نظم الشد ودورها في استحداث رؤى فنية مبتكرة في التركيبات الوترية بالنحت المعاصر.

دراسة
مراجعة

* أحمد محمد أحمد عبد الله
* المعيد بقسم التعبير المجسم، تخصص نحت، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان..
البريد الإليكتروني: ahmedabdalaa11232@gmail.com

تاريخ المقال:
- **تاريخ تسليم البحث الكامل للمجلة: 14 سبتمبر 2022**
- **تاريخ القرار الأول لهيئة التحرير: 15 سبتمبر 2022**
- **تاريخ تسليم النسخة المنقحة: 16 أكتوبر 2022**
- **تاريخ موافقة هيئة التحرير على النشر: 17 أكتوبر 2022**

الملخص:

خلقت حقبة إستكشاف الفضاء في الستينيات الحاجة إلى هياكل خفيفة الوزن ، ومع الوحدة الروحية بين العلم والفن وحيوية كل مجال منهم وأثره على المجال الآخر، تناولت الدراسة التأثير الرياضى للنماذج الرياضية على مجموعة من فنانى النحت الحديث مثل باربرا هيبورث Barbara Hepworth وناعوم جابو Naum Gabo وهنرى مورHenry Moor وغيرهم فأنتجوا تركيبات فراغية كانت النواة للهياكل الوترية التى ولدت على يد كينث سينلسون Snelson Kenneth وفيها إهتم الفنان بدراسة نظم الشد فى الطبيعة ودراسة أسسها الرياضية والتى أتاحت إستحداث رؤى فنية مبتكرة لصياغات تشكيلية متعددة منها أشكال وترية تعتمد على شد الأغشية tensile membrane ، أشكال وترية تعتمد على خصائص الوتر الفيزيقية ، أشكال وترية تعتمد على خلق الحجوم الفراغية ، اشكال وترية تعتمد على نظام الهياكل الوترية الخطية وكان وراء هذا التعدد إثراء النحت المعاصر برؤى فنية مبتكرة والوقوف على مصادر رؤية جديدة لا تعتمد على الرؤية الظاهرية لعناصر الطبيعة بل على الإستكشافات العلمية الحديثة التى تعمل على إثارة فكر فنانى النحت المعاصر ومنها أنظمة الشد فى الطبيعة وتطبيقاتها فى العديد من مجالات العلوم التطبيقية والعمارة والنحت المعاصر .

الكلمات المفتاحية: نظم الشد ، التركيبات الوترية ، النحت المعاصر.

المقدمة

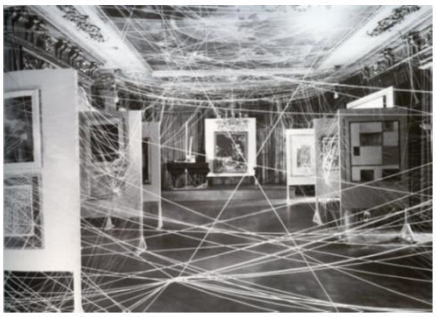
يمكن إعتبار " التوتر " " Tensegrity " بمثابة مفهوم هيكلي مبتكر فهو مبدأ تصميمي يتم تطبيقه على عناصر الضغط وتوازنها بقوة الشد المستمرة ، مما يخلق إجهادًا داخليًا يعمل على إستقرار الهيكل بأكمله ، وقد تم تعريفه من قبل العديد من الفنانيين والمهندسين وسوف يعرض البحث بعض هذه التعريفات تبعاً لترتيبها الزمنى ، " وقد بدأ علماء الرياضيات في إنشاء نماذج حقيقية للتركيبات الوترية التي كانوا يدرسونها ، بإستخدام مواد مختلفة (مثل الجص ، والكرتون ، والمعادن ، والأسلاك ، وما إلى ذلك) وأطلق عليها النماذج الرياضية ، ولقد شقت تلك النماذج كغيرها من العديد من الافكار الرياضية الحديثة طريقها الى المجال العام وأثارت خيال الكتاب والفنانين على حد سواء ، وتمكن الفنانون من كلا الحركتين السريالية والبنائية من إستخدام النماذج كمصدر للأشكال والأفكار البصرية ، وقد رأى السرياليون في النماذج الرياضية التناقض بين عقلانية الرياضيات والطبيعة الخيالية للأشكال ، فى حين رأى علماء البناء النماذج الرياضية كشكل صريح من أشكال البناء" (Kristof Fenves & TuuliL ahdesmaki، 2017 ، 200) وفي عام 1872 تقابل نعوم غابو Naum Gabo، باربرا هيبوورث Barbara Hepworth ، وهنري مور Henry Moor مع تلك النماذج بمتحف العلوم بانجلترا واستمدوا منها بعض الإلهام ، وصنعوا تماثيل صغيرة من مواد مختلفة بإستخدام خيوط ملونة كما توضح الاشكال (1،2،3) وركز كل واحد منهم على هذه النماذج بشكل مستقل ، وذكر غابو" نحن نؤكد الخط فقط باعتباره اتجاهًا للقوى الساكنة وإيقاعها في الأشياء ، يشير هذا بإيجاز إلى مفاهيمه البنيوية مثل تصور منحوتاته كنظام تأسيسي من القوى المتوازنة ، سلاسل الشد التي يتم موازنتها بمهارة من قبل أعضاء ضاغطة يتردد صداها مع هذا المفهوم. "(Damiano Pasini ، 2009 ، 366:380 بتصرف) بينما ابتكر مور ما بين 20 و 30 منحوتة خيطية على مدى ثلاث سنوات تبدأ في عام 1937 ، " نشأ توتر الأوتار المشدودة في منحوتاته الوترية في الأعمال التي تدين محنة اللاجئين. وتقول: "إنهم يظهرون مزيجًا من السريالية والتوتر بينما كانت بريطانيا على وشك الدخول في الحرب العالمية الثانية"(https://www.theartnewspaper.com ، 20.8.2022، س 8 م)

وفى معرض للسريالة استخدم مارسيل دوشامب شكل (4) ست عشر ميلا من الخيط شغل بها حيز قاعة العرض لتكون حائلا بين المشاهدين واللوحات وافترض دوشامب أن الوتر أكثر شفافية من كونه معتمًا قال: " لم يكن شيئًا". "يمكنك دائمًا أن ترى من خلال نافذة ، من خلال ستارة ، سميكة أو غير سميكة ، يمكنك دائمًا رؤية ما إذا كنت تريد ذلك ، الشيء نفسه هناك."(Caro Verbeek ، 2016)

شكل (1) ناعوم جابو البناء فى الفضاء ، أسيتات السليولوز,22×27×18سم
https://www.tate.org.uk/art/artworks/gabo-construction-in-space-crystal-t06978

شكل (2) باربرا هيبورث Barbara Hepworth
، برونز مع خيوط الابعاد 817 × 540 × 540 مم1966

شكل (3) هنرى مورHenry Moor ، الام والطفل، برونز مع
الزنجار الأسود وخيط، 9.11 سم ، 1938(John Toland ، 2012)



شكل (4) مارسيل دوشامب ، ست عشر ميلا من الخيط ، 1942

تنوعت الصياغات التشكيلية لأنظمة الشد للأشكال الوترية فى النحت الحديث وفقاً لأسسها البنائية فمنها أشكال وترية تعتمد على شد الأغشية tensile membrane وهى تمثل الإتحاد المثالي بين الفن والهندسة ، وتتميز بإنحناء أسطحها ، وخفة الوزن ، سواء من حيث الوزن الفعلي أو المظهر المرئي ، كما يوضح شكل (5) لجينس جي مايرjens j. meyer فى تكوينه فى عبر الفضاء إلى النور وفيه تتقاطع المساحات المثلثة الشكل ، وتمتد مثل الأشرعة ومن خلال اللعب بالضوء والظل ، تلعب الأوتار دوراً إيجابياً وضرورياً فى الإحتفاظ بشد مساحات القماش لتحتفظ بهيئتها وصلابتها لتتمكن من إرتكازها على الأرضية فى نقاط تماس تعمل على ديناميكية التكوين ، أشكال وترية تعتمد على خصائص الوتر الفيزيقية كما يوضح شكل (6) لخوسيه دافيلا Jose Davila الذى تعكس أعماله التناقض فى الجذب والتوتر بين المواد المختلفة ، سكونها الظاهري هو نتيجة التطابق بين القوى ، التوازن وجاذبية الأرض ، فتحول إبداعاته إلى تماثيل للشكوك والتناقضات ، تناقض شكلى ومرئى ومادى مدمج في هذه المنحوتات حيث تتعايش الهشاشة والمقاومة والهدوء والتوتر والهندسة والفوضى ، سكون غير مستقر المساحة في قاعة العرض إلى رحلة من الإنعكاسات غير المتوقعة ،

شكل (5) جينس مايرMEYER. J JENS ، عبر الفضاء الى النور ، قماش ، اوتار .
https://www.jj-meyer.de/portfolio-type/sculptures

