الأنظمة الانشائية للمنشآت الخرسانية العالية

أ.. العجيلي ميلود غبار
محاضر - قسم الهندسة المدنية - جامعة ليبيا المفتوحة
agili.g@staff.ou.edu.ly

تاريخ الاستلام: 2024/11/17م
القبول: 2024/11/24م
تاريخ النشر: 2024/12/01م

الملخص:

زادة المنشآت العالية الخراسانية في العالم بشكل كبير وتعددت وظائفها، يرجع ذلك إلى مادة الخرسانية ومقاومتها العالية للأحمال المؤثرة على هذه المنشآت.

ومن أهم الأحمال التي تؤخذ في حساب تصميم المنشآت العالية الخرسانية هي تلك التي تسبب قوى أفقيه جانبيه متمثلة في القص الجانبي Transverse shear وعزم الانقلاب Overturning moment والإزاحة الجانبية Lateral sway، وهذه القوى الجانبية يزداد تأثيرها بازدياد الارتفاع. وتعتبر الإزاحة الجانبية من أكثر التشوهات أهمية في الاعتبارات التصميمية.

منذ منتصف الستينيات تم تطوير العديد من الأنظمة الهيكلية الجديدة للمنشآت العالية الخرسانية، وبأشكال تتسم بالكفاءة والاقتصاد ولارتفاعات شاهقة. وتشتمل بعض هذه الأنظمة على عناصر من الفولاذ والخرسانة المسلحة تعمل بشكل توافقي. ولخصوصية المنشآت الخرسانية العالية من حيث الأحمال المؤثرة عليها فأن لتحديد النظام الإنشائي يجب التعرف على عدة عوامل أساسية عند التنفيذ.

تقدم هذه الورقة البحثية عرضا تفصيليا لاهم الأنظمة الانشائية للمنشآت الخرسانية العالية والحديثة منها وذلك لإمكانية الاستفادة بها لمزيد من تطوير هذه المنشآت وتحقيق متطلبات المدن في توفير اسباب العيش.

الكلمات المفتاحية : المنشآت العالية، الأنظمة الانشائية، الإزاحة الجانبية

1.مقدمة:

تعتبر المنشآت العالية الخرسانية أكثر انتشارا في العالم حيث تطورت أشكالها ووظائفها وهذا يرجع إلى مادة الخرسانة مقارنة بالمواد الإنشائية الأخرى، ومقاومتها العالية لتحمل الأحمال المؤثرة عليها.

ومن أهم الأحمال التي تؤخذ في حساب تصميم المنشآت العالية الخرسانة هي تلك التي تسبب قوى أفقيه جانبيه متمثلة في القص الجانبي Transverse shear وعزم الانقلاب Overturning moment والإزاحة الجانبية Lateral sway، وهذه القوى الجانبية يزداد تأثيرها بازدياد الارتفاع. وتعتبر الإزاحة الجانبية من أكثر التشوهات أهمية في الاعتبارات التصميمية.

منذ منتصف الستينيات تم تطوير العديد من الأنظمة الهيكلية الجديدة للمنشآت العالية الخرسانية والفولاذية، وبأشكال تتسم بالكفاءة والاقتصاد ولارتفاعات شاهقة.

وتشتمل بعض هذه الأنظمة على عناصر من الخرسانة المسلحة والفولاذ تعمل بشكل توافقي.

ولخصوصية المنشآت الخرسانية العالية من حيث الأحمال المؤثرة عليها فأن لتحديد النظام الإنشائي يجب التعرف على عدة عوامل أساسية عند تنفيذ المنشآت العالية:

الوظيفة التي سيقدمها هذا المنشأ إن كانت تجارية أو إدارية أو اجتماعية أو غير ذلك.

ارتفاع المنشأ ومسقطه المعماري وما يحتويه كل منها من خدمات ضرورية.

أنواع ومقدار الأحمال المتعرض لها المنشأ ومدة عمره الوظيفي.

طبيعة تربه الأساس والعوامل البيئية المحيطة بالمنشأ.

المنشآت العالية:

تعريفات:

المبنى الشاهق هو هيكل مغلق يحتوي على جدران وأرضيات وسقف ونوافذ. وهو مبنى متعدد الطوابق يعتمد فيه معظم ساكنيه على المصاعد للوصول إلى وجهاتهم. يُطلق على أبرز المباني الشاهقة اسم "Skyscrapers". و "الأبراج الشاهقة Hightower's". أي مبنى يمكن أن يكون للارتفاع فيه تأثير خطير عند الإخلاء (المؤتمر الدولي للسلامة من الحرائق في المباني الشاهقة) [1]

تحدد سبع طوابق أو أعلى مبنى شاهقً، وأحيانًا يكون التعريف أكثر من سبع طوابق. في بعض الأحيان.

بشكل عام، يعتبر الهيكل الشاهق أحد المباني التي تمتد أعلى من أقصى مدى متاح لمعدات مكافحة الحرائق المتاحة.

يُعرِّف إمبوريس Emporis مبنى شاهقًا بأنه "مبنى متعدد الطوابق يتراوح ارتفاعه بين 35-100 متر (115-328 قدمًا)، أو مبنى بارتفاع غير معروف من 12 إلى 39 طابقًا." [2]

يعرّف قاموس أكسفورد الإنجليزي الجديد مبنى شاهقً بأنه "مبنى به عدة طوابق".

في الولايات المتحدة، تحدد الرابطة الوطنية للحماية من الحرائق (NFPA)، المباني الشاهقة على أنها أعلى من 75 قدمًا (23 مترًا)، أو حوالي سبعة طوابق. [3]

يعرّف معظم مهندسي البناء والمهندسين المعماريين وغيرهم من المتخصصين، المباني الشاهقة على أنها مباني لا يقل ارتفاعها عن 75 قدمًا (23 مترًا).

تاريخ المباني العالية:

تم تطبيق مصطلح "ناطحة سحاب Skyscraper" لأول مرة على المباني ذات الهياكل الفولاذية المكونة من 10 طوابق على الأقل وكان ذلك في أواخر القرن التاسع عشر، نتيجة للدهشة العامة في المباني الشاهقة التي تم بناؤها في المدن الأمريكية الكبرى مثل مدينة نيويورك وفيلادلفيا وبوسطن، شيكاغو وديترويت وسانت لويس. [4] [5].

كانت أول ناطحة سحاب ذات إطار فولاذي هي مبنى "التأمين على المنازل"، وكانت في الأصل 10 طوابق بارتفاع 42 مترًا (138 قدمًا) في شيكاغو عام 1885؛ تمت إضافة طابقين بعد ذلك [6]. يشير البعض إلى مبنى Jayne المكون من 10 طوابق في فيلادلفيا (1849-50) باعتباره ناطحة سحاب الاولى، [7]. أو إلى مبنى Equitable Life في نيويورك المكون من سبعة طوابق، والذي تم بناؤه عام 1870.

