ERJ
Engineering Research Journal
Faculty of Engineering
Minoufiya University

تصنيف الأنظمة الإنشائية وتأثيره علي التصميم المعماري للمساقط الأفقية وواجهات المباني العالية

م/ نور السعيد عبد الوهاب أ.د.م / أدهم جمال الدين عتمان د/ مصطفي علي سالم مشهور

يتناول البحث دراسة الأنظمة الإنشائية للمباني العالية ومفهومها وتحليلها وتصنيفها من خلال ثلاث محاور رئيسية ودراسة تأثيرها علي التصميم المعماري للمساقط الأفقية وواجهات المباني العالية ومن ثم الوصول لنتائج وتوصيات للعمل بها لتحسين عملية التصميم المعماري للمباني العالية في مرحلة وضع التصورات الأولية.

The study discusses the structural systems of tall buildings and their concept, analysis and classification through three main axes and studies their impact on the architectural design of horizontal projections and tall buildings' facades, thus reach the conclusions and recommendations to work to improve the process of architectural design of tall buildings in the stage of developing the initial perceptions.

تصنيف، تصميم، الإنشائية، المباني العالية، الواجهات

مقدمة:

اتسمت أواخر القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين بكونها بداية الانطلاقة العظمى في عالم المعرفة وانطلاق الثورة الصناعية باعتبارها المحرك الرئيسي والأداة إلى الطفرة في شتى المجالات على المستويين العلمي والتقني مما كان له الأثر الواضح على تطور الفكر المعماري وتطور الفكر الإنشائي من خلال ابتكار و تطوير مواد البناء ونظم الإنشاء وأساليب التنفيذ وكان من آثار هذا التطور ظهور الأنظمة الإنشائية للمباني العالية والتي تطورت على مدى القرن العشرين حتى وصلت بالمباني العالية إلى ارتفاعات لم يكن من المتوقع الوصول إليها من قبل.

يعتبر المدخل الإنشائي لتصميم المباني العالية هو المرحلة الثانية من مراحل تصميم المباني العالية وكلما زاد الارتفاع كان المدخل الإنشائي لتصميم المباني العالية هو المرحلة المهمة في وضع التصورات النهائية للتصميم المعماري للمبنى، وفى المباني العالية والعالية جدا فإن التحدي الأكبر أمام المصمم المعماري والإنشائي يكمن في ابتكار أنظمة إنشائية لها القدرة على مقاومة الأحمال الناتجة عن الارتفاع بالتكامل مع الأفكار والتصورات المعمارية للمبنى، والأنظمة الإنشائية للمباني العالية التي نراها اليوم لم يتم ابتكارها كل على حدة بل خضعت لعمليات تطوير مستمر على مدى فترات طويلة منذ ابتكار الخرسانة المسلحة والهياكل المعدنية واستخدامها بصفة عامة في الهياكل الإنشائية للمباني في القرن الماضي.

مشكلة البحث:

تتمثل المشكلة البحثية في وجود تأثير للأنظمة الإنشائية علي التصميم المعماري للمساقط الأفقية وواجهات المباني العالية وارتباط تصنيف هذه الأنظمة طبقا لسلوك مكونات الهيكل الإنشائي ومواد الإنشاء علي التصميم المعماري للمساقط الأفقية وواجهات المباني العالية بطريقة مباشرة بدءا من مرحلة التصورات والأفكار الأولية Concept وحتي الوصول للتصميم المعماري النهائي.

أهداف البحث:

هذا البحث يهدف إلي:

1- تحليل وتصنيف الأنظمة الإنشائية للمباني العالية طبقا للمحاور الآتية:

- مواد الإنشاء.
- أهم المهندسين الإنشائيين المتخصصين في تصميم المباني العالية.
- السلوك الإنشائي لمكونات النظام الإنشائي.

وذلك في إطار المدى الزمني لتطور الأنظمة الإنشائية منذ بداية القرن الماضي وحتي الوقت الحالي.

2 - دراسة تأثير التصنيفات السابقة علي التصميم المعماري للمساقط الأفقي والواجهات للمباني العالية وذلك للاستفادة منها عند وضع التصورات الأولية للمباني العالية واختصار الزمن والجهد المبذول وتقريب وتحقيق التكامل بين كل من المهندس المعماري والإنشائي.

منهج الدراسة البحثية:

منهج تحليلي وصفي: يدرس البحث الأنظمة الإنشائية للمباني العالية ويتناولها بالتحليل وفقا لمواد الإنشاء وتصنيف أهم المهندسين الإنشائيين ووفقا لسلوك مكونات الهيكل الإنشائي واستنتاج تأثيرها علي التصميم المعماري للمساقط الأفقية وواجهات المباني العالية.

1- تعريف المباني العالية

إن مصطلح المباني العالية Tall buildings لم يوجد له تعريف عالمي محدد ومتفق عليه حيث قام المتخصصين في المجالات الهندسية المتعلقة بالمباني العالية بوضع مفاهيم وتعريفات عامة خاصة بوجهة نظر كل منهم تجاه المباني العالية وحيث أن المعماريين هم المعنيين في المقام الأول بالعملية التصميمية للمباني العالية ككل فإنه من خلال دراسة الباحث لكل المفاهيم والتعريفات ووصولا إلى أحدث التعريفات طبقا لمنظمة مجلس المباني العالية والتجمعات الحضرية "CTBUH" [4] يمكن صياغة التعريف التالي للمباني العالية بصفة عامة كالآتي:

"المبنى العالي هو المبنى الذي يعتبر الارتفاع أهم سمة نسبية مميزة له تمنحه التفرد داخل النسيج العمراني للبيئة المبنية المحيطة به ويرتبط ارتفاع المبنى ارتباطا وثيقا بالتطور التكنولوجي لطرق ومواد الإنشاء وأنظمة النقل الرأسي و الخدمات التي يتم ابتكارها وتطويرها مع مرور الزمن."

2- تعريف المباني العالية من وجهة النظر الإنشائية:

المباني العالية هي المباني التي يتضمن تصميم وتحليل هيكلها الإنشائي دراسة الأحمال الأفقية والجانبية الواقعة عليها وتتمثل في أحمال الرياح والزلازل، وتتسبب أحمال الرياح والزلازل في حدوث حركة أفقية أو تمايل Sway or Drift أو حدوث اهتزازات غير مرغوب بها تؤثر على الشاغلين للمبنى وخاصة في الأدوار العلوية. تعرضت الأنظمة الإنشائية للمباني العالية لعمليات تطوير مستمر وحدوث تغيرات جذرية في طرق التصميم وخاصة بعد فترة الستينات حيث كان نظام الإطار المتماسك التقليدي Rigid frame system هو المتبع في تصميم المباني العالية قبل ذلك، وأدى تطور الفكر المعماري وارتباطه بصورة مباشرة بالمتطلبات الاقتصادية والتطور التكنولوجي الهائل في مواد وطرق الإنشاء وطرق التحليل الإنشائي باستخدام الحاسب الآلي إلى ظهور العديد من الأنظمة الإنشائية المبتكرة والتي سنتعرض لها في البحث.

3- تصنيف الأنظمة الإنشائية للمباني العالية من حيث مواد الإنشاء:

(3-1) الهياكل الإنشائية من الحديد الصلب Steel Structure:

معظم المباني العالية على مستوى العالم تحتوى على جزء من الهياكل الإنشائية من الحديد الصلب في نظامها الإنشائي (شكل رقم 1) وذلك للأسباب الآتية:

- لزيادة الأحمال الرأسية الناتجة عن استخدام الخرسانة المسلحة مع زيادة الارتفاع.
- سهولة عمليات تجميع العناصر الإنشائية في مرحلة التنفيذ.
- سهولة وقلة تكلفة النقل للموقع.

© Faculty of Engineering, Minoufiya University, Egypt

- التنوع في مستويات القوة والصلابة للعناصر الإنشائية.
- التنوع في اختيارات القطاعات الإنشائية.

(شكل رقم 1)البرج المكتبي 30 St Mary Axe بلندن 2004 م وهيكله الإنشائي بالكامل من قطاعات الحديد الصلب المصدر مرجع [1] .

(2-3) الهياكل الإنشائية من الخرسانة المسلحة Reinforced concrete Structure:

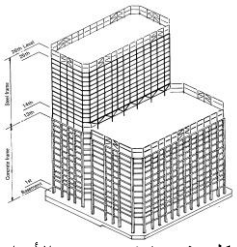
استخدمت الخرسانة كمادة إنشائية منذ زمن بعيد إلا أن الاستخدام الفعلي للخرسانة المسلحة ظهر عام 1876 م، وأدى ابتكار الخرسانة المسلحة إلى زيادة أهمية استعمالها في صناعة تشييد المباني بصورة رئيسية في جميع العناصر المكونة للهيكل الإنشائي للمبنى وذلك نظرا لتمتعها بالقدرة على التشكل والقدرة العالية على مقاومة الحرائق والأحمال الحرارية، وبالمقارنة بالهياكل الإنشائية من الحديد الصلب تتمتع الهياكل الإنشائية من الخرسانة المسلحة بخواص أكثر فاعلية في تقليل الإحساس بالاهتزازات Damping وتحقيق درجة عالية من الثبات في مواجهة أحمال الرياح، وساعد التطور الهائل في تكنولوجيا التشييد وطرق التصميم ووسائل ومعدات التنفيذ في سهولة التعامل بالخرسانة المسلحة في إنشاء المباني العالية وأكثر من ذلك في بعض الحالات يتم استخدام الخرسانة فائقة القوة والخرسانة ذاتية الدمك كما في أعمدة مبنى برجي بتروناس Petronas twin towers في كوالالامبور ماليزيا 1998 م ومبنى جين ماو Jin Mao في شنغهاي بالصين 1999 م، واستخدام الخرسانة الإنشائية خفيفة الوزن كما في مبنى One Shell Plaza بولاية تكساس الأمريكية 1971 م والذي سمح باستخدام عناصر إنشائية اقل حجما وتسليحا، وتقدم الخرسانة المسلحة قاعدة عريضة من العناصر الإنشائية الفعالة للمباني العالية.

