التآزرية في منشآت قوى الشد

عاطف السهيري
جامعة بغداد – كلية الهندسة

انس حميد
جامعة بغداد – كلية الهندسة

الخلاصة

يشهد العالم في هذه الحقبة من الزمن ظهور العديد من المفاهيم التي ساعدت بتطور التكنولوجيا وغيرها من العوامل على بروز أشكال متعددة من العمارة. تتصف الكثير من هذه الأشكال بصفات التكنولوجيا من كفاءة باستعمال مواد ملائمة لفعل الشد, معظم هذه الأشكال ذات منشآت قائمة على قوى الشد.

وعلى الرغم من أن منشآت هذه القوى لايزال يكتنفها التردد والشك, الا أن بوادرها بدأت تظهر واضحة في البلدان العربية والأقاليم المجاورة بعد تأثرها بمنجزات الدول المتقدمة تكنولوجياً والعمل على تطبيق بعض من تلك المنشآت في واقعهم المحلي, ولاسيما إذا ما توفرت العوامل التي تساهم في نشوء مثل هذه المنشآت على أراضيها وإستيعاب المفاهيم المرتبطة بمثل هذه القوى. وكانت حقول المعرفة العلمية بمجالاتها المختلفة قد كشفت الكثير من جوانب نواتج هذه القوى, الا أن هناك بعض القصور في التغطية الكاملة لماهية هذه النواتج. ليقود ما سبق الى طرح مشكلة البحث بعدم وجود تصور نظري شامل للمبادئ والمفاهيم المرتبطة بهذا النوع من القوى نتيجة لضعف القاعدة المعرفية المعمارية المتعلقة بها والمتعاملة معها, وبالتالي عدم وضوح دور وأهمية هذه القوى في العمارة.

وعليه تم تناول الموضوع وفق منهج وصفي تحليلي من خلال طرح إحدى المفاهيم الأساسية ذات العلاقة بالبحث وهو مبدأ التآزرية وإبراز دوره في مبادئ العلوم الحياتية بهدف إعطاء تصور حول موضوع التآزرية لمنشآت قوى الشد ودوره في إبراز عمارة مواكبة لعجلة التطور والحداثة, على أساس علمي مفهوم قابل للإدراك من قبل جمهور المتلقيين, وبوجود أسس معرفية للنظم المنشئية الموجودة تساعد في ملء الفجوات التخصصية. ويصل البحث في نهايته الى الإستنتاجات التي تلقى بعض الضوء على موضوع تآزرية منشآت قوى الشد.

Tensegrity in Tensile Forces Structures

ABSTRACT

The world witnesses in this period of time the appearance of various structural concepts. Technology and other factors helped in the development of many architectural forms that carried technological character manifested through efficiency, lightness, most of these forms are tensile structures.

In spite of the fact that the use of tensile structures is still in doubt and suspicion, they started to appear in Arab countries and neighbouring regions, after they had been affected by the technological achievements of the technologically developed countries, and started to use such structures in their local buildings, especially if the factors needed to adapt such kind of structures are present on their lands, also the minds that can deal with such structures with special forces. The scientific fields had discovered a lot of in this field, but there is a gap in dealing with principles and concepts of this force and its products. This had formed our research problem.

So, the study depends on describtive-analytical method in dealing with one of the basic concepts and thier biological bases which aim to give an imagination about tensile forces related to this subject -this is tensigrity concept- and its role in achieving architecture modern.

The research concluded many points that throw some light on the subject of tensigrity of tensile forces stryucture.

المقدمة

تظهر منشآت قوى الشد في الغالب بأشكال نحيفة قليلة السمك بأسلوب رشيق خفيف الوزن تبعاً لظروف القوى السارية ضمن عناصرها. تتوفر وبنفس مبدأ هذه القوى العديد من الأمثلة الحياتية بأشكال مختلفة وبسمات خفة متقاربة, لذا فسيتم التطرق لبعض هذه الأمثلة المتفاعلة مع هذه القوى وكيفية إنعكاسها على أشكالها من خلال مبدأ التآزرية الذي يمثل النمط الذي ينتج عن قوى دفع وسحب لهما علاقة مترابطة مع بعضها البعض, تكون فيه قوى السحب مستمرة وقوى الدفع متقطعة وبصورة متوازنة لتنتج عنها نقاوة الشد والإنضغاط.

تعريف التآزرية Tensegrity [1]

قبل التطرق لتعريف التآزرية لابد من تعريف القوى بشكل عام على أنها حالة دفع أو سحب مؤدية الى تغيير حركة أو شكل جسم, حيث يمكن أن تظهر معايير تأثيرها على المنشأ من خلال مقدارها وإتجاهها وموقع تأثيرها على الجسم. تمثل القوى إحدى الحالات التي يمكن أن يتعرض لها المنشأ أو أي جزء من أجزائه وفقاً لطبيعة القوى وما تحمله من خواص وسمات تحاول أن تترك تأثيراتها على ذلك المنشأ وضمن ظواهر السكون والثبات والأستقرار والموازنة وغيرها من العوامل التي تعد عوامل حتمية للمنشأ الصحيح. (م/14 ؛ ص/28)

[1] جاء هذا المصطلح من علم synergy والذي يدل على معنى التآزر أو التعاون.

إن سبل تعامل المنشأ مع القوى المسلطة تساعد المنشأ على الصمود بوجه مثل هذه القوى لغرض إزالة التخوف وتحقيق مبدأ الموازنة, ومن هذه السبل:-

- **توزيع القوى والأحمال:** حيث يفضل في أن يكون جزءاً واحداً من المنشأ هو المسؤول عن حمل جميع الأحمال المسلطة.
- **توجيه القوى والأحمال:** ويفضل توجيهها على طول المركبات ذوات الزوايا.
- **إعطاء المنشأ شكلاً مناسباً:** والذي يعمل على مقاومة قوى معينة كقوى الشد والمؤثرة في المنشأ. (م/4 ؛ ص/5)

تعريف قوى الشد

هي حالة من الإجهاد تكون فيها جزيئات المادة ذات قابلية لفعل السحب نحو خارج مركز الجسم أو العنصر. تمثل الإستطالة حالة مثالية لفعل الشد, إن مقدار وحدة إستطالة القابلو تدعى بـ "**إنفعال الشد tensile strain**" والذي يتناسب مع الحمل المحمول من قبل كل وحدة مساحة لمقطع العنصر. فالإستطالة هي التشويه المهم المصاحب لقوى الشد. فالقياسات الدقيقة والعامة تبين بأنه كلما ازداد الحمل على عنصر ما خاضع لقوى الشد استطال ذلك العنصر مع إختزال لمساحة مقطعه. فالتغيير الحاصل لقطر العنصر يعرف بـ "**نسبة Poisson**" نسبةً الى الفيزيائي الفرنسي Poisson في بدايات القرن التاسع عشر, حيث تمثل النسبة ما بين التغير في قطر العنصر وإنفعاله الطولي longitudinal strain. (م/9 ؛ ص/82)

ليتبين هنا أهمية الإجهاد المسبق للعناصر تجاه القوى غير المرغوب بها, أي أن من خلال فعل الإجهاد المسبق يمكن تجنب الإزاحة الكبرى الممكن حصولها نتيجة عملية السحب.