وقد سمح بناء الهيكل العظمي الفولاذي ببناء ناطحات السحاب العملاقة حاليًا. في جميع أنحاء العالم.

إن ترشيح هيكل مقابل آخر هو أول ناطحة سحاب، يعتمد على العوامل التي يتم التشديد عليها [8].

تم تنقيح التعريف الهيكلي لكلمة ناطحة سحاب لاحقًا من قبل المؤرخين المعماريين، بناءً على التطورات الهندسية في ثمانينيات القرن التاسع عشر التي مكنت من بناء مباني شاهقة متعددة الطوابق. استند هذا التعريف إلى الهيكل العظمي الفولاذي - على عكس الإنشاءات ذات الأحمال الحاملة، والتي تجاوزت حدودها العملية في عام 1891 مع مبنى Monadnock في شيكاغو.

في المملكة المتحدة اعتبارًا من أكتوبر 2023، من المتطلبات القانونية للشخص المسئول الرئيسي عن مبنى أن يسجل المباني السكنية الشاهقة التي يبلغ ارتفاعها 7 طوابق على الأقل، أو ارتفاعها 18 مترًا أو أعلى، مع وحدتين سكنيتين أو أكثر من أكتوبر 2023. يُعرِّف منظم سلامة المباني (BSR)، وهي هيئة مستقلة تم إنشاؤها بموجب قانون سلامة المباني لعام 2022، لأغراض نظام التسجيل المباني السكنية الشاهقة على أنها هيكل يحتوي على أكثر من 7-10 طوابق أو 23-30 مترًا، على الرغم من أن علامة جودة المنزل تُعرّف الارتفاع المرتفع بأنه مبنى يبلغ ارتفاعه 18 مترًا أو أكثر (الارتفاع المرتبط تاريخيًا بمدى وصول معدات خدمة الإطفاء والإنقاذ) وهذا الارتفاع أيضًا تم اعتماده بالإرشادات التالية لمراجعة Hackett. ومع ذلك في كانون الثاني (يناير) 2020، بعد اندلاع حريق في مبنى سكني للطلاب (كان أقل بقليل من 18 مليونًا) في بولتون في عام 2019، أطلقت الحكومة مشاورات تتضمن مقترحات لخفض عتبة ارتفاع 18 مترًا لـ "ناطحات السحاب " إلى 11 مترًا.

النظم الانشائية للمباني العالية الخرسانية

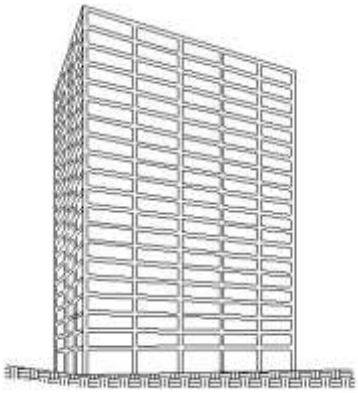
تم تطوير العديد من الأنظمة الهيكلية الجديدة للمباني متعددة الطوابق، وخاصة من الفولاذ، منذ منتصف الستينيات. التي تتسم بالكفاءة والاقتصاد لنطاقات مختلفة الارتفاع. لقد وفر تطور الأنظمة أيضًا الزخم للعديد من الأمثلة البارزة للهندسة المعمارية الهيكلية. في بعض الحالات، كان من الممكن، من خلال استغلال التطورات الحديثة في هندسة مكافحة الحرائق. كان الاتجاه السائد في تصميم المباني الشاهقة بعد منتصف الخمسينيات من القرن الماضي هو توفير مساحات مفتوحة أكبر مع مسافات أطول وواجهات أبسط مع شبكة أعمدة يمكن إدراكها بوضوح.

تخلل تأثير Mies van der Rohe، فيما يتعلق بنمطية الواجهات وتعبير الإطار الهيكلي، العمارة الخارجية للمباني الشاهقة في الخمسينيات والستينيات. غالبًا ما يتم تصوير تعبير الإطار بشكل بسيط وواضح على الواجهة أو في بعض الحالات، بتركيز خاص إذا كان مفصلاً للغاية، كما هو موضح في الشكل (1)

لم يؤد تطور الجدار الساتر المعدني والزجاجي إلى ظهور حاويات أخف فحسب، بل أدى أيضًا إلى أنظمة جدران النوافذ غير المتكاملة التي كانت مدعومة ببساطة على الهيكل.

تم تقسيم مخطط الأرضية إلى نمط شبكي من الخلجان المنتظمة في كل اتجاه وكانت أبعاد الاعمدة في النطاق من 7.5 م إلى 10.5 م شائعة.

شكل (1) مبنى التأمين بمدينة كانساس بولاية ميزوري



وتجدر الإشارة إلى أن إطارات Vierendeel هذه كانت غير فعالة بشكل أساسي لمقاومة قوى الرياح لأنها لا تستطيع الاعتماد على أغلفة مدمجة لبعض التقوية، وكان القسط الهيكلي للارتفاع كبير. تم التعرف على أن مفهوم إطار القص كان غير اقتصادي للهياكل التي يزيد ارتفاعها عن 25 طابقًا.

بدأت فكرة أن مكونات الصلب يمكن تجميعها في أشكال مختلفة لتشكيل نظام شامل ثلاثي الأبعاد يمكنه مقاومة قوى الرياح بكفاءة كما بدأ النظام الكلي في الظهور في الستينيات. وكان المؤيد الرئيسي لاتجاه التصميم هذا Fazlur Khan الذي سعى بشكل منهجي إلى التطور المنطقي للأنظمة الشاهقة بناءً على فرضية أن نطاقات الارتفاع المختلفة تتطلب تركيبة جديدة من الإطارات الفولاذية للحفاظ على قسط فولاذي مقبول للارتفاع [9]. تم ابتكار العديد من الأنظمة، مثل أنظمة تفاعل إطار تروس. أدت هذه التطورات الهيكلية، جنبًا إلى جنب مع نهج ميسيان المنتشر للهندسة المعمارية في ذلك الوقت، إلى انفجار في الهندسة المعمارية الموجهة هيكليًا في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي، والتي يمكن تحديدها حقًا على أنها المرحلة البنيوية من حيث الكتلة، تم استخدام أشكال موشورية مستقيمة بسيطة ذات أسطح مسطحة في معظم الأحيان. تضمنت تعديلات الصيغة البسيطة تحويل الخطة إلى شكل تقاطع أو شكل بسيط آخر. فيما يلي

مناقشة موجزة للأنظمة الفولاذية الشاهقة العامة متبوعة ببعض النظر في تصميم أنظمة المباني الشاهقة.

تم تطوير أنظمة الصلب بين عامي 1960 و1975، لتلائم نمطًا تطوريًا منطقيًا مع تطور يؤدي إلى تطور آخر، وكل نظام جديد يمثل حلقة وصل في العملية [10]. على الرغم من أن الدافع الأساسي لهذه التطورات كان الكفاءة الهيكلية، إلا أن الأنظمة قدمت فرصًا كبيرة لهندسة الواجهة الهيكلية وهناك تطور كبير في النظم الإنشائية والمعايير التصميمه المعتمدة.

