النظريات الطوبولوجية والاستفادة منها في إثراء التصميم المعاصر

(دراسة وصفية تحليلية)

إعداد

حنان عونى محمد محمود

المدرس المساعد بقسم التصميمات الزخرفية، بكلية التربية الفنية، جامعة المنيا

أ.م.د. نجوى على محمد

أستاذ التصميمات الزخرفية المساعد، قسم التصميمات الزخرفية، كلية التربية الفنية، جامعة المنيا

د. عمرو أحمد محمد

مدرس التصميمات الزخرفية، قسم التصميمات الزخرفية، كلية التربية الفنية، جامعة المنيا

DOI:

https://doi.org/10.21608/ijdar.2025.376739.1033

المجلة الدولية للتصاميم والبحوث التطبيقية

دورية علمية محكمة

المجلد (٤). العدد (١٣). إبريل ٢٠٢٥

P-ISSN: 2812-6238 **E-ISSN: 2812-6246**

https://ijdar.journals.ekb.eg/

الناشر

جمعية تكنولوجيا البحث العلمي والفنون

المشهرة برقم ٢٧١١ لسنة ٢٠٢٠، بجمهورية مصر العربية

https://srtaeg.org/

النظريات الطوبولوجية والاستفادة منها في إثراء التصميم المعاصر
(دراسة وصفية تحليلية)

إعداد

حنان عوني محمد محمود

المدرس المساعد بقسم التصميمات الزخرفية، بكلية التربية الفنية، جامعة المنيا

أ.م.د. نجوى على محمد
أستاذ التصميمات الزخرفية المساعد، قسم التصميمات الزخرفية، كلية التربية الفنية، جامعة المنيا

د. عمرو أحمد محمد
مدرس التصميمات الزخرفية، قسم التصميمات الزخرفية، كلية التربية الفنية، جامعة المنيا

الملخص

لقد ساهمت الطوبولوجيا كأحد الفروع الحديثة للرياضيات من فتح آفاق جديدة للمعرفة، حيث اقتحمت علوماً أخرى غير الرياضيات، واستطاعت أن تفتح ابواب البحث في أيجاد حلول لمشاكل ونظريات علمية معقدة لظواهر كونية لم تكن معروفة من قبل، ومن خلال الاستناد على النظريات العلمية التي تتفاعل قوانينها مع الفن، أصبح الفن تنشيطاً للنظريات العلمية، وكل هذا مكن الفنان المعاصر من الوقوف على جوانب من الطبيعة كانت مغلقة، يصعب على الإدراك حتى تخيلها.

وهنا تكمن مشكلة البحث في التعرف على النظريات العلمية التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا والتي تم الاستفادة منها في مجال التصميم المعاصر. واستخدم في الدراسة المنهج الوصفي التحليلي بهدف دراسة بعض النظريات العلمية التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا والاستفادة منها في مجال التصميم المعاصر، ومن أهم النتائج التي توصلت اليها الدراسة أن الطوبولوجيا استطاعت أن تفتح ابواب البحث في نظريات علمية معقدة لظواهر كونية لم تكن معروفة من قبل، كما أنها أضافت أبعاداً جمالية لرؤية الأعمال التصميمية المعاصرة من خلال اكتشاف قيم جمالية جديدة استناداً إلى النظريات

العلمية، وتشمل توصيات البحث ضرورة الاستفادة من العلاقة الوثيقة بين العلم والفن، من خلال إجراء المزيد من الدارسات والبحوث.

الكلمات الرئيسية: النظريات العلمية، الطوبولوجيا، التصميم المعاصر.

Abstract:

Topology، as one of the modern branches of mathematics، has contributed to opening new horizons of knowledge، as it has invaded other sciences other than mathematics، and has been able to open the doors of research in finding solutions to complex scientific problems and theories for cosmic phenomena that were not known before. By relying on scientific theories whose laws interact with art، art has become an activation of scientific theories، and all of this has enabled the contemporary artist to stand on aspects of nature that were closed، difficult for perception to even imagine، and here lies the problem of research in identifying the scientific theories that dealt with the concept of topology and that have been benefited from in the field of contemporary design.

The study used the descriptive analytical approach with the aim of studying some scientific theories that dealt with the concept of topology and benefiting from them in the field of contemporary design. One of the most important results reached by the study is that topology was able to open the doors of research into complex scientific theories of cosmic phenomena that were not known before. It also added aesthetic dimensions to the vision of contemporary design works by discovering new aesthetic values based on scientific theories. The research recommendations include the necessity of benefiting from the close relationship between science and art، by conducting more studies and research.

Keywords: Scientific theories، Topology، Contemporary design.