لذا فالتآزرية هي النمط الذي ينتج عن قوى دفع وسحب لهما علاقة مترابطة مع بعضها البعض, حيث قوى السحب مستمرة وقوى الدفع متقطعة وبصورة متوازنة لتنتج عنها نقاوة الشد والإنضغاط. ان هذا النمط يعمل على إبداع نظام إستقرار ذاتي جاسئ. (م/12 ؛ ص/1)

قوى الشد تصاحب في الغالب عملية مط stretch, إستطالة elongate وأحياناً تمزيق tear؛ حيث تمثل هذه القوى حالة الفعل ورد الفعل في الوقت ذاته. قوى الشد تمد وتسحب المادة من نهايتيها بعيداً عن المركز, وتقاس متانة المادة لقوى الشد من خلال أعظم قوى شد يمكن للمادة تحملها ومقاومتها قبل بلوغ الفشل. (م/8 ؛ ص/11)

أما **قوى الإنضغاط** فتصاحب عملية تقصير shorten وتحطيم crush للمادة بعمليتي الكسر والعصر, حيث تمثل قوى الإنضغاط حالة الفعل ورد الفعل في ذات الوقت شأنها شأن قوى الشد. تقاس متانة قوى الإنضغاط من خلال أعظم قوى إنضغاط يمكن للمادة مقاومتها قبل فقدانها لشكلها وبالتالي

فشلها. وكما يصاحب تعبير حالة السحب pull state لقوى الشد يصاحب تعبير الدفع push والضغط pressure قوى الإنضغاط. (م/8 ؛ ص/14)

كان مبدأ التآزرية قد ظهر لأول مرة من خلال نحت فيزياوي للفنان Kenneth Snelson وهو أحد طلاب R. Buckminster Fuller[1]. جاء هذا النحت تعبيراً تجريدياً للإنسان والذي كان قد دعاه بـ "**قطعة س X-piece**" في عام 1949, هذا النحت مكون من أسلاك ودعائم. أدرك Fuller بأنّ هذا النحت كان مثالاً لنمط قوي من التنظيم الموجود في الطبيعة.

توجد المتآزرات في جميع أنحاء الطبيعة بإنتظار مكتشفها. فعلى سبيل المثال يمثل إطار السيارة الهوائي احد تطبيقات مبدأ التآزرية والذي وجد قبل فترة طويلة من نحت Snelson ولكنه لم يعرف كنوع تآزري. (م/12 ؛ ص/2)

تتصرّف قوانين قوى الرفع والدفع في هذه المنشآت والتراكيب بشكل مختلف عند تطبيقها ضمن النظام التآزري, حيث تجبر التشتت المتولد على تقوّية المنشأ من خلال عناصر الشد المجهدة كأسلاك الشد في الخرسانة المسلحة مسبقة الاجهاد, يكون الغرض منها هو تقوية الأجزاء الضعيفة.

مبدأ التآزرية في الكيمياء الحياتية

تلعب الكيمياء الحياتية ولاسيما الخلوية دوراً مهماً في عالم الأنظمة الهيكلية الحياتية والتي يمكن الإستفادة منها في مجال عمارة الشد, فشعيرات الهيكل الخلوي[1] cytoskeletal filaments تعمل على توليد ومقاومة أحمال ميكانيكية وبالتالي تكون مسؤولة وبشكل كبير عن قدرة الخلية على مقاومة تشويه شكلها. تشتغل هذه الشعيرات كمسارات حركة للأعضاء من خلال توجيه الإنزيمات لإنتاج ردود أفعال كيمياوية حيوية تسّهم في الوظائف الخلوية. (م/12 ؛ ص/6)

يمكن تمثيل الخلية على إنها غشاء مطاطي يحيط بالسايتوبلازم بصورة لزجة وذات مطاطية. وجهة النظر هذه للخلية هي محاولة بسيطة لفهم كيفية تنظيم القوى الميكانيكية سلوك خلية.

وعلى هذا الأساس, يمكن إعتبار الخلية ضمن الهيكل الخلوي عبارة عن إطار مشدود تآزري متكوّن من الدعامات الجزيئية ومن حبال وقابلوات. وينطبق الأمر على الجزيئات المتكونة من الخلايا التي تمثل تراكيب مترتبة بصورة معقدة لتكون النتيجة أنظمة ضمن أنظمة ضمن أنظمة (كما هو الحال في الخلايا والجزيئات والأنسجة والأعضاء). (م/6 ؛ ص/1)

فعلى سبيل المثال, يتم التحكم بالتركيب الهندسي للأعصاب في الدماغ وكذلك شبكية العين بواسطة قوى النسيج الداخلية, هذه القوى كانت قد تولّدت ضمن الهيكل الخلوي للخلايا المؤسسة لها.

---

[1] معماري ألماني من مواليد 1895 تلقى تعليمه في Milton Academy, تأثر بنظرية أنشتاين النسبية وأنعكس ذلك على العمارة بصورة واضحة. إعتمد على الرياضيات والهندسة المجسمة لشرح منشأ نواة الخلية. كان له إهتمامات بالبحر والسفن السارية فيه أشكالاً ومنشآت كما تاثر بجماليات الماكنة وأنعكست على أعماله التي امتازت بصفة الجيوديسية كمشروع 1954 Marine Corps Dome.

[1] الهيكل الخلوي هو الهيكل المسؤول عن شكل الخلية وعادةً ما يتكون من شعيرات filaments ونبيبات tublets دقيقة.

وعليه، فإن وجود الاجهاد المسبق الموجود في كلّ عنصر أو نسيج يعمل على تصلّيب (إعطائه الصلابة المناسبة) عناصر الشد الداخلية التي ستقاوم الضغط المتولد في الخلايا الملتصقة لتعمل على تثبيّت شكل الخلية.

تعمل الآلية التآزرية الخلوية كالآتي:-(على المستوى الجزيئي، يتكون الهيكل الخلوي من تركيب تآزري يقبع تحت غشاء. هذا التركيب مكون من شبكة منفصلة من جزيئيات بروتينية[2]. هذه الشبكة تكون في العادة مسبقة الاجهاد نتيجة للصفة التنافذية لأغشية هذه الشبكة والتي تكون منتظّمة بصورة شبكة جيوديسية).

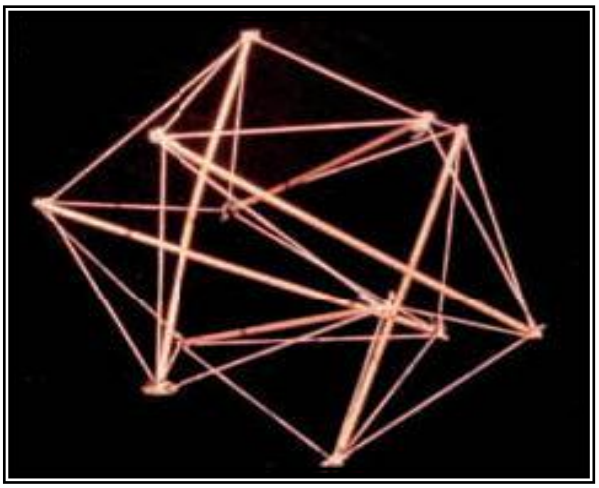
يمكن أن تتصرّف هذه المنشآت التآزرية للخلايا بشكل مستقر، وعند تزاوجها مع بعضها تعمل كنظام تآزري واحد متكامل مكونة الجزيئات. (م/6 ؛ ص/13)

