الموضوع: الجمل الإنشائية المعلقة والمشدودة

إعداد :غيث صابر مطر السبهاني

تدقيق علمي :

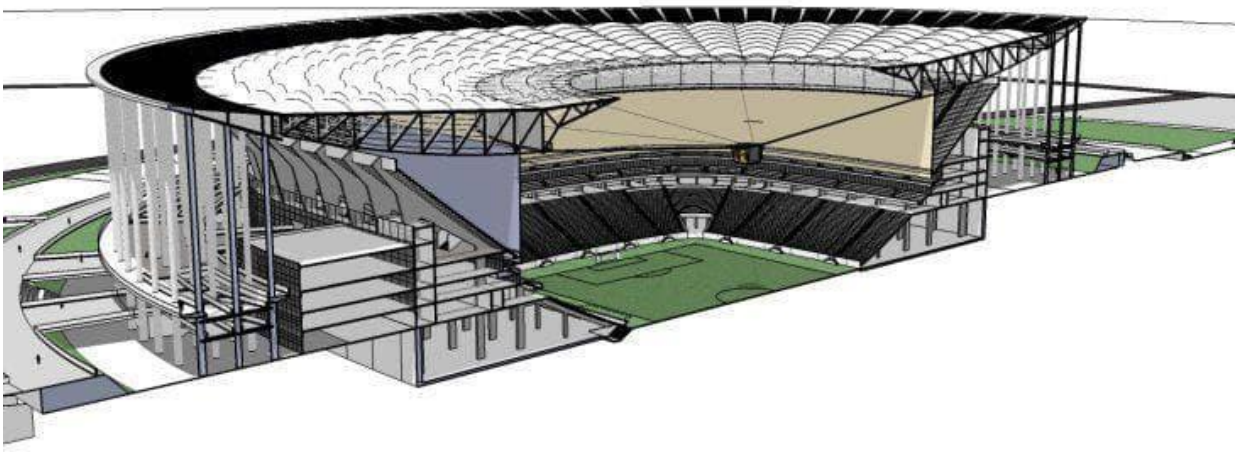
تدقيق لغوي :

الفريق :

المشرف :

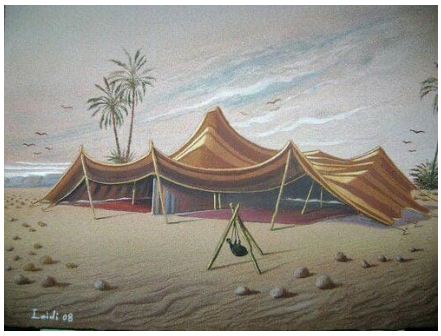
تاريخ التسليم :24.01.2022

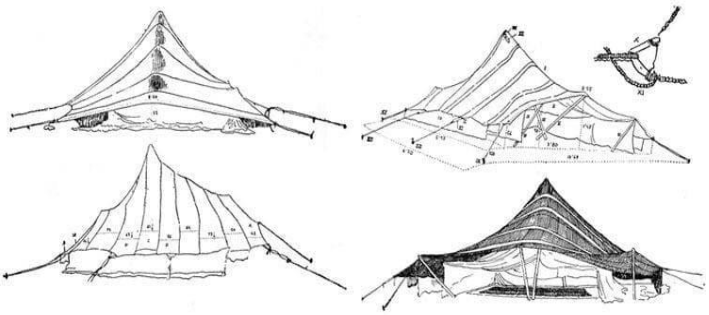
الجمل الإنشائية المعلقة والمشدودة



التطور التاريخي لاستخدام الجمل الإنشائية المعلقة:

استعمل الانسان منذ العصور القديمة بما يعرف اليوم بالمنشئات المعلقة بإشكال مختلفة مثل الخيمة والجسور المعلقة. فاستعمل الخيمة كسكن متنقل منذ ان عرف حياة الرعي ويظهر التاريخ استخدام الخيمة في الحضارتين الاشورية والفرعونية التي تعوود للألاف الأولى قبل الميلاد واستعمل الأنسان الجسور المعلقة للتنقل في الأماكن الجبلية وعبر الأنهار.





مقدمة:

عد معماريو القرن العشرين أن استخدام الجمل الإنشائية المعلقة هي من ميزات الحداثة، وانهم 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 الانشائية المعلقة انتباه العديد من المعماريين والانشائيين ولاسيما في النصف الثاني من القرن العشرين فقدموا أعمالا متميزة تركت انطباعا قويا عن القدرة والامكانيات الكامنة في هذه الجمل التي استطاع المعماري بتعاونه مع الانشائي تجسيدها في أحسن حال.

