تأثير المتطلبات الإنشائية للجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء في الشكل المعماري وإمكانية الاستفادة منها معمارياً

الأستاذ الدكتور المهندس غسان برجس عبود[1]

الملخص

اليوم أكثر من أي وقت مضى يقتنع المعماريون– وبدرجات متفاوتة– بأهمية المعرفة الإنشائية في ضوء التطور السريع لتقنيات الإنشاء، ولكن الإلمام بهذه المعرفة يتطلب جهداً كبيراً وقدرة على فهم التطور الحاصل وآلية عمل الجمل الإنشائية ومتطلباتها، ومدى تأثير هذه المتطلبات في الحل المعماري ومحاولة الاستفادة منها وتوظيفها معمارياً بشكلٍ صحيح.

وتعدُّ الجمل الإنشائية المعلقة في وقتنا الحاضر من أكثر الجمل الإنشائية استخداماً في البناء، فقلّما نرى في العمارة الحديثة بناء يخلو من استخدام جملة إنشائية معلقة رئيسية كانت أو مشتركة مع جملة أخرى، استخدمت في إنشاء الواجهات الزجاجية ومظلات الدخول وفي تغطية الأبنية ذات المجازات الكبيرة.

هدف هذا البحث إلى تعرّف على المتطلبات الإنشائية للجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء ولاسيَّما متطلبات استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل وإلى كيفية تعامل المعماري معها من خلال توظيفها معمارياً لتكون الاستفادة منها كاملة معمارياً وإنشائيا.

ويتم ذلك من خلال تعرّف المنشآت المعلقة وأنواعها وعناصرها وتطورها عبر العصور، ودراسة الجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء ومتطلباتها الإنشائية وتأثيرها في الحل والشكل المعماري وذلك من خلال دراسة 17 اقتراحا لكيفية استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل وتأثيرها في اقتصادية المبنى والحل المعماري، وكذلك من خلال دراسة ثلاثة أبنية هي: الصالة الرياضية في جامعة ليفربول– بريطانيا، والصالة 26 في معرض الاكسبو2000 هانوفر – ألمانيا، والصالة الرياضية في القنيطرة – سورية.

[1] أستاذ – قسم علوم البناء والتنفيذ– كلية الهندسة المعمارية – جامعة دمشق.

1. مقدمة:

عَدَّ معماريو القرن العشرين أن استخدام الجمل الإنشائية المعلقة هي من ميزات الحداثة، وأنهم يروها من زاوية مبدأها الأساسي وهو مبدأ الشد، المعاكس لمبدأ الضغط الذي كان السمة الأساسية للجمل الإنشائية المستخدمة في العمارة القديمة على مر العصور. جذبت الجمل الإنشائية المعلقة انتباه العديد من المعماريين والإنشائيين ولاسيَّما في النصف الثاني من القرن العشرين، فقدموا أعمالاً متميزة تركت انطباعاً قوياً عن القدرة والإمكانيات الكامنة في هذه الجمل التي استطاع المعماري بتعاونه مع الإنشائي تجسيدها في أحسن حال.

الجملة الإنشائية المعلقة : هي جملة إنشائية، العنصر الحامل الأساسي فيها يعمل على الشد فقط،

وتتألف الجملة الإنشائية المعلقة(المشدودة) من العناصر الآتية (الشكل رقم 1):

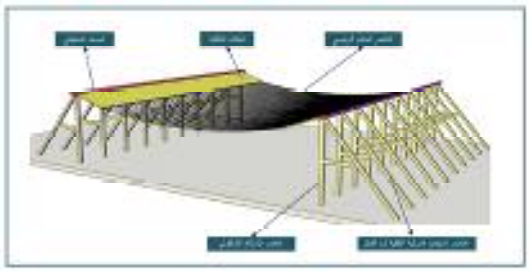
1- **العنصر الحامل الرئيسي:** وهو عبارة عن عنصر مرن أو صلد، يكون على شكل كبل أو جائز صلد أو رقائق من الأقمشة الطبيعية أو الصناعية أو من الصفائح المعدنية.

2- **المسند المحيطي:** هو جائز تثبت عليه العناصر الحاملة الرئيسية، ويكون من المعدن أو البيتون المسلح، ويأخذ عدة أشكال تبعاً لشكل التغطية، فمنها على شكل جائز مستمر أو قوس أو حلقة.

3- **عناصر الاستناد الشاقولي:** وهي العناصر التي يرتكز عليها المسند المحيطي مهمتها نقل الحمولات من المسند إلى الأساسات، وتكون على شكل أعمدة أو دعامات، وفي بعض الحالات يؤدي المسند المحيطي مهمة عناصر الانتقال الشاقولي، وذلك عندما يأخذ المسند شكل منحنى قوسياً.

4- **عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل:** هي العناصر التي تقاوم وتستوعب المركبة الأفقية لرد الفعل الناتج عن تثبيت العنصر الحامل الأساسي بالمسند المحيطي.

5- **طبقات التغطية:** وهي الطبقات التي تتوضع فوق العناصر الحاملة الرئيسية، مهمتها تغليف الفراغ الداخلي وحمايته من العوامل الجوية، وتكون على شكل صفائح معدنية (Sandwich Panel) أو بلاطات بيتونية مسلحة مسبقة الصنع، وفي حالة كون العنصر الحامل الرئيسي عبارة عن رقائق أو صفائح، تشكل هذه الرقائق طبقة التغطية ويضاف إليها مواد وطبقات عزل ضد الحرارة والرطوبة.



الشكل رقم (1) عناصر الجملة الإنشائية المعلقة (المشدودة)

هدف البحث:

تعرّف على المتطلبات الإنشائية للجمل المعلقة المفردة الانحناء، ولاسيَّما متطلبات استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل، وإلى كيفية تعامل المعماري معها، من خلال توظيفها معمارياً بحيث تكون الاستفادة منها معمارياً وإنشائيا كاملة. ويتم ذلك من خلال:

- تعرّف المنشآت المعلقة وأنواعها وعناصرها وتطورها عبر العصور، من خلال دراسة ثلاثة أبنية هي: الصالة الرياضية في جامعة ليفربول- بريطانيا، والصالة 26 في معرض الاكسبو2000 هانوفر – ألمانيا، والصالة الرياضية في القنيطرة – سورية.
- دراسة الجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء ومتطلباتها الإنشائية وتأثيرها في الحل والشكل المعماري، وذلك من خلال دراسة 17 اقتراحا لكيفية استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل، وتأثير هذه الاقتراحات في اقتصادية المبنى والحل المعماري.

2. الجمل الإنشائية المعلقة

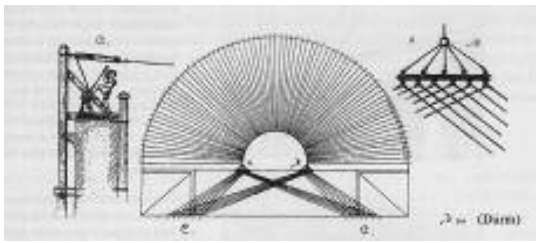
2-1 التطور التاريخي لاستخدام الجمل الإنشائية المعلقة

استعمل الإنسان، منذ العصور القديمة، بما يعرف اليوم "بالمنشآت المعلقة " بأشكال مختلفة مثل الخيمة والجسور المعلقة. فاستعمل الخيمة كسكن متنقل منذ أن عرف حياة الرعي، وقام بتطويرها على مر العصور بما يتناسب ومتطلباته الاجتماعية والاقتصادية، وتُظهر اللوحات الجدارية استخدام الخيمة في الحضارتين الآشورية والفرعونية التي تعود للألف الأولى قبل الميلاد. واستعمل الإنسان الجسور المعلقة للتنقل في الأماكن الجبلية وعبر الأنهار واستخدم في إنشائها ألياف القنب والقطن وصوف الحيوانات وشعرها.

