

الأنظمة الانشائية للمنشآت الفولاذية العالية

م. العجيلي ميلود غبار

agabaer@yahoo.com

محاضر بقسم الهندسة المدنية

جامعة ليبيا المفتوحة

الملخص

انتشرت المنشآت العالية الفولاذية في العالم بشكل كبير وتعددت وظائفها ، يرجع ذلك إلى خفة وزن مادة الفولاذ ومقاومتها العالية للأحمال المؤثرة على هذه المنشآت وكذلك خاصية الممتطوليته **Ductility** التي تتميز بها إلى جانب سرعة الانجاز وإمكانية الفك وإعادة التركيب.

ومن أهم الأحمال التي تؤخذ في حساب تصميم المنشآت العالية الفولاذية هي تلك التي تسبب قوى أفقية جانبية متمثلة في القص الجانبي **Transverse shear** وعزم الانقلاب **Overtuning 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 الفولاذية ، وبأشكال تتسم بالكفاءة والاقتصاد ولارتفاعات شاهقة . وتشتمل بعض هذه الأنظمة على عناصر من الفولاذ والخرسانة المسلحة تعمل بشكل توافقي. ولخصوصية المنشآت الفولاذية العالية من حيث الأحمال المؤثرة عليها فإن لتحديد النظام الإنشائي يجب التعرف على عدة عوامل أساسية عند التنفيذ .

تقدم هذه الورقة البحثية عرضاً تفصيلياً لاهم الأنظمة الإنشائية للمنشآت الفولاذية العالية والحديثة منها وذلك لإمكانية الاستفادة بها لمزيد من تطوير هذه المنشآت وتحقيق متطلبات المدن في توفير أسباب العيش.

الكلمات الدالة : المنشآت العالية ، الأنظمة الإنشائية ، الإزاحة الجانبية.

تقديم :

تعتبر المنشآت العالية الفولاذية أكثر انتشاراً في العالم حيث تطورت أشكالها ووظائفها وهذا يرجع إلى خفة وزن مادة الفولاذ مقارنة بالمواد الإنشائية الأخرى ، ومقاومتها العالية لتحمل الأحمال المؤثرة عليها وكذلك خاصية الممتطوليته **Ductility** التي تتميز بها إلى جانب سرعة الانجاز وإمكانية الفك وإعادة التركيب.

ومن أهم الأحمال التي تؤخذ في حساب تصميم المنشآت العالية الفولاذية هي تلك التي تسبب قوى أفقية جانبية متمثلة في القص الجانبي **Transverse shear** وعزم الانقلاب **Overtuning 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 الفولاذية ، وبأشكال تتسم بالكفاءة والاقتصاد ولارتفاعات شاهقة .

وتشتمل بعض هذه الأنظمة على عناصر من الفولاذ والخرسانة المسلحة تعمل بشكل توافقي.

ولخصوصية المنشآت الفولاذية العالية من حيث الأحمال المؤثرة عليها فإن لتحديد النظام الإنشائي يجب التعرف على عدة عوامل أساسية عند التنفيذ منها:

1. الوظيفة التي سيقدمها هذا المنشأ إن كانت تجارية أو إدارية أو اجتماعية أو غير ذلك .
2. ارتفاع المنشأ ومسقطه المعماري وما يحتويه كل منها من خدمات ضرورية .
3. أنواع ومقدار الأحمال المتعرض لها المنشأ ومدة عمره الوظيفي.
4. 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 شاهق ، وأحياناً 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.
- يُعرّف إمبوريس **Emporis** مبنى شاهقاً بأنه "مبنى متعدد الطوابق يتراوح ارتفاعه بين 35-100 متر (115-328 قدمًا) ، أو مبنى بارتفاع غير معروف من 12 إلى 39 طابقاً." [2]
- يعرف قاموس أكسفورد الإنجليزي الجديد مبنى شاهقاً بأنه "مبنى به عدة طوابق".
- ي الولايات المتحدة ، تحدد الرابطة الوطنية للحماية من الحرائق (NFPA) ، المباني الشاهقة على أنها أعلى من 75 قدمًا (23 مترًا) ، أو حوالي سبعة طوابق. [3]

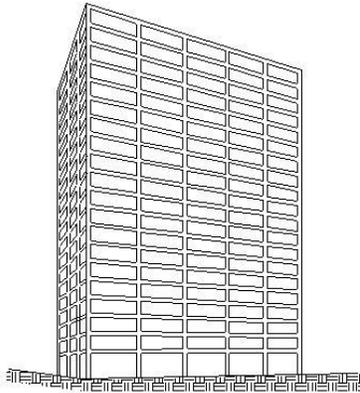


Figure 1 Business Mens Assurance Building, Kansas City, Missouri

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 الأولى ، [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 لاحقاً 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 اعتباراً 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 متراً أو أعلى ، مع وحدتين سكنيتين أو أكثر من أكتوبر 2023. يُعرّف 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 متراً ، على الرغم من أن علامة جودة المنزل تُعرّف الارتفاع المرتفع بأنه مبنى يبلغ ارتفاعه 18 متراً أو أكثر (الارتفاع المرتبط تاريخياً بمدى وصول معدات خدمة الإطفاء والإنقاذ) وهذا الارتفاع أيضاً 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 مليوناً) في بولتون في عام 2019 ، أطلقت الحكومة مشاورات تتضمن مقترحات لخفض عتبة ارتفاع 18 متراً لـ "ناطحات السحاب" إلى 11 متراً.