(شكل رقم 2) يوضح استخدام هيكل من الخرسانة المسلحة R.C من أعمدة وكمرات وبلاطات أسقف في النظام الإنشائي للمبنى العالي المصدر مرجع [1]

(3-3) الهياكل الإنشائية المركبة Composite Steel Concrete Structure

يمكن اعتبار كل المباني العالية هياكل إنشائية مركبة من الخرسانة وقطاعات الحديد الإنشائية من حيث انه من غير الممكن إنشاء مبنى عالي ذو وظيفة ما باستخدام الخرسانة أو الحديد كل على حده ويظهر ذلك واضحا في أعلي 10 مباني علي مستوي العالم طبقا لمنظمة CTBUH (شكل رقم 7)، ويمكن اعتبار بلاطات الأسقف الخرسانية في المباني ذات الهيكل الإنشائي من الحديد فقط تجعله هيكل إنشائي مركب، وتوجد صور عديدة لاستخدام الهياكل المركبة منها استخدام الخرسانة كغلاف خارجي لعناصر الهياكل الإنشائية (شكل رقم 3) أو استخدام الهياكل الخرسانية المسلحة في عدد معين من أدوار المبنى ثم استكماله بهيكل حديدي أو عمل قلوب إنشائية من الخرسانة المسلحة واستخدام الأعمدة والكمرات من الحديد الصلب وأخيرا استخدام أنابيب الحديد المملوءة بالخرسانة Concrete Filled Steel Tubes.

(شكل رقم 3) يوضح استخدام قلب خرساني وباقي الهيكل من الحديد المصدر مرجع [2]



(شكل رقم 4) يوضح الأدوار الأولى من المبنى من الإطارات الخرسانية والعليا من الإطارات الحديدية المصدر مرجع [2]

(شكل رقم 5) استخدام التسليح المزدوج للأعمدة والحوائط للحصول على الهيكل المركب المصدر مرجع [2]

(شكل رقم 6) استخدام التسليح المزدوج للأعمدة والحوائط للحصول على الهيكل المركب المصدر مرجع [3]

10 Tallest Completed Buildings in the World by Height to Architectural Top

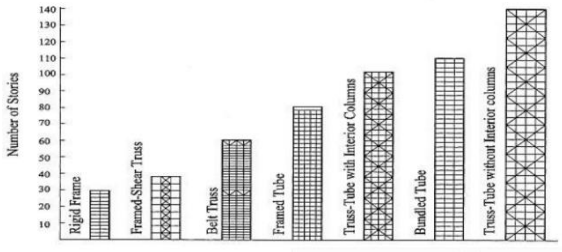
#	Building Name		Height (m)	Floors	year	Material	Use
1	Burj Khalifa	Dubai (AE)	828	163	2010	steel/concrete	office / residential / hotel
2	Shanghai Tower	nghai (CN)	632	128	2015	composite	hotel / office
3	Makkah Royal Clock Tower	Mecca (SA)	601	120	2012	steel/concrete	other / hotel
4	Ping An Finance Center	Shenzhen (CN)	599.1	115	2017	composite	office
5	Lotte World Tower	Seoul (KR)	554.5	123	2017	composite	hotel / office
6	One World Trade Center	New York City (US)	541.3	94	2014	composite	office
7	Guangzhou CTF Finance Centre	Guangzhou (CN)	530	111	2016	composite	hotel / residential / office
8	TAIPEI 101	Taipei (TW)	508	101	2004	composite	office
9	Shanghai World Financial Center	Shanghai (CN)	492	101	2008	composite	hotel / office
10	International Commerce Centre	Hong Kong (CN)	484	108	2010	composite	hotel / office

(شكل رقم 7) جدول يوضح أعلى 10 مباني في العالم كما تم تصنيفها من خلال منظمة CTBUH لعام 2017ونوعية المواد الإنشائية المستخدمة ووظيفة المبنى المصدر مرجع [4].

- تصنيف الأنظمة الإنشائية للمباني العالية طبقا للمهندسين الإنشائيين:

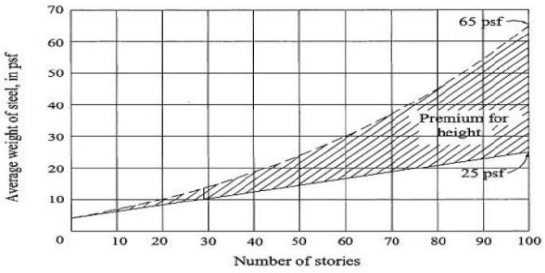
ظهر تصنيف الأنظمة الإنشائية للمباني العالية كقضية مهمة في أواخر عام 1960 م من خلال آراء وأفكار احد أهم رواد الهندسة الإنشائية المهندس Fazlur Khan حيث لاحظ أن نظام الإطار الصلب Rigid Frame ظل هو السائد لفترة طويلة كنظام إنشائي للمباني العالية وتم تطويره من خلال تطوير المواد الإنشائية وتحسين سلوك العناصر الإنشائية، كما أكد خان انه يمكن تحليل الهيكل الإنشائي في ثلاثة أبعاد من خلال استخدام المحاكاة ببرامج الحاسب

الآلي بدلا من تحليل الهيكل الإنشائي من خلال مجموعة من الأنظمة الإنشائية المستوية في الاتجاهات الأساسية، وقد قدم خان مخططه البياني للأنظمة الإنشائية طبقا للارتفاع كما يظهر في (شكل رقم 8،9) والذي يمثل تدرجا للأنظمة الإنشائية طبقا لفاعليتها في مقاومة الأحمال الجانبية، وكما يلاحظ من المخطط البياني اعتماد خان على تأثير استخدام المواد الإنشائية ولا يتضمن هذا التصنيف سيناريو حدوث أحمال زلازل على الهيكل الإنشائي كجزء من الأحمال الجانبية.



(شكل رقم 9) تغير نوع الهيكل الإنشائي نتيجة لتغير الارتفاع وزيادة عدد الأدوار باستخدام الهياكل الإنشائية من الحديد الصلب الإنشائيFazlur Kahn's Diagrams المصدر مرجع [5].

وضع المهندس خان المفتاح لفهم هذا التسلسل الهرمي من خلال مفهوم "Premium for height" والذي قام بتطويره عندما لاحظ أنه بزيادة ارتفاع المبنى تزداد العناصر الإنشائية المطلوبة لمقاومة الأحمال الجانبية الناتجة عن الرياح بطريقة مفاجئة ولذلك يزداد حجم الهيكل الإنشائي بنسبة كبيرة تتطلب زيادة المواد الإنشائية المستخدمة وتؤثر على المساحات الداخلية القابلة للانتفاع للمبنى بصفة عامة.

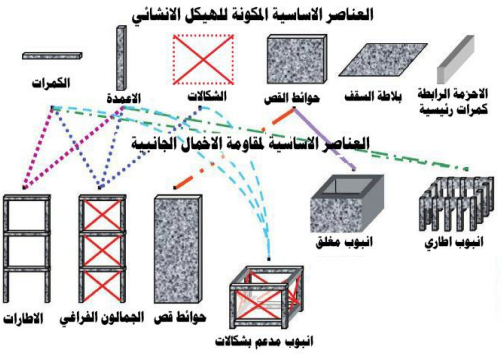


(شكل رقم 10) مفهوم Premium for Height للمهندس الإنشائي Fazlur Kahn المصدر مرجع [5].

5- مكونات الهيكل الإنشائي للمباني العالية

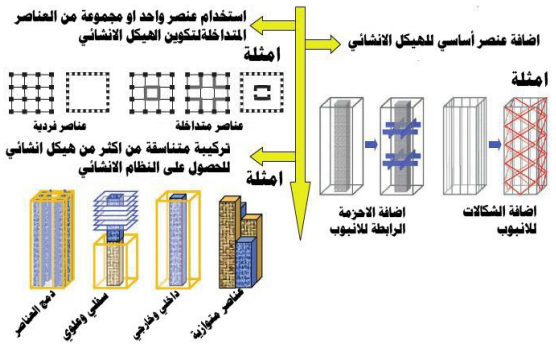
يتكون الهيكل الإنشائي للمباني العالية من مجموعة من العناصر الإنشائية والتي يقوم كل منها بمقاومة نوع من الأحمال الرأسية أو الأفقية الواقعة علي المبنى والتي يجب إيضاحها بصورة مبسطة لفهم التصنيف الثالث للأنظمة الإنشائية طبقا لسلوك مكونات الهيكل الإنشائي، والعناصر الرأسية الأساسية عبارة عن الأعمدة وحوائط القص والعناصر الأفقية الأساسية عبارة عن الكمرات والأحزمة الرابطة (كمرات رئيسية) وبلاطات الأسقف والعناصر الإنشائية المائلة الأساسية عبارة عن الشكالات، وقد تكون هذه العناصر السابقة من قطاعات الخرسانة المسلحة أو القطاعات المعدنية أو مركبة من كل منهما، وينتج من دمج أي عنصرين من العناصر السابقة نوع آخر من العناصر الإنشائية الثانوية والتي يتم تصميمها لمقاومة الأحمال الرأسية والأفقية معا كما ينتج من دمج مجموعة من العناصر الإنشائية الأساسية والثانوية معا بدائل متعددة للهياكل الإنشائية للمباني العالية كما يظهر في شكل 11و128.