في عام 70 بعد الميلاد استعملت مظلة متحركة لتغطية المدرج الروماني الكبير في روما. والمظلة عبارة عن قطع من القماش الملون مثبتة على حبال مجدولة من الخيوط ومشدودة إلى صواري متركزة على محيط المدرج ومن الجهة الداخلية مثبتة على حلقة داخلية تبعد عن المحيط 156م. تشبه هذه التغطية بحجمها اليوم التغطيات المستخدمة في تغطية الملاعب الرياضية الشكل (2) [13].

استعملت المنشآت الخيمية في ميادين المعارك كمقرات للقيادة ومبيتاً للجنود، وكذلك استعملت للاحتفالات والاستقبالات الكبيرة مثل المخيم الذي أنشأه ملك انكلترا هنري الثامن عام 1520 لاستقبال ملك فرنسا الذي ضم أكثر من 400 خيمة استوعبت أكثر من 5000 شخص[ ].

كان تطور استخدام الكابلات المعدنية في الأبنية العامة بطيئاً، بعكس تطورها في الجسور وفي المنشآت الخيمية، وقد شهد النصف الثاني من القرن التاسع عشر بناء العديد من الأبنية العامة ولاسيَّما أبنية المعارض، أنشئت أجنحة المعرض التقني في مدينة Nijny Novgorod في روسيا عام 1896، وقد استخدم المهندس Shookhov الكابلات المعدنية في تغطية ثلاثة أجنحة مختلفة الأشكال، وكانت هذه هي البداية الحقيقية لتطور استعمال الجمل الإنشائية المعلقة في العمارة الحديثة.



الشكل (2): تغطية المدرج الروماني في روما

شكل (3): الخيمة السوداء

أصبحت الخيمة منشأة معمارية مؤلفة من عدة فراغات، وقد وصف Philip Drew في كتابه "Tensile Architecture" العديد من هذه الخيام وفي مواقع مختلفة من العالم، وتوصل في كتابه إلى أن المنشآت الخيمية الحديثة استقت أشكالها وخطها المغلف الخارجي من شكل الخيمة العربية التي أطلق عليها اسم الخيمة السوداء "Black Tent" [5] الشكل (3).

بعد أن حطت الحرب العالمية الثانية أوزارها، اتجه العالم إلى بناء حضارة ما بعد الحرب، ففي عام 1950 صمم المعماري البولوني نوفوتسكي صالة رالي

الرياضية في كارولينا الشمالية (USA) التي تعدُّ أول منشأة كبيرة استعمل فيها نظام شبكة الكابلات المعدنية. ثبت شبكة الكابلات على قوسين متقاطعين يميلان بزاوية 20 درجة عن الأفق لتأخذ التغطية شكل سرج الحصان [4]. في عام 1962 بنيت صالة الركاب في مطار دالاس بولاية فرجينيا التي استخدم في تغطيتها القشرية المعلقة.

ظهرت العديد من الدراسات والبحوث التي ساعدت في توضيح مبدأ عمل هذه الجمل وإمكانياتها وأشكالها المعمارية، وكان في مقدمة هذه الدراسات دراسة المعماري الألماني Frei Otto التي نشرها في كتابه "Tensile Structures" والذي توج عمله فيما بعد بتصميم المنشآت الرياضية لدورة الألعاب الأولمبية في ميونخ عام 1972. تمكن Otto من تطوير استخدام شكل الأنسجة الصناعية والمسلحة بالألياف الزجاجية أو ألياف البوليستر ومفرداتها، وإضافة مواد طلاء لمقاومة الحريق ونفوذية المياه، والوقاية من الأشعة المؤذية الشكل (4) [10].

الشكل (4): المنشآت الرياضية في ميونخ-ألمانيا

استعملت الجمل الإنشائية المعلقة بأنواعها المختلفة في تغطية منشآت الدورات الأولمبية منذ دورة طوكيو عام 1964 حتى الآن. ففي دورة موسكو عام 1980 ظهر بوضوح استعملت الرقائق المعدنية كعناصر حاملة مما أعطى ميزة الديمومة الأكثر لهذه المنشآت عكس الأغشية الطبيعية والصناعية الأخرى.

واحتفل بحلول الألفية الثالثة بلندن بافتتاح بناء القبة الألفية "Millennium Dome " في منطقة قريبة من" Canary Wharf" جنوب شرق العاصمة البريطانية لندن. صممت القبة من قبل المعماري ريتشارد روجرز، وهي تغطي مساحة 150000م^2. الجملة الإنشائية المستخدمة فيها عبارة عن غشاء صناعي مشدود. الجديد في هذا البناء وعكس المألوف في هذا النوع من المنشآت، أن التغطية الغشائية تأخذ شكل القبة دون مساعدة أي عناصر داخلية كما هو معروف (مثل الأقواس). لتأمين الشكل الهندسي المطلوب وتحقيق الشد المناسب للغشاء، ثبت بـ 864 كبلاً معدنياً شدت إلى 12 برجاً معدنياً مائلاً، ارتفاع الواحد منها 100م موزعة على محيط البناء الشكل (5) [3].

الشكل (5): القبة الألفية – لندن

مع بداية القرن الواحد والعشرين أصبح استخدام الجمل الإنشائية المعلقة أكثر، وقلّما نجد بناء يخلو منها، فاستعملت في مظلات المداخل أو تغطية الفناءات الداخلية أو العناصر الحاملة للبشرة الزجاجية كما في الشكلين (6-7). في هذه المرحلة استخدمت الأغشية الصناعية بشكل كبير، ويفيد بحث قامت به جمعية أوربية في بداية الألفية الثالثة، أن في أوربا استخدم 4-5 مليون م^2 من الأغشية في منشآت مختلفة (في زمن بناء القبة الألفية في لندن) بالمقارنة بـ 1

مليون م^2 في عام 1988 [4].هذا النمو في استخدام الأغشية يدل على التنافس الكبير مع الجمل الإنشائية الأخرى على الرغم من الصعوبات المرتبطة بتصميم هذه المنشآت. وكذلك في هذه المرحلة أيضاً استخدمت الجمل المعلقة في الجسور، وقد اتخذت أشكالاً جديدة تعتمد أكثر على عامل الجمال والرشاقة بخلاف ما كان متعارفاً عليه سابقاً.

في سورية بُدئ باستخدام الجمل الإنشائية المعلقة في العقد الثالث من القرن العشرين في بناء الجسر المعلق في دير الزور، ومن ثم في السبعينيات بناء صالة تشرين الرياضية، وبعد ذلك المنشآت الرياضية في اللاذقية، ومع بداية الألفية الثالثة بناء الصالة الرياضية في دوما وصالة مدينة البعث الرياضية في القنيطرة.

