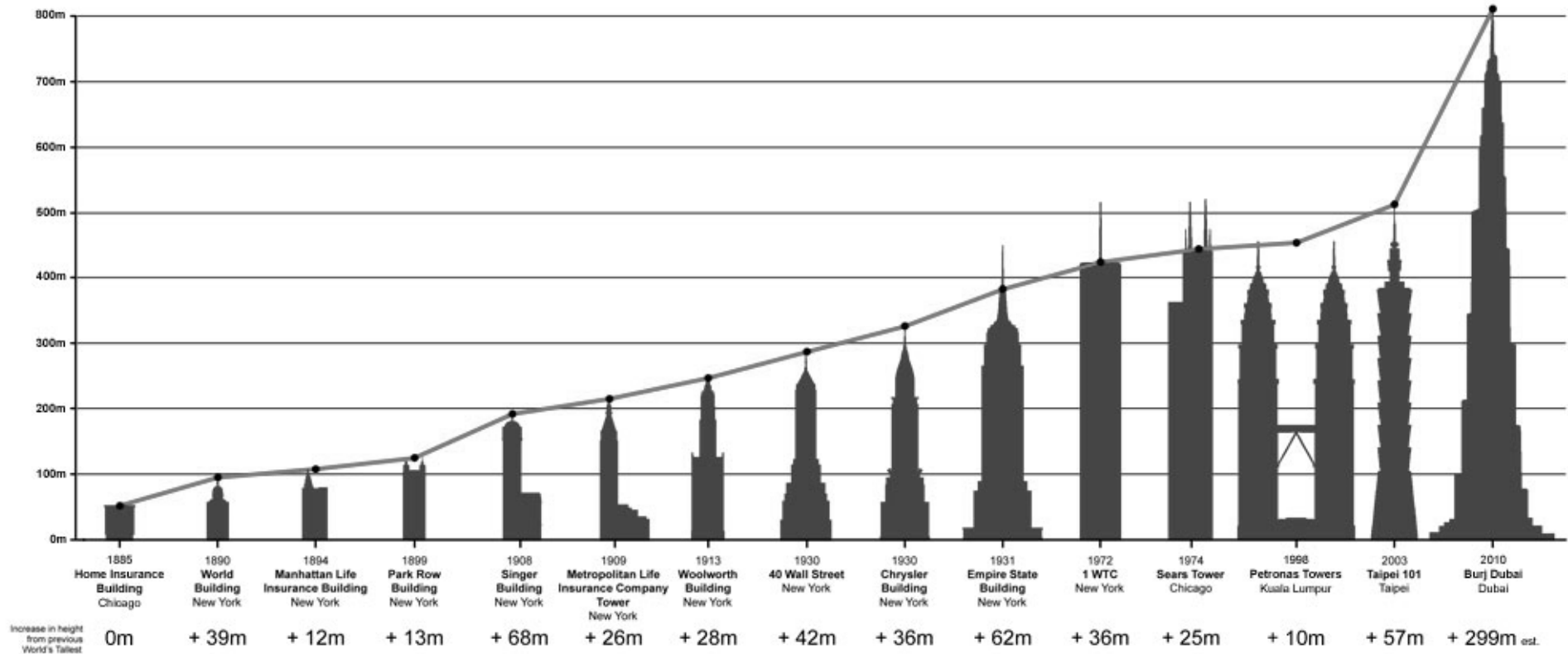
- در دوران معاصر اولین سازه بلند ساختمان ۱۱ طبقه Home Insuranc در شیکاگو بوده که در سال ۱۸۸۳ ساخته شد.
 - در سال ۱۸۹۱ **ساختمان ۱۶ طبقه موندانوک** در شیکاگو ساخته شد. در این ساختمان ضخامت دیوارهای طبقه اول ۲/۱۳ متر بود. به این ترتیب متوجه شدند که با سیستم دیوارهای برابر تا حدی می توان در ارتفاع بالا رفت. هر چه ارتفاع بیشتر شود، نسبت فضای قابل استفاده کم می شود. اینجا بود که نرخ ازدحام پلان سازه ای مطرح شد و مهندسان متوجه شدند که برای ساخت سازه های بلند به مصالح جدید و سیستم های نوین سازه ای نیازمندند.
 - در سال ۱۹۱۳، ساختمان wool worth با ۵۷ طبقه (۲۶۱ متر) با سیستم قاب مهاربندی شده در نیویورک ساخته شد.
 - در سال ۱۹۳۱، با ساخت سازه ۱۰۲ طبقه **امپایراستیت** (با ارتفاع ۳۸۱ متر) بلندمرتبه سازی به اوج خود رسید.
- در دور دوم ساخت سازه های بلند:**
- سال ۱۹۷۳، برجهای ۱۱۰ طبقه **مرکز تجارت جهانی** با ۴۱۲ متر در نیویورک ساخته شد.
 - سال ۱۹۷۴، ساختمان Sears Tower در شیکاگو با استفاده از سیستم سازه ای قابهای محیطی یا لوله دسته شده **Bundled Tube** به ارتفاع ۴۴۲ متر ساخته شد.
 - در سال ۱۹۹۶، ساخت **برج دو قلوی پتروناس** به بلندی ۴۵۱ متر در کوالالامپور.
 - در سال ۲۰۱۰، ساخت **برج خلیفه** در دبی به ارتفاع ۸۲۸ متر (۱۶۲ طبقه)
 - **برج جده** در عربستان با ۱۰۰۰ متر ارتفاع و ۱۶۷ طبقه در دست ساخت است.



دانشکده فنی و مهندسی



بلندترین ساختمانهای جهان در طول ۱۴۰ سال اخیر

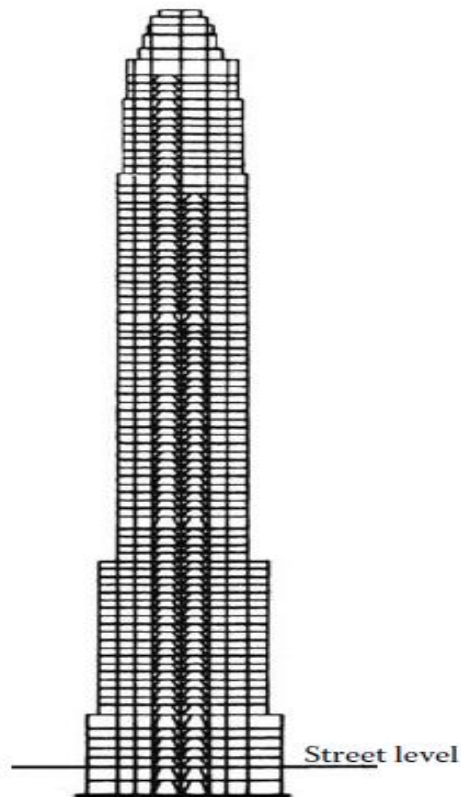




دانشکده فنی و مهندسی



8.14.1 EMPIRE STATE BUILDING, NEW YORK, CITY, NEW YORK



ساختمان امپایر استیت

بلندترین ساختمان جهان برای بیش از ۴۰ سال بود یعنی از روز اتمام آن در سال ۱۹۳۱ تا سال ۱۹۷۲.

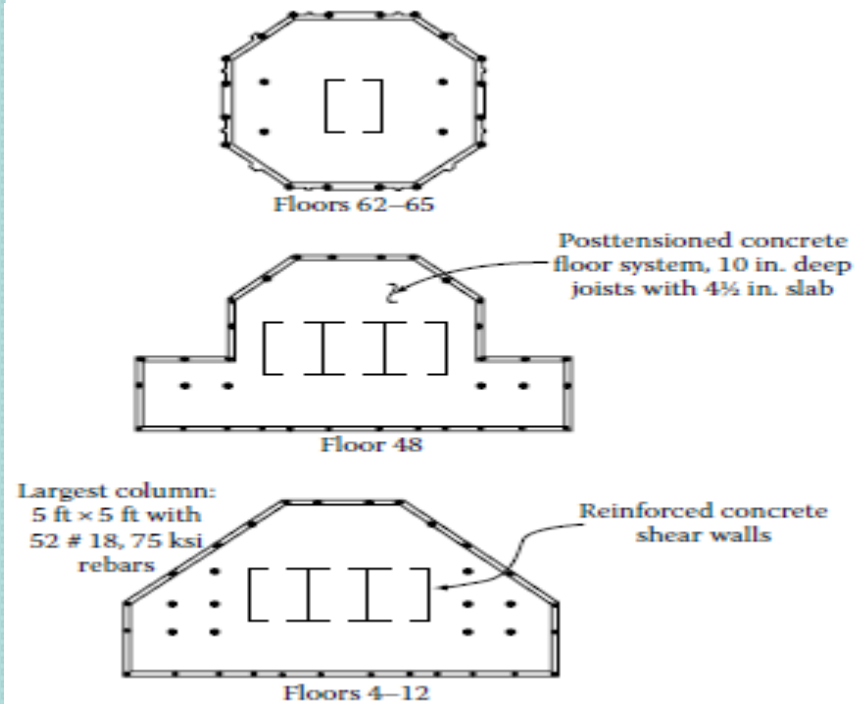
این برج دارای ۱۲۸۰ فوت (۳۸۱ متر) ارتفاع است. قاب فولادی سازه متشکل از قاب های خمشی و بادبند با اتصالات پرچ که برای تحمل بارهای ثقلی و باد طراحی شده است. بتن استفاده شده در اعضای فولادی، اگر چه در تجزیه و تحلیل مقاومت نادیده گرفته شده، اما به سختی قاب در برابر بارهای باد کمک قابل ملاحظه ای کرده است. فرکانس اندازه گیری شده سازه با سختی واقعی ۴.۸ برابر سختی قاب برآورد شده است.



دانشکده فنی و مهندسی



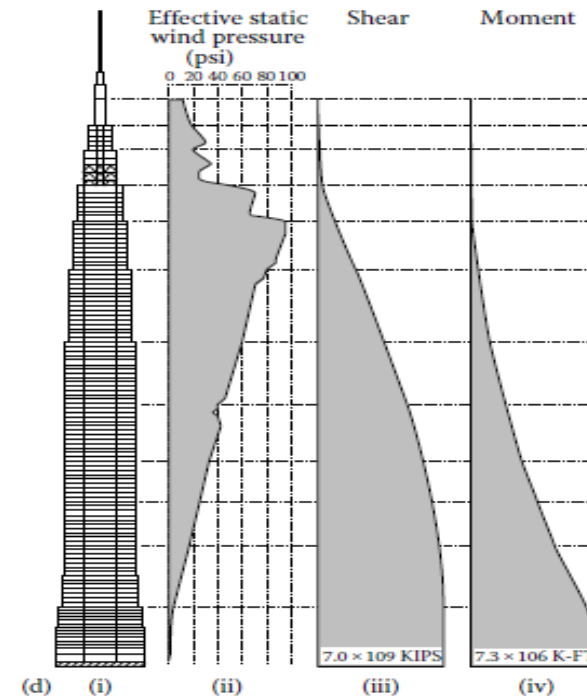
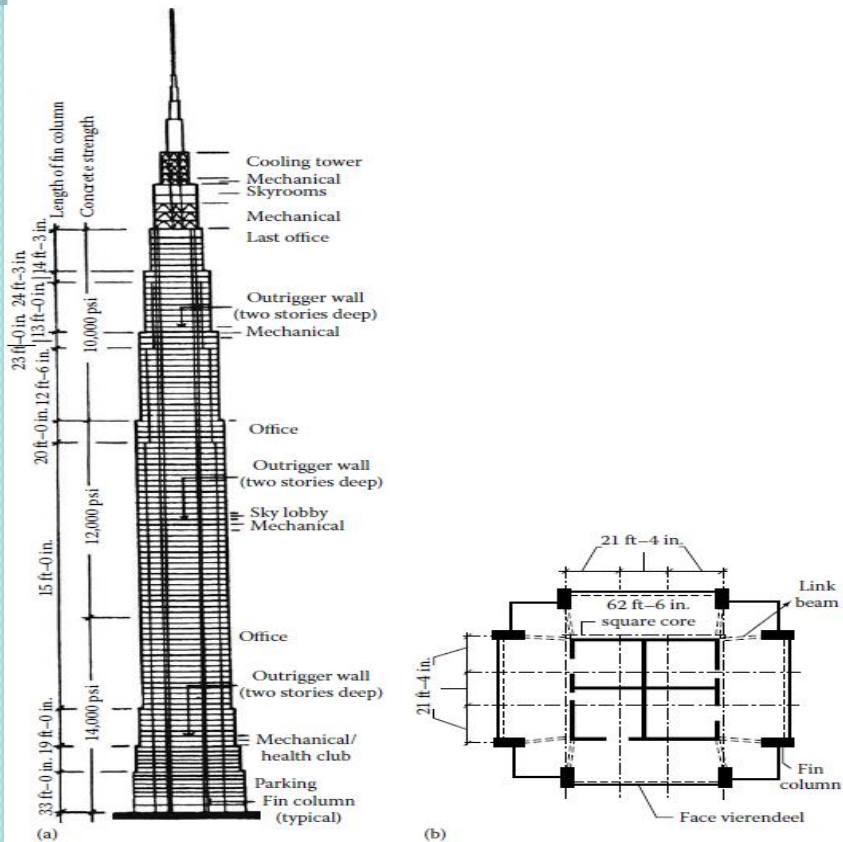
8.14.2 SOUTH WALKER TOWER, CHICAGO, ILLINOIS



این برج دارای ۹۴۶ فوت (۲۸۸.۴ متر) ارتفاع است، و دارای تغییر هندسی پلان در ارتفاع است که در کل از سطح خیابان دارای ۶۵ طبقه با سه پلان مختلف می باشد. در طبقه ۱۴، پلان ساختمان به شکل دوزنقه با ابعاد ۱۳۵ در ۲۲۵ فوت (۴۱.۱۵ × ۶۸.۶ متر) می باشد. این ساختمان در طبقه ۱۵ از سه طرف به عقب برگشته و ۱۰ گوشه در هر طبقه پیدا کرده است. همچنین در طبقه ۴۷ عقب نشینی اضافی وجود دارد. در طبقه ۶۱، دوباره در پلان تغییر شکل دیده می شود که پلان به ۸ ضلعی منتظم با طول ۷۰ فوت (۲۱.۴ متر) تغییر می کند.

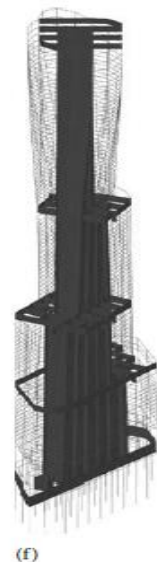
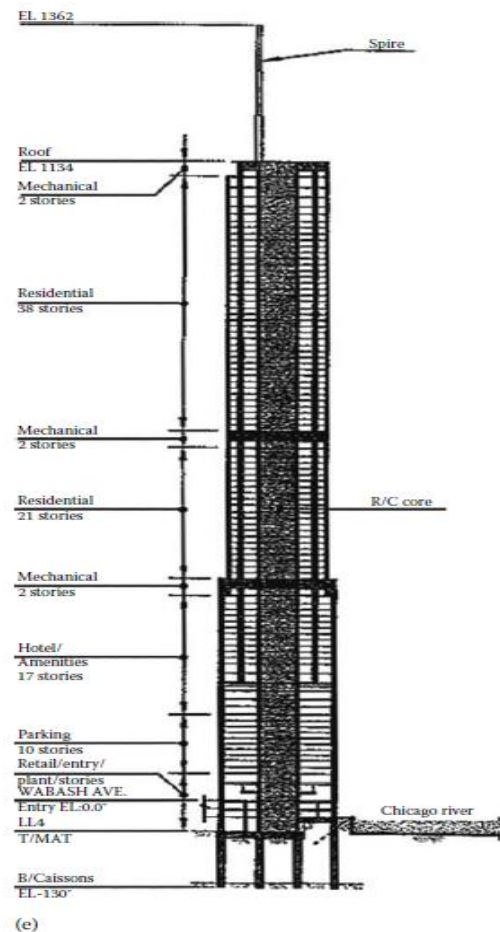
8.14.3 MIGLIN-BEITLER TOWER, CHICAGO, ILLINOIS

این برج دارای ارتفاعی حدود ۱۴۸۶.۵ فوت (۴۵۳ متر) در طبقات مسکونی، ۱۵۸۴.۵ فوت (۴۸۳ متر) در سطح تاسیسات مکانیکی و نهایتاً در نقطه انتهای برج ارتفاعی برابر با ۱۹۹۹.۹ فوت (۶۰۹.۷ متر) دارد.



- (i) building elevation
- (ii) effective static wind pressure
- (iii) shear force and (iv) overturning moment.

8.14.4 TRUMP TOWER, CHICAGO, ILLINOIS

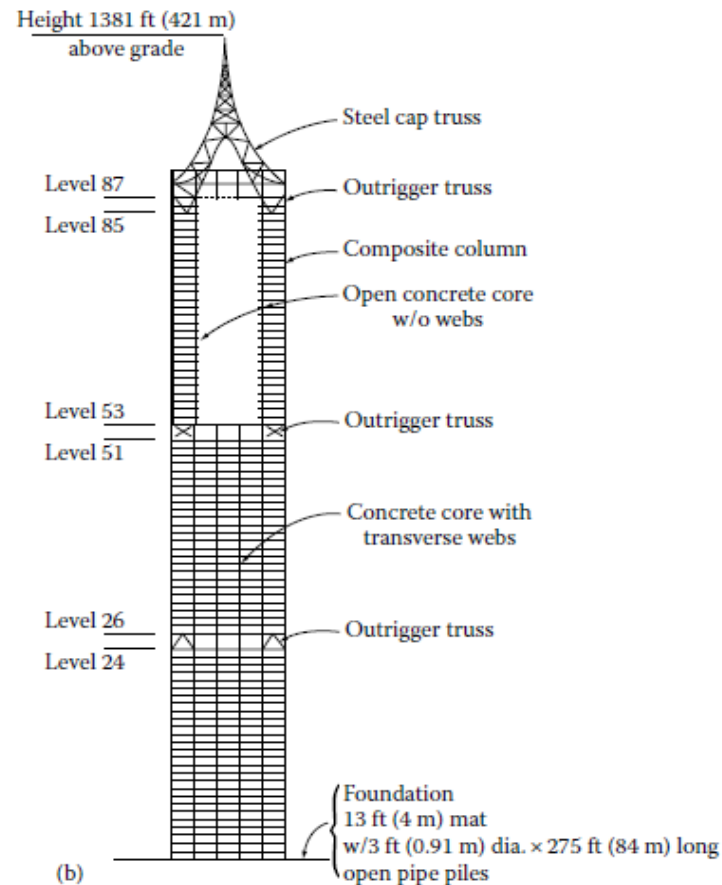


برج ترامپ

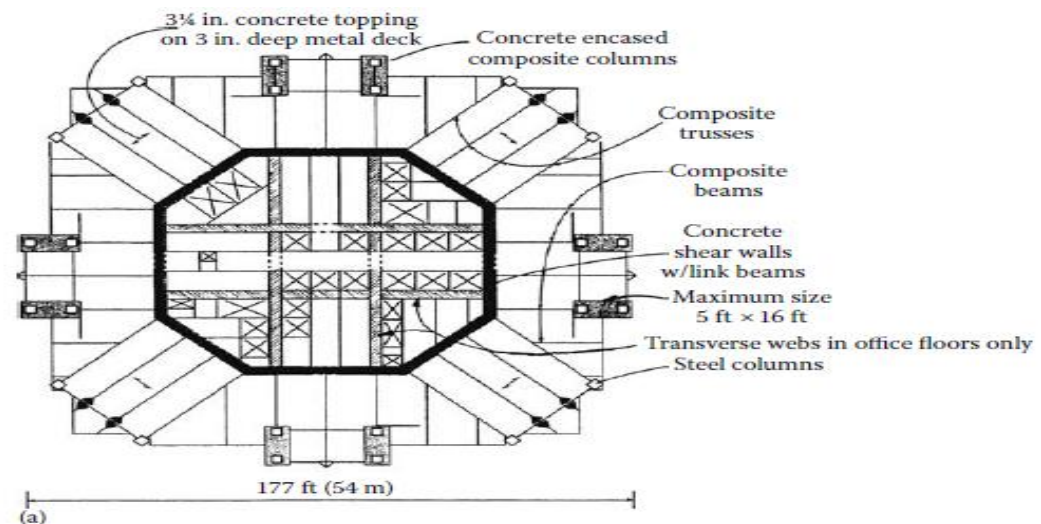
این برج با ۲.۶ میلیون فوت مربع زیربنا واقع در مرکز شهر شیکاگو نزدیک به دریاچه میشیگان، به عنوان بلندترین برج بتن مسلح در ایالات متحده شناخته شده است. این برج دارای ارتفاع ۱۱۳۴ فوت (۱۳۶۲ فوت معادل ۴۱۴ متر به همراه قسمت مخروطی) می باشد.

- این پروژه ۱۸۰.۰۰۰ یارد مکعب بتن نیاز داشت. الزامات بتن عبارتند از مقاومت فشاری برای محفظه بتنی $10,000 \text{ psi}$
- SCC یا بتن خود متراکم با $10,000 \text{ Psi}$ برای دال در محلی که دمای بتن به بیش از 170° F می رسد. مقاومت بتن از 8000 psi تا 12000 PSI برای ستون و هسته دیوارها.
- بتن با مقاومت 5000 psi برای کف طبقات.
- همچنین SCC پمپ شونده تا ارتفاع ۶۵۰ فوت دارای 16,000 Psi مقاومت می باشد .

8.14.5 JIN MAO TOWER, SHANGHAI, CHINA



این ساختمان دارای ارتفاع ۱۳۸۱ ft (421M) و مساحت زیربنا حدود ۳ میلیون فوت مربع (۲۷۸۶۸۲ مترمربع) می باشد. این ساختمان دارای ۵۰ طبقه فضای اداری و ۳۶ طبقه فضای هتل با دو طبقه اضافی برای رستوران و سطحی برای تماشا می باشد. پارکینگ برای اتومبیل و دوچرخه در طبقه زیر واقع شده است. لژ این ساختمان شامل سالن اجتماعات و نمایشگاه است. سازه با ترکیبی از فولاد و بتن مسلح با تعداد زیادی از اعضای سازه ای مرکب از فولاد بتن می باشد.