المقدمة:

لقد استطاعت الطوبولوجيا كأحد الفروع الحديثة للرياضيات أن تقتحم علوماً أخرى غير الرياضيات ، لكن هذا الدخول يجري عبر الموضوعات الرياضية التي تستعملها تلك العلوم، فعلى سبيل المثال فإن التغييرات التي أحدثتها الطوبولوجيا في الهندسة التفاضلية أطلقت العنان للعاملين في النظرية النسبية ليُضْفُوا نكهة طوبولوجية على تفكيرهم، ويمكن القول اليوم بأن الطوبولوجيا لم تصبح أحد الأركان الأساسية لفهم الرياضيات فحسب ، بل غدت ضرورةً لفهم الكثير من العلوم الأخرى، حيث استطاعت الأساليب الطوبولوجية أن تتواجد بشكل مكثف الى أجهزة الفيزياء والكيمياء المعاصرة وتم تفسيرها بشكل عام من خلال خطابات العلوم الاجتماعية والانسانية، لاسيما من خلال الفلسفة ومنها نشر التأثير في مختلف فروع الفن.

لقد دعم العلم مجالات بحثه بأجهزة متطورة، فبدأت الأبحاث العلمية الحديثة تكشف النقاب عن جوانب متعددة لمفاهيم الطبيعة، وساهمت في فتح آفاق جديدة للمعرفة، وتم الاستناد على النظريات العلمية التي تتفاعل قوانينها مع الفن، حيث أصبح الفن تنشيطاً للنظريات العلمية ويعمل على إثبات صحة النظرية من عدمها بالإنتاج الفني التشكيلي. (صفاء محمود زايد مصطفى، ٢٠١٧)

، وكل هذا مكن الفنان المعاصر من الوقوف على جوانب من الطبيعة كانت مغلقة، يصعب على الإدراك حتى تخيلها، ولأن الفن دائما يبحث عن المصادر المتجددة لنتاجاته والتي يمكن ان يعتمد عليها في ايجاد منطلقات فكرية مستحدثة، فجاء بحثه في العلم بفروعه ونظرياته المختلفة، في محاولة لتكوين مرجعيات ذات أصول منطقية ووصولاً لمفاهيم وافكار غير تقليدية وتكوين خلفيات ومصادر مرجعية لدارسي الفنون.

مشكلة البحث:

يمكن تحديد مشكلة البحث في السؤال الرئيسي التالي:

ما مدى الاستفادة من النظريات الطوبولوجية في إثراء التصميم المعاصر؟

أهداف البحث:

١- إلقاء الضوء على بعض النظريات العلمية التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا، والاستفادة منها في مجال التصميم المعاصر.

٢- تحليل بعض أعمال الفنانين التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا وتتوافق مع النظريات العلمية.

أهمية البحث:

١- الاستناد على النظريات العلمية التي تتفاعل قوانينها مع الفن.

٢- تقديم مدخل معاصر من خلال التعرف على النظريات العلمية في ضوء مفهوم الطوبولوجيا.

فرض البحث:

يمكن إثراء التصميم المعاصر من خلال النظريات العلمية التي تناولت مفهوم الطوبولوجية.

منهجية البحث:

استخدمت هذه الدراسة المنهج الوصفي التحليلي بهدف التعرف على بعض النظريات العلمية التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا والاستفادة منها في مجال التصميم المعاصر.

مصطلحات البحث:

طوبولوجيا Topology:

الطوبولوجي أو التوبولوجيا بالإنجليزية Topology أو علم الفراغ أو المكان، وهى كلمة يونانية مشتقة من (Topo وتعنى مكان أو فراغ و Logos تعنى دراسة أو علم)، وهى تعنى دراسة المجموعات المتغيرة التي لا تتغير طبيعة محتوياتها، مما دفع بعض علماء الرياضيات والهندسة إلى تسميتها بالهندسة المطاطية، وتهتم الطوبولوجيا بدراسة الخصائص المكانية وفق التشوهات ثنائية الاستمرار (الشد دون تمزيق)، هذه الخصائص تعرف غالباً باللامتباينات الطوبولوجية. (KD joshi، 1983)

فروع الطوبولوجيا

الطوبولوجي هو فرع من فروع علم الرياضيات يدرس هندسة السطوح المتحولة التي تنشأ من خلال عمليات التشويه والمط والشد والجدل، وهو علم يهتم بدراسة الخصائص الجوهرية للأشكال الهندسية مثل الدوائر والمنحنيات والأسطح المتعددة المستويات، وتنقسم إلى عدة فروع:

١- الطوبولوجيا العامة أو طوبولوجيا النقاط (General Topology or Point-set Topology): هو فرع الطوبولوجيا الذى يتعامل مع التعريفات والتركيبات الأساسية لنظرية المجموعات المستخدمة في الطوبولوجيا، حيث يهتم هذا الفرع بالطوبولوجيا العامة من ناحية خصائص الفضاء ومن ناحية التراكيب كدراسة التراص (Comactness) والترابط (Connectedness)، ويرتبط ارتباطا وثيقاً بالتحليل، ويعمم مفهوم الاستمرارية لتحديد الفراغات الطوبولوجية، كما أن هذا الفرع يعتبر الأساس لمعظم الفروع الأخرى للطوبولوجيا بما في ذلك الطوبولوجيا التفاضلية، والطوبولوجيا الهندسية، والطوبولوجيا الجبرية.