الشكل (6):استخدام الكابلات المعدنية في حمل الواجهات الزجاجية – لندن

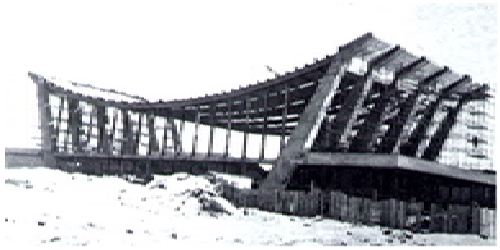
الشكل (7) :جسر يصل بين مبنيين تجاريين – مانشيستر

2-2 – الحلول الإنشائية المستخدمة في الجمل الإنشائية المعلقة

1– **القشرية المعلقة:** هي جملة إنشائية معلقة تتوضع العناصر الحاملة الرئيسية فيها (الكابلات المعدنية) بشكل متوازٍ أو قطري وذلك تبعاً لشكل التغطية. وقد جاءت التسمية من كون الشكل النهائي للتغطية هو عبارة عن بلاطة منحنية من البيتون المسلح ذات سماكة قليلة تعرف بالقشريات. وتتشكل هذه القشريات عن طريق تعليق قطع من البلاطات البيتونية المسبقة الصنع على الكابلات المعدنية وتملأ مناطق الوصل بين القطع البيتونية والكابلات المعدنية بمادة البيتون وذلك بعد إضافة حمولة مؤقتة يتم نزعها بعد تصلب مناطق الوصل، وذلك من أجل تأمين الصلابة للتغطية. تكون القشرية المعلقة ذات التوضع المتوازي للكابلات مفردة الانحناء، وتستخدم في الأبنية المستطيلة أو المربعة الشكل. ولكن هذا النوع من الإنشاء يتطلب حلاً من أجل استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل. القشرية المعلقة ذات التوضع القطري للكابلات مزدوجة الانحناء وتستخدم في الأبنية ذات المسقط الدائري أو البيضوي، تستوعب القوى الأفقية الناتجة عن الكبل ضمن المسند المحيطي المغلق، لذلك يعدُّ هذا النوع من التغطيات أكثر اقتصادية لنقله

الحمولة مباشرة وبشكل شاقولي إلى الأعمدة عن طر يق المسند المحيطي الشكل (8) [19].

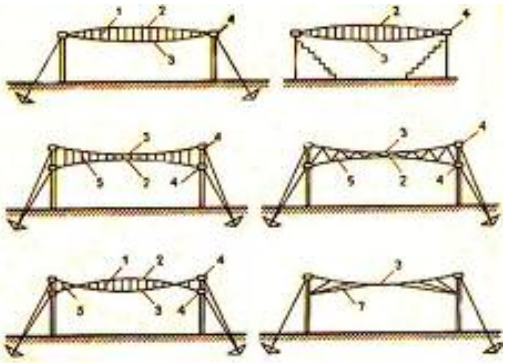
2- **الجائز الكبلي:** وهو عبارة عن مجموعة من الكابلات المعدنية تقع في مستوي شاقولي واحد، تشكل العنصر الحامل الرئيسي في الجملة الإنشائية. يتوضع الجائز الكبلي في التغطية بشكل قطري أو متوازٍ كما في الشكل (9).



القشرية المعلقة المفردة الانحناء

القشرية المعلقة مزدوجة الانحناء

الشكل رقم (8) القشرية المعلقة



1- ضاغط، 2- الكبل المحدب، 3- الكبل الحامل المقعر، 4- المسند المحيطي، 5 – شداد

الشكل رقم (9) الجائز الكبلي

3- **الشبكة الكبلية:** تتشكل عن طريق تقاطع مجموعتين من الكابلات المعدنية مع بعضها بعضاً، فتكون إحداها مقعرة والأخرى محدبة، وتأخذ الجملة الإنشائية شكل المجسم المكافئ الزائدي (سرج الحصان)، الشكل (10) .

4- **الغشائية:** العنصر الحامل الرئيسي فيها هو رقائق من صفائح معدنية أو قماشية، والمثال الأكثر قدماً وشهرة لهذا النوع من الجمل المعلقة هو الخيمة، حيث تشد الرقائق إلى مسند محيطي مرن أو صلد . تتميز التغطيات الغشائية بأن للغشاء وظيفتين: حاملة ومغلفة للفراغ في الوقت نفسه، الشكل (11).

صالة تشرين بدمشق

صالة رالي – ولاية كارولينا الشمالية

الشكل رقم (10) الشبكة الكبلية

5- **النظام المختلط:** هو جملة معلقة مختلطة مؤلفة من كبل مرن هو الحامل الرئيسي، تتوضع عليه بالاتجاه العرضي عناصر صلدة من البيتون المسلح أو

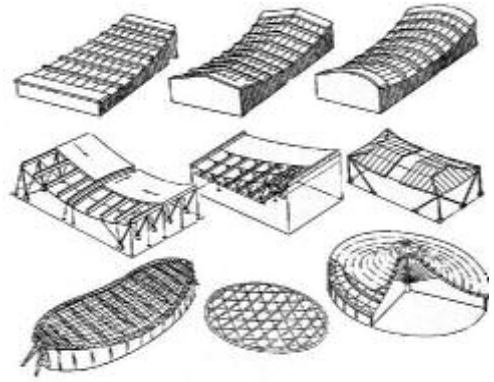
المعدن يعملان معاً، بحيث يؤمن العنصر الصلد استقرار التغطية الشكل (12).

6- **التغطية المشدودة إلى الأعلى :** في هذا النوع من الإنشاء، الكبل المرن الحامل موجود فوق التغطية، مهمته شد التغطية إلى الأعلى وتعليقها على دعامات أو صواري، وتعدُّ الجسور المعلقة أقدم وأحدث مثال في الوقت نفسه الشكل (13).

صالة في مدينة الملاهي بدمشق – غشاء قماشي

صالة سباق الدراجات في موسكو – الغشاء من الصفائح المعدنية

الشكل رقم (11) الجملة الغشائية المعلقة



الشكل رقم (12) النظام المختلط

الجسر المعلق في نوتردام – هولاندا

صالة دوما الرياضية – سورية

الشكل رقم (13) التغطيات المشدودة للأعلى

3. المتطلبات الإنشائية للجمل المعلقة المفرد الانحناء

الجملة الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء هي جملة إنشائية تتخذ من انحناء غاوس المعدوم شكلاً لها، وظهر هذا النوع من المنشآت المعلقة في العقد السادس من القرن العشرين، فكان بناء صالة الركاب

في مطار دالس بالولايات المتحدة الأمريكية، ومن ثم انتشر انتشاراً واسعاً في مدن جمهوريات الاتحاد السوفيتي السابق.

3-1 التقوس أو تدلي الكبل الحامل الرئيسي

يتدلى العنصر الحامل الأساسي في الجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء بعد تثبيته من طرفيه على المسند المحيطي، وتقع أخفض نقطة فيه في منتصفه (إذا كانت نهايتا الكبل واقعتين في مستوي أفقي واحد). يؤثر مقدار التدلي في قوة الشد في الكبل الحامل الأساسي وتتناسب معه عكسياً، فكلما ازداد مقدار التدلي انخفضت قوى الشد فيه ، وكلما انخفض مقدار التدلي ازدادت قوى الشد، فازدياد قوى الشد أو انخفاضها في الكبل يؤثر في:

- أبعاد المقطع العرضي للعنصر الحامل الأساسي سواء كان عنصراً مرناً أو صلداً.
- أبعاد المقطع العرضي للمسند المحيطي.
- أبعاد مقاطع العناصر الجانبية من عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل وعناصر الانتقال الشاقولي.