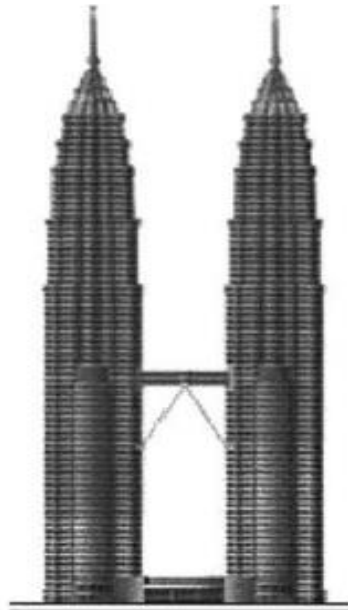
دانشکده فنی و مهندسی



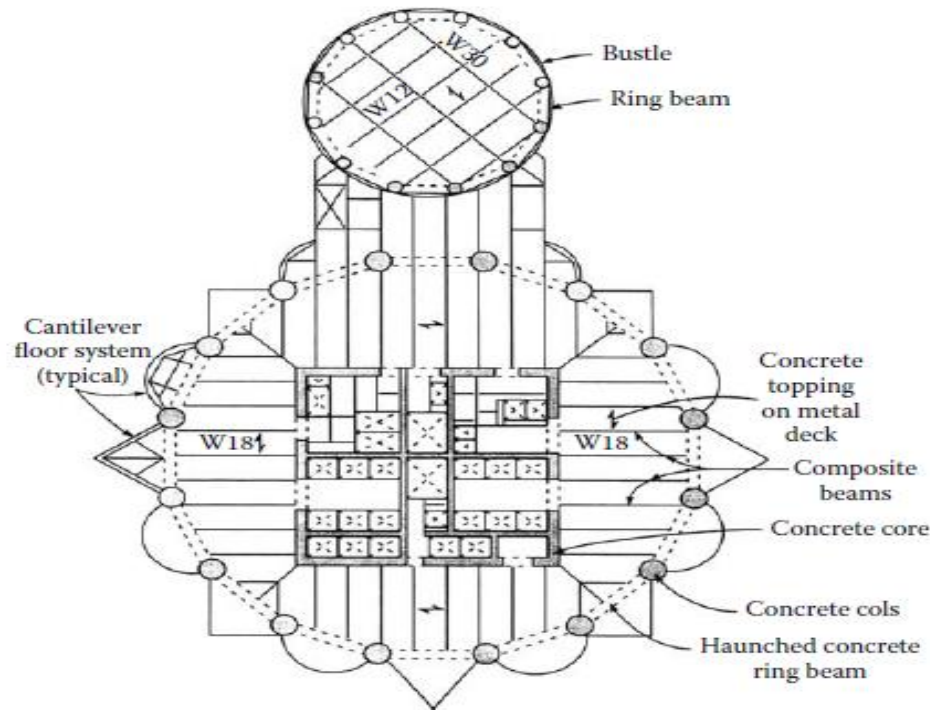
8.14.6 PETRONAS TOWERS, MALAYSIA

برج دوقلوی پتروناس

دو برج ۱۴۷۶ ft (۴۵۰ متری) که ۳۳ فوت (۷ متر) بلندتر از برج Chicago's Sears می باشد و دارای یک پل در آسمان برای اتصال برج های دوقلو در کوالالامپور، مالزی بنا شده است.



(a)



(b)

برج دارای عقب نشینی هایی در طبقات ۶۰، ۷۲، ۸۲، ۸۵، و ۸۸ و زائده دایره ای شکل در طبقه ۴۴ می باشد.

۷-۱۴-۸ پلازای مرکزی ، هنگ کنگ

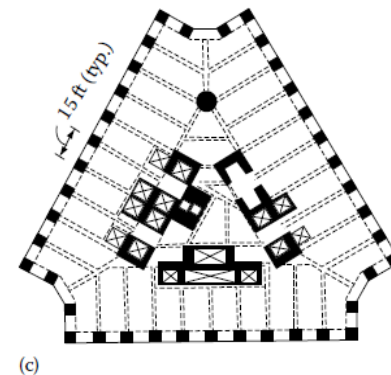
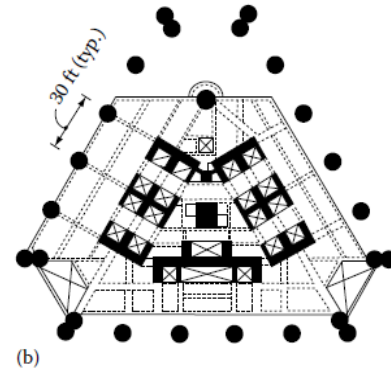
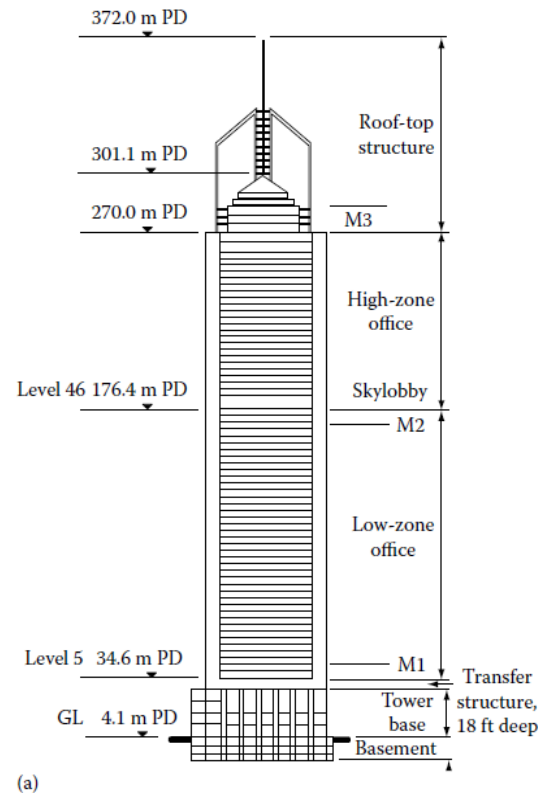
ساختمان دارای ۷۸ طبقه است که بخش بالایی آن واقع در ارتفاع ۸۷۹ فوت (۲۶۸ متری) بالای زمین کاربری صنعتی و تجاری دارد.

برج شامل ۳ بخش است:

- پایه برج با بلندی ۱۰۰ فوت (۳۰.۵ متر) که ورودی اصلی و فضای مدور عمومی را تشکیل می دهد.

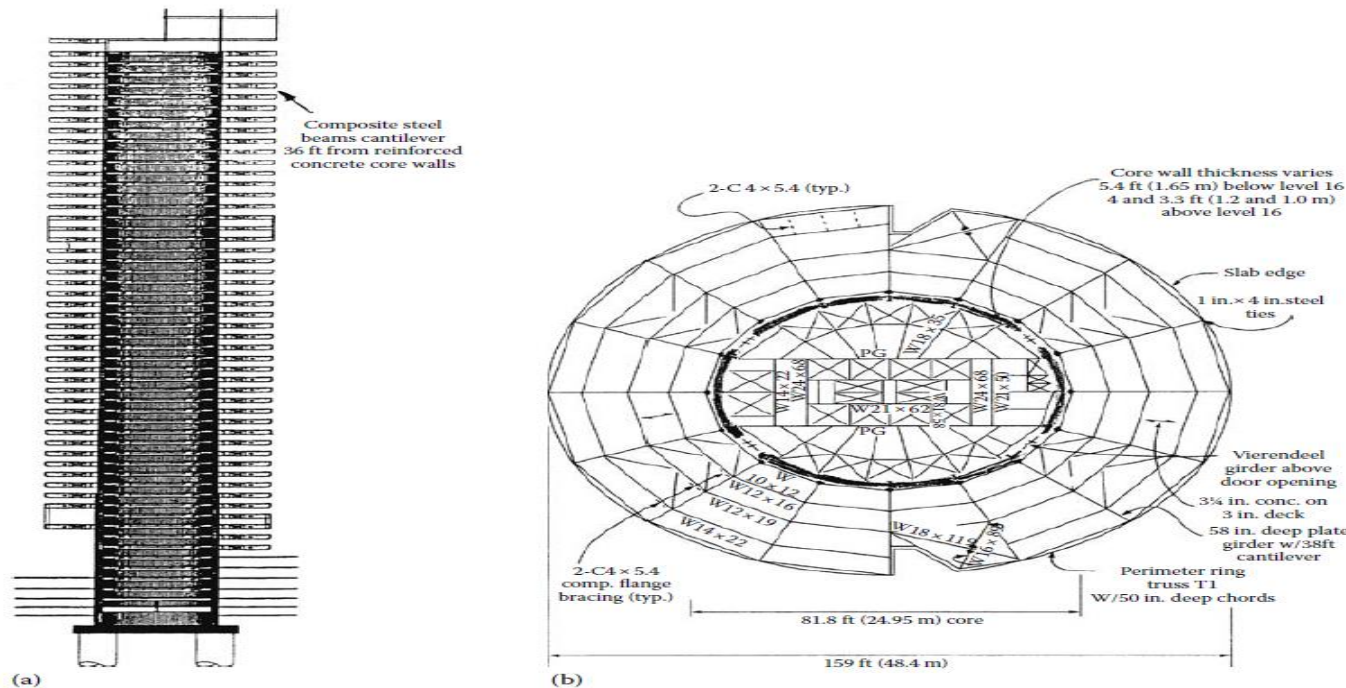
- بخش میانی برج با بلندی ۷۷۲.۳ فوت (۲۳۵.۴ متر) که شامل ۵۷ طبقه کاری ، یک سرسرای بزرگ و پنج طبقه صنعتی است .

- بخش بالایی که متشکل از ۶ طبقه صنعتی و یک دکل برج جمعا با بلندی ۳۲۴ فوت (۱۰۲ متر) است .



۸-۱۴-۸ ساختمان وزارت دارایی، سنگاپور

این برج اداری ۵۲ طبقه، که در شکل نشان داده شده است، از این نظر که در هر یک از طبقات ساختمان از تعدادی تیر سرآزاد و یک هسته با قطر ۸۲ فوتی استوانه‌ای در داخل حصار آسانسور و قسمت‌های خدماتی تشکیل شده، بی نظیر است. تیرهای شعاعی ۳۸ فوت (۱۱.۶ متر) از دیوار هسته بتنی مستحکم پیش آمده‌اند.

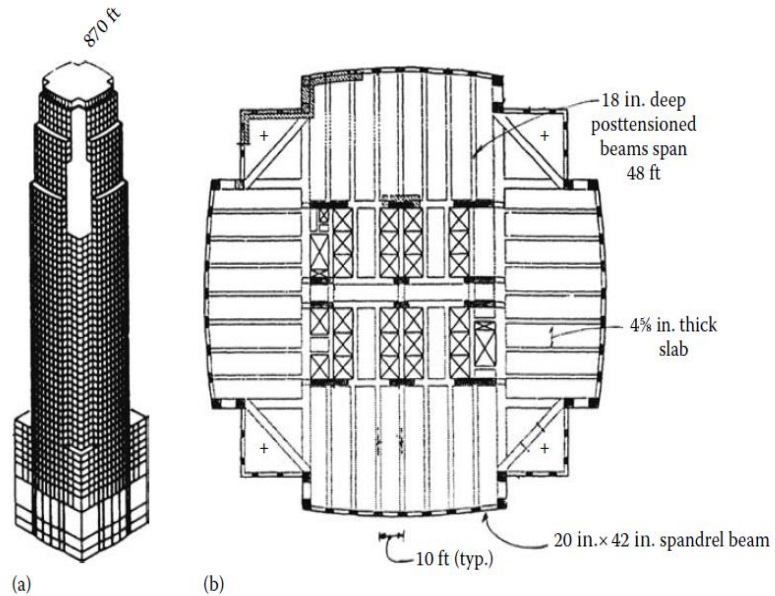




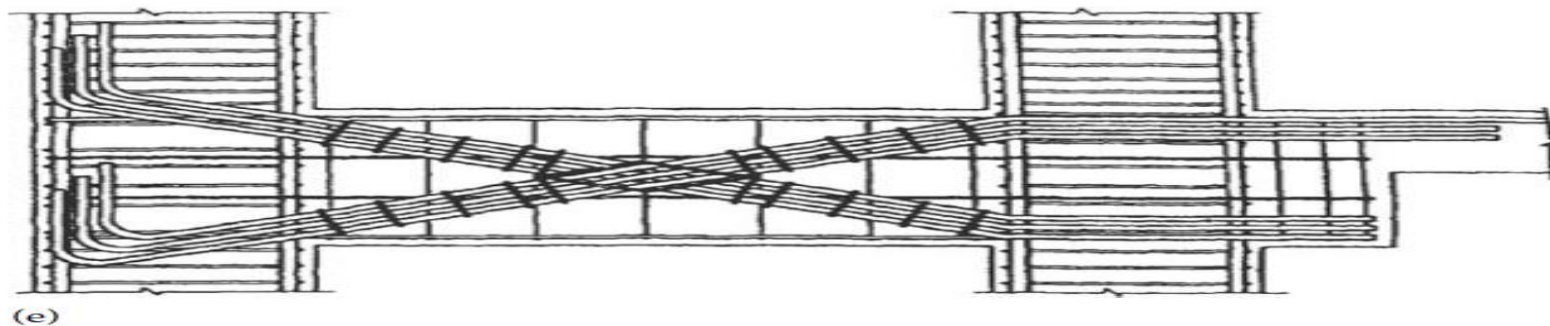
دانشکده فنی و مهندسی



۱۰-۱۴-۸ برج NCNB، کارولینای شمالی



این بنا، یک ساختمان اداری بتونی به ارتفاع ۸۷۰ فوت (۲۶۵.۱۲ متر) همراه با یک تاج مخروطی به بلندی ۱۰۰ فوت (۳۰.۵ متر) است. هر طبقه این عمارت دارای ارتفاع ۱۲ فوت و ۸ اینچ (۳.۸۷ متر) و یک فضای عاری از ستون ۴۸ فوتی (۱۴.۶۳ متری) از محیط تا هسته است. سیستم سازه ای برای ایستادگی در برابر بارهای جانبی متشکل از یک لوله محیطی بتونی مستحکم با بتنی به وزن نرمال و مقاومت 8000 Psi در نزدیک پایه ساختمان و 6000 Psi در بالای آن است.





دانشکده فنی و مهندسی

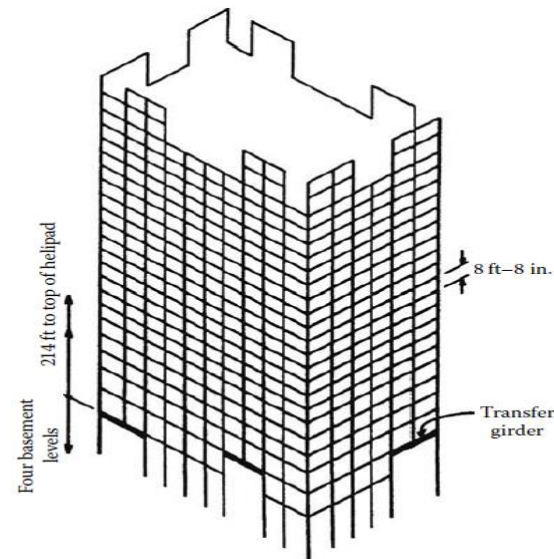


۱۱-۴-۸ برج قدیمی، لوس انجلس، کالیفرنیا

این ساختمان ۲۲ طبقه مسکونی که در شکل ۸.۵۱ نشان داده شده است متشکل از یک قاب بتونی انعطاف پذیر لوله ای متشکل از ستونهای محیطی قرار گرفته در فواصل ۱۳ فوتی (۸.۹۶ متری) است که به تیرهای اسپندرل که رو به سوی بالا دارای قوسند، متصل شده اند. قاب بیرونی ساخته شده از بتن رنگ شده می باشد.



(a)



(b)

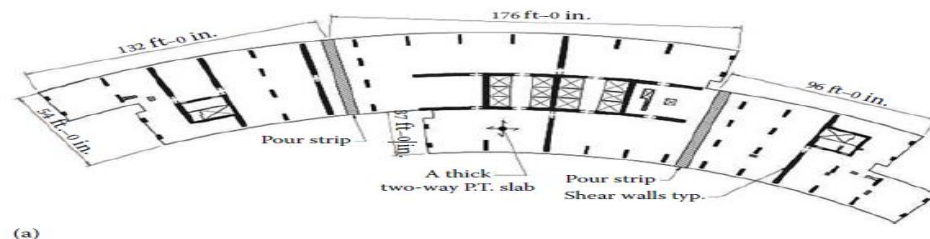


دانشکده فنی و مهندسی

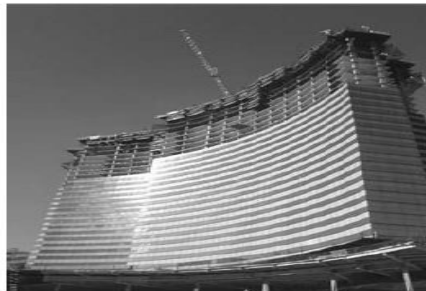


۱۲-۱۴-۸ مرکز شهر ماگم، برج هتل و دارا، لوس آنجلس، لاس وگاس، نوادا

این ساختمان که در محله ای ۶۶ جریبی واقع در پائین شهر لاس وگاس قرار گرفته، یک بنای ۵۷ طبقه با ۱,۵ میلیون فوت مربع وسعت و پروژه ای با کاربری های مختلف است که شامل برج هتل مشترک ۱۵۰۰ واحدی، بخش های فرعی - خدماتی نظیر چشمه های آب معدنی، رستوران ها، قسمت های حیات خلوت و پارکینگ می باشد. تاریخ اتمام ساختمان دسامبر سال ۲۰۰۹ است..



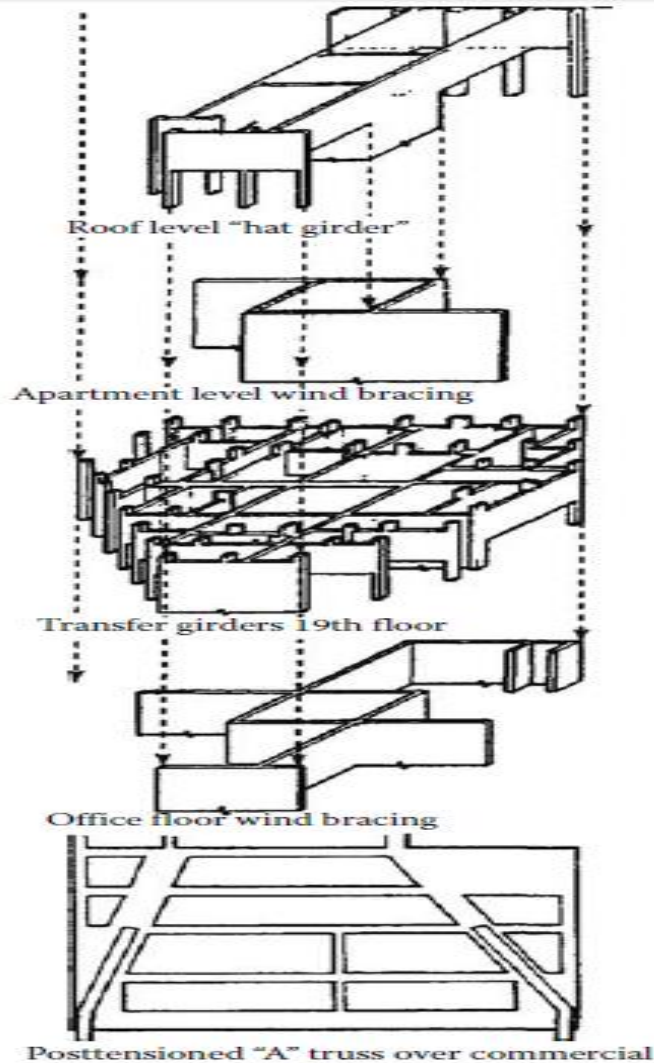
(a)



(b)



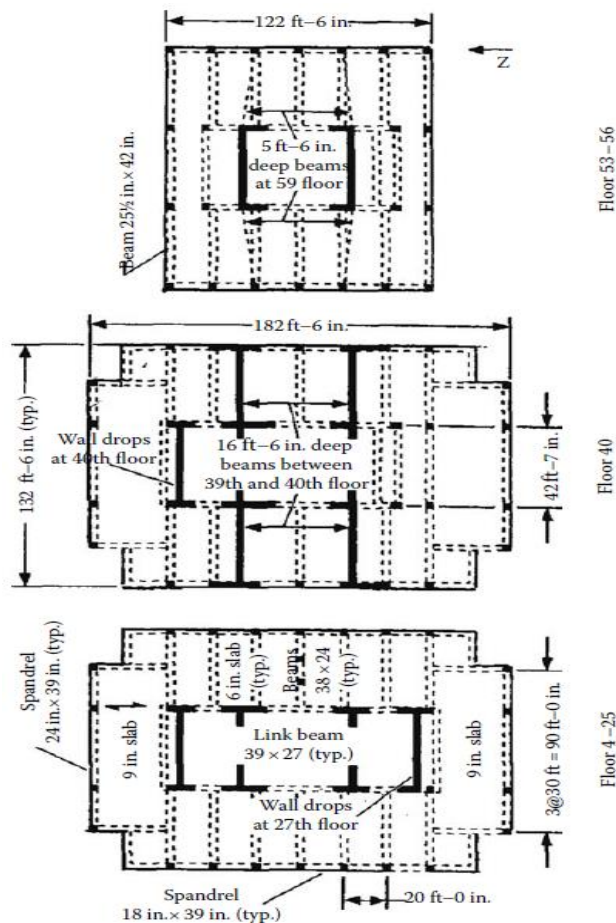
(c)



۱۴-۱۴-۸ برج ترامپ، نیویورک

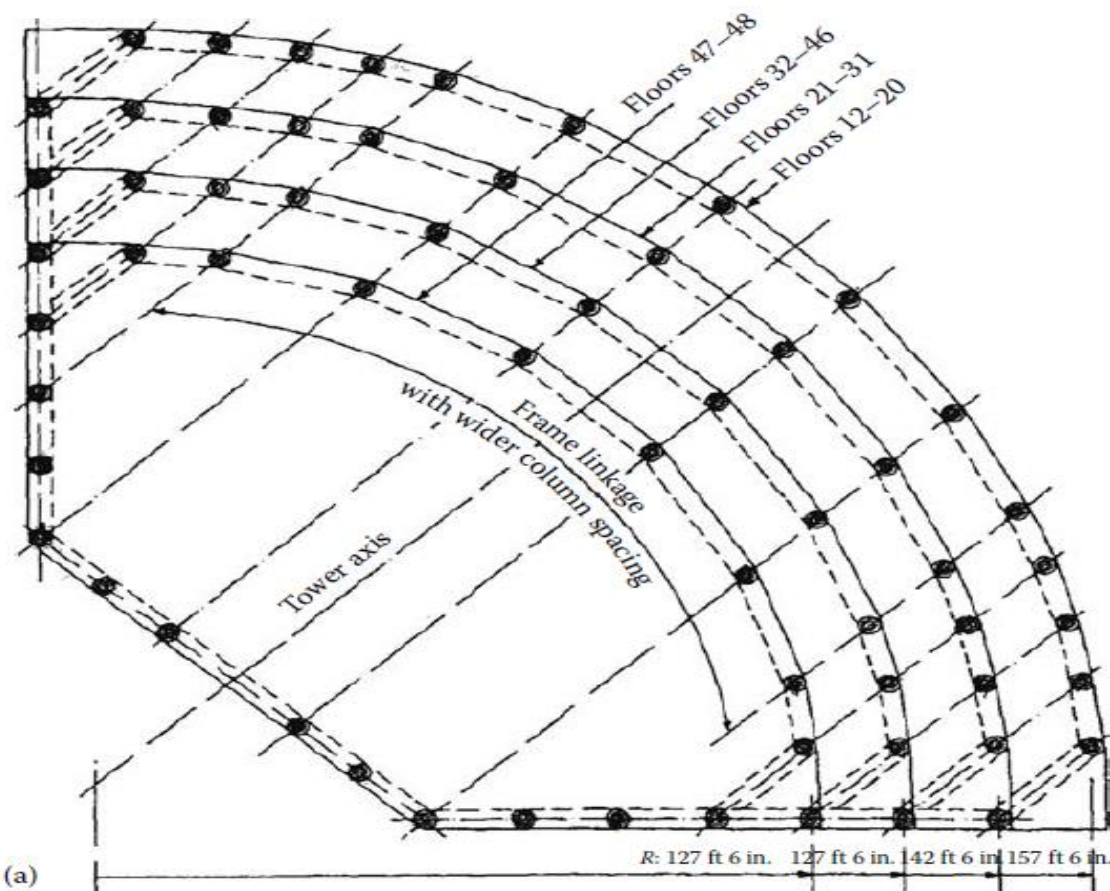
این برج ساختمانی ۵۸ طبقه با بلندی ۶۶۴ فوت (۲۰۲ متر) ارتفاع، همراه با یک ساختار زیرزمینی در زیر طبقه سوم است. شبکه بار جانبی شامل یک بخش اصلی برشی متمرکز است که از طریق دیوارهای تیرچه ای مستحکم به ستون های پیرامون مربوط می شوند. دیوارهای برشی در طبقه همکف دارای ۱۸ اینچ (۴۵.۷۲ سانتیمتر) ضخامت هستند و ستون های ۳۲*۳۲ اینچی (۰.۸۲*۰.۸۲ متر) در فضای ۲۴ تا ۴۰ فوتی (۷.۳۱ تا ۱۲.۲ متری) قرار گرفته اند. طبقه های مختلف با بلندی ۹، ۱۲ و ۱۶ فوت (۲.۸۹، ۳.۶۵، ۴.۸۸ متر) به عنوان منازل مسکونی، دفاتر کار و فضاهای تجاری (retail) مورد استفاده قرار می گیرند.