(1-5) العناصر الأساسية للهيكل الإنشائي:



(شكل رقم 11) المصدر الباحث

(3-5) البدائل المختلفة لعمل الهيكل الإنشائي للمباني العالية:



(شكل رقم12) المصدر الباحث

6- تصنيف الأنظمة الإنشائية طبقا لسلوك مكونات الهيكل الإنشائي في مقاومة الأحمال:

تم دراسة وتحليل هذا التصنيف من خلال تطوير وتعديل أحد الأطروحات البحثية للباحث " M. Halis Gunel_, H. Emre Ilgin 2006 " والذي وضع تصنيف للأنظمة الإنشائية طبقا لسلوك مكونات الهيكل الإنشائي وقد قام بتصنيف الأنظمة الإنشائية للستة أنواع طبقا للمراجع [8-14] وقام الباحث بتعديل وإضافة الأربع أنواع الأخيرة طبقا للأسس التي تم عليها التصنيف السابق ودراسة تأثير كل منها علي التصميم المعماري للمساقط الأفقية والواجهات للمباني العالية لتصبح كما يلي:

تنقسم المباني العالية من حيث سلوك الهيكل الإنشائي إلى 10 أنواع هي:

1. نظام الإطار المتماسك Rigid frame system
2. نظام حوائط القص والإطار المسنود Braced frame and shear-walled frame system
3. نظام الروابط الإطارية Outrigger system
4. نظام الأنابيب الإطارية Framed-tube system
5. نظام الأنابيب المسنودة Braced-tube system
6. نظام حزمة الأنابيب Bundled-tube system
7. نظام الحوائط الفقرية Spinal wall system
8. نظام الهيكل المعلق Suspended Structure
9. نظام الإطار الفراغي ثلاثي الأبعاد 3D Space Frame
10. النظام الإنشائي الهجين Hybrid Structures

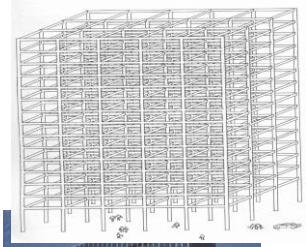
(1-6) نظام الإطار المتماسك Rigid Frame System:

يستخدم هذا النظام في الهياكل الإنشائية من الحديد الصلب و الهياكل الإنشائية من الخرسانة المسلحة ويستطيع هذا النظام مقاومة الأحمال الجانبية والرأسية للمباني العالية بكفاءة، والإطار المتماسك هو الإطار المقاوم لعزوم الانحناء ويعتمد على تماسك وصلابة الوصلات Joints بين الكمرات والأعمدة بطريقة تسمح بثبات الزوايا بين مكونات الإطار دون تغيير، وهذا النظام الإنشائي مناسب للهياكل الإنشائية من الخرسانة المسلحة وأيضا يمكن استعماله في

الهياكل الإنشائية من الحديد الصلب ولكن بعد تعديل الوصلات بين الكمرات والأعمدة بزيادة صلابتها (شكل رقم 13)، وبالنسبة للإطار المتماسك فان قوة وصلابة الوصلات تتناسب طرديا مع أبعاد الكمرات والأعمدة وتتناسب عكسيا مع المسافات بين الأعمدة، وتوضع الأعمدة بشكل لا يعيق التصميم بما يتوافق مع التصميم المعماري للمبنى وعلى مسافات كافية لتقليل عمق الطوابق المتكررة للحصول على كفاءة عالية لنظام الإطار ويجب أن يتم توزيع الأعمدة على الواجهات الخارجية على أقل مسافة ممكنة مع زيادة عمق الكمرات وخاصة في المباني التي تقع في منطقة ذات نشاط زلزالي، وينبغي أن يتم العناية بتفاصيل الوصلات في المباني العالية حتى 30 طابقا وتعمل الإطارات بشكل ممتاز في مقاومة الأحمال الجانبية ما عدا المباني العالية النحيفة، وفى المباني التي يتجاوز ارتفاعها 30 طابقا فان صلابة الإطار تقل بشكل ملحوظ في مواجهة التمايل الناتج عن القوى الأفقية والجانبية الناتجة عن الرياح والزلازل.

(6-1-1) تأثير استخدام نظام الإطار المتماسك علي التصميم المعماري للمباني العالية:

1- يعتبر هذا النظام الإنشائي مناسبا للمباني العالية في حدود 30 طابقا فقط ويمثل عائقا أمام المصمم المعماري في تحقيق ارتفاعات اكثر.
2- لا يوفر هذا النظام مرونة في توزيع الأعمدة في الفراغات الداخلية وبالتالي تكون محددا رئيسيا في التقسيمات الداخلية.
3- لا يوفر مرونة في تصميم الغلاف الخارجي للمبنى.
4- يؤدى زيادة البحور الداخلية بين الأعمدة لتوفير فراغات واسعة إلى زيادة ارتفاع الطوابق نتيجة لزيادة عمق الكمرات وبالتالي تقل كفاءة النظام من الناحية الاقتصادية.
5- يعتبر هذا النظام مناسبا للمباني العالية الإدارية ذات النشاط الواحد.
6- يظهر تأثير الإطارات في الواجهات الخارجية للمبني (شكل رقم 14) مبنى ليفر هاوس Lever House بولاية نيويورك الأمريكية 1952 م وفى معظم الأحيان يكون هو الأسلوب المتبع في تصميم الواجهات للتعبير عن الوظيفة الإنشائية للعناصر المكونة للإطارات فيتم توظيف المساحات العميقة الناتجة عن الأعمدة والكمرات كفتحات مباشرة أو تغطيتها بغلاف شفاف من الحائط الزجاجية.

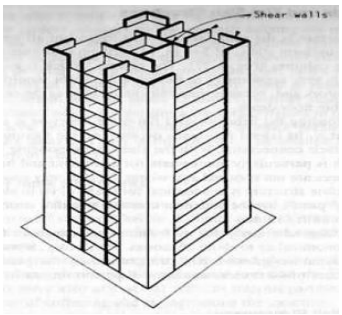


(شكل رقم 13) يوضح ايزومتري للهيكل الإنشائي للعناصر الإنشائية المكونة للإطار المتماسك المصدر المرجع رقم [6].

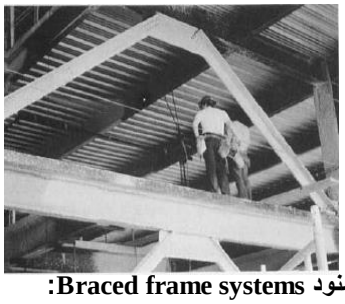
(شكل رقم 14) يوضح مبنى ليفر هاوس Lever House بولاية نيويورك الأمريكية 1952 م بهيكل إنشائي ذو إطارات متماسكة المصدر المرجع رقم [6].

(6-2) نظام حوائط القص والإطار المسنود Braced Frame and Shear-walled Frame Systems:

يعتبر نظام الإطار المتماسك غير كافي وفعال في الارتفاعات التي تتجاوز 30 طابقا نظرا للانحراف الجانبي الناتج عن التواء الأعمدة Bending ويتسبب في زيادة الإزاحة Drift مع زيادة عدد الطوابق، ومن الناحية الأخرى فإن استخدام نظام الشكالات الحديدية Steel Bracing كما يظهر في (شكل رقم 16) أو نظام حوائط القص Shear Walls كما يظهر في (شكل 15) يزيد من الصلابة الكلية للهيكل الإنشائي للمبنى ويمكن استخدام النظامين السابقين في تدعيم الهيكل الإنشائي ذو الإطارات الصلبة فينتج عن ذلك نظام الإطار المسنود Braced Frames ونظام حوائط القص الإطارية Shear-walled Frame، ويمكن اعتبار هذه الأنظمة هي تطوير لنظام الإطار المتماسك Rigid Frame لتجعله أكثر صلابة وثباتا، وقد أدى هذا التطوير إلى الوصول لارتفاعات 50 طابقا ووصلت ارتفاعات بعض المباني إلى 100 طابق وتم توظيف الشكالات الحديدية في الهياكل الإنشائية المصنوعة كليا من الحديد Steel structures أما حوائط القص الخرسانية فيتم توظيفها في الهياكل الإنشائية من الحديد Steel أو الخرسانة المسلحة R.C أو الأنظمة المركبة منهما Composite System.



(شكل رقم 15) يوضح استخدام حوائط القص الخارجية والمركزية المصدر مرجع رقم [6].

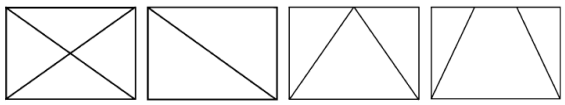


(شكل رقم 16) يوضح الشكالات المستخدمة في تدعيم الإطارات المصدر مرجع [2].

(6-2-1) نظام الإطار المسنود Braced frame systems:

يستخدم هذا النظام في الهياكل الحديدية ويعتبر هذا النظام ذو كفاءة عالية من النواحي الإنشائية والنواحي الاقتصادية في مقاومة الأحمال الجانبية الناتجة عن الرياح والزلازل وكفاءة عالية في تدعيم نظام الإطار المتماسك من خلال التخلص من التواء الأعمدة والكمرات Bending بإضافة الشكالات بحيث يكون سلوكها الإنشائي كالجمالون الرأسي يحتوى على عناصر إنشائية تنقل قوى الجاذبية إلى الأساسات وهى الأعمدة والكمرات وشكالات قطرية تجعل الهيكل الإنشائي كاملا عبارة عن كابولي رأسي ضخم من أساسات المبنى لمقاومة القوى الأفقية كوحدة واحدة . ويمكن تقسيم أشكال الشكالات المعدنية القطرية Diagonal Bracing Members إلى أربعة مجموعات بناءا على الصفات المعمارية والإنشائية وهم كما في الشكل التالي:

1- شكل X وهو الأكثر كفاءة ولا يعطى إمكانية عمل فتحات معمارية واسعة شكل (17-4).
2- شكل قطري Diagonal وهو أيضا لا يعطى إمكانية عمل فتحات معمارية واسعة شكل (17-3).
3- شكل K ويعطى إمكانية في عمل فتحات واسعة شكل (17-2).
4- شكل الركبة knee وهو الأفضل من الناحية المعمارية لعمل فتحات واسعة لخدمة النواحي المعمارية شكل (17-1).



(4) (3) (2) (1)

شكل رقم 17 يوضح الأشكال الإنشائية للشكالات المستخدمة المصدر مرجع رقم [7].

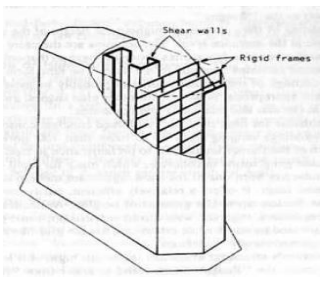
وتعتبر أفضل الأماكن لتوظيف الشكالات هي الحوائط المحيطة بالمصاعد الراسية والسلالم وفراغات الخدمة الراسية حيث لا تؤثر على المتطلبات المعمارية كالفتحات. وتم استخدام الشكالات الحديدية في بعض المباني العالية المشهورة كمبنى كريسلر في نيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية 1930 م (شكل رقم 18) ويرتفع المبنى 77 طابقا وأيضا مبنى الامباير ستيت 1931 م (شكل رقم 19) ويرتفع المبنى 102 طابقا.