يمكن أن لا تقع نهايتا العنصر الحامل الأساسي في التغطية في مستوي أفقي واحد، وفي هذه الحالة يتطلب الأمر تحديد موقع أخفض نقطة فيه وارتفاعها عن مستوى أرضية البناء، وكذلك مقدار انخفاضها عن نقطتي تثبيت طرفي العنصر الحامل الأساسي، وهنا تكون القوى في نهايتي العنصر غير متساويتين، ومن ثَمَّ تؤثران في أبعاد كلٍ من المسند المحيطي والعناصر الجانبية *بصورة مختلفة*.

يحدد مقدار التقوس أو تدلي الكبل الحامل الرئيسي في تغطية الأبنية عادةً بنفس 1\10 – 1\12 من مجاز التغطية.

3- 2 استقرار التغطية

الكبل في جوهره هو عنصر مرن يتغير شكله تبعاً لحركة الحمولة المعرض لها. واستخدام الكبل الأحادي كعنصر حامل أساسي في المنشآت المعلقة المفردة الانحناء يؤدي إلى عدم استقرار التغطية، وخاصة عند تعرضها لقوة الرياح، التي تضرب بقوة وتحاول رفع التغطية وتحدث اهتزازاً مساوياً لتواتر الكبل. وفي حال تزامن حدوث كلٍّ من تواتر الكبل مع الاهتزاز الناتج عن قوة الرياح في الوقت نفسه يحدث الرنين، ويزداد الاهتزاز أو الرفرفة في الكبل الحامل الرئيسي. ولتجنب ذلك يجب أن نجعل الاهتزاز الناتج عن تواتر الكبل مختلفاً عن الاهتزاز الناتج عن قوة الرياح؛ وذلك عن طريق تعديل حمولة الكبل الرئيسي بحيث يتغير مقدار التواتر الطبيعي.

لكي تتحمل التغطية المعلقة الأحمال المتحركة وقوة الرفع الناتجة عن تأثير الرياح يجب السعي للتقليل من مرونة السقف وذلك بزيادة صلابته، ويتم ذلك عن طريق:

1- زيادة الوزن الذاتي للتغطية (الحمولة الميتة) بحيث تكون أكبر من قوة تأثير الرياح. وتتم زيادة الوزن الذاتي للتغطية بعدة طرائق منها:

- وضع طبقة من البيتون فوق صفائح التغطية.
- تثقيل التغطية بوضع طبقة من الحصى بين طبقتين من الخشب مشابه لمبدأ "Sandwich Panel".

2- إضافة عناصر صلدة مثل الجوائز والأقواس، تثبت بشكل متعامد مع العناصر الحاملة الرئيسية، التي يمكن أن تكون مرنة أو صلدة.

3- تشكيل سطح صلد أو ما يسمى بـــ " القشرية المعلقة "، ويتم ذلك بالتعاون بين الكابلات الحاملة الرئيسية وطبقات التغطية المؤلفة من قطع من البيتون المسلح المسبق الصنع، حيث تعلق القطع على الكابلات المعدنية. ولتأمين صلابة التغطية تشد الكابلات المعدنية مسبقاً، وذلك عن طريق وضع حمولة مؤقتة فوق القطع البيتونية المسبقة الصنع، وتساوي هذه الحمولة الحمولات الحية المتوقعة فضلاً

عن حمولة الرياح، حينها تأخذ التغطية تقوسها النهائي، وبعد ذلك تجري عملية ملء مناطق الوصل بين القطع البيتونية (وطبعاً بداخلها الكابلات المعدنية التي تتصرف كقضبان تسليح) بمادة بيتونية خاصة. بعد تصلب مناطق الوصل يتم نزع الحمولة المؤقتة لتصبح التغطية عبارة عن سطح صلد مثبت ومعلق على المسند المحيطي للمنشأة.

3– 3 استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل

تعدُّ مسألة استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل من أهم المتطلبات الإنشائية للجمل المعلقة المفردة الإنحاء. إذْ تظهر قوة رد فعل على الإجهادات المنقولة من العنصر الحامل الأساسي إلى المسند المحيطي عند نقطة تثبيته، ولهذه القوة مركبتان واحدة شاقولية والثانية أفقية. يتم استيعاب المركبة الشاقولية عن طريق عناصر الاستناد الشاقولية الحاملة للمسند المحيطي، أما المركبة الأفقية فيتطلب استيعابها إضافة عناصر خاصة بها.

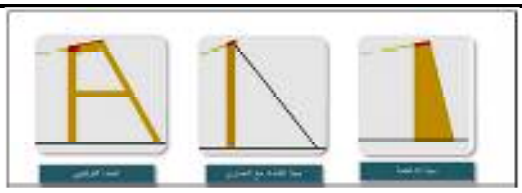
منذ القدم ومن خلال الحس الإنشائي والتجربة الميدانية، وليس من خلال المعرفة بعلم التوازن وقوانينه، عرف وفهم البناءون أو المعماريون ضرورة استخدام عناصر إضافية لتوازن المنشآت المعلقة مثل الخيمة أو الجسر المعلق. ولتدارك انزياح الدعامة الحاملة للعنصر المشدود أو المعلق تحت تأثير قوة الشد في العنصر الحامل الرئيسي ومنعها، لجؤوا إلى استعمال شداد يعاكس قوة الشد في العنصر الحامل الأساسي، ويثبت في أعلى الدعامة ويهبط بشكل مائل مبتعداً عن قاعدة الدعامة ويثبت في الأرض بواسطة ثقل أو وتد يدق في التربة.

مع تطور المعرفة الهندسية واستخدام الحاسوب في تصميم ومعرفة السلوك الإنشائي للجمل الإنشائية، بما فيها الجمل المعلقة، أصبح من السهل تصميم أشكال مختلفة لاستيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل، يمكن تصنيفها ضمن ثلاث مبادئ هي (انظر الشكل رقم 14):

– المبدأ الأول: ويعتمد على الدمج الكامل بين عناصر الاستناد الشاقولية وعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل، وهذا الدمج يتمثل بالدعامة: وهي عبارة عن عمود من البيتون المسلح أو المعدن مقطعه العرضي ضخم، يتعرض لعزم انعطاف تكبر قيمته كلما اقتربنا من قاعدته، لذلك يمكن أن تكون الدعامة متغيرة المقطع أي يكون أحد طرفي الدعامة مائلاً، وهذا الطرف المائل يمكن أن يكون باتجاه داخل البناء أو خارجه. ويمكن أن تكون الدعامة مائلة نحو خارج البناء أو منحنية، وهنا تسمى الدعامة الظفرية.

– المبدأ الثاني: الشداد والصاري (Guded Mast) ويعتمد على الفصل الكامل بين عناصر الاستناد الشاقولية وعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل، ومثال عليه الشداد الهابط من أعلى الدعامة الذي ظل مستخدماً في كثير من الأبنية حتى وقتنا الحاضر. تتعرض عناصر هذا المبدأ بشكل أساسي إلى إجهادات ناظمية (شد وضغط).

– المبدأ الثالث: ويعتمد على تراكب مجموعة من العناصر الأفقية والشاقولية والمائلة مع بعضها بعضاً، بحيث تعمل معاً لنقل الحمولات والإجهادات إلى التربة، وتكون مادة هذه العناصر من البيتون المسلح أو المعدن. ويمثل الإطار الثلاثي والثنائي أهم أشكال هذا المبدأ.