النظم الانشائية للمباني العالية الفولاذية

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 أيضاً 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. غالباً 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 أيضاً 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 الأعمدة في النطاق من 7.5 م إلى 10.5 م شائعة. 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 للهيكل التي يزيد ارتفاعها عن 25 طابقاً.

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 ، جنباً إلى جنب مع نهج ميسيان المنتشر للهندسة المعمارية في ذلك الوقت ، إلى انفجار في الهندسة المعمارية الموجهة هيكلياً في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي ، والتي يمكن تحديدها حقاً 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 و 1975 ، لتلائم نمطاً تطورياً منطقياً 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 فرصاً كبيرة لهندسة الواجهة الهيكلية وهناك تطور كبير في النظم الإنشائية والمعايير التصميمية المعتمدة. وهنا يتم عرض لاهم الأنظمة الإنشائية المعتمدة في تنفيذ العالية الفولاذية .

الأنظمة الإنشائية للمنشآت الفولاذية العالية

1- نظام إطار القص **The shear frame system**

يتم وضع إطارات القص أو إطارات Vierendeel ، بربط الكمرات والأعمدة بشكل ثابت لتوفير مقاومة العزوم عند المفاصل ، في اتجاهين متعامدين لمقاومة قوى الرياح في كل اتجاه. وكل إطار مطلوب لمقاومة نسبته من قص الرياح ، والتي يتم تحديدها على أساس صلابته النسبية مقارنة بالمجموع. وتعتمد كفاءة تطوير الصلابة الجانبية على امتداد المسافة بين العمودين (البحر) ، وعدد البحور في الإطار ، وعدد الإطارات والعمق المتاح في الأرضيات لعوارض الإطار. ويتم استخدام أبعاد الأعمدة في نطاق 6 م إلى 9 م بشكل شائع.

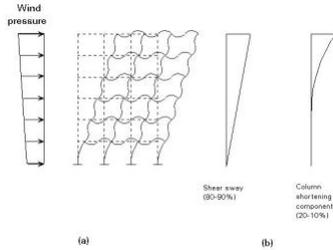


Figure 2 Frame sway

في إطارات القص هذه ، تأتي المساهمة السائدة في انحراف التآرجح تحت حمل الرياح من ثني العوارض والأعمدة بسبب قص الرياح وبدرجة أقل ، من تقصير العمود أو المكون الكابولي (الشكل 2). يتم التحكم في تصميم هذه الإطارات من خلال صلابة الانحناء للأعضاء الفردية. وكلما كان العضو أعمق ، يمكن تطوير صلابة الانحناء بشكل أكثر كفاءة.

عندما تكون الإطارات متباعدة بانتظام في كلا الاتجاهين ، يتم إنشاء شبكة عمودية مستقيمة وهي مناسبة لأشكال الخطة المستقيمة. تركزت بنية هذه المباني على تعبيرات البحر أو الإطار. ومن الأمثلة البارزة على هذا التعبير مبنى **Business Mens Assurance Building** ، بمدينة كانساس سيتي - وهو مبنى مكون من 20 طابقاً تم بناؤه عام 1960 (الشكل 1). ويمكن وضع الإطارات في زوايا أخرى أو على أساس غير منتظم لإنشاء أشكال تخطيط مختلفة لملء منطقة موقع غير منتظم. ويمكن أيضاً وضع إطارات القص على الوجوه الخارجية فقط بدلاً من استخدام ترتيب شبكة للإطارات. وفي الممارسة الحالية ، عادة ما تقتصر المباني ذات الإطارات القصية النقية على بضعة طوابق فقط ، حيث

تتوفر أشكال أخرى أكثر كفاءة. ومع ذلك ، قد لا يزال شكل **Vierendeel** المستقيم غير المفضل في الحالات التي قد تتداخل فيها الأشكال الأخرى التي تتضمن أقطارًا أو دعائم هندسية وتخطيطية. وينشأ عدم الكفاءة الأساسي في مباني إطارات القص من الحاجة إلى وصلات صلبة متصلة بالعزوم والتي تكون مكلفة في التصنيع ، بالإضافة إلى كميات الصلب المعنية. وتمحور تحسين الإطارات بالمعنى العملي على تقليل عدد هذه الوصلات ، واستبدال اللحام الميداني بالبراهي ، ومعايير مماثلة.