هيكل الشد هو المصطلح الذي يستخدم عادة للإشارة إلى بناء الأسقف باستخدام غشاء مثبت في مكانه على الكابلات الفولاذية. وتتمثل خصائصها الرئيسية في الطريقة التي تعمل بها تحت ضغط الشد، وسهولة تصنيعها المسبق، وقدرتها على تغطية مساحات كبيرة ، وقابليتها للتطويع. يستدعي هذا النظام الهيكلي كمية صغيرة من المواد بفضل استخدام الأقمشة الرقيقة، والتي عند شدها باستخدام أسلاك فولاذية، تخلق أسطحًا قادرة على التغلب على القوى المفروضة عليها.

عناصر الجملة الإنشائية المعلقة

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 او البيتيون المسلح ويأخذ عدة اشكال تبعا لشكل التغطية فمنها على شكل جائز مستمر او قوس او حلقة.

3-عناصر الاسناد الشاقولي: وهي العناصر التي يرتكز عليها المسند المحيطي مهمتها نقل الحمولات من المسند الى الأساسات وتكون على شكل أعمدة او دعامات وفي بعض الحالات يؤدي المسند المحيطي مهمة عناصر الانتقال الشاقولي وذلك عندما يأخذ المسند شكل منحنى قوسيا.

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

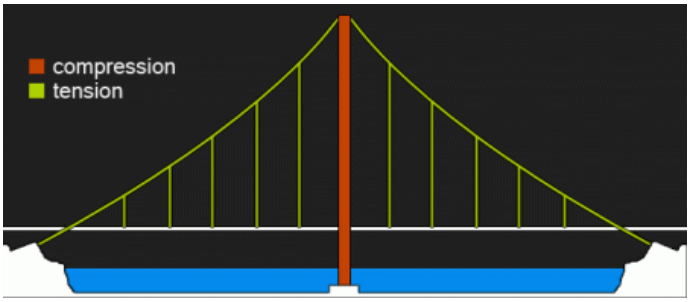
5-طبقات التغطية: وهي الطبقات التي توضع فوق العناصر الحاملة الرئيسية مهمتها تغليف الفراغ الداخلي وحمايته من العوامل الجوية وتكون على شكل صفائح معدنية (Sandwich Panel) او بلاطات بيتونية مسلحة مسبقة الصنع وفي حالة كون العنصر الحامل الرئيسي عبارة عن رقائق او صفائح تشكل هذه الرقائق طبقة التغطية ويضاف اليها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

أنواع الجمل الانشائية المعلقة

يتم تصنيف الهياكل الانشائية المعلقة على المستوى الذي تعمل فيه قوى الشد في الهيكل. على هذا الأساس، يتم تقسيم هيكل الشد إلى الأنواع التالية.

1-هياكل الشد الخطية (Linear Tensile Structures)

هياكل الشد الخطي هي الهيكل الذي يكون فيه كل الأعضاء في قوى الشد خطية. يتم دعم هذه الأعضاء الخطية بواسطة أعضاء الضغط، ولكن يتم تنفيذ الأحمال الرئيسية بواسطة أعضاء الشد. مثال شائع على هذه الهياكل هو الجسور المعلقة بالكابلات. تعمل الأعمدة الرئيسية كأعضاء ضغط، لكن الحمل بأكمله يتم بواسطة الكابلات المشدودة.

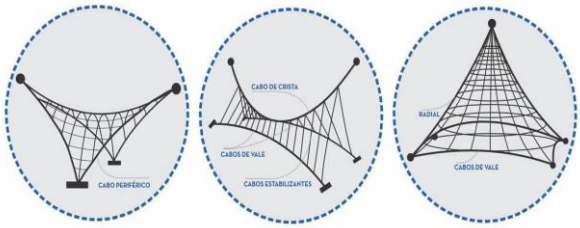


يتم تصنيف هياكل الشد الخطي إلى الأنواع التالية،

- الجسور المعلقة
- كابلات ملفوفة
- عوارض أو دعامات مثبتة بالكابلات
- دعامات الكابلات
- كابلات شد مستقيمة

2-هياكل الشد ثلاثية الأبعاد (Three-dimensional Tensile Structures)

هياكل الشد ثلاثية الأبعاد، هي مجموعة من العناصر المشدودة بشكل أساسي، مع نقل الضغط إلى حمل مركزي ثم نقله إلى أسفل إلى الأرض. يمكن رؤية الحدوث الأكثر شيوعًا للشد ثلاثي الأبعاد في الساحات الرياضية وعادة ما يكون بمثابة أسطح لهذه الهياكل.