(شكل رقم 18) يوضح مبنى كريسلر في نيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية بنظام الإطار المتماسك مرجع رقم [7].

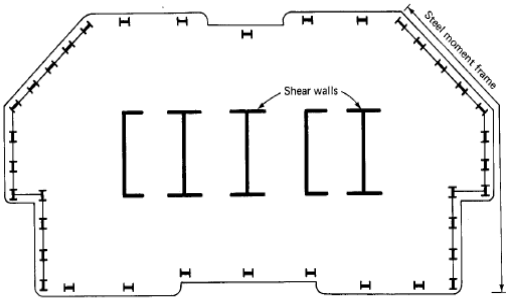
(شكل رقم 19) يوضح مبنى الامباير ستيت في نيويورك بالولايات المتحدة الأمريكية مرجع رقم [7].

(6-2-2) نظام حوائط القص الإطارية Shear-walled Frame System:

يستخدم هذا النظام في الهياكل الإنشائية من الخرسانة المسلحة والهياكل المركبة وتعتبر حوائط القص كابولي رأسي ضخم يستخدم لمقاومة الأحمال الجانبية الناتجة عن الرياح أو الزلازل الواقعة على المبنى العالي والتي تنقل إلى الحوائط عن طريق الغشاء الصلب للأدوار المتكررة Diaphragms أو بمعنى اخر بلاطات الأسقف المتكررة وتكون أفضل الأماكن لوضع حوائط القص هي حوائط المصاعد وقلوب الخدمة الراسية Services Cores والسلالم وأيضا الإطارات Frames لجعلها أكثر صلابة وقوة (شكل رقم 20،21). وتأخذ هذه العناصر أشكال متنوعة كالكابولي الدائري أو البيضاوي أو الصندوقي أو المستطيل أو المستقيم ويطلق عليها أحيانا الأعمدة الضخمة Mega Columns، ويعتبر مبنى برج ميتروبوليتان Metropolitan Tower في مدينة نيويورك الأمريكية 1987 م شكل رقم 23 أحد الأمثلة التي تم استخدام هذا النظام بها ومن أشهر المباني العالية التي استخدم فيها هذا النظام هو مبنى برجي بتروناس PETRONAS Twin Towers شكل رقم 22 ويرتفع 88 طابقا ومبنى تايباى 101 Taipei في تايوان ويرتفع 101 طابقا.



(شكل رقم 20) يوضح ايزومتري توضيحي لحوائط القص الإطارية داخل المبنى المصدر مرجع رقم [6]



(شكل رقم 21) يوضح مسقط أفقي توضيحي لأماكن حوائط القص الداخلية المصدر مرجع رقم [2]

(شكل رقم 23) مبنى ميتروبوليتان في مدينة نيويورك الأمريكية المصدر مرجع [7].

(شكل رقم 22) مبنى برجي بتروناس في كوالالامبور في ماليزيا المصدر مرجع [7].

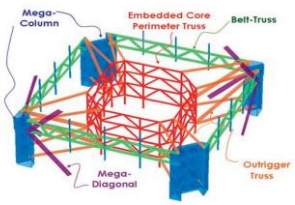
(6-2-3) تأثير استخدام نظام حوائط القص والإطار المسنود علي التصميم المعماري للمباني العالية:

1- يعتبر هذا النظام الإنشائي هو تطوير مباشر لنظام الإطارات لتوفير إمكانية لزيادة الارتفاع حتى امكن تصميم مباني عالية تصل إلى مائة طابق.
2- استخدام حوائط القص الداخلية لتدعيم الإطارات أدي إلي تقليل المرونة في تصميم فراغات داخلية واسعة كنتيجة مباشرة لوجود الحوائط بين الأعمدة أو منفصلة، وأيضا الشكالات أدت إلى نفس المشكلة علي الرغم من أنها عناصر خفيفة من الناحية الإنشائية.
3- تم استخدام الشكالات الحديدية بصورة اكثر مرونة في الهياكل الإنشائية من الحديد للمباني العالية في الأماكن الداخلية حول أماكن الخدمة والمصاعد بما لا يؤثر بصورة كبيرة علي مرونة الفراغات الداخلية وخاصة أن البحور الإنشائية للهياكل الحديدية تكون اكبر من مثيلاتها من الخرسانة المسلحة.
4- تم توظيف الشكالات الخرسانية والمعدنية في التشكيل المعماري لواجهات الكثير من المباني العالية كعنصر معماري بالإضافة إلى وظيفته الإنشائية.
5- ظهرت أنواع من الشكالات المستخدمة في الواجهات كان افضلها شكل الركبة والذى يعطي مرونة عالية في عمل فتحات معمارية بمساحات واسعة.
6- يعتبر نظام حوائط القص من افضل الأنظمة في التصميم المعماري للمباني العالية حيث يسمح هذا النظام بنقل كافة العناصر الإنشائية إلى القلب الداخلي للخدمات والغلاف الخارجي للمبنى مما يساعد علي تحقيق اعلي كفاءة في استخدام الفراغ الداخلي حيث يوفر مساحات داخلية تسمح بالتنوع في الأنشطة.
7- يسمح نظام حوائط القص بمرونة عالية في توزيع العناصر الإنشائية على محيط المبنى مما يعطي المصمم المعماري الحرية الكاملة في تصميم الغلاف الخارجي للمبنى.

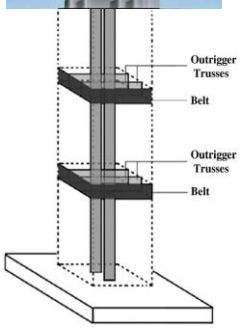
8- يحقق نظام حوائط القص كفاءة اقتصادية عالية من خلال المرونة في التحكم في ارتفاع الطوابق المتكررة.

(3-6) نظام الروابط الإطارية Outrigger systems:

يعتبر هذا النظام هو شكل معدل ومطور لنظام الإطار المسنود Braced Frames ونظام حوائط القص الإطارية Shear-Walled Frames ويتم توظيفه في الهياكل الإنشائية الحديدية والمركبة، ويحتوى هذا النظام المعدل على قلب مركزي يتكون من إطارات مسنودة أو حوائط قص مع وجود روابط أفقية أو رئيسية Outriggers شكل رقم 24 تستخدم لربط القلب بالأعمدة الموجودة على محيط المبني، وفى معظم الحالات فإن الأعمدة الخارجية على المحيط يتم ربطها بكمرة رئيسية تعمل كحزام متصل وعند تعرض المبنى لأحمال أفقية يتم منع التواء القلب الداخلي عن طريق الروابط الداخلية Outriggers بالأعمدة الضخمة الخارجية المقيدة بإحكام، وينبغي أن لا يقل عمق الروابط الداخلية والأحزمة الخارجية عن طابق أو طابقين لتحقيق الصلابة المطلوبة ولذلك يتم اختيار مواقعها في أماكن الخدمات الميكانيكية للمبنى حتى لا تصبح عائقا للاستعمالات الرئيسية (شكل رقم 25)، وكلما زاد عدد الأدوار التي تحتوى على الروابط ازدادت معها صلابة وقوة المبنى في مقاومة الأحمال الجانبية ويمكن استخدام هذا النظام الإنشائي في المباني العالية التي تتعدى 100 طابق، وتم استخدام هذا النظام في مبنى ويسكنسن 1974م في مدينة ميلووكى بولاية ويسكنسن الأمريكية (شكل رقم 26) ويبلغ 42 طابقا من الهياكل الحديدية، ومبنى جين ماو Jin Mao في شنغهاي في الصين 1999 م ويرتفع 88 طابقا من الهياكل المركبة وأيضا مبنى تايبى 101 2004 م بتايوان (شكل رقم 27) ويرتفع 101 طابقا من الهياكل المركبة.



(شكل رقم 24) يوضح ايزومتري موضح عليه أماكن استخدام الجمالونات الرابطة Outrigger والأحزمة الجمالونية على المحيط الخارجي للمبنى العالي المصدر مرجع [2].



(شكل رقم 25) الجمالونات الرابطة Outrigger Trusses في مبنى شنغهاي المالي في الصين المصدر مرجع [15]

(شكل رقم 26) مبنى ويسكنسن الأول 1974 م في ميلووكى بولاية ويسكنسن الأمريكية المصدر مرجع [2]

(شكل رقم 27) مبنى تايبى 101 2004 م بتايوان المصدر مرجع [2] .

المعماري للمباني العالية:

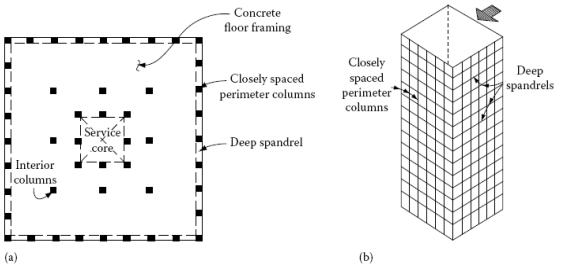
1- يعتبر هذه النظام من افضل الأنظمة المستخدمة في المباني العالية فائقة الارتفاع والتي تزيد على 100 طابق.
2- يوفر هذا النظام فراغات داخلية بدون أعمدة أو عناصر إنشائية رأسية عدا الموجودة في قلب الخدمات مما يوفر مرونة وكفاءة عالية في عملية التصميم المعماري للفراغات وأيضا المرونة في الاستفادة من جميع الأنشطة.
3- تمثل العناصر الأفقية المستخدمة في ربط القلب الإنشائي الداخلي مع العناصر الإنشائية على محيط المبنى عائقا أمام التوزيع الداخلي للفراغات في الطوابق الموجودة.
4- يمكن توظيف بعض العناصر الإنشائية المستخدمة على محيط المبنى في التشكيل الخارجي للواجهات كالشكالات وخاصة أنها قد تستخدم في طابق أو اكثر.