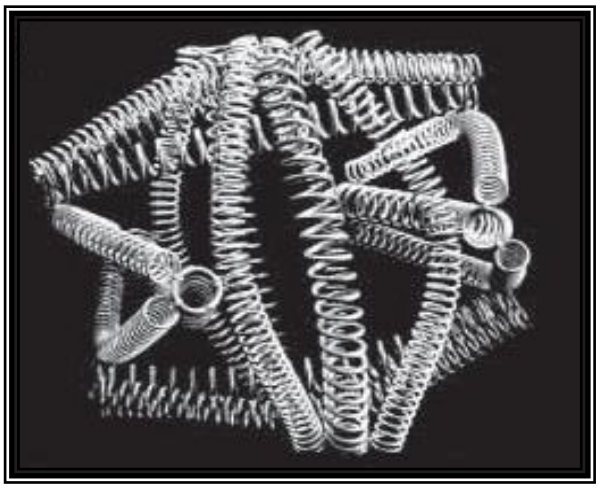
التآزرية الخلوية هي مبدأ يتكون من أنظمة تركيبية تحافظ على أشكالها بالشد المستمر لا بالضغط المستمر. فنحت Snelson طبق الى نموذج أكبر متكوّن من قضبان فولاذية معزولة مقاومة للصدأ ومعلّقة في الهواء بقابلوات شد عالية, [الشكل: 1] مثال سلس وواضح و يرمز الى البساطة المميّزة التي أدت إلى وصف هندسة هذا النحت كشبكة مشدودة للعناصر الهيكلية المقاومة لتشويه الشكل والثبات الذاتي من خلال دمج عناصر الدعم والأسناد التي تكون مقاومة للإنضغاط.

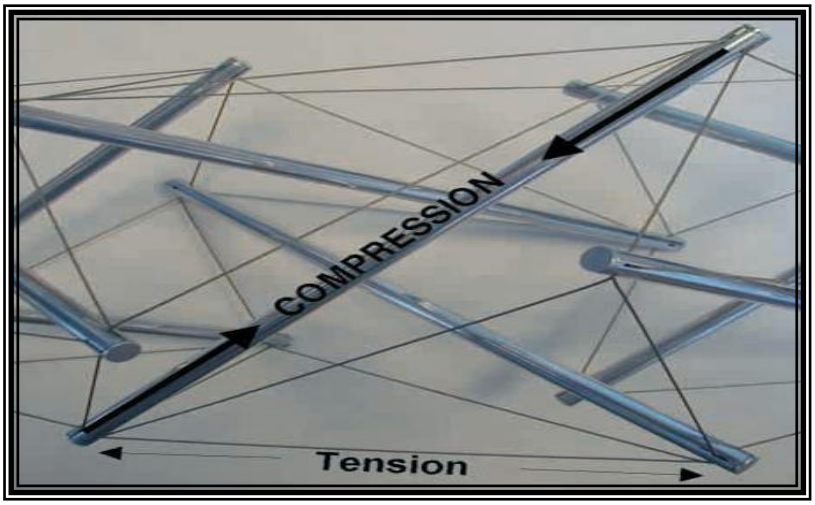
يصوّر النحت المماثل لهذا المنشأ والمتكون من اوتاد خشبية وخيوط مطاطية [الشكل: 2] توازن القوى المستندة على الضغط الموقعيّ المتقطع والشد المستمر والمسؤول عن إستقرار الشكل. وفيه تم استبدال العناصر الصلدة غير الضرورية بنوابض مرنة تختلف في مطاطيتها [الشكل: 3]. [الشكل:4] يبين توازن القوى المستندة على الضغط المتقطع والشد المستمر. تطبيقاً لمقولة Fuller حول تعريف التآزرية "**تتضمن التآزرية صنفين منشئيين هما الاجهاد المسبق والجيوديسية, واللذان يفشلان في**

[2] مكونات الجزيئات البروتينية actin , ankryin , spectrin والتي تتواجد بشكل شبكة ضمن الهيكل الخلوي.

حالة تصرّفهما ككيان واحد مستقل عن الآخر عند خضوعهما لقوى الشدّ بصورة ميكانيكية بدون إرسال مستمر من قوى الشد, وذلك من خلال عناصرها الهيكلية المقسمة على شكل مثلثات geodesics لإعاقة الحركة بشكل هندسي". (م/7 ؛ ص/2)







يماثل نحت Snelson تركيب – منشأ– الخلية, فنحته المتكوّن من الدعائم المعدنية الكبيرة والحبال المطاطية مماثل لما تحتويه نواة الخلية من الأعواد والخيوط المطاطية. فخلال هذا التماثل الخلوي، تمثّل الدعائم الكبيرة النبيبات المجهرية؛ وتقابل الحبال المطاطية الشعيرات المجهرية التي تحمل قوى الشد في الهيكل الخلوي. (م/6 ؛ ص/2)

مبدأ التآزرية في العلوم الحياتية وتطبيقها في العمارة

واحدة من الجدالات التي تحوم حول مسألة كون الهيكل الخلوي مثل شبكة العضلات والأوتار والعضل والأربطة ولكن دون عظام, لذا فأين ستكون عناصر الضغط؟ كثيرة هي التفسيرات والشروحات ولكن أبسطها هي ما تكون مرتبطة بمثال شبكة العنكبوت التي يتعذر علينا وصفها دون الإعتبار لفروع الشجرة المرتبطة بها وخلالها. (م/6 ؛ ص/7)

إن مبدأ التآزرية في الكيمياء الحياتية الخلوية يمكن تطبيقه عملياً في العمارة. فعلى سبيل المثال يكون غشاء السطح للخيمة مستقراً من خلال وضعه تحت الشد, حيث يمكن إنجاز هذا الأمر بوسائل مختلفة كدفع أعمدة الخيمة الى الاعلى عكس اتجاه غشاء السطح، أو سحب الغشاء عكس اتجاه أوتاد الخيمة الثابتة في الأرض مع ربط الغشاء إلى فرع الشجرة. تزوّد أعمدة الخيمة الداخلية والحبال الخارجية بوظائف حمل لأن كلاهما تقاوم القوى الداخلية الموجّهة الى غشاء الخيمة. من خلال هذا التوازن للقوى التآزرية والذي يولد الشد مسبق الاجهاد يتولّد الشكل الثابت للخيمة. (م/6 ؛ ص/7)

الجهاز العضلي للأنسان وعلاقته بمبدأ قوى الشد

إن نفس مبادئ الإنشاء التي تحمل سمة الواقعية لمنشأ الأبنية يمكن أن تطبق على جسم الأنسان لأن كلاهما يمثلان نظماً منشئيةً, فجسم الأنسان والتوزيع المنشئي يحدد من خلال الوزن وتركيب مواد الجسم. (م/14 ؛ ص/20)

عادةً ما تكون أجسامنا مزودة بمثال مألوف للمنشأ التآزري مسبق الإجهاد, فعظامنا تتصرف كدعائم مقاومة لفعل سحب العضلات والأوتار والأربطة التي تعمل على استقرار الشكل من خلال التصلب والمتغير عادة اعتماداً على الإجهاد المسبق للعضلات. (م/6 ؛ ص/8)