۸-۱۴-۱۵ TWO PRUDENTIAL PLAZA, CHICAGO, ILLINOIS



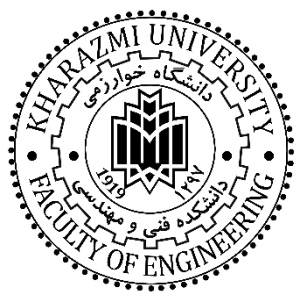
شبکه ساختاری ساختمان ۶۴ طبقه ای با بلندی ۹۱۲ فوت (۲۷۸ متر) که تغییرات پلان آن در شکل نشان داده شده است. پلان ساختمان شامل دیوارهای برشی هسته ای متناوب همراه با قاب محیطی می باشد. به علاوه، در سطوح ۳۹ و ۵۲، دیوارهای برشی داخلی از طریق دیوارهای تیرچه ای که جهت کنترل جریان باد و واژگونی در دیوارهای برشی هسته ای تعبیه شده اند به ستون های سطح خارجی متصل می شوند. دیوار تیرچه ای در سطح ۳۹، طبقه ای با عمق ۱۶.۵ فوت (۵.۰۳ متر) بین سطوح ۳۹ و ۴۰ قرار گرفته است و این در حالی است که یکی از آنها در سطح ۵۹ دارای عمق ۵ فوت و ۵ اینچ (۱.۶۸ متر) می باشد. ساختمان در سطوح پائین تر به شکل مستطیل است و بر روی نقشه دارای طول ۱۲۲ فوت و ۶ اینچ تا ۱۳۲ فوت و ۸ اینچ (۴۰.۴ تا ۲۷.۴ متر) است. اما به دلیل مجموعه ای از رانش ها در قسمت های شمالی و جنوبی، در طبقه ۵۳ به شکل مربع در می آیند. در قسمت بالای طبقه ۵۹ شکل ساختمان شروع به مخروطی شدن می کند تا یک بخش فوقانی مخروطی شکل را تشکیل دهد که در بالای آن یک منار معماری ۸۲ فوتی (۲۵ متری) واقع شده است. ارتفاع سازه تا بالای منار ۱۰۰۰ فوت (۳۰۴.۸ متر) است.

8.14.16 CENT TRUST TOWER, MIAMI, FLORIDA

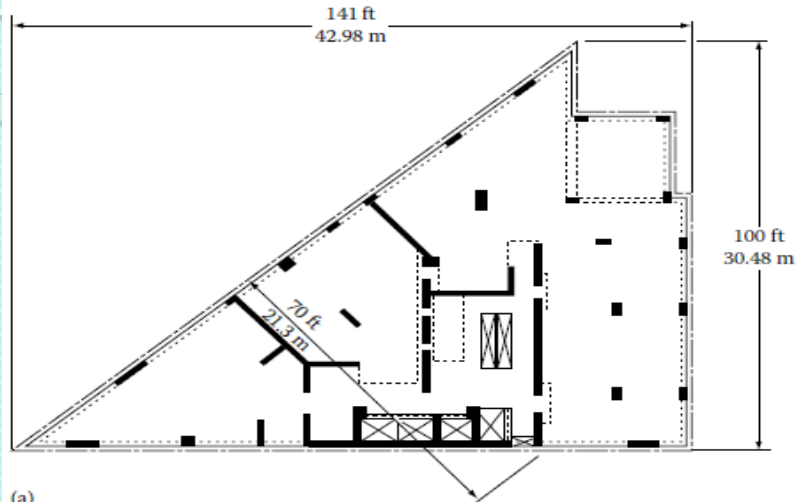


طرح ساختمان در شکل نشان داده شده که شامل یک برج اداری بلند ۴۸ طبقه به ارتفاع ۵۸۵ پا (۱۷۸ متر) است که روی ساختمان پارکینگ ۱۱ طبقه قرار گرفته است. این برج اداری در طرح، یک دایره ۴ قسمتی شیب دار با ۳ پله ی برگشت ۱۵ پایی در سطح دایره ای می باشد. بارهای جانبی توسط یک سیستم محاوره ای از لوله های جزیی پیرامونی و دیوارهای برشی داخلی تحمل می شوند

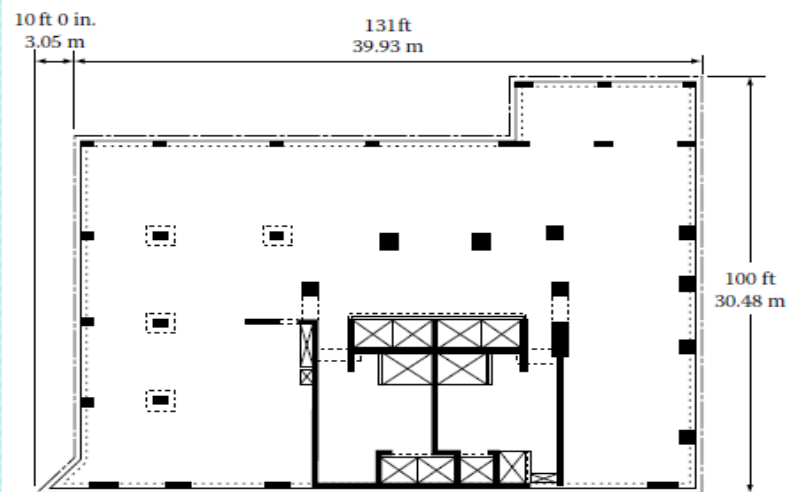
Step bark ها در طرف مدور ساختمان در طبقات ۲۰ ، ۳۱ ، ۴۶ دیده می شوند. شاه تیرها معمولاً برای جابجایی ستون ها در طبقه ۴۶ مورد استفاده قرار می گیرند اما در طبقات ۲۰ و ۳۱ ، یک دیواری به پهنای یک طبقه که به عنوان یک قلاب عمل می کند همان کار شاه تیرها را انجام می دهد.



دانشکده فنی و مهندسی



(a)

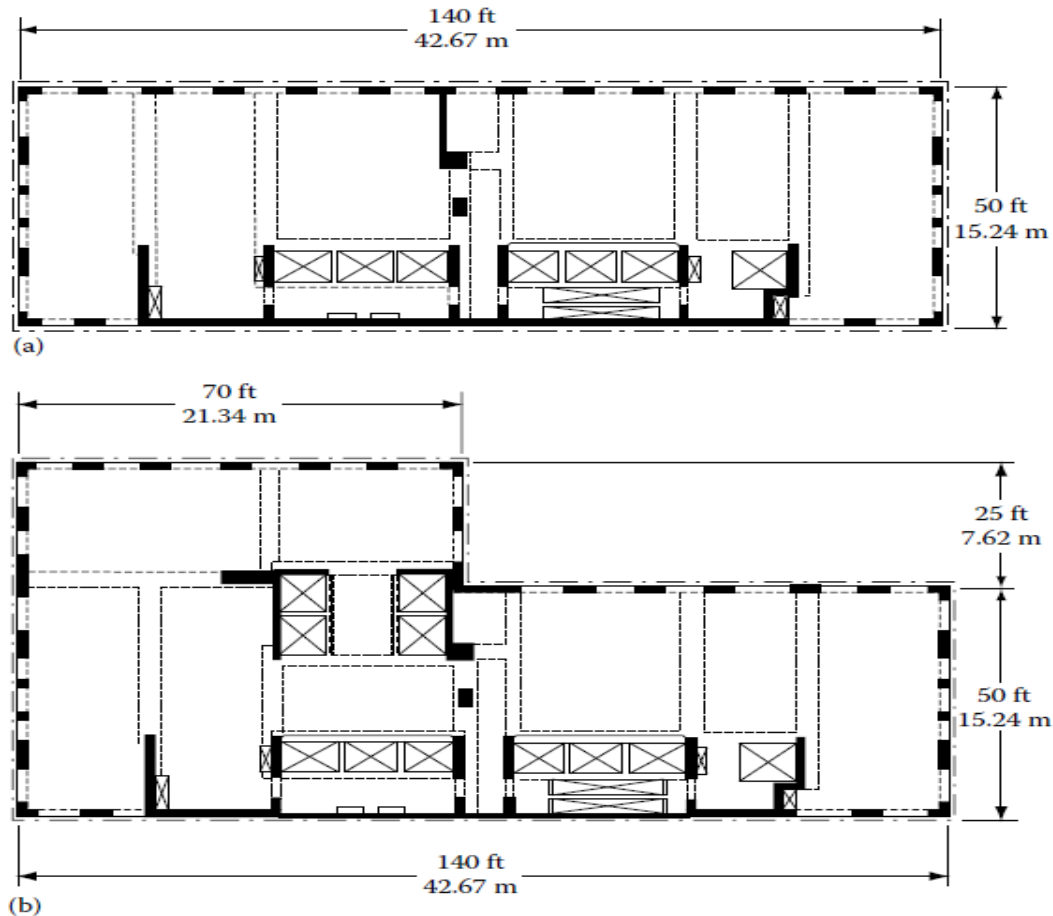


(b)

۱۷-۱۴-۸ برج متروپوتان، شهر نیویورک

این برج یک ساختمان بلند ۷۱۶ فوت (۲۱۸ متری) با ۶۸ طبقه است که در سال ۱۹۸۵ تکمیل شد. شبکه مقاومت بارهای جانبی شامل برهم کنش دیوارهای برشی جفت همراه با قاب های محیطی است. اندازه و فضای اشغالی ستون های سطح بیرونی همچنانکه در شکل نشان داده شده است با یکدیگر متفاوت است.

8.14.18 CARNEGIE HALL TOWER, NEW YORK CITY



برج کارنگی

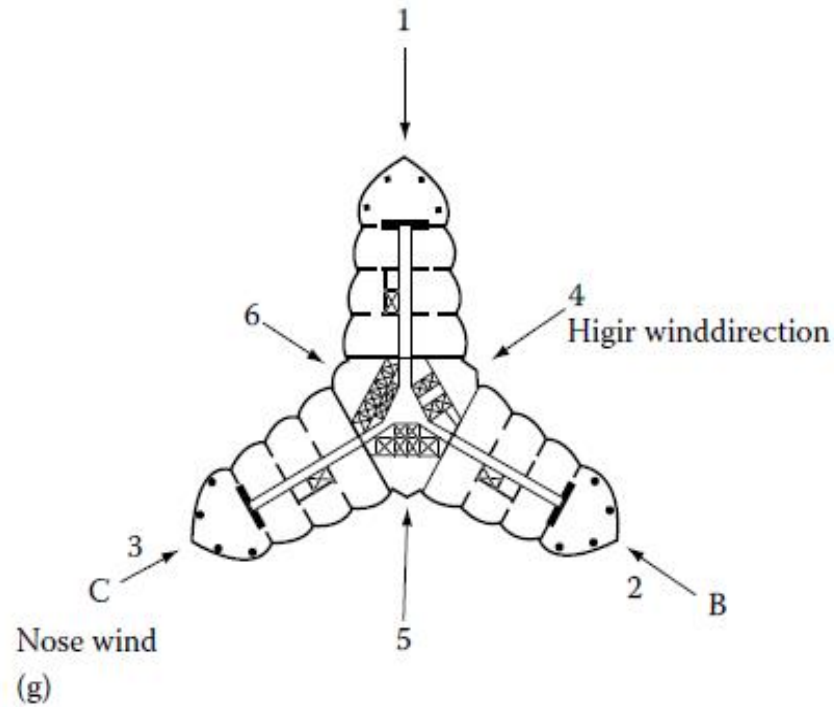
سیستم تحمل بار های جانبی برای این ساختمان بلند ۶۲ طبقه که در شکل نشان داده شده است، یک لوله ی محیطی دسته شده است که متشکل از دو لوله ی پهلو به پهلو می باشد.

نسبت میزان ارتفاع به پهنای ساختمان تقریبا برابر ۱۰ است که به همین دلیل به عنوان یکی از لاغرترین ساختمان ها به شمار می رود.

8.14.28 BURJ DUBAI



(f)



(g)

برج عرب یا برج خلیفه در دبی

این سازه در حال حاضر بلندترین برج دنیا محسوب می شود. در زمان انتشار این کتاب (۲۰۰۹) ارتفاع ساختمان به ۸۱۸ متر با ۱۶۲ طبقه رسیده بود که ۱۰۰۰ فوت بلند تر از ساختمان ۱۰۱ طبقه Taipei ، در تایوان، برج بلند قبلی بود. قالب آن بتن مقاوم شده، با ساختار مناره فولادی در راس است. این آسمان خراش چند منظوره شامل ۳ میلیون فوت مربع (۲۸۰۰۰۰ مترمربع) زیربناست که برای کاربریهای مختلف مانند فروشگاه، هتل، مسکونی و اداری مورد استفاده قرار گرفته است.



دانشکده فنی و مهندسی



ملاحظات مهم در طراحی سازه های بلند

- الف) ملاحظات کلی
- ب) ملاحظات معماری
- ج) ملاحظات ژئوتکنیکی
- د) ملاحظات سازه ای



دانشکده فنی و مهندسی



الف) ملاحظات کلی

- ۱- طرح سازه های بلند مستلزم مطالعات اقتصادی، فرهنگی، اجتماعی و تکنولوژیکی است.
- ۲- در مطالعه اقتصادی علاوه بر هزینه های ساخت، هزینه های هنگام بهره برداری نظیر آب، برق، گرمایش، سرمایش، امنیت، مالیات، بهره پول وام گرفته، مخارج نگهداری و تعمیر ساختمان و باید محاسبه و برآورد شود.
- ۳- در مطالعات فرهنگی- اجتماعی باید اثرات تجمع انسانها پس از بهره برداری ساختمان بر محیط اجتماعی اطراف مطالعه شود. به ویژه اگر کاربری سازه تجاری، اداری یا فرهنگی باشد.
- ۴- در مطالعات تکنولوژیکی شیوه ساخت، سیستم های گرمایش، سرمایش، تهویه، آسانسور، لوله کشی، دفع فاضلاب، دفع زباله، سیستم های الکتریکی و الکترونیکی، اطفاء حریق حایز اهمیت است.
- ۵- در بحث شیوه ساخت، انتخاب روشهایی که از نظر اقتصادی و ایمنی مؤثر باشند، حایز اهمیت است. سیستم های پیش ساخته به دلیل کاهش مخارج کارگر و زمان لازم برای برپا کردن ساختمان دارای مزیت است. روشهای صنعتی سازی، کاربرد قطعات مادولار و کاهش جوشکاری در محل بسیار حایز اهمیت است.
- ۶- توجه به حفاظت از ساختمان و ساکنان آن در برابر آتش سوزی.



دانشکده فنی و مهندسی



تأمین سیستم اعلام و اطفاء حریق در ساختمانهای بلند به ۲ دلیل ضروری است:

- ۱- استفاده از نردبانهای آتش نشانی در ساختمانهای بلند چندان کارساز نیست.
- ۲- تخلیه اضطراری کامل ساختمان در مدت کوتاه عملی نیست. در یک آتش سوزی مهم تر از آتش و گرمای سوزاننده آن، دود و گازهای سمی است که موجب خفگی و مسمومیت اهالی ساختمان می شود. لذا، در طراحی و ساخت سازه های بلند موارد زیر توصیه می شود:

- استفاده از مصالح غیر قابل احتراق
- حفاظت از قسمت‌های مهم و حساس مانند موتورخانه و جلوگیری از سرایت آتش به آن
- تعبیه سامانه های اطفاء حریق در پارکینگ ها و آشپزخانه ها
- تعبیه سامانه های کشف دود و آتش
- تأمین راه‌های خروج اضطراری
- تأمین آبخش‌ها و شیرهای خودکار که هنگام آتش سوزی دکمه آن ذوب شود و آب به بیرون بپاشد.



دانشکده فنی و مهندسی

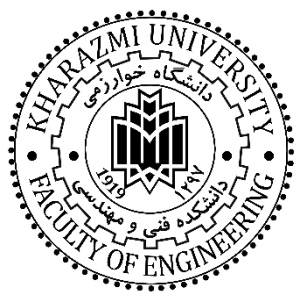


ملاحظات معماری

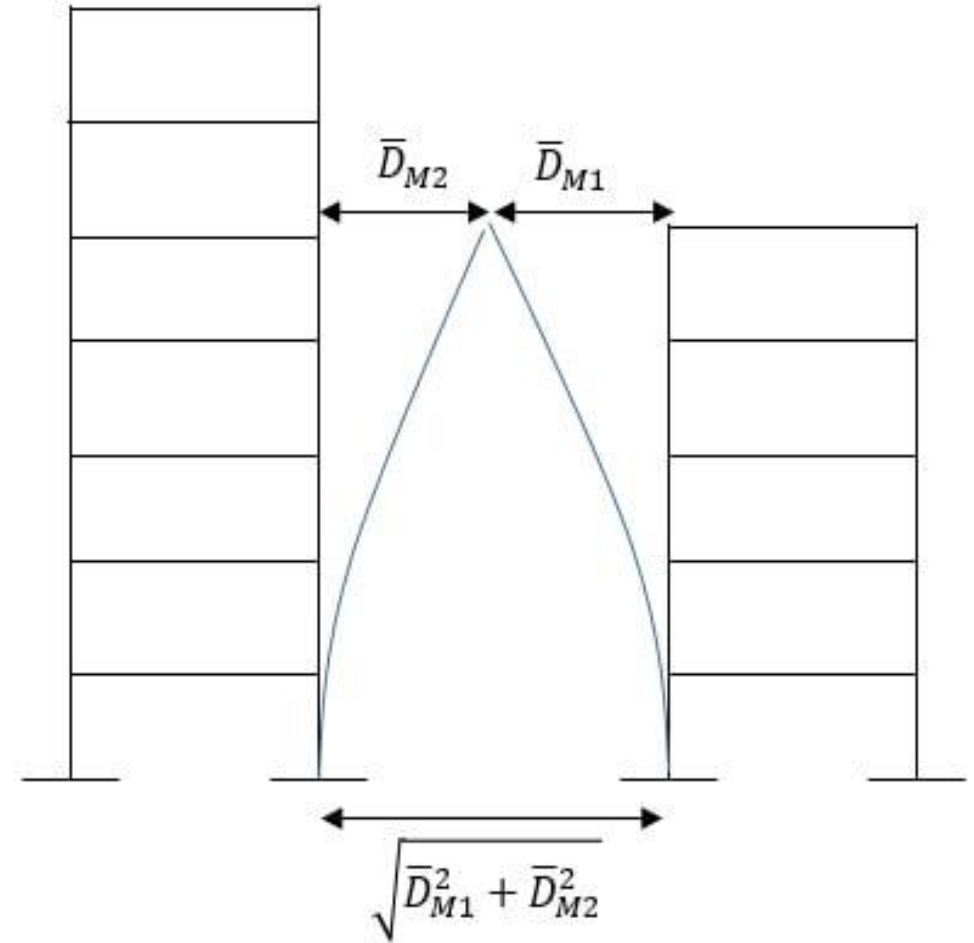
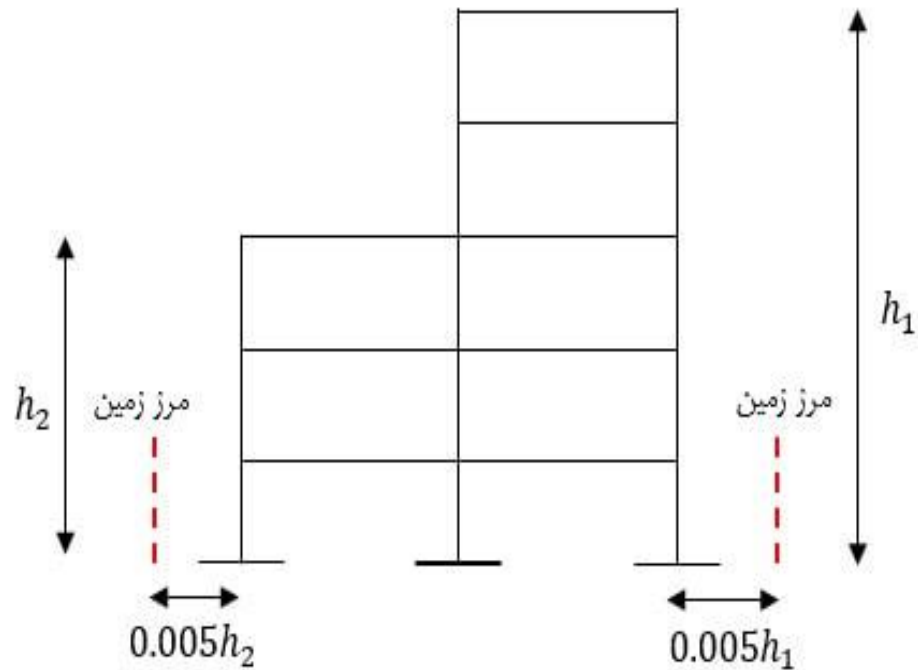
- ❖ لزوم تعامل سازنده با معماران برای پدید آوردن بناهای بدیع و شگفت انگیز و در عین حال ، مقاوم در برابر زلزله. به قول می تی سوزان " شاید برای مقابله با بارهای ثقیلی، تصمیم های معماری و سازه ای را بتوان مستقل از هم اتخاذ کرد، لیکن در مقابله با بارهای ناشی از زلزله، جدا کردن نقش مهندس سازه از مهندس معمار استقبال از فاجعه است " .
- ❖ در ساختمانهای بلند با توجه به لزوم انتخاب فرم و سیستم های پربازده از نظر سختی و کاهش جرم ساختمان در حد امکان، همکاری مهندسان معمار و سازه ضروری است.

آیین نامه ۲۸۰۰ فهرستی از ملاحظات معماری را مطرح کرده که اشاره به آنها مفید است.