وهنا يتم عر ض لاهم الأنظمة الإنشائية المعتمدة في تنفيذ العالية الفولاذية.

أنواع الأنظمة الإنشائية للمباني الشاهقة - **Structural Systems for Tall Buildings**

لكي ينجح المبنى الطويل أو الشاهق، على الأقل، يجب أن يستخدم الهيكل أنظمة ومواد مناسبة لارتفاع المبنى وتكوينه. يجب أن يعمل النظام الهيكلي للمبنى العالي بشكل جيد وأن يفسح المجال لبناء فعال. يجب أن يحتوي المبنى الطويل الناجح على الميزات التالية؛

أن يقدم صورة ودية وجذابة لها قيم إيجابية لأصحاب المباني والمستخدمين والمشاهدين.

أن يقدم ملاءمة الموقع، وتوفير مناهج مناسبة مع تخطيط مناسب للناس للعيش والعمل واللعب.

أن يكون موفرًا للطاقة، مع توفير مساحة داخلية مع مناخ يمكن التحكم فيه.

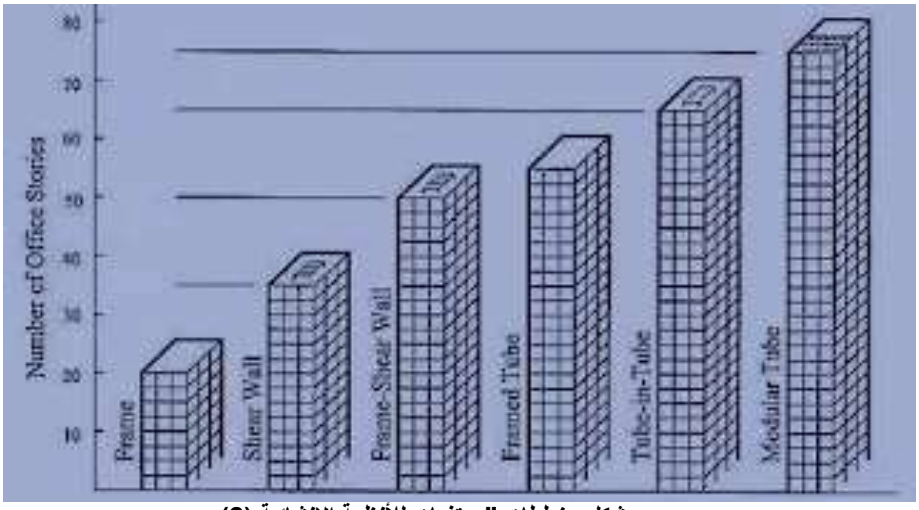
السماح بمرونة في تخطيط المكاتب الإدارية مع مساحة قابلة للتقسيم بسهولة..

توفير مساحة موجهة أو واجهة لتوفير أفضل المناظر..

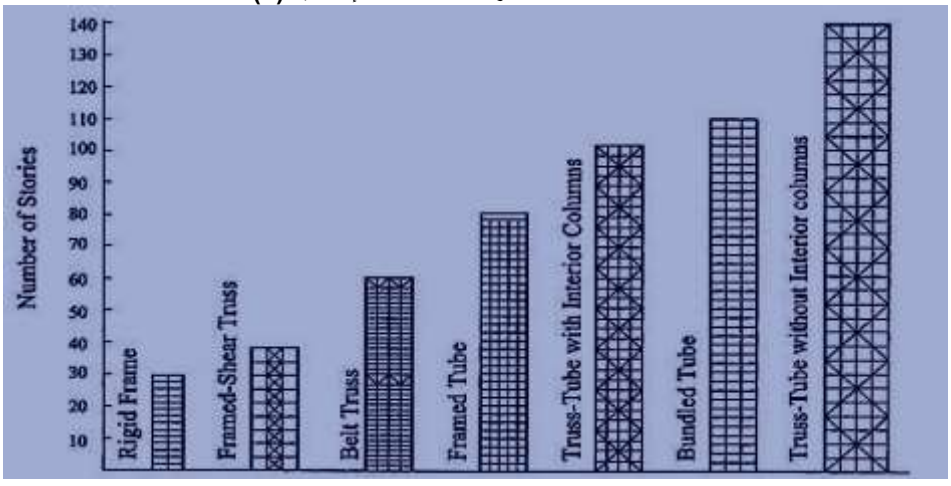
الأهم من ذلك كله، يجب أن يكون المبنى اقتصادي..

في عام 1969، صنف فضل خان الأنظمة الإنشائية للمباني الشاهقة فيما يتعلق بارتفاعها مع اعتبارات الكفاءة في شكل مخططات "مرتفعات للأنظمة الإنشائية". كان هذا بمثابة بداية حقبة جديدة من ثورة ناطحات السحاب من حيث الأنظمة الهيكلية المتعددة.

في وقت لاحق، قام خان بترقية هذه المخططات عن طريق التعديلات. قام بتطوير هذه المخططات لكل من الصلب والخرسانة كما يتضح من الشكلين 2، 3 على التوالي. جادل خان بأن الهيكل الصلب الذي سيطر على تصميم وبناء المباني الشاهقة لفترة طويلة لم يكن النظام الوحيد المناسب للمباني الشاهقة.



شكل مخططات "مرتفعات للأنظمة الإنشائية (2)



.[11] أيضًا جدولًا لإظهار النظام الهيكلي المناسب للمباني العالية الخرسانية المسلحة. هذا موضح في شكل (3)

Structural systems for concrete buildings			
No.	System	Number of stories 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110	Ultra-tall buildings 120–200 stories
1	Flat slab and columns		
2	Flat slab and shear walls		
3	Flat slab, shear walls and columns		
4	Coupled shear walls and beams		
5	Rigid frame		
6	Widely spaced perimeter tube		
7	Rigid frame with haunch girders		
8	Core supported structures		
9	Shear wall—frame		
10	Shear wall—Haunch girder frame		
11	Closely spaced perimeter tube		
12	Perimeter tube and interior core walls		
13	Exterior diagonal tube		
14	Modular tubes, and spine wall systems with outrigger and belt walls		