كما أن الطوبولوجيا العامة مهمة من النواحي المنهجية في التعلم الرياضي، فلا يمكن تفسير المفاهيم الأساسية للاستمرارية والتقارب والتحول المستمر ومفهوم الاكتناز

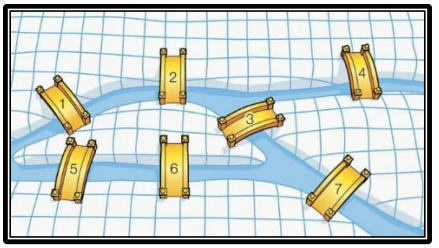
والاكتمال والامتداد إلا في إطار مفاهيم وبناء الطوبولوجيا العامة. (أحمد عبد القادر رمضان، طه مرسى العدوى، ٢٠١٠)

٢- الطوبولوجيا الاندماجية أو التو افقية (Combinatorial Topology):

هي فرع من فروع الطوبولوجيا تتم فيه دراسة الخصائص الطوبولوجية للأشكال الهندسية عن طريق تقسيمها إلى أشكال أولية (على سبيل المثال، تثليث متعددات الوجوه إلى أشكال بسيطة) أو عن طريق الأغطية بواسطة أنظمة المجموعات حيث يتم تطبيق هذه الأساليب في ظل الفرضيات الأكثر عمومية المتعلقة بالأرقام.

وتأخذ الطوبولوجيا الاندماجية في الاعتبار الخصائص العامة للمساحات التي أنشأت من شبكة من الرؤوس والحواف والوجوه، وتعد الطوبولوجيا الاندماجية أو التوافقية أقدم فرع من فروع الطوبولوجيا حيث يعود تاريخها إلى عام ١٩٣٠ حينما أثبت العالم ليونارد أويلر "Leonhard Euler" أن الفراغات المتكافئة طوبولوجياً لها نفس الثابت العددي حيث (V-E+F)، والذي نسميه الان صيغة أو مميز أويلر X=V-E+F صيغة أو مميز أويلر X=V-E+F، هذا الرقم هو عبارة عن V: عدد رؤوس الجسم، E: عدد الأضلع، F: عدد الوجوه، على سبيل المثال الدائرة ليس لها رؤوس ولا أضلع ولا وجوه لذلك X الدائرة يساوى صفر، وكذلك القرص ليس له رؤوس ولا أضلع، ولكن له وجه واحد أي X=1، والهرم له اربعة رؤوس وسته أضلع وأربعة أوجه أي (X=4-6+4) X=2، وهكذا فكل فضاء أو جسم له مميز أو ثابت عددي خاص به ويصفه، وهذا الثابت أسس لمفهوم مهم وهو الثوابت الطوبولوجية "Topological invariant" وكان هذا المفهوم هو الانطلاقة لولادة علم الطوبولوجيا. (Tom Babinec، et al.، 2007)

عمل **"أويلر"** على تقديم مساهمات في مجالات الهندسة وحساب التفاضل والتكامل والميكانيكا ونظرية الأعداد، بل طور طرقاً لحل المشكلات في علم الفلك الرصدي وقدم تطبيقات في التكنولوجيا، وله الدور الرئيسي في تبسيط مشكلة **"جسور كونيغسبرغ السبعة" "Seven Bridges of Konigsberg"**، وهى لغز رياضي نشأ في مدينة كونيغسبرج الروسية القديمة (كالينينجراد، روسيا حالياً) وأدى عمل أويلر في هذه المشكلة وبعض أعماله اللاحقة إلى تطوير الطوبولوجيا بشكل عام ونظرية الرسومات وتطوير الأفكار الأساسية للطوبولوجيا التوافقية والتي أشار إليها علماء الرياضيات في القرن التاسع عشر باسم تحليل المواقع. **(Raymond O. Wells، Jr، 2015)**

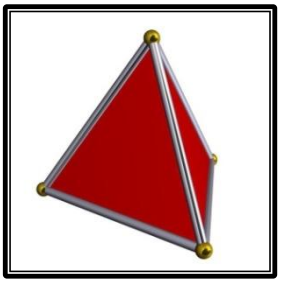


شكل (١) شكل توضيحي لجسور كونيجسبيرج السبعة (Raymond O. Wells، Jr، 2015)