شكل (6) خوسيه دافيلاJose Dávila ،الاضعف غزا الاقوي ، المملكة المتحدة ، 2017
/http://pitchdesignunion.com/2010/07/26/megan-geckler

شكل (7) جيكلر ميجان ،Megan Geckler "2010 "
تداخل حلزونى(Olivia Samma ، 2017)

أشكال وترية تعتمد على خلق الحجوم الفراغية كما ويوضح شكلى (7، 9) لميجان جيكلر Megan Geckler ، جبريال حيث تتحدى تركيباته فكرة أن المنحوتات لها وزن وحجم ، فهى بشكل أساسى رسومات في الفضاء ، تنقسم وتتغير وتصبح حركية على ما يبدو مع تغير إتجاه المشاهد نتيجة الجمع بين النظام الحسي للمشاهد وفيزياء الضوء، وتعد نسخة محدثة ثلاثية الأبعاد من فن الأوتار ، والتى اكدت عليها الفنانة الأسترالية Nike Savvas والتى ابتكرت أعمالًا تطمس الحدود والفئات التأديبية بين الرسم والنحت. من خلال دفع خطوطها إلى المجال الموسع ، تحول سافاس المواد من عالم "غير الرسم" ، مثل الخشب والصوف ، إلى تجارب بصرية تغمر الجمهور بشكل مدرك.

شكل (8) سافاس Savvas ، خشب وخيط 2×3×2.8m،2012

شكل (9) جبريال ، خيط ملون ، حجوم فراغية
https://www.gabrieldawe.com/texts

(انظر الشكل8) ، وضح كيف يمكن للفنانين استخدام خطوط السلسلة والتكوين لإنتاج تجربة متغيرة للمساحة للجمهور ، وكذلك إبراز تأثير وجهة النظر والتكوين في التجربة الإدراكية.
اشكال وترية تعتمد على علاقتها بالمكان كما يوضح شكل (10) لفريد ساندباك Fred Sandback الذى إستخدم الخيوط المشدودة لتنفيذ أعمال ما أسماه "مساحة المشاة" الذى يغير بشكل أساسي الطابع المعماري للمساحات التي يسكنها المشاهد ، ويسمح التواجد البسيط للمادة من اسلاك وحبال مرنة للمسافات بين الخطوط بالحصول على رؤية غير متوقعة حيث تحدد الأوتار محيط المساحات بإقتصاد أنيق ، أشكال وترية تعتمد على إنتاج الحركة كما يوضح شكل (11) لدانيال بالاسيوس Daniel Palacios الذى إستخدم فى تركيبه التجهيز فى الفراغ محركين لتأرجح طول الحبل مما يخلق صورة بصرية تذكرنا بالشكل الموجي الرقمي أثناء

إنشاء ترنيمات السوط من حركة الحبل الذي يقطع الهواء بسرعات مختلفة ، وشكل (12) لمارك دي سوفيرو Mark di Suvero يوضح استخدام الوتر فى انتاج حركة بندولية تتسع حركتها وتقل تبعا لنسب الوزن المحملة على الاتار وأشكال وترية تعتمد على نظام الهياكل الوترية الخطية كما يوضح شكل (13) والتى إشتهر بها كينث سنلسون Kenneth Snelson الذى تركزت إهتماماته الفنية على ما يسميه "طبيعة البنية "the nature of structure"، وقد أدى ذلك إلى إستكشافه لقوى التوتر والضغط الطبيعية التي تمنح الأجسام السلامة الهيكلية ، إن تركيباته الوترية عبارة عن نظام مغلق يتألف من ثلاث أو أكثر من وحدات الضغط التي لا تلمس (وبالتالي "العائمة) والتي ترتبط بشبكة مستمرة من عناصر التوتر ، ففى تركيبات سنلسون ، "وحدات الضغط" هي قضبان معدنية و"عناصر التوتر يشار إليها بالكابلات ، يتم تحقيق السلامة الهيكلية مع دفع القضبان إلى الخارج ضد المفاصل ، أو النقاط العقدية ، مما يخلق التوازن الثابت بين التوتر والضغط ، وتتكون معظم تركيبات سنلسون من الألومنيوم أو الصلب المقاوم للصدأ والكابلات الفولاذية التي لا تصدأ ، على الرغم من أنه جرب مواد أخرى ، إلا أنه يعود إليها لما يذكر أنها أسباب عملية فهي خفيفة الوزن وقوية ، ومن المهم أيضا أن تصنع الكابلات من نوع من حبال لا تتمدد، وفيما يلى عرض للاسس الإنشائية للهياكل الوترية لكينث سنلسون Kenneth Snelson بإعتباره احد رواد هذا التصنيف .

شكل (10) فريد ساندباك Fred Sandback ،
صلب ، 484 × 292 ، 2014(Fred Sandback ، 2006)

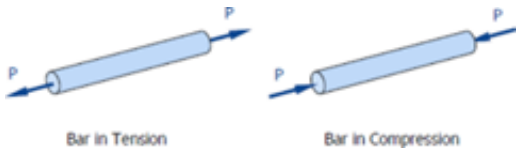
شكل (11) دانيال بالاسيوس Daniel Palacios،
امواج ، 2006(John Grayson ، 1975)

شكل (12) مارك دي سوفيرو ، ترايبود سوينغ ،1965 .الفولاذ والمطاط المطلي ،
61 × 86 × 86 بوصة.(Melissa Ragain ، 2017)

شكل (13) كينث سينلسون Kenneth Snelson،
الصلب المطلي والمقاوم للصدا،4.6 × 4.6 × 6 م، تكساس.

الأسس الانشائية للهياكل الوترية

لفهم سلوك هياكل التوتر يجدر أولاً فهم قوى الشد وهي القوة التي تمارس بالتساوي على طرفي الكابل أو السلسلة أو الحبل أو السلك أو أي شيء متصل آخر ويتم نقلها بين الأطراف بواسطة هذا الجسم ، على المستوى المجهري فإن الأجسام تحت التوتر لها فصل بين الجزيئات التي تولد طاقة كامنة في روابطها ، ويتطلب الأمر قوة لوضع الجسم تحت التوتر ، ولكن من الناحية الفنية ، فإن التوتر نفسه ليس قوة طالما أن الوضع مستقر ومع ذلك يقيس الفيزيائيون التوتر في نظام بوحدات القوة بمجرد أن يبدأ جزء من النظام في التحرك كما هو الحال عندما يتم تحرير أحد طرفي الحبل المتوتر ، ويتم تحويل الطاقة الكامنة بين جزيئات الحبل إلى طاقة ميكانيكية ، ويتحول التوتر إلى قوة ، طالما أن الجسم الخاضع للشد مستقيماً ، يكون الشد ثابتًا طوال طوله ، وقوى التوتر هي إحدى قوى الاتصال وهي القوى الموجودة عندما يتلامس جسمان مع بعضهما البعض ، هناك أيضًا قوى عدم تلامس مثل الجاذبية والقوة المغناطيسية والقوة الكهربائية والتي تعمل عن بعد والتوتر هو عكس الضغط كما يوضح شكل (14).



شكل (14) يمثل تأثير قوى الضغط والشكل على الدعامة

تتميز هياكل التوتر بالطريقة التي يتم بها توزيع القوى داخلها أعضاء هيكل الشد إما في حالة توتر دائمًا أو دائمًا في حالة ضغط ، تكون عناصر الشد عادةً كبلات أو قضبان ، بينما تكون أعضاء الضغط عبارة عن أجزاء من المواسير ، وتشكل عناصر الشد شبكة مستمرة ، وهكذا تنتقل قوى الشد في جميع أنحاء الهيكل بينما عناصر الضغط نجدهم متقطعون ، لذا فهم يقومون بعملهم محليًا فقط نظرًا لأن عناصر الضغط لا يتعين عليهم نقل الأحمال عبر مسافات طويلة فهم لا يخضعون لأحمال الإلتواء الكبيرة وبالتالي يمكن جعلهم أكثر نحافة دون التضحية بالسلامة الهيكلية .

هناك العديد من الأشكال المختلفة لهيكل الشد الذي يتراوح من البسيط إلى المعقد ، وفيما يلى بعض أنواع هياكل الشد الأساسية الأكثر شيوعًا. مع عرض لبعض الحسابات الرياضية المختلفة والتي يمكن تطبيقها على تصميم الشد ، وهناك قدر كبير من الرياضيات التي يجب إتباعها للتأكد من أن النظام سليم من الناحية الهيكلية .