(4-6) نظام الأنابيب الإنشائية Tube Systems:

يناسب هذا النظام الإنشائي الهياكل الإنشائية من الحديد الصلب والخرسانة المسلحة والمركبة ويشكل تطورا مذهلا لنظام الإطارات، وبما أن نظامي الإطار المسنود وحوائط القص الإطارية غير كافيين لمقاومة أحمال المباني فائقة الارتفاع والتي تتعدى 100 طابق لذلك فإن نظام الأنبوب الإطاري Framed-Tube هو المناسب، ومن خصائص هذا النظام احتوائه على أعمدة محيطية تتصل مع بعضها بكمرات عميقة معقودة Spandrels لكي يعمل المبنى بالكامل ككابولي رأسي ضخم لمقاومة عزوم الانحناء الناتجة عن القوى الأفقية. وهذا النظام كافي لمقاومة الأحمال الجانبية مع وجود الأعمدة الداخلية أو عدم وجودها، وتعتمد كفاءة هذا النظام على العدد الكبير من الوصلات الصلبة الموجودة على محيط المبنى والتي تؤدى في النهاية لتحويل الأعمدة المحيطية لأنبوب ضخم، ويحمل هذا الأنبوب الخارجي كل الأحمال الجانبية الناتجة عن أحمال الرياح والزلازل ويتم توزيع الأحمال الرأسية ما بين الأنبوب الخارجي والأعمدة أوالحوائط الداخلية (شكل رقم 28).

يعتبر النظام الإنشائي الأنبوبي هو الأكثر شيوعا في الاستخدام، وفى الوقت الحالي يوجد نوعان شائعان في الاستخدام للنظام الأنبوبي باستخدام الهياكل الإنشائية المركبة أحدهما يتم فيه توظيف الأعمدة المركبة على المحيط الخارجي مع استخدام الكمرات المعقودة من الخرسانة المسلحة Spandrel، بينما الآخر يتم فيه توظيف الكمرات المعدنية المعقودة Steel Spandrels بدلا من الخرسانة المسلحة لتقليل الحمل الذاتي للهيكل الإنشائي ،وكنتيجة لصعوبة اتصال الفراغات الداخلية للمبنى في الدور الأرضي بالخارج نتيجة لضيق المداخل لتقارب المسافات بين الأعمدة المحيطية فيمكن التغلب على تلك المشكلة عن طريق إعادة توزيع

أعمدة قاعدة المبنى على بحور أوسع كما في مبنى برجي مركز التجارة العالمي 1974 م في ولاية نيويورك الأمريكية والذي تم تدميره عام 2001 م. وتوجد عدة عناصر تؤثر بصورة مباشرة على فعالية نظام الأنابيب الإطارية وهى نسبة الارتفاع إلى أبعاد المسقط الأفقي والمسافات بين الأعمدة وحجم الأعمدة والكمرات المعقودة Spandrel. وعلى الرغم من أن تطوير نظام الأنابيب الإطارية كان في الأساس للمباني ذات المسقط الأفقي المستطيل أو المربع إلا أنه من الممكن تطبيقه أيضا على المساقط الأفقية المنشورية والدائرية والبيضاوية وهى غالبا الأشكال المنتظمة.



(شكل رقم 28) يوضح رسم توضيحي لمسقط أفقي و ايزومتري لنظام الأنبوب الإطاري واستخدام أعمدة داخلية المصدر مرجع [16].

(6-4-1) تأثير استخدام نظام الأنابيب الإنشائية علي التصميم المعماري للمباني العالية:

1- يمكن الاستغناء عن الأعمدة ذات القطاع الكبير داخل المبني وعن الشكالات والروابط الداخلية وذلك للاعتماد علي أعمدة المحيط الخارجي لتوفير مساحات داخلية ومرونة عالية في التصميم الداخلي.
2- يتأثر تشكيل الواجهات نتيجة لضيق المسافات بين الأعمدة الخارجية.
3- يوفر هذا النظام الإنشائي بحورا داخلية واسعة نسبيا عن الأنظمة السابقة مما يعظم الاستفادة من الفراغات الداخلية للعديد من الأنشطة.

(6-5) نظام الأنبوب المسنود Braced-Tube system:

يمكن تطبيق هذا النظام الإنشائي في الهياكل الإنشائية من الحديد أو الخرسانة المسلحة أو المركبة عن طريق إضافة تدعيم واجهات الأنبوب بشكالات لزيادة صلابة وكفاءة الأنبوب على كامل ارتفاع الواجهات وبذلك نحصل علي نظام الأنبوب المسنود Braced-Tube System ويعرف أيضا بنظام الأنبوب الجمالونى Trussed Tube أو نظام الأنبوب ذو الشكالات الخارجية Exterior diagonal-tube system ويسمح هذا النظام بارتفاعات غير محدودة وبحور واسعة بين الأعمدة كما يتيح هذا النظام أقل عدد مكن من الشكالات القطرية على كل أوجه الأنبوب وتتقاطع جميعها في نفس النقاط عند أعمدة النواصي.

تستخدم الشكالات أو الجمالونات المعدنية في الهياكل المعدنية وفى الهياكل من الخرسانة المسلحة يتم ملئ فتحات الواجهة بحوائط قص من الخرسانة المسلحة بطريقة قطرية لتحقيق نفس تأثير الشكالات القطرية ويعتبر مبنى 780Third Avenue ذو الخمسين طابق 1985 م شكل رقم 29 بولاية نيويورك الأمريكية أول مبنى من الخرسانة المسلحة يستخدم به هذا النظام الإنشائي وأيضا مبنى اونترى سنترOnterie Center 1986 م شكل رقم 30 في ولاية شيكاجو الأمريكية ويرتفع 58 طابقا من الخرسانة المسلحة بهذا النظام الإنشائي.

ويضمن استخدام الشكالات Bracing Members مع الأعمدة الخارجية على المحيط إمكانية نقل الأحمال الرأسية والأفقية معا، ويصبح المكون النهائي عبارة عن أنبوب كابولي ضخم ويتميز بالصلابة العالية جدا ويكون سلوكه في مقاومة الأحمال الجانبية اقرب ما يكون لأنبوب حقيقي، وعلى ذلك فإن هذا النظام الإنشائي هو الأنسب والأكثر كفاءة في للمباني العالية والفائقة الارتفاع والمباني النحيفة ذات المسقط الأفقي الضيق.

ومن أمثلة المباني التي تم تطبيق نظام الأنبوب المسنود بها باستخدام الهياكل الحديدية بطريقة مباشرة مبنى مركز جون هانكوك 1969 م (شكل رقم 32) ويرتفع 100 طابق وصممه المهندس الإنشائي فازلر خان Fazlur Khan والذي كان له الفضل في تطوير نظام الأنبوب الجمالونى Trussed Tube، ومبنى بنك الصين في هونج كونج بالصين الشعبية 1990 م شكل رقم 31 ويرتفع المبنى 72 طابق.

شكل رقم 29 مبنى 780 Third Avenue 1985 م بولاية نيويورك الأمريكية وتظهر في واجهاته استخدام الشكالات من الخرسانة المسلحة لدعم المبنى لمقاومة القوى الأفقية ضمن نظام الأنبوب الإنشائي المصدر مرجع [7].

شكل رقم 30 مبنى مركز اونتيرى في ولاية شيكاجو الأمريكية 1986 م ويرتفع 58 طابقا وتظهر في واجهاته استخدام الشكالات من الخرسانة المسلحة لدعم المبنى لمقاومة القوى الأفقية ضمن نظام الأنبوب الإنشائي المصدر مرجع [16] .

شكل رقم 31 مبنى بنك الصين في هونج كونج واستخدمت فيه الشكالات الحديدية في الواجهات الخارجية لدعم النظام الهيكل الأنبوبي من الحديد الصلب المصدر مرجع [17].

شكل رقم 32 يوضح مبنى جون هانكوك في ولاية شيكاجو الأمريكية 1978 م واستخدمت فيه الشكالات الحديدية في الواجهات الخارجية لدعم النظام الهيكل الأنبوبي من الحديد الصلب المصدر مرجع [18].

(6-5-1) تأثير استخدام نظام الأنبوب المسنود علي التصميم المعماري للمباني العالية:

يوفر هذا النظام بحورا داخلية واسعة وغير محدودة كما يوفر مساحات بدون عوائق من العناصر الإنشائية الأفقية.

يظهر تأثير استخدام الشكالات وحوائط القص في واجهات المبنى بالكامل لذلك يكون الحل الأمثل في تطوير الواجهات هو توظيفها بشكل مباشر في التشكيل الخارجي.

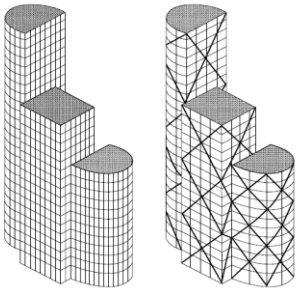
يوفر هذا النظام مرونة عالية في التصميم الداخلي والواجهات في حالة استخدام الهياكل المعدنية في المبنى بالكامل كنتيجة لقلة العناصر الإنشائية الرأسية المستخدمة حيث يمكن استخدام أعمدة ضخمة عند أركان المبنى مع القلب الداخلي فقط.

(6-6) نظام حزمة الأنابيب Bundled-tube systems:

يمكن تطبيق هذا النظام الإنشائي في الهياكل المعدنية أو الخرسانة المسلحة أو المركبة، ويعتبر نظام الأنبوب الإطاري بمفرده غير كافي من الناحية الإنشائية لمقاومة الأحمال الأفقية في حالة زيادة أبعاد المسقط الأفقي للمبنى وزيادة ارتفاعه، ويعنى ذلك كلما زادت مساحة المسقط الأفقي للمبنى قلت كفاءة الأنبوب الإنشائية وفى هذه

الحالة فإن استخدام حزمة من الأنابيب مع توسيع المسافات بين الأعمدة الخارجية يزيد من صلابة وثبات المبنى في مقاومة الأحمال الأفقية.