سيتم مناقشة الجهاز العضلي للإنسان وفقاً لمبدأ قوى الشد إعتماداً على مرتكزين:-

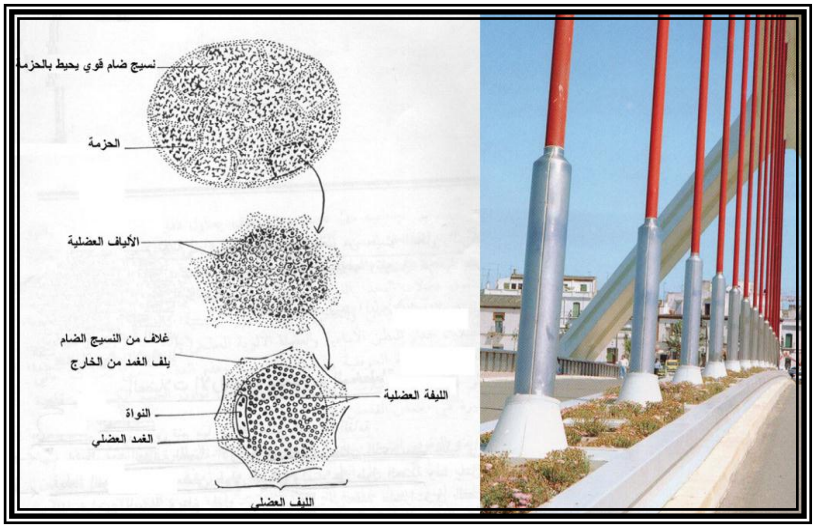
* **المرتكز الأول:** دراسة مكونات الجهاز العضلي لغرض معرفة آلية عملها عند خضوعها لفعل الشد.
* **المرتكز الثاني:** دراسة أشكال بعض مكونات الجهاز العضلي من أوتار وعضل لغرض المقارنة مع أشكال لمنشآت قوى الشد والإستفادة منها لإشتقاق أشكالٍ جديدةٍ.

تركيب العضلة[1]

إن الوحدة البنائية للعضلة هي الليف العضلي, فهي خلية واحدة متعددة النوى تكون بصورة طولية ممتدة على طول العضلة المرتكزة على نقطتين أو أكثر من الهيكل العظمي الذي يمثل المساند والدعائم الصلبة الحاملة للأغشية والتي تنقل أحمالها الى الأرض. (م/2 ؛ ص/215)

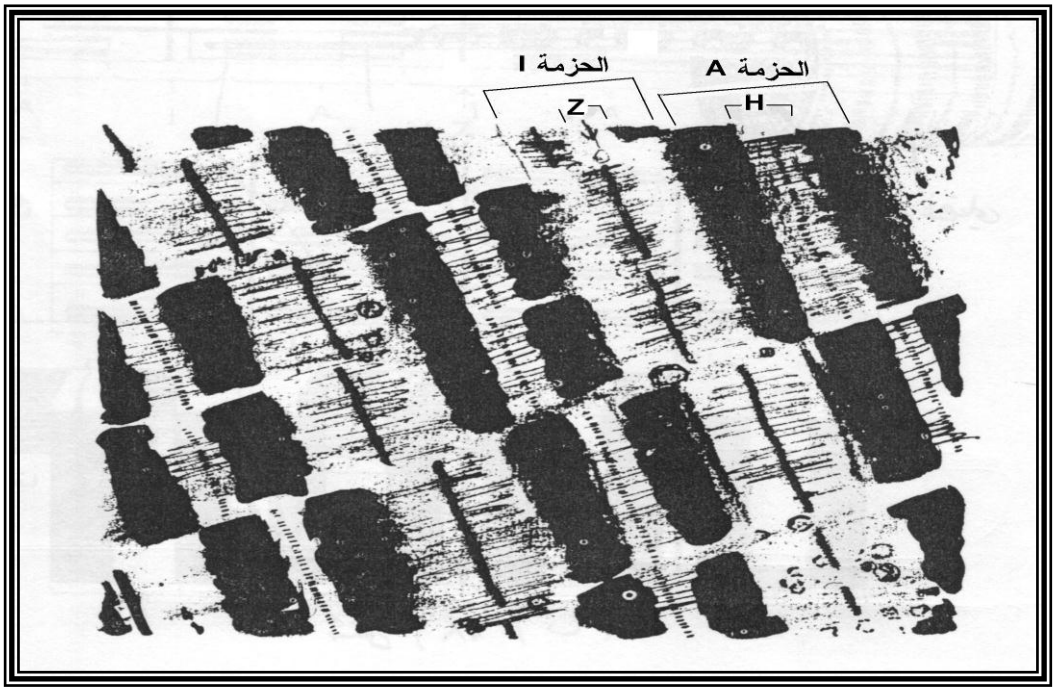
[1] يوجد في الجسم ثلاث أنواع من العضلات تختلف من ناحية الشكل و التركيب :1.العضلات الإرادية (والتي تكون مسؤولة عن حركة و انتصاب الجسم معتمدة على شد العضلات). 2.العضلات اللاإرادية. 3.العضلات القلبية.

يحيط بالليف العضلي غلاف يسمى "**الغمد العضلي sarcolemma**" والذي يكون بشكل انبوب يسهل عملية التقلص والانبساط لليف العضلي بداخله. هذا التركيب مماثل للغلاف المحيط بالنوابض المرنة تحت فعل الشد والذي يعمل على الحفاظ عليها من الظروف الخارجة مع سهولة في الصيانة والإدامة, حيث أن واحدة من المآخذ والنقاط السلبية لمنشآت قوى الشد هي عمليات الصيانة الصعبة للقابلوات والنوابض وغيرها من عناصر الشد. يشابه الليف العضلي النوابض المعدنية المرنة والمغلفة بغطاء حماية [الشكل: 5]. (م/2 ؛ ص/215)



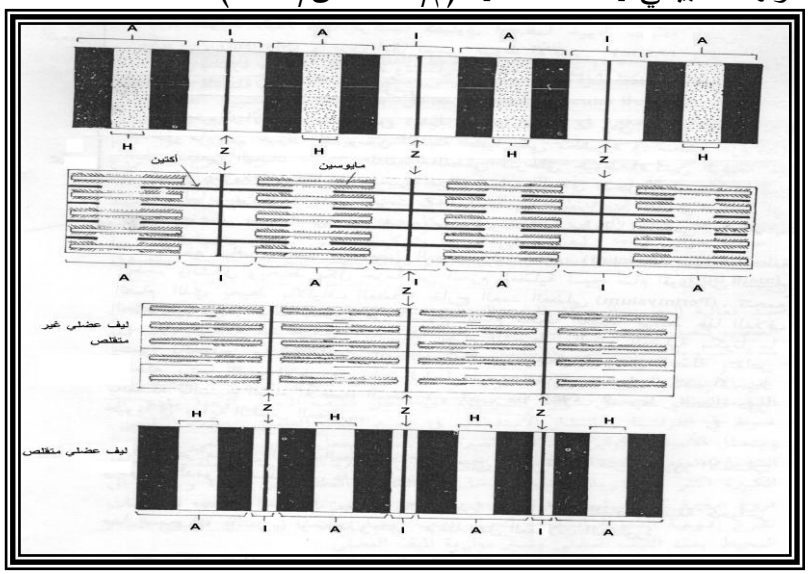
يكون هيولي الخلية العضلية cytoplasm على شكل خيوط طويلة رفيعة رقيقة كل خيط يسمى بـ"**الليفة العضلية myofibril**". تقطع الليف العضلي على امتداده حزم مستعرضة غامقة اللون تتناوب بانتظام مع حزم فاتحة اللون أوسع من الحزم الغامقة. يطلق على الحزم الغامقة **(حزم A)** والحزم الفاتحة **(حزم I)**. تقطع حزم A بخط رفيع شاحب يسمى **(حزمة H)** وحزم I تقطع بخط غامق يسمى **(حزمة Z)**.