انواع هياكل التوتر : وهي مقسمة إلى ثلاث فئات رئيسية هياكل التوتر البسيطة (المنشورية) T-Prism والتوتر الماسي Diamond tensegrity والتوتر المتعرج Zig-zag tensegrity

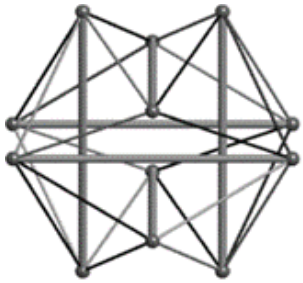
هياكل التوتر البسيطة (المنشورية) T-Prism : والمعروف أيضا بإسم المنشور الثلاثى prism-3 شكل (15) إنه اللبنة الأساسية لكل التوترات فهو الأبسط والأكثر إفادة في عائلة التوتر يعتقد بعض مؤرخي الفن أنه تم عرضه لأول مرة من قبل الفنان اللاتفي كارل إيوجانسون في موسكو ، يُعرف أيضًا بإسم المنشور ثلاثي الدعامات ، وهو أبسط هيكل شد ثلاثي الأبعاد وأول هيكل تم إنشاؤه وعرضه في عام 1921 يحتوي على ثلاثة دعامات وتسعة كبلات ويُظهر أيضًا ثباتًا قويًا ، تم تسميته بمنشور الشد أو منشور T حيث يمكن إعتباره منشورًا ملتويًا يتكون من وجهين مثلثين ملتويين فيما يتعلق ببعضهما البعض. بشكل عام ، تم تصميم هياكل الشد هذه عن طريق الحفاظ على أطوال مجموعة واحدة من الأوتار والدعامات ثابتة ، وتحديد أطوال مجموعة أخرى من الأوتار ، عندما يكون أحد طرفي المنشور ملتويًا بالنسبة إلى الطرف الآخر ، تصبح الجوانب المستطيلة للمنشور أشكالًا رباعية الأضلاع غير مستوية وهكذا تصبح كل زاويتان متقابلتان من كل رباعي منفرجة وحادة لكي تكون البنية مستقرة ومسبقة الإجهاد يكون المنشور ملتويًا بحيث تكون المسافة بين الزوايا المنفرجة أقل (مرحلة بسيطة من الالتواء) وبالتالي ، يتم تكوين منشور T مستقر تمامًا.

التوتر الماسي Diamond tensegrity: هو مثال كلاسيكي على توتر الماس شكل (16) تتميز هذه التوترات بحقيقة أن كل مثلث من الأوتار متصل بالمجاور عبر دعامة ووتران مترابطان ، تم عرضه لأول مرة من قبل بكمنستر فولر في عام 1949 وهو واحد من عدد قليل من حالات التوتر التي تظهر تناظر المرآة ، يُصنف هذا التوتر على أنه " نوع ماس" لأن كل من دعاماته محاطة بشكل ماسي من أربعة أوتار مدعومة بدعامتين متجاورتين مما يجعلها متميزة عن الشد المتعرج .

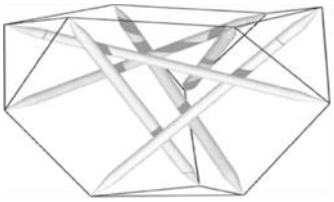
كما يطلق عليه اسم هياكل الشد العشرية T-icosahedron (عشري الوجوه) لأنه إذا أضفت سلاسل بين نهايات كل دعامات متوازية ، يحصل على 20 مثلثات متساوية تقريبًا (عشري الوجوه).ولبنائه تكون الحاجة إلى 6 دعامات و 24 أوتارًا للحصول على توتر عشري الاوجه مع نسبة أطوال من الأوتار إلى الدعامة 0.613.

التوتر المتعرج Zig-zag tensegrity : بشكل عام تكون الهياكل المتعرجة ذات التكوين من النوع Z أبسط وأقل صلابة نظرًا لإنخفاض عدد الأوتار عن نظيراتها الماسية ذات التكوين المعيني شكل (17) .

شكل (15) يمثل هيكل التوتر البسيط مكون من ثلاث دعامات وثلاث كابلات



شكل (16) يمثل هيكل التوتر الماسي Diamond tensegrity



شكل (17) يمثل هيكل التوتر المتعرج Zig-zag tensegrity

المنهجية:

شملت الدراسات التي تناولت مفهوم أنظمة الشد فى إطارها النظري، أو التطبيقي مجموعة من الكتب، والرسائل العلمية (ماجستير – دكتوراه)، المقالات البحثية.

دراسات مرتبطة زمنياً، حددت الدراسة الدراسات المرتبطة من 1984 إلى 2020 وتشمل دراسات ورسائل علمية (ماجستير – دكتوراه) ماعدا رسالة " التصميم فى النحت الحديث " لمحمود ابو الفتوح البسيونى عام 1973 وهذا لأهميتها حيث أنها تعد من الدراسات المرجعية القيمة التى حاولت فهم الغرض الجمالى لفن القرن العشرين من حيث كونه فناً مرئياً ملموساً كما تناولت التاثير الرياضى فى تصميم النحت الحديث ، دراسات مرتبطة جغرافياً وإنقسمت إلى جزئين دراسات عربية من المكتبات المركزية بالجامعات المصرية (حلوان ، القاهرة)، ودراسات أجنبية من دول متعددة ومع عملية البحث ظهرت بعض الكتب الأجنبية مترجمة، وبعض المقالات تناولت مفهوم أنظمة الشد في التركيبات الوترية .

أولاً : الدراسات المرتبطة العربية :

دراسة بعنوان التصميم فى النحت الحديث (محمود ابو الفتوح البسيونى ، 1973) وتناولت الدراسة العلاقة الوثيقة بين علم الطبيعة المعاصر وبين الفن التشكيلى الحديث فالتحول الأساسى فى علم الطبيعة قد غير بطريقة أساسية مفهومنا عن المكان والزمان والحركة كما أبطل الأفكار القديمة عن الكتلة حيث أصبح ثقل الكتلة عاملاً محكوماً بسرعتها ، إن الوحدة الروحية بين العلم والفن مثلها كمثل مجالات الثقافة الإنسانية المختلفة فهى تمدنا ببرهان كاف على حيوية كل مجال منهم وأثره على المجال الاخر . وتناولت الدراسة التأثير الرياضى فى النحت الحديث وذكر الباحث فيها ان علاقة النحت الحديث بالرياضيات كانت تبدو بالنسبة لمعظم النقاد من الأشياء العسيرة حيث ساد الإعتقاد أن الفن مقيد دائماً بالمناهج الأساسية الصارمة فى التفكير .

ولقد كان للأفكار الرياضية تاثير كبير فيما سمى " بالنحت الغير موضوعى " ولكن من الصعب تحديد الوقت حيث توقف الإدراك فى الفن عن طريق الحدس بمعناه القليدى وبدأ ما يسمى بالحدس الرياضى ، وعلاوة على ذلك فإن الكثير من النحت الهندسى جاء نتيجة لرغبة فى التركيز والتبسيط بالإضافة إلى توق شديد للأشكال الهندسية الخاصة ، وقد كانت الرياضيات تمثل – بالنسبة لقليل من النحاتين – قوة غير مرئية حيث ان كلا من اشكالها الطبيعية وقدرتها الفعلية تشكلان الهاماً فنياً عظيماً ، ويذكر الفيلسوف سبنجلر أن من أهم الأشياء فى الرياضيات الكلاسيكية هو إفتراضها أن الرياضة هى خلاصة كل الأشياء المرتبطة بالإحساسات فقد قال إن الرياضيات هى المقياس الذى يحتوى على كل إحساسات العالم بالروحانيات هذه إلاحساسات المرتبطة بالمكان الزمان .

وفى نفس الوقت الذى إتجه فيه فنانى القرن العشرين الى الرياضيات ظهر منبع آخر فى الشكل الخالص وهو النموذج الرياضى التى تستمد وجودها من بناءات عقلية خالصة من صنع الغنسان وحده غنها كما يقول ارب Arp ثمرة العقل الانسانى .