- پیش بینی درز انقطاع و فاصله حداقل با زمین مجاور به منظور پیشگیری از خسارت ناشی از ضربه به ساختمانها:
- ۱/۱۰۰ ارتفاع در ساختمانهای ۸ طبقه و کمتر؛
- برای ساختمانهای بلند و با اهمیت زیاد با توجه به اثر $P-\Delta$ درز انقطاع برابر است با حاصلضرب ضریب بزرگنمایی در تغییر مکان جانبی نسبی طرح طبقه مورد نظر بر اساس تحلیل غیرخطی؛
- جذر مجموع مربعات تغییرمکانهای نسبی طرح در طبقه مورد نظر برای ساختمانهای مجاور



دانشکده فنی و مهندسی





دانشکده فنی و مهندسی



ملاحظات معماری – ادامه

- حفظ تقارن و سادگی در پلان ساختمان در دو امتداد عمود بر هم و احتراز از پیش آمدگی یا پس رفتگی زیاد. توصیه می شود از ایجاد تغییرات نامتقارن پلان در ارتفاع ساختمان نیز احتراز شود. این ملاحظه به دلیل کاهش خسارات ناشی از پیچش و تمرکز تنش در سازه است.
- احتراز از ایجاد بازشوهای بزرگ و مجاور یکدیگر در دیافراگم های کف. توزیع نیرو بین عناصر مقاوم به نسبت سختی آنها در یک طرح لرزه ای مطلوب است. وجود بازشوهای بیش از حد مجاز موجب کاهش صلبیت دیافراگم کف و باعث پیچش ناهمگون در کف خواهد شد.
- احتراز از ایجاد طره های بزرگ تر از ۱.۵ متر. نیروی ایجاد شده بر اثر شتاب قائم ناشی از زلزله بر روی طره های بلند و دهانه های بزرگ خطرآفرین است. دهانه های بزرگ موجب کاهش سختی جانبی می شود.
- از آنجا که جرم و شکل پذیری سازه در بزرگی نیروی زلزله و پاسخ سازه به نیروی زلزله بسیار مؤثر است، توصیه می شود با به کارگیری مصالح سازه ای با مقاومت بالا و شکل پذیری مناسب و مصالح غیر سازه ای سبک، سعی در کمینه کردن وزن ساختمان شود.
- از ایجاد اختلاف سطح در کف ها تا حد امکان خودداری شود. وجود اختلاف سطح در کف ها، امکان انهدام ستونها بر اثر اعمال نیروی زلزله را افزایش می دهد.



دانشکده فنی و مهندسی

ملاحظات ژئوتکنیکی



۱- نشست پی و اثرات متقابل خاک و پی

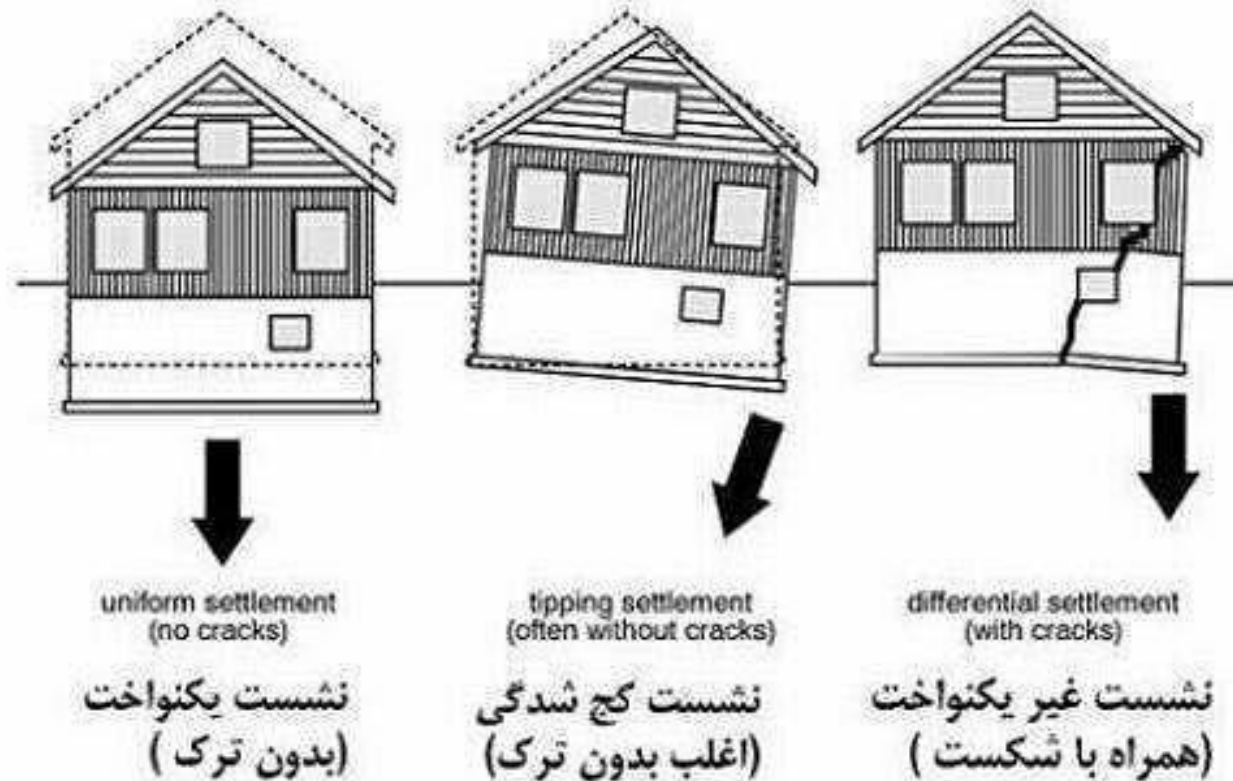
بارهای انتقالی از ستونهای ساختمانهای بلند به پی، به علت ارتفاع زیاد ساختمان، بسیار سنگین است. اگر خاک زیر پی سخت و پایدار نباشد، نیروها را باید از طریق شمع های معمولی و قطور و یا پی های عمیق به لایه های مقاوم و سخت منتقل کرد.

رفتار متقابل خاک و سازه ترکیبی از رفتار استاتیکی و دینامیکی است. در آنالیز استاتیکی از مدل سازی ساده استفاده می شود و به کارگیری روش اجزای محدود متداول است. هنگامی که اثرات دینامیکی مد نظر باشد، باید تقابل خاک و سازه و هر نوع اثر تشدید فرکانس های طبیعی سازه به طور همزمان در آنالیز دخالت داده شوند.

تغییر مکانهای جانبی ناشی از چرخش پی ها با ارتفاع سازه افزایش می یابد. اگر انتهای پایینی اعضای قائم (ستونها و دیوارها) به حد جاری شدن برسند، تنشها توزیع می شوند و بارهای اضافی به اعضای دیگر منتقل و باعث تغییر شکل آنها می شود. در این حالت باید اثر تغییر شکلهای نسبی بر نیروهای اعضای افقی سازه تعیین شود. اگر در پی، نشست چرخشی با دوران θ ظاهر شود، تغییر شکلهای ناشی از آن باعث تغییر شکل $H\theta$ (ارتفاع سازه) در بالای سازه خواهد شد که متعاقبا اثرات $P-\Delta$ و افزایش جا به جایی افقی و ناپایداری سازه مطرح می شود.



دانشکده فنی و مهندسی





دانشکده فنی و مهندسی



ملاحظات ژئوتکنیکی

۲- پدیده روانگرایی خاک (Liquefaction)

در شرایط عادی، اعمال بارهای مرده و زنده سازه به خاک ماهیت استاتیکی دارد، اما در هنگام وقوع زلزله، نیروهایی که از سازه به شالوده و نهایتاً به زمین وارد می شوند، ماهیت دینامیکی دارند و می توانند موجب روانگرایی **خاکهای ماسه ای شل** شوند.

پدیده روانگرایی خاک، در هنگام وقوع زلزله، به **کاهش شدید مقاومت و سختی خاک** منجر می شود. این پدیده عموماً در خاکهایی از نوع ماسه شل اشباع شده رخ می دهد. توده های ماسه ای اشباع شده تحت فشار آب حفره ای قرار دارند. در هنگام زلزله، این توده های ماسه ای تمایل به فشرده شدن و کاهش حجم دارند. در این فرایند، فشار آب حفره ای افزایش می یابد، در نتیجه موجب کاهش تنش مؤثر، که حاصل تفاضل فشار سربار و فشار حفره ای است، می گردد. مقاومت و استحکام برشی خاکهای غیر چسبنده مانند ماسه رابطه مستقیم با تنش مؤثر دارد.



دانشکده فنی و مهندسی



با کاهش تنش مؤثر، مقاومت برشی ماسه کاهش می یابد و در پی آن ماسه روان می گردد. حاصل این پدیده منجر به نشست سازه، وقوع لغزش زمین و تسریع گسیختگی ها خواهد شد. کاهش خطرات روانگرایی به روشهای زیر میسر است:

۱- اصلاح خاک، از طریق ارتعاش، اشباع سازی و تثبیت شیمیایی

۲- زهکشی؛ پایین آوردن سطح آب موجب افزایش تنش مؤثر خواهد شد.

۳- طراحی شالوده مناسب، با استفاده از شمع ها، پی های صندوقی در زیر لایه های خاک



دانشکده فنی و مهندسی



با توجه به امکان نشست و فرونشست زمین در هنگام زلزله و همچنین به دلیل امکان لغزش زمین و ناپایداری شیبها که به علت کاهش مقاومت برشی خاکها اتفاق می افتد، لازم است در مناطق زلزله خیز و به ویژه برای سازه های بلند مطالعات ژئوتکنیکی انجام شود و اقدامات لازم برای در امان بودن سازه از اثرات ژئوتکنیکی زلزله انجام شود.

آیین نامه ۲۸۰۰ توصیه های زیر را در این زمینه مطرح کرده است:

۱- اجتناب از احداث ساختمان بر رو و مجاور گسلهای فعال که در آنها احتمال شکستگی در سطح زمین هنگام زلزله وجود دارد. در مواردی که احداث ساختمان در محدوده گسل اجتناب ناپذیر باشد، رعایت تمهیدات فنی ویژه الزامی است.

۲- انجام مطالعات ویژه ژئوتکنیکی در خصوص زمینهای متشکل از خاک رس حساس و نیز زمین هایی که امکان وقوع ناپایداری های ژئوتکنیکی نظیر روانگرایی، نشست زمین، لغزش یا سنگ ریزش در مورد آنها وجود دارد یا در نظر است ساختمانهای با اهمیت زیاد و خیلی زیاد در آنها احداث شود، الزامی است.



دانشکده فنی و مهندسی



۳- در زمینهای مستعد روانگرایی باید احتمال ناپایداری، حرکت نسبی ژئوتکنیکی، کاهش ظرفیت باربری پی و یا وقوع نشست های زیاد از حد بررسی شود و در صورت لزوم با روشهای مناسب بهسازی خاک به ایمنی پی ساختمان اطمینان حاصل نمود. خاکبرداری به اندازه وزن ساختمان و جایگزینی خاک مناسب و متراکم کردن آن.

۴- هر گونه عملیات خاکی در دامنه، بالا یا پایین شیب برای آماده سازی احداث ساختمان، باید همراه با تحلیل و بررسی پایداری شیب و در صورت نیاز تأمین پایداری کلی شیب باشد. در صورت احداث ساختمان در بالا یا روی شیب، ظرفیت باربری پی و پایداری موضعی و کلی شیب کنترل شود.

۵- لازم است شالوده های ساختمان حتی المقدور بر روی یک سطح افقی ساخته شوند. در مواردی که به علت شیب زمین یا علل دیگر احداث شالوده ها در یک تراز میسر نباشد، باید هر قسمت از آنها بر روی یک سطح افقی قرار داده شود.



دانشکده فنی و مهندسی



ملاحظات سازه ای

مهندس سازه باید در صدد ایجاد یکپارچگی (Integration)، نظم (Regularity) و تقارن (Symmetry) در سازه باشد و از ناکارآمدی هایی که باعث تشدید نیروی زلزله و عدم انتقال مناسب نیرو به شالوده می شود، احتراز کند. ناکارآمدی های عمده سازه در عملکرد لرزه ای ناشی از توزیع نایکنواخت جرم، سختی و مقاومت و نیز نداشتن شکل پذیری مناسب است. رعایت موارد زیر توصیه می شود:

۱. اجتناب از ایجاد طبقه نرم و طبقه ضعیف

طبقه نرم طبقه ای است که نسبت به طبقات بالا و پایین خود سختی کمتری دارد. هر گاه طبقه اول ساختمان طبقه نرم باشد، تغییر مکانهای نسبی زیادی را تجربه خواهد کرد که خود باعث تمرکز نیروها در اتصالات طبقه دوم و افزایش اثرات $P-\Delta$ در آن طبقه خواهد شد.

طبقه ضعیف طبقه ای است که نسبت به طبقات بالا و پایین خود مقاومت کمتری دارد و ظرفیت پذیرش نیروی جانبی آن کمتر است که این امر باعث می شود گسیختگی های موضعی در تراز طبقه پدید آید؛ به عبارت دیگر، چنانچه مقاومت و سختی تمام طبقات تقریباً برابر باشد، در آن صورت تغییر مکان ساختمان بر اثر نیروهای زلزله تقریباً به طور یکنواخت بین طبقات توزیع می شود.

در طبقه نرم، بخش عظیمی از تغییر مکان کل ساختمان متمرکز می شود که حاصل آن افزایش شدید تنش در طبقات مجاور آن خواهد بود. در ساختمانهایی که نیاز به ایجاد فضاهای بزرگ با ارتفاع زیاد مانند تالارهای پذیرایی و نمایشگاهها در طبقه اول وجود دارد، امکان تشکیل طبقه نرم زیاد خواهد بود. از راه حل های رفع مشکل در این موارد، افزایش صلبیت ستونها از طریق افزایش تعداد آنها و کاربرد مهاربندی همراه قاب است.



دانشکده فنی و مهندسی





دانشکده فنی و مهندسی

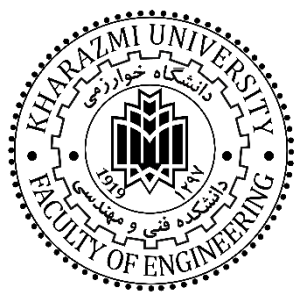


۲. رعایت ضابطه ستون قوی - تیر ضعیف

انهدام ستونهای یک سازه به مراتب خطرناک تر از خرابی تیرهای آن است. بنابراین، در طراحی پلاستیک تلاش بر این خواهد بود که تحت اثر نیروهای شدید لرزه ای، تیرها قبل از ستونها وارد محدوده تغییر شکلهای غیرارتجاعی شوند. رفتار غیرارتجاعی تیرها باعث جذب و اتلاف انرژی حاصل از زلزله می شود. چنانچه ستونهای سازه ضعیف باشند، دچار تغییر شکلهای زیاد می شوند که این امر باعث تسریع در بروز پدیده کمانش در اثر بارهای قائم و فروریختگی سازه می شود.

۳. اجتناب از ستونهای کوتاه

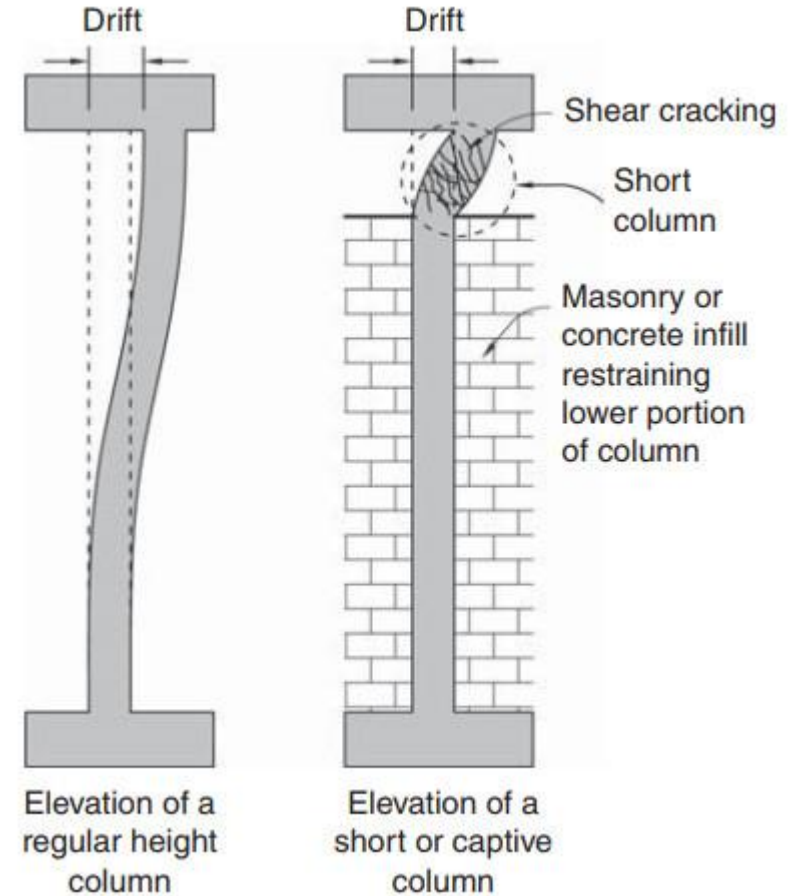
ستونهای کوتاه، دارای سختی جانبی بیشتر (تقریباً به نسبت معکوس با توان سوم طول ستون) هستند، چون نیروهای ناشی از زلزله متناسب با سختی جانبی اعضای مقاوم توزیع می شوند، لذا ستونهای کوتاه نیروی به مراتب بیشتری را جذب می کنند. همچنین ترتیب آرایش یکنواختی از ستونهای کوتاه که طبقه ای را نگه می دارند، باعث جذب بیشتر نیروهای وارد به آن طبقه می شوند که حاصل آن احتمال انهدام ستونهای کوتاه است.



دانشکده فنی و مهندسی



ستون کوتاه





دانشکده فنی و مهندسی



۴. اجتناب از تغییرات سختی ستونها

گاهی از اوقات، به علت ملاحظات معماری مانند ساختمان سازی در دامنه کوه، ایجاد عدم تقارن در ارتفاع ساختمان (ساختمانهای دوبلکس) موجب احداث ستونهایی با ارتفاع متفاوت، در نتیجه سختی های ناهمسان می شود. سختی کمتر موجب بروز تغییر شکلهای بیشتر و بروز ناهمسانی در تغییر مکانهای عناصر قائم سازه می شود. در موارد ضروری، یک راه حل استفاده از مهاربندی های افقی برای مساوی کردن تغییر مکانهای ستونها با ارتفاع متغیر است. در بعضی از مواقع، با جداسازی دیوارهای غیرسازه ای سنگین از ستونها، می توان از ایجاد ستونها کوتاه اجتناب کرد.

۵. اجتناب از قطع اعضای قائم مقاوم

تغییر محل ستون در طبقات مختلف موجب تغییر مسیر بار ستونها از مسیر بار اصلی (ستون به ستون) به اعضای افقی می شود. حاصل این عدم پیوستگی در اعضای قائم، اعمال نیروهای زیاد به تیرها در هنگام وقوع زلزله است که خود موجب انهدام بخشی از سازه یا تمام آن خواهد شد. بنابراین، باید اعضای قائم مقاوم به صورت پیوسته تا شالوده امتداد یابند.

۶. پرهیز از به کارگیری سیستم های مختلف سازه ای در پلان و ارتفاع

در شکل زیر، سازه ای را می بینید که در ارتفاع از سیستم های مختلف مقاوم لرزه ای استفاده شده است. کاربرد سیستم های متفاوت لرزه ای در ارتفاع و پلان، اختلال در هماهنگی مقاومت، سختی و شکل پذیری سازه در طبقات مختلف را در پی خواهد داشت. این عدم یکنواختی و ناهماهنگی موجب ایجاد واکنش لرزه ای غیر یکنواخت و پیش بینی نشده سازه می شود.



دانشکده فنی و مهندسی





دانشکده فنی و مهندسی



۷. استقرار اعضای قائم در یک صفحه

اعضای قائم مقاوم در برابر زلزله باید به گونه ای طراحی شوند که در یک صفحه قائم قرار گیرند. در غیر این صورت، جریان مسیر نیرو از کف طبقات به شالوده به طور مستقیم توسط اعضای مقاوم انجام نمی شود و عناصر واسطه مانند تیرها و اتصالات در مسیر انتقال نیرو نقش رابط را ایفا می کنند. حاصل این ناهماهنگی اعمال بار زیاد به عناصر افقی و ایجاد پیچش ناهمگون در سقف ها خواهد بود. این گونه سیستم ها مصداق رفتار منظم لرزه ای خواهد بود.

۸. نزدیک بودن مراکز سختی و جرم

برآیند نیروهای ناشی از زلزله به دلیل ماهیت دینامیکی خود در مرکز جرم سازه خصوصاً کف ها می باشد. برای توزیع این نیروها به نسبت سختی عناصر مقاوم، لازم است در کف های صلب برآیند نیروها در مرکز سختی طبقه در نظر گرفته شود. انتقال نیروی زلزله از مرکز جرم به مرکز سختی همراه با لنگر پیچشی برابر حاصل ضرب نیروی زلزله در فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی است. بنابراین، هر چه فاصله بین مرکز سختی و مرکز جرم کمتر باشد، مقدار لنگر پیچشی کمتر خواهد بود.

توصیه شده است فاصله بین مرکز جرم و مرکز سختی در هر طبقه و در هر امتداد کمتر از ۰.۵٪ بعد ساختمان در آن امتداد باشد.



دانشکده فنی و مهندسی



انتخاب سیستم سازه ای و فرم ساختمانی

یکی از پارامترهای مهم در طراحی سازه های بلند، مسئله کنترل تغییر مکان جانبی سازه است، زیرا با افزایش ارتفاع سازه، تغییر مکان جانبی آن نیز افزایش می یابد. اگر سازه بلند به مثابه یک عضو طره ای طراحی شود، تغییر شکل آن در طبقات بالا خیلی زیاد خواهد بود، به طوری که آسایش ساکنان - که از معیارهای طراحی محسوب می شود- را به خطر می اندازد.

روشهای ممکن برای کنترل تغییر مکان جانبی ساختمان:

- ۱- افزودن سختی ساختمان با استفاده از یک سیستم سازه ای مناسب.
- ۲- افزودن جرم سازه که خود موجب افزایش هزینه و جذب نیروی بیشتر زلزله خواهد شد.
- ۳- انتخاب فرم های ساختمانی پربازده (منظور فرم سازه ای با تغییر مکان جانبی کمتر و نسبت وزن به سطح کمتر است).
- ۴- ایجاد نیروهای اضافی در ساختمان برای مقابله با اثر نیروهای جانبی خارجی.



دانشکده فنی و مهندسی



یکی از عوامل مؤثر در انتخاب فرم سازه ای، نوع کاربری ساختمان است که تعیین کننده نوع پلان داخلی است. در ساختمانهای تجاری به فضاهای باز و وسیع نیاز است، لذا اعضای قائم سازه ای باید دور از هم قرار گیرند و آسانسورها، راه پله ها و سرویسها حتی المقدور در وسط پلان مجتمع شوند. ارتفاع طبقات معمولاً بیش از ساختمانهای مسکونی است (حدود ۳/۵ متر).

در ساختمانهای مسکونی و هتلها معمولاً فضاسازی های داخلی در طبقات تکرار می شود. ستونها و دیوارها و حتی تیغه بندیها در طبقات یکسان است. لذا می توان برای عبور تأسیسات و سرویسها فضایی را کنار ستونها به صورت قائم در نظر گرفت. ارتفاع طبقات حدود ۳ متر مناسب، لذا ارتفاع کلی یک ساختمان ۴۰ طبقه مسکونی خیلی کوتاهتر از یک ساختمان ۴۰ طبقه تجاری است.

* انتخاب سیستم سازه ای و فرم ساختمانی، موضوع همکاری و همفکری مهندسان معمار و سازه است. در فرم ساختمانی تأمین ملاحظات معماری و سازه ای هر دو حایز اهمیت است. مزیت ساختمان بلند، معماری متفاوت و جذاب آن است.