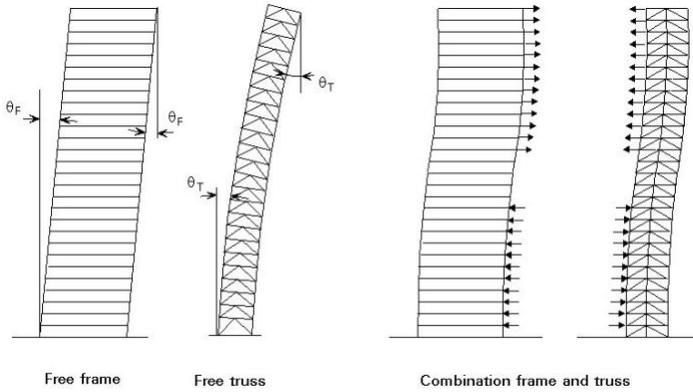


Figure 3 Frame-shear truss interaction

2. نظام جمالون القص والاطار **The shear truss and frame system**

يمكن توفير دعائم القص في الاتجاه الرأسي ، إذا كان مركز المبنى يسمح بهذا الترتيب. وبشكل عام ، تكون العناصر الأساسية للمبنى بما في ذلك أماكن المصاعد مركزية وتسمح للجمالونات الأساسية التي تربط الأعمدة ولو في اتجاه واحد على الأقل. وتكون هذه الجمالونات جنبًا إلى جنب مع إطارات القص المحيطية نظام جمالون القص والاطار (الشكل 3).

وقد تكون هناك إطارات داخلية أخرى تشارك أيضًا. وهذا النوع من النظام التفاعلي له نطاق واسع من التطبيقات في الهياكل من 10 إلى 40 طابقًا. في المباني الأصغر ، قد يتم التخلص من مكون الإطار ، مما يؤدي إلى مقاومة جميع قوى الرياح بواسطة الجمالونات الأساسية فقط.

في بعض الحالات المعزولة ، يتم توفير الأقواس في كلا الاتجاهين. ينبغي بعد ذلك النظر في تنسيق خاص فيما يتعلق بتوفير الوصول إلى الاحتياجات الأساسية. وينتج عن الجمع بين إطار القص والأقواس الرأسية تفاعل بين وضعين للسلوك ، وهما إطار القص وكابولي (الشكل 3). كما ينتج عن هذا المزيج نتائج مرغوبة في كفاءة الصلابة للنظام ككل.

تقاوم الدعائم الرأسية قوى الرياح كعنصر واحد وبالتالي توفر صلابة جانبية بشكل أكثر كفاءة من إطارات القص. ومع ذلك ، فإن العمق المتاح للجمالون ، والذي يعتمد على تخطيط المنطقة الأساسية ، يحدد الفعالية الشاملة للنظام. كما يمكن استخدام أشكال **K** أو أشكال **X** أو أشكال الدعامة المفردة بالنسبة إلى أشكال دعامة الجمالون. ويعتبر شكل **K** هو الأكثر شيوعًا نظرًا لأن الدعائم لا تشارك على نطاق واسع في حمل الجاذبية ، وبالتالي يمكن تصميمها للقوى المحورية بسبب الرياح دون أن تكون القوى المحورية للجاذبية من الاعتبارات الرئيسية. في شكل **X** والدعامة المفردة ، قد تهيمن قوى الجاذبية المحورية في تصميم الأقواس.

بشكل عام ، تنتج **Shear Truss and Frame Systems** أكثر الأنظمة الهيكلية الفولاذية اقتصادية للمباني التي يصل ارتفاعها إلى 30 طابقًا.

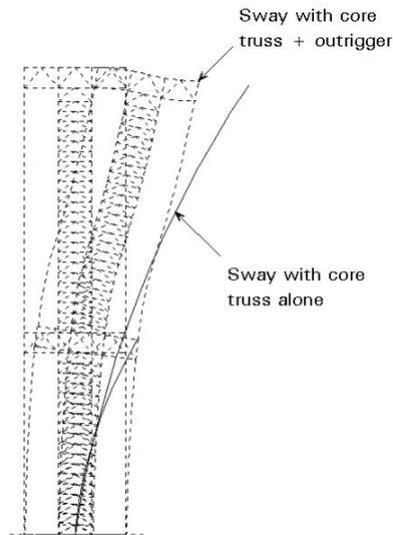


Figure 5 Improvement in overall stiffeners due to outrigger-bolt trusses

3

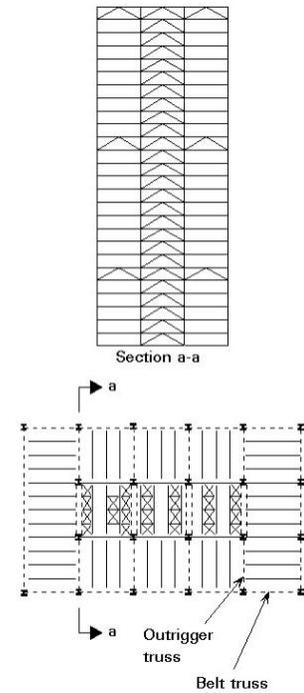


Figure 4 Belt-outrigger truss system

. نظام الإطار الجمالوني للقص مع حزام الجمالونات الخارجية :