تناولت دراسة الأبعاد الفلسفية والجمالية لصياغة الأعمال الفراغية في النحت الحديث والإفادة منها في تدريس التشكيل المجسم.(اسعد سعيد فرحات ،2004) وإشتملت على الفراغ كعنصر حقيقي وأساسي لرؤية الأعمال النحتية وأكدت على أن الفراغ عنصراً اساسياً في عملية التشكيل ، وكيف مهدت البنائية لأهمية دور الفراغ في الأعمال النحتية وكان من أهداف البحث تباين أهمية الفراغ كعنصر تشكيلي وتعبيري في بناء الأشكال المجسمة ، وتحديد الأبعاد الفلسفية والجمالية والتقنيات المناسبة لصياغة الأعمال الفراغية في النحت الحديث ، لإيجاد مداخل تصلح لتدريس التشكيل المجسم ، وقد إفترضت الدراسة أن هناك أبعاد فلسفية وجمالية لصياغة الأعمال الفراغية في النحت الحديث ، وإمكانية التوصل الي مداخل تشكيلية وتعبيرية لتدريس الأشكال الفراغية ، وتوصلت الدراسة الي شقين الشق الأول خاص بنتائج الدراسة النظرية ، الشق الثاني خاص بنتائج الدراسة التطبيقية وتوصلت الدراسة الي نتائج تطور مفهوم الفراغ ليأخذ ما للكتلة من أهمية في بناء الأعمال النحتية الحديثة . التغير في الصياغات التشكيلية حيث أصبح الفراغ جزءاً من مادة العمل البنائية ، إن الفراغ قد أضاف أبعاد فلسفية وجمالية لرؤية الأعمال الفنية من خلال إكتشاف قيم جمالية وتشكيلية لم تكن مطروقة من قبل ، إن تناول الفراغ في النحت الحديث لم يقتصر

علي إسلوب نمطي بل تم تناوله بأكثر من إسلوب فني ، فالعمل الفني قد أصبح في ضوء المفاهيم الفراغية لغة مشتركة بين الفنان والمشاهد من خلال التوصل الي مضمون تعبيري للفكرة الفنية ، وأصبح التوجه الى التغير في صياغة الأعمال الفراغية نحو التعبير عن المضمون أكثر من التعبير عن المظاهر الحسية في الطبيعة ، أن المزاوجة بين العلم والتكنولوجيا الحديثة قد أثمرت عن العديد من التقنيات المستحدثة ، وأضافت أبعاد جمالية لصياغة الأعمال الفراغية في مجال النحت ، وقد صنفت الدراسة الأعمال النحتية الممثلة للإتجاهات الفراغية الي أربعة محاور رئيسية هي الأبعاد، الخامات ، وإرتباط الشكل بالقاعدة، الحركة . إن الأبعاد الأحادية المتمثلة في الخطوط ، والثنائية المتمثلة في الشرائح ، تعد أساسا لصياغة الأعمال الفراغية ، والخامات الشفافة والمصقولة والمعاكسة تعمل علي فقد الأجسام لكثافتها المادية محتفظة بأبعادها دون كتلتها وبالتالي تكون الأعمال الفنية ذات صياغة فراغية . أن فكرة تلامس الأشكال في أقل نقاط إرتكاز ، وفكرة إلغاء القاعدة أدى الي فقد الأشكال لرسوخها وتحررها من قيود الجاذبية وجعلها منتمية الي الفراغ . إن حركة الأجسام الفعلية لا تحدث إلا في فراغها المحيط وبالتالي يكون الفراغ جزءاً لا يتجزأ من العمل الفني .

وأظفرت الدراسة عن عدد من النتائج التطبيقية منها أن تناول الفراغ في الأعمال الفنية لم يقتصر علي صياغة نمطية بل تم تناولها بأكثر من صياغة ، تنوع الإتجاهات والأساليب والتقنيات المرتبطة بصياغة الأعمال الفراغية ، التوصل الي صياغات فراغية من حيث تقنيات التركيب والإنشاء والبحث عن هيئات تشكيلية جديدة والتزاوج بين الخامات، توظيف الصياغات الفراغية في تحقيق المضمون التعبيري للأعمال الفنية ، تأثير الصياغات الفراغية بالتطور العلمي والتكنولوجي من خلال الكشوف العلمية والإختراعات الصناعية ، إرتباط تحقيق الصياغات الفراغية بالأبعاد سواء الأحادية المتمثلة في الخطوط أو الثنائية المتمثلة في الشرائح .

فقدت الأجسام كثافتها المادية من خلال معالجة اسطحها بإستخدام تقنية الصقل حيث تتحول الي أسطح عاكسة نتيجة تفاعلها مع الضوء الساقط عليها وزيادة الفاعلية الفراغية للأعمال نتيجة إرتكاز الأشكال في أقل نقاط أو إلغاء قاعدتها ، تعتبر الممارسة التطبيقية مداخل فكرية وتشكيلية متنوعة لدراس التربية الفنية تتوافق وطبيعية الدراسة بالكلية .

وأكدت دراسة بعنوان " التركيبات الفراغية كنظرية إبداعية ودورها الجمالي في تطوير مفاهيم النحت المعاصر " (فاطمة محمود ، 2014) أنه كان للتقدم العلمي والتكنولوجي في أوائل القرن العشرين الأثر البارز علي تغيير وتطوير مفاهيم النحت وفكر الفنانين فمع هذا التغير في المفاهيم الفنية أصبح الفنان يفكر بالفراغ بإعتباره عنصراً نحتياً يعبر عن مفاهيمه ورؤيته الفنية الجديدة مما حقق صيغ إبداعية تجاه التركيبات الفراغية النحتية وبفضل أفكار البنائيين الذين إستخدموا الحجم كمعادل تشكيلي عوضاً عن الكتلة بواسطة تركيب الحجوم بالخامات الثنائية الأبعاد وذات الإمكأنيات الخطية والشفافة والأسطح العاكسة والتقنيات الحديثة

ويشير البحث الي كيفية إستخلاص أسس ومفاهيم ومراحل تطور التركيبات الفراغية كنظرية إبداعية وكذلك دورها في تكوين مفاهيم النحت المعاصر والوصول الي مداخل لتصنيف التركيبات الفراغية في النحت المعاصر ، ونتائجها وإرتباطها بالعلم والنظرية الإبداعية ، وإستخلاص مفهوم النظرية الإبداعية للتركيبات الفراغية ، ومبادئها وأهميتها والهدف منها والتوصل الي معايير مضامين القيم الجمالية والتعبيرية والأسس الأنشائية للتركيبات الفراغية ، والتأكيد علي الدور الجمالي للتركيبات الفراغية في إثراء النحت المعاصر وتوصل البحث الي نتائج ومنها إستخلاص مفهوم النظرية الإبداعية للتركيبات الفراغية ومبادئها وأهميتها والهدف منها ووظائفها والأسس التي تقوم عليها التركيبات الفراغية ، ومنها ثبات فكرة النظرية الإبداعية للتركيبات الفراغية عبر المراحل المختلفة مع تطوير طرق التطبيق بما يواكب التطور التكنولوجي والتقنيات والخامات المستحدثة ، تطور طرق تطويع الخامة لتحقيق الفكر التشكيلي الفراغي للفنأن المعاصر، والتأكد علي الدور الجمالي للتركيبات الفراغية في إثراء النحت المعاصر والوقوف علي قيم الإبداع للتركيبات النحتية الفراغية.

وأوضحت دراسة " النظم الرياضية في النحت المعاصر كمدخل لتدريس التشكيل المجسم "(هدى ابراهيم على ، 2015) أن الفن الحديث إرتبط بالعلوم وخاصة الرياضيات ، وضع قوانين وقواعد تساعده في بناء العمل الفني ، والقوانين عبارة عن نسبة حسابية حكمت العلاقات المختلفة بثبات منقطع النظير أثبتها الرياضيون وعمل بها المعماريون والفنانون والأدباء وقاسها علماء الطبيعة ، فالرياضة هي لغة العلاقات ساعدت في الوصول للقمر ومهدت الطريق لحل الكثير من أسرار الطبيعة ، فالطبيعة بما تحتوية من عناصر متنوعة تتخذ في مسارها اشكالاً متعددة ، ونظماً بنائية

تخضع لقوانين رياضية تؤكد تلك النظم وتتخذ العناصر في الطبيعة نسباً وعلاقات تركيبية تخضع للوظائف التي خلقت من أجلها ، ومن خلال دراسة الطبيعة يمكن معرفة النظم الرياضية التي تقوم عليها الأشكال الطبيعية فلكل شكل نظام رياضي وهندسي خاص به يعبر عن خصائص أجزاءة . فكانت بداية ظهور النحت الرياضي من خلال المدارس الفنية المعاصرة التي تعتمد علي بناء الهندسي الفراغي للشكل وأصبح غير مرتبط بالطبيعة في تقليد أشكالها كما هي فقد ساعد التطور العلمي الذي أتاح له مصادر جديدة للإبداع حين ساعده في رؤية الطبيعة بشكل مغاير فأضحي ينظر الي جوهرها ويعبر عنه. وتعود أهمية البحث الى التعرف علي أسس وخصائص النظم الرياضية التي اثرت علي النحات المعاصر في ابداعة الفني ، عرض المفاهيم الجمالية والإبداعية في الأعمال النحتية المعاصرة القائمة علي النظم الرياضية ، الخروج بمداخل تدريسية للتشكيل المجسم قائمة علي النظم الرياضية . وتوصل البحث الي نتائج منها النظم الرياضية أتاحت رؤية جديدة في تحليل الأعمال النحتية المعاصرة بمنظور اخر ، أن النظم الرياضية قد أضافت أبعاداً جمالية لرؤية الأعمال الفنية من خلال إكتشاف قيم جمالية لم تكن مطروحة من قبل ، تعدد طرق صياغة الأعمال النحتية المعاصرة القائمة علي النظم الرياضية نتيجة إختلاف الخصائص والنظريات الرياضية، أن النظريات الرياضية تعد اساسا في بناء الأعمال النحتية المعاصرة .