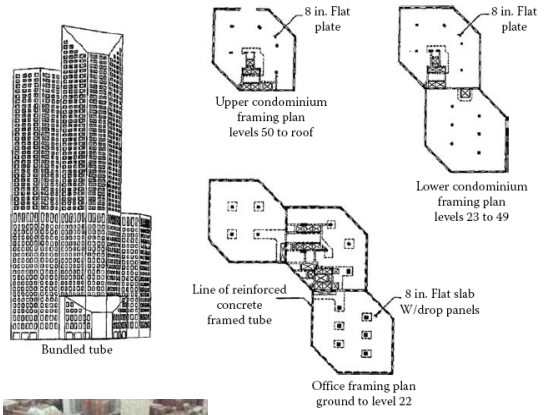
وحيث أن هذا النظام ينشأ من ربط مجموعة من الأنابيب مع بعضها (شكل رقم 33) فيمكن تشكيل المساقط الأفقية بطرق متعددة من خلال إنهاء أي أنبوب من حزمة الأنابيب المكونة للمبنى عند مستوى معين من الارتفاع لخدمة الأغراض المعمارية دون التأثير على صلابة الهيكل الإنشائي للمبنى ككل، ويتميز هذا النظام بإمكانية التنوع في استخدام أشكال إنشائية غير متماثلة حيث أن حزمة الأنابيب المكونة للهيكل الإنشائي مستمدة من الشكل الفردي للأنبوب والتي تشبه الخلايا ويمكن أن يكون شكل الخلية شكلا منتظما كالمربع أو المستطيل أو المثلث أو المسدس أو شبه الدائري أو العضوي وغيرها من الأشكال التي تخدم الأفكار المعمارية، ومن عيوب هذا النظام هو تقسيم مساحات الأدوار لخلايا ضيقة نسبيا تفصلها أعمدة كثيرة على حواف حزم الأنابيب المكونة للهيكل الإنشائي، ويمكن أيضا استخدام نظام الشكالات القطرية الخارجية لتدعيم حزمة الأنابيب، ومن أهم المباني التي تم تطبيق نظام حزمة الأنابيب بها هو مبنى ون ماجنيفسانت مايل 1983 م (شكل رقم 34) One Magnificent Mile ويرتفع 57 طابق وهيكله الإنشائي من الخرسانة المسلحة، وأفضل المباني التي تم تطبيق هذا النظام الإنشائي بها هو مبنى برج ويلز (سيرز سابقا) بولاية شيكاجو الأمريكية 1974 م (شكل رقم 35و36و37) ويرتفع المبنى 108 طابقا.



(شكل رقم 33) يوضح طريقة ارتباط حزمة الأنابيب Bundled Tubes لتكوين كتلة المبنى وإمكانية تدعيمها من الخارج بشكالات قطرية Diagonal Bracing. المصدر مرجع [16]

(6-6-1) تأثير استخدام نظام حزمة الأنابيب على التصميم المعماري للمباني العالية:

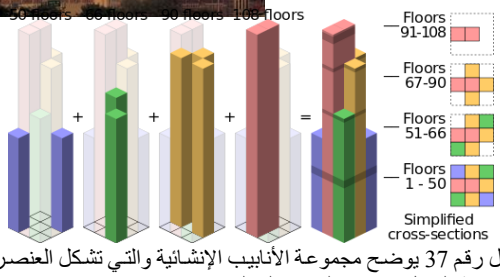
1- يوفر هذا النظام الإنشائي القدرة على الوصول لارتفاعات غير مسبوقة بفضل حزمة الأنابيب التي تعمل معا على مقاومة الأحمال الجانبية بجانب توزيع منتظم للأحمال الرأسية علي كل أنبوب.
2- يحقق هذا النظام كفاءة عالية في توفير مساحات داخلية متنوعة في جميع طوابق المبنى بما يوفر تنوع كبير للاستعمالات المختلفة ويعتبر اكثر الأنظمة توفيرا للمساحات الداخلية بما يحقق كفاءة اقتصادية عالية.
3- يمنح هذا النظام المعماريين القدرة على استخدام ارتدادات الأنابيب في تشكيل كتلة المبنى بأشكال وأحجام متعددة لخدمة الفكرة المعمارية.
4- يعطى هذا النظام الحرية والمرونة للمصمم المعماري في زيادة وتقليل المساحات المطلوبة عن طريق خفض أو رفع أي أنبوب من حزمة الأنابيب المكونة للمبنى.
5- توفر البحور الواسعة بين الأعمدة الخارجية لحزمة الأنابيب المكونة للمبنى الإمكانية لعمل فتحات واسعة عند المقارنة مع نظام الأنبوب الفردي.



(شكل رقم 34) يوضح مبنى ون ماجنيفسانت مايل 1983 م One Magnificent Mile ويرتفع 57 طابق وهيكله الإنشائي من الخرسانة المسلحة باستخدام نظام حزمة الأنابيب Bundled tubes ويظهر في المسقط الأفقي طريقة توزيع المساحات والطرح كلما زاد الارتفاع . المصدر مرجع [1]، [16]

(شكل رقم 35) يوضح المساقط الأفقية لمبنى برج ويلز (سيرز سابقا) بولاية شيكاجو الأمريكية 1974 م ويرتفع المبنى 108 طابقا من الهياكل الحديد الصلب Steel وصممه المهندس الإنشائي Fazlu khan ويظهر به الموديول المستخدم للخلية المكونة للهيكل الأنبوبي حيث يبدأ المسقط الأفقي في الأدوار السفلية بـ9 خلايا ثم تبدأ عمليات الطرح مع زيادة الارتفاع لتكون في النهاية حزمة أنابيب Bundled tubes . المصدر مرجع[1]، [19]

(شكل رقم 36) يوضح مبنى ويلز (سيرز سابقا) والذي يتميز بكتلة معمارية مميزة تم ابتكار و توظيف الهيكل الإنشائي بها لخدمة الأغراض المعمارية المصدر مرجع [26] .



شكل رقم 37 يوضح مجموعة الأنابيب الإنشائية والتي تشكل العنصر الأساسية لهيكل الإنشائي لبرج ويلز المصدر مرجع [14].

(7-6) نظام الحوائط الفقرية SPINAL WALL or BUTTRESSED SYSTEM:

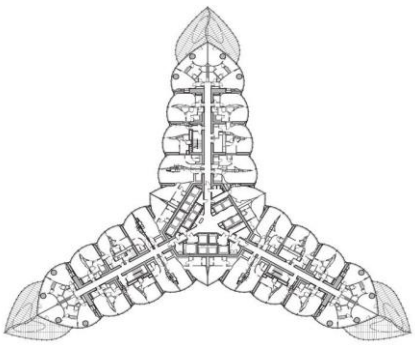
يستخدم هذا النظام في المباني العالية السكنية حيث توضع حوائط القص على طول جوانب الممرات الداخلية وهذه الحوائط بمثابة العمود الفقري للنظام الإنشائي وتكون موازية للممرات الداخلية لتقاوم القوى الجانبية الموازية للممرات، ولمقاومة القوى الأفقية العمودية على هذه الحوائط يتم وضع حوائط بطريقة عمودية على الحوائط الفقرية ويحدث التداخل والتماسك بينهم من خلال بلاطات الأسقف أو نظام كمرات رابطة، ولتقليل قوى الالتواء يتم إضافة حوائط إضافية حول قلب المبنى وهى أماكن المصاعد والسلالم.

وأحد أهم الأمثلة على هذا النظام الإنشائي مبنى برج دبي (شكل رقم 38و39) ويعتبر هو أطول مبنى في العالم في الوقت الحالي في إمارة دبي بالإمارات العربية المتحدة ويأخذ المسقط الأفقي شكل حرف (Y) ويحتوى كل جناح من الثلاثة أجنحة المكونة للمبني على قلب إنشائي خاص به وأعمدة خارجية على المحيط وقام بتصميم المبنى معماريا وإنشائيا مكتب Office of Chicago Skidmore Owings and Merrill في الولايات المتحدة الأمريكية.

(1-7-6) تأثير استخدام نظام الحوائط الفقرية الانشائي علي التصميم المعماري للمباني العالية:

1- يعتمد هذا النظام علي حوائط القص من الخرسانة المسلحة في نقل الأحمال الرأسية ومقاومة الأحمال الأفقية وبالتالي تشكل هذه الحوائط عائقا داخليا أمام التنوع في الفراغات الداخلية حيث تمتد الحوائط بصورة مستمرة في المسقط الأفقي.
2- يناسب هذا النظام الإنشائي المباني السكنية العالية والفنادق حيث البحور الداخلية ضيقة وتفصلها الحوائط الخرسانية في جميع الاتجاهات.
3- يوفر هذا النظام الحرية الكاملة في تصميم الواجهات حيث لا توجد عناصر إنشائية أساسية علي المحيط الخارجي للمبني وبالتالي يمكن للمصمم المعماري وضع أفكار وتصورات لانهائية للغلاف الخارجي وتوفير الإضاءة الطبيعية.
4- علي الرغم من استخدام هذا النظام بصورة ناجحة من الناحية الإنشائية في مبنى برج دبي والذي يعتبر أعلي مبني في العالم حتي الوقت الحالي إلا أنه أثر سلبيا علي الاستعمالات الداخلية للمبنى نتيجة لوجود الحوائط الداخلية وبالتالي لم يحقق المبنى كفاءة اقتصادية في تنوع الاستعمالات واقتصر فقط علي الاستعمال السكني والفندقي.

(شكل رقم 38) يوضح واجهات مبنى برج خليفة بعد افتتاحه المصدر مرجع [23]



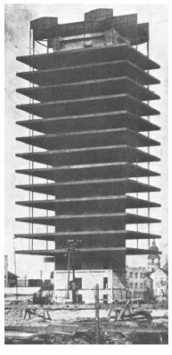
(شكل رقم 39) يوضح المسقط الأفقي لمبنى برج خليفة وطريقة استخدام الحوائط الفقرية Spine walls والموزعة في الممرات والحوائط المتعامدة عليها وحول المصاعد بطريق مستمرة أفقيا ورأسيا بما يشبه العمود الفقري للمبنى المصدر مرجع [23] ، [24].