لقد أظهر المجهر الإلكتروني أن الليف العضلي منظم بشكل خيوط طولية دقيقة أحدهما خيوط سميكة تسمى "**خيوط المايوسين myosin**" وأخرى خيوط أدق تسمى "**خيوط الأكتين actin**" [الشكل: 6], وتقّسم خيوط الأكتين بصورة عرضية بحزم Z لتشكل المنطقة المحصورة بين حزمتي Z الوحدة التقلصية والإنبساطية للعضلة والمسماة بـ "**الساركومير sarcomere**". (م/2 ؛ ص/220)



آلية عمل العضلة

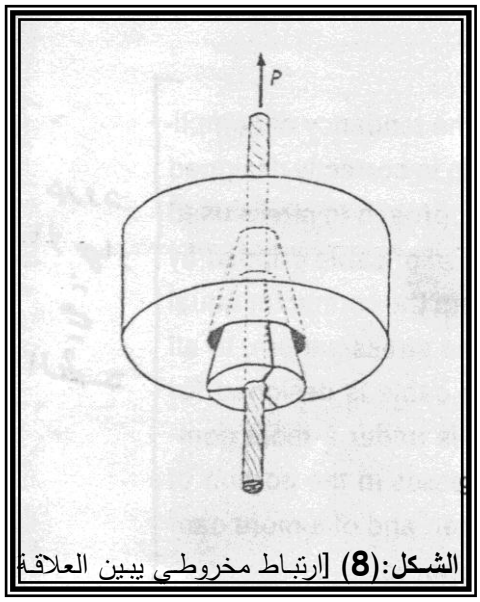
تتصل خيوط الأكتين من نهاية واحدة بحزمة Z ومن النهاية الأخرى تكون حرة لتدخل بين خيوط المايوسين الثابتة نسبياً والمحصورة في منطقة حزم A أثناء عملية التقلص العضلي. حيث تتزحلق خيوط الأكتين الرفيعة غير المرتبطة بحزمة Z وتتداخل ما بين خيوط المايوسين لتدخل في الفسحة, لتقترب بذلك حزمتا Z من بعضهما عند التقلص العضلي وتبتعد عند الإنبساط العضلي. أي تتقلص حزم I لتبقى حزم A غير متغيرة ومحتفظة بطولها الطبيعي [الشكل: 7]. (م/2 ؛ ص/220)



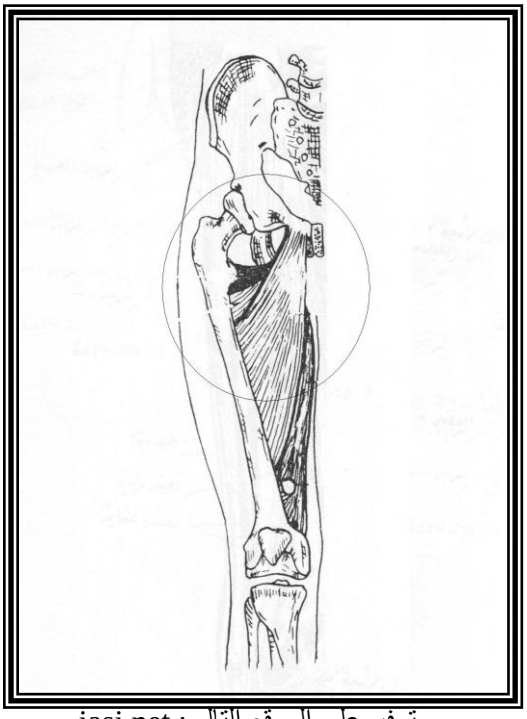
الأوتار tendon

يتكون الوتر من مجموعة حزم ذات خلايا نجمية كثيفة صلبة وقوية جداً وأكثر قوة من الألياف العضلية. الوتر أملس ذو لون أبيض لقلة الأوعية الدموية فيه لحاجته القليلة إلى الغذاء. تقدر قوة الوتر بتحمل قطر السنتمتر الواحد منه وزن يتراوح ما بين 600-1000 كغم ذو مقاومة للتمدد وقابلية للانحناء لتغيير الاتجاه نحو المغرز (نقطة الأرتباط بالعظم) ليستطيع تغيير اتجاه سحب العضلة مع صلابته لمقاومة الاحتكاك لذا يحل محل الألياف العضلية في المناطق المعرضة للإحتكاك من خلال اتصالاتها بالعظام. (م/2 ؛ ص/222)

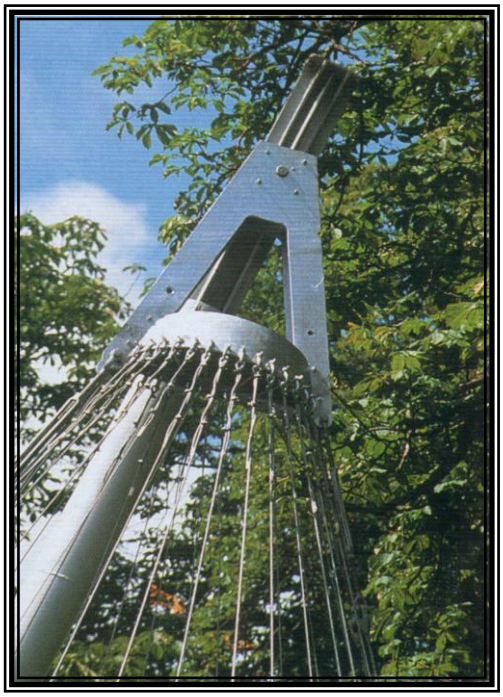
مثلما تلعب الأوتار دوراً مهماً بين كل من العظم والعضل وطريقة أرتباطهما معاً من خلاله, يمكنه لعب نفس الدور في المنشآت الغشائية وغيرها من منشآت الشد. حيث يمكنها أن تكون حلقة الوصل بين الدعائم والركائز (وغيرها من عناصر الضغط المماثلة في عملها لعمل العظام) وبين الأغشية والسطوح المقوسة وأغلفة الخيم والأشكال المشرومية (وغيرها من عناصر الشد المماثلة في عملها لعمل العضلات).[الشكل: 8]-[الشكل: 15]