The shear –truss frame with outrigger and belt trusses

يمكن ربط إطارات قص الخارجي والدعامات الرأسية الداخلية ببعضها عن طريق نظام دعامات خارجية وحزام أفقي على مستوى الطابق ، حيث لن تتداخل الدعامات مع تخطيط المساحة الداخلية. يوضح الشكل 4 ترتيب الجمالونات. والنتيجة الأساسية لدعامات الدعامة هي تطوير القوى المحورية في الأعمدة الخارجية بسبب حركة الرياح. هذا السلوك يحسن بشكل كبير المقاومة الجانبية تحت قوى الرياح. ويعزز استخدام دعامات الحزام على الواجهات ، على نفس المستوى والعمودي على دعامات الركيزة مشاركة الإطارات الخارجية في سلوك الكابولي. وتقوم دعامات الحزام بتحويل نظام الإطار ثنائي الأبعاد إلى نظام إطار ثلاثي الأبعاد يقاوم حركة الرياح. تم تقليل تأرجح المبنى تحت الرياح بشكل كبير من خلال إدخال هذه الجمالونات. وتشير مراجعة منحنى الانحراف إلى اثنين من تأثيرات التقوية:

واحد يتعلق بمشاركة الأعمدة الخارجية في وضع كابولي لإجمالي عرض المبنى ؛ و الآخر يتعلق بتقوية إطار الواجهة بواسطة دعامات الحزام. ويمكن أن ينتج عن تحسينات في الصلابة الكلية تصل إلى 25 ٪ مقارنة بنظام جمالون القص والإطار بدون حزام الجمالون الخارجي (الشكل 5). وتعتمد فعالية النظام على عدد مستويات الجمالون وعمق الجمالون في كل مستوى.

4 - نظام الأنبوبة الإطارية : The frame tube إذا كان إطار قص الواجهة أقوى من خلال تباعد أقرب بين الأعمدة ونسب الأعضاء الأكبر وإذا كانت هذه الإطارات مستمرة في الزوايا ، يتم تحويل الإطار العام إلى أنبوب كابولي موثر مثبت على الأرض. وتعتمد فعالية الكابول على تقليل جزء انحراف التآرجح بسبب إطار القص. وأحد الأهداف الأساسية هو تقليل هذا المكون إلى أقل من 25 ٪ من التأثير الكلي بحيث

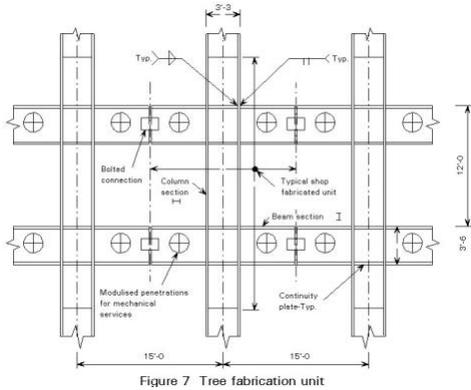


Figure 7 Tree fabrication unit

يكون التشوه الساند هو كابولي (الشكل 6a). عندما يتم توفير مثل هذه الإطارات على الوجوه الأربعة للبرج ، يحصل المرء على تكوين أنبوبي مجوف. هذا الشكل "الصوامع" الذي يحتوي على ثقوب نافذة صغيرة هو الأكثر فعالية في مقاومة قوى الرياح. يوضح 6b توزيع القوى المحورية للعمود بسبب عمل كابولي . كلما كان التوزيع مشابهًا لتوزيع الصندوق الصلب تمامًا مع الضغط المحوري المنتظم على الحواف والتوزيع المتلثي على الشبكات ، وكلما كان النظام أكثر كفاءة كعنصر كابولي. تم تقديم نظام الأنبوب المؤثر لأول مرة في منتصف الستينيات في الخرسانة المسلحة.

وتم تشكيل الهيكل الخارجي للشبكة الكثيفة بسهولة ، مما أدى إلى ظهور أنبوب مثقوب. تم اعتماد هذا النظام لاحقًا للمباني الفولاذية.