الجدول 1: الأنظمة الهيكلية المناسبة للمباني العالية الخرسانية [[11

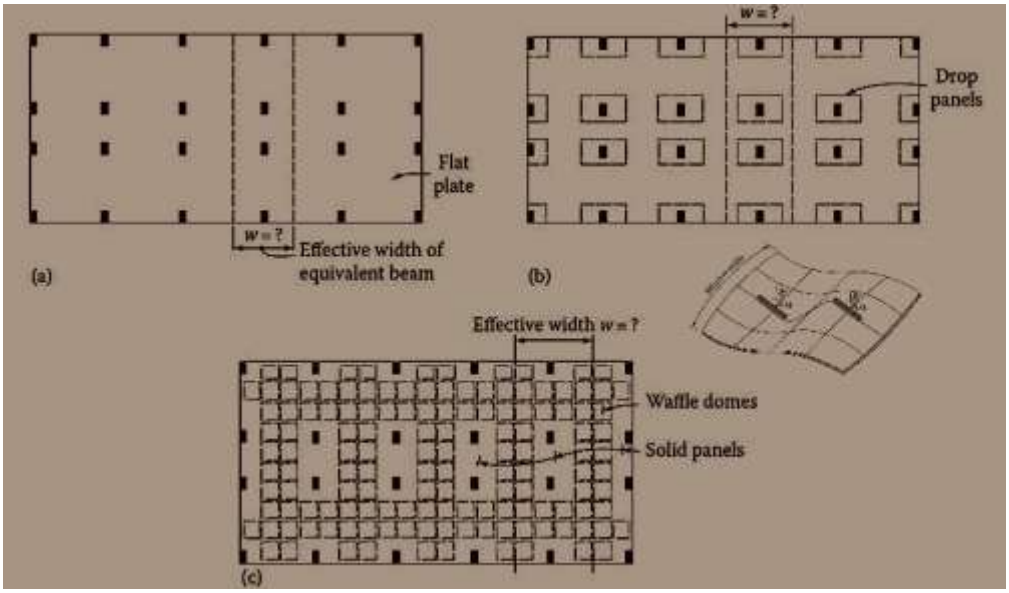
سنقدم وصفًا موجزًا للأنظمة الهيكلية المتنوعة والشائعة للمباني الشاهقة في الأقسام الفرعية أدناه. يجب أن يكون النظام الهيكلي الذي سيتم اعتماده في أي تصميم قادرًا على حمل أنواع مختلفة من الأحمال، مثل أحمال الجاذبية والأحمال الجانبية ودرجة الحرارة والانفجارات والصدمات. يجب أن يظل انجراف المبنى DRAFT ضمن الحدود مثل H/500

أنواع الأنظمة الإنشائية للمباني الشاهقة

الأنظمة الهيكلية المعتمدة عادة للمباني الشاهقة هي كما يلي؛

أنظمة الأعمدة والبلاطات - Column and slab systems

غالبًا ما تتكون الأرضيات الخرسانية في المباني الشاهقة من نظام بلاطة ثنائي الاتجاه مثل البلاطات المسطحة أو الفلاة سلاب أو نظام الوافل والذي يمكن أن يقاوم الأحمال الجانبية (انظر الشكل التالي). في نظام البلاطات المسطحة، تتكون الأرضية من بلاطة خرسانية بسمك موحد تؤطر أو تستند مباشرة على الأعمدة. تستفيد البلاطات المسطحة ذات الاتجاهين إما من التيجان في الأعمدة أو الدروب المسقطة في البلاطة أو كليهما، مما يتطلب أقل سماكة للبلاطة المسطحة لأن الخرسانة الإضافية يتم توفيرها فقط عند الأعمدة حيث تكون قوى القص والعزوم هي الأكبر



الأرضيات الخرسانية في المباني الشاهقة شكل (4)

يتم الحصول على نظام الوافل باستخدام صفوف من الروافد (الكمرات، الأعصاب) بزوايا قائمة مع بعضها البعض (شبكة)؛ تتكون الأعصاب عادة بين قباب مربعة أو بلوكات (انظر الشكل السابق). لا يتم استخدام هذه البلوكات حول الأعمدة لزيادة قدرة البلاطة في مقاومة العزوم وقوى القص [13]. يمكن استخدام أي من الأنظمة الثلاثة للعمل كجزء لا يتجزأ من أنظمة مقاومة الرياح للمباني في نطاق يتراوح من 10 إلى 20 طابقًا. عادة ما يستخدم مفهوم "العرض الفعال" أو شريحة العمود في تحليل مثل هذه المباني المعرضة لقوى جانبية.

إطارات صلبة - Rigid Frames

يتسم الإطار الصلب بانثناء الكمرات والأعمدة والدوران عند المفاصل. الإطارات الداخلية الصلبة للمباني المكتبية غير فعالة بشكل عام بسبب؛

1. عدد الأعمدة في أي إطار معين محدود بسبب اعتبارات معمارية.
2. غالبًا ما تكون أعماق الكمرات محدودة بالارتفاع من الدور إلى الدور.

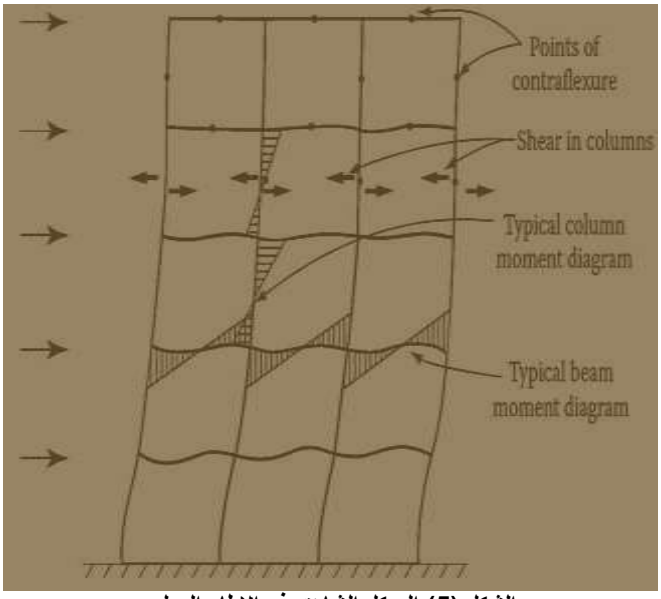
ومع ذلك، فإن الإطارات الموجودة في المحيط الخارجي للمبنى لا تحتوي بالضرورة على هذه القيود. وبالتالي يمكن تطوير إجراء فعال للإطار من خلال توفير أعمدة متقاربة وكمرات عميقة في

المحيط الخارجي للمبنى. يتكون الهيكل الشاهق ذو الإطار الصلب عادةً من أحزمة متوازية أو متعامدة تتكون من أعمدة وكمرات ذات وصلات مقاومة للعزوم. [14]

تزيد استمرارية الإطار أيضًا من مقاومة تحميل الجاذبية عن طريق تقليل العزوم الموجبة في الكمرات [11]. مزايا الإطار الصلب هي البساطة والملاءمة لشكله المستطيل أي سهل القولبة. يسمح ترتيبه الخالي من العوائق، والخالي من الجدران الهيكلية، بالحرية الداخلية للتخطيط والخارجية للنوافذ والواجهات.