الشكل رقم (14) مبادئ استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل

4. تحليل بعض المنشآت المعلقة المفردة الانحناء

4-1 الصالة الرياضية الجديدة في جامعة ليفربول – بريطانيا

أعدت الصالة الرياضية الجديدة في جامعة ليفربول (الشكل رقم 15) لتكن توسعاً لصالة قديمة أبعادها 37 x 37 م تحتوي على حوض سباحة وصالة ألعاب جمباز فضلاً عن الخدمات الملحقة. الجملة الإنشائية المستخدمة فيها هي جملة إطارات من البيتون المسلح، الضلع الخارجي للإطار مائل. جاءت الصالة الجديدة لتتلاءم– قدر الإمكان– مع الصالة القديمة [المرجع إدارة جامعة ليفربول].

بنيت الصالة الرياضية الجديدة بين عامي 2004 و2005، تبلغ أبعادها 37 x 30.5 م، وتحتوي على ثلاثة أقسام: الأول يحتوي على المدخل وبهو الدخول. والثاني عبارة عن صالة أبعادها 18 x 36 م تتسع لأربعة ملاعب ريشة. القسم الثالث مؤلف من طابقين، الطابق الأرضي يحتوي على غرف مشالح وخدمات، والطابق العلوي على صالة العاب اللياقة البدنية بأبعاد 37 x 11 م، ومن هذا القسم يمكن الانتقال إلى الصالة القديمة.

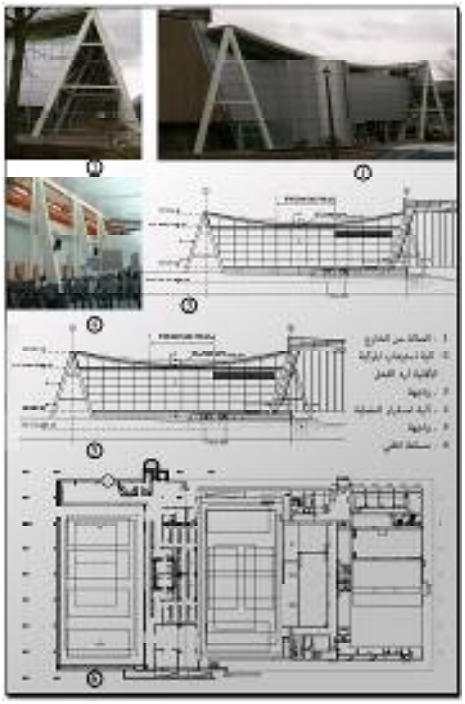
استعملت في تغطية الصالة جملة معلقة مفردة الانحناء، تتألف من 11 جائزاً معدنياً تشكل العناصر الحاملة الرئيسية للتغطية الخطوة بينها 5.5 م، مقطع الجائز بشكل حرف (I) ارتفاعه 20 سم وطوله 33.3 م، يبلغ مقدار تدلي العنصر الحامل الرئيسي 2 م، وبذلك تكون نسبة التدلي للمجاز 0.06.

تم استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل عن طريق نموذجين:):

– الأول: مجموعة من العناصر المعدنية المتراكبة بشكل مثلث متساوي الساقين ارتفاعه 11.8م.

– الثاني: مجموعة من العناصر المعدنية المتراكبة والمتوضعة بشكل مثلث قائم الزاوية يخترقها الإطار الحامل لتغطية الصالة القديمة (الصورة 4 في الشكل 15).

اعتمد لاستقرار التغطية مبدأ العناصر الصلدة فضلاً عن زيادة الوزن الذاتي، فقد أضيف صفان من الأنابيب المعدنية قطر كل منها 4 أنش تصل بين العناصر الحاملة الرئيسية بشكل متعامد، فضلاً عن شبكة قطرية توضعت على طرفي التغطية. وتوضعت فوق العناصر الحاملة الرئيسية طبقة من الصفائح المعدنية المثنية مقطعها شبه منحرف بارتفاع 15 سم تم ملؤها بالحصى لزيادة الوزن الذاتي للتغطية. بلغت نسبة مساحة التغطية إلى مساحة البناء 1.676.



الشكل رقم (15) الصالة الرياضية في جامعة ليفربول

2-4 الصالة 26 في معرض (EXPO-2000) في هانوفر – ألمانيا

يعدُّ السوق التجاري في مدينة هانوفر بألمانيا من أكبر الأسواق الدائمة في العالم. فهو مدينة صغيرة بحد ذاته، مساحتها 2 مليون متر مربع، تحتوي على مجموعة من الصالات المخصصة كصالات عرض فضلاً عن أماكن لوقوف 50 ألف سيارة. صمم المعماري توماس هيرتزوك الصالة رقم 26 عام 1996 التي تعدُّ من أضخم الصالات في الموقع، وقد اعتمد هذا الموقع كمكان لمعرض (EXPO- 2000).

الصالة 26 عبارة عن ثلاث صالات متشابهة ومتصلة مع بعضها بعضاً، أبعاد كل منها 70 x 115 م. وتحتوي كل صالة من الصالات الثلاث، فضلاً عن الفراغ الرئيسي، كتلتين مستطيلتي الشكل تشكلان أجنحة للصالة مخصصة كأماكن خدمة للزوار [المرجع رقم 17].

الملفت للنظر في الصالة 26 الجملة الإنشائية الضخمة المستخدمة في تغطيتها، والتي توحي بالشكل القديم لجملة (أسنان المنشار)، وهي جملة إنشائية معلقة، تتكرر في الصالات الثلاث المكونة للصالة 26. تتألف التغطية من 22 شريحة من المعدن أبعاد كل منها 40 x 300 مم وبطول 72.5م، مكونة العنصر الحامل الأساسي للتغطية. تتوضع الشرائح فيما بينها بخطوة 5.5 م، تعلق وتشد هذه الشرائح من جهتين إلى جائز معدني (المسند المحيطي)، يستند بدوره إلى ستة هياكل معدنية ارتفاع كل منها 29 م من جهة ومن الجهة الثانية على ستة هياكل أخرى ارتفاع كل منها 15.5 م. تتوضع هذه الهياكل بخطوة 16.5م، وترتفع أخفض نقطة من الشرائح المعدنية الحاملة عن أرضية الصالة بمقدار 14 م وبذلك يكون مقدار التدلي 6.6 م.

التغطية عبارة عن صناديق خشبية محشوة بالحصى وفق مبدأ (Sandwich Panel) مثبتة على الشرائح المعدنية، ويصل بينها قطرياً من الأعلى كابلات معدنية رفيعة. وتم تأمين استقرار التغطية وثباتها عن طريق زيادة الوزن الذاتي للتغطية (الحصى الموجود في الصناديق الخشبية) فضلاً عن شدادات مثبتة بأسفل الشرائح المعدنية تصلها بالهياكل المعدنية الجانبية، وذلك فقط بالجهة المرتفعة من التغطية.

استعملت الهياكل المعدنية الجانبية لاستيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل، ولتقوم مقام عناصر الانتقال الشاقولي للتغطية، وهي عبارة عن مجموعة من العوارض المعدنية تشكل حافات لحجم موشوري. يأخذ الحجم الموشوري شكلين: الأول قاعدته مثلث قائم الزاوية وارتفاعه 29 م، والثاني قاعدته مثلث متساوي الساقين وارتفاعه 15.5 م. بلغت نسبة مساحة التغطية إلى مساحة البناء1.091 (انظر الشكل رقم 16).

الشكل رقم (16) الصالة رقم 26 في معرض هانوفر – ألمانيا

3-4 الصالة الرياضية في مدينة البعث – محافظة القنيطرة – سورية

تقع الصالة الرياضية في مدينة البعث وسط هضبة الجولان السورية، درست من قبل الباحث في بداية عام 2006 وهي الآن قيد التنفيذ.