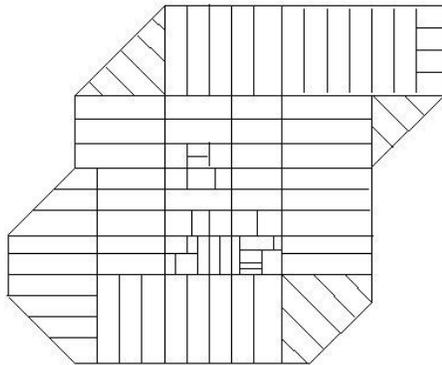


Figure 8 Free-form shape

تتطلب نسب الأنبوب المؤثر أعضاء عريضة لكل من الحزم والأعمدة ، ويجب أن تكون صلبة عند المفاصل. في الخرسانة ، يتم تحقيق الوصلة الصلبة من خلال استخدام الخرسانة في الموقع ، بينما في الفولاذ الهيكلي ، يجب لحام الوصلات من أجل الصلابة وتكوين الأعضاء للحصول على عروض أكبر. إن استخدام عنصر "شجرة" من الأنبوب المؤثر مسبقًا (الشكل 7) حيث يمكن إجراء جميع اللحامات في الورشة في وضع أفقي يجعل الأنبوب ذي الإطار الفولاذي أكثر عملية وفعالية.