دانشکده فنی و مهندسی



❖ سیستم های سازه ای پربازده:

❖ سیستم لوله ای (Tube Structures)

سیستم لوله ای متشکل از ستونهایی با فاصله کم در محیط سازه است که توسط شاهتیرهایی عمیق به یکدیگر متصل می شوند و به این ترتیب قاب بسیار سختی برای تحمل بارهای جانبی به وجود می آورد. انواع پر کاربرد این سیستم عبارت اند از:

• قاب محیطی

• قاب لوله ای مهاربندی شده

• لوله دسته شده

• لوله در لوله

❖ سیستم شبکه قطری یا دیاگرید

❖ سیستم مرکب یا کامپوزیت

❖ سیستم هیبریدی

❖ سیستم خرپای فضایی

سازه های شبکه قطری



نمونه های معروف سازه شبکه قطری (Diagrid):

(a) برج Swiss Re در لندن، (b) برج Hearst در نیویورک، (c) برج Cyclone در کره، (d) برج Capital Gate در دبی

(e) برج Jinling چین



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم کامپوزیت

- **Thamrin Nine,**
- **Jakarta, Indonesia**
- **325m, 71 Story,**
- **Under construction**
- **Composite**
- **Office & Hotel**





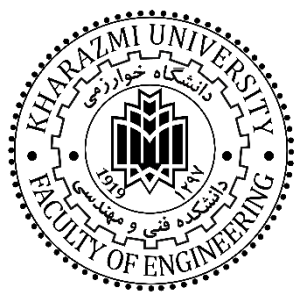
دانشکده فنی و مهندسی

Marina Bay, Singapore Composite Structure



- Two residential towers, 70 (245m) & 63 (216m) story.
- Towers have extreme slenderness ≈ 13
- Unique coupled-outrigger-shear wall structural system.
- Seismic design, super high strength concrete & unique strutfree retention system.



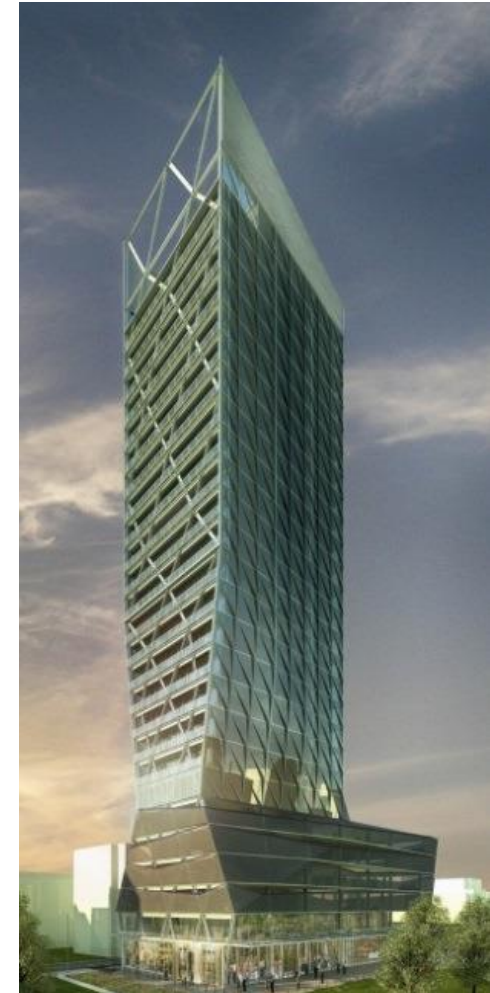


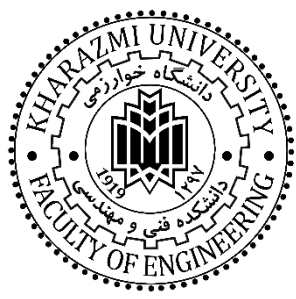
دانشکده فنی و مهندسی



Composite Structure

**Izmir Ova Centre,
Turkey
112m, 27 Story**





دانشکده فنی و مهندسی



سیستم هیبریدی

Signature Tower - Dubai





دانشکده فنی و مهندسی

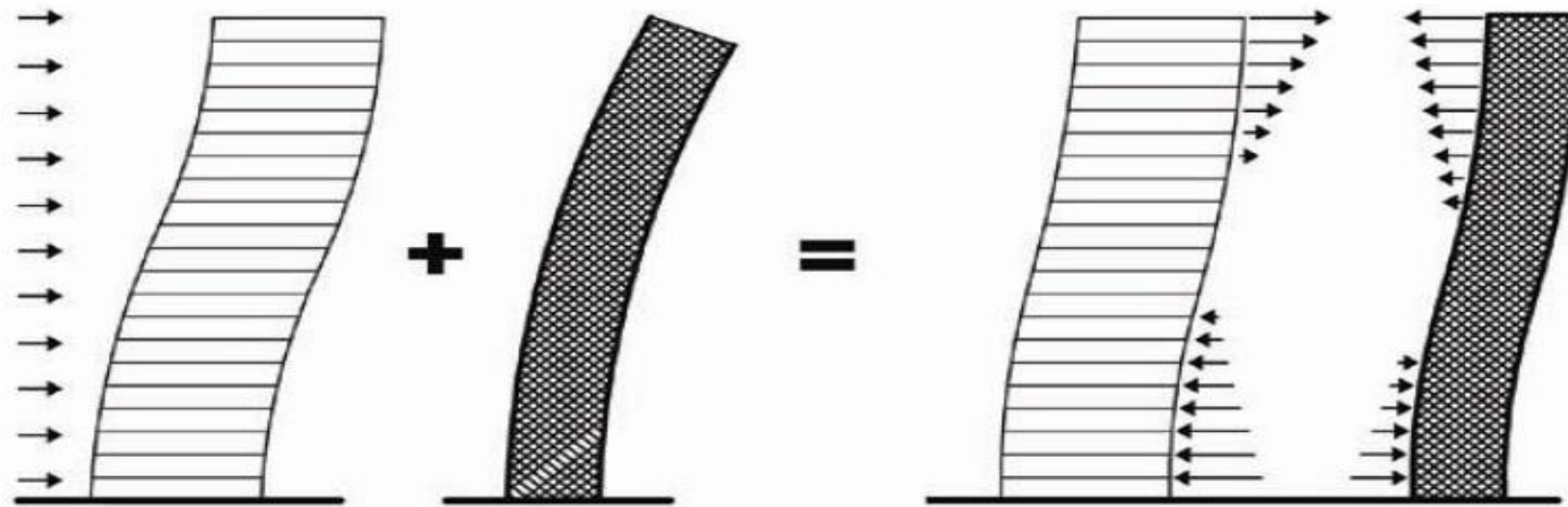


مهم ترین عامل در انتخاب فرم سازه ای، تأمین سختی جانبی سازه است. تغییر شکل جانبی ناشی از بارهای افقی (باد و زلزله) با توجه به ارتفاع زیاد ساختمان می تواند باعث به هم خوردن آسایش ساکنان و اختلال در کارکرد سیستم های تأسیسات، آسانسور و درها و پنجره ها شود. از سوی دیگر، اثرات $P-\Delta$ می تواند باعث افزایش لنگرها و تغییر شکل آنها شود.

تحقیقات دهه های اخیر و پیشرفتهای حاصل از آن در رشته سازه اغلب در زمینه تولید مصالح سبک و پر مقاومت و ایجاد سیستم های با سختی جانبی بالا بوده است.

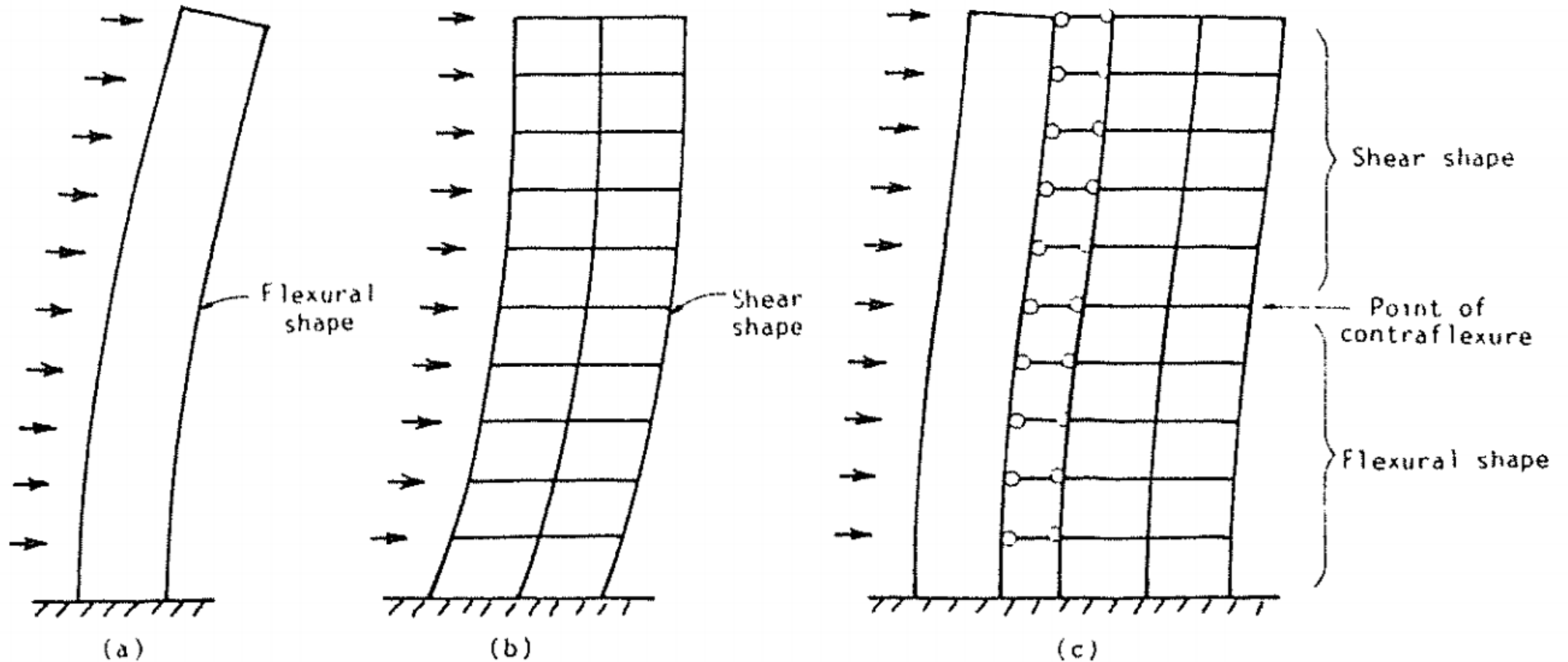
دیوارهای برشی، مهاربندی ها و هسته ها باعث تغییر شکل طره ای ساختمان می شود. قابهای صلب باعث تغییر شکلهای برشی در ساختمان می شود. برای کنترل تغییر مکان جانبی معمولاً از ترکیب این دو نوع سیستم سازه ای برای فرم ساختمانی سازه بلند استفاده می شود.

❖ اندرکنش رفتار سیستم های مقاوم جانبی در سازه های بلند



عملکرد سیستم ترکیبی قاب خمشی و دیوار برشی

اندرکنش رفتار دیوار برشی و قاب خمشی در سازه های بلند





دانشکده فنی و مهندسی



فرم‌های ساختمانی پربازده

معمولا از فرم‌های ساختمانی منشور مستطیلی استفاده می شود که در برابر حرکت جانبی حساس هستند. فرم‌های ساختمانی با شکل هندسی دیگری وجود دارد که واکنش مناسب تری در برابر بار جانبی دارند. نمونه هایی از این فرمها عبارت اند از:

۱. ساختمانهای شیبدار یا هرم ناقص مانند ساختمان جان هنکاک در شیکاگو و ساختمان هرمی شکل ترانس در سانفرانسیسکو اثر ویلیام پیرا
۲. فرم استوانه ای مانند برجهای مرینا سیتی در شیکاگو
۳. فرم بیضی شکل
۴. فرم منشور مثلثی مانند ساختمان بنگاه سخن پراکنی امریکا در لس آنجلس
۵. فرم هلالی یا مارپیچی مانند برجهای سیتی هال تورنتو



دانشکده فنی و مهندسی



ساختمان جان هنکاک در شیکاگو



دانشکده فنی و مهندسی



ساختمان ترانس در سانفرانسیسکو



دانشکده فنی و مهندسی



تفاوت رفتارهای سازه در برابر نیروی باد و نیروی زلزله

یکی از عوامل مؤثر در انتخاب فرم سازه ای، نوع و شدت بارهای وارد بر سازه اعم از بارهای ثقیلی و بارهای جانبی است. بارهای ثقیلی تابع نوع کاربری ساختمان است.

بارهای جانبی شامل بارهای ناشی از باد و زلزله است.

هر چند که نیروی باد و نیروی زلزله هر دو ماهیت دینامیکی دارند، لیکن رفتار سازه در برابر آنها متفاوت است. بار باد به صورت نیروی خارجی به بدنه و سطحی از سازه که در برابر آن قرار دارد، اعمال می شود. نیروی زلزله علاوه بر اینکه به فاصله محل وقوع آن تا سازه و میزان بزرگی آن بستگی دارد، به پارامترهای دینامیکی سازه از قبیل جرم، سختی و میرایی سازه و نوع زمین و خاکی که سازه روی آن بنا شده نیز وابسته است.

البته، نیروی باد علاوه بر سطح و شکل هندسی سازه، به مشخصه های دینامیکی بار باد نیز بستگی دارد. اما عوامل مؤثر بر رفتار سازه در برابر زلزله بیشتر است. نکته مهم تر آنکه بارهای ناشی از باد به سازه اعمال می شود، در حالی که نیروهای ناشی از زلزله در سازه ایجاد می شود؛ به عبارت دیگر، نیروی باد نیرویی برونزا و نیروی زلزله درونزا است.



دانشکده فنی و مهندسی



بزرگی نیروی زلزله شدیداً متأثر از جرم سازه است. لذا در طراحی سازه در برابر باد، می توان با انتخاب مقطعی قوی تر حاشیه ایمنی سازه را افزایش داد، لیکن این امر در طراحی سازه در برابر زلزله کارساز نیست.

طبق رابطه " $F=ma$ " نیروی زلزله به دو عامل اساسی بستگی دارد: جرم ساختمان و شتاب زمین. علاوه بر این دو عامل، پریود سازه (T) تأثیر زیادی بر نیروی زلزله دارد؛ بخصوص هنگامی که پریود سازه با پریود امواج زلزله نزدیک به هم باشند، در آن صورت، پدیده رزونانس رخ می دهد و نیروی زلزله تشدید می شود.



دانشکده فنی و مهندسی



* هر سازه ای دارای پریودهای متعددی است که بستگی به نوع مدل ریاضی ای دارد که برای آن در نظر گرفته می شود. بیشترین پریود سازه را که مترادف با کمترین فرکانس طبیعی است، پریود اصلی یا پریود پایه ساختمان گویند (T_1). زمان تناوب اصلی یک سازه تابعی از جرم، سختی و میرایی آن است که به عنوان تقریب اولیه برای یک ساختمان فولادی با تعداد طبقات N از رابطه $T_1 = 0.15N$ به دست می آید.

پریودهای دوم و سوم ساختمان از روابط: $T_2 = \frac{1}{3}T_1$ و $T_3 = \frac{1}{5}T_1$
مثال: برای یک ساختمان ۲۰ طبقه داریم: $T_1 = 3^{Sec}$ ، $T_2 = 1^{Sec}$ و $T_3 = 0.6^{Sec}$

* شدت حرکت زمین با افزایش فاصله از کانون زلزله کاهش می یابد. ارتعاشات زمین، چنانچه دارای پریود کم باشند، در فواصل کم مستهلک می شوند، اما ارتعاشات دارای پریود زیاد، ممکن است صدها کیلومتر حرکت کنند. این گونه امواج، چنانچه پریودشان با پریود سازه های بلند انطباق یابد، باعث تشدید ارتعاشات سازه می شود. بنابراین، سازه های بلند که دارای پریود طبیعی زیاد هستند، ممکن است از زلزله های ناحیه دور دچار خسارت شوند.



دانشکده فنی و مهندسی



مقایسه سازه های فولادی و بتنی

- یکی از پارامترهای مؤثر در انتخاب فرم ساختمانی سازه های بلند، ویژگی های مصالح مصرفی است. **سازه های فولادی** به سبب مزایای آن همواره از اولویت بالایی برخوردار بوده اند. مزایای مهم سازه های فولادی عبارت اند از:
- ۱- سرعت ساخت، به خصوص زمانی که سرمایه گذاری با گرفتن وام انجام شده است.
 - ۲- در دسترس بودن قطعات فولادی در مقاومتها و اندازه های مختلف.
 - ۳- سبک تر شدن وزن کل سازه (بر اساس معیار نسبت وزن/سطح).
 - ۴- قابلیت تعمیر، بازسازی و توسعه سازه های فولادی با هزینه بالنسبه مناسب.
 - ۵- قابلیت اجرا در شرایط سرما (کم بودن روزهای از دست رفته کاری).
 - ۶- شکل پذیری فولاد نرمه و لزوم این خاصیت برای طراحی سازه ها در برابر زلزله به لحاظ جذب انرژی.
- عیب اساسی سازه های فولادی، کاهش مقاومت آنها در آتش سوزی و دمای حدود 800°C است که با راهکارهایی نظیر مدفون کردن در بتن و استفاده از اسپری ضد آتش به ضخامت 5cm تا 15cm قابل جبران است. عیب دیگر سازه های فولادی، آسیب پذیری آن در برابر خوردگی و هوازگی است که با ضد زنگ قابل برطرف شدن است.



دانشکده فنی و مهندسی



مقایسه سازه های فولادی و بتنی

با اختراع بتن به عنوان مصالح ساختمانی، احداث سازه های بتنی رو به گسترش یافت. مزایای **سازه های بتنی** عبارت اند از:

- ۱- قابلیت به فرم دلخواه در آوردن عضو با استفاده از قالب.
- ۲- مقاومت نسبتاً خوب بر اثر گذشت زمان (نداشتن مسئله خوردگی).
- ۳- مقاومت در برابر آتش و حرارت بالا.
- ۴- اقتصادی بودن بر حسب محل اجرای پروژه (در صورت نزدیک بودن به معدن شن و ماسه).
- ۵- با استفاده از فرمهای مناسب ساختمانی مانند دیوارهای برشی و سازه های لوله ای، دیگر وزن مرده بالای بتن محدودیتی در ارتفاع ساختمانهای بتنی ایجاد نمی کند.
- ۶- با استفاده از مواد افزودنی جدید مانند روان کننده های قوی (Super Plasticizers) و تولید بتن پرمقاومت و بتن سبک تقریباً تمام محدودیت های قبلی سازه های بتنی از بین رفته است.



دانشکده فنی و مهندسی



مقایسه سازه‌های فولادی و بتنی

در مقایسه با فولاد، بتن دارای صفات مشخصه زیر است:

- الف) مقاومت کم در برابر کشش، که با کاربرد آرماتور در درون آن، این ضعف از بین می‌رود.
- ب) قابلیت پیش تنیده کردن قطعات بتنی، به طوری که در بارگذاری سرویس، کشش بتن از حد خاصی بیشتر نشود.
- ج) تغییر شکل تابع زمان مانند خزش (creep) و جمع شدگی (shrinkage).
- د) داشتن بار مرده و سختی بیشتر، ویژگی دوم مثبت است، زیرا از لرزش کف‌ها و ناپایداری موضعی جلوگیری می‌کند.



دانشکده فنی و مهندسی



اهم فرمهای ساختمانی مورد استفاده در سازه های بلند عبارت اند از:

- ۱- قابهای مهاربندی شده (Braced Frames Structures)
- ۲- قابهای صلب (Rigid Frames)
- ۳- قابهای میان پر (Infilled Frames)
- ۴- تاوله های تخت و قارچی (Flat Plate and Flat Slabs)
- ۵- دیوارهای برشی (Shear Walls) شامل دیوارهای کوپل (Coupled)
- ۶- سازه های قاب و دیوار (Wall-Frame Structure)
- ۷- قابهای محیطی (سازه های لوله ای (Framed Tube)
- ۸- قابهای لوله در لوله (Tube in Tube)
- ۹- قابهای محیطی دسته بندی شده (Bundled Tube)
- ۱۰- قابهای محیطی مهاربندی شده (Braced Tube)



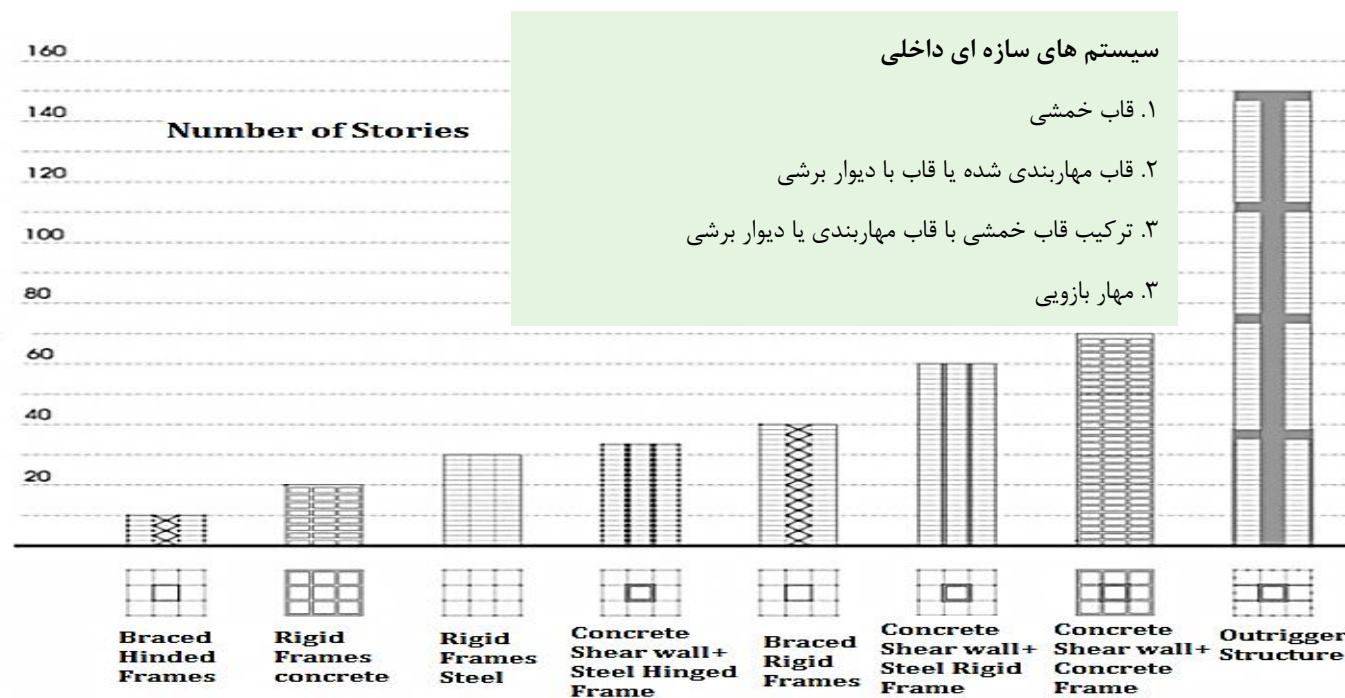
دانشکده فنی و مهندسی



- ۱۱- سازه های با مهار بازویی (Outrigger-braced Structures)
- ۱۲- سازه های معلق (Suspended Structures)
- ۱۳- سازه های هسته ای (Core Structures)
- ۱۴- سازه های فضایی (Space Structures)
- ۱۵- سازه های پیوندی (Hybrid Structures)
- ۱۶- فرمهای ساختمانی پربازده (فرمهای هرمی شیبدار، دایره ای، بیضوی، هلالی و ...)
- ۱۷- فرمهای مجهز به دستگاہها و عوامل داخلی برای مقابله با نیروهای خارجی
 - الف) استفاده از کابل های کششی در داخل ساختمان
 - ب) استفاده از میراگرها برای کاهش تغییر مکان جانبی و حرکات ارتعاشی
 - ج) استفاده از جداگرهای لرزه ای

