Contents available at Iraqi Academic Scientific Journals

Iraqi Journal of Architecture and Planning

المجلة العراقية لهندسة العمارة والتخطيط

Journal homepage: https://iqjap.uotechnology.edu.iq

Design determinants of Discrete digital surfaces

المحددات التصميمية للسطوح الرقمية المتقطعة

Ali Mohsen Jaafar Al-khafaji [a], Shahad Alaa Soud [b] *

[a] Department of Architectural Engineering, University of Technology- Iraq, Baghdad, Iraq.

[b] Department of Civil Engineering, AL-Esraa University College, Baghdad, Iraq.

Submitted: 3/11/2021 Accepted: 28/12/2021 Published: 16/06/2022

KEYWORDS

Discrete Surfaces, Discrete Surfaces Structure, Discrete Differential Geometry, The Structure of Contemporary Architecture

ABSTRACT

The emergence of many free structures in contemporary architecture and the transformation in aesthetics toward complex curved and folded shapes has led to a search for computer-aided design and geometric manipulations using discrete surfaces, which contributed to the creation of complex architectural surfaces that are both simple and economical at the same time. However, it is difficult to achieve such surfaces because of the complexity of representing them in an applicable and executable engineering body , and the hardship of studying and representing them structurally for they need a set of special engineering programs to obtain the required structural strength. Further, There is aneed for other engineering programs To simplify those surfaces and turn them into applicable ones. Hence, the research problem emerged to shed light on the "lack of a theoretical perception describing discrete surfaces and their role in formation the structure of contemporary architecture." The research initially dealt with the general knowledge of the discrete surfaces, and then extracted the theoretical framework relying on our knowledge about those surfaces, through presenting and analyzing three architectural examples to clarify the nature of those discrete surfaces and submit the main conclusions, recommendations and sources.

الكلمات المفتاحية

السطوح المتقطعة، هيكل السطوح المتقطعة، الهندسة التفاضلية المتقطعة، بُنية العمارة المعاصرة.

الملخص

أدى ظهور الهياكل الحرة في العمارة المعاصرة العديدة والتحول في الجماليات نحو الأشكال المنحنية والمطوية المعقدة إلى البحث عن التصميم بمساعدة الحاسوب والمعالجات الهندسية بإستخدام السطوح المنفصلة (المتقطعة)، حيث ساهمت في إنشاء السطوح المعمارية المعقدة والتي تعتبر بسيطة واقتصادية في الوقت نفسه. وعلى الرغم من ذلك يصعب تحقيق هذه السطوح بسبب صعوبة تمثليها بهيئة هندسية قابلة للتطبيق والتنفيذ ولتعقيد دراستها وتمثيلها إنشائياً حيث تحتاج إلى مجموعة من البرامج الهندسية الخاصة لغرض تحقيق المتانة الإنشائية المطلوبة، وبالإضافة إلى أنها تحتاج برامج هندسية أخرى لغرض لتبسيط هذه السطوح إلى مجموعة من الأجزاء القابلة للتنفيذ. لذلك برزت المشكلة البحثية والمتمثلة في " عدم وجود تصور نظري يصف السطوح المتقطعة ودورها في تشكيل بُنية العمارة المعاصرة". إذ تناول البحث في البداية الإطار المعرفي للسطوح المتقطعة، ومن ثم إستخلاص الإطار النظري من خلال المعرفة المطروحة عنها، وتم بعد ذلك طرح وتحليل ثلاثة أمثلة معمارية لتوضيح طبيعة السطوح المتقطعة ومن ثم طرح الاستنتاجات الرئيسية التوصيات والمصادر.

* Correspondent Author contact: shahad2021@esraa.edu.iq
DOI: https://doi.org/10.36041/iqjap.2022.174381
Publishing rights belongs to University of Technology's Press, Baghdad, Iraq.
Licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

1.المقدمة

أدت الاحتياجات العملية في صناعة الطيران والسيارات إلى ظهور وتأسيس مبدأ التصميم الهندسي بمساعدة الحاسوب، حيث مثلت قضايا التصميم الرقمي وهندسة السطوح ذات الشكل الحر حافزاً لتطوير عدد كبير من الطرق والخوارزميات لتصميم السطوح ذات الشكل الحر، وكذلك ساهمت صناعة الرسوم المتحركة والألعاب في تحفيز البحوث المتعلقة بالسطوح في النمذجة الهندسية حيث يركز هذا المجال على التمثيلات المنفصلة كشبكات المثلث. إذ تعتبر الأساليب المستخدمة في المجال الطبي المتمثلة ببناء السطوح مثل بيانات التصوير المقطعي أو التصوير بالرنين المغناطيسي مزيجاً لأفكار التصميم بالحاسوب ومعالجة السطوح والصور. وبالرغم من تطور الإمكانيات والمواد فقد بقيت السطوح المتقطعة Discrete Surfaces أو كما تسمى بـ(الشبكات) Meshes أمراً يتعذر تحقيقه وذلك لصعوبة تمثيلها بهيئة رياضية هندسية قابلة للتنفيذ ولتعقيد دراستها وتفصيلها إنشائياً حيث تتطلب برامج هندسية خاصة لغرض الوصول إلى الكفاءة والمتانة الإنشائية المطلوبة وكذلك تحتاج إلى برامج لغرض تبسيطها لأجزاء قابلة للتنفيذ. لذلك فقد حاول العديد من المعماريين التفكير بإيجاد حلول وبرامج هندسية متفردة تساعد على التنفيذ حيث يعتبر المعماري Frank Gehry من اوائل المعماريين الذين إستخدموا تقنيات التصميم التي تعتمد على برامج رقمية في عمليات التصميم والتنفيذ.

وعلية فقد برزت أهمية البحث في صياغة إطار نظري متكامل يصف آليات حل المشكلة البحثية والمتمثلة في (عدم وجود تصور نظري يصف السطوح المتقطعة ودورها في تشكيل بُنية العمارة المعاصرة).

2. الإطار المعرفي للسطوح المتقطعة:

1.2 التعريف الاصطلاحي للسطح:

يمكن تعريف السطح بكونه الجزء الخارجي أو الطبقة الخارجية لأي شيء والذي يقوم بتحديد الهيئة البصرية له، أما في الهندسة فيعرف بكونه مجموعة من النقاط التي عند تجمعها تشكل كياناً ثنائي الأبعاد (أي السطح له طول وعرض فقط) (Oxford dictionaries). إما في مجال العمارة فيمكن تعريف السطح بأنه المغلف الخارجي الذي يقيس ويحدد حجم الفراغ الذي يغلفه أي مبنى، لهذا تعتبر هيئة السطح عاملاً أساسياً لنجاح التصميم المعماري وذلك لكونه العنصر الذي يستمر إدراكه بصرياً. وتعتبر عملية فهم وتحليل البُنية الهندسية والمكونات الرياضية موضوعاً مهماً بالنسبة للمهندس المعماري، فقد أدى إنتشار السطوح ذات الأشكال غير المنتظمة في العمارة المعاصرة إلى تغيير النظرة الكلية للعلاقات الرياضية والهندسة التطبيقية في العمارة، لذلك أصبحت عملية إيجاد تعريف هندسي لهذه السطوح والخطوط المكونة لها تحدياً كبيراً للمصمم يتطلب منه دراسة معمقة لكونها لم تعد عبارة عن معادلات رياضية يتم تمثيلها رياضياً بل أصبحت كيانات أكثر تعقيداً (Agman,2014,p23).

2.2 السطوح المتعددة الوجوه Polygonal Mesh:

وهي ابسط وأشهر تمثيل رقمي للنماذج ثلاثية الأبعاد والتي يتم دعمها بواسطة برامج CAD (Chen et al,2005,p.1)، وتتألف من ثلاثة عناصر رئيسية؛ وهي القممVertices، والأضلاع Edges، والوجوه Faces والتي تتحد مع بعضها لغرض تكوين الشكل المطلوب، أي أن العلاقة ما بين هذه العناصر الثلاثة واستمراريتها هي التي تحدد شكل هذه السطوح (عرابي،2016،ص9).ويمكن تعريف القمم بأنها النقطة التي توضح الزوايا والتقاطعات في الأشكال الهندسية. إما الأضلاع فهي عبارة عن إتصال ما بين قمتين أو الخطوط التي تربيط ما بين نقطتين، بينما تعرف الوجوه بأنها عبارة عن مجموعة تغلف الأضلاع وتكون الشكل الهندسي الذي يعتمد على عدد الأضلاع، ولا يتوجب أن تكون الوجوه مستوية حيث يمكن أن تكون منحنية ولكنها عندما تكون مثلثة فيجب أن تكون مستوية. تسمى مجموعة الوجوه بالمضلع التي يمكن أن تتكون من ثلاثة أو أربعة أضلاع أو تكون أكثر تعقيداً إذا لزم الأمر، ومن الناحية الرياضية يتم تحقيق عدد من الخصائص الإضافية للشكل في السطوح غير المنتظمة من خلال عدد من المعالجات والتي يمكن أن تجري عليها كالتنعيم Smoothing والعمليات المنطقية Booleanlogic والتبسيط Simplification (Duno,2012,p.44). والنتيجة النهائية للسطوح المتعددة الوجوه لا تكون بالضرورة ناعمة مثل السطح الأساسي والسبب في ذلك هو عدم إستمرار المماسات ما بين الوجوه وكذلك وجود زوايا إنحراف بين هذه المماسات (Frang,2008,p.14)، وتتميز السطوح المتعددة الوجوه بأنها لا يمكن تنفيذها كقطعة واحدة في المباني وذلك لكبر حجمها لذلك لابد من تجزئتها إلى أجزاء صغيرة وذات مقياس مقبول وقابل للتنفيذ بسهولة، وتصنف السطوح المتعددة الوجوه بحسب إستمرارية السطح إلى ثلاث

فئات رئيسية وتشتمل على ما يلي؛ السطوح المتقطعة، السطوح نصف المتقطعة، السطوح المستمرة، وسيتم تناول السطوح المتقطعة بالتفصيل أدناه (Eigensatz et al,2010,p.1).