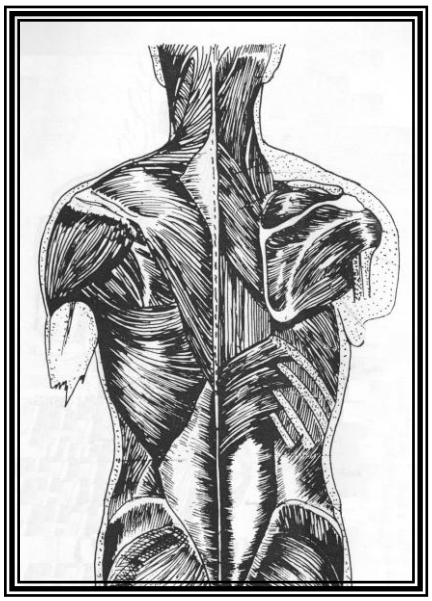
الشكل:(8) [ارتباط مخروطي يبين العلاقة ما بين عناصر الشد وعناصرالضغط الساندة لها].(م/9 ؛ ص/219)

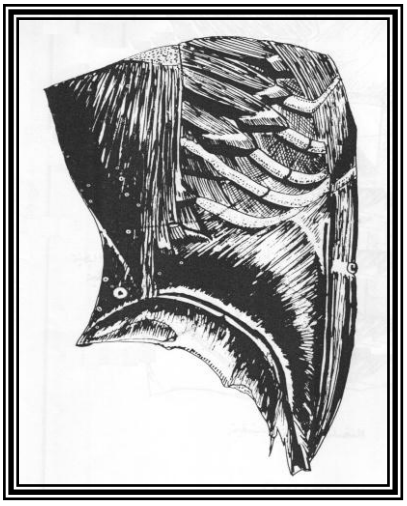


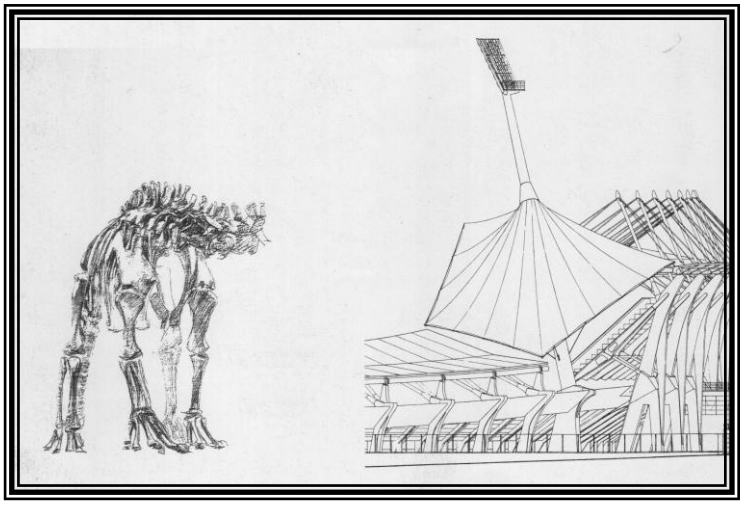
متوفر على الموقع التالي: iasj.net



الشكل:(9) [ارتباط عضلي مع العظم عن طريق الأوتار في عظم الفخذ (م/2 ؛ ص/355), وتطبيق هذا الارتباط الحيوي بنفس المبدأ في منشآت قوى الشد كما في **الشكل:(10)**. حيث يمكنها أن تكون حلقة الوصل بين عناصر الضغط المماثلة في عملها لعمل العظام وبين عناصر الشد المماثلة في عملها لعمل العضلات)].(م/11 ؛ ص/81)



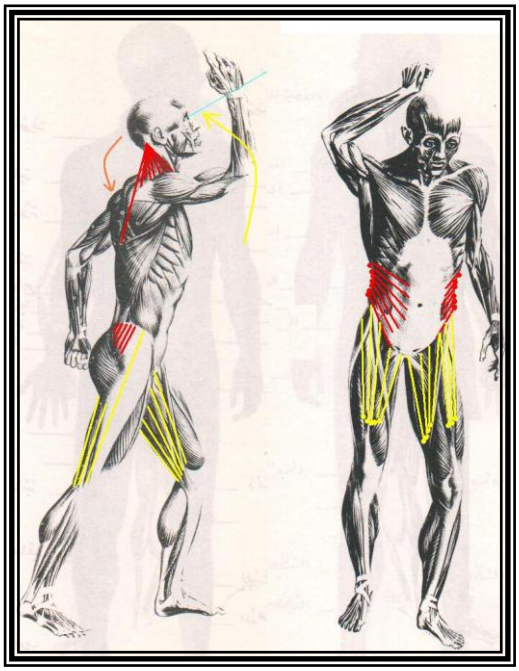




آلية الوقوف في جسم الأنسان

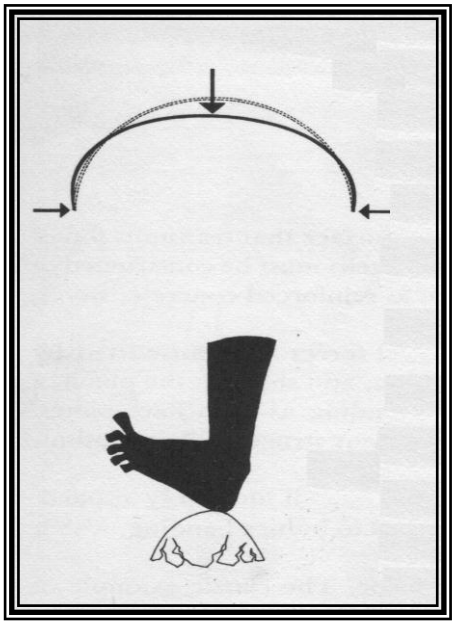
أن نظام الدعم والإسناد في الأنسان يمثل واحداً من الأشكال العليا في الحياة والذي من خلاله يمكن فحص وإختبار فصاحة الأشكال النحتية ونقاوتها. نظام الدعم هذا هو نظام مشدود مدعم بتكوين عضلي يشابك العمود الفقري والصدر ممثلاً نظام دعم مشدود. فلوح الكتف –على سبيل المثال– لا يضغط على الصدر وعظم الترقوة تعمل كدعامة ضغط وغيرها من الأمثلة التي تعد صوراً واقعية لمبدأ التآزرية. (م/12 ؛ ص/11)

في حالة الوقوف على الطرفين السفليين يستند الجسم ويتوازن على قاعدة صغيرة نسبياً هي أخمص القدمين, فهذه القاعدة الصغيرة لا تتناسب من حيث أبعادها مع أبعاد الجسم طولياً وعرضياً ولكن آلية التوازن تتم من خلال فعل العضلات مع عوامل أخرى. (م/2 ؛ ص/482)



فالرأس يتوازن على الفقرات العنقية مع حاجته إلى شد بسيط بالعضلات لبقاءه متوازناً في موضعه والعينين في اتجاه أمامي. عضلات الرقبة والظهر الخلفية تكون على شكل شبكة من الحزم العضلية التي تعمل على إسناد وتوازن الرأس على العمود الفقري مع قيام بعض العضلات المتخصصة بربط الفقرات وإسناد وموازنة العمود الفقري على الحوض. يسند الحوض من الأمام بعضلات البطن الأمامية من الأعلى وعضلات الفخذ الأمامية من الأسفل, ويسند الحوض من الخلف عضلات الفخذ الخلفية مع عضلات أخرى, إضافة الى وجود عضلات أولية وسطى من جانب الحوض تمنعه من التمايل إلى الجانب. [الشكل:

16] (م/2 ؛ ص/482)