وتعتبر دراسة " التشكيلات الخطية وتكويناتها الفراغية ابعادها الجمالية والتشكيلية والإفادة منها في مجال النحت بالتربية الفنية " (احمد فهيم ، 2004) أن النظام خاصية أساسية في الكون ، والذي يتامل هذا النظام يجد نفسة أمام العديد من العلاقات والتشكيلات الخطية والتراكيب المتنوعة ، التي تشكل بكل عناصرها الفراغ المحيط بها وتتفاعل معة . كما يعتبر الخط عنصراً هاماً من عناصر التشكيل له قيمه البنائية والتعبيرية في العمل الفني . ويختلف التاثير الإدراكي والجمالي للخط بإختلاف طريقة تواجده في العمل الفني المجسم ، فقد يتواجد الخط متحداً مع عناصر أخري في صورة حدود للأشكال ، أو فاصلاً بينها ً و مكوناً لتفاصيلها الداخلية ، وقد يتواجد منفرداً ايضاً ليلعب الدور البنائي والتعبيري كاملاً في العمل الفني المجسم ، وفي هذة الحالة توصف مثلا الأعمال بأنها تشكيلات خطية أو تكوينات خطية ، كلها مسميات تشير الي أن الخط هو العنصر الرئيسي في التكوين العمل الفني . ويعتبر الفراغ من العناصر الفعالة مع الخطوط التي تتمتع بنشاط فراغي ، فهو ليس مجرد جزء من الفراغ الكوني المحيط بالخطوط بل أنه المادة في حد ذاته وله القدرة علي وصل الخطوط ببعضها البعض , وتعد المدرسة البنائية هي أولي الإتجاهات الفنية التي ظهرت فيها التشكيلات الخطية كمدخل تشكيلي للتعبير عن الشكل وإحتواء الفراغ المكون له . وتتمثل أهمية البحث أن من الضروري الإتجاة نحو الكشف عن الإمكانيات التشكيلية والتعبيرية والأبعاد الفلسفية للتشكيلات وتكويناتها الفراغية ، وإضافة رؤية جديدة ومغايرة للمألوف والمتبع من قبل ، وتعكس في نفس الوقت معاني ودلالات وقيم فنية مبتكرة وحديثة . وتوصل البحث الي نتائج منها ، أن مقومات العمل الإبتكاري المشكل في مجال التعبير لا تخضع لنظام وقواعد محفوظة من قبل أو محاكاة للتراث بل تنمو من خلال العمليات الإبتكارية القائمة علي الخلق والإبداع وتلك العمليات تقود ممارس الفن لمحاولات عديدة من التجريب لغكتشاف الإمكانيات الجمالية والتشكيلية والتعبيرية لإستخدام بعض المداخل التشكيلية الحديثة ، أن التجريب لا ينتظر الظاهرة التي يرغب في دراستها حتي تتحقق تلقائيا ولكنة يتدخل للتغيير ثم يسجل الأثر المترتب علي هذا التغير ، التمكن من التقنيات وأهميتها للفنان في تنفيذ أعماله حيث أنه من الصعب أن تتكون طبيعة ثابتة مطلقة للتشكيل والتعبير ولكنها تتشعب الي إمكانات ومداخل وطرق تشكيلية مغايرة ، أن للبيئة الصناعية والطبيعية ومرونتها أثر في تشكيل الوعي الإبتكاري حيث تقلل عوامل الضغط علي من يفكر من خلال وجود خامات وبدائل مستهلكة وإقتصادية .

وفي دراسة " الأبعاد التشكيلية لمفهوم الإختراق البصري في النحت المعاصر" (هاجر محمد حلمى ، 2017) وجاء الاهتمام بهه الدراسة كونها تدرس التطور الكبير للمفاهيم الفنية خلال القرن العشرين نتيجة للتطور والذي حدث في مجالات عديدة منها توظيف العلم والتكنولوجيا حيث زود الفنان بالمواد والعناصر التي ساهمت في تغيير شكل العمل الفني معتمداً علي أفكار عديدة إرتبطت بالعلم ومن هذة المفاهيم مفهوم الإختراق البصري وكانت بداية هذة الفكرة في القرن العشرين في الأعمال التي تناولها النحات بعد أن تحولت الخامة من مادة الي مفهوم والتي أثرت بدورها في تغيير كثير من المفاهيم الفكرية والفنية مما أدي الي إستخدام تقنيات وخامات ومفاهيم مستحدثة ، وتعتبر الشفافية والأنعكاس من العناصر الهامة التي تعمل علي تحقيق الإختراق البصري ولكن يحدث بطريقة في كلا منهم . ففي الشفافية يحدث الإختراق مباشرة بسبب طبيعة الخامة ويسمي

الفراغ النافذ ، ولكن الإنعكاس يحدث بشكل غير مباشر ويسمي الإختراق الحسي حيث ايهام البصر بالإختراق من خلال مجموعة العناصر البصرية المستخدمة خلال مكونات العمل الفني فالعمل الفني كل متناسق ومترابط بداية من الفكرة والتصميم والتنفيذ والخامة والتقنية وتتفاعل جميعها لتحقيق الوحدة التي تنشأ نتيجة الإحساس بالإتساق وبالتالي فإن علاقات الإختراق البصري ناتجة عن علاقة الجزء بالكل والكل بمجموعة الأجزاء لتاكيد الصلة المستمرة بين جميع أجزاء العمل المتداخلة والمتشابكة . وتكمن أهمية العناصر العاكسة في تحقيق العمق الذي هو بالتالي جزء لا يتجزاء من الفراغ , ويهدف البحث الي تباين أهمية الأبعاد التشكيلية للاختراق البصري علي النحت المعاصر . وتوصل البحث الي نتائج منها _ أنعكس تطور العلم و التكنولوجيا والأكتشافات العلمية علي الفن فاثمر العديد من التقنيات والخامات المستحدثة في مجال النحت اضافت ابعادا تشكيلية ادي الي تطور مفاهيم النحت وظهور مفهوم الإختراق _ و التغير في الصياغة التشكيلية للأعمال في النحت المعاصر نتيجة التوجة نحو الأستفادة من الأكتشافات العلمية في التعمق واكتشاف حوهر الأشياء حولنا ليخترق المظهر الخارجي بنظرة علمية وفلسفية عميقة _ و الإختراق يعني النفاذ والتغلغل خلال جسم اخر وقدرتة العقل علي اختراق جواجز الزمان والمكان _ ومفهوم الإختراق البصري هو مفهوم قائم علي نظم العلاقات المتفاعلة داخل بنية التكوين ، ولا قيمة لة الأ اذا كأن وفق سياق متكامل _ و للخامة دور هام في تحقيق الإختراق البصري حيث تتعدد تلك الخامات بين الشفافية والشبة شفافة والعاكسة والمصقولة فكل منها خصائصها التي تميزها عن الأخري وتاثيرها في الرؤية علي المشاهد

ثانياً : الدراسات المرتبطة الأجنبية :

نجد فى دراسة بعنوان كينيث سنلسون وعلم النحت في الستينيات بأمريكا Kenneth Snelson and the Science of Sculpture in 1960s America (ايمي ساندي فريدمان Amy Sande-Friedman ، 2012)

توضيح لأعمال النحات الأمريكي كينيث سنلسون Kenneth Snelson في سياق الفن والتاريخ الثقافي في الستينيات. إشتهر سنسلسون في منتصف الستينيات بتركيباته الوترية المعدنية الضخمة التي تحقق الإستقرار من خلال مبدأ فيزيائي إكتشفه ، والذي أطلق عليه بوكمينستر فولر لاحقًا "الشد" ، إستنادًا إلى توازن التوتر والضغط ، حيث تدور تركيبات سنلسون حول القوى الطبيعية التي تعطي كل المواد في الكون التكامل البنيوي ، يعرف سنلسون تركيباته الوترية بأنها "الحوار بين الدفع والسحب والضغط والتوتر يتم حله في نظام مغلق". ويضيف " "تعتبر أنواع الروابط التي توحد جزأين من التركيبات ذات أهمية حيوية من وجهة نظري ، نقطة الإتصال ذاتها من جزء إلى آخر هي ، في كل حالة ، عنصر هيكلي مصغر يعبر عن نفس الموقف الذي ينطوي عليه النحت الكلي." لذلك ، عند تعريف الهيكل على أنه "موضوع الشكل" في تركيباته ، فإن سنسلسون يعني أن عمله يدور حول تسخير التوتر والضغط لربط العناصر معًا.