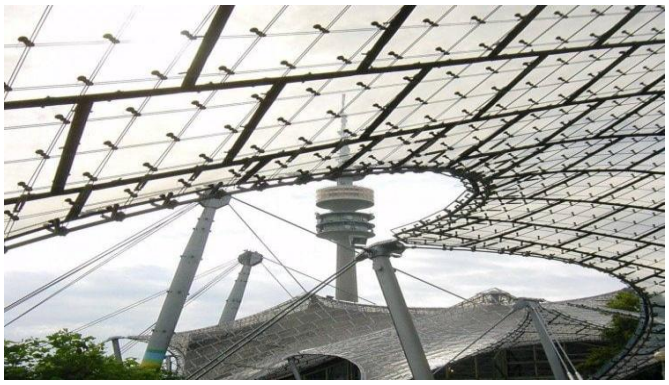


يتم تصنيف هياكل الشد ثلاثية الأبعاد إلى الأنواع التالية،

- عجلة دراجة (يمكن أن تستخدم كسقف في اتجاه أفقي)
- دعامات الكابلات ثلاثية الأبعاد
- هياكل الشد

3-هياكل الشد سطحية الإجهاد(Surface-Stressed Tensile Structures)

هياكل الشد المجهدة بالسطح هي مماثلة لهياكل الشد الموضحة سابقا، لكن أعضاء السطح عبارة عن أعضاء تحمل القوى. هياكل الشد النسيجية هي أمثلة رائعة على هياكل الشد المجهدة بالسطح، حيث تحمل الأعمدة الرأسية نسيجًا خاصًا في حالة الشد.



يتم تصنيف هياكل الشد السطحي إلى الأنواع التالية،

- هيكل النسيج
- أغشية الإجهاد
- أغشية مضغوطة هوائيًا
- الصدف الشبكي او الهيكل الشبكي (Grid shell)

مزايا وعيوب الجمل الإنشائية المعلقة

المزايا

1-ملاذ امن للظروف الطبيعية (شمس، مطر، رياح).

2-خفيفة الوزن ومتانة عالية وذات مرونة كبيرة.

3-تصميمات فريدة وإمكانيات انشاء اشكال لا نهاية لها ويغطي مساحات شاسعة.

4-وقت بناء قصير، ويمكن تصنيع الهيكل خارج الموقع.

5-قابلية إعادة التدوير وصديق للبيئة.

6-القدرة على التكيف مع تقنيات البناء المثيرة (الفولاذ والزجاج والاسمنت والحجر).

7-سهولة الصيانة والإصلاح والاستبدال.

العيوب

1-صلابة قليلة او معدومة.

2- فقدان الشد يشكل خطورة على استقرار المنشئ.

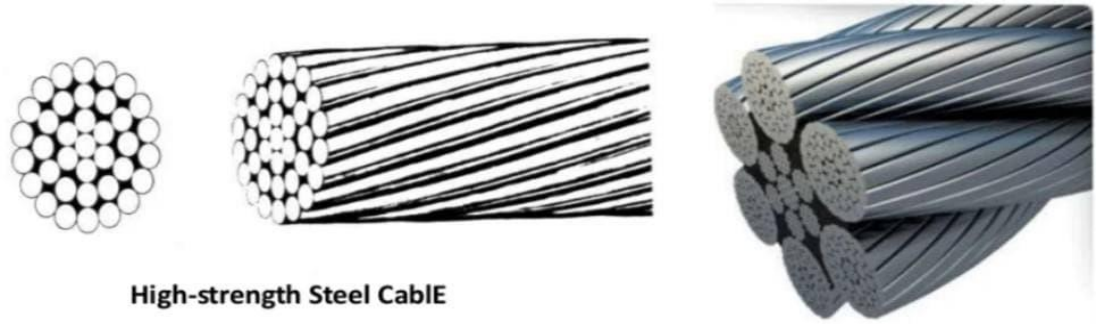
3- يتأثر بالظروف الجوية كالحرارة.

استخدامات الجمل الإنشائية المعلقة

تُستخدم هياكل الشد في الغالب في أغطية المراكز الرياضية والساحات والمنشآت الصناعية والزراعية، وهي تستند إلى الأنظمة القديمة المستخدمة خلال الإمبراطورية الرومانية. ومع ذلك، من الفترة الرومانية حتى منتصف القرن العشرين، بسبب انخفاض الطلب وسهولة الاستخدام ونقص مصنعي الكابلات والأغطية والوصلات القادرة على مقاومة القوى المتولدة، كان هناك القليل من التقدم التكنولوجي. لم تتمكن التطورات الجديدة من تلبية الاحتياجات الجوهرية لنظام البناء هذا إلا بعد الثورة الصناعية وبدء عصر الفوردية. شجعت التكلفة المنخفضة للإنتاج الضخم والطلب على الأنظمة القادرة على التكيف مع التضاريس الأكثر تنوعًا ذات المساحات الكبيرة، مثل خيام السيرك على سبيل المثال، على تطوير هذه التقنية.