قشرة البيض وعلاقتها بمبدأ التآزرية

تعد قشرة البيضة المثال الأكثر وضوحاً للمنشآت القشرية shells. يمكن تعريفها بأنها غلاف رقيق غير سميك مع سطح مقوس يعمل على نقل وأرسال القوى على طول تقوسها إنتهاءاً بالدعائم. غالباً ما تشيّد المنشآت القشرية من مواد قابلة للتقوس والإعوجاج كالخرسانة المسلحة والخشب والمواد المعدنية الفلزية وغيرها من المواد اللدائنية. (م/13 ؛ ص/67)

إن آلية نقل القوى في هذه القشرة بسيطة ومذهلة في ذات الوقت. فبسبب التقوس تنتقل القوى الداخلية من خلال الإجهادات المباشرة للشد والإنضغاط والقص في مستوي سطح القشرة أكثر من الإنحناء كما في المستويات أو السطوح المستوية.[الشكل: 17]

إن أوائل التطبيقات العملية للقشريات من صنع الأنسان كانت القبة. ومن أجل إستيعاب القوى المتولدة في القبب يمكن الأستعانة بنصف قشرة بيضة, فإذا ما دفعت الى الأسفل من خلال قمتها وبشكل تكون فيه موضوعة على سطح مستو, يمكن ملاحظة أن قوى الإنضغاط المسلطة ستصبح قوى شد عند حافات القشرة. وبالتالي سيؤدي ذلك الى زيادة في عرض قاعدتها المرتبطة بالسطح المستوي مع تمزقها بعيداً عن المركز. (م/14 ؛ ص/68)

في حالة إنشاء القبة فإن هذا التوضيح والشرح يمكن ترجمته وتطبيقه عملياً من خلال إستعمال حلقات شد عند عنق القشرة كوضع قابلوات حول الحافات السفلية من أجل إعادة إنفعال re-strain قوى الشد. إذا ما وضعت فتحة في قمة القبة, فإن حلقات ضغط ستكون ضرورية جداً. [الشكل: 18] (م/2 ؛ ص/68)

مبدأ الكفاءة ضمن مبدأ التآزرية

يعد مبدأ الكفاءة واحداً من الأمور الواجب مراعاتها عند تصميم أي عمارة. حيث يرى بأن القوى المفترضة في تصميم المنشآت التي تسري في المبنى يجب إرسالها بصورة مباشرة وبشكل كفوء ومنطقي. في الفقرات التالية سيتم مناقشة بعض الصعوبات والأمور العالقة بهذا المفهوم. (م/5 ؛ ص/208)

المبادئ الأساسية للكفاءة المنشئية لمنشآت الشد المتآزرة

(1) إن واحدة من الخطوط العريضة العامة لمبدأ الكفاءة تبين بأن **الأشكال المنشئية تفضل أن تكون مشابهة لتلك الأشكال الموجودة في الطبيعة** والعمل على تحليلها ودراستها وإستنباط النظم منها, لا سيما نظم نقل أحمالها وأوزانها الى الأرض. يرى جمهور الدارسين في مجال تطور الطبيعة هو أن التطور كان ومازال يخص الأشكال التي تمتلك سمة التطور لإمتلاكها صفة الكفاءة لأجل البقاء. ومن أجل إنجاز بعض الأشكال المنشئية بدرجة مماثلة من الكفاءة يحبذ الإقتباس والإستلهام من بعض الأشكال الطبيعية. (م/5 ؛ ص/208)

فعلى سبيل المثال, يمكن ملاحظة هذا المبدأ بأبسط أشكاله بالمقارنة مع منشأ قصر العمل Labour في Turin للمهندس الإنشائي Nervi [الشكل: 19], الشكل مقارب لأغصان الشجرة التي تعمل على جمع الأحمال وتوجيهها نحو الدعائم كالجذع الذي يعمل عمل الأعمدة. ومن ثم تنتقل الأحمال بصورة طبيعية للأسفل بإتجاه الجذور التي تعكس صورة الأسس [الشكل: 20].

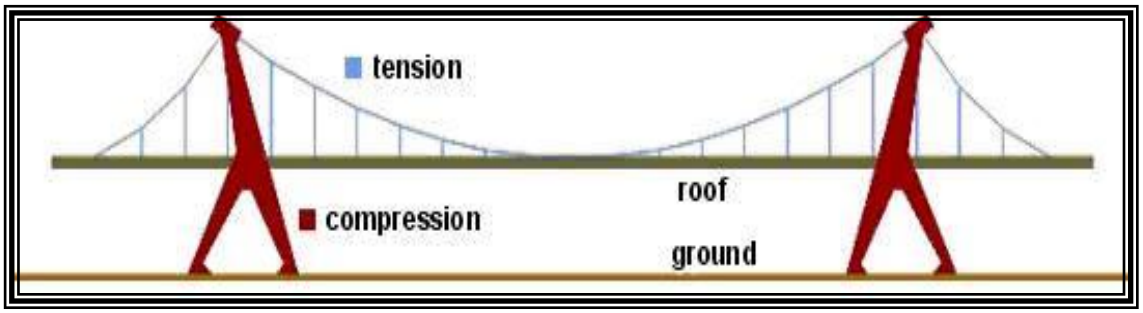
وبالنسبة لمبدأ قوى الشد ومبدأ الكفاءة, فإن صفة الطبيعة تمثل حلقة الوصل بين كلا المبدأين. يمكن ملاحظة ذلك من خلال ما تم شرحة –إعتماداً على الكفاءة المنشئية للأمثلة الطبيعية– في المحور الذي تناول النظام العضلي للأنسان والبيضة وغيرها من الأمثلة التي تكون فيها قوى الشد أساسية.

(2) الأمر الآخر والمتعلق بمبدأ الكفاءة هو **تدرج كفاءة المنشأ تبعاً للقوى الأساسية** التي يعتمد عليها المنشأ. ففي المنشآت أو العناصر المنشئية المعتمدة على فعل الإنحناء تكون جزيئات المادّة القريبة من المحور المركزي المحايد تحت الإجهاد؛ في الواقع فإن جزيئات المادّة في قمة وقعر العنصر معرضة بالكامل للإجهاد. (م/5 ؛ ص/209)

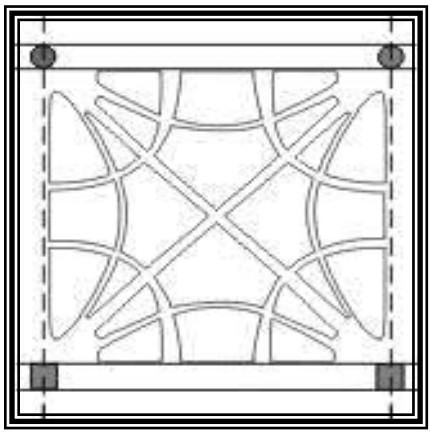
وفي منشآت الشد أو الضغط البسيط، فإن جميع جزيئات المادة في المقطع العرضي يجب أن تعمل بقدرتها الكاملة. عند عناصر الضغط تكون معرضة للإنبعاج كعامل محدّد للمدى الذي يمكن للمادّة بأن تستغل قبل الفشل. لذا فإن عناصر ومنشآت الشد هي أكثر الوسائل سهولة وكفاءة لنقل الأحمال، ثم يلي ذلك عناصر ومنشآت قوى الإنضغاط، لتأتي أخيراً منشآت الإنحناء.