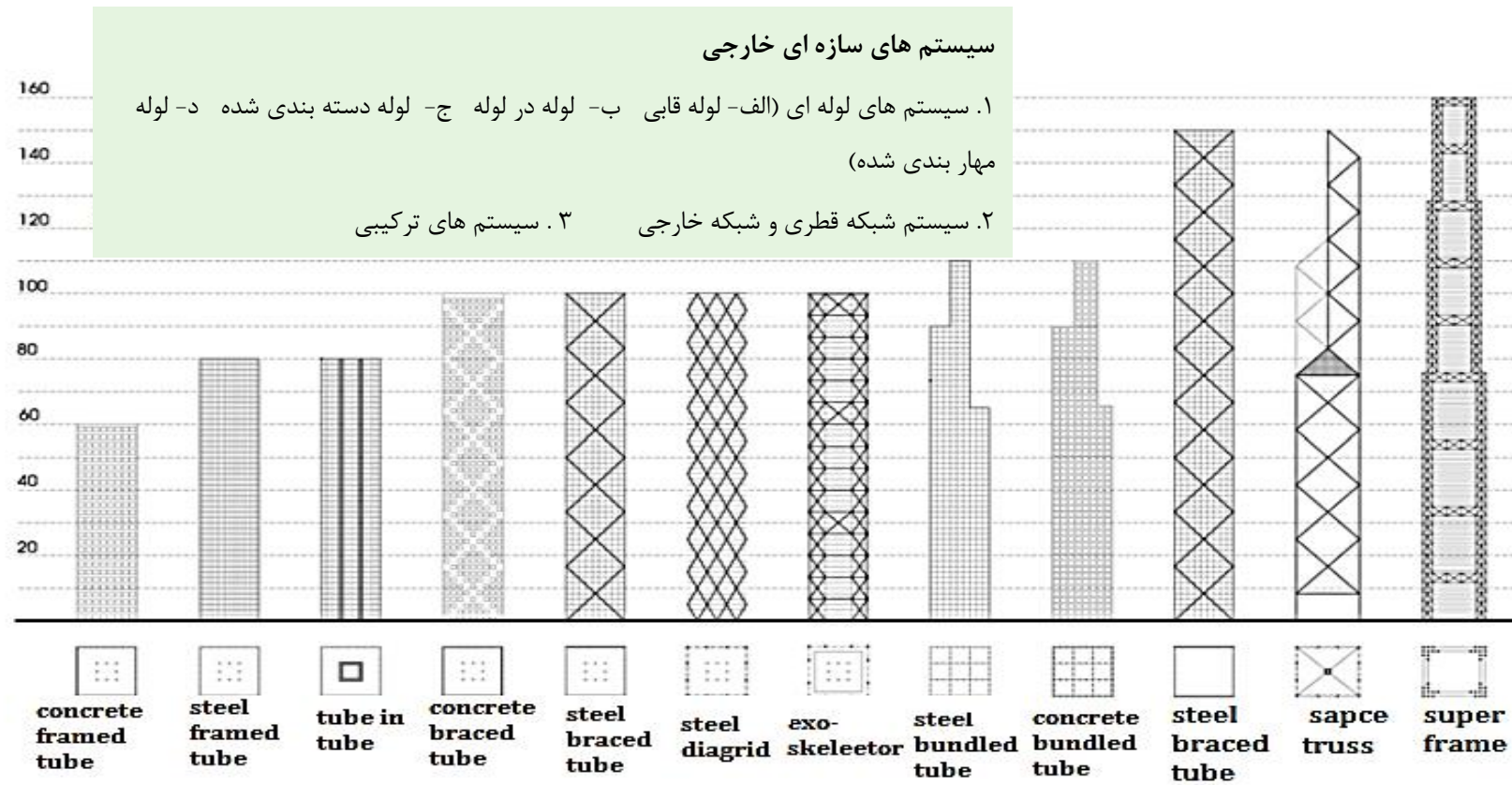
سیستم های سازه ای ساختمان های بلند

به طور کلی سیستم های سازه ای در ساختمان های بلند به دو دسته سیستم های سازه ای داخلی و خارجی تقسیم بندی می شوند.



سیستم های سازه ای داخلی

سیستم های سازه ای ساختمان های بلند



سیستم های سازه ای خارجی



دانشکده فنی و مهندسی



روند کاربرد انواع مصالح سازه ای در نود سال اخیر
82% of the 100 tallest buildings are either concrete or composite

Material of the 100 tallest buildings, per decade

Data compiled September 2011



The structural systems of the world's tallest buildings have historically been predominantly composed of steel. By the end of 2012, 82% of the world's 100 tallest buildings will be constructed of either concrete or composite construction.



دانشکده فنی و مهندسی



معرفی سیستم های سازه ای بلند مرتبه

مقاومت جانبی ساختمان های بلند در برابر نیروی باد (همانند زلزله) معیار اصلی در طراحی سیستم های سازه ای است که با تلاش مستمر مهندسين سازه با هدف کمینه کردن تغییر شکل در محدوده مجاز و میزان مصالح مصرفی به افزایش ارتفاع ساختمانها منجر شده است. با بهره گیری از تکنولوژی پیچیده کامپیوتر، مصالح مدرن و مفاهیم ساختاری نوآورانه، سیستم های سازه ای از سبک سنتی ساختمانها فراتر رفته و به آسمان خراش ها این اجازه را داده که به ارتفاع بیش از ۱۰۰ طبقه که دیگر در روزگار ما رویا نیست، برسند.

در واقع، سه نوع اصلی از ساختمان وجود دارد:

ساختمان های فولادی، ساختمان های بتن مسلح و ساختمان های کامپوزیت.

بسیاری از بلندترین ساختمانها در جهان، با توجه به نسبت مقاومت به وزن آنها، سهولت مونتاژ و آماده سازی محل، اقتصادی شدن هزینه های حمل و نقل مصالح به سایت، دسترسی به سطوح مختلف مقاومت و انتخاب گسترده تر مقاطع، دارای سیستم سازه ای فولادی هستند. سیستم های قابی نوآورانه و روشهای طراحی مدرن، بهبود تکنیکهای حفاظت از آتش و مقاومت در برابر خوردگی، فنون نوین ساخت و نصب با تکنیک های تحلیلی پیشرفته که توسط کامپیوتر امکان پذیر شده، موجب کاهش معایب سازه های فولادی و افزایش مزایای این نوع سازه ها شده است، همچنین استفاده از فولاد در هر سیستم سازه ای در چارچوب آیین نامه های موجود برای ساختمان های بلند مجاز است. اگر چه بتن به عنوان یک ماده سازه ای از مدتها قبل شناخته شده بود، استفاده از بتن مسلح از سال ۱۸۶۷ در صنعت ساختمان متداول شد و در دهه های اخیر به شدت توسعه یافت.



دانشکده فنی و مهندسی



معرفی سیستم های سازه ای بلند مرتبه

اختراع بتن مسلح تا حد زیادی اهمیت و استفاده از بتن در صنعت ساخت و ساز را افزایش داده است. به خصوص، به دلیل ویژگی ها و خصوصیات ماند **مقاومت در برابر آتش طبیعی، قابلیت شکل گرفتن به فرمهای مختلف با استفاده از تنوع قالبها و رفتار یکپارچه در ترکیب با فولاد**، معماران و مهندسان را بر آن داشته که از بتن مسلح برای ایجاد سازه های بدیع در اشکال مختلف و زیبا استفاده می کنند.

علاوه بر این، در مقایسه با فولاد، ساختمان های بلند بتن مسلح به علت حجم مصالح و سنگینی بیشتر، از میرایی بهتری برخوردارند که این امر در به حداقل رساندن ادراک حرکت در ساکنان ساختمان و پایداری بیشتر آن در برابر بارهای باد کمک می کند. نوآوری های جدید در تکنولوژی ساخت و ساز، روش های نوین طراحی و ابزار ساخت و ساز، همه به سهولت کاربرد بتن در ساخت و ساز ساختمان های بلند کمک کرده اند. علاوه بر این، بتن با مقاومت بالا به طور مثال در مورد برج های پتروناس (مالزی، ۱۹۹۸) و ساختمان جین مائو (چین، ۱۹۹۹) به کار رفته است و بتن سازه ای سبک وزن به طور مثال در ساختمان شل پلازا (تگزاس، ۱۹۷۱) استفاده از اندازه عضو با ابعاد کوچکتر و فولاد کمتر را اجازه می دهد. مشابه فولاد و یا مصالح کامپوزیت، انواع گسترده ای از سیستم های سازه ای برای ساختمان های بلند با استفاده از بتن مسلح ساخته شده اند.

سیستم های بتن و فولاد مستقل از یکدیگر تا سال ۱۹۶۹ تکامل یافتند، در این سال ساخت و ساز کامپوزیت، اساسا به عنوان یک قاب فولادی پایدار شده توسط بتن مسلح معرفی شد، یک ساختمان ۲۰ طبقه توسط دکتر فضلور خان احداث شد.

با اندکی تسامح، همه ساختمان های بلند را می توان به عنوان ساختمان کامپوزیت در نظر گرفت، چراکه ساخت یک ساختمان کاربردی با استفاده از فولاد و یا بتن تنها غیر ممکن است. با استفاده از کمی فولاد می توان یک سازه بتنی را به کامپوزیت و به همان شیوه، با استفاده از کف بتنی مسلح می توان یک سازه فولادی را به کامپوزیت تبدیل کرد.

به طور معمول، سازه های دارای تیرهای بتن آرمه، ستون ها و دیوارهای برشی به عنوان سازه های بتن مسلح (یا بتنی) و به همان سیاق، سازه های دارای تیر های فلزی، ستون مهار بندی شده به عنوان سازه های فولادی پذیرفته شده اند. یعنی، قاب و مهاربند یا دیوار برشی، اما نه کف های slab، تعیین کننده نوع ساختمان هستند. از سوی دیگر، در اینجا، واژه سیستم مرکب به معنی هر گونه ترکیبی از فولاد و عناصر بتن مسلح می باشد.



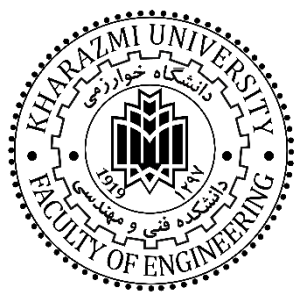
دانشکده فنی و مهندسی



قاب صلب یا قاب خمشی

سیستم قاب صلب برای هر دو ساختار بتن مسلح و فولادی قابل استفاده است. سیستم قاب خمشی به دلیل برخورداری از مقاومت مناسب در برابر بارهای جانبی و ثقلی، در طراحی سازه‌ها مورد اقبال مهندسان ساختمان قرار گرفته است.

قاب صلب یا قاب خمشی بر اساس این واقعیت تعریف می‌شود که اتصال تیر به ستون از صلبیت کافی برخوردار است به طوری که زوایای اصلی در اتصالات تیر و ستون بدون تغییر باقی می‌ماند. در این سیستم سازه‌ای، مقاومت و سختی با ابعاد تیرها و ستونها رابطه مستقیم و با فاصله مابین ستونها رابطه عکس دارد. جانمایی ستون‌ها در محلی است که حداقل الزامات معماری ارضا شود. بنابراین، فاصله بین ستون‌ها به اندازه‌ای باید باشد که کمترین ضخامت دال مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، به منظور دست‌یابی به کنش موثر سازه‌ای از تیرهای عمیق و فاصله نزدیک بین ستونها استفاده می‌شود. به ویژه در مناطق با خطر لرزه‌خیزی زیاد، توجه ویژه‌ای به طراحی اجزای اتصالات لازم است، چراکه سیستم قاب خمشی در مقایسه با سیستم دیوار برشی و یا مهاربندی شده دارای شکل‌پذیری بیشتر و پتانسیل آسیب‌پذیری کمتر در مواجهه با زلزله است. در سازه‌های تا ۳۰ طبقه این ساختار معمولاً نسبت به بار جانبی مقاومت کافی دارد، مگر در مواقعی که سازه بلند و باریک باشد. در سازه‌های بیشتر از ۳۰ طبقه سختی جانبی سیستم قاب صلب معمولاً در مقابل تغییر شکل‌های جانبی ناشی از باد و زلزله به صورت ناکارآمد عمل می‌کند.



دانشکده فنی و مهندسی



ساختمان Lever، نیویورک، آمریکا، ۱۹۵۲



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم دوگانه بادبندی یا دیوار برشی

سیستم قاب صلب برای سازه های بلندتر از ۳۰ طبقه کارآیی مناسب را ندارد، چراکه تغییر شکل های جانبی ناشی از خمش ستون ها به صورت دریافت های به مراتب بزرگتر از حد معمول ظاهر می شود، بنابراین سیستم دوگانه بادبندی یا دیوار برشی پیشنهاد شد.

✓ سیستم مهاربندی شده:

سیستم مهاربندی در سازه های فلزی کاربرد دارد. از مزایای این سیستم، کارآیی بالا و اقتصادی بودن این سیستم در برابر بارهای جانبی است، همچنین بهبود کارایی قاب صلب با حذف خمش ستونها و تیرها به وسیله ی مهار جانبی اضافی میسر میشود. معمولاً این سیستم سازه ای به صورت یک کنسول عمودی عمل میکند. با توجه به الزامات معماری و سازه ای، مهاربندها به صورت ضربدری، قطری تک، شورون و برعکس و حالت های دیگر طراحی می شوند.

جانمایی و مهاربندی در این سازه ها معمولاً اطراف راه پله و سایر شفت ها می باشد که معمولاً با توجه به الزامات بازشوها به سازه دیکته می شود. اگر درصد بررسی تاریخچه مهاربندی در سازه ها باشیم پی خواهیم برد مهاربندی در سازه ها به منظور پایداری جانبی سازه ها در سازه های بلند مرتبه جهان مورد استفاده قرار گرفته است، به عنوان مثال در سازه ۷۷ طبقه کرایسلر و ساختمان ۱۰۲ طبقه امپریال استیت در نیویورک

✓ سیستم دیوار برشی:

سیستم دیوار برشی در هر دو ساختار بتن مسلح و کامپوزیت مورد استفاده قرار میگیرد.

شاید دیوار برشی به عنوان تیر طره عمودی که در برابر بار باد و زلزله در سازه مقاومت می کند و این بارها را به دیافراگم کف منتقل می کند، شناخته شده باشد. دیوار های برشی معمولاً می توانند شکل های متفاوتی به صورت دایره ای، باکس مستطیلی، مربعی و حتی مثلثی داشته باشند. مثال برای این نوع سیستم سازه ای: ساختمان ۶۸ طبقه برج متروپولیتن.



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم دوگانه بادبندی یا دیوار برشی
(Braced Frame and Shear Walled frame System)



ساختمان کرایسلر، نیویورک، آمریکا، ۱۹۳۰



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم کمر بند سخت کننده خرپایی Outrigger System

سیستم کمر بند سخت کننده خرپایی، اصلاح شده سیستم مهاربندی شده یا سیستم دیوار برشی است که در سازه های فولادی و کامپوزیت کاربرد دارد. به عنوان یک سیستم بدیع و موثر سازه ای، سیستم کمر بند سخت کننده دارای یک هسته مرکزی شامل فریم های مهاربندی شده یا دیوارهای برشی و کمر بندهای افقی و تیرهایی است که هسته را به ستونهای محیطی وصل میکنند. همین طور در بیشتر موارد ستون های بیرونی و یا محیطی به وسیله تیرهایی به هم متصل هستند. چنانچه سازه تحت بارهای افقی قرار گیرد از دوران هسته به وسیله ستون های مقاوم در کمر بند های سخت کننده جلوگیری می شود. کمر بند سخت کننده و تیرهایی که اشاره شد می بایست حداقل یک یا دو طبقه از سازه را شامل شوند، برای اینکه بتواند سختی مناسب را ایجاد کنند. بنابراین کمر بند های سخت کننده غالباً در تراز قرار می گیرند که انحنای حاصل از لنگر را کاهش دهند. با توجه به تعداد طبقات کمر بند سخت کننده و سختی آنها ستونهای محیطی و کمر بندهای سخت کننده رفتاری ترکیبی با هسته ایفا می کنند.

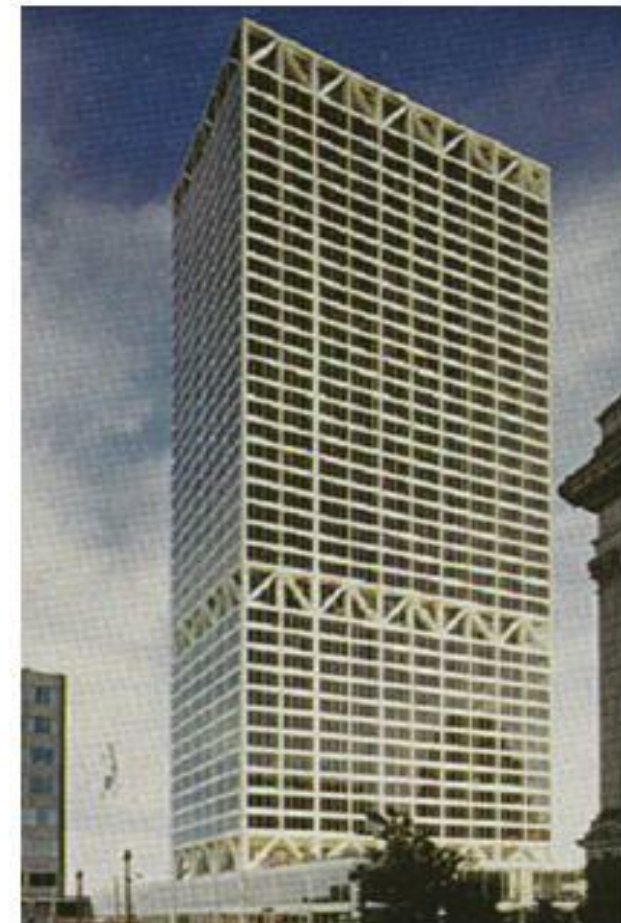
هنگامی که رفتار سازه کمر بند سخت کننده در یک طبقه و یا چند طبقه را با هم مقایسه می کنیم متوجه می شویم که سازه ای که دارای چند طبقه کمر بند سخت کننده می باشد تحت اثر بارهای جانبی، مقاومت جانبی بهتر و کارایی بهتری را از خود نشان میدهد. هر چند ذکر این نکته خالی از لطف نیست که اضافه کردن هر طبقه سخت کننده باعث افزایش سختی جانبی می شود ولی میزان افزایش این سختی به نسبت کمر بند سخت کننده قبلی کمتر است. این سیستم یعنی سیستم کمر بند سخت کننده می تواند برای سازه هایی بیش از ۱۰۰ طبقه استفاده شود. مثال هایی برای این نوع سیستم سازه ای مرکز ویسکانسین در شهر میلواکی ۱۹۷۴ و برج تایپه ۱۰۱ طبقه در تایوان ۲۰۰۴ می باشد.



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم کمر بند خریایی Outrigger System



ساختمان مرکز ویسکونسن، میواکی، آمریکا، ۱۹۷۴



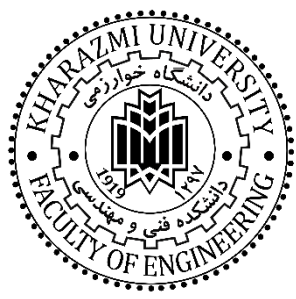
دانشکده فنی و مهندسی



سیستم کمر بند خرپایی – ساختمان تایپه ۱۰۱

ساختمان تایپه ۱۰۱، با ۵۰۸ متر ارتفاع در شهر تایپه قرار دارد. پاسخ های دینامیکی مربوط به باد، زلزله و سایر بارهای غیر عادی می تواند موجب نگرانی بزرگی باشد. به دلیل اینکه تایوان در یکی از مناطق فعال لرزه خیزی در جهان قرار گرفته است، این ساختمان فوق العاده بلند ممکن است در معرض آسیب های ناشی از زلزله های قوی قرار بگیرد. این ویژگی ها سبب می شود که مطالعه ای دقیق بر عملکرد سازه ای بلندترین ساختمان های جهان تحت تحریک های زلزله از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد. برخی از مشخصات این سازه به شرح زیر بیان می شود.

- سازه در زمینی به ابعاد ۶۲.۴ متر در ۶۲.۴ متر با پلانی متقارن احداث شده است. هسته ستون ها مربع مستطیل با مقطع فولادی پر شده از بتن می باشد.
- کمر بند های سخت کننده خرپایی با ارتفاع یک یا دو طبقه تقریبا در هر ۸ طبقه یکبار تکرار شده و قابهای ساختمان محصور بین هسته بادبندی و ستون های بزرگی هستند که به کمر بند خرپایی متصل اند.