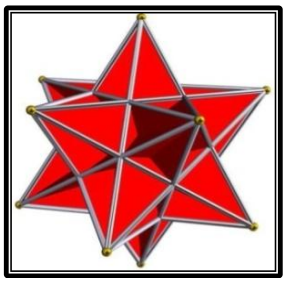
٣- الطوبولوجيا الجبرية (Algebraic Topology):

هو الفرع الذي يهتم بشكل عام بدراسة جميع خصائص الأشكال الهندسية ودرجات ترابطها ببعضها ببعض من خلال التراكيب الجبرية مثل دراسة التماثل (Homology)، حيث نشأت فكرة ربط الأشياء أو الهياكل الجبرية بالفراغات الطوبولوجية في وقت مبكر من تاريخ الطوبولوجيا، وكان الهدف الأساسي للطوبولوجيا الجبرية هو وضع قائمة كاملة بهذه الخصائص وإيجاد ثوابت طوبولوجية مرتبطة بهياكل مختلفة،

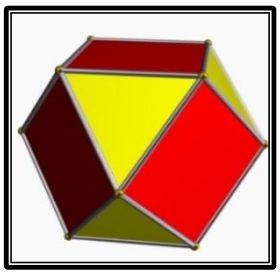
ومن أهم الكائنات التي يتم دراسة خصائصها في الطوبولوجية الجبرية (متعددات الوجوه polyhedron) وهو عبارة عن شكل ثلاثي الأبعاد يتكون من عدد من الوجوه المسطحة التي تحدها أضلع مستقيمة تسمى حواف وزوايا حادة تسمى رؤوس" كما في الشكل (٢)، وتشمل أيضاً دراسة المنطويات التي قد تكون مفتوحة أو مغلقة أو ذات حدود، كما أن هناك فكرة مهمة جداً في الطوبولوجيا الجبرية وهي "التشوه Deformation" وتشمل الأنواع الرئيسية من التشوهات: التشوه المتماثل أي التشوه المستمر السلس الخطى المقطعي.



(أ)



(ب)



(ج)

شكل (٢) يوضح متعددات الوجوه polyhedron التي تختص بدراستها الطوبولوجيا الجبرية (https://suniltanna.com/keplerpoinsot2.ph)

تأخذ الطوبولوجيا الجبرية الخصائص العامة للمساحات أيضاً وتستخدم أشكالاً جبرية مثل الحلقات للإجابة عن الأسئلة الطوبولوجية، إذ تقوم بتحويل المشكلة

الطوبولوجية إلى مشكلة جبرية لحلها بشكل أسهل، فمثلاً من خلال الاختلاف في مجموعات التماثل يمكننا التمييز بين شكلين.

أبسط مثال على الثوابت الطوبولوجية هو خاصية **"أويلر"** وهو عبارة عن رقم مرتبط بسطح ما، وفى عام ١٧٥٠ م أثبت عالم الرياضيات السويسري ليونارد أويلر صيغة متعدد السطوح V-E+F=2، أو خاصية أويلر التي تربط بين الأعداد E، V للقمم والحواف على التوالي لشبكة تقسيم سطح متعدد السطوح (ما يعادل طوبولوجيا الكرة). (https://www.britannica.com/science/topology)

النظريات العلمية التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا:

تعددت النظريات التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا، والتي ألقت بظلالها على العديد من المجالات والمعارف، حيث تمكن الباحثين في عصر المعلومات من استخدام الطوبولوجيا في جوانب مختلفة كإنشاء نماذج رياضية كان من الصعب التعامل معها سابقا، وكذلك أيجاد حلول لمشاكل ونظريات وفرضيات وحدسيات علمية معقدة لظواهر كونية لم تكن معروفة من قبل، ومن أهم هذه النظريات ما يلى:

١- نظرية التجانس (Homotropy Theory):

هي فرع من فروع الطوبولوجيا الجبرية تستخدم أدوات الجبر المجرد مثل نظرية المجموعات المتماثلة "Homotropy groups" لدراسة وتصنيف خصائص الفضاءات الطوبولوجية، أحد الأمثلة التي تبحثها نظرية التجانس هو كيفية معرفة ما إذا كان الفضاءان متماثلان، وتعتبر حساب الثوابت الجبرية المرتبطة بمساحة والتي تشمل مجموعتها المتجانسة هي إحدى الطرق الشائعة لمعرفة ما إذا كان الفضاءان متماثلان، فإذا كان هناك مساحتان لهما مجموعات مختلفة فهما غير متكافئتين، حيث توفر الثوابت الجبرية معلومات عن الفضاء والتي يمكن استخدامها للتمييز بين المسافات، وتعتبر أول وأبسط مجموعة متماثلة ومتجانسة هي المجموعة الأساسية التي تسجل معلومات حول الحلقات في الفضاء بشكل بديهى، وتسجل المجموعات المتماثلة معلومات حول الشكل الأساسى أو الثقوب للفضاء الطوبولوجي.