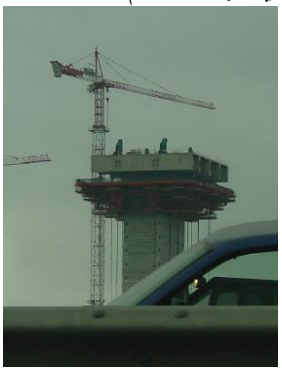
(8-6) نظام الهيكل المعلق Suspended Structure:

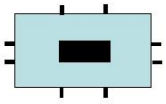
يتكون نظام الهيكل المعلق من قلب إنشائي مركزي مع ركائز كابولية أفقية ويتم عمل جمالونات في مستوى السطح النهائي للمبنى ومنها يتم تعليق حمالات رأسية من الكابلات الفولاذية لرفع بلاطات الأسقف المتكررة (شكل رقم 40) وبهذا يتم تحرير المسقط الأفقي للدور الأرضي من الأعمدة المحيطية للانتفاع منها في الأغراض المعمارية، وبمقارنة مساحة مقطع الكابلات الفولاذية الصغيرة مقارنة بمساحة مقطع الأعمدة كبديل فنجد أن الكابلات توفر مساحات كبيرة على طول الواجهات، ومن المزايا الأخرى لهذا النظام الإنشائي هو إمكانية استخدام سبق التصنيع للعناصر الإنشائية كالبلاطات والأسقف بعيدا عن الموقع ورفعها لأماكنها باستخدام الروافع الهيدروليكية.

(1-8-6) تأثير استخدام نظام الهيكل المعلق علي التصميم المعماري للمباني العالية:

1- يسمح هذا النظام بعمل فتحات كثيرة بغرض توفير الإضاءة والتهوية الطبيعية نتيجة لعدم وجود أعمدة على محيط المبنى واستبدالها بالكابلات الفولاذية.
2- تكون البحور الداخلية ضيقة نسبيا نتيجة للاعتماد علي الكابلات في نقل الأحمال الرأسية من المحيط إلى القلب الداخلي.
3- لا يمكن استخدام هذا النظام الإنشائي في المباني العالية إلا في حدود 15 طابقا على الأكثر.
4- يتميز هذا النظام الإنشائي بسرعة التنفيذ لاستخدام عناصر إنشائية سابقة التصنيع كبلاطات الأسقف.
5- يتيح هذا النظام للمصمم المعماري الإمكانية لوضع تصورات متنوعة لشكل الغلاف الخارجي للمبنى.
6- يناسب هذا النظام الاستعمالات الإدارية







شكل رقم 40 يوضح كيفية استخدام نظام التعليق في الهيكل الإنشائي للمباني العالية في احد المباني بإسبانيا 2004 م المصدر مرجع [24].

(9-6) نظام الإطار الفراغي ثلاثي الأبعاد 3D Space Frames

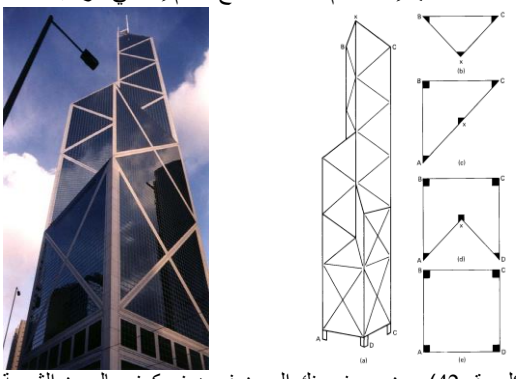
يتكون هذا النظام من إطار مثلث ثلاثي الأبعاد والذي يتكون من عناصر إنشائية من الحديد الصلب لمقاومة الأحمال الرأسية والجانبية معا مما ينتج عنه هيكل إنشائي خفيف نسبيا وذو كفاءة عالية لتحقيق ارتفاعات عالية للمباني، ويعتبر مبنى بنك هونج كونج في الصين الشعبية هو أفضل نموذج تم تطبيق هذا النظام الإنشائي به ويرتفع المبنى 76 طابقا (شكل رقم 42) وعلى الرغم من بساطة الفكرة الإنشائية للإطار الفراغي إلا أنه يعتبر معقدا من الناحية الهندسية في نقل الأحمال، ويتم نقل الأحمال الرأسية والجانبية عن طريق عمل قلب إنشائي داخلي يقوم بتجميع تلك القوى إلى مناطق محددة وفى قاع تلك المناطق يتم نقل قوى الجاذبية والقوى الأفقية إلى نقاط تجميع خارجية عبارة عن وصلات تجميع الإطار الفراغي المثلث.

(1-9-6) تأثير استخدام نظام الإطار الفراغي ثلاثي الأبعاد علي التصميم المعماري للمباني العالية:

1- يساعد هذا النظام مع بساطته على جذب الانتباه والتأثير البصري الإيجابي على خط السماء للبيئة المبنية وعلى الرغم من أن العناصر الإنشائية المائلة المكونة للإطار الفراغي ثلاثي الأبعاد غير مناسبة لتصميم واجهات معمارية رأسية عن طريق تطبيق أنماط التشكيل المعمارية وبالإضافة إلي أن تكلفة وصلات التجميع مكلفة وغير اقتصادية، إلا أن جمال وتفرد التشكيل الفراغي والمعماري لكتلة المبنى يعوض ذلك ويعطي الواجهات الخارجية للمبني تشكيلا متميزا.

2- يوفر هذا النظام مساحات داخلية واسعة ويوفر مرونة في استعمالات الفراغات وخاصة أنه مناسب أكثر للمباني الإدارية.

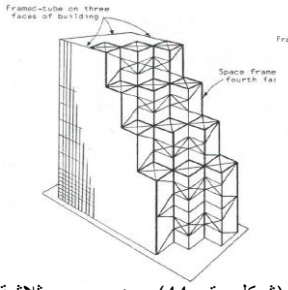
3- لا يعطي هذا النظام الحرية في الوصول لارتفاعات عالية إلا اذا تم استخدامه مع نظام إنشائي مركب.



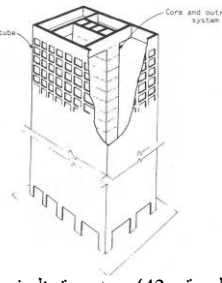
(شكل رقم 42) يوضح مبنى بنك الصين في هونج كونج بالصين الشعبية تم الانتهاء منه عام 1989 م ويتكون من 76 طابقا بارتفاع 369 مترا وقام بالتصميم المعماري I.M. Pei & Partners والتصميم الإنشائي Leslie Robertson and Assoc وتم استخدام الإطارات الفراغية لنقل الأحمال الراسية والأفقية من وصلات التجميع ومنها إلى الأعمدة الركنية التي تتغير أماكنها بتغير شكل المسقط الأفقي من المثلث في الأدوار العليا للمبنى إلى المسقط المربع للدور الأرضي ويتم نقل الأحمال الكلية لأربع أعمدة ضخمة مركبة في أركان الدور الأرضي لتوفر مساحة داخلية صافية بدون أعمدة 52 × 52 متر المصدر مرجع [2].

(10-6) النظام الإنشائي الهجين Hybrid Structures:

لا يمكن أن نعتبر النظام الإنشائي الهجين هو نظام جديد بحد ذاته ولكن هو عبارة عن دمج نظام إنشائي أو أكثر في مبنى واحد (شكل رقم 43و44) لإمكانية تصميم هيكل إنشائي لكتلة غير منتظمة ومعقدة من ناحية هندسة الشكل أو ما يعرف بالعمارة العضوية Organic Architecture، أو الوصول للمزيد من الارتفاع للمباني العالية، وتعتبر الكتل العضوية والغير منتظمة الشكل والتي تحدث نتيجة عمليات الطرح والإضافة لكتلة المباني العالية أقل عرضة لاستخدام نظام إنشائي واحد لتصميم هيكلها الإنشائي لمقاومة الأحمال الرأسية والأحمال الأفقية ولذلك فان المصمم الإنشائي يطور الهيكل عن طريق عمليات الدمج بين نظامين أو أكثر سواء بتطبيق ذلك على المبنى كله أو على أجزاء من المبنى.



(شكل رقم 43) يوضح توظيف نظام الإطار الفراغي مع نظام الأنبوب الإطاري لتصميم أجزاء الهيكل الإنشائي للكتلة الغير منتظمة. المصدر مرجع [24]

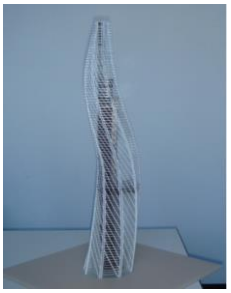


(شكل رقم 44) يوضح دمج ثلاثة أنظمة وهم الأنبوب الإطاري وحوائط القص لقلب المبنى واستخدام الدعائم الأفقية لربط القلب بالإطار الخارجي. المصدر مرجع [24]

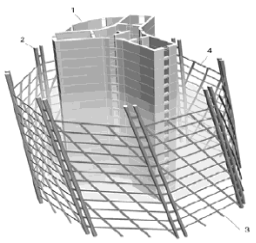
يوضح المثال التالي (شكل رقم 45و46و47و48) أحد أهم المباني العالية في إمارة دبي بالإمارات العربية المتحدة ويطلق عليه مشروع أبراج دبي 29 وهو عبارة عن 4 أبراج تتدرج في الارتفاع من 360 م إلى 550 م وكل برج عبارة عن كتلة مخروطية يحدث لها عملية التواء من القاعدة للقمة لتعطى شكلا متميزا وفريدا من نوعه و تم توظيف النظام الإنشائي الهجين للحصول على الهيكل الإنشائي المناسب ولذا تم توظيف الأنظمة الإنشائية التالية :

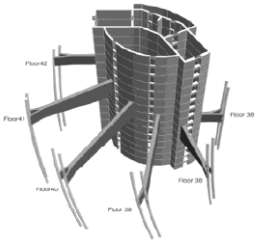
4- الهيكل الأنبوبي الخارجي المدعم بالشكالات الحديدية Exterior braced tube.
5- القلب المركزي من الخرسانة المسلحة كحائط قص رئيسي Core shear wall.
6- الدعامات الرئيسية الرابطة Outriggers.
7- الأعمدة الخرسانية الداخلية Interior reinforced concrete columns.
8- الشكالات الحديدية الرئيسية على المحيط الخارجي للطوابق المفتوحة Bracing .