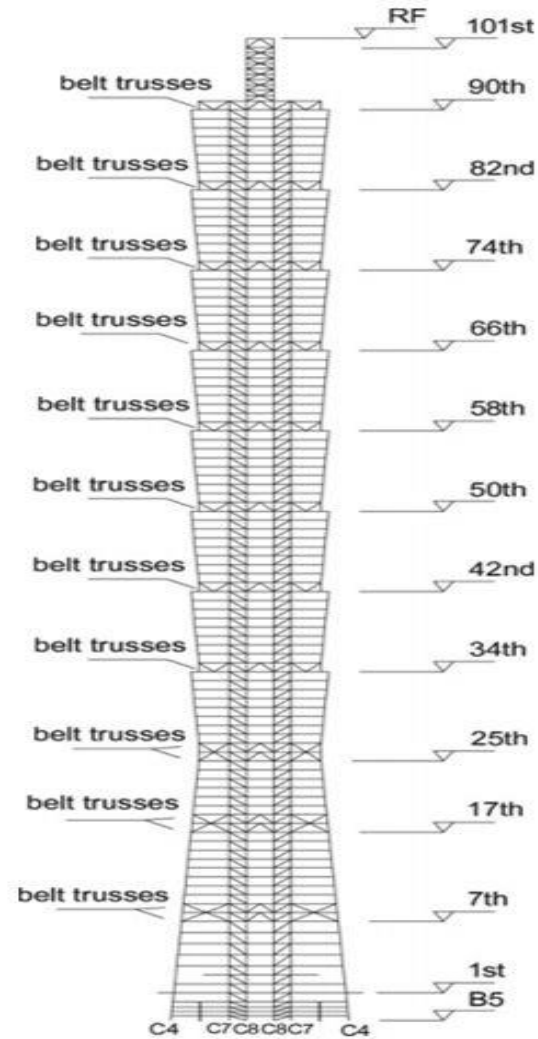
دانشکده فنی و مهندسی



ساختمان تایپه ۱۰۱، تایپه، تایوان، ۲۰۰۴

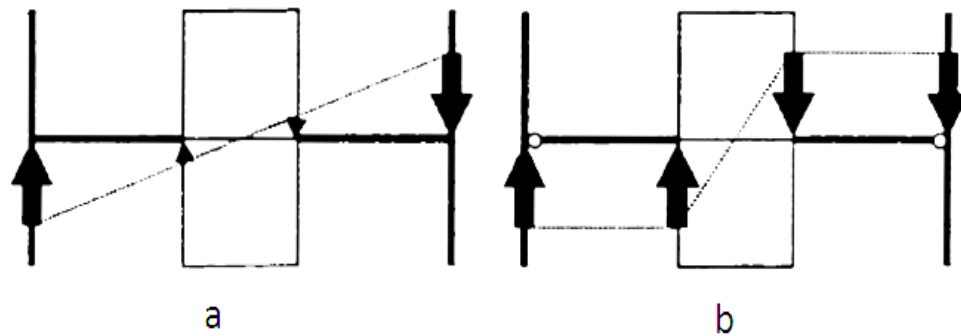


دانشکده فنی و مهندسی

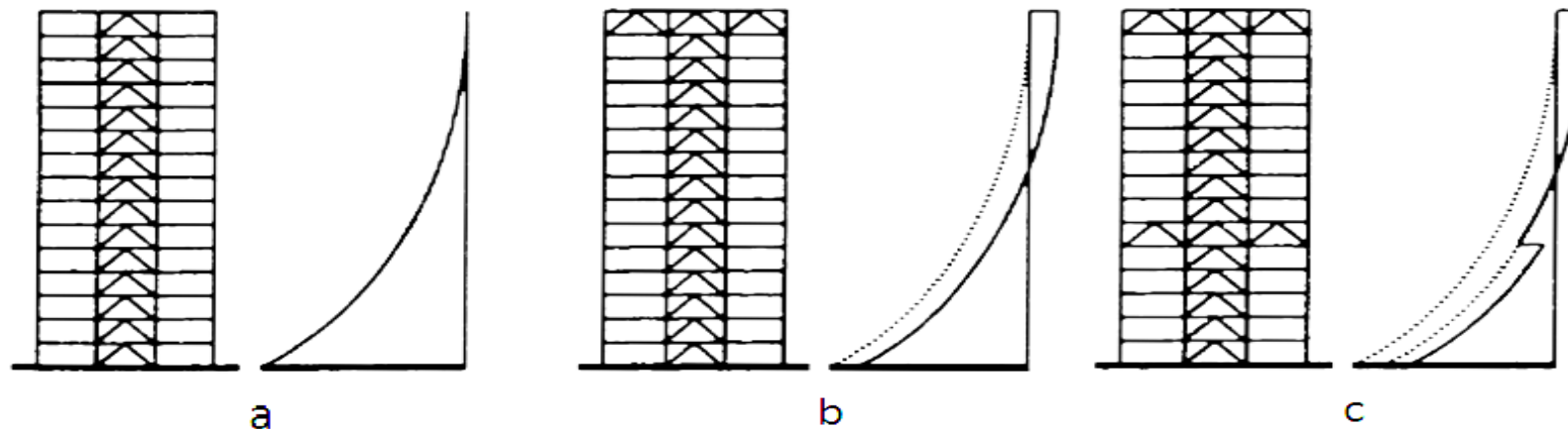


نمای جانبی سازه و محل قرارگیری کمربندهای سخت کننده

سیستم سازه ای هسته مرکزی با مهار بازویی



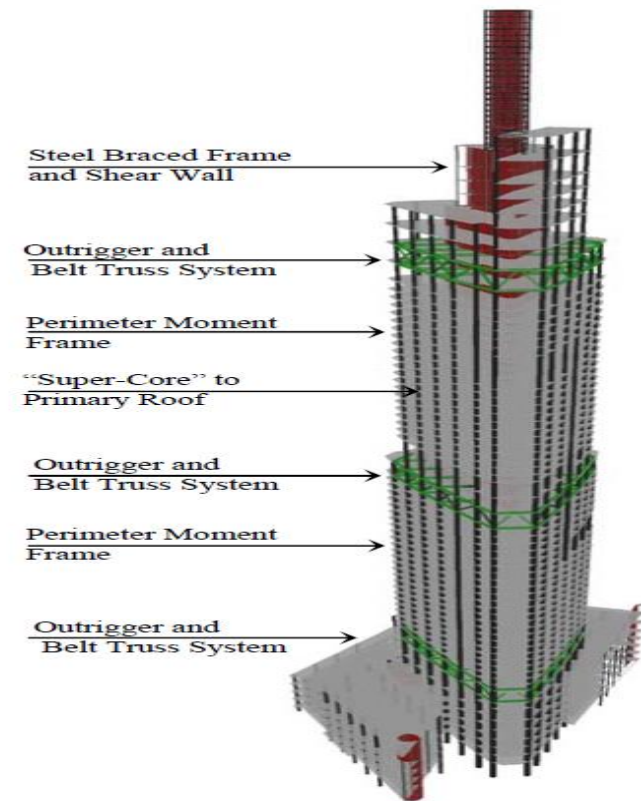
اتصال مهارهای بازویی به ستون های پیرامونی باید به صورت مفصلی انجام شود، چون در اتصال صلب تمام سیستم به صورت واحد عمل کرده، در نتیجه درصد کمی از ظرفیت لنگر هسته استفاده می شود چرا که هسته نزدیک به تار خنثای مقطع ساختمان قرار دارد.



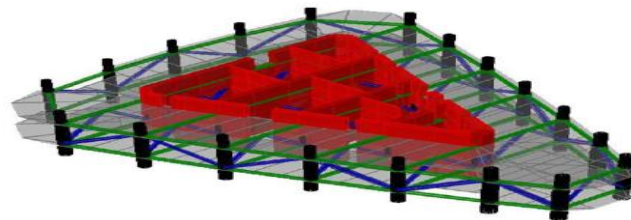
به واسطه گیرداری ایجاد شده توسط سیستم مهار بازویی و کمربند خرپایی لنگر خمشی پایه و تغییر مکان حداکثر به طور چشمگیری کاهش می یابد.

سیستم سازه ای هسته مرکزی با مهار بازویی

مطالعه موردی برج نانجینگ چین : پنجمین برج بلند دنیا - ۷۰ طبقه با ارتفاع ۴۵۰ متر - اتمام ساخت سال ۲۰۰۹
سیستم سازه‌ای برج نانجینگ : سیستم ترکیبی شامل قاب خمشی پیرامونی، هسته مرکزی و سیستم مهار بازویی و کمربند خرپایی می‌باشد.



سیستم سازه ای هسته مرکزی با مهار بازویی



نمونه ای از پیکربندی سیستم مهار بازویی و کمر بند خریایی در برج نانچینگ

سیستم مهار بازویی و کمر بند خریایی در سراسر هسته در تراز طبقات ۱۰، ۳۵ و ۶۰ به ارتفاع ۸/۴ متر استفاده شده است.

برای اتصال سیستم مهار بازویی به هسته ستون‌هایی فولادی در هسته، برای حداقل ۳ طبقه در بالا و پایین سیستم مهار بازویی ادامه دارند تا کوپل نیروهای ایجاد شده در اثر بارهای جانبی را به خوبی انتقال دهند.

ضخامت دیوار هسته؛ ۱/۵ متر در پایه تا ۳۰ سانتیمتر در تراز فوقانی- ابعاد ستون های کامپوزیت؛ ۱/۷۵ متر تا ۹۰ سانتیمتر



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم سازه ای هسته مرکزی با مهار بازویی

طراحی بر اساس عملکرد لرزه ای (Performance Based Design) در برج نانجینگ:

- ❖ برای انجام طراحی بر اساس عملکرد لرزه ای به تعریف دو عامل اصلی نیازمندیم؛ سطح خطر لرزه ای و سطح آسیب.
- ❖ بار باد با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حاصل از نتایج تست تونل باد - حداکثر دریافت مجاز $1/500$ ارتفاع سازه
- ❖ سطوح خطر زلزله: تکرار شونده (دوره بازگشت ۵۰ سال) - متوسط (دوره بازگشت ۵۰۰ سال) - بزرگ (دوره بازگشت ۲۵۰۰ ساله)

خلاصه ای از دیدگاه طراحی بر اساس عملکرد :

- تمام المان های باربر جانبی برای طیف پاسخ زلزله متوسط باید در ناحیه الاستیک باقی بمانند و نسبت دریافت آنها تحت بار باد تعریف شده کنترل گردد.
- کمربندهای خرپایی و دیوارهای برشی با طیف پاسخ زلزله بزرگ طراحی می شوند.
- در نهایت یک تحلیل الاستوپلاستیک برای تایید رفتار سازه با فرض تشکیل مفصل پلاستیک در بعضی از اعضای سیستم جانبی و باقی ماندن کمربندهای خرپایی و دیوارهای هسته در ناحیه الاستیک برای تحلیل طیفی پاسخ در زلزله بزرگ انجام شد.



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم قاب محیطی

سیستم قاب محیطی از نوع قاب فضایی سه بعدی است که از اتصال قابهای محیطی به ستونهای سخت گوشه ای ایجاد می شوند. ساده ترین قاب محیطی متشکل از ۴ قاب عمود برهم است که یک محیط بسته را تشکیل می دهند. رفتار قاب محیطی به مثابه تیر عظیم الجثه ای است که بالها و جان آنها به صورت عمودی قرار دارند و بارهای محوری و برشها را تحمل می کنند. قابهای بال عمود بر جهت باد و قابهای جان در امتداد جهت باد قرار دارند. تیرهای پیشانی از نوع تیرهای عمیق هستند که رفتار برشی آنها موجب انعطاف سازه می شود. اثر تاخیر برشی در این نوع سازه ظاهر می شود که بر اثر آن توزیع تنش در ستونها به صورت نابرابر بوده به طوری که تنش در گوشه ها بیشتر و در ستونهای میانی کمتر است. تنش در ستون گوشه گاهی ۴ برابر تنش متوسط در یک لوله طره ای ایدئال می شود. برای مقابله با اثر تاخیر برشی سیستمهای قاب محیطی مهاربندی شده، لوله در لوله و لوله های دسته شده پیشنهاد شده است.

فاصله کم بین ستونهای محیطی موجب سختی سازه می شود و از تغییر شکل جانبی آن می کاهد.



دانشکده فنی و مهندسی



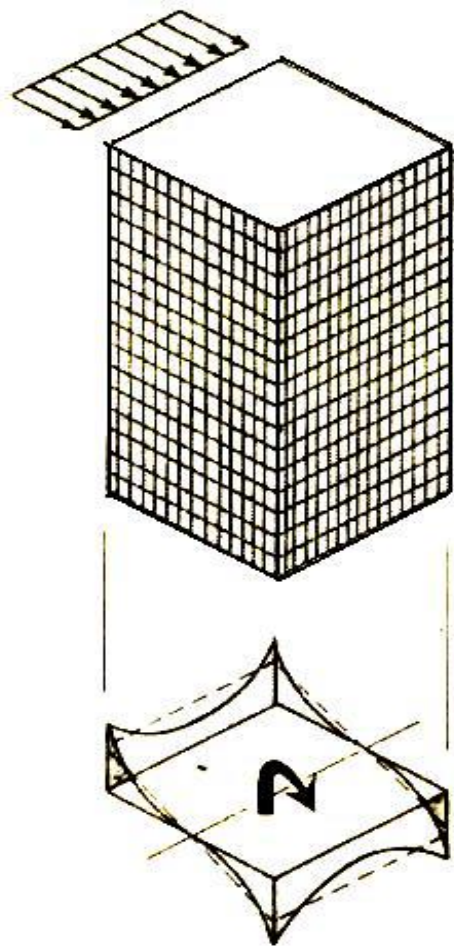
نمونه سیستم قاب محیطی Frame_tube System



ساختمان های تجارت جهانی، نیویورک، آمریکا، ۱۹۷۴



دانشکده فنی و مهندسی



تاخیر برشی در قاب های محیطی



دانشکده فنی و مهندسی



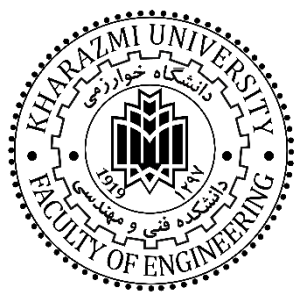
سیستم لوله‌ای مهاربندی شده Braced tube systems

سیستم لوله‌ای مهاربندی شده قابل استفاده در سازه‌های فولادی بتن مسلح و کامپوزیت می‌باشد. با اضافه کردن مهاربندهای قطری چند طبقه به شکل محیطی و در نمای سازه می‌توان صلبیت و کارایی فریم محیطی را افزایش داد. بنابراین، این سیستم سازه‌ای به اسم قاب محیطی مهاربندی شده هم شناخته می‌شود، که می‌تواند برای سازه‌های با ارتفاعی بلندتر استفاده شود و همچنین مزیت دیگر آن این است که اجازه می‌دهد از فاصله بیشتر مابین ستون‌ها استفاده کنیم. بهترین راه حل در اجرای مهاربندهای قطری در نمای سازه آن است که اتصالات در نقطه گوشه‌ای هر ستون در تراز طبقات انجام شود. در سازه‌های فولادی المان‌های قطری فولادی استفاده می‌شود، در حالی که در سازه‌های بتن مسلح با پر کردن بازشوهای پنجره‌ها به وسیله دیوار برشی بتن مسلح به منظور دستیابی به همان اثر المان‌های قطری، این مهم صورت می‌گیرد.

از طرف دیگر، این گونه مهاربندی تضمین می‌کند که ستون‌ها با یکدیگر اندرکنش داشته باشند تا بتوانند بارهای ثقلی و افقی باد را تحمل کند. بنابراین یک تیوب کنسولی بسیار صلب ایجاد می‌شود که رفتارش تحت بارهای جانبی به شدت نزدیک به تیوب کاملاً صلب می‌باشد. این پیکربندی برای سازه‌های بلند و لاغر که مساحت طبقه آن‌ها کم است، بسیار مناسب می‌باشد. به عنوان مثال سازه ۷۲ طبقه برج بانک چین.

شایان ذکر است که سازه محیطی مهاربندی شده خطر افزایش نیروهای محوری در ستون‌های گوشه‌ای را کاهش می‌دهد.

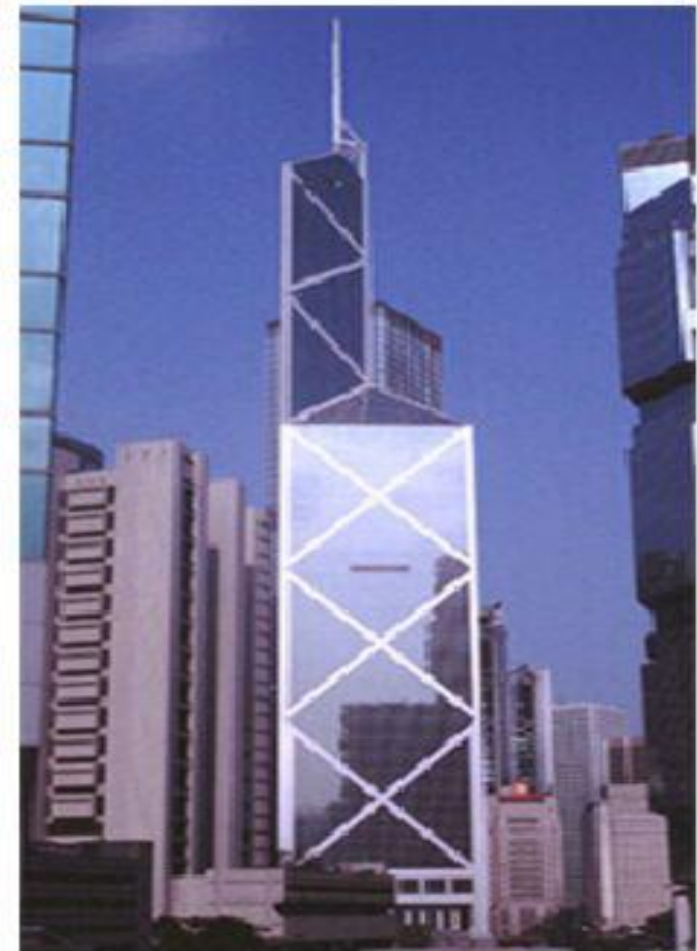
این نوع سیستم سازه‌ای به دلیل مشکلات در اجرا به صورت گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرد، همچنین می‌توان این سیستم سازه‌ای را برای سازه‌های با بیش از ۱۰۰ طبقه مورد استفاده قرار داد.



دانشکده فنی و مهندسی



قاب محیطی مهاربندی شده (Braced tube systems)



برج بانک چین، هنگ کنگ، چین، ۱۹۹۰



دانشکده فنی و مهندسی



بادبندهای برج رودخانه مروارید
در چین، نمونه ای دیگر از
سیستم سازه ای مهاربندی شده محیطی





دانشکده فنی و مهندسی



Bundled_tube systems

قاب محیطی دسته شده

سیستم قاب خمشی دسته شده برای سازه های فولادی بتن مسلح و کامپوزیت مناسب است اگر ابعاد سازه چه در عرض و چه در ارتفاع افزایش یابد یک تیوب منفرد کارایی سازه مناسب را نخواهد داشت. نقل قول این جمله ی معروف خالی از لطف نخواهد بود، که سازه نازکتر در پلان، کارایی کمتر در تیوب را نمایش خواهد داد.

در این موارد سیستم قاب خمشی محیطی با نام تیوب مولار هم شناخته می شود که اجازه می دهد از فاصله ستون های بیشتری در پلان سازه استفاده کنیم.

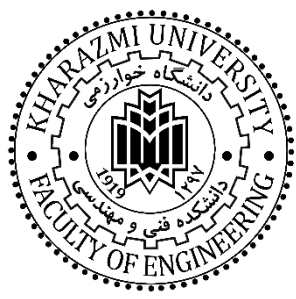
(setback) در این سطح می توان از پیکربندی های مختلف در طبقات به منظور بهره گیری از عقب رفتگی ها

در ارتفاع سازه استفاده کرد. مزیت دیگر استفاده از این سیستم سازه ای، به کاری گیری آن در سازه هایی به شکل نامتقارن است.

از آنجا که طراحی سیستم قاب خمشی دسته شده بر مبنای تیوب های منحصر به فرد می باشد، این سلولها در تراز طبقات می توانند به شکلهای مختلف از جمله مستطیل، مثلث و اشکال منتظم دیگر نشات بگیرد.

نقطه ضعف این سیستم آن است که طبقات معمولاً به سلولهای کوچک با استفاده از تعدادی ستون تقسیم می شود، که در عرض سازه جانمایی شده اند.

مثالی برای این سیستم سازه ای سازه ۱۰۸ طبقه برج سیرز در شیکاگو ۱۹۷۴ میباشد. این سیستم سازه ای هم برای سازه هایی با بیش از ۱۰۰ طبقه مناسب می باشد.



دانشکده فنی و مهندسی



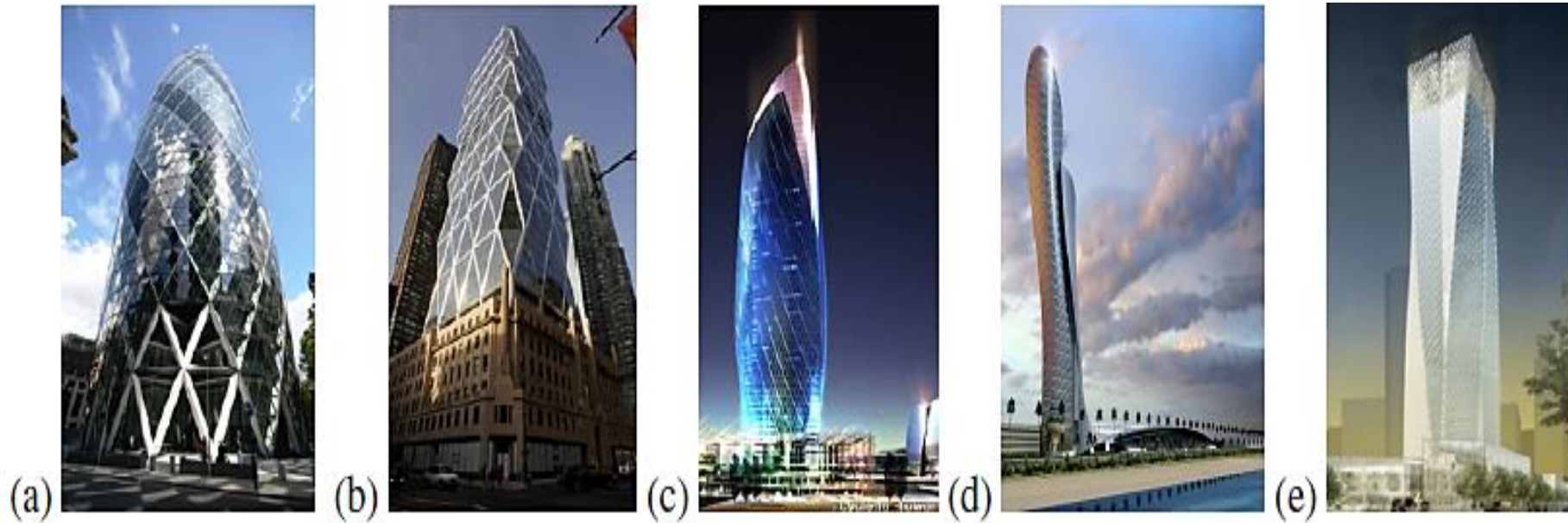
قاب محیطی دسته شده Bundled_tube system



برج سیرز، شیکاگو، آمریکا، ۱۹۷۴

سیستم سازه ای شبکه قطری

شبکه قطری (Diagrid):



نمونه های معروف سازه شبکه قطری

(a) برج Swiss Re در لندن، (b) برج Hearst در نیویورک، (c) برج Cyclone در کره، (d) برج Capital Gate در دبی

(e) برج Jinling چین



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم سازه ای شبکه قطری

تفاوت بین سیستم لوله مهاربندی شده و سیستم شبکه قطری:

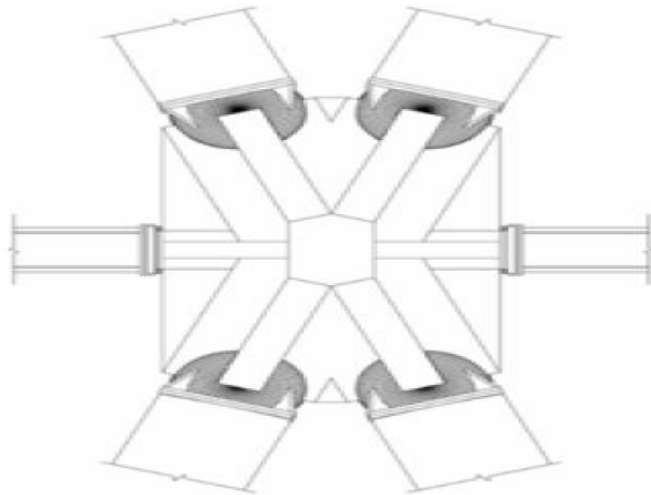
- ❖ حذف تقریباً تمامی ستون‌های قائم، که به واسطه چشم اندازهای معماری، توجه مهندسين را به خود جلب کرد.
- ❖ اعضای قطری در این سیستم دارای پیکربندی مثلی بوده و به واسطه عملکرد محوری، سیستم شبکه قطری می‌توانند پایداری سازه را تحت بارهای ثقلی و بارهای جانبی حفظ کنند. در حالی که اعضای قطری در سیستم لوله مهاربندی شده تنها بارهای جانبی را تحمل می‌کنند.
- ❖ در این سیستم سازه ای به واسطه عملکرد لوله ای پدیده لنگی برشی نیز ایجاد می‌شود ولی در مقایسه با سیستم لوله ای پدیده لنگی برشی به طور قابل ملاحظه ای کاهش خواهد داشت.