كما تبحث نظرية التجانس في عدة مفاهيم طوبولوجية مثل الاستمرارية المتصلة والمنفصلة، والتكافؤ، والتعاقد، والإزاحة، والانكماش، والتمدد، والتصاعد، ومفهوم "منحنى جوردان" الذي يبحث في تقسيم الفضاءات وتثبيت حدودها ودرجة إغلاقها

وتواصلها بالإضافة إلى تقصيها تكاملية النتاج عبر نظائرها الرقمية لتقدم معالجات أولية في الطوبولوجيا الرقمية، والتماثل هو مقياس لطوبولوجية الدالة في عمليات التحول البارامترية، حيث يقال عن دالتين رياضيتين متماثلتين إذا أمكن تطويع وتشويه إحداهما بشكل مرن ومستمر إلى الأخرى. (Allen Hatcher, 2011)

٢- نظرية التماثل Homology Theory

تم تقديم نظرية التماثل في نهاية القرن التاسع عشر، حيث تم اتخاذ الخطوات الرياضية الأولى في القرن التاسع عشر من قبل عالم الرياضيات الألماني **بيرنهارد ريمان "Bernhard Riemann" والإيطالي إنريكو بيتي "Enrico Betti"** من خلال إدخال "أرقام بيتي" في كل بعد، في إشارة إلى عدد الكائنات المستقلة (المحددة بشكل مناسب) في ذلك البعد ، تشير أرقام بيتي إلى عدد المرات التي يمكن فيها "قطع" الكائن قبل تقسيمه إلى أجزاء منفصلة، على سبيل المثال، الكرة لها رقم بيتي صفر لأن أي قطع سيقسمها إلى قسمين، في حين أن الأسطوانة لها رقم بيتي ١ لأن القطع على طول محورها الطولي لن يؤدي إلا إلى مستطيل.

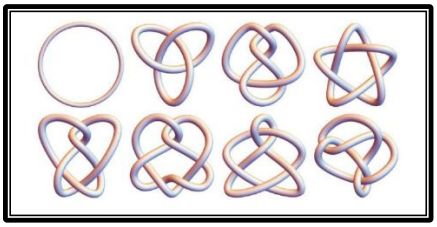
تم إجراء معالجة أكثر شمولاً للتماثل في الأبعاد n في بداية القرن العشرين من قبل عالم الرياضيات الفرنسي **هنري بو انكاريه "Henri Poincare"**، مما أدى إلى فكرة وجود مجموعة متماثلة في كل بعد، والتي صيغت لأول مرة حوالي عام ١٩٢٥ من قبل عالمة الرياضيات الألمانية **إيمي نويثر "Amalie Emmy Noether"**.

في الطوبولوجيا الجبرية والجبر المجرد "التماثل Homology" هو إجراء عام لربط سلسلة من المجموعات أو الوحدات بكائن رياضي معين مثل الفضاء الطوبولوجي أو المجموعة، وفى نظرية التماثل والطوبولوجيا الجبرية يعتبر علم التجانس "Homology" مصطلحاً عاماً لسلسة من المجموعات الأبيلية المحددة وهذا يعنى أن علم التجانس يتم تعريفه على أنه الدراسة المجردة للسلاسل والحلقات والحدود المشتركة، ويمكن النظر إلى علم التجانس على أنه وسيلة لتعيين الثوابت الجبرية إلى الفضاء الطوبولوجي الذى يحتوى على بنية جبرية أكثر دقة من التماثل، وينشأ علم التجانس من الأزدواجية الجبرية لبناء التماثل. (H. SEIFERT and W. THRELFALL)

ج- نظرية العقدة (Knot theory):

تعنى بدراسة الخصائص الطوبولوجية للعقد الرياضية على سبيل المثال المعايير التي يمكن بموجبها فك عقدة وشروط التكافؤ بين العقد وتصنيف العقد الأولية وما إلى ذلك، وتعرف بأنها احتواء "emedding" دائرة ضمن فضاء إقليدى ثلاثي الأبعاد، هذا يكافئ أصطلاحا خيط

معقود ذو نهايات مجمعة ليتم منعها من الانفكاك لتكون عقدتين رياضيتين متكافئتيين إذا كان من الممكن تحويل واحدة إلى أخرى عن طريق تشويه "deformation" على نفسه".