ثم يتم نصب "الأشجار" عن طريق البرغي في منتصف امتداد الحزم. يمكن أن

نتج

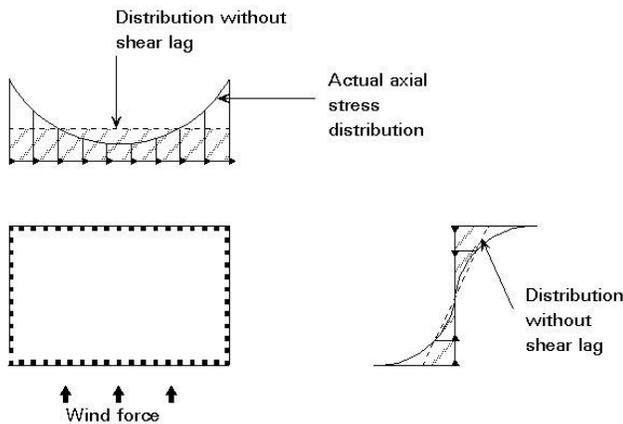


Figure 6b Framed tube : Axial load distribution

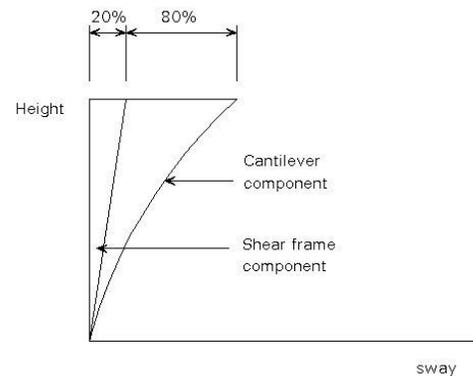


Figure 6a Framed tube : lateral sway

سرعة كبيرة في بناء النظام من 3 إلى 4 طوابق في الأسبوع إذا تم

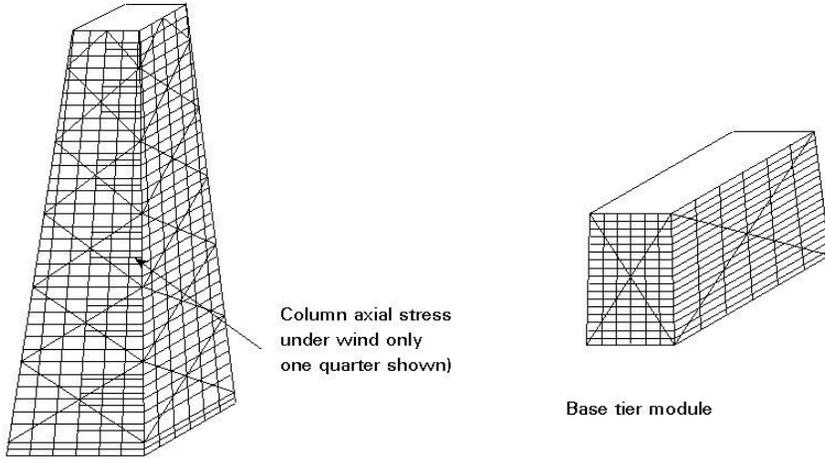


Figure 9b Diagonallized tube

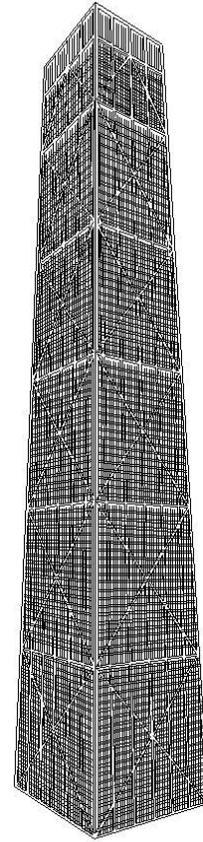


Figure 9a John Hancock Centre, Chicago

است
خدام
"الأ
شجا
ر".
تشث
مل
المبا
ني
ذات
الأناب
يب
الفو
لاذي
ة
على

مسافات أعمدة من 3 أمتار إلى 5 أمتار على السطح الخارجي والتي يمكن نقلها إلى مسافات أوسع ، إذا لزم الأمر ، في الطوابق السفلية. تم استخدام هذه الأنظمة الأنبوبية على نطاق واسع للهياكل التي يتراوح ارتفاعها من 30 إلى 110 طابق. ومن الأمثلة البارزة على ذلك مركز التجارة العالمي في نيويورك. يوضح الشكل 8 تكويناً معيناً لقطاعات أفقية غير منتظمة تم استخدام الأنبوب المؤطر. شريطة الحفاظ على تناسب عناصر الأنابيب ، يمكن استخدام أي شكل عام مغلق كنظام أنبوبي.

5. نظام الأنابيب الجمالوني The trussed tube system

هو الهيكل الأكثر كفاءة والذي يعمل كعنصر كابولي به أعضاء مائلة من الخارج . تم تقديم هذا النظام لأول مرة في مركز جون هانكوك في شيكاغو ، وهو مبنى متعدد الاستخدامات مكون من 100 طابق (الشكل 9a). النظام عبارة عن أنبوب Trussed بشكل أساسي مع أقطار اللفافة لا تعمل فقط كدعامات في الطائرة ، ولكنها تتفاعل أيضاً مع الجمالونات على الواجهات المتعامدة لتطوير عمل الأنبوب (الشكل 9b). تتمثل الميزة الرئيسية لأنبوب Trussed في أنه يلغي الحاجة إلى أعمدة متقاربة من أنبوب مؤطر. في مركز جون هانكوك ، تباعد الأعمدة على الوجه العريض هو 12.2 مترًا وعلى الوجه القصير 7.62 مترًا. ميزة أخرى لهذا الأنبوب هي أن الجزء الداخلي خالٍ من الهيكل لمقاومة حركة الرياح.

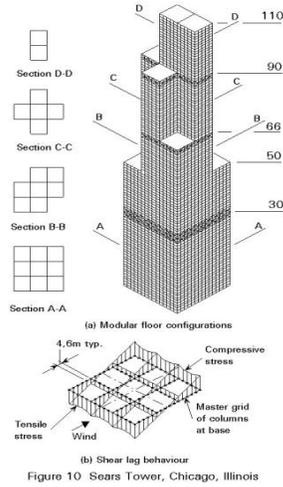


Figure 10 Sears Tower, Chicago, Illinois

يكون النظام أكثر فاعلية في شكل مغلق خارجي واحد ، خاصةً عندما يكون في شكل مستقيم. لا يمكن تكييفه بسهولة في حالة وجود خطوط إطار الأنابيب الداخلي ، وفي بعض الحالات الخاصة ، يمكن تنظيم الأقطار الداخلية لتناسب تخطيطات المكاتب المحددة. يمكن استخدام مبدأ قطرية اللقافة بسهولة للمفاهيم الأنبوبية الجزئية. على سبيل المثال ، في المباني المستطيلة الطويلة ، قد تكون الإطارات النهائية للوجه القصير مائلة ، حيث يكون الوجه الطويل عبارة عن إطار القص. قد يكون الإطار المائل النهائي على شكل قناة أو شكل "C" لتوفير مقاومة الرياح في كلا الاتجاهين. يمكن أن يختلف القطر أيضًا من شكل "X" عريض إلى "X" أصغر .

6. الأنابيب المجمع أو نظام الأنابيب المعياري

Bundled Tube or Modular Tube System

تباين في الهيكل الأنبوبي بناءً على تجميع أو تجميع أنابيب أصغر حجمًا ، يرتفع كل منها إلى ارتفاع مختلف. يتجسد هذا الاختلاف في نظام الأنابيب المجمع لبرج سيرز في شيكاغو ، الشكل 10. وقد أحدث هذا المبنى شكلاً عامًا جديدًا للهيكل

يسمى "الأنبوب المجمع" [11]. في برج سيرز ، يتكون الأنبوب المجمع من

22,86 متر مربع من الوحدات النمطية ، ويتم تجميع تسع وحدات معًا لتشكيل النظام

الكلية ، كما هو موضح في الشكل 10.

أحدث هذا المبنى شكلاً عامًا جديدًا للهيكل يسمى "الأنبوب المجمع" [11]. في برج سيرز ، يتكون الأنبوب المجمع من 22,86 متر مربع من الوحدات النمطية ، ويتم تجميع تسع وحدات معًا لتشكيل النظام الكلية ، كما هو موضح في الشكل (10). ترتفع هذه الأنابيب إلى ارتفاعات مختلفة ويتم إنهاؤها عندما لا تكون هناك حاجة إليها معماريا وهيكلية. تتكون جدران الأنبوب من أعمدة في 457 مترًا مركزيًا وعوارض عميقة في كل طابق.