الموضوع هو بنية من حيث المادة وتصميم الأجزاء المتصلة وموازنة القوى الطبيعية ، يوعتبر استكشاف الخصائص الهيكلية أمرًا مهمًا لسنلسون لأنه يعتقد أنها تتعلق بأسئلة ميتافيزيقية أوسع حول ما يسميه "القوانين العالمية للفضاء." النظام المادي المطلق والواقع ". يرى سنلسون أن تركيباته الوترية والذرية مهمة لأنها عروض مرئية للقوى الفيزيائية الأساسية والبنية الذرية التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة ، تعد فكرة العرض المادي للخصائص الطبيعية أمرًا ضروريًا لفلسفة سنلسون Snelson الفنية ، وفى الدراسة وصف كيفية تعامل عمله مع الخط الفاصل بين النحت والهندسة ، عندما ظهرت أعماله لأول مرة في نظر الجمهور ، تبنى سنلسون هذا الغموض ، قائلاً في عام 1964 ،"إنه شيء بين الفن والعلم ربما ليس النحت ، لا تهتم إن كان النحت أم لا . ولتمييز عمله عن أعمال المهندسين ، أشار إلى حقيقة أن منحوتاته تفتقر إلى الغرض النفعي. استند هذا التمييز على فكرة أن كان المهندسون مهتمين بحل المشكلات الحقيقية وإنشاء أشياء وظيفية ، بينما سمح تركيز الفنانين الخالص على الجماليات بازدراء الفائدة . ولقد توصل البحث أيضًاالى أن موضوع الأسرار غير المرئية المخبأة تحت السطح والتي تم توضيحها في العديد من منحوتات الستينيات تتعلق بمفهوم التركيب الذري المجهول ، يلفت Snelson سنلسون الإنتباه إلى القوى الهيكلية غير المرئية أو السرية للتوتر والضغط في عمله عن طريق تأليف هياكل درامية يبدو أنها تتحدى الجاذبية ، مثل الإمتدادات الأفقية الطويلة غير المدعومة ، واستخدم فنانون آخرون مثل رونالد بلادين وديفيد فون شليغيل تأثيرات مماثلة مما أثار فضول المشاهد حول الهياكل الداخلية غير المرئية التي جعلت مثل هذه الأشكال ممكنة . كما دعت الأسطح الفارغة الكبيرة التي استخدمها النحاتون مثل موريس وبلادن وروبرت جروسفينور Morris, Bladen, and Robert Grosvenor أسئلة حول العوالم

الداخلية السرية والقدرة على الرؤية والفهم بشكل ملموس كانت المصطلحات من الإهتمامات المركزية لسنلسون والنحاتين الآخرين من جيله. بالنسبة لسنلسون كان هذا يعني استكشاف العوالم غير المرئية للخصائص الهيكلية والشكل الذري ، عمله هو رؤية فنان للعناصر والقوى التي يتكون منها عالمنا.

وفى دراسة بعنوان هياكل الشد وتطبيقاتها في العمارة (tensegrity structures and their application to architecture فالنتين جوميز يوريغي ، Valentín Gómez Jáuregui،2004)

يهدف الى إثبات أنه من الممكن العثور على بعض تطبيقات لمثل هذا النوع غير النمطي من البنية ، الذى عمل عليه كل من أنطوني غاودي وسانتياغو كالاترافا وفري أوتو Antoni Gaudí, Santiago Calatrava and Frei Otto وإستخدموا الأسس الهيكلية لأفلام فقاعات الصابون ، وشبكات العنكبوت ، والعمود الفقري ، وقطرات الزيت ، وما إلى ذلك لتحقيق تحسين في تصميماتهم فقد إستدعوا الوظيفية البيولوجية لدعم مفهوم أن الوزن الخفيف هو مقياس حقيقي للفعالية الهيكلية . وقد أدركت الدراسة أنه تُظهر تجربة المعماريين المذكورين أعلاه أنه ربما يكون من المنطقي إتباع هذا التسلسل (البحث في الطبيعة ، إيجاد النظم ، النظريات ، تطويرها في مجالات أخرى) ، وفي بيان العمارة المستقبلية ، الذي كتبه أنطونيو سانت إيليا Antonio Sant'Elia عام 1914 توقع بنية جديدة ذات صفات جديدة: ثوري ، مرن ، خفيف ، قابل للتوسيع ، نشط ، متحرك وديناميكي. وهكذا ، حدد أهم سمات هياكل الشد.

كما هدف البحث الى لدراسة أصول التوتر ، تضمنت براءات الإختراع الأصلية ، وتسليط الضوء على مراجعة التاريخ والتقدم في هذا النوع من البنية ، وتحديد الخصائص الهيكلية والمفاهيم الأساسية لما يسمى ضغط التوتر المستمر المتقطع ، ووصف خصائصه ، وإبراز المزايا ، وبيان نقاط الضعف فيه. ويعد البحث إطاراً مرجعياً هاماً لتعريف التوتر لسنوات عديدة ، فمن الضروري التحديد الدقيق لبنية الشد لأنه إعتمادًا على التعاريف المختلفة ستكون هناك القدرة على إعتبار بعض أنواع الهياكل بمثابة توترات حقيقية أو زائفة وقد تم إستكشاف تعاريف مختلفة بترتيب زمني ، أقدمها تعريف فولر عام 1962 Buckminster Fuller يصف هذا النوع من الهياكل بأنها "مجموعة من أعمدة الانضغاط المتقطعة المرتبة في مجموعات من ثلاثة أعمدة غير متصلة متصلة بواسطة عناصر شد تشكل مثلثات توتر" ، تعريف كينث سينلسون لهيكل الشد أنه اختصار بين كلمتي " توتر" و "السلامة" ، وتصف الأشكال الوترية مبدأ بنيوي حيث يتم ضمان سلامة وشكل البنية من خلال شبكة ذات أبعاد مغلقة (على سبيل المثال شبكة من الكابلات) والضغوط (على سبيل المثال الدعامات الثابتة)

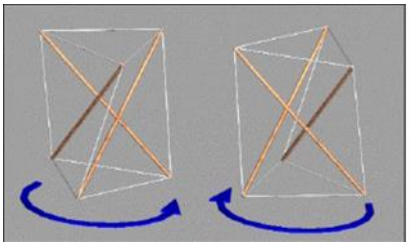
وتعريف انتونى باج Anthony Pugh "يتم إنشاء نظام الشد عندما تتفاعل مجموعة من المكونات الإنضغاطية غير المستمرة مع مجموعة من مكونات الشد المستمر لتحديد حجم ثابت في الفضاء" وتعريف شوديك Schodeck (1993) الذى لم يدرك حتى التسعينيات أن التعريف المستند إلى التكرار ودرجات الحركة قد يكون وصفًا أفضل من المفاهيم الغامضة التي تمت صياغتها في تلك اللحظة. لذلك ، وصف التشدد على أنه هياكل صلبة مصنوعة من قضبان متقطعة في الضغط والحبال المستمرة في التوتر حيث يكون لكل مكون درجة واحدة من التكرار ، وذهب بن بينج وانج Bin-Bing Wang 1998 إلى ما هو أبعد من التعريف السابق ، حيث حدد الخصائص المهمة الأخرى " هياكل الشد هي دعم ذاتي ومتماسكة من خلال الضغط الذاتي " اى ان " "أنظمة الشد عبارة عن شبكات كبلات قائمة يتم فيها التأكيد على نظام متصل من الكابلات ضد نظام غير متصل من الدعامات وعلى نطاق واسع ، تتكون من وحدات بناء " ، ثم تعريف ميورا Miura هيكل الشد هو أي هيكل يتم تحقيقه من الكابلات والدعامات ، يتم فرض حالة الإجهاد التي تضفي التوتر على جميع الكابلات ، مضيفًا لاحقًا ، "بالإضافة إلى نقل التوتر إلى جميع الكابلات ، فإن حالة الإجهاد المسبق تخدم الغرض من تثبيت الهيكل وبالتالي توفير قوة من الدرجة الأولى لآلياتها اللامتناهية في الصغر. " أخيرًا ، حاول رينيه موتورو Rena Mortoro (2003) التمييز بين مفهومين مختلفين. إنه يميز بين التعريف "المستند إلى براءة الاختراع" والتعريف "الموسع".

التعريف المعتمد على براءات الاختراع: أنظمة الشد هي أنظمة شبكية مكانية في حالة من الإجهاد الذاتي. تحتوي جميع عناصرها على ألياف متوسطة مستقيمة ولها نفس الحجم.العناصر المشدودة ليس لها صلابة في الضغط وتشكل مجموعة مستمرة ، تشكل العناصر المضغوطة مجموعة متقطعة ، تتلقى كل عقدة عنصرًا مضغوطًا واحدًا فقط ".

التعريف الموسع : نظام الشد هو نظام في حالة توازن ذاتي مستقرة تشتمل على مجموعة غير متصلة من المكونات المضغوطة داخل سلسلة متصلة من المكونات المشددة."