شكل (٣) يوضح جدول العقد الأولية حتى ستة معابر أو تقاطعات

(https://www.researchgate.net/figure/A-table-of-prime-knots-up-to-six-crossings-In-the-Alexander-Briggs-notation-these-knots_fig1_331313611)

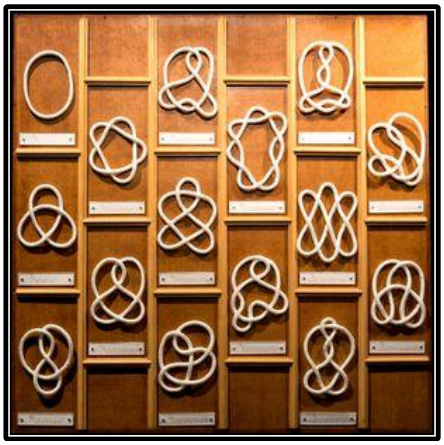
ويرجع تاريخها إلى عام ١٧٧١ م، حيث طورت النظرية الرياضية للعقد لأول مرة من قبل عالم الرياضيات الفرنسي **ألكسندر تيوفيل ڤاندرموند "Alexandre Theophile Vandermonde"** الذي أشار بوضوح إلى أهمية السمات الطوبولوجية عند مناقشة خصائص العقد المتعلقة بهندسة الموقع، وبدأت الدراسات الرياضية للعقد عام ١٨٠٠م على يد الرياضي الألماني **كارل فريدريك غاوس "Carl Friedrich Gauss"** حيث أتخذ الخطوات الأولى نحو النظرية الرياضية للعقد، بينما أصول نظرية العقدة الحديثة ينبع من اقتراح عالم الرياضيات والفيزياء الاسكتلندي **ويليام تومسون "William Thomson"** عام ١٨٦٩م، حيث تقوم النظرية على دراسة المنحنيات المغلقة ضمن ثلاثة أبعاد، والتحولات التي تحدث عليها دون حدوث أي تدخل بين جزئين أو أكثر من المنحنى، وقام بأول محاولة منهجية لتصنيف العقد عالم الرياضيات والفيزياء الاسكتلندي **بيتر جوثرى تايت "Peter Guthrie Tait"**

واستمرت نظرية العقدة في التطور كنظرية رياضية بحتة لمدة ١٠٠ عام تقريباً، وقادت دراسات عالم الرياضيات النيوزلاندى **فوغان جونز "Vaughan Jones"** عام ١٩٨٤م، وعالم الرياضيات والفيزياء الأمريكي **إدوارد ويتن "Edward Witten"** لاكتشاف العلاقة بين نظرية العقدة ونظرية المجال الكمومي، حيث حصل كلاً من جونز وإدوارد على ميداليات فيلدز عام ١٩٩٠م وهى (ميدالية دولية تمنح للاكتشافات البارزة في الرياضيات)، كما أستطاع عالم الرياضيات الأمريكي **وليام بول ثورستون "William Paul Thurston"** أن يقيم رابطاً مهماً بين نظرية العقدة والهندسة الزائدية مع تداعيات محتملة في علم الكونيات، و اكتسبت نظرية العقدة اهتماما متزايداً في العقدين الاخيرين من القرن العشرين عندما تم التعرف على تطبيقاتها المحتملة في علم الأحياء والكيمياء والفيزياء الرياضية

والهندسة الطبية الحيوية، كما أنها أصبحت واحدة من الإتجاهات الرائدة في مدرسة الفنون الرياضية "Math-Art" وهى تشمل أحدث تطبيقات مبدأ العقدة في الفن والعمارة والهياكل الحركية المولدة للأشكال، حيث تستخدم لبناء السطوح ذات الخصائص المرنة القابلة للطى والتجميع والتشابك والتضفير والحياكة بالإضافة إلى التسلسلات المعقدة لمطابقات الحجوم التي تنشأ ويتم تنفيذها بواسطة النمذجة الرقمية والفيزيائية. (صفاء محمود زايد مصطفى، ٢٠١٧)

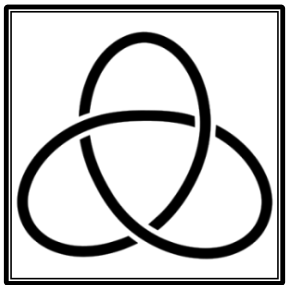
تصنيف العقد:

دراسة العقد الرياضية مستوحاة من العقد التي تظهر في الحياة اليومية مثل تلك الموجودة في الحبال والأربطة وتختلف العقدة الرياضية من حيث أن الأطراف مرتبطة ببعضها البعض بحيث لا يمكن التراجع عنها كما في الشكل (٤)، والعقدة هي وسيلة فعالة للتعبير عن الأشكال المنحنية الناتجة عن الخطوط المنحنية والمغلقة في الفضاء، وتتوافق تحويلات نظرية العقدة مع التلاعب مع خيط معقود لا يتضمن قطع الخيط أو تمرير الخيط من خلاله، ويمكن تصنيف العقد بناءً على عدد التقاطعات الموجودة فيها وأبسط عقدة حقيقية هي العقدة ثلاثية الفصوص والتي يشار إليها أنها عقدة ثلاثية التقاطع كما في الشكل (٥)، وللعقد خصائص تعرف بالثوابت حيث تساعد هذه الثوابت على التمييز بين العقد المختلفة وفهم خصائصها الأساسية.



شكل (٤) أمثلة لعقد مختلفة تتضمن العقدة البسيطة (أعلى اليسار) وتندرج منها العقدة الثلاثية

(https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Tabela_de_n%C3%B3s_matem%C3%A1ticos_01.jpg)

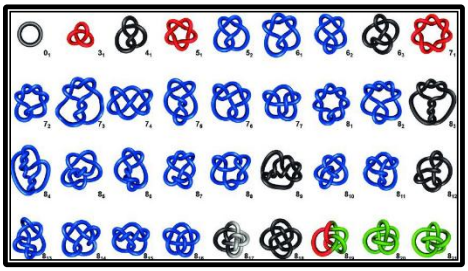


شكل (٥) رسم تخطيطى لعقدة ثلاثية الفصوص، أبسط أشكال العقد

(https://www.sciencenews.org/article/kn ots-proteins)

كان الدافع الأصلي لمؤسسي نظرية العقدة هو إنشاء جدول للعقد والروابط ، وهي

عقدة من عدة مكونات متشابكة مع بعضها البعض حيث تم جدولة أكثر من ست مليارات عقدة وروابط منذ بدايات نظرية العقدة في القرن التاسع عشر، تصنف على حسب عدد التقاطعات، أو المعابر. (T.kalaiselvi M.Phil., M. Ramesh Kumar, 2018)



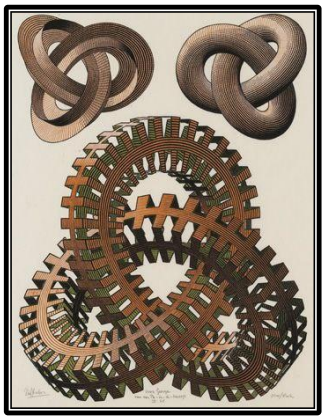
شكل (٦) يوضح جدول عقدة أساسية تم جدولته حسب رقم التقاطع https://marketplace.secondlife.com/p/Meshometry-Toroidal-Knots-Mesh-Pack/17687655

مدى الاستفادة من النظريات العلمية التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا على التصميم المعاصر:

هناك العديد من فنانين ومصممين ومعمارين العصر الحديث اعتمدوا في إنتاج أعمالهم الفنية على النظريات العلمية والفكر الطوبولوجي، وقد ظهر ذلك في أعمالهم الفنية والمعمارية والتطبيقية والتي تمتاز بدلالات رياضية محسوبة ومنطق شكلي يضيف أبعاداً جمالية للتصميم المعاصر، **فيما يلى عرض لبعض الأعمال الفنية والمعمارية التي تناولت مفهوم الطوبولوجيا والهندسة الزائدية وغيرها من المفاهيم والنظريات العلمية.**

- عقدة إيشر "Escher's Knot "

هي عبارة عن نقش خشبي لعقدة ثلاثية الفصوص، من أعمال الفنان الهولندي **إيشر "M.C.Escher"**، مكونة من ثلاث كتل خشبية مطبوعة باللون الأحمر والأخضر والبنى، تم طباعتها عام ١٩٦٥.

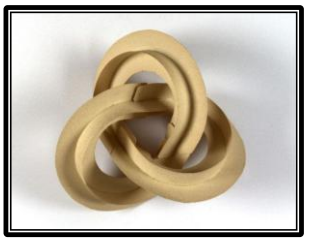


شكل (٧) يوضح نقش على الخشب باللون الأسود والأخضر والبنى لعقدة إيشر، مطبوع من ثلاث كتل، أغسطس ١٩٦٥ (https://www.wikiart.org/en/m-c-escher/knots-colour)

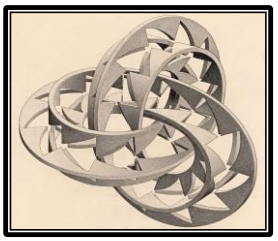
كانت إحدى المطبوعات التي رسمها الفنان الفرنسي **ألبرت فلوكون "Albert Flocon "** في كتابه "الطوبوغرافيات" مصدر إلهام مباشر لنقش عقدة إيشر، حيث قام إيشر بعمل نموذج للعقدة من الورق المقوى حتى