الصالة عبارة عن بناء مستطيل الشكل أبعاده 37 x 63 م، والفراغ الداخلي للصالة مؤلف من قسمين: الأول متوضع على مستويين ويحتوي على المدخل الرئيسي ومبنى إداري وصالة العاب للشطرنج وكرة الطاولة فضلاً عن كافتريا. القسم الثاني ويحتوي على صالة رئيسية، تحتوي على ملعب كرة يد ومدرجات تتسع لـــ 1500 متفرج، فضلاً عن العديد من الصالات التدريبية وغرف الخدمات المتوضعة تحت المدرجات وجزء من الملعب.

الجملة الإنشائية المستعملة في تغطية هذه الصالة هي قشرية معلقة مفردة الانحناء مجازها 74 متراً، تستند من جهتين إلى مسند محيطي من البيتون المسلح مقطعه مثلث الشكل يقع في مستويين مختلفين، يرتكز المسند المحيطي بدوره على 8 دعائم ظفرية منحنية الشكل في كل جهة. يبلغ ارتفاع الدعامات في الجهة الأولى 15 متراً وفي الثانية 10.25م. تتألف القشرية المعلقة من 41 كبلاً معدنياً قطر كلٍ منها 4 سم، تتوضع فوقها قطع من البيتون المسلح المسبق الصنع، ويبلغ مقدار التدلي أو التقوس في القشرية 1.85 م وهو مقدار صغير نسبياً. لتأمين استقرار التغطية استخدم مبدأ القشرية المعلقة. تبلغ نسبة مساحة التغطية إلى مساحة البناء 1.235 (انظر الشكل رقم 17).

الشكل رقم (17) الصالة الرياضية في مدينة البعث – القنيطرة

5. تأثير المتطلبات الإنشائية للجمل المعلقة المفردة الانحناء في الشكل المعماري ومحاولة توظيفها معمارياً

يعدُّ الشكل الهندسي القاعدة الأساسية في استخدام المنشآت المعلقة، وعلى المعماري إعطاء المتطلبات الإنشائية والتقنية الأهمية والتقدير المناسبين. تملك الجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء سلوكاً إنشائياً له تأثير كبير وأساسي في الحل والشكل المعماريين بدرجات متفاوتة، ولتوضيح ذلك سنقوم بدراسة تأثير المتطلبات الإنشائية للجمل المعلقة المفردة الانحناء في التصميم المعماري وعناصره (الوظيفة، الجمال، المتانة والاقتصاد)، وذلك من خلال دراسة 17 مقترحاً (مصنفة في ثلاث مجموعات) لتغطية صالة رياضية أبعادها (36 x 50 م)، استخدم في كل اقتراح نموذج مختلف لاستيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل ووفق المبادئ الواردة في الفقرة (2-3)، ووفق المعطيات

الإنشائية والمعمارية المطبقة في دراسة الصالة الرياضية في مدينة البعث بمحافظة القنيطرة، وقد تمت الاستعانة بالمخبر الإنشائي في جامعة ليفربول في بريطانيا لتحليل عناصر المركبة الأفقية ونوع الإجهادات التي تتعرض لها هذه العناصر وقيمتها وصولاً إلى تحديد مقاطع هذه العناصر. ولسهولة المقارنة اعتمدت مادة البيتون المسلح كمادة بناء لهذه العناصر، والجدول رقم (1) يوضح نوعية الإجهادات وقيمها لكل حالة من الاقتراحات 17.

5 -1 تأثير مقدار تدلي العنصر الحامل الأساسي في التغطية على الشكل المعماري

يؤثر التقوس أو التدلي العنصر الحامل الأساسي في المنشآت المعلقة المفردة الانحناء في الشكل المعماري من خلال الخط المغلف الخارجي للبناء، وعلى المعماري أن يأخذ مقدار التدلي المناسب للعنصر الحامل الأساسي وتحديد أخفض نقطة فيه بما يتوافق مع المتطلبات الإنشائية للجملة المعلقة من جهة، ومع الوظيفة المعمارية وارتفاع الفراغ الداخلي المطلوب للبناء من جهة ثانية، بحيث يوظفه بالشكل المناسب والصحيح. وللمعماري حرية القرار في اختيار هل يتم تثبيت نهايتي العنصر الحامل الأساسي في مستوٍ واحد أو في مستويين مختلفين، لما له من تأثير كبير ومهم في جمال الشكل المعماري للبناء.

إن تثبيت نهايتي العنصر الحامل الأساسي في مستويين مختلفين يقلل من مساحة التغطية مقارنة بتثبيت النهايتين في مستوٍ واحد، ويساعد في استغلال الفراغ الداخلي للبناء نظراً إلى عدم وقوع اخفض نقطة في تدلي العنصر الحامل الأساسي لتغطية في منتصف البناء.

ولكن يبقى تحديد مكان أخفض نقطة في تدلي العنصر الحامل الأساسي متعلقاً بارتفاع كلٍ من منسوبي تثبيت نهايتي العنصر الحامل الأساس. إن تحديد مقدار التقوس أو التدلي ينعكس بشكل أساسي على الكلفة الاقتصادية، وذلك من خلال قيمة قوة الشد في العنصر الحامل الأساسي الذي بدوره ينعكس على المقاطع الإنشائية لكل من المسند المحيطي وعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل.

5-2 تأثير عناصر استقرار التغطية في شكل الفراغ الداخلي المعماري

ينحصر تأثير عناصر استقرار التغطية في الفراغ الداخلي للبناء، وذلك تبعاً للمبدأ المستخدم في استقرار التغطية.

نجد أن في استعمال مبدأ زيادة الوزن الذاتي يكون التأثير في شكل الفراغ الداخلي من خلال ملمس السطح الداخلي للتغطية ولوناً، معدناً كان أم خشباً، وكذلك من خلال سماكة التغطية التي يمكن أن تصل إلى 30 سم، وهذا ما هو موجود في صالتي ليفربول وهانوفر.

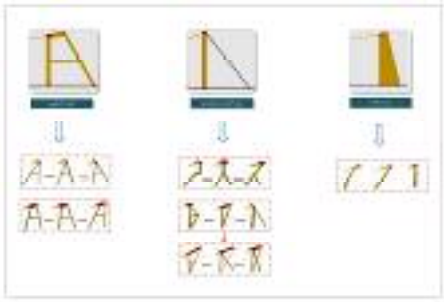
في حالة استعمال مبدأ العناصر الصلدة في استقرار التغطية، يكون التأثير في شكل الفراغ المعماري الداخلي أكبر، لأنه يتجسد بإضافة عناصر في الفراغ المعماري، هذه العناصر تشد وتثبت العنصر الحامل الرئيسي من عدة نقاط إلى عناصر جانبية (صالتا ليفربول وهانوفر).

أما في حالة استعمال مبدأ القشرية المعلقة، فيأخذ السطح الداخلي للقشرية المعلقة شكل البلاطة المعصبة وذلك تبعاً لشكل القطع البيتونية المسبقة الصنع المستخدمة في القشرية. هنا يمكن للمعماري التدخل لاختيار شكل القطع البيتونية المتوضعة على العناصر

الحاملة الرئيسية وتحديدها، وإمكانية إحداث فتحات فيها تستخدم للتهوية والإنارة الطبيعية (صالة البعث).