تم حل عدم الاستقرار الناجم عن النماذج السابقة من خلال استخدام الكابلات المتشابكة والأغطية الخفيفة جدًا، مما أدى إلى عيوب هيكلية، خلال منتصف القرن الماضي. تم ذلك بفضل نظام الكابلات الفولاذية والأغشية الليفية بدرجة عالية من القوة، جنبًا إلى جنب مع طبقات من الطلاء المقاوم للماء، مما يوفر الحماية من الأشعة فوق البنفسجية والفطريات والحرائق، ويسمح بقدر أكبر أو أقل من الشفافية والانعكاس.

لم يكن هذا التقدم ممكنًا إلا بفضل الدراسات الفيزيائية الهيكلية التي بدأها المهندس المعماري والمهندس الألماني فراي أوتو ، الذي أجرى منذ الخمسينيات الدراسات العلمية الأولى وأول أعمال التسقيف باستخدام الكابلات الفولاذية المشدودة جنبًا إلى جنب مع الأغشية.



هناك ثلاث تصنيفات رئيسية مختلفة في مجال أنظمة البناء الشد: الهياكل الغشائية المشدودة، والشبكات المشدودة، والهياكل الهوائية. الأول يتعلق بالهياكل التي يتم فيها تثبيت الغشاء بواسطة الكابلات، مما يسمح بتوزيع ضغوط الشد من خلال شكله الخاص. الحالة الثانية تتوافق مع الهياكل التي تحمل فيها شبكة من الكابلات القوى الجوهرية، وتنقلها إلى عناصر منفصلة، على سبيل المثال، ألواح من الزجاج أو الخشب. في الحالة الثالثة، يتم دعم الغشاء الواقي عن طريق ضغط الهواء.

من الناحية الهيكلية، يتم إضفاء الطابع الرسمي على النظام من خلال الجمع بين ثلاثة عناصر: الأغشية والهياكل الصلبة مثل العمود والصواري والكابلات.

تتميز أغشية ألياف البوليستر المطلية بـ PVC بسهولة أكبر في إنتاج المصنع وتركيبه؛ أقل تكلفة؛ ومتانة متوسطة - حوالي 10 سنوات.

تتمتع أغشية الألياف الزجاجية المطلية بـ PTFE بمتانة فائقة - حوالي 30 عامًا؛ ومقاومة أكبر للعوامل الجوية (الشمس والمطر والرياح)؛ ومع ذلك، فهي تتطلب عمالة ماهرة.

يوجد في هذا النظام نوعان من الدعم: مباشر وغير مباشر. الدعامات المباشرة هي تلك التي يتم فيها ترتيب .البناء مباشرة على بقية هيكل المبنى، بينما يتم ترتيب الحالة الثانية من نقطة مرتفعة مثل الصاري.

يتم تصنيف الكابلات ، المسؤولة عن توزيع ضغوط الشد وتصلب الألواح ، بإحدى طريقتين وفقًا للإجراء الذي تؤديه: الحمل والتثبيت. يتقاطع كلا النوعين من الكابلات بشكل متعامد، مما يضمن القوة في اتجاهين وتجنب التشوهات. الكابلات الحاملة هي تلك التي تستقبل الأحمال الخارجية مباشرة، ويتم تثبيتها في أعلى النقاط. من ناحية أخرى، فإن كابلات التثبيت مسؤولة عن تقوية الكابلات الحاملة وعبور الكابلات الحاملة بشكل متعامد. .من الممكن تجنب توصيل كابلات التثبيت بالأرض باستخدام كابل التثبيت المحيطي

علاوة على ذلك ، يتم إنشاء بعض التسميات للكابلات المختلفة وفقًا لموضعها: يشير كابل خط التلال إلى الكبل العلوي ؛ بينما كابلات الوادي مثبتة أسفل جميع الكابلات الأخرى ؛ الكابلات الشعاعية هي كبلات موازنة على شكل حلقة. تدعم كابلات Ridge-line أحمال الجاذبية بينما تدعم كابلات الوادي أحمال الرياح.