كما قدمت الدراسة خصائص ومميزات وعيوب الهياكل فذكرت من خصائصها إنها خفيفة الوزن جدًا مقارنة بالبنى الأخرى ذات

المقاومة المماثلة ، لا تحتوي على أجزاء زائدة عن الحاجة ، على الرغم من أنه يمكن إضافة أوتار جديدة لتدعيم الهيكل ، إنهم لا يعتمدون على الجاذبية بسبب ثباتهم الذاتي ، لذلك لا يحتاجون إلى التثبيت أو الغتكاء على أي سطح . الأنظمة مستقرة في أي وضع فقوة الجاذبية أساس العمارة التقليدية ملغاة ، غالبية أنظمة الشد متشابهة كما يوضح الشكل (18) هذا يعني أنهم موجودون كأزواج مرآة يمنى ويسرى على التوالي ، ويمكن ضم وحدات التوتر الأولي من أجل إنشاء صواري أو شبكات أو تكتلات مصنوعة من نفس الأشكال أو أشكال مختلفة ، إذا كان الضغط الذاتى أعلى في نظام الشد ، فإن قدرتها على التحميل أعلى أيضًا. بإستخدام تشبيه البالون فإذا كان البالون أكثر انتفاخًا فإن قوى التوتر في الجلد تكون أكبر ويصعب تشويهها ، تتناسب درجة توتر المكونات سابقة الإجهاد مع مقدار المساحة التي تشغلها ، يقع الضغط في خطوط عمل محددة وقصيرة ، لذا فهي لا تخضع لأحمال التواء عالية ، لديهم خاصية التآزر حيث لا يتم توقع سلوك الأنظمة بأكملها من خلال سلوك أي من مكوناتها مأخوذة بشكل منفصل ، تعتمد مرونة أو صلابة الهيكل على المواد المستخدمة وطريقة تجميعها. يمكن أن تكون مرنة جدًا أو صلبة جدًا وقوية جدًا .



شكل (18) يمثل ازدواج شكل قوى الشد والضغط فى هياكل التوتر

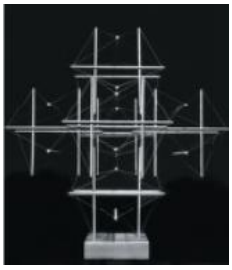
ومن مزاياها تقوم شبكة التوتر متعددة الإتجاهات بإحاطة الضغوط العرضية عند حدوثها ، لذلك لا توجد نقاط ضعف محلية ، ونظرًا للقدرة على الإستجابة للتركيب ككل ، فمن الممكن إستخدام المواد بطريقة إقتصادية للغاية مما يوفر أقصى قدر من القوة لكمية معينة من مواد البناء، لا يعانون من أي نوع من عزم الدوران أو الالتواء ، والالتواء نادراً جدًا نظرًا لقصر طول مكوناتهم في الإنضغاط ، يسمح التعريف المكاني لوحدات الشد الفردية المستقرة في حد ذاتها بقدرة إستثنائية لإنشاء أنظمة من خلال ضمها معًا. يتضمن هذا المفهوم خيار التمديد اللانهائي للقطعة المجمعة ، بالنسبة للإنشاءات الشدادية الكبيرة ستكون العملية سهلة التنفيذ نسبيًا نظرًا لأن الهيكل عبارة عن سقالات ذاتية كما يوضح الشكل (19) ومن عيوب هياكل الشد الوترية ترتيبات الشد تحتاج لحل مشكلة ازدحام الدعامات.

شكل (19) يمثل تحول الهيكل الى سقالات ذاتية

وفى دراسة بعنوان كينث سنلسون الفن والافكار Kenneth Snelson Art and Ideas (الينور هارتينى Eleanor Heartney،1975) يتم التعبير فى هياكل كينث سنلسون Snelson Kenneth عن الجمال من خلال إنشاء الهياكل التى يقدم شكلها رؤية مظهر من مظاهر القوى الداخلية ، إن فكرة الجمال كتعبير عن الوضوح البنيوى هى فكرة جمالية قادت ايضاً بعضاً من أبرز الإبتكارات المعمارية فى العصر الحديث ، قدم برج إيفل ، الذى إكتمل بناؤه عام 1886 وحياً مشابهاً عن جمال الهيكل المكشوف فى الآونة الاخيرة يأخذ سنلسون فكرة جمال البنية هذه من عالم العمارة ومن عالم الفيزياء والكيمياء وعلم الاحياء . ليس من قبيل الصدفة أن تثير تركيبات سنلسون مقارنات مع الأبراج والكائنات الخلوية والتركيبات البلورية مثل الأنظمة التى تدرسها العلوم الفيزيائية وعلوم الحياة تخلق تركيبات سنلسون توازناً ديناميكياً تكون فيه جميع الأجزاء ضرورية للهيكل ، ويحب سنلسون أن يكرر فى أعماله كنظائر للكون الأكبر حيث كل شىء فى حالة حركة وفى إستعارة معبرة يرى قضبان الصلب أو الألومنيوم التى تتقاطع دون تلامس مثل الكواكب التى تمر ببعضها البعض فى مدارتها دون تلامس .

ويمكن تقسيم هياكل سنلسون الى ثلاث فئات أساسية بناء على الأسس البنائية لهياكله التى تمت بنائها من الداخل الى الخارج فتشير هذه الهياكل الى إنفجارات للطاقة حيث تضغط نواقل القوة الناتجة عن الكابلات والقضبان إلى الخارج فى إتجاهات متعددة ، هياكل الفئة الاولى تربطها صلة قرابة بالمبدأ التكعيبى شكل (20) بينما تتميز الثانية بإمتدادها الأفقى لسطح الأرض شكل (21) وفيه تنتشر الوحدات المتكررة أفقيا مما يخلق هيكلا يبدو أنه يعانق الأرض وفيها تتصارع القوى الطبيعية على سبيل المثال تحوم الكابلات أفقيا فوق الأرض بطريقة تتحدى

الجاذبية هذه الأعمال التى تتكون من وحدات متكررة تتطلب تخطيطاً دقيقا ويعد هيكل الافعى أحد اطول إمتداد الممثلة لهذه الهياكل تم إنشاؤه من الألمنيوم الخاص لصناعة الطائرات ويزن خمسين رطلاً فقط وهذا سمح له بتمديدها بطول ثلاثين قدماً وتمد الفئة الثالثة راساً لتتجه إلى أعلى فعلى النقيض من ذلك بالنسبة لأبراج سنلسون العدو هو الرياح وليس الجاذبية ومن أبرز هياكل تلك الفئة برج ابرة سنلسون شكل (22) وقد قدمت الهياكل الإبرية حلاً للمشكلة الصعبة المتمثلة فى تقليص حجم القطعة مع الحفاظ على الضغوط المناسبة عند كل تصغير وحدة تلو الأخرى وقد نتج عن هذا المبدأ الحلزونى او مبدا النمو النسبى ، وقام سنلسون ايضا بانشاء تركيبات تنحنى فى اقواس رشيقة لتقدم منحنى سلس شكل (23)



شكل (20) كينث سينلسون Kenneth Snelson مرآة ، صلب ،نيويورك ، 1998

شكل (21) كينث سينلسون Kenneth Snelson، تنين ، الألمنيوم والصلب المقاوم للصدأ 3×22.1×4.8 م

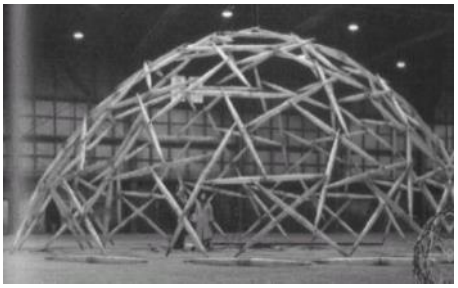
شكل (22) كينث سينلسون Kenneth البرج الابرة ، الألمنيوم والصلب المقاوم للصدأ، 18.2×6 ×6 م، واشنطن،1968

شكل (23) كينث سينلسون Kenneth Snelson، صلب ، قوس قزح2.1×3.8×1 م ، 2001.

وفى دراسة بعنوان جسور التوتر Tensegrity bridges (لجان دي بوك Jan De Boeck ، 2013) تبحث الدراسة فى التساؤل عن الأداء الهيكلي والوظيفي للتوتر فيما يتعلق بإمكانيات تطبيق الشد وكيف يكون التوتر ممكنًا وهل يمكن استخدامه في الهندسة المدنية؟ وتحلل الدراسة مفهوم يقدم إمكانات الشد في تصميم الجسر.