1.2.2 السطوح المتقطعة (المنفصلة):

وهي واحدة من أكثر السطوح إنتشاراً في العمارة حيث تعتبر الصفائح المعدنية المتعددة الطبقات والألواح الزجاجية المستخدمة في تغطية السقوف باهظة الثمن ومعقدة إذ يكون من المستحيل ثنيها، لذلك يفضل تغطية الأشكال الهندسية الحرة بالألواح المستوية وإستخدام السطوح المتعددة الوجوه، وتمتاز الألواح المستوية بأنها غير مستمرة بالاتجاهين وبسهولة تنفيذها نسبياً وإمكانيات تصنيعها مما أدى إلى إنتشارها بشكل واسع (Pottmannet al,2007,p.217). وكذلك تؤمن جمالية مقبولة نسبياً بالنسبة للمقاييس الكبيرة التي تغطيها، فتنفيذها على شكل مباني معدنية زجاجية سوف يحدد الشكل الجمالي للمبنى ككل فيكون الشكل المنفصل جمالياً بحد ذاته، تتمثل التحديات التي تواجه المعماري عند تصميم هذه السطوح في الشكل الجمالي للأضلاع وإعطاء الإنسيابية المقبولة ففي بعض الأحيان يصعب تحقيق الإستواء في الوجوه (Schober,1999,p.5).

1.1.2.2 الأجزاء الثانوية المتعلقة بالسطوح المتقطعة:

– العوارض الداعمة supporting beam: يتم تثبيت الألواح المستوية بواسطة هيكل داعم والذي يكون عبارة عن تركيبة من عوارض مرتبة على طول حافة الشبكة الأساسية، وينظر أحياناً إلى العوارض على أنها جسم موشوري يتم إنشاؤه عن طريق عملية البثق الخطي لشكل جانبي متماثل في إتجاه متعامد إلى مستوى الشكل الجانبي (أي عن طريق البثق على طول المحور الطولي للعوارض).

– العقد المُحسنة وهيكل الدعم الهندسي Optimized nodes and geometric support structure: كلما زاد عدد الأحرف المتصلة بالرأس كلما كان الأمر أكثر تعقيداً لربط العوارض الداعمة عند هذه الرؤوس. وتعرف العقدة المحسّنة V بأنها رأس الشبكة حيث تمر المستويات المركزية لجميع العوارض المنبثقة عبر خط ثابت يدعى محور العقد، ويتكون هيكل الدعم الهندسي من مضلعات رباعية تقع في المستويات المركزية (Pottmannet al,2007,p.217-p.219).

2.1.2.2 أنواع السطوح المتقطعة:

– **السطوح ذات الألواح المثلثية:** وتعرف بأنها عبارة عن اتحاد (محدود ومتصل) لمثلثات بحيث يكون تقاطع مثلثين فارغاً أو يساوي الرأس أو مكافئاً للحافة (Morvan et al,2002,p.148). وتعتبر الألواح المثلثية واحدة من أقدم التقنيات إستعمالاً وإنتشاراً في عملية تحويل السطح إلى وجه حيث تتكون من وجوه على شكل مثلثات تجتمع كل 6 منها في عقدة واحدة نظامية وقد تجتمع في بعض الأحيان عدداً أقل من الوجوه المثلثية لتكون عقدة غير نظامية كما في الشكل رقم (1). حيث تواجه هذا النوع من السطوح بعض المشاكل في التنفيذ وفي بعض الأحيان لا يمكن تجنبها، وتؤثر عملية إعادة تصميم هذه السطوح بوجوه أكبر على النواحي الجمالية وتقلل من التكاليف. وتوجد العديد من الأسباب التي تجعل إستخدام هذه النوع من السطوح عملياً، ويمكن تلخيصها بما يأتي:

– الألواح المثلثية ملائمة جداً للأشكال المعمارية لكون وجوهها مستوية دوماً حيث أن أي سطح يمر من ثلاث نقاط هو سطح مستوي الأمر الذي يسهل من عملية التنفيذ.

–الألواح المثلثية سهلة التعامل من ناحية التعبير، فالمحددات الجمالية ليست صعبة المنال حيث تكون عملية تحويل الوجوه أسهل وتحقق مقاربة جيدة للشكل، ويمكن بكل بساطة توزيع شبكة نقاط على السطح ووصل كل ثلاثة منها بأضلاع للحصول على المثلثات المطلوبة.

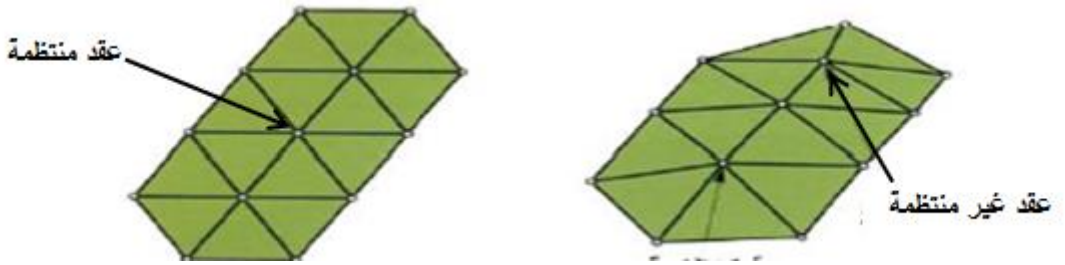
– كون الشكل المثلث أكثر شكل هندسي مستقر إنشائيا لذلك تحقق السطوح متعددة الوجوه المثلثية إستقراراً بعناصر حاملة أصغر وبالتالي جمال أكبر (Welch et al,1994,p.1).

ومن جهة أخرى هنالك العيد من العوامل التي تجعل إستخدام السطوح المثلثية أقل عملية، وتتخلص بما يأتي:

– تحتاج عدد من المثلثات يساوي ضعف عدد الرباعيات اللازمة لتمثيل نفس الشكل، لذلك تعد أقل كفاءة من الناحية الإقتصادية وتولد صعوبة في القص، فقد أثبتت التجارب أن التكلفة على وجوه المساحة للألواح المثلثية أكبر من الألواح الرباعية، والسبب في ذلك يعود إلى أن الأشكال الرباعية تملأ المربع المغلف لها أفضل مما تعمل الألواح المثلثية.

– تكون العقد الرابطة بين الأضلاع معقدة بالمقارنة مع الأنماط الأخرى بسبب إلتقاء كل ستة أضلاع في عقدة واحدة، وهي تقلل كذلك من جمالية الشكل بسبب الثقل الذي تضيفه العقد المعقدة.

– يؤدي إلتقاء ستة أضلاع في كل عقدة، إلى شفافية أقل للإنشاء تؤثر على جمالية الشكل، وتقلل الحمولات الإضافية التي يسببها، كون الشكل يحوي على نسبة معدن أكبر(Singh et al,2010,p.1).



شكل رقم (1) يوضح السطوح المثلثية ذات القمم المنتظمة وغير المنتظمة، المصدر:Welch et al,1994,p.1.