3-5 تأثير عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل في الحل المعماري

يعدُّ متطلب استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل في الجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء من أكثر المتطلبات الإنشائية تأثيراً في الشكل المعماري، فهو يحدد شكل الخط المغلف الخارجي للبناء، وفي الوقت نفسه يحدد مساحة التغطية، ويبقى التأثير الأهم هو الحجم والمساحة التي تأخذها هذه العناصر من مساحة وحجم البناء. وهنا يبرز دور المعماري في اختيار المبدأ المناسب لاستيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل وإمكانية توظيفه والاستفادة منه معمارياً إلى أقصى حد (انظر الشكل رقم 18).



الشكل رقم (18) نماذج مقترحة لأشكال استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل

تؤثر عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل في شكل البناء من خلال:

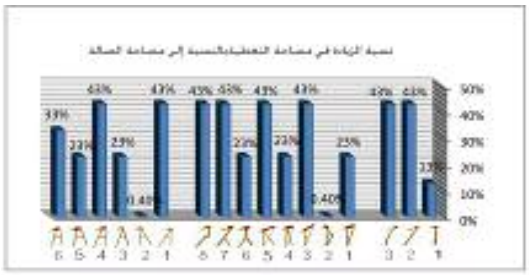
أ ــ حجم الفراغ الذي تأخذه عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل من حجم فراغ البناء:

تأخذ عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل من خلال توضعها وتكرارها على جانبي البناء حجماً لا يستهان به من حجم فراغ البناء، يصل في بعض الأشكال إلى 35% من الحجم الكلي للبناء. (انظر الشكل رقم 19)، ففي أشكال المجموعة الأولى من عناصر استيعاب المركبة الأفقية تتراوح نسبة حجم الفراغ الذي تشغله هذه العناصر من الحجم الكلي للبناء بين 8% و 20%، وفي المجموعة الثانية بين 10% و 28%، وفي أشكال المجموعة الثالثة بين 21% و 35% من الحجم الكلي للبناء.

الشكل رقم(19)

ب ــ الزيادة في مساحة التغطية:

يؤدي التقوس في القشريات المعلقة إلى ازدياد مساحة التغطية عن مساحة أرضية الصالة بمقدار 4%، وتزداد هذه النسبة تبعاً لشكل استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل فهي تتراوح بين 13% – 43%.(انظر الشكل رقم 20).



الشكل رقم(20)

ت ــ الزيادة في مساحة البناء:

تشكل عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل زيادة في مساحة البناء تصل إلى 40% من مساحة البناء. ففي حال استخدام المجموعة الأولى لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل تصل إلى 20% وتتراوح بين 20 -40 % في عناصر المجموعة الثانية وتصل إلى 40% في المجموعة الثالثة.

ث ــ الكلفة الاقتصادية لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل:

ترتبط الكلفة الاقتصادية لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل في التغطيات المعلقة المفردة الانحناء بشكل أساسي بكمية المواد المستهلكة فيها التي تتأثر بدورها بنوعية وقيمة الإجهادات التي تتعرض لها هذه العناصر. فمن خلال التحليل الإنشائي لهذه العناصر في الاقتراحات الـ 17 (المصنفة ضمن ثلاث مجموعات)، نجد أن عناصر استيعاب المركبة الأفقية تتعرض لإجهادات متنوعة، منها عزوم انعطاف وقوى محورية (شد وضغط). فكلما كانت قيم الإجهادات المحورية أكبر من قيم اجهادات عزوم الانعطاف كانت المقاطع الإنشائية لهذه العناصر اصغر ومن ثَمَّ ينعكس ذلك على كلفة هذه العناصر.

يوضح الجدول رقم (2) كمية البيتون المسلح المستهلكة في عناصر التغطيات المعلقة (التغطية وعناصر استيعاب المركبة الأفقية) وفق الاقتراحات الـ 17. فنرى أن متراً مربعاً واحداً من مساحة البناء الذي تستخدم فيه المجموعة الأولى من عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل يستهلك 1.25 – 1.6 $م^3$ من البيتون المسلح، ومع الزيادة في مساحة الصالة التي يفرضها شكل استيعاب المركبة الأفقية تصبح 1 – 1.3 $م^3 / م^2$ (وسطياً 1.15 $م^3 / م^2$)، وفي المجموعة الثانية على التوالي :1- 1.45 $م^3 / م^2$ (وسطياً 1.225 $م^3 / م^2$)، 0.7 – 1.2 $م^3 / م^2$ (وسطياً 0.95 $م^3 / م^2$)، في المجموعة الثالثة على التوالي : 0.8 -1 $م^3 / م^2$ (وسطياً 0.9$م^3 / م^2$) ، 0.6 – 0.75 $م^3 / م^2$ (وسطياً 0.675 $م^3 / م^2$).

تشكل أساسات عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الغعل الجزء الأكبر من مجموع كلفة هذه العناصر، كون كمية البيتون المسلح التي تستهلكها أكبر من كمية البيتون المستهلك في هيكل البناء. فتعرض الأساسات بدورها إلى إجهادات متنوعة مثل بقية عناصر استيعاب المركبة الأفقية، فالأساسات في المجموعة الأولى جميعها تتعرض لعزوم انعطاف، أما في المجموعة الثانية فبعض النماذج فيها تتعرض إلى عزوم انعطاف فضلاً عن إجهادات شد مثل أساسات النماذج 4-5-6-7، التي تشكل الأساسات المعرضة لإجهادات الشد فيها وسطياً 83% من حجم أساسات العناصر، وبعض أساسات النماذج في هذه المجموعة تتعرض إلى عزوم انعطاف. في المجموعة الثالثة الإجهاد الأساسي في أساساتها هو الشد والضغط فضلاً عن عزوم الانعطاف، وتشكل الأساسات المعرضة للشد فيها وسطياً 83% من حجم أساسات العناصر.

إن حجم أساسات العناصر المعرضة لقوى الشد أكبر من التي تتعرض لعزوم انعطاف وقوى ضغط، لأنها تقاوم قوة الشد عن طريق وزنها، وذلك منعاً لاقتلاعها، ومن ثَمَّ يمكن تشكيل هذه الأساسات عن طريق تثقيل وزنها باستخدام البيتون المغموس، ويمكن الاستفادة من قوة احتكاك الأساس مع التربة لتخفيف من حجم الأساسات ولاسيَّما في حالة التربة القاسية أو الصخرية.

5 -4 إمكانية التوظيف المعماري لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل

إن الكلفة الاقتصادية الكبيرة لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل يدفعنا إلى التفكير الجدي بضرورة توظيف هذه العناصر معمارياً وبيئياً لما لهذه العناصر من تأثير كبير في الشكل المعماري والكلفة الاقتصادية للبناء، ويأتي هذا التوظيف في الاستفادة من عناصر المركبة في تأمين إنارة وتهوية للفراغ الداخلي فضلاً

عن الاستفادة منها كفراغات يمكن توظيفها كمستودعات أو غرف ملحقة بالبناء. الجدول رقم (3) يوضح إمكانية الاستفادة معمارياً من عناصر المركبة الأفقية في الجملة الإنشائية المعلقة .

يمكن الاستفادة من الفراغات بين الدعامات (نماذج المجموعة الأولى لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل) في التهوية والإنارة، ومن الدعامات القوسية والمائلة فيها كعناصر استناد إلى المدرجات (النموذجان 2، 3 في المجموعة الأولى).

ومن نماذج المجموعة الثانية يمكن الاستفادة من الفراغات بين العناصر كغرف إضافية ومستودعات إما على منسوب واحد أو على منسوبين، بحسب العناصر المشكلة لاستيعاب المركبة الأفقية، ونستفيد من الأضلاع المائلة في بعض الأشكال كعناصر استناد للمدرجات (النموذجان 6، 7).