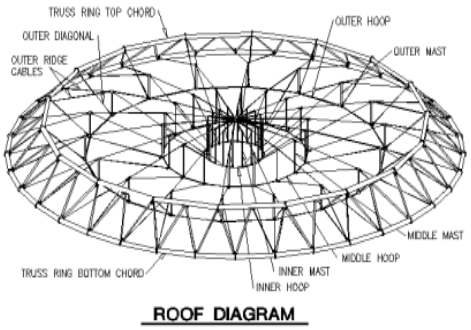
وقد استعرضت الدراسة وصف موجز لتاريخ التوتر ، واهم تويناته المعروفة ، وخصائصها من مميزات وعيوب ، وبعض الامثلة التطبيقة لهياكل الشد حيث توجد عدة أمثلة على التوتر في الطبيعة وعلم الأحياء. حتى في جسم الإنسان ، توجد هياكل بارزة تشبه التوتر. ذكر العديد من الباحثين أن هناك فكرًا في أن الخلايا تكون متوترة وبعضهم يزعم أن الكون بأكمله سيبنى من الشدائد ومن الامثلة التطبيقية فى العمارة القبة الجيوديسية Geodesic dome لفولر R.W.Fuller في عام 1953 ويعد هيكلها ليس توترًا ولكن له بعض أوجه التشابه مع قباب الشد ، في الهندسة المدنية ، لم يتم استخدام الشد حتى الألعاب الأولمبية في سيول ، كوريا عام 1988 حيث تم بناء أول قبة كابلات في غضون ذلك ، اتخذ أوتو فراي في عام 1972 بعض الخطوات في اتجاه التوترات مع السقف المعلق للملعب الأولمبي في ميونيخ. لاحقًا ، أدرك المصممون والمهندسون المعماريون والمهندسون هياكل الكابلات والأغشية في جميع أنحاء العالم. كما توضح الاشكال (24 ، 25 ، 26) قبة الكابلات عبارة عن هيكل مشدود تم تصميمه لأول مرة بواسطة David H. Geiger ويستخدم في الوقت الحاضر كهيكل سقف في القاعات الكبيرة. الحلقة الخارجية ، حلقة ضغط ، لا غنى عنها لتحمل قوى الانضغاط. بين حلقة الضغط ، يتم شد الكابلات وتشكيل شبكة السقف. هناك حاجة أيضًا إلى بعض الدعامات الرأسية الصغيرة لضمان الشد في الكابلات. قام ديفيد هـ. جيجر David H. Geiger بتطوير أول قبة من هذا النوع للألعاب الأولمبية في سيول. مثل جميع هياكل الشد ، فإن قبة جيجر ذاتية الدعم وتتميز بخفة الوزن وانخفاض

الوزن إلى نسبة المقاومة، قباب الكابلات عبارة عن هيكل شد من الفئة 3 بها 3 دعامات كحد أقصى متصلة في عقدة واحدة.



شكل (24) القبة الجيوديسية Geodesic dome لفولر R.W.Fuller في عام 1953

شكل (25) السقف المعلق للملعب الأولمبي في ميونيخ



شكل (26) قبة الكابلات

، هيكل للواجهة الزجاجية حيث يبحث المجتمع في العصر الحديث عن الخفة والشفافية ، وأصبحت الواجهات الزجاجية شائعة وتم تطوير هياكل داعمة مختلفة لضمان بقاء الواجهة في مكانها ، حيث يتم شد كابلين بين السقف والأرض تفصل بينهما دعامات أفقية مزيج من اثنين من الكابلات والدعامات تؤدي إلى نظام فعال قادر على دعم الواجهة الزجاجية ومقاومة أحمال الرياح. في الشكل (27) ، وقوس جامعة تورفيرجاتا TorVergata شكل(28) تم تصميم القوس الذي يبلغ قطره 50 مترًا ليكون هيكلا وتريا قائم على نظم الشد .

شكل (27) هيكل للواجهة الزجاجية

شكل (28) وقوس جامعة تورفيرجاتا TorVergata

تحليل الفجوة :

من خلال ما سبق من تحليلات للدراسات التى تناولت نظم الشد بصفة عامة فى الطبيعة والعلوم وفى الهياكل الوترية فى الفن بصة خاصة وتوضيح اسسه البنائية الذى يعتمد على إستخدام مكونات معزولة في ضغط داخل شبكة من التوتر المستمر ، بهذه الطريقة أن العناصر المضغوطة (عادةً القضبأن أو الدعامات) لا تلمس بعضها البعض وأن تحدد العناصر المجهدة مسبقًا (عادةً الكابلات أو الأوتار) النظام مكانيا وكان الهدف الرئيسي منها إثبات أنه من الممكن العثور على البعض تطبيقات لمثل هذا النوع غير النمطي من الهيكل الوترى فى العديد من المجالات .

وقد تبين للباحث وجود فجوة في الدراسات التي تناولتها الدرسات المرتبطة الأ وهي تناول الدراسات فكرة الشد في كل من الطبيعة والعلوم التطبيقية وفى النحت المعاصر على يد عدد من الفنانين اتخذوا من العلم مصدراً رؤياهم الفنية فى حين افتقدت الدراسات الى استخلاص للأسس الرياضية لنظم الشد فى النحت المعاصر وتصنيفها وفق لتلك الأسس بشكل يسمح بإعدادها كمدخل لتدريس تلك التركيبات الوترية القائمة على التفكير الرياضى وتدريس مفهوم الفراغ كعنصر تشكيلى ايجابى لها .

المداخل المقترحة : يقدم البحث مدخلاً لتدريس التشكيل المجسم من خلال الربط بين التطبيقات العملية لأحد المفاهيم العلمية(قوى الشد على الخيط) فى الحياة اليومية وتطبيقاتها المماثلة بنماذج من الاشكال الوترية فى أعمال النحت الحديث فتبحث

الورقة فى مفهوم الوتر مابين الشد والإرتخاء وكيفية تمثيله فى مجالات الحياة اليومية ما بين علم التشريح والرياضة والطبيعة واللغة والتطبيقات العملية فى الحياة اليومية وما بين تمثيل هذا المفهوم فى الاشكال الوترية فى النحت الحديث.

المراجع :

1. احمد فهيم علي حسن : التشكيلات الخطية وتكويناتها الفراغية ابعادها الجمالية والتشكيلية والإفادة منها في مجال النحت بالتربية الفنية ، رسالة ماجستير ، كلية التربية الفنية،جامعة حلوأن ، 2004 م.
2. اسعد سعيد فرحات : الأبعاد الفلسفية والجمالية لصياغة الأعمال الفراغية في النحت الحديث والإفادة منها في تدريس التشكيل المجسم ، رسالة دكتوراة،كلية التربية الفنية، جامعة حلوأن ، 2004 م
3. فاطمة محمود محمد : التركيبات الفراغية كنظرية ابداعية ودورها الجمالي في تطوير مفاهيم النحت المعاصر، رسالة دكتوراة ، كلية التربية الفنية ، جامعة حلوأن ، 2014 م "
4. محمود ابو الفتوح البسيونى : التصميم فى النحت الحديث ، رسالة دكتوراة ، كلية الفنون الجميلة ، جامعة حلوان .
5. هاجر محمد حلمي في : الأبعاد التشكيلية لمفهوم الإختراق البصري في النحت المعاصر، رسالة ماجستير ، ، كلية التربية الفنية ، جامعة حلوأن ، 2017 م
6. هدي ابراهيم علي متولي : النظم الرياضية في النحت المعاصر كمدخل لتدريس التشكيل المجسم، رسالة ماجستير ، كلية التربية الفنية ، جامعة حلوأن ، 2015 م

المراجع الأجنبية :

7. Caro Verbeek :Reconstructing the volatile heritage of Marcel Ducham , Uopen Journals, RELIEF, 2016 – ISSN: 1873-5045.
8. Damiano Pasini:Principles of Lightweight Structures in the Sculptural Conceptions of Naum Gabo , Article in Interdisciplinary Science Reviews Vol. 34 No.
9. Fred Sandback: Sculpture and Related Work,University of Wyoming Art Museum, 2006 Educational Packet developed for grades K-12
10. Jan De Boeck : Tensegrity bridges , degree of MASTER OF SCIENCE in CIVIL Engineering , Faculty of Civil Engineering and Geosciences Delft. University of Technology 2013.
11. John Grayson : sound sculpture, Publications, Aesthetic Research Centre of Canada,1975.
12. John Toland :Intersections Henry Moore and Stringed Surfaces" , Isaac Newton Institute for mathematical sciences , The Royal Society , London , 2012
13. Kristof Fenves & TuuliL ahdesmaki :Aesthetics of Interdisciplinary, Art and Mathematics, Birkhauser International Publishing ,Switzerland, 2017.
14. Melissa Ragain : Kinetics of Liberation in Mark di Suvero's Play Sculpture , American Art Jurnal , University of Chicago Press 2017 ,
15. Olivia Samma : Site, Space And Place: Thinking About The Insulation , Bachelor Of VisuAal Arts Research Paper, Sydney College of the Arts The University of Sydney , 2017 .

مواقع الشبكة العنكبوتية :

16. https://www.theartnewspaper.com/2017/02/21/string-theory-spanish-refugees-inspired-henry-moores-1930s-stringed-sculptures
17. https://www.tate.org.uk/art/artworks/gabo-construction-in-space-crystal-t06978
18. https://www.jj-meyer.de/portfolio-type/sculptures
19. http://pitchdesignunion.com/2010/07/26/megan-geckler/
20. https://www.gabrieldawe.com/texts