تفاوت با سیستم سازه ای هسته با مهار بازویی

- ❖ سیستم سازه ای شبکه قطری نیازی به هسته مرکزی ندارد و صلبیت برشی مورد نیاز توسط اعضای قطری مثلث‌بندی شده ایجاد می‌شود و در صورت وجود هسته، طراحی هسته تنها برای بارهای ثقلی انجام می‌شود.
- ❖ مهار بازویی برای کنترل دررفت و ایجاد عملکرد یکپارچه بین هسته و ستون‌های پیرامونی موثر است، ولی سختی برشی ایجاد نمی‌کند و هسته مرکزی برای ایجاد صلبیت برشی لازم خواهد بود.

سیستم سازه ای شبکه قطری

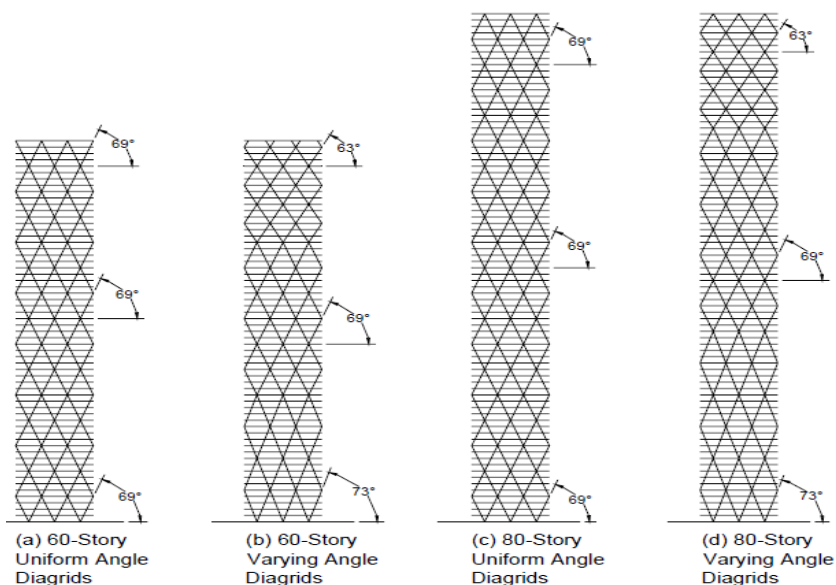
- ❖ اعضای قطری دارای اتصال ساده مفصلی بوده، در نتیجه سیستم دارای عملکرد ساده محوری و تقریباً تا هر ارتفاعی قابل استفاده است.
- ❖ این سیستم به دلیل داشتن درجات نامعینی، قابلیت باز توزیع نیروها را به هنگام انفجار یا حملات هوایی دارد.
- ❖ سیستم سازه‌ای شبکه قطری هم در سازه‌های بتنی و هم در سازه‌های فولادی به کار می‌رود. عیب این سیستم در سازه‌های فولادی اتصالات پیچیده و در سازه‌های بتنی قالب‌بندی پرهزینه و سرعت پایین ساخت است.



در سازه‌های فولادی از اتصالات پیش ساخته کارخانه‌ای استفاده می‌شود.

سیستم سازه ای شبکه قطری

چیدمان مطلوب سازه شبکه قطری:



دو طرح کلی:

- اعضای قطری با زاویه یکنواخت در ارتفاع
- اعضای قطری با زاویه متغیر (کاهش تدریجی زاویه اعضای قطری)

❖ برای سازه‌های شبکه قطری با نسبت ابعاد (H/B) بزرگتر از حدود ۷ از زاویه متغیر در ارتفاع استفاده شود.

(اثر افزایش صلبیت خمشی بیشتر از کاهش صلبیت برشی)

❖ و برای سازه‌های شبکه قطری با نسبت ابعاد (H/B) کوچکتر از حدود ۷ از زاویه یکنواخت در ارتفاع استفاده گردد

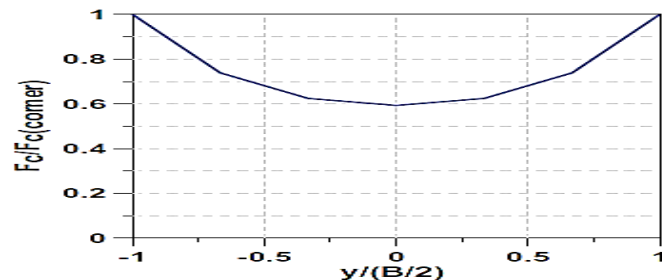
❖ (اثر کاهش صلبیت برشی بیشتر از افزایش صلبیت خمشی)

سیستم سازه ای شبکه قطری

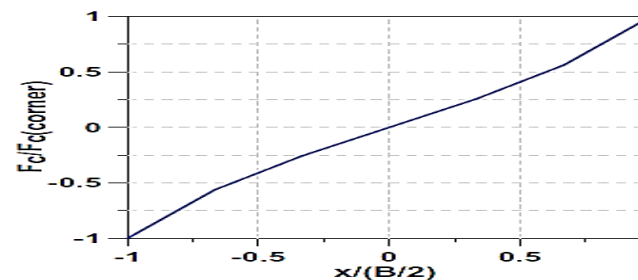
مقایسه پدیده لنگی برشی در سیستم لوله‌ای و شبکه قطری:

- ❖ در سازه‌های که رفتار شبیه لوله دارند پدیده لنگی برشی باعث تفاوت در نیروی محوری ستون‌های گوشه می‌گردد.
- ❖ شاخص لنگی برشی به صورت نسبت نیروی محوری هر یک از ستون‌ها به نیروی محوری ستون گوشه تعریف می‌گردد.
- ❖ اثر لنگی برشی در سازه شبکه قطری به طور قابل توجهی کمتر از سازه لوله‌ای است.

سازه شبکه قطری

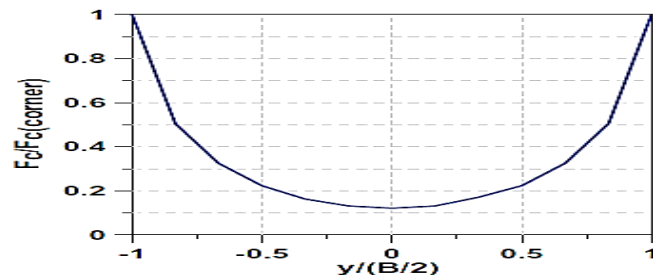


(a) Along the flange side

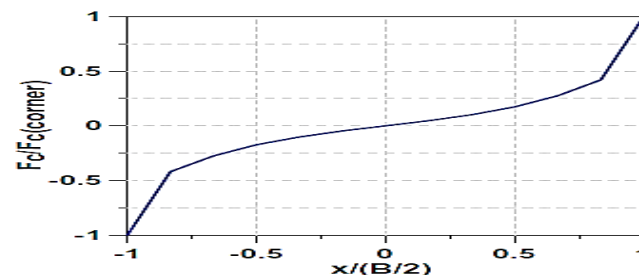


(b) Along the web side

سازه شبکه لوله‌ای



(a) Along the flange side



(b) Along the web side

سیستم سازه ای شبکه قطری

- ❖ پس سختی برشی در سطوح سازه شبکه قطری بسیار بیشتر از سازه لوله‌ای است.
- ❖ این عملکرد منطقی به نظر می‌رسد، زیرا تغییر شکل اولیه اعضا در شبکه قطری محوری است، در حالی که در تیرهای عمیق سیستم لوله‌ای تغییر شکل خمشی می‌باشد.



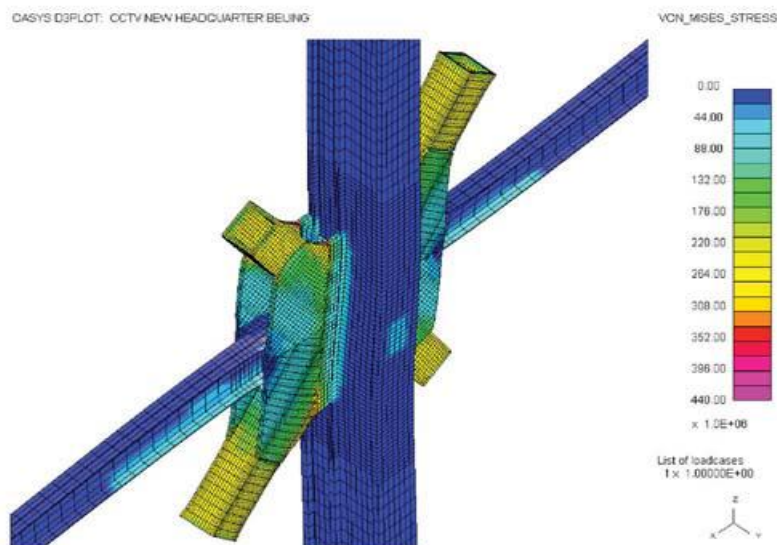
نمونه سازه ای: برج CCTV در چین:

ارتفاع برج ۲۳۴ متر و در سال ۲۰۰۸ تکمیل شده است. ساختار شبکه قطری به طور برجسته در نمای بیرونی ساختمان قابل مشاهده است.

این سازه از دو برج مجزا تشکیل شده که توسط یک پیش‌آمدگی به طول ۷۵ متر به هم متصل شده‌اند و هر یک دارای ۳۶ طبقه می‌باشند. این پیش‌آمدگی ۱۳ طبقه را در بر گرفته است. هر یک از دو برج با شیب ۶ درجه به سمت جلو متمایل شده‌اند.

سیستم سازه ای شبکه قطری

- ❖ نیروهای بادبندها و تیرهای لبه‌ای باید به گونه‌ای به مقطع ستون‌ها انتقال یابند که کمترین شکست در تنش‌های موجود ستون ایجاد گردد.
- ❖ به همین منظور در بال ستون‌ها از ورق‌های بزرگ پروانه‌ای استفاده شده است. که از درون ستون عبور می‌کند و سپس بادبندها و تیرهای لبه‌ای به این ورق‌ها متصل می‌شوند و هیچ اتصالی در قسمت جان ستون‌ها وجود نخواهد داشت.

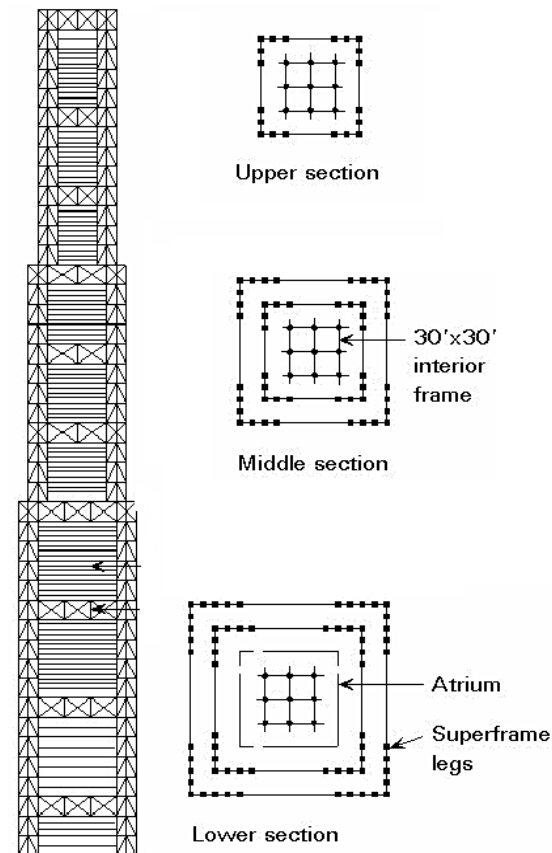


برای ارزیابی رفتار و اطمینان از ایمنی سازه در ترازهای مختلف زلزله به تحلیل‌های گسترده اجزای محدود و تحلیل تاریخچه زمانی پیشرفته در حالت الاستوپلاستیک و غیر خطی نیاز بوده است.

تحلیل اتصالات پروانه‌ای

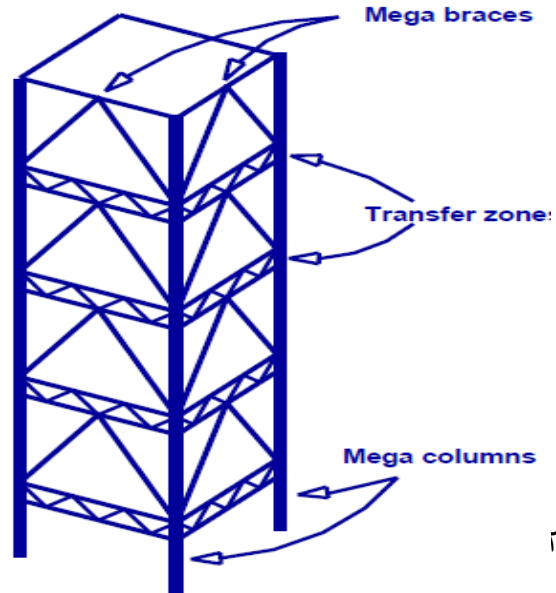
سیستم های سازه ای ترکیبی ویژه

سیستم سازه ای قاب ویژه (Super Frame):



- ❖ مشابه یک قاب پرتال در پیرامون ساختمان شکل گرفته و تمام بارهای جانبی را همانند سازه لوله ای تحمل می کنند.
- ❖ قاب های پرتال شامل المان های قائم با ابعاد بزرگ در گوشه های ساختمان بوده که توسط المان های افقی بزرگ؛ تقریباً به ازای هر ۱۲ تا ۱۴ طبقه، به هم متصل شده اند.
- ❖ تمرکز المان های قائم در گوشه های ساختمان، بیشترین مقاومت جانبی را برای مقابله با نیروهای باد و زلزله فراهم می کند.
- ❖ از ویژگی های این سیستم وجود بازشوهای بزرگ در دیوارهای خارجی است.
- ❖ تشکیل قاب پرتال با المانهای قطری نیز صورت می گیرد.

سیستم های سازه ای ترکیبی ویژه



- ❖ ابر سازه ها شامل ستون ها و مهاربندهای با اندازه بزرگ هستند، که مهاربندها در ارتفاع چند طبقه با ابعاد بزرگ گسترش یافته اند همچنین کمربندهای خرابایی که در چندین تراز استفاده شده است.
- ❖ در این سیستم ستون های پیرامونی نزدیک به هم که در سازه لوله استفاده می شدند حذف شده و تنها از ستون های با ابعاد بزرگ استفاده می شود. از مزایای این سیستم کاهش تعداد ستون ها نسبت به سایر سیستم ها می باشد. همچنین ابر سازه ها دارای فضاهای وسیع می باشند.

مطالعه موردی برج شانگهای در چین :

برج شانگهای با یک نمای خمیده و ارتفاع ۶۳۲ متر با کاربری چند منظوره احداث شده است. این برج بسیار بلند که در سال ۲۰۱۵ دومین برج بلند دنیا بوده است، به دلیل واقع شدن در ناحیه لرزه خیز، آب هوای طوفانی و زمین رسی طراحی پر چالشی را به همراه داشته است.

Shanghai Centre Building is a 632-metre (2,073 ft), 128-story [megatall skyscraper](#) in [Lujiazui, Pudong, Shanghai](#).^[9] It shares the record (along with the [Ping An Finance Center](#)) of having the world's highest [observation deck](#) within a building or structure at 562 m,^[10] and the world's second-fastest [elevators](#) at a top speed of 20.5 metres per second (74 km/h; 46 mph).^{[11][12]} It is the world's [second-tallest building by height to architectural top](#). However, the title of the world's fastest elevator now belongs to the [Guangzhou CTF Finance Centre](#), with a top speed of 21 metres per second (76 km/h; 47 mph) achieved in 2017.^[13] Designed by international design firm [Gensler](#) and owned by the Shanghai city government,^[2] it is the tallest of the world's first triple-adjacent supertall buildings in [Pudong](#), the other two being the [Jin Mao Tower](#) and the [Shanghai World Financial Centre](#). Its tiered construction, designed for high energy efficiency, provides nine separate zones divided between office, retail and leisure use



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم های سازه ای ترکیبی ویژه



سیستم سازه‌ای این برج متشکل از یک هسته بتن آرمه و ابر ستون‌ها (در چهار جهت، دو عدد در هر جهت) که با سیستم مهار بازویی و کمربندهای خریابی در ۹ تراز به ازای هر ۱۲ تا ۱۵ طبقه و با دو طبقه ارتفاع به هم متصل شده اند. همچنین چهار سوپر ستون دیگر به صورت قطری و در امتداد گوشه‌های هسته استفاده شده است.

Construction work on the tower began in November 2008^[9] and **topped out** on 3 August 2013. The exterior was completed in summer 2015,^{[8][14]} and work was considered complete in September 2015. Although the building was originally scheduled to open to the public in November 2014, the actual public-use date slipped considerably. The **observation deck** was opened to visitors in July 2016; the period from July through September 2016 was termed a "test run" or "commissioning" period.^{[15][16]} Since April 26, 2017, the sightseeing deck on the 118th floor has been open to the public

برای کاهش اثرات گردبادها سه ایده کلی وجود دارد. (۱) عدم تقارن نمای خارجی برج (۲) باریک شدن شکل برج تا رأس آن (۳) گرد کردن پلان برج به صورت منظم

با بکارگیری ایده های فوق در تست تونل باد شکل برج اصلاح شده است. استفاده از نتایج آزمایش باعث کاهش ۲۴٪ نیروی جانبی بر روی برج گردید است. (به ازای

سیستم های سازه ای ترکیبی ویژه

سطح خطر لرزه ای		زلزله تکرار شونده	زلزله متوسط	زلزله شدید
دوره بازگشت		۵۰ سال	۴۷۵ سال	۲۴۷۵ سال
توصیف رفتار سازه ای		بدون خرابی یا با خرابی قابل چشم پوشی	خرابی کم و قابل تعمیر	خرابی جدی بدون فروپاشی
محدوده دریافت مجاز		$h/2000; h/500$ (در ترازهای پایین)	$h/200$	$h/100$
عملکرد اعضا	دیوار هسته	الاستیک- طراحی بر اساس مقاومت بارهای لرزه ای ضریبدار مقاومت طراحی مصالح	طراحی بر اساس مقاومت در طبقات دارای کمر بند خرابی: بارهای لرزه ای ضریبدار-مقاومت طراحی مصالح در سایر طبقات: بارهای لرزه ای بدون ضریب- مقاومت نهایی مصالح	دوران مفصل پلاستیک : ترازهای پایین $\theta < IO^1$ سایر تراز ها $\theta < LS^2$ نیروهای برشی بر اساس ظرفیت نهایی برش
	تیر پیوند		مفصل پلاستیک- طراحی بر اساس مقاومت	دوران مفصل پلاستیک : $\theta < LS, 0.02rad$
	سوپر ستون		الاستیک- طراحی بر اساس مقاومت بارهای لرزه ای ضریبدار مقاومت طراحی مصالح	دوران مفصل پلاستیک : ترازهای پایین $\theta < IO$ سایر تراز ها $\theta < LS$ تنش در آرماتور ها: $f < fu, f > fy$
	مهاری بازویی		الاستیک- طراحی بر اساس مقاومت بارهای لرزه ای ضریبدار مقاومت طراحی مصالح	تنش الاستیک
	کمر بند خرابی		الاستیک- طراحی بر اساس مقاومت بارهای لرزه ای بدون ضریب مقاومت نهایی مصالح	دوران پلاستیک سایر تراز ها $\theta < LS$ $f < fu$
	اتصالات بحرانی		الاستیک- طراحی بر اساس مقاومت بارهای لرزه ای ضریبدار مقاومت طراحی مصالح	تحلیل اجزا محدود ویژه نیاز می باشد و $f \leq fy$

خرپای فضایی (Space Trusses):



- ❖ سیستم باربر خرپای فضایی متشکل از یک قاب خرپایی سه بعدی است که اعضای آن بارهای قائم و افقی را تحمل می کنند.
- ❖ این سیستم در سازه های فولادی به کار می رود و دارای بازدهی بسیار بالا، وزن نسبتا کم و قابلیت استفاده تا هر ارتفاعی است.
- ❖ برای انتقال بارهای قائم و جانبی از کف ها به سازه اصلی یک هسته مهاربندی شده داخلی ایجاد شده که بارهای جانبی و قائم محدوده داخلی را از دال های طبقات جمع آوری می کند. این بارهای قائم و جانبی از انتهای این تعداد طبقات، به اتصالات اصلی سازه فضایی منتقل می شوند.
- ❖ در این نوع سیستم سازه ای سهم بیشتر نیروی برشی توسط خرپاهای فضایی تحمل می شود. اما دو عیب این سیستم هزینه بالای اتصالات و مشکل ایجاد بازشوها در نمای سازه است.

برج ۷۶ طبقه هونگ کونگ یک نمونه کلاسیک از این سیستم سازه ای است .



دانشکده فنی و مهندسی



سیستم های سازه ای ترکیبی ویژه

سیستم دیوار برشی فولادی (Steel Plate Shear Wall):

- ❖ استفاده از این سیستم در سازه های بلند در مقایسه با قاب های خمشی تا حدود ۵۰٪ صرفه جویی در مصرف فولاد را به همراه دارد.
- ❖ این سیستم از نظر سختی برشی از سخت ترین سیستم های مهاربندی (X شکل) سخت تر بوده و با توجه به امکان ایجاد بازشو در هر نقطه از آن، کارایی همه سیستم های مهاربندی را از این نظر دارا می باشد.
- ❖ همچنین رفتار سیستم در ناحیه پلاستیک و میزان جذب انرژی آن نسبت به سیستم های مهاربندی بسیار بهتر است.

بلندترین دیوار برشی فولادی دنیا در برج جینتا :

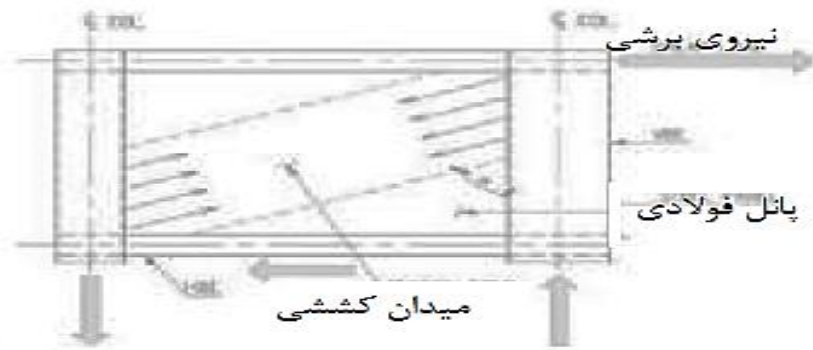
- ❖ ارتفاع برج ۳۳۷ متر و نسبت ابعاد (عرض به ارتفاع) ۱ به ۸ می باشد.
- ❖ سیستم سازه ای این برج، قاب های خمشی پیرامونی و هسته با دیوارهای برشی فولادی می باشد.

سیستم های سازه ای ترکیبی ویژه

روش و فلسفه طراحی دیوار برشی فولادی :

❖ امکان زینت اصلی بر مبنای مقاومتی جانپوشها عملگرهای برشی میفولاد کشش چشم پوشی شده مقاومت.

فشاری راستای قطری مقاطع به طور محافظه کارانه چشم پوشی شده است.



❖ تیرها (المانهای مرزی افقی) و ستونها (المانهای مرزی قائم) در پیرامون، و ورقهای دیوارهای برشی فولادی برای نیروهای بدست آمده از تحلیل الاستیک طراحی شدهاند.

❖ مفاصل پلاستیک تنها در انتهای المانهای مرزی افقی و فقط برای ترازهای زلزله متوسط و زلزله نادر مجاز دانسته شده است.

❖ بر اساس ضوابط لرزه‌ای، تسلیم جزئی نه در حد تشکیل مفصل پلاستیک در المانهای مرزی قائم برای ترازهای زلزله معتدل و نادر و تنها در ۱۶ طبقه تحتانی اجازه داده شده است.

پایان