امثلة على الجمل الإنشائية المعلقة

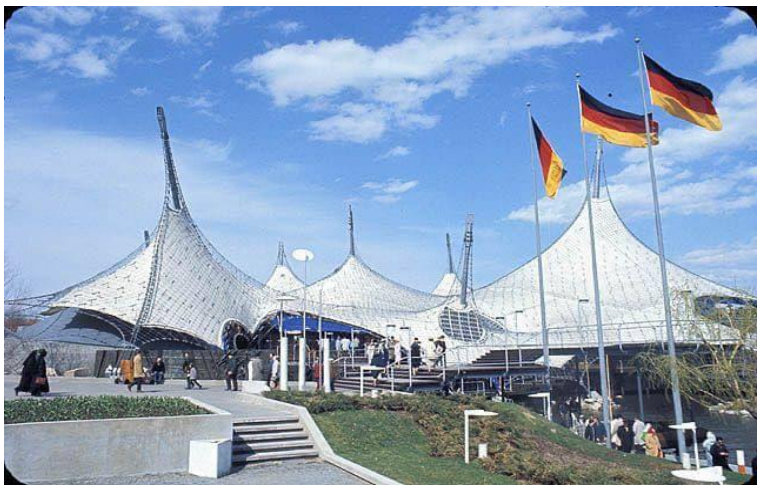
ملعب ميونخ الأولمبي(Munich Olympic Stadium)

مع القمم والوديان التي تعكس جبال الألب القريبة، كانت المظلة الشاسعة لملعب ميونيخ الأولمبي معلمًا محليًا منذ افتتاح دورة الألعاب الأولمبية عام 1972 التي صُمم من أجلها. بهدف تقديم وجه جديد لألمانيا ما بعد الحرب، كان من المفترض أن يقف الملعب في وئام مع محيطه - ويتميز بطابعه الحداثي اللافت للنظر. على الرغم من هذه النوايا المتواضعة، إلا أن الجدل أحاط بالمشروع منذ بدايته، والذي تركز على التكاليف الباهظة، وتآكل التراث المحلي، والشبح الكئيب للماضي القريب للبلد.

تم ربط 436 كيلومترًا (271 ميلًا) من الكابلات الفولاذية بين ثمانية وخمسين برجًا من الصلب المصبوب، مما يدعم مظلة متعرجة مكونة من ثمانية آلاف لوح زجاجي. غطى الهيكل الهائل في النهاية ما يقرب من 75000 متر مربع (807293 قدمًا مربعًا)، مما يجعله أكثر مشاريع البناء طموحًا التي شهدتها ألمانيا الغربية على الإطلاق.

الجناح الألماني في إكسبو 67(German Pavilion at Expo 67)

استحوذ التعقيد الطبوغرافي للجناح - منظر شامل لمنحنيات القطع المكافئ - على الجمال الجوهري للعلاقات الرياضية والفيزيائية الطبيعية. تم إنشاؤه ببساطة عن طريق الاتصال بين نقاط التعليق والمثبتات، يعكس الشكل القوة غير المشوهة على نسيج المواد مع الحد الأدنى من التداخل الاصطناعي. وشبّه أحد المراسلين في المعرض التأثير ببساطة "ملاءة بيضاء ضيقة ملفوفة فوق أعمدة الخيمة". ضمن هذه الإيماءة الغريبة، كانت المكائد المحسوبة للمهندس الرئيسي واضحة تمامًا. تم بناء المظلة نفسها من شبكة كبلية فولاذية مسبقة الإجهاد مغطاة بغشاء شفاف من البوليستر. في عدة نقاط داخل محيط الجناح، انخفض سطح الخيمة إلى الأرض في تجاويف مثيرة تشبه القمع، فقط لترتفع مرة أخرى إلى الارتفاع المرتفع للصواري. كان نظام المهندس اوتو معقدًا من الناحية التكنولوجية ولكنه بسيط من الناحية المفاهيمية، ومحسوبًا بعناية ولكنه متحرك من خلال عدم الانتظام والحرية التركيبية للتعبير غير المقيد.



كان الجناح أكثر من مجرد خيمة كبيرة - أكثر الهياكل بدائية للبشرية - ولكن كان يتمتع بجمال في حركاته لم يتمكن الرجل من تحقيقه، على الرغم من كل أجهزته واختراعاته الرائعة..