. أدى إدخال خطوط الأنبوب المؤطرة في الداخل إلى تقليل تأثير "تأخر القص"

الموجود في الأنابيب الخارجية ذات الأبعاد الجانبية الكبيرة الشكل (10). لم يكن

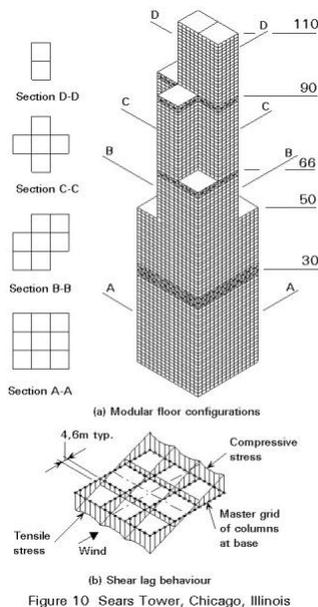
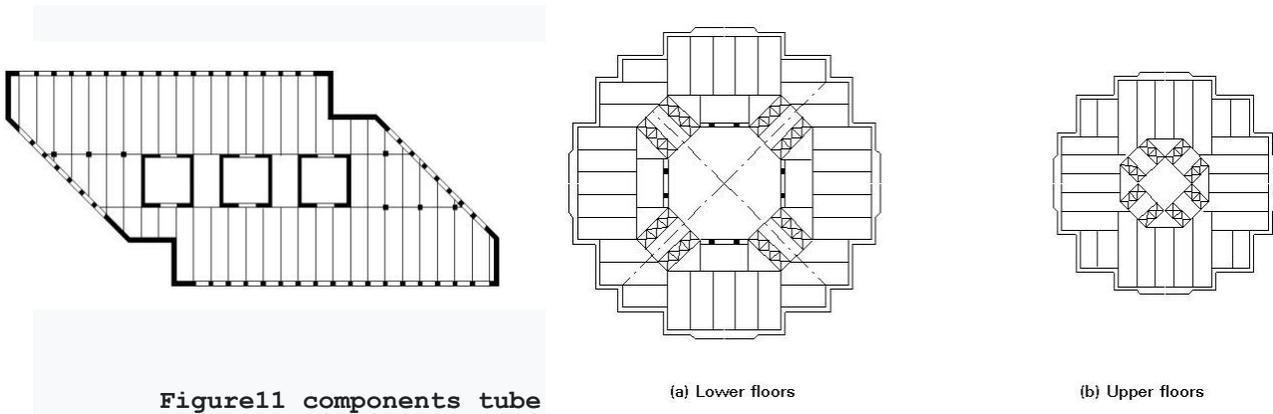


Figure 10 Sears Tower, Chicago, Illinois

القص من النظام إنشاء نظام هيكلي قوي فحسب ، بل كان أيضاً إنشاء تعديل رأسي بطريقة منطقية. يعتبر تطوير مجموعة متنوعة من أحجام وأشكال الأرضيات في نفس المبنى أحد الأصول الإيجابية من وجهة نظر تسويق العقارات. النمذجية والأساس المفاهيمي للأنبوب المجمع لهما تطبيق واسع. يمكن ترتيب الخلايا أو الأنايبب بعدة طرق لإنشاء كتل مختلفة. يمكن تطبيقها على 30 طابقاً بالإضافة إلى الهياكل شديدة الارتفاع. علاوة على ذلك ، يمكن تغيير شكل كل أنبوب في حد ذاته إلى أي شكل عنقودي مغلق آخر. تم استخدام الوحدات الثلاثية والسداسية في بعض التطبيقات الحالية.



أنظمة الصلب والخرسانة المختلطة

Mixed Steel-Concrete Systems

تعتبر أنظمة الخرسانة والصلب المختلطة الآن نظاماً جديداً راسخاً يمكن استخدامه بسهولة مثل أنظمة الصلب أو الخرسانة للمباني الشاهقة [12]. تم استخدام هذه الأنظمة المختلطة التي تتضمن مكونات الخرسانة المسلحة والصلب الإنشائي في أشكال قابلة للتطبيق بشكل عام ، مثل نظام الأنبوب

المركب وأنظمة الخرسانة الأساسية على نطاق واسع والهياكل المركبة بالمعنى الحقيقي ، لقد حرروا الانضباط الصارم تقليدياً للعناصر الفولاذية أو الخرسانية.