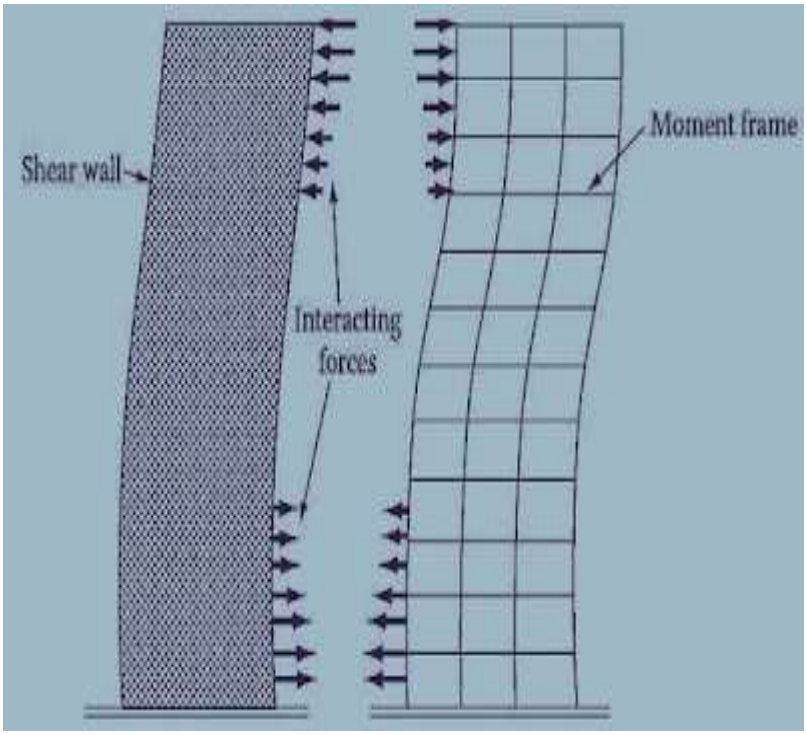
تعتبر الإطارات الصلبة اقتصادية للمباني التي يصل ارتفاعها إلى 25 طابقًا، بينما يكون التحكم في مقاومة الانجراف مكلفًا فيما أكثر من ذلك. ومع ذلك، إذا تم دمج إطار صلب مع جدران القص، فإن الهيكل الناتج يكون أكثر صلابة بحيث يمكن أن تمتد إمكانية ارتفاعه حتى 50 طابقًا أو أكثر. [11]

تتحكم الصلابة الافقية للإطار الصلب أساسًا بمقاومة الانحناء للكمرات والأعمدة ووصلاتها، وبالإطار الطويل وأيضًا بالصلابة المحورية للأعمدة (انظر الشكل (5) التالي) يقاوم القص الافقي المتراكم فوق أي دور لإطار صلب بواسطة القص قي الاعمدة ذلك الدور.



الشكل (5) الهيكل الشاهق ذو الإطار الصلب

أنظمة الإطارات الصلبة ليست فعالة للمباني التي يزيد ارتفاعها عن 30 طابقًا لأن مكون أرفف القص للترخيم الناتج عن انحناء الأعمدة والكمرات يتسبب في تأرجح المبنى بشكل مفرط. [12]
الإطارات المدعومة او المقيدة هي نوع من الاطارات المقاومة للعزوم والتي لها دعامات xقطرية مفردة ودعامات k، كما يتم استخدام دعامة knee and lattice. غالبا مالا يتم استخدام الإطارات الخرسانية ذات الدعامة، نظرا لان جدران القص متفوقة في البناء والمقامة الجانبية. يستخدم تقوية lattice في بناء بلاطات مسبقة الصنع.
تُستخدم الإطارات ذات الدعامة الفولاذية في النوى الداخلية، لذلك يمكن إجراء التوصيلات بسهولة باستخدام ألواح الجدران. قد تحتوي الإطارات المركبة ذات الدعامة على دعامات فولاذية في دعامات خرسانية في إطارات فولاذية. كما يتم استخدام تغليف خرساني للأعمدة وكمرات الأرضية المركبة.
أنظمة إطار جدار القص - Shear wall-Frame Systems
في هذا النظام، يتم توفير مقاومة التحميل الأفقي من خلال مجموعة من جدران القص والإطارات الصلبة [15]. غالبًا ما يتم وضع جدران القص حول نوى المصعد والخدمة بينما توضع الإطارات ذات الكمرات العميقة نسبيًا في محيط المبنى. عندما يتم تحميل هيكل الجدار والإطار بشكل جانبي، يمكن أن تكون أشكال الانحراف المختلفة للجدران والإطارات فعالة جدًا في تقليل الانحرافات الجانبية إلى الحد الذي يجعل المباني التي تصل إلى 50 طابقًا أو أكثر اقتصادية [11].
تعتمد المزايا المحتملة لهيكل الجدار والإطار على شدة التفاعل الأفقي، والذي تحكمه الصلابة النسبية للجدران والإطارات، وارتفاع الهيكل. كلما زاد ارتفاع المبنى وصلابة الإطارات، زاد التفاعل [16].
لقد تم فهم تفاعل الإطار وجدران القص لبعض الوقت، فالنمط الكلاسيكي للتفاعل بين جدار القص المنشوري وإطار العزوم هو أن الإطار ينحرف أساسًا فيما يسمى بوضع القص بينما ينحرف جدار القص في الغالب بواسطة الانحناء كعنصر ناتئ كابولي (انظر الشكل (6) التالي).



الشكل (6) جدران القص والإطارات الصلبة

يقدم توافق الانحراف الأفقي تفاعلًا بين النظامين يميل إلى فرض انحناء عكسي في نمط الانحراف للنظام. لذلك، يعتمد الإجراء الهيكلي المشترك على الصلابة النسبية للعناصر المختلفة المستخدمة في تكوين نظام مقاومة الحمل الجانبي.

يعتبر توزيع إجمالي قص الرياح على جدران وإطارات القص الفردية كما هو موضح في مخطط التفاعل البسيط صالحًا فقط إذا تم استيفاء أحد الشرطين التاليين.

يجب أن يكون لكل جدار قص وإطار خصائص صلابة ثابتة طوال ارتفاع المبنى..1.

2. إذا اختلفت خصائص الصلابة في الارتفاع، فيجب أن تظل الصلابة النسبية لكل جدار وإطار دون تغيير طوال ارتفاع المبنى.