– **السطوح ذات الألواح الرباعية:** وتعرف بأنها عبارة عن مجموعة من الرؤوس Vertices مضمنة مع معلومات مجاورة مشفرة على شكل حواف Edge ورباعية Q، ويسمى الرأس بالمنتظم إذا كان لديه التكافؤ 4 وإلا فهو رأس مفرد. فمن الناحية الطوبولوجية فإن الرأس العادي هو عبارة عن تقاطع خطين متناسقين في شبكة ديكارتية ثنائية الأبعاد، وبالتالي يمكننا بسهولة بناء نظام إحداثيات في مثل هذا الرأس عن طريق وضع علامات دورية على الحواف المجاورة بترتيب عكس اتجاه عقارب الساعة، لاحظ شكل رقم (2) (Bommes et al,2011, p.3). حيث تتألف من وجوه على شكل مربعات، أو مستطيلات، أو رباعيات غير منتظمة موزعة على السطح، قممها الداخلية لا تقع على المحيط الخارجي تلتقي فيها أربعة وجوه معاً، وبالتالي أربعة أضلاع وتسمى قمة من الدرجة الرابعة valence 4، وعندما تكون الدرجة مختلفة عن 4، تكون أمام عقدة غير نظامية (irregular vertex). ويمكن الحصول على سطح رباعي متعدد الوجوه بسهولة بنقل أو تدوير مضلع على آخر، وبهذا يتم الحصول على سطح إنتقالي منفصل، لاحظ شكل رقم (3). وهذه الخاصية يمكن أن تولد شبكة منحنيات curve network تشكل أساساً في تصميم السطوح الإنتقالية والدورانية وبهذه الطريقة يتم تقريب سطح حر الشكل بالحفاظ على هيئته الأساسية (Pottmann et al,2007,p.387). وتعتبر عملية إنشاء سطوح رباعية الأضلاع أصعب من إنتاج سطوح مثلثة. فإذا كانت مجموعة رؤوس السطح هي مجموعة رؤوس مضلع، فيمكن دائماً الحصول على سطوح مثلثة. في المقابل، قد يكون من الضروري وجود رؤوس إضافية لتوليد سطوح رباعية. بالإضافة إلى ذلك، فإن الخصائص النظرية لتوليد سطوح رباعية ذات نوعية جيدة ليست مفهومة جيداً مثل تلك الخاصة بإنتاج سطوح مثلثة ذات نوعية جيدة، لذلك اعتمد العديد من الباحثين نهجًا غير مباشر لإنتاج سطوح رباعية من خلال إنشاء سطوح مثلثية ومن ثم تحويلها إلى سطوح رباعية (Lizier et al,2011,p.3). يمكن إستخدام عدد من الخوارزميات لإنشاء سطوح رباعية ذات حجم محدد وزاوية محددة، وكثافة واتجاهية متحكمين في المجالات متعددة الأضلاع وسيكون للخوارزميات لإنشاء مثل هذه السطوح قيمة عملية كبيرة، ومن الخوارزميات المستخدمة هي خوارزمية التبسيط والتي تعتمد على مجموعة من العمليات التي تُعدل البُنية المزدوجة للسطوح الرباعية بطريقة محكمة، ويتألف التمثيل المزدوج السطوح الرباعية من المكونات التالية:

– العنصر الرباعي الثنائي ويمثل النقطة الوسطى.

– الحافة الرباعية الثنائية وتمثل الوتر الذي يربط النقاط الوسطى من الأشكال الرباعية المجاورة.

– الرأس المزدوج وهو المضلع الذي يتكون من توصيل النقاط الوسطى وبترتيب دوري للعناصر الرباعية المجاورة (Daniels et al,2014,p.2). ويمكن تصنيف السطوح الرباعية إلى أربع فئات، وهي:

– سطوح رباعية غير منظمة: جزء كبير من رؤوسها عبارة عن تفردات وبصعوبة يمكن العثور على هيكل ناتج موتر.

–سطوح رباعية شبه منتظمة: تقسم الشرائح الرباعية السطوح الرباعية إلى عدة مستطيلات طوبولوجية ويكون الجزء الداخلي لكل مستطيل طوبولوجي عبارة عن سطوح منتظمة.

–سطوح رباعية منتظمة: لا توجد تفردات حيث تّكون كل الرؤوس، ويكون للسطوح الرباعية العادية قيود طوبولوجية قوية فيجب أن تكون بهيئة قرص طوبولوجي أو حلقة (Chen et al,2018,p.2). ومن المميزات التي جعلت إستخدام هذه الألواح عملياً، ما يلي:

– تكون فيها العقد أقل تعقيداً مما يقلل من التكاليف ويسهل إمكانية التنفيذ ويزيد من جمالية السطح الناتج.

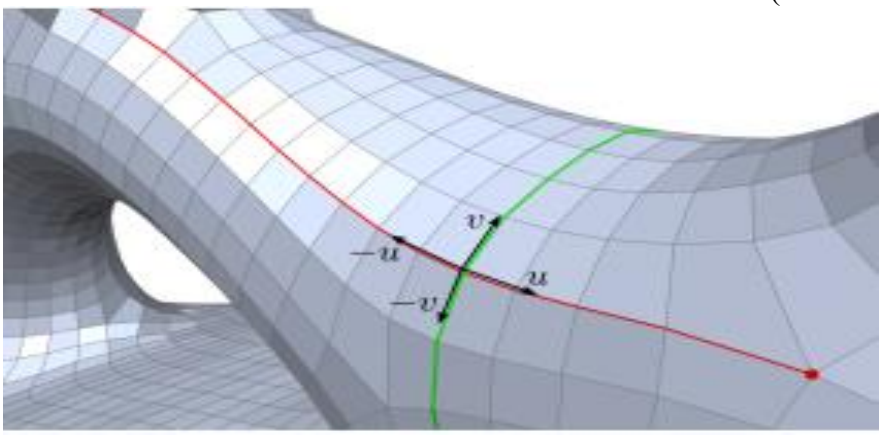
– تمتلك شفافية وإنسيابية أكثر في الشكل.

ومن العوامل التي تجعل من إستعمال الألواح الرباعية أقل عملية، ما يلي:

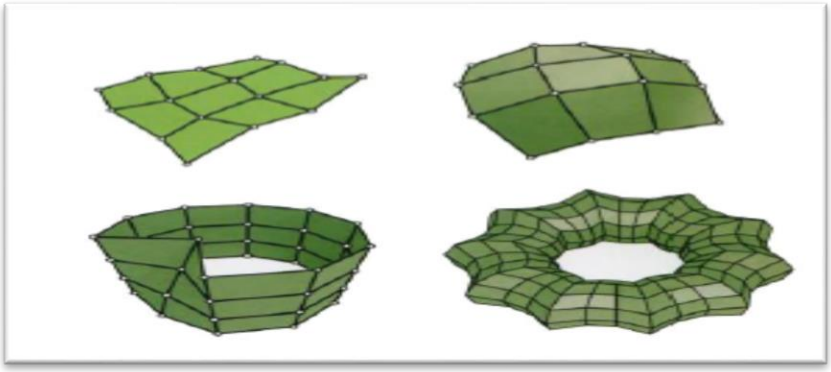
– أن الرباعيات المشكلة للألواح الرباعية بشكل عام غير مستوية (بالرغم من أن هذه الخاصية مهمة جدا في التطبيقات المعمارية لذلك قد تتطلب بعض المعالجات الإضافية).

– صعبة التبسيط لأنه من الصعب إيجاد أربعة نقاط عشوائية تقع في مستوي واحد فلذلك يصعب تطبيقها على سطح عشوائي.

–الشكل الرباعي غير مستقر إنشائيا لذلك قد يتطلب الموضوع دراسات إضافية وعناصر مضافة والتي سوف تؤثر على الشكل (Pottmannet al,2007,p.222).



شكل رقم (2) يوضح كيفية بناء نظام إحداثي طبيعي عن طريق تسمية الحواف الصادرة بعكس اتجاه عقارب الساعة، حيث يمكن تمديد الخطوط البارامترية كما هو موضح باللونين الأحمر والأخضر، المصدر: (Bommes et al,2011, p.3).



شكل رقم (3) يوضح الألواح الرباعية ذات القمم النظامية والتي تم الحصول عليها من خلال النقل والتدوير، المصدر: (Pottmann et al,2007,p.387).

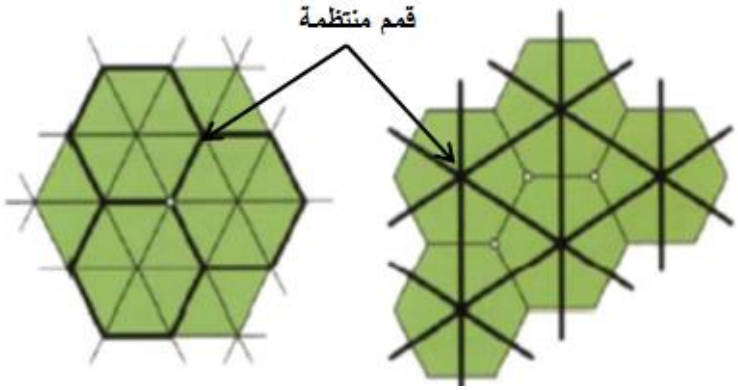
–**السطوح ذات الألواح السداسية:** وهي عبارة عن سطح متعدد السطوح منفصل ثلاثي الأبعاد تكون وجوهها سداسية مستوية ورؤوسها من الدرجة الثالثة. وتُستخدم في التصميم المعماري لهياكل الألواح الزجاجية أو الفولاذية فهي توفر تمثيلاً مفيداً للعديد من السطوح الخاصة (Wang et al,2009,p.1).وتعرف أيضاً بأنها السطوح التي تكون فيها الوجوه على شكل سداسي منتظم أو غير منتظم وتجتمع كل ثلاث وجوه أو ثلاثة أشكال سداسية في قمة واحدة، حيث تكون فيها القمم من الدرجة الثالثة وتلتقي فيها ثلاثة أضلاع، وبسبب بساطة هذه العقد يكون تصميمها ودراستها وتنفيذها أبسط، ونظراً لكون السطح المار من 6 نقاط ليس بالضرورة مستوياً يمكن أن لا تكون مستوية لكن الوجوه المستوية هي الشائعة، لاحظ شكل رقم (4) (Wang et al,2008,p.1). وكلما قلت الحواف لكل رأس، زادت المرونة في بناء الشبكات المتوازية والهياكل الداعمة، وإن التكافؤ المنخفض يجعل تصنيع العقد عملية أسهل (Pottmann et al,2007,p.223). وتشكل السطوح السداسية (الشبكات ذات تكافؤ الرأس 3) تحدياً في التصميم حيث تتطلب درجة الرأس المنخفضة إستخدام أشكال مختلفة وغير محدبة للوجه لغرض تكوين مناطق إنحناء مختلفة. وتمتاز هذه السطوح بكونها أكثر صلابة وليست عرضة للتشوه، والطريقة الأكثر مباشرة لتصميم مثل هذه السطوح (الشبكات السداسية) هي عن طريق الإزدواجية إلى شبكات مثلثية، وبالرغم من بساطة هذا الأسلوب إلا أنه من الصعب جداً التحكم في أشكال الوجوه التي تم إنشاؤها بهذه الطريقة (Pottmann et al,2014,p.4). ومن أهم النقاط التي تتميز بها السطوح ذات الوجوه السداسية وتجعل إستخدامها عملياً، ما يلي:

– الشفافية التي تؤمنها بسبب قلة نسبة الحديد بالنسبة للزجاج مما يمنح التصميم خفة أكبر.

– العقد البسيطة لكونها تجمع ثلاثة أضلاع فقط.
– خفة الوزن التي تساعد على تغطية بحور أكبر.

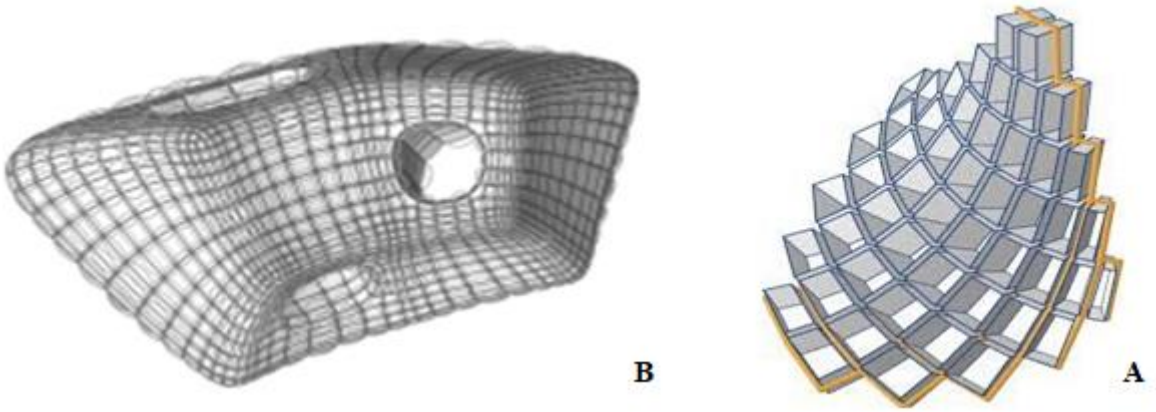
ومن جهة أخرى هنالك عدة عوامل تجعل إستعمال الوجوه السداسية أقل عملية، وهي كما يلي:

– الأوجه في الغالب غير مستوية حيث تتطلب معالجات إضافية للحصول على وجوه مستوية.
– الصعوبة في تحويل الوجوه إذ لا يمكن الإعتماد على الخطوط الأساسية أو الخطوط المولدة للسطح لإستخراج الوجوه.



شكل رقم (4) يوضح الألواح السداسية ذات القمم النظامية، المصدر: (Pottmann et al,2007,p.387)

–**السطوح ذات ألواح بأشكال أخرى:** ليس بالضرورة أن تنحصر تقسيمات السطوح المنفصلة بالأشكال السابقة فمن الممكن أن تكون التقسيمات بأشكال أخرى، ونقشات مختلفة لكنها أقل شيوعاً نظراً لصعوبتها وكونها مكلفة أكثر فكل منها يشكل حالة خاصة تدرس إنشائياً وبشكل مستقل وتحتاج إلى طرق خاصة للتصنيع لتحقق النواحي الجمالية المطلوبة منها. ومن الأمثلة على ذلك السطوح ذات الألواح الدائرية والمخروطية، لاحظ شكل رقم (5). يمكن تعريف السطوح الدائرية بأنها عبارة ألواح رباعية تكون جميع أوجهها دائرية وتمتاز بكونها متناظرة ويكون شكلها مقارب للكرة، وفي بعض الأحيان تكون خصائص السطوح الدائرية مشابهة لخصائص السطوح المخروطية. إما السطوح المخروطية فهي عبارة عن ألواح رباعية مستوية تلتقي فيها الوجوه في الرأس لتكون مخروط دائري قائم (Pottmann et al,2007,p.1)، وهي مناسبة بشكل خاص لتصميم الهياكل الزجاجية ذات الشكل الحر وتوفر هيكل دعم متعامد للسطوح (Liu et al,2006,p.681). يعتمد حساب السطوح المخروطية على خوارزمية التحسين التي تشوه الألواح الرباعية بحيث تصبح مخروطية الشكل، ويمكن التعبير عن الخاصية المخروطية عند الرؤوس بدلالة الزوايا الأربع المتتالية والتي تكون محاط بأربعة حواف تنبثق من ذلك الرأس (Pottmann et al,2006,p.6).



شكل رقم (5) حيث A: يبين الألواح ذات السطوح المخروطية، B: الألواح ذات السطوح الدائرية
المصدر: (Pottmann et al,2006,p.10,P.13)

2.2.3 تأثير النواحي الإقتصادية على تنفيذ السطوح:

إن اختيار طريقة تبسيط السطح المصمم إلى ألواح وأجزاء تتعلق بعدة عوامل؛ أهمها المواد المتاحة وتقنيات التصنيع المستعملة، فبالرغم من أن التصميم المعماري هو تصميم جمالي يهدف للحصول على شكل مميز، إلا أننا لا يمكن أن نتجاهل حقيقة كون التكاليف العالية جداً للتنفيذ أمر غير مقبول. فحتى لو كان التصميم جميلاً، ومحققاً للمتطلبات الوظيفية المطلوبة منه، لابد من أن يكون تنفيذه مجدياً

من النواحي الإقتصادية. إن تقليل تكاليف التنفيذ غالباً ما يؤثر على النواحي الجمالية للتصميم، إلا أن إتباع بعض الضوابط أثناء عملية التصميم وإدخال بعض التعديلات التي لا تفسد الشكل العام للمبنى يمكن أن يخفض من تكاليف التنفيذ بشكل كبير.

وفيما يلي أهم المعايير التي يجب مراعاتها وأخذها بعين الاعتبار أثناء التصميم للوصول إلى شكل مجدي إقتصادياً:

1.2.2.3 إختيار شكل متعدد الوجوه الذي سيحول إليه السطح المنحني:

تؤثر هيئة متعددة الوجوه التي يبسط إليه أي سطح على كلفة المبنى بشكل كبير لذلك يقع على عاتق المعماري إختيار الطريقة التي سيبسط فيها السطح، بما يحقق التوازن مع كل الجوانب الأخرى ويضمن تكاليف مقبولة للتنفيذ ويقي من بعض المشكلات التنفيذية في مراحل لاحقة، ويتلخص تأثير شكل متعدد الوجوه بعدة نقاط أساسية أهمها(Hesselgren et al,2012,p.165):

– **الشكل الهندسي المتعدد الوجوه:** تعد الألواح الرباعية المستوية المنتظمة أكثر الألواح إقتصاداً لأنها تحتاج لقص أقل من الألواح المثلثية وتؤدي إلى هدر أقل في المواد من الأشكال الأخرى، وبالإضافة إلى ذلك يؤثر شكل الوجوه على كلفة العقد، فالعقد من الدرجة الثالثة أو الرابعة تكون أكثر إقتصادية من العقد ذات الدرجة السادسة، وكون الألواح المستوية تقلل كثيراً من الكلفة فالألواح المنحنية بإتجاهين تكون ذات كلفة عالية جداً لأنها تحتاج لمعالجات مختلفة وقوالب معقدة خاصة إذا كانت من الزجاج.

– **الشكل غير المنتظم للوجه:** كلما تحولت الوجوه إلى أشكال غير منتظمة وغير متناسقة الأبعاد كلما زادت التكاليف والهدر، فالألواح ذات الزوايا الحادة جداً صعبة القص وتؤدي إلى هدر في المادة إضافة إلى صعوبة تصنيع العناصر الإنشائية والعقد التي تجمعها.

– **طريقة تفريد الألواح لقصها:** حيث يمكن التحكم بالشكل النهائي للمبنى من خلال تصميم السطح وهذا يتعلق بطريقة تفريد الألواح وتوزيعها أثناء عملية القص وتخيل هذا التوزيع أثناء التصميم يمكن أن يوفر في الكلف بشكل كبير.