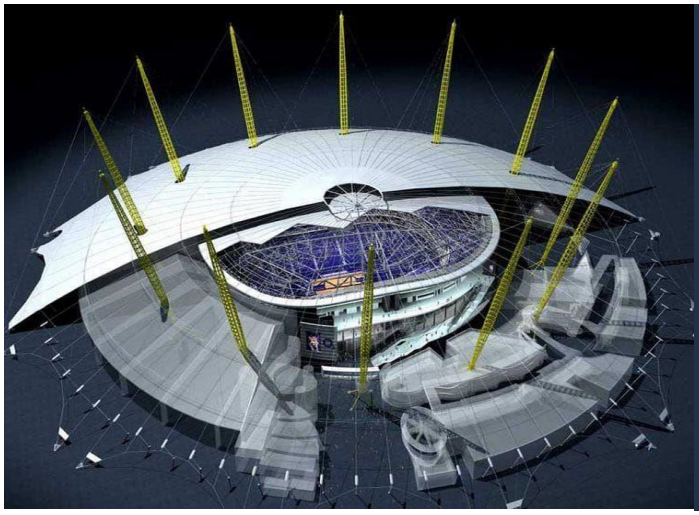
في خضم التشبع الحالي للأشكال المُنتَجة رقميًا أكثر بكثير من الجناح الألماني، وبالتالي مع الهياكل الأكثر تعقيدًا، ربما يكون من الصعب تقدير الحدود الرسمية التي فتحتها أعمال أوتو أو الإنجازات الهندسية التي حققها في مونتريال في وقت ما قبل أجهزة الكمبيوتر.

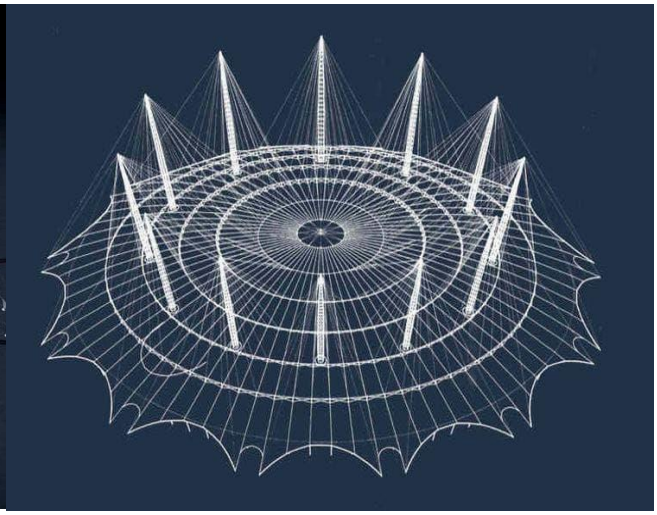
قبة الألفية(Millennium Dome)

في عام 1994، مع اقتراب الألفية الثالثة بسرعة، أعلن البريطانيون عن مهرجان وطني للاحتفال بعام 2000. وسط شعور جديد بالتفاؤل، سيأخذ المهرجان الذي استمر لمدة عام، والذي أصبح يعرف باسم تجربة الألفية، شكل معرض الاحتفال بـ "من نحن وماذا نفعل وأين نعيش".

في إنجاز غير عادي من الهندسة المعمارية والهندسة، تم تسريع القبة الشاسعة، التي يبلغ حجم مظلتها 2.2 مليون متر مكعب، من تصميم المفهوم الأولي إلى القمة في غضون عامين فقط.

يتميز تصميم القبة بدائرة مكونة من اثني عشر صاريًا من الصلب، بارتفاع مائة متر، والتي تدعم شبكة من الكابلات عالية الشد. يتم تغطية السبعين كيلومترًا من الكابلات بمظلة من قماش PTFE الأبيض بسمك واحد مليمتر واحد فقط، مع بطانة داخلية لامتصاص الصوت والتكثيف. مواصفات القبة مذهلة: محيطها كيلومتر واحد، وارتفاعها خمسون متراً في ذروتها، وتغطي مساحة ثمانين ألف متر مربع. تماشيًا مع الروح الاحتفالية للمعرض الذي أقامته، كان الهدف من الهندسة المعمارية للقبة نقل شعور بالتفاؤل بشأن الألفية الجديدة.