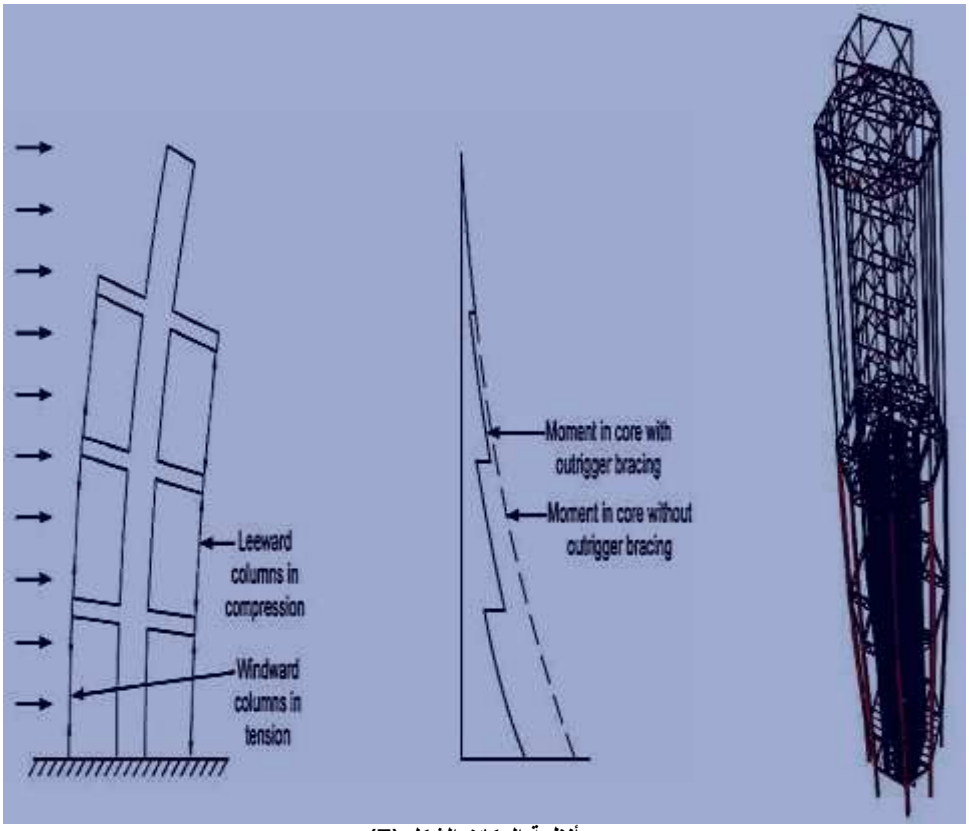
أنظمة الجمالون - Shear Truss-Outrigger Braced Systems

يتكون الترتيب الهيكلي لهذا النظام من نواة خرسانية رئيسية متصلة بالأعمدة الخارجية بواسطة أعضاء أفقية صلبة نسبيا مثل الجدران العميقة المكونة من طابق اوطابقين والتي يشار اليها عادة باسم outriggersالركائز. قد يكون القلب في موقع المركزي مع دعامات ممتدة على كلا الجانبين او قد يكون موجودا على جانب واحد من المبني مع outriggersممتدة الي أعمدة المبني على جانب واحد [11].

نظام الركائز outriggers هو تطور بسبب الرغبة في تكوين نوى داخلية وأعمدة خارجية كوحدة واحدة من خلال ربطها معًا على مستوى واحد أو أكثر بأذرع صلبة - outriggers .يمكن تشكيل هذه الأذرع من خلال أي مزيج من الفولاذ أو الخرسانة أو القطاعات المركبة وتقلل من عزوم الانقلاب الداخلي للهيكل بنسبة تصل إلى 40٪ مقارنة بتلك الموجودة في الكابولي الحر.[16]

يمكن أن توفر أنظمة الركائز outriggers متعددة المستويات ما يصل إلى خمسة أضعاف مقاومة العزوم لنظام الركيزة outriggers الفردي. يتم استخدام أنظمة الركائز للمباني التي يصل ارتفاعها إلى 70 طابقًا ولكن المفهوم يجب أن ينطبق على المباني الأعلى.[17]

الاستجابة الهيكلية الأساسية للنظام بسيطة للغاية. عند تعرضها لأحمال جانبية، تقاوم الأعمدة المقيدة بال outriggers دوران القلب أو الكور، مما يتسبب في أن تكون الانحرافات الجانبية والعزوم في القلب أصغر مما لو قاومت النواة أو الكور القائم بذاته التحميل كما هو موضح في الشكل (7) التالي.[12]

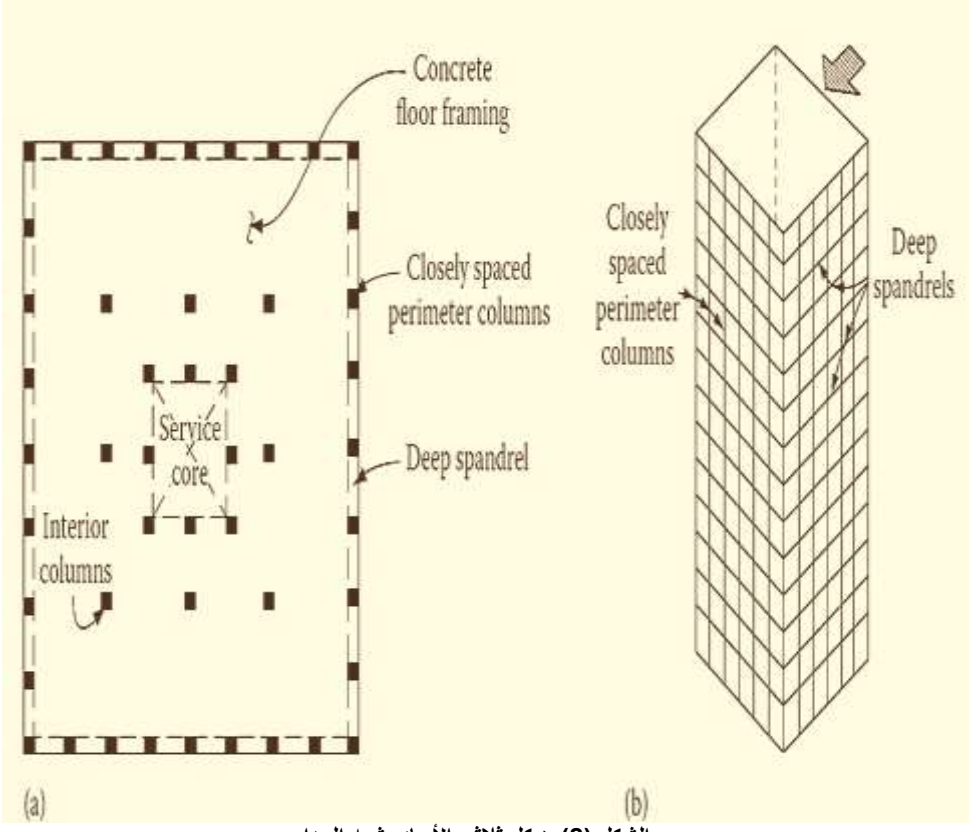


أنظمة الركائز الشكل (7)

لا يتم مقاومة العزوم الخارجية بانحناء القلب وحده، ولكن أيضًا عن طريق الشد والضغط المحوريين للأعمدة الخارجية المتصلة بأذرع الامتداد outriggers .نتيجة لذلك، يزداد العمق الفعال للهيكل لمقاومة الانحناء عندما ينثني اللب باعتباره ناتئًا رأسيًا، عن طريق تطور الشد في الأعمدة المواجهة للرياح، وعن طريق الضغط في أعمدة الجهة المقابلة.