2.2.2.3 إختيار المواد الذي سينفذ بها السطح:

يجب أن تتناسب المواد المختارة لتنفيذ السطح مع تصميم وأشكال الوجوه الذي وضعها المعماري في مراحل التصميم المبكرة، فبعض المواد لا تتناسب مع نمط معين من الألواح لذلك لابد أن يكون إختيار المواد جزءاً هاماً من عملية التصميم، فمثلا الألواح الزجاجية مناسبة جداً للألواح المستوية المنفصلة على إختلاف أشكالها الهندسية، ويمكن أن تكون مقبولة بالنسبة للألواح المنحنية بأتجاه واحد إلا أنها غير مناسبة أبداً للألواح المنحنية بإتجاهين كونها تتطلب معالجات معقدة غير مبررة ومن أهم المواد التي تستخدم في عملية التنفيذ هي؛ المعادن، والخرسانة، والزجاج، والبلاستيك.

3.2.2.3 النمذجة وتكرار الألواح:

لتحقيق توازن جيد بين النواحي الجمالية والإقتصادية في السطوح ذات الأشكال بالغة التعقيد يمكن جمع عدة نماذج من الألواح في متعدد الوجوه الذي سيبسط آليه السطح وتقريبها لبعضها لتصبح موحدة، ويكون هذا الجمع بالشكل الذي يوفر الكلفة قدر المستطاع دون تشوه في الشكل الإنسيابي فيتم الحصول على نماذج متعددة من الألواح كل منها يسمى مجموعة Cluster تتشكل من خلال مجموعة عمليات الدمج، وتكون كل مجموعة مشتركة مع بعضها في طريقة الالتقاء مع الجوار بحيث تسهل عملية القص وتقلل من عدد القوالب المصنعة. حيث تستخدم طريقة تبسيط السطوح للمساعدة على تنفيذ الشكل المعدني أو الزجاجي، فمن الناحية العملية يجب تجنب الألواح ذات الأشكال المميزة المعقدة وغير المكررة، ولكن ليس بالضرورة أن تكون كل الألواح بسيطة، ففي بعض الأحيان إضافة لوح معقد مرتفع الثمن يزيد من بساطة الألواح المحيطة به وبالتالي يقلل ثمنها(Ceccato et al,2010,p.56-p.62).

3.إستخلاص الإطار النظري:

وفقاً لما سبق تم إستخلاص مفردات الإطار النظري للسطوح المتقطعة ودورها في تشكيل بُنية العمارة المعاصرة والتي اشتملت على أربعة مفردات رئيسية، وكما موضحة في الجدول رقم (1):

جدول رقم (1) يوضح مفردات الإطار النظري للسطوح المتقطعة (المصدر:الباحثيين)

المفردة الرئيسية		المفردة الثانوية		القيم الممكنة
أجزاء السطوح المتقطعة		أجزاء أساسية	القمم	إمكانية التلاعب والتحويل بالأشكال
			الأضلاع	الإتصال بين القمم

			الوجوه		تحديد الشكل الهندسي
		أجزاء ثانوية	العوارض		أجسام موشورية مرتبة على طول حافة السطوح
			العقد		يمثل الرأس الذي تمر فيه جميع العوارض
			هيكل الدعم		عبارة عن مضلعات رباعية
المفردة الثانية	طرق التوليد والتنفيذ	تجزئة السطوح إلى أشكال صغيرة ومتعددة			
		إجراء العمليات الأساسية تشمل			عمليات التمدد واللي على أجزاء من السطوح
					عمليات الحني على أجزاء من السطوح
		إجراء عمليات إضافية مثل			التنعيم
					العمليات المنطقية والتبسيط
المفردة الثالثة	أنواع السطوح المتقطعة	سطوح ذات ألواح مثلثة	طريقة التكوين		اجتماع 6 وجوه على شكل مثلثات في عقد منتظمة
					اجتماع اقل من 6 وجوه في عقد غير منتظمة
			مميزاتها	الناحية الإنشائية	الإستقرار الهندسي بإستخدام عناصر حاملة أصغر
					التوازن الإنشائي
				الناحية الجمالية	ملائمة للأشكال الهندسية لكون وجوهها مستوية
					سهولة التعامل من الناحية التعبيرية
				التنفيذ	هذا النوع سهل التنفيذ
					تقليل التكاليف
			مساؤها	الناحية الاقتصادية	أقل كفاءة بسبب صعوبة القص
					تحتاج إلى أعداد كبيرة من الألواح لتكوين الشكل
				الناحية الجمالية	تقليل الشفافية في الإنشاء تؤثر على جمالية الشكل
					العقد الرابطة بين الأضلاع معقدة
		سطوح ذات ألواح رباعية	طريقة التوليد	الطريقة الأولى	نقل مضلع على أخر للحصول على سطح منفصل
					تدوير مضلع على أخر للحصول على سطح منفصل
				الطريقة الثانية	إنشاء سطوح مثلثة ومن ثم تحويلها إلى سطوح رباعية
					إستخدام خوارزميات التبسيط لغرض تعديل بُنية السطوح
			مميزاتها	الناحية الجمالية	شفافية وانسيابية أكثر في الشكل
					العقد أقل تعقيداً مما يزيد من جمالية السطح الناتج
				الناحية الاقتصادية	قلة التكاليف
					سهولة التنفيذ لبساطة العقد
			مساؤها	الناحية الإنشائية	صعوبة تحقيق الاستقرار الهندسي
				ناحية التنفيذ	صعوبة التبسيط
					الحاجة إلى معالجات إضافية بسبب عد استواء السطوح
		سطوح ذات ألواح سداسية	طريقة التكوين		وجوه سداسية منتظمة وغير منتظمة تجتمع كل 3 منها في قمة واحدة
			مميزاتها	الناحية الإنشائية	تغطية بحور طويلة
					خفيفة الوزن
			مساوئها	ناحية التنفيذ	معالجات إضافية بسبب عدم إستواء السطوح
					صعوبة تحويل الوجوه
	أنواع السطوح المتقطعة	سطوح ذات ألواح بأشكال أخرى	سطوح دائرية		تتكون من ألواح رباعية جميع أوجهها دائرية
			سطوح مخروطية		تتكون من ألواح رباعية مستوية تلتقي الوجوه فيها في الرأس
المفردة الرابعة	خصائص العمارة الناتجة	من الناحية الجمالية			عمارة ذات أشكال مبتكرة وحرة وفريدة
					التكامل ما بين الشكل والهيكل
					عمارة خفيفة الوزن

		من الناحية الإنشائية والتنفيذ	عمارة تحقق الأداء العالي
			إمكانية التحكم بالشكل النهائي من خلال تفريق الألواح وتوزيعها

4.التطبيق العملي:

سيتم في هذه الفقرة التطرق إلى مشاريع معمارية مصممة بإستخدام السطوح المتقطعة، ليتم فيما بعد تحليلها وفقاً للمفردات المنتخبة (أجزاء السطوح المتقطعة، وطريقة التوليد والتنفيذ، وأنواع السطوح المتقطعة، وماهية العمارة الناتجة).

1.4 مشروع Guangzhou Opera House، الصين، زها حديد،2011:

يقع المشروع قرب نهر بيرل حيث إستوحت المصممة شكل المشروع من أشكال الحصى الموجودة على ضفاف النهر وإستوحت إنسيابية تصميمه من تأثير الرياح والمياه على الصخور (www.arageek.com)، وقد إعتمد المشروع على مبادىء الطبولوجيا والجيولوجيا، فالتصميم الداخلي مستوحى من وديان الأنهار التي تحولت بفعل التعرية، ويهدف المشروع إلى خلق علاقة مابين الطبيعة والعمارة، فالمشروع يتكون من مبنيين بهيئة صخور مزدوجة مأخوذة من قاع النهر وتم تنعيمها بواسطة التعرية في المجرى المائي. إذ يتكون الهيكل الإنشائي من زوج من الهياكل غير المتماثلة مع القبة والجدار الساتر المدمجين معاً، ويبلغ أقصى طول للغلاف الخارجي 120م وقد تم إستخدام صفائح فولاذية مطوية بثلاثة إتجاهات لإنشاء 64 وجهاً وبزاوية 47 للواجهة الهيكلية. حيث يتطلب الإطار المعدني لهيكل دار الأوبرا 59 مفصلاً فولاذياً فريداً ومصبوباً خصيصاً لتثبيت الهيكل في مكانه، ويتطلب الهيكل حوالي 12000 طن من الفولاذ. وقد تم تجميع الغلاف غير المنتظم باستخدام تقنية تحديد المواقع وتقنيات الليزر. وتم في هذا المشروع تبسيط أجزاء من السطوح إلى شبكة مثلثية، فضلاً عن استعمال تشكيلات من الجص المقوى بألياف زجاجية للمحافظ على إنسيابية الشكل في الداخل، وتتكون الشبكة الحاملة من عناصر معدنية ملحومة تحمل ألواح مثلثية الشكل زجاجية أو حجرية. إذ توفر الأقسام الزجاجية المثلثة المكسوة بالفسيفساء إضاءة داخلية وتفتح على المناطق العامة وتؤكد على الطبيعة البلورية لدار الأوبرا، لاحظ شكل رقم (6)، وشكل رقم (7)(www. designbuild-network.com).