أكثر خصائص الخرسانة جاذبية هي صلابتها وقدرتها على الصب في أنواع مختلفة من العناصر الإنشائية. لذلك ، تعتمد معظم الأنظمة المختلطة على الخرسانة لمقاومة الحمل الجانبي. عناصر جدار القص و / أو الجدار المثقوب أو عناصر الأنبوب المؤطرة مع وصلات عمود العارضة المتجانسة المصبوبة هي من الخرسانة عالية القوة. وسعت الخرسانة التطبيق ليشمل الهياكل من 50 إلى 80 طابقاً في الارتفاع. يتم استخدام قوة الخرسانة من 40 نيوتن / مم² إلى 55 نيوتن / مم² بشكل شائع ، ولكن في بعض الحالات ، تم استخدام قوة تصل إلى 95 نيوتن / مم². تأطير الأرضية مصنوع من الفولاذ في الأنظمة المختلطة ، وهو أمر مفيد بسبب القدرة على الامتداد لمسافات أطول بأعضاء أخف وزناً. وبالتالي ، من الممكن وجود مساحات أكبر خالية من الأعمدة.

7.1 يتكون أول مركز كندي في كالجاري ، كندا من برجين وجناح مصرفي من 10 طوابق ، يقع في موقع على شكل حرف L. يبلغ ارتفاع البرجين 64 و 43 طابقاً. كان الشكل المنحوت الذي يوفر مناظر مائلة للجبال والمدينة مرغوباً للغاية في

موقع الزاوية البارز هذا. يتشكل كل برج بشكل مشابه ، ويتضمن بشكل أساسي متوازي أضلاع بزوايا مقطوعة ومعاد دخولها.

يعتمد المفهوم الهيكلي على مفهوم الأنبوب في الأنبوب الذي يتضمن أنبوبًا خارجيًا مؤطرًا من الخرسانة المسلحة وأنبوبًا داخليًا لجدار القص. يكمل الإطار الهيكلي للأرضيات الفولاذية والأعمدة الفولاذية الداخلية الأخرى النظام ، كما هو مبين في الشكل 12. نظام الأنبوب في الخارج عبارة عن مزيج من الأنبوب المؤطر من العوارض والأعمدة ذات الجدران الصلبة في الزوايا.

7.ب انظمة داعمة المركز Core Braced Systems

انظمة داعمة المركز على عكس الأنظمة الأنبوبية الخارجية ، فإنها تقاوم قوى الرياح بجدران القص في المركز . ان استخدام الجدران الأساسية لمقاومة الرياح على نطاق واسع في المباني الخرسانية يكون الأنبوب المغلق في الداخل مع اختراق الوصول إلى المركز. يمكن استخدام هذا النوع من العناصر الأساسية في إطار فولاذي لتشكيل نظام Core Braced Steel. نظرًا لأن اللب الخرساني يقاوم جميع قوى الرياح ، فلا يلزم توصيل المكونات الفولاذية إلا بشكل غير صارم لمقاومة قوى الجاذبية. في المباني التقليدية ، يكون الحجم الكلي لأنبوب الجدار الأساسي محدودًا بمتطلبات الأبعاد للعناصر الأساسية. ومع ذلك ، قد يكون من الممكن في بعض الحالات تطوير نظام حائط أكبر يكون مناسبًا للمباني في .

نطاق 50 إلى 80 طابقًا كما هو موضح أدناه

يوضح الشكلان 12a و 12b ترتيب النوى لمبنى مكون من 75 طابقًا يتطلب مرونة كبيرة في التشكيل الخارجي مع الإزاحة والنكسات. يسمح الهيكل الأخف وزنا وغير الصلب المصنوع من الفولاذ في الخارج بهذه المرونة. تم تخطيط نظام Core Wall Tube بأربعة قرون متصلة ببعضها البعض تغلف الأذنين في الجزء السفلي ونواة مثمثة الشكل في الأجزاء العلوية. سمح هذا الترتيب البسيط للجدران والنوى بأقصى قدر من الكفاءة لنظام الجدار للهيكل وأقصى قدر من المرونة للهندسة المعمارية الخارجية.

الخلاصة والتوصيات:

1. تطورت العديد من الأنظمة الهيكلية الجديدة للمباني متعددة الطوابق ، وخاصة في الفولاذ.
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.
4. في 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
- [2] Emporis Standards. Accessed online 16 October 2009.
- [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.
- [8] Ivars Peterson (5 April 1986). "The first skyscraper – new theory that Home Insurance Building was not the first.
- [9] Khan, Fazlur, R.. “ Structural Systems for Multi-Storey Buildings”.
- [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] Iyengar, S. H. and Khan, F., "Structural Steel Design of Sears Tower", Conference on Steel Developments, Australian Institute of Steel Construction, Newcastle, Australia, May, 1973
- [12] Iyengar, Hal, "Recent Development sin Composite High-Rise Systems", Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Monograph, Advances in Tall Buildings, 1986, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Meeting, Chicago, Illinois, October, 1982