نظام الأنبوب المؤطرFramed-Tube System -

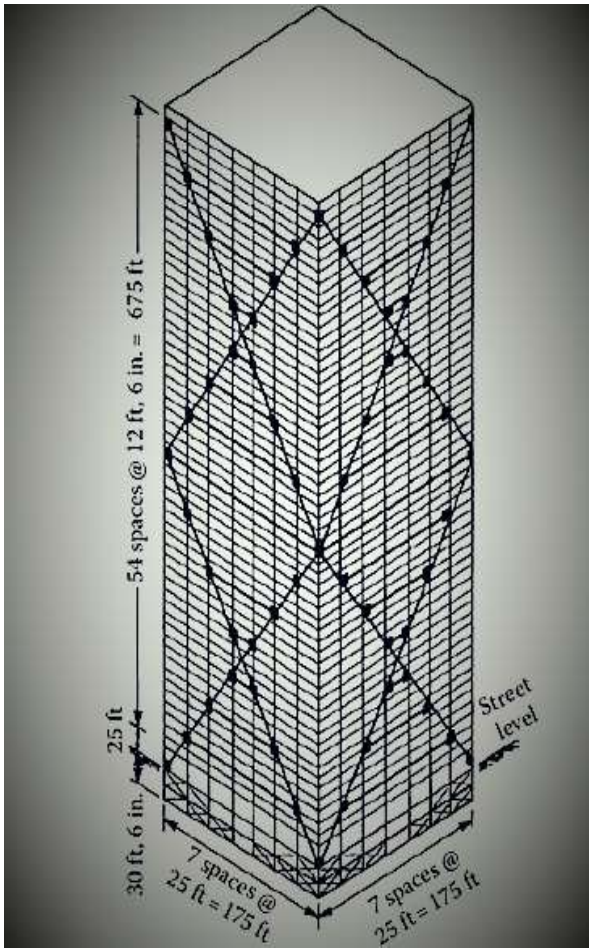
في أبسط مصطلحاته، يمكن تعريف الأنبوب المؤطر على أنه نظام ثلاثي الأبعاد يشرك محيط المبنى بأكمله لمقاومة الأحمال الجانبية [11]. من المتطلبات الضرورية لإنشاء هيكل ثلاثي الأبعاد يشبه الجدار وضع أعمدة على السطح الخارجي للمبنى قريبة نسبيًا من بعضها البعض، وربطها بعوارض أو كمرات عميقة كما هو موضح في الشكل (8) التالي.



الشكل (8) هيكل ثلاثي الأبعاد يشبه الجدا

يعمل النظام بكفاءة عالية باعتباره ناتئًا رأسيًا مجوفًا. ومع ذلك، قد يكون الانجراف الجانبي بسبب الإزاحة المحورية للأعمدة - يشار إليها عادةً باسم انجراف الوتر - وانجراف الويب الناجم عن تشوهات القص والانحناء في الأعمدة والكمرات، كبيرًا جدًا اعتمادًا على هندسة الأنبوب.
في أنظمة الأنبوب المؤطر، عادة ما يتم محاذاة اتجاه الانحناء "القوي" للأعمدة على طول وجه المبنى، على عكس إطار صلب عرضي نموذجي حيث يتم محاذاته بشكل عمودي على الوجه.
تعمل الإطارات الموازية للحمل الجانبي كأعصاب للأنبوب المجوف، بينما تعمل الإطارات العادية للحمل كفلانجات.
عند تعرض الأعمدة للانحناء، تتعرض الأعمدة الموجودة على الجوانب المتقابلة للمحور المحايد للأنبوب لقوى شد وانضغاط. بالإضافة إلى ذلك، تخضع الإطارات الموازية لاتجاه الحمل الجانبي للانحناء داخل المستوى وقوى القص المرتبطة بعمل إطار صلب مستقل.

نظام الأنبوب المؤطر :
أنظمة الأنبوب المؤطر والمقيد بجمالون - Trusted Tube Systems
يعمل نظام الأنبوب المقيد بجمالون على تحسين كفاءة الأنبوب المؤطر من خلال زيادة إمكانية استخدامه في المباني العالية والسماح بمسافة أكبر بين الأعمدة. يتم تحقيق ذلك عن طريق إضافة دعامة قطرية على أوجه الأنبوب كما هو موضح في الشكل التالي للتخلص فعليًا من تأخر القص في كل من إطارات الفلانجات والويب [17].



الأنبوب المؤطر (الشكل (9) التالي).

الأنبوب المؤطر، كما تمت مناقشته سابقًا، حتى مع تباعد الأعمدة الصغير يكون مرن إلى حد ما لأن الضغوط المحورية العالية في الأعمدة لا يمكن نقلها بشكل فعال حول الزوايا. لتحقيق أقصى

قدر من الكفاءة، يجب أن يستجيب الأنبوب للأحمال الجانبية بنقاء ناتئ، مع انتشار قوى الضغط والشد بشكل موحد عبر الوجوه المواجهة للريح والعكسية.

ومع ذلك، فإن الأنبوب المؤطر يتصرف وكأنه أنبوب رقيق الجدران مع فتحات. تميل القوى المحورية إلى التقلص أثناء تحركها حول الزوايا، مما يؤدي إلى أن الأعمدة الموجودة في منتصف الوجوه المواجهة للريح والواجهة الأمامية قد لا تحافظ على حصتها العادلة من قوى الانضغاط والشد. مثال على أحد التطبيقات هو مبنى Onterie Center في شيكاغو