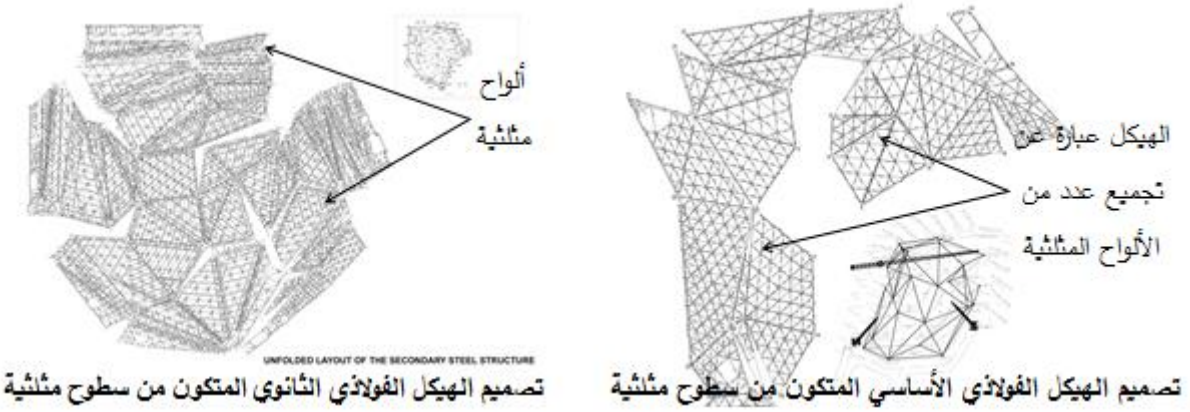
2.4 مشروع The Yas Hotel،الإمارات (ابوظبي)،شركة Asymptote Architecture،2009:

الفندق عبارة عن مجمع يتألف من 500 غرفة بمساحة 85000 م^{2}ويعد أحد المعالم المعمارية الرئيسية لمشروع تطوير مرسى ياس، إذ تصور مؤسسو وشركاء Asymptote معلماً معمارياً يجسد العديد من التأثيرات والإلهام الرئيسية التي تتراوح من الجماليات والأشكال المرتبطة بالسرعة والحركة والمشهد إلى الفن والهندسة التي تشكل أساس الفن الإسلامي القديم والتقاليد الحرفية (www.dezeen.com). ويتكون الفندق من برجين كل منهم 12 طابق أحدهما فوق حلبة السباق والآخر داخل المارينا ويتصلان ببعضهما عن طريق جسر زجاجي وهيكل قشري شبكي يتقاطعان معاً فوق حلبة السباق (www.marefa.org). يمتد 217م من الأشكال المنحنية المصنوعة من الفولاذ و 5800 لوح زجاجي محوري على شكل الماسة ويتكون هيكل المبنى من شبكة معدنية تحمل ألواح زجاجية رباعية ماسية الشكل وتشكل القشرة الخارجية المغلقة للمبنى، إذ يوفر هيكلGridShell بُنية تتألف من حجاب يشبه الغلاف الجوي يحتوي على برجين فندقيين وجسر رابط تم تشييده كجسم فولاذي منحوت أحادي اللون يمر فوق مسار الفورملا ONE الذي يشق طريقه عبر مجمع المبنى. يربط هيكل GridShell بصرياً ويدمج المجمع بأكمله معاً وينتج تأثيرات بصرية وانعكاسات طيفية. يستجيب التكوين الذي يشبه الجوهرة بصرياً وتكتونياً لبيئته لخلق إحساس مميز وقوي بالمكان بالإضافة إلى خلفية أخاذة للفورمولا ONE وغيرها من الأحداث التي سيحتفل بها المبنى، لاحظ شكل رقم (8)(www.archdaily.com).

3.4 مشروع Eden Domes،انكلترا،Grimshaw Architects،2001:

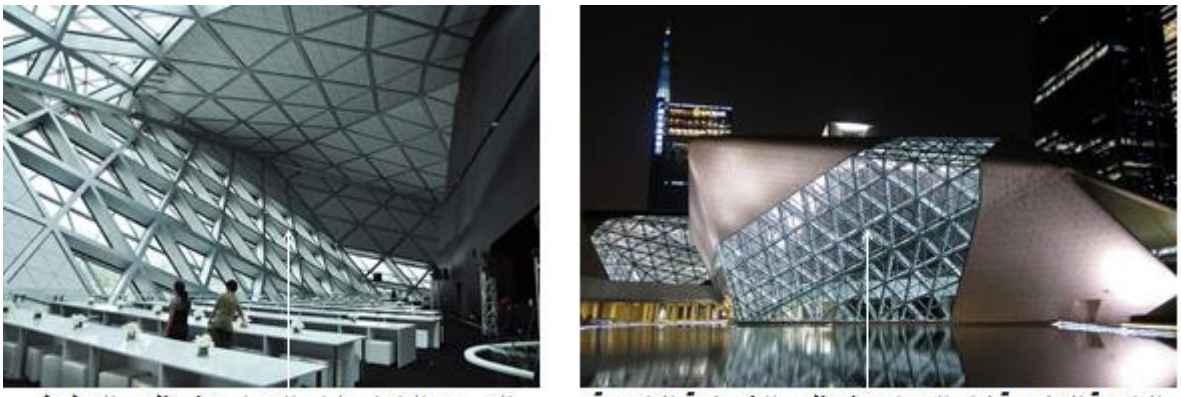
يعتبر المشروع واحد من اكثر مناطق الجذب في بريطانيا ويتكون من سلسلة من 8 قبب جيوديسية مترابطة فيما بينها وتغطي مساحة 2.2 هكتار، وكل قبة عبار عن إطار من فقاعة ضخمة سداسية عشرية وتعتمد كفاءة الإطار على الأنابيب الفولاذية والمفاصل التي تكون خفيفة وصغيرة نسبياً. تكون القبب الجيوديسية مبنية على هياكل معدنية مملؤة برقاقاتETFE (www.thaqafnafsak.com) (هي تغطية مثالية لبيت زجاجي لأنها قوية وشفافة وخفيفة الوزن إذ تزن قطعة من ETFE أقل من 1% من قطعة زجاج بنفس الحجم وكذلك هي عازل أفضل من الزجاج وهو أكثر مقاومة لتأثيرات أشعة الشمس للعوامل الجوية) على شكل وسادات هوائية.ولان الوجوه المليئة بالهواء لا تلعب أي دور إنشائي فإنه من الصعب أن يستقر المبنى بطبقة واحدة، لذلك أضيفت طبقة ثانية من العناصر الإنشائية فأصبحت القبة الواحدة تتكون من طبقتين واحدة بألواح سداسية وخماسية والأخرى بألواح مثلثة. فالهيكل للمشروع يستخدم 625 سداسياً و 16 خماسياً و

190 مثلثاً، مما أدى لتشكيل وحدات إثني عشرية الوجوه ووحدات ذات عشرين وجه، حيث حققت الصلابة الإنشائية المطلوبة. تكون الوسائد ملحومة معاً على طول الجوانب واحدة فوق الأخرى من خلال شبكة من الأنابيب الفولاذية المتشابكة، مع ضخ طبقات من الهواء بينها، إذ توفر طبقات الهواء عزلاً متزايداً دون تقليل كمية ضوء الشمس التي تسطع من خلالها. إن أهم ما يميز هذه الوسائد هو أنها قابلة للتعديل مثلاً في يوم بارد يمكن ضخها بمزيد من الهواء لتوفير عزل أفضل وفي يوم حار يمكن تفريغها جزئياً للسماح بمزيد من التبريد. في هذا النوع من الهياكل يتم تجميع العديد من الألواح المسطحة المتكونة من أشكال مثلثة وخماسية وسداسية أو مضلعات أخرى، معاً لتشكيل سطح منحني ويعتبر هذا التصميم رائع لأن أياً من القطع الفردية ليست منحنية على الإطلاق ولكنها تتجمع لتشكل هيكلاً دائرياً. مثل الشبكة الفولاذية في ناطحة السحاب فإن الإطار الفولاذي للقبة الجيوديسية قوي بشكل لا يصدق بالنسبة لوزنها ويتوزع هذا الوزن (667 طناً) بالتساوي على جميع أنحاء الهيكل بأكمله بحيث لا تحتاج القبة إلا إلى الدعم حول قاعدتها، مما يترك مساحة كبيرة للنباتات بداخلها، وترتكز حواف القبة على أساس بشكل عقد متين وجدار خرساني تحت الأرض حول محيط المبنى، لاحظ شكل رقم (9)(https:// /science.howstuffworks.com).