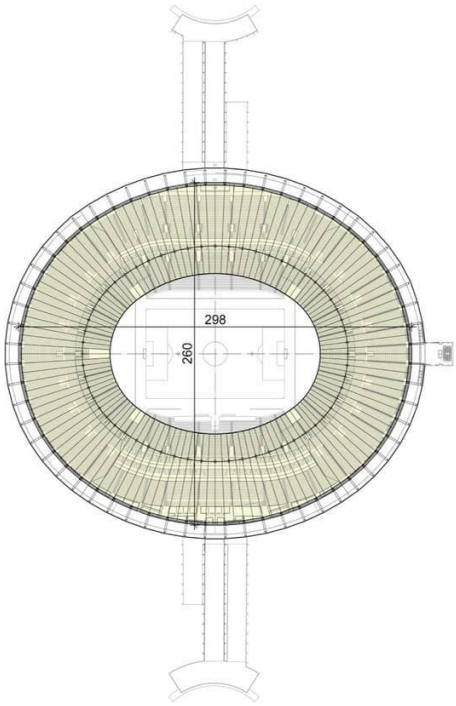
محطة دنفر يونيون (Denver Union Station)

تعد محطة Union Station التاريخية في دنفر إحدى روائع الفنون الجميلة التي تقع على حافة المنطقة التجارية المركزية بالمدينة. تم تكليف SOM بتوسيع هذه المحطة وتحويلها إلى مركز نقل إقليمي رئيسي. للقيام بذلك، قامت الشركة بتحويل 20 فدانًا من ساحات السكك الحديدية السابقة إلى منطقة عبور حضرية تنظم السكك الحديدية الخفيفة والسكك الحديدية للركاب والسكك الحديدية بين المدن وخطوط الدراجات والحافلات ومسارات المشاة إلى مركز متعدد الوسائط بديهي.

النقطة المحورية بين هذه العناصر الجديدة هي قاعة القطار في الهواء الطلق، والتي تم تصورها كوسيلة فعالة ومعبرة رسميًا لإيواء مسارات السكك الحديدية المتعددة. يتألف نظامها الهيكلي الأساسي من 11 "دعامات قوسية" فولاذية تمتد على ما يقرب من 180 قدمًا، مغطاة بنسيج PTFE المشدود. في الملف الشخصي، ترتفع المظلة 70 قدمًا في أي من طرفيها وتنخفض في اكتساح ديناميكي إلى 22 قدمًا في المركز، وهي لفتة تسمح للهيكل بحماية منصات الركاب أدناه، مع البقاء بعيدًا عن ممر الرؤية الذي تم إنشاؤه لحماية مناظر محطة تاريخية.

الجمل الإنشائية المعلقة والمشدودة

هيكل سقف ملعب ماراكانا(Maracanã Stadium Roof Structure)



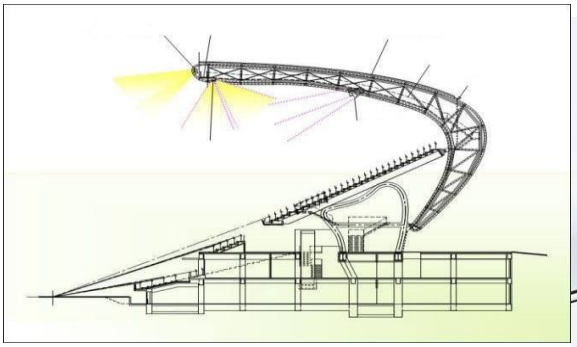
Templo sagrado no país do futebol ، أو "المعبد المقدس في أرض كرة القدم" ؛ هكذا يشير البرازيليون إلى الملعب المعروف ببساطة باسم "ماراكانا". في جميع أنحاء العالم، يرمز الاسم إلى اللحظات الرائعة في الرياضة، وهناك عدد قليل من المباني التي حققت مثل هذه السمعة الرائعة في مثل هذا الوقت القصير.

تصميم الهيكل

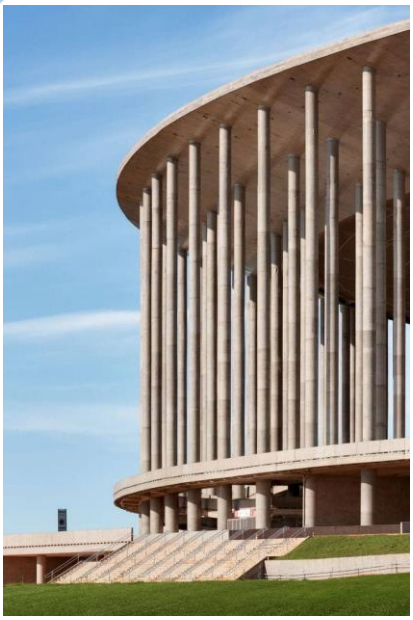
كشف تحليل لهيكل الملعب الحالي أن السقف الخرساني الأصلي المدعم بالكابل لم يصبح غير ملائم من حيث وظيفته فحسب، بل كان يفتقر أيضًا إلى السلامة الهيكلية الكافية على المدى الطويل. وبالتالي، يشتمل المخطط على الأعمدة الخرسانية المسلحة الحالية لوعاء الاستاد القديم لدعم هيكل سقف خفيف الوزن جديد يعتمد على مبدأ العجلة الأفقية ذات القضبان. الخيار المبتكر لهذا النظام، والذي يتميز بحلقة ضغط واحدة وثلاث حلقات شد مصنوعة من مواد عالية الأداء، يسهل السقف العائم تقريبًا. حتى فيما يتعلق بالاستدامة، يتفوق هذا الحل على جميع هياكل الأسقف التقليدية. يتم شد كابلات الشد بين حافة العجلة - تسمى "حلقة الضغط" في الهندسة الإنشائية - وحلقات الشد المخصصة عند الحافة الداخلية للسقف. الكابلات المتحدثة مصنوعة من كابلات عالية القوة.