(شكل رقم 45) مشروع مجموعة أبراج دبي ويظهر به المباني العالية ذات التصميم العضوى المصدر مرجع رقم

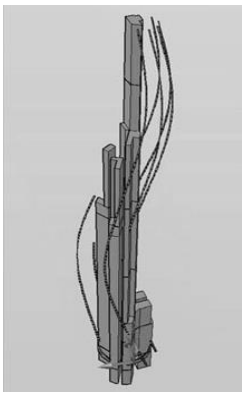


(شكل رقم 46) نموذج للهيكل الانشائى المركب للمبنى المصدر مرجع رقم





(شكل رقم 47) يوضح النظام الإنشائي للإطار الخارجي للمبنى العالي واستخدام حوائط القص الداخلية مع اذرع ربط بالأعمدة الخارجية المصدر مرجع رقم [25].



(شكل رقم 48) يوضح الشكل الأعمدة الداخلية المستخدمة داخل المبنى لنقل أحمال الجاذبية المصدر مرجع رقم [25].

(6-10-1)تأثير استخدام النظام الإنشائي الهجين علي التصميم المعماري للمباني العالية:

يعتبر هذا النظام تعبيرا مباشرا عن الاتجاهات المعمارية المعاصرة والمستقبلية حيث يؤكد هذا النظام علي عملية التداخل المباشر بين التصميم المعماري والإنشائي للمبنى في مرحلة وضع الأفكار الأولية للمبنى Concept وبالتالي إعطاء المصمم المعماري الحرية الكاملة في إبداع كتلة المبنى.

النتائج والتوصيات

توصلت الدراسة البحثية إلى العديد من النتائج التي ترتبط بموضوع البحث. يتم سرد هذه النتائج كما يلي:

النتائج

يتضح من البحث أهمية تصنيف الأنظمة الإنشائية للمباني العالية في المساعدة على اختيار أنسب النظم الإنشائية في مرحلة التصميم المعماري للمساقط الأفقية والواجهات ووضع الأفكار الأولية، وأن عملية التصميم الإنشائي في تطور مستمر نتيجة لمحاولة الوصول لارتفاعات غير مسبوقة للمباني العالية وتؤثر مكونات الأنظمة الإنشائية حسب التصنيف السابق على التصميم المعماري للمباني العالية والبحث ليس بصدد دراسته المكونات بشكل مفصل من النواحي الإنشائية ولكن يمكن استنتاج الملاحظات التالية من خلال دراسة الأنواع المختلفة للأنظمة الإنشائية السابقة والخط الزمني لتطور هذه الأنظمة كالآتي:

- في معظم المباني العالية التي تم بنائها حتى الوقت الحالي لا تستخدم الأنظمة الإنشائية السابقة منفردة ولكن يتم دمج نظامين أو أكثر من الأنظمة الإنشائية للحصول على هيكل إنشائي يتميز بالقوة والثبات والصلابة لمقاومة الأحمال الرأسية والأفقية للرياح والزلازل ومواجهة التحديات المستقبلية لزيادة ارتفاعات المباني العالية والتي تتنافس فيها الدول على مستوى العالم.
- كل نظام من تلك الأنظمة الإنشائية يؤثر بطريقة مباشرة على التصميم المعماري للمبنى من شكل ومساحة الفراغات الداخلية والواجهات الخارجية .
- كلما زاد ارتفاع المبنى قلت معه المرونة في استعمال المساحات الداخلية نتيجة لكثرة العناصر الإنشائية المستخدمة.
- على الرغم من تطوير بعض الأنظمة الإنشائية كنظام الحوائط الفقرية Spinal wall systemوالوصول به لأقصي ارتفاع لمبني عالي على مستوى العالم في برج دبي الذي وصل ارتفاعه إلى 828 متر إلا أن التصميم المعماري الداخلي لا يتمتع بالمرونة ولا بالبحور الواسعة نتيجة للحوائط الخرسانية المتشابكة داخل المبنى.
- أفضل النظم الإنشائية التي تعطى مرونة كافية وتصل بالمبنى لارتفاعات عالية مع توفير مساحات داخلية ذات بحور واسعة وتحقق كفاءة عالية من كافة النواحي المعمارية والإنشائية والاقتصادية هو نظام الأنبوب الإنشائي Tube system والأنظمة المطورة منه ويظهر ذلك بصورة واضحة في مبنى برجي مركز التجارة العالمي WTC (سابقا) في ولاية نيويورك الأمريكية وتم تدميره عام 2001 م ووصل ارتفاعه 447 متر بنفس مساحة المسقط الأفقي المربع وأيضا مبنى برج ويلز(سيرز سابقا) بولاية شيكاجو الأمريكية 1974 م بنظام حزمة الأنابيب Bundle Tubes ووصل ارتفاعه 442 م بمسقط أفقي مستطيل من خليتين من أصل 9 خلايا موديولية مربعة مكونة للمسقط الأفقي للمبنى في الأدوار السفلية.
- يعتبر نظام الإطار الفراغي Space frame هو الأمثل من ناحية التشكيل المعماري والتصميم الداخلي حيث يسمح بإمكانية عمل فراغات داخلية بدون الأعمدة والحوائط الإنشائية التي تعيق المرونة الداخلية.

التوصيات

- ضرورة نشر الوعي المعماري لدي المهندسين الإنشائيين المتخصصين في التصميم الإنشائي للمباني العالية.
- دمج دراسة الأنظمة الإنشائية للمباني العالية في مجال دراسة المعماريين بصورة مفصلة.
- زيادة التأكيد علي تدعيم التعاون والتكامل بين المصمم المعماري والإنشائي منذ بداية الأفكار الأولية لمشروعات المباني العالية.
- توظيف واستخدام النظام الإنشائي المناسب للاحتياجات المعمارية للمباني العالية.
- السعي لوضع كود خاص للتصميم الإنشائي للمباني العالية يشترك في وضعه المتخصصين في التصميم المعماري والإنشائي بما يضمن سهولة عملية التصميم علي كل منهم في المراحل الأولية للتصميم.
- ضرورة أن يساهم المصمم المعماري في اتخاذ قرار اختيار النظام الإنشائي أثناء وضع التصورات الأولية دون الحاجة للرجوع للمصمم الإنشائي.

الدراسات المستقبلية

- توصي الدراسة البحثية بإعداد دراسات تكميلية وأبحاث مستقبلية لتطوير الأنظمة الإنشائية لتلبية الاحتياجات المستقبلية وإعطاء المعماريين الحرية والمرونة الكافية في التصميم المعماري للمباني العالية.
- كما توصي الدراسة بإمكانية عمل دراسة مستقبلية لبرمجة رقمية لعملية التصميم الإنشائي للمباني العالية عن طريق توظيف التصنيفات الواردة في البحث في برامج التصميم المعماري لمساعدة المصمم المعماري أثناء وضع التصورات الأولية للمشروع وأثناء مراحل تطوير المشروع المختلفة وذلك لاتخاذ قرارات من شأنها تقليل الزمن اللازم لإنهاء التصميم المعماري وتحقيق اعلي دقة ممكنة وتوفير الزمن اللازم للتنسيق بين المصمم المعماري والإنشائي..

المراجع حسب ورودها في البحث:

(1)د .نوبي محمد حسن -الشكل والإنشاء في العمارة- الوحدة السادسة- أنظمة المباني العالي-2006.

(2)Bungale S. Taranath - 2011. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction.

(3) http://www.structuremag.org/?p=6111(2007)

(4) www.ctbuh.org

(5) Ali MM, Moon KS - 2007. Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects. Architectural Science Review.

(6)Bryan Stafford Smith., Alex Coull- 2011 . Tall Building Structures: Analysis and Design.

(7) M. Halis Gunel., H. Emre Ilgin - 2006 . A proposal for the classification of structural systems of tall buildings.

(8) Ali M. Evolution of concrete skyscrapers: from Ingalls to Jin Mao. Electronic Journal of Structural Engineering 2001;1(1):2–14.

(9) Taranath B. Steel, concrete & composite design of tall buildings. New York: McGraw-Hill Book Company; 1998.

(10) Fintel M. Handbook of concrete engineering. New York: Van Nostrand Reinhold, Ltd.; 1974.

(11)Gaylord EH, Gaylord CN. Structural engineering handbook. USA: McGraw-Hill Book Company; 1979.

(12) Smith BS, Coull A. Tall building structures: analysis and design. New York: Wiley; 1991.

(13) Khan FR, Rankine J. ‘‘Structural systems,’’ Tall building systems and concepts. Council on Tall Buildings and Urban Habitat/American Society of Civil Engineers, vol. SC, 1980.

(14) Beedle LS, Rice DB. Structural systems for tall buildings. Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH) Committee 3. New York: McGraw-Hill Book Company; 1995.

(15)Leslie E. Robertson, Hon.M.ASCE, NAE, F.IStructE, C.E., P.E., S.E. - June 2007
The Shanghai World Financial Center.

(16) Bungale S. Taranath – 2010 . Reinforced Concrete Design of Tall Buildings.

(17)www.molon.de/galleries/China/HongKong/BDistrict/img.php?pic=9

(18)upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/John_Hancock_Center_2.jpg

[19]حيدر، فاروق عباس - 1999 . الجزء الثاني. الموسوعة الحديثة في تكنولوجيا تشييد المباني.

(20)en.wikipedia.org/wiki/File:Sears_Tower_ss.jpg

(21)en.wikipedia.org/wiki/File:Willis_Tower_tube_structure.svg

(22)www.skyscraperlist.com/showthread.php?732-Fury-s-Historical-Burj-Khalifa-Thread/page5

(23)www.molon.de/galleries/UAE/Dubai/Burj-Khalifa/img.php?pic=11

(24)www.scribd.com/document/255399464/Design-of-Tall-Buildings-TB-Lecture05-Loads2016

(25)global.ctbuh.org/resources/papers/download/1294-dubai-tower-29-structure-and-form.pdf

(26)en.wikipedia.org/wiki/Willis_Tower