تصميم الهيكل الفولاذي الثانوي المتكون من سطوح مثلثية — تصميم الهيكل الفولاذي الأساسي المتكون من سطوح مثلثية

شكل رقم (6) يوضح الهيكل الإنشائي لمشروع Guangzhou Opera House، المصدر: https://www.archdaily.com

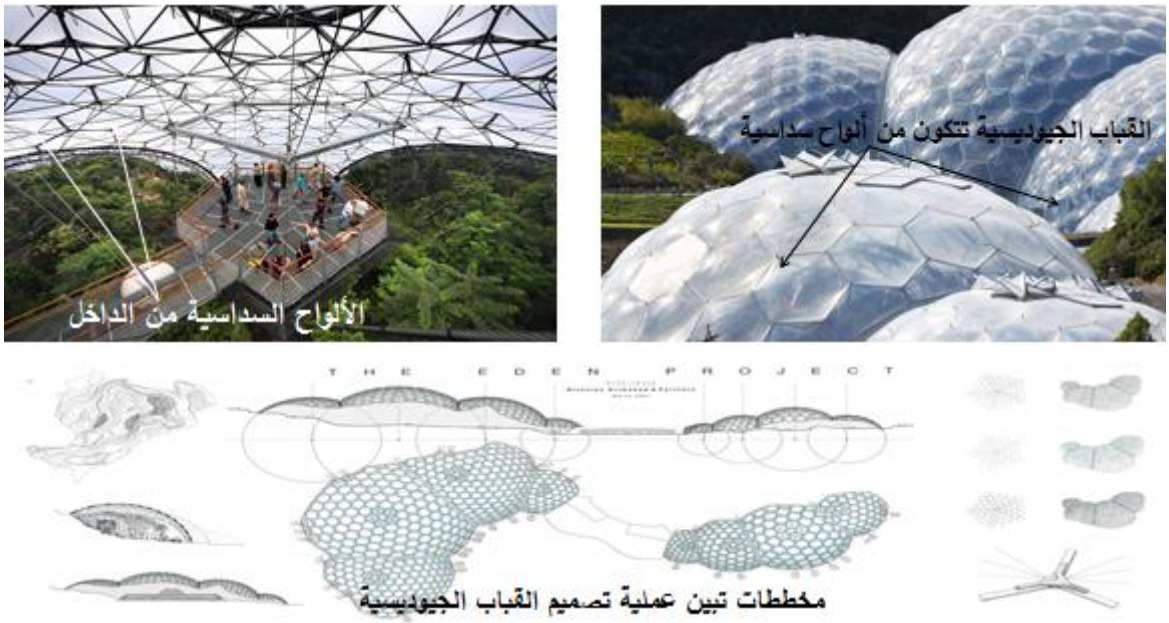


التصميم الداخلي لدار الاوبرا حيث تظهر الخطوط الانسيابية الواضحة والألواح المثلثية أيضاً

الواجهة الخارجية لدار الاوبرا حيث تظهر الانسيابية الواضحة المستوحاة من تأثير الرياح والمياه

شكل رقم (7) يوضح المنظور الخارجي والداخلي لمشروع Guangzhou Opera House، المصدر: https://www.archdaily.com

شكل رقم (8) يوضح الهيكل الإنشائي والمنظور الخارجي لمشروع Yas Hotel، المصدر: https://www.archdaily.com



شكل رقم (9) يوضح الهيكل الإنشائي والمنظور الخارجي والخارجي لمشروع Eden Domes حيث يتكون المشروع قباب جيوديسية يتألف من مجموعة من السطوح ذات الألواح السداسية، المصدر: https://www.thaqafnafsak.com

جدول رقم (2) يمثل استمارة التحليل لقيم تحقق المتغيرات للمشاريع المنتخبة يمثل (1 تحقق القيمة، و 0 عدم تحقق القيمة)

(المصدر:الباحثين)

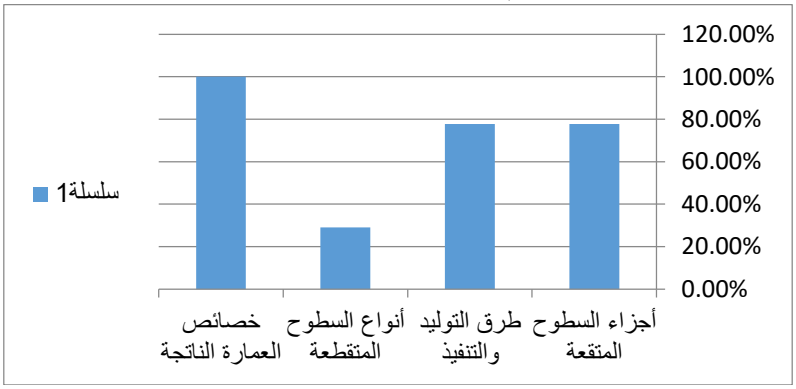
المفردة الرئيسية	المفردة الثانوية	القيم الممكنة		الرمز		المشاريع المنتخبة			مج م رئيسية
						A	B	C	
أجزاء السطوح المتقطعةX	أجزاء أساسية X1	القمم	إمكانية التلاعب والتحويل بالأشكال	X1-1	X1	1	1	1	77.6%
		الأضلاع	الإتصال بين القمم	X1-2		1	1	1	
		الوجوه	تحديد الشكل الهندسي	X1-3		1	1	1	
		مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية				**100%**			
	أجزاء ثانوية X2	العوارض	أجسام موشورية مرتبة على طول حافة السطوح	X2-1	X2	0	0	0	
		العقد	يمثل الرأس الذي تمر فيه جميع العوارض	X2-2		1	1	1	

						هيكل الدعم	عبارة عن مضلعات رباعية	X2-3		0	1	1	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية				**55.3%**			
طرق التوليد والتنفيذ Y						تجزئة السطوح إلى أشكال صغيرة ومتعددة Y1	بسبب كبر حجمها حيث تسهل عملية التجزئة من السيطرة عليها	Y1-1	Y1	1	1	1	**77.7%**
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية				**100%**			
						إجراء العمليات الأساسية Y2 تشمل	عمليات التمدد واللي على أجزاء من السطوح	Y2-1	Y2	1	1	1	
							عمليات الحني على أجزاء من السطوح	Y2-2		1	1	1	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية				**100%**			
						إجراء عمليات إضافية Y3 مثل	التنعيم	Y3-1	Y3	1	0	0	
							العمليات المنطقية والتبسيط	Y3-2		1	0	0	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية				**33.3%**			
أنواع السطوح المتقطعة Z	سطوح ذات ألواح مثلثة Z1	طريقة التكوين				اجتماع 6 وجوه على شكل مثلثات في عقد منتظمة		Z1-1	Z1	1	0	1	**29.6%**
						اجتماع اقل من 6 وجوه في عقد غير منتظمة		Z1-2		0	0	0	
		مميزاتها	الناحية الإنشائية			الإستقرار الهندسي بإستخدام عناصر حاملة أصغر		Z1-3		1	0	1	
						التوازن الإنشائي		Z1-4		1	0	1	
			الناحية الجمالية			ملائمة للأشكال الهندسية لكون وجوهها مستوية		Z1-5		1	0	1	
						سهولة التعامل من الناحية التعبيرية		Z1-6		1	0	1	
			التنفيذ			هذا النوع سهل التنفيذ		Z1-7		1	0	1	
						تقليل التكاليف		Z1-8		1	0	1	
		مساؤها	الناحية الاقتصادية			أقل كفاءة بسبب صعوبة القص		Z1-9		1	0	1	
						تحتاج إلى أعداد كبيرة من الألواح		Z1-10		1	0	1	
			الناحية الجمالية			تقليل الشفافية في الإنشاء تؤثر على جمالية الشكل		Z1-11		1	0	1	
						العقد الرابطة بين الأضلاع معقدة		Z1-12		1	0	1	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية				**61%**			
	سطوح ذات ألواح رباعية Z2	طريقة التوليد	الطريقة الأولى			نقل مضلع على أخر للحصول على سطح منفصل		Z2-1	Z2	0	0	0	
						تدوير مضلع على أخر للحصول على سطح منفصل		Z2-2		0	0	0	
			الطريقة الثانية			إنشاء سطوح مثلثة ومن ثم تحويلها إلى سطوح رباعية		Z2-3		0	1	0	
						إستخدام خوارزميات التبسيط لغرض تعديل بُنية السطوح		Z2-4		0	0	0	
		مميزاتها	الناحية الجمالية			شفافية وانسيابية أكثر في الشكل		Z2-5		0	1	0	
						العقد أقل تعقيداً مما يزيد من الجمالية		Z2-6		0	1	0	
			الناحية الاقتصادية			قلة التكاليف		Z2-7		0	1	0	
						سهولة التنفيذ بسبب بساطة العقد		Z2-8		0	1	0	
		مساؤها	الناحية الإنشائية			صعوبة تحقيق الاستقرار الهندسي		Z2-9		0	1	0	