يتكون غطاء السقف من غشاء من الألياف الزجاجية مطلي بـ PTFE، معلق بين المحاور الرئيسية الشعاعية. تعمل كابلات فيليه شعاعية إضافية على تثبيت السطح. عند ارتفاع الدعائم المدعومة بالكابل، يتم تعليق كابلات الفيلية هذه باتجاه حلقة التوتر السفلية، وبالتالي تولد أدنى نقطة تحول، والتي تعمل بمثابة تصريف للمياه. وبهذه الطريقة، تحصل أقسام الغشاء على شكلها الدالي المنحني المميّز برشاقة. التصميم الجذاب للمخطط مستمد من الحافة الداخلية والخارجية النحيلة للغاية. هذا يؤكد على التدخل الحذر والمتعمد في الهيكل الحالي.

لذلك، لم يتم تغيير Maracanã الشهير في ريو دي جانيرو بشكل كبير، بل تحول إلى معلم حديث لدخول عصر جديد. وقد تم تحقيق ذلك من خلال التأكيد على الهيكل الشعاعي المذهل للملعب الأصلي، فضلاً عن هيكل السقف الجديد بسقفه المصنوع من الكابلات الخفيف الوزن والشفاف.



الجمل الإنشائية المعلقة والمشدودة



ملعب برازيليا الوطني (Brasilia National Stadium)

برازيليا هي المدينة الوحيدة التي يعود تاريخها إلى القرن العشرين والتي تم إعلانها كموقع تراث عالمي لليونسكو. تعتبر "المدينة المثالية" التي تم بناؤها بين عامي 1956 و 1960، بمجموعة المباني العامة فيها، واحدة من رموز الطراز الحديث.

تم تشييده في مكان ملعب Mané Garrincha السابق. الذي يتسع لـ 72000 مقعد ؛ أنتجت gmp و sbp ارتفاعات المتنزه باعتبارها مميزة "غابة الأعمدة" ، وسقف معلق مزدوج الجلد.

كان الهدف من التصميم هو الحل الذي ينصف التاريخ المعماري للمكان، مع إشارة واضحة إلى تقاليد المدينة، ومع ذلك يتميز بأسلوبه المعاصر المميز. نظرًا لكونه أكبر مبنى في المدينة، ويقع على المحور المركزي لمدينة برازيليا، فقد تم تطوير التكوين ليكون بمثابة حجم مبنى ضخم يتكامل بسلاسة مع سياق التصميم الحضري.

ولتحقيق ذلك، فإن وعاء الملعب مُحاط بساحة تضم جميع عناصر الوصول وتدعم السقف على "غابة الأعمدة". تم التأكيد على هذه الإيماءة الواضحة من خلال التصميم المصغر، النموذجي تقريبًا للمكونات - المادة الرئيسية هي الخرسانة. سقف التعليق الدائري عبارة عن هيكل مزدوج الجلد - يتكون الجزء العلوي من نسيج من الألياف الزجاجية مطلي بمادة PTFE بينما يتكون الغشاء السفلي من نسيج شبكي مفتوح مضاء من الخلف.

المصادر:

1-تأثير المتطلبات الانشائية للجمل الانشائية المعلقة المفردة الانحناء على الشكل المعماري وإمكانية الاستفادة منها معماريا /مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد السادس والعشرون -العدد الأول-2010/الأستاذ الدكتور المهندس غسان برجس عبود.

2- موقع ARCHDAILY هياكل الشد-https://www.archdaily.com/887462/tensile-structures-how-do-they-work-and-what-are-the-different-types

3-SLIDE SHARE / TENSILE STRUCTURES FOR ARCHITECTS
https://www.slideshare.net/arcdeepakspa/tensile-structures-for-architects?from_m_app=ios

4- موقعTHE CONSTRUCTOR

https://theconstructor.org/structural-engg/tensile-structures-types-shape/5816/