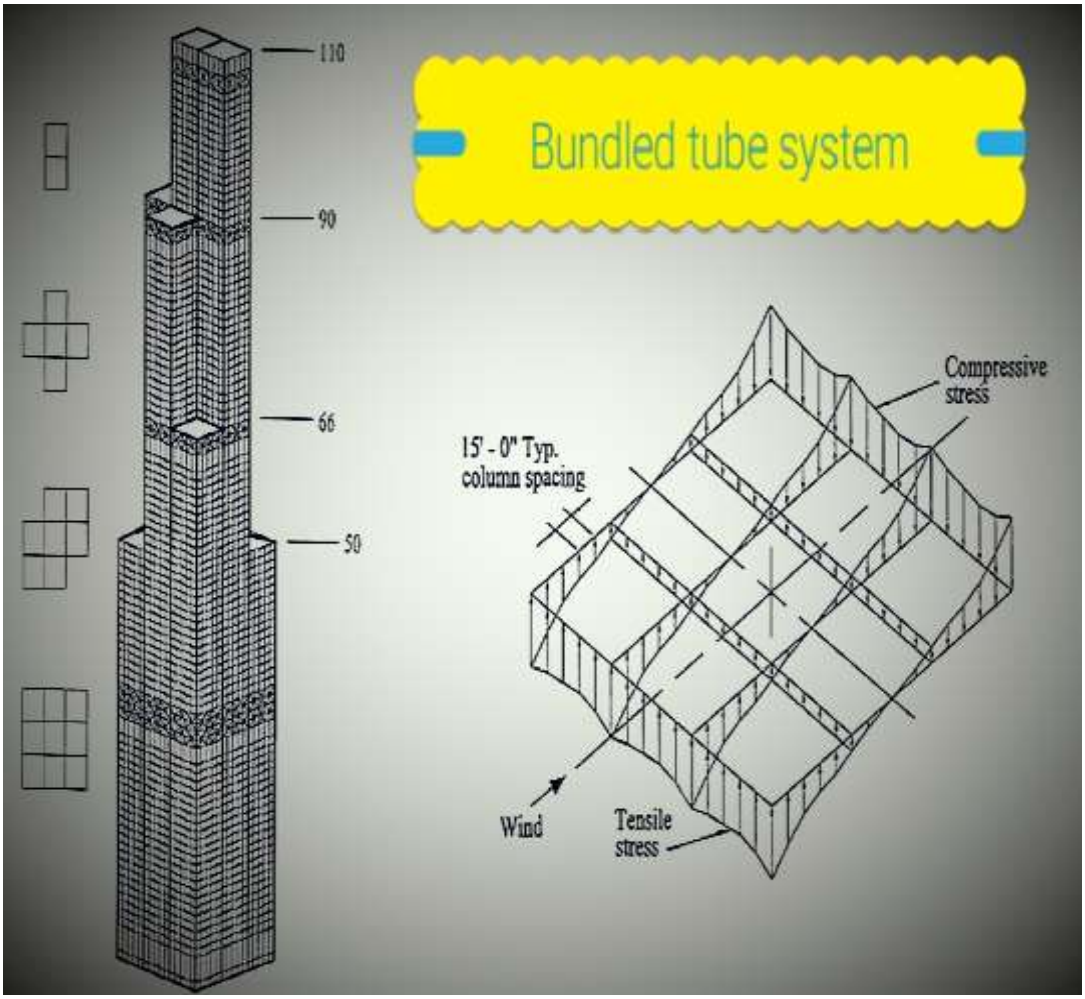
(الشكل 10التالي).

مبنى Onterie Center في شيكاغو (الشكل 10ا).

أنظمة الأنبوب المجمعة (الحزمة) - Bundled Tube Systems

يتكون هيكل الأنبوب المجمّع من أربع إطارات صلبة متوازية في كل اتجاه متعامد، مترابطة لتشكيل تسعة أنابيب مجمعة (انظر الشكل 2). المبدأ هو نفسه بالنسبة لهيكل الأنبوب الفردي حيث تعمل الإطارات في اتجاه الحمل الأفقي كشبكات وتعمل الإطارات العمودية كفلانشات.

من خلال إدخال الشبكات الداخلية، يتم تقليل تأخر القص shear lag بشكل كبير ونتيجة لذلك يتم توزيع الضغوط في الأعمدة بشكل متساوٍ بشكل أكبر وتكون مساهمتها في الصلابة الجانبية أكثر أهمية. هذا يسمح للأعمدة أن تكون متباعدة عن بعضها البعض وأن تكون أقل لفتًا للانتباه. من حيث الجوهر، فإن المبدأ الأساسي لتحقيق استجابة نظام الأنبوب المجمع هو توصيل أنبوبين فرديين أو أكثر في حزمة واحدة، الغرض الرئيسي هو تقليل آثار تأخر القص shear lag .


Bundled tube system
110
90
66
50
Compressive stress
15' - 0" Typ. column spacing
Wind
Tensile stress

الخلاصة والتوصيات

1.تطورت العديد من الأنظمة الهيكلية الجديدة للمباني متعددة الطوابق.

2. منذ منتصف الستينيات تم تطوير أشكال فعالة واقتصادية مناسبة لارتفاعات مختلفة.

3. لقد وفر تطور الأنظمة أيضًا الزخم للعديد من الأمثلة البارزة للهندسة المعمارية التعبيرية الهيكلية.

4في بعض الحالات، كان من الممكن، من خلال استغلال التطورات الحديثة في هندسة مكافحة الحرائق، ترك أعمال

الصلب مكشوفة.

5. نظرًا لارتفاعها وعدد سكانها الكبير، تتطلب الأبراج الشاهقة توفيرًا دقيقًا لأنظمة سلامة الحياة.

6. يجب أن تكون معايير الوقاية من الحرائق صارمة، ويجب توفير أحكام تتعلق بوسائل الخروج المناسبة في حالة نشوب حريق أو انقطاع التيار الكهربائي أو أي حادث آخر.

References المراجع

[1] Murat Saatcioglu, "High-Rise Buildings in Natural Disaster", in *Encyclopedia of Natural Hazards* Dordrecht, NL: Springer, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_168 Emporis Standards. Accessed online 16 October 2009.[2]

[3] *. NFPA.org. Archived from the original (PDF) on 11 July 2012. Retrieved 10 August 2012* [4] *Petruzzello, Melissa. "Skyscraper". Encyclopædia Britannica. Retrieved 21 February 2022.*

[5] *Ambrose, Gavin; Harris, Paul; Stone, Sally (2008). The Visual Dictionary of Architecture. Switzerland: AVA Publishing SA. p. 233. ISBN 978-2-940373-54-3.*

[6] *"Magical Hystory Tour: Skyscrapers". 15 August 2010. Archived from the original on 29 June 2015. The thirteen-story Tower Building (1889)*

[7] *Charles E. Peterson (October 1950). "Ante-Bellum Skyscraper". Journal of the Society of Architectural Historians. 9:3: 25–28.*

Ivars Peterson (5 April 1986). "The first skyscraper – new theory that Home Insurance Building was not the first"[8]

Khan, Fazlur, R. “Structural Systems for Multi-Storey Buildings”. [9]

[10] Iyengar, H., "preliminary Design and Optimization of Steel Building Systems", State of the Art Report No. 3, Technical Committee No. 14: Elastic Design, American Society of Civil Engineers-International Association for Bridge and Structural Engineering Joint Committee on Tall Buildings, August, 1972.

[11] Bungale S. T. (2010): Reinforced Concrete Design of Tall Buildings. CRC Press, Taylor and Francis Group

[12] Ali M.M., and Moon K.S. (2007): Structural developments in tall buildings: Current trends .and future prospects. Architectural Science Review 50(3):205-223

[13] Reddy S.V.B., and Eadukondalu M. (2018): Study of the lateral structural systems in tall buildings. International Journal of Applied Engineering Research 13(15): 11738 – 11754

[14] Zalka K. A. (2013): Structural Analysis of Regular Multi-storey Buildings. CRC Press – Taylor and Francis Group, USA

[15] Aginam C.H., Chidolue C.A., and Ubani O.U. (2015): Effect of Planar Solid shear wall-frame arrangement on the deformation behavior of multi-story frames. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering 12(1):98-105

[16] Sandelin C. and Bujadev E. (2013): The stability of high-rise buildings: An evaluation of the tubed mega frame concept. Dissertation submitted to the Department of Engineering Science, Applied Mechanics, Civil Engineering, Uppsala University

[17] Hallebrand E., and Jakobsson W. (2016): Structural design of high-rise buildings. M.Sc thesis presented to the Department of Construction Sciences (Division of structural mechanics), Lund University, Sweden