					Z2-10	صعوبة التبسيط	ناحية التنفيذ		0	1	0	
					Z2-11	الحاجة إلى معالجات إضافية بسبب عد استواء السطوح			0	1	0	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية			24.2%			
	سطوح ذات ألواح سداسيةZ 3			طريقة التكوين	Z3-1	وجوه سداسية منتظمة وغير منتظمة تجتمع كل 3 منها في قمة واحدة		Z3	1	0	0	
		مميزاتها		الناحية الإنشائية	Z3-2	تغطية بحور طويلة			1	0	0	
					Z3-3	خفيفة الوزن			1	0	0	
		مساوئها		ناحية التنفيذ	Z3-4	معالجات إضافية بسبب عدم إستواء السطوح			1	0	0	
					Z35	صعوبة تحويل الوجوه			1	0	0	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية			**33.3%**			
	سطوح ذات ألواح بأشكال أخرى Z4			سطوح دائرية	Z4-1	تتكون من ألواح رباعية جميع أوجهها دائرية		Z4	0	0	0	
				سطوح مخروطية	Z4-2	تتكون من ألواح رباعية مستوية تلتقي الوجوه فيها في الرأس			0	0	0	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية			**0%**			
خصائص العمارة الناتجةL	الناحية الجمالية L1				L1-1	عمارة ذات أشكال مبتكرة وحرة وفريدة		L1	1	1	1	100%
					L1-2	التكامل ما بين الشكل والهيكل			1	1	1	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية			**100%**			
	الناحية الإنشائية L2				L2-1	عمارة خفيفة الوزن		L2	1	1	1	
					L2-2	عمارة تحقق الأداء العالي			1	1	1	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية			**100%**			
	ناحية التنفيذ L3				L3-1	إمكانية التحكم بالشكل النهائي من خلال تفريق الألواح وتوزيعها		L3	1	1	1	
						مجموع نسب تحقق المفردة الثانوية			**100%**			

5. النتائج:

أظهرت نتائج الخاصة بالتطبيق وجود تفاوت في نسب تحقق المفردات، فقد حققت مفردة خصائص العمارة الناتجة أعلى نسبة وهي 100%. إما مفردة طرق التوليد فقد حققت ثاني أعلى نسبة وهي 77.7%، بينما حقق مفردة أجزاء السطوح المتقطعة نسبة 77.6%، في حين حققت مفردة أنواع السطوح المتقطعة نسبة 29% وهي اقل قيمة متحققة، وكما يوضح الشكل رقم (10).



شكل رقم(10) مخطط بياني يوضح نتائج الدراسة العملية لمفردات السطوح المتقطعة في العمارة المعاصرة، المصدر الباحثيين

6. الاستنتاجات:

– السطح في العمارة هو المغلف الخارجي لأي مبنى والمحدد الذي يقيس ويحدد حجم الفراغ الذي يغلفه هذا المبنى.

– تصنف السطوح متعددة الوجوه بحسب إستمرارية السطح إلى ثلاث فئات أساسية وهي: السطوح المتقطعة (المنفصلة)، السطوح نصف المتقطعة (نصف المنفصلة)، و السطوح المستمرة.

– تعتبر السطوح المتقطعة من أكثر السطوح المنتشرة في العمارة والتي تساهم في خلق عمارة فريدة ومبتكرة.

– من أهم الأشكال إنتشاراً للسطوح المنفصلة هي ما يلي: السطوح ذات الألواح المثلثية، والرباعية، والسداسية، بأشكال أخرى كالمخروطية والدائرية، ولكل من هذه السطوح مزايا وعيوب بحسب الحالة التي يتم فيها إستخدامها.

– إن اختيار طريقة تبسيط السطح المصمم إلى ألواح وأجزاء تتعلق بعدة عوامل من أهمها المواد المتاحة وتقنيات التصنيع المستعملة، فبالرغم من أن التصميم المعماري هو تصميم جمالي يهدف للحصول على شكل مميز إلا أنه لا يمكن تجاهل حقيقة كون التكاليف العالية جداً للتنفيذ أمر غير مقبول.

– أن إختيار المواد جزءاً هاماً من عملية التصميم فهنالك العديد من المواد المستخدمة كالزجاج والبلاستيك والخشب وأن أي مادة من هذه المواد تتطلب معالجات معينة قد تكون معقدة في بعض الأحيان.

– تمتاز العمارة الناتجة من إستخدام السطوح المتقطعة بكونها خفيفة الوزن وذات أداء عالي، إذ يتكامل فيها الهيكل مع الشكل مما يؤدي إلى تكوين أشكال حرة وغير مألوفة يمكن التحكم فيها من خلال تفريق الألواح وتوزيعها.

– يعتبر الحاسوب الأداة المساعدة في إنشاء السطوح المتقطعة لتشكيل العمارة ذات سطوح معقدة وإقتصادية أيضاً.

7. التوصيات:

– يوصي البحث بإستثمار السطوح المتقطعة والإستفادة منها في تشكيل العمارة المعاصرة بسبب قدرتها على إنتاج عمارة ذات تشكيلات مبتكرة وغير مألوفة ومبهرة وبخطوات محددة مسبقاً.

– يوصي البحث بإعتماد برامج النمذجة في عمليات تصميم وتنفيذ السطوح المتقطعة.

– يوصي البحث بمواكبة التطورات في البرامج الرقمية والخوارزميات والتي تخدم المصممين في مجال السطوح المتقطعة وتمكنهم من التغلب على مختلف مشاكل التصميم.

References:

Agman, N, W, (2014), "Techniques for implementing irregular surfaces and the role of digital technology in them: A study of the possibility of their application in Syria", M.SC Thesis, Damascus University, Syria.

Bommes, D, Lempfer, T, Kobbelt,L (2011), " Global Structure Optimization of Quadrilateral Meshes", EUROGRAPHICS Journal, Vol.30, number 2, p.3.

Ceccato, C, Hesselgren, L, Pauly, M, Pottmann, H, Wallner J (2010),"Advances in Architectural Geometry", Springer Vienna Architecture, 1st Edition, New York.

Chen, W, Zheng, X, Ke, J, Lei, N (2018), " Metric Based Quadrilateral Mesh Generation", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,p1-2.

Daniels, J, Silva, C,T, Shepherd, J, Cohen, E (2014), " Quadrilateral Mesh Simplification", (HKU CS Technical Report, ACM Transactions on Graphics, Vol.27, number 5, p.2.

Dunn, N (2012),"Digital fabrication in architecture", 1st ed. London : Laurence King.

Eigensatz, M, Kilian, M, Schiftner, A, Mitra , N, Pottmann, Hand Pauly, M (2010), "Paneling Architectural Freeform Surfaces", ACM (Proc. Of SIGGRAPH), Vol.29, noumber5, p.1.

Fang, R (2008) , "The Design and construction of Fabric Structure", coenell university, New York.

Hesselgren, L, Sharma, S, Wallner, J, Baldassini, N, Bompas, P, Raynaud, J (2012), "Advances in Architectural Geometry", Springer, p.165.

Liu,Y, Pottmann, H, Wallner, J, Liang Yang, Y, Wang, W (2006), "Geometric Modeling with Conical Meshes and Developable Surfaces", ACM Transactions on Graphics,Vol.25, number3, p.681.

Lizier, M,A, Siqueira, M,F, Daniels, J, Silva, C,T, Nonato, L,G (2011), " Template-Based Quadrilateral Mesh Generation from Imaging Data", The Visual Computer manuscript, Vol.27, number 10, p.3

Morvan,J,M, Thibert, B (2002)," Smooth Surface And Triangular Mesh : Comparison Of The Area, The Normals And The Unfolding", Conference: the seventh ACM symposium Solid Modeling, p.148.

Orabi, R(2016),"The Role of Computation in the Architectural Design Process", M.SC Thesis, Damascus University, Syria.

Pottmann, H, Eigensatz, M, Vaxman, A, Wallner, J (2014),"Architectural Geometry", Computers & Graphics,p.4.

Pottmann, H,Wallner, J (2007), "The focal geometry of circular and conical meshes",Institutfür Diskrete Mathematik and Geometrie,Vol.29,number 3, p.1.

Pottmann, H, Brell ,C, S, Johanees ,W (2007), "Discrete Surfaces For Architectural Design", Nashboro Press inc in Brentwood,p.223.

Schober, H, Behling, S (1999),"Glass Roofs and glass Facades in: Glass Structure and Technology in Architecture", Prestel publishing Verlag, Munich,Germany.

Singh, M, Schaefer, S (2010), "Triangle Surfaces with Discrete Equivalence Classes", ACM,Vol.29, number 4, p.1.

WANG, W, LIU, Y (2009),"A NOTE ON PLANAR HEXAGONAL MESHES", The IMA Volumes in Mathematics and its Applications, p.1.

Wang, W, Liu, Y, Yan, D, Chan, B, Ling, R, Sun, F (2008), "Hexagonal Meshes With Planar With Planer Faces", HKU CS Technical Report, HKU CS Technical Report, p.1.

Welch W, Witkin, A (1994), "Free-Form Shape Design Using Triangulated Surfaces", Proceedings of the 21st annual conference on Computer graphics and interactive techniques, p.1.

http://www.oxforddictionaries.com

https://www.arageek.com/ibda3world/guangzhou-opera-house

https://www.archdaily.com/115949/guangzhou-opera-house-zaha-hadid-

https://www.designbuild-network.com/projects/guangzhou-opera-house-china

https://www.dezeen.com/2009/05/14/the-yas-hotel-by-asymptote

https://www.marefa.org

https://science.howstuffworks.com/environmental/conservation/conservationists

https://www.thaqafnafsak.com