أمَّا من نماذج المجموعة الثالثة ذات الأشكال الإطارية، فيمكن الاستفادة معمارياً عن طريق تجزئة فراغها الداخلي إلى مستويين، فتتم الاستفادة من المستوى العلوي كغرف والسفلي كمستودعات، أو عن طريق الاستفادة من الإطارات ذات الضلع المائل كعناصر استناد إلى المدرجات (النموذج 1).

6. النتائج والتوصيات

1- تملك الجمل الإنشائية المعلقة المفردة الانحناء سلوكاً إنشائياً له تأثير كبير وأساسي في الحل والشكل المعماريين بدرجات متفاوتة من خلال متطلباتها الإنشائية وفق ما يأتي:

- يؤثر تدلي العنصر الحامل الأساسي في التغطية على الشكل والخط المغلف الخارجي للبناء.
- يؤثر مبدأ استقرار وثبات التغطية في الشكل الداخلي للفراغ.
- تؤثر متطلبات استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل في كلٍ من الشكلين الخارجي والداخلي للبناء.

2- تعدُّ عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل في التغطيات المعلقة المفردة الانحناء من أكثر المتطلبات الإنشائية تأثيراً في الشكل والحل المعماريين من حيث:

- الحجم الذي تأخذه هذه العناصر من حجم البناء. ففي نماذج المجموعة الأولى يصل إلى 20% و في الثانية إلى 28%، وفي الثالثة إلى 35%.
- الزيادة في مساحة البناء تصل في نماذج المجموعة الأولى إلى 20% والثالثة إلى 40%.
- الزيادة في مساحة التغطية تصل في بعض النماذج إلى 43%.

3- ترتبط الكلفة الاقتصادية لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل في التغطيات المعلقة المفردة الانحناء بشكل أساسي بكمية المواد المستهلكة فيها، وتشكل كمية البيتون المسلح المستهلك في عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل الجزء الأكبر من الكمية الإجمالية في البناء، فتصل وسطياً في نماذج المجموعة الأولى والثانية إلى 88%، والثالثة إلى 85%.

4- تأخذ أساسات عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل بحجمها الكبير الحصة الكبرى من استهلاك البيتون التي تصل وسطياً إلى 74% في نماذج المجموعة الأولى، و71% في الثانية، و72% في نماذج المجموعة الثالثة من حجم البيتون المستعملة في عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل. ويبقى السعي لاستعمال العناصر التي يكون جزء من أساساتها يعمل على الشد هو الأقل كلفة مثل نماذج المجموعة الثالثة وبعض نماذج المجموعة الثانية.

5- وفق الاقتراحات الـ17 لنماذج استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل نرى أن متراً مربعاً واحداً من مساحة البناء الذي تستعمل فيه نماذج المجموعة الأولى من عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل

يستهلك 1.15 م^3 من البيتون المسلح، وفي المجموعة الثانية 0.95 م^3 ، وفي المجموعة الثالثة 0.675 م^3. بالنتيجة نرى أن نماذج المجموعة الثالثة هي الأكثر اقتصادية.

6– إن الكلفة الاقتصادية الكبيرة لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل يدفعنا إلى التفكير الجدي بضرورة توظيف هذه العناصر معمارياً وبيئياً، من خلال تأمين إنارة وتهوية للفراغ الداخلي فضلاً عن الاستفادة من الفراغات التي تحصرها فيما بينها كمستودعات أو غرف ملحقة بالبناء. وتعدُّ نماذج المجموعة الثالثة ذات الأشكال الإطارية هي المناسبة لتحقيق مثل هذا التوظيف. وعلى المعماري اختيار الحل الأنسب لاستيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل بما يتناسب والكلفة الاقتصادية وإمكانية التوظيف المعماري.

– مساحة الصالة: هي مساحة أرضية الصالة فقط دون المساحة الإضافية الناتجة عن جملة مقاومة المركبة الأفقية.

– مساحة التغطية: هي مساحة السطح المنحنى الذي يغطي البناء.

– حجم الصالة: هو حجم الفراغ الذي تشغله الصالة بالكامل.

– حجم جملة مقاومة المركبة الأفقية: هو الحيز الذي تشغله عناصر جملة مقاومة المركبة الأفقية من فراغ الصالة.

الجدول رقم (1) التحليل الإنشائي لعناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل

الجدول رقم (2) كمية مواد البناء المستهلكة في التغطية وعناصرها

الجدول رقم (3) إمكانية توظيف عناصر استيعاب المركبة الأفقية لرد الفعل

7. المراجع

1- Administration Building in Nagoya, Detail,7/8-2004.

2- Blanc A. and Mc Evoy M, Architecture and Construction in Steel, Spoon, London-1993

Brandl S, the Millennium Hall in London,

3-Detail, 06-1998.

4- Burkhardt B, History of Tent Construction, Detail, 06-2000.

- Drew Ph, Tensile Architecture, Granada

5publishing, London-1979.

- Furche A, Hybrid Roof Structures, Detail, 67/8-2004.

7- Harris J. B. and Pui-kli K, Masted Structures in Architecture, Butterworth Architecture, London 1996.

8- Lewis W. J, Tension Structures – Form and Behavior, Thomas Telford, London-2003.

9- Muncipal Works Yard in Hohenems, Detail, 05-2001.

10- Otto Frei, Tensile Structures, Cambridge-1967.

International Airport, Architectural Record,

11- Rimm A. Y, San Diego 07-2000.

12- Robbin T, Engineering a New Architecture, Yale university Press, London-1996.

13- Salvadori M, Structure in Architecture, Englewood, New Jersey-1986.

14- Salvadori M, Why Buildings Stand up, Norton, London-1980.

15- Schlaich J. and Bergermann R, Light Structures, Prestl, Berlin-2003.

16- Schodek D. L, Structures, Pearson Education, New Jersey-2004.

17- Slessor C, Eco- Tech Sustainable Architecture and High Technology,Thames, London-2001.

18- Snoonian D, P.E, David L. Lawrence Convention Center in Pittsburgh, Architectural Record, 07-2000.

Кирсанов Н.М. Висячие и винтовые

19 - конструкции. М.1981

مرجعية الأشكال

رقم الشكل أو الجدول	المصدر
1	عمل الباحث
2	- Drew Ph, Tensile Architecture, Granada publishing, London-1979.
3	- Drew Ph, Tensile Architecture, Granada publishing, London-1979.
4	www.Google.com
5	تصوير الباحث
6	تصوير الباحث
7	تصوير الباحث
8	Кирсанов Н.М. Висячие и винтовые –конструкции. М.1981
9	عمل الباحث
10	www.Google.com – تصوير الباحث
11	Кирсанов Н.М. Висячие и –تصوير الباحث – винтовые конструкции. М.1981
12	Кирсанов Н.М. Висячие и винтовые –конструкции. М.1981
13	تصوير الباحث
14	عمل الباحث
15	تصوير الباحث – المخططات مصدرها إدارة جامعة ليفربول
16	Slessor C, Eco- Tech Sustainable Architecture and High Technology, Thames, London-2001
17	عمل الباحث
18	عمل الباحث
19	عمل الباحث
20	عمل الباحث
الجدول رقم 1	عمل الباحث
الجدول رقم 2	عمل الباحث
الجدول رقم 3	عمل الباحث

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2009/11/3.