يتمكن من رســمــه على المطبوعـة، وحتى يتمكن من رؤيتها من الجزء العلوي الأيسر

شكل (٨) العقدة من عمل ألبرت فلوكون



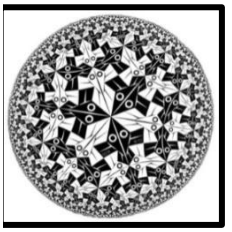
شكل (٩) نموذج لعقدة إيشر من الورق المقوى



شكل (١٠) عقدة إيشر بالقلم الرصاص والطباشير على ورق، يوليو ١٩٦٦[1]

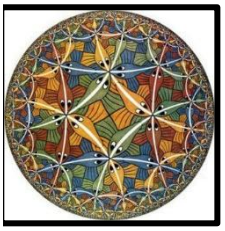
حد الدائرة "Circle Limit"

من أعمال الفنان الهولندي **إيشر "M.C.Escher"**، من الأول إلى الرابع بين عامي ١٩٥٨ إلى ١٩٦٠، هو عبارة عن نقوش خشبية تعتمد على تبليط منتظم للمستوى القطعي للهندسة الزائدية، حيث يتم تقليص التبليط من المركز إلى حافة الدائرة بشكل متزايد وتصبح الأشكال قريبة من بعضها البعض بشكل لا نهائي، وكان آخرها حد الدائرة الرابع "الجنة والجحيم" Heaven and Hell" عام ١٩٦٠م، والتي تمثل مفهوم اللانهاية على مستوى ثنائي الأبعاد.

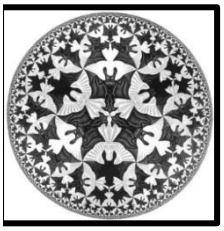


شكل (١١) يوضح نقش خشبي بعنوان حد الدائرة الأول "circle limit I" عام ١٩٥٨

شكل (١٢) يوضح نقش خشبي بعنوان حد الدائرة الثاني "circle limit II" عام ١٩٥٩



شكل (١٣) يوضح نقش خشبي بعنوان حد الدائرة الثالث "circle limit III" عام ١٩٥٩



شكل (١٤) يوضح نقش خشبي بعنوان حد الدائرة الرابع "Circle Limit IV" عام ١٩٦٠[2]

[1] . https://www.redbubble.com/i/canvas-print/Artwork-By-Maurits-cornelis-Escher-1898-1972-Netherlands-by-SpaceCompany/131607671.5Y5V7

[2] . https://www.redbubble.com/i/canvas-print/Artwork-By-Maurits-cornelis-Escher-1898-1972-Netherlands-by-SpaceCompany/131607671.5Y5V7

- **"شريط لا نهاية له" "Endless Ribbon"**

من أعمال الفنان السويسري "**ماكس بيل**" **Max Bill**، وهو عمل نحتي مصنوع من الجرانيت تم تنفيذه عام ١٩٥٣م، نجح **بيل** في إضفاء الطابع الرسمي على الفكرة الرياضية بأناقة وخفة مما يجعلنا ننسى مدى ثقل الجرانيت الأبيض، ووجد بيل أن العمل وفق نهج رياضي للتصميم الإبداعي ساعد في الحفاظ على نتائج يمكن التحكم فيها، حيث يتضح في أعمال بيل تحقيق الفكر الطوبولوجي في البناء والتشكيل بالفراغ والاعتماد على عمليات الطي والشد لتحقيق الحركة والاستمرار الشكلي.

شكل (١٥) يوضح عمل نحتي بعنوان "شريط لا نهاية له" "Endless Ribbon" للفنان ماكس بيل (https://www.artsy.net/artwork/max-bill-endless-ribbon-version-iv)

- **ملهى ليلى ومقهى انترنت بطوكيو Urban Night Club Cyberpunk Culture:**

تصميم المعماري "**Tingwei Xu & Jiannan Liu**"، يعتبر من الأعمال الهندسية المعمارية الأكثر إبداعا من حيث المساحة المستمرة مع التحولات المختلفة، حيث إن التصميم الداخلي والخارجي للملهى يركز على التشكيلات الديناميكية في الفراغ لتزيد من التفاعل الجسدي والبصري للأشخاص مع الفراغ أثناء سيرهم في الشارع أو أثناء تواجدهم داخل الملهى.

شكل (١٦) يوضح التصميم الخارجي للملهى

شكل (١٧) يوضح تصميم الملهى من الداخل (https://www.evolo.us/urban-night