بالنسبة للإعتبار للمهمة المعمارية، فإن منشآت قوى الشد لابد أن تضم عناصر شد مشدودة بعناصر مجاورة مغروسة في الأرض كالركائز والدعائم والرواسي أو معلقة بالقمم. إضافة الى ذلك، فإن ردود الأفعال المساهمة في ميل العناصر (الداعية للميل) في الكثير من العناصر المنشئية كالقبب (ردود أفعالها تسعى لزيادة عنقها الى الخارج) والقابلوات (ردود أفعالها تسعى لزيادة هطولها نحو الأرض) لابد من جعلها تقاوم تلك الردود للأفعال بواسطة حلقات شد أو إنضغاط بشكل روابط أو أسس ثقيلة. وعلى

النقيض من ذلك فمن السّهل ضمان ردود الأفعال من جسر عمودي تماماً حيث يكون مقاوماً بسهولة أكثر في مستوى الأسس. (م/5 ؛ ص/210) [الشكل: 21]



شكل عنصر أو منشأ ما لابد أن يعكس المسار والجريان الطبيعي للقوى والأحمال خلاله. فعلى سبيل المثال يتضمّن المقطع العرضي للجسور المعلقة على إختلافات في أحجامها بموجب مخطط حمل الإنحناء، كما إن تثخّين الأعمدة في منتصف إرتفاعها يعمل على زيادة مقاومتها للإنبعاج. [الشكل: 22]



يفية تطبيق مبدأ الكفاءة المنشئية

وبإختصار وكطبيعة تطبيقية لما ورد أعلاه, يمكن القول بأنّ القوى لابد أن تجمع سوية وتتدفّق وتسري طبيعياً الى الأرض بأكثر الطرق مباشرةً وإختصاراً خلال الأشكال والعناصر المنشئية ليكون حلاً منطقياً. وبصورة أقرب الى أن تكون صيغة, يمكن تحقيق ذلك من خلال:-

(1) يجب إستعمال كلّ المواد المنشئية أو الإنشائية قريباً من خواصها وقدرتها,

(2) تحقيق أدنى حد من وزن المادة (تقليل الوزن الميت قدر الإمكان),

(3) يجب إن يكون الفعل المنشئي, تحسساً وإدراكاً, واضحاً للشخص غير المتخصص قبل كل شيء. (م/5 ؛ ص/211)

فيما يخص موضوع المواد وإستعمالاتها, فلابد أن تكون **المواد المستعملة مستخدمة بموجب خواصها الطبيعية.** حيث تنص الفكرة الصحيحة والسليمة بأنّ الشكل الناتج الصحيح والسليم يمثل نتيجة حتمية لخواص المادّة عند شيوع إستخدامها. (م/5 ؛ ص/211)

الإستنتاجات العامة

- هنالك أسس معرفية للمنشآت التي تعتمد على قوى الشد والتي تتصف بخفتها وإستهلاكها الشحيح للطاقة مع موضوعية إختزال كلفة موادها وتصنيعها وتلازمهما مع الوزن والحجم المنتقل إضافة الى وقت الإنجاز والطاقة المخزونة في هكذا منشآت, وتمثل التآزرية إحدى هذه الأسس.

- يحتاج التصميم المعماري لمنشآت قوى الشد الى متطلبات خاصة ومنها التصميم الإنشائي. يستند هذا التصميم على مفاهيم وتعاريف أولية تعد أساسية بدءاً من معرفة سلوك القوى وإنتهاءاً بالمادة.

- التطرق الى أنماط منشئية بمستويات متباينة ومختلفة يزيل جزءاً من اللبس والتخوف الذي يحوم حول منشآت قوى الشد كما هو الحال في نمط التآزرية وعضلات الإنسان وسلوك الخلايا الحية, والتي تساهم في إنشاء عمارة تعتمد على مبادئ مماثلة لقوى الشد.

- أنماط التآزرية مختلفة الأشكال سواء أكانت من القضبان المعدنية والخيوط المطاطية أم من النوابض المرنة فهي مماثلة لغشاء الخلية إذ يعتمد شكلها على فعاليات الخلية الميكانيكية وسبل ثبات أشكالها ضمن مستويات الكيمياء الحياتية.

- تبعاً لمبدأ التآزرية فإن منشآت قوى الشد تتطلب متانة على مستوى عال. ويمكن الحصول على هذه المتانة من خلال الأشكال الملائمة والمدروسة, بالإضافة الى أن الشكل يتبع القوى.

- تصنف منشآت قوى الشد المستندة إلى التآزرية ضمن منشآت العمارة العضوية لما لها من سمة التغيير والحركة والأشكال المنحنية التي يمتاز بها الكائن العضوي عن الكائنات الساكنة والجامدة. كما يمكن تقليل التخوف لعمارة قوى الشد بربط منشآتها بالأشكال الهندسية الأساسية المرتبطة بمفاهيم الإستقرار والثبات, تطبيقاً لتعبير "الشكل يتبع القوى".

المصادر والمراجع

- الجبوري، أنس حميد، ***قوى الشد في العمارة–دراسة تحليلية لواقع العمارة المعاصرة***، إطروحة ماجستير، كلية الهندسة/ قسم الهندسة المعمارية– جامعة بغداد, 2006.

- الدوري، قيس إبراهيم، ***علم التشريح***، مخصص لطلبة كلية التربية الرياضية، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي/ جامعة بغداد، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر– جامعة الموصل, 1988.

- Calatrava, Santiago, ***Galinsky***. GNU Free Documentation License, 2006. [http://www.galinsky.com/Santiago Calatrava.htm]

-Essien, Victoria, ***Structures and Forces***. External and Internal Forces acting on structures, McGraw-Hill Book Company, Inc. 2006. [http://www.edquest.ca/pdf/sia74-2notes.pdf]

- Holgate, Alan, ***The art in Structural Design***. Oxford University Press, London, 1986.

- Ingber, Donald E., ***Tensegrity Cell Structures and Hierarchical System Biology***. Journal of Cell Science 116, 1157-1173 © The Company of Biologists Ltd, 2005. [http://www.booklounge.com/books/architecture/materials-form-and-architecture]

- Internet Article/ Google searching images/ ***skeleton structure building***, 1998. [http://images.google.com/images?svnum=10&hl=en&lr=&rls=GGLR%2CGGLR%3A2006-36%2CGGLR%3Aen&q=skeleton+structures+building&btnG=Search]

- Lisborg, Niels, ***Principles of Structural Design***. B.T. Batsford Ltd., London, 1961.

- Salvadori and Heller***, Structure in Architecture: The Building of Buildings***. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.

- Sturzebecher and Ulrich, Peter and Sigrid***, Architecture for sport.*** Wiley Academy, a division of John Wiley & Sons Ltd, Great Britain, 2002.

- Vandenberg, Martiz***, Cable Nets, Detail in building***. Academy Editions, London, 1998.

- Wikipedia, the free encyclopedia, ***Tensegrity***. GNU Free Documentation License, 2005. [http://en.wikipedia.org/wiki/tesigrity]

- Wikipedia, the free encyclopedia, ***Tensile Architecture***. GNU Free Documentation License, 2003. [http://en.wikipedia.org/wiki/tensile_architecture]

- Wilson, Forrest, ***Structure: the Essence of Architecture***. Studio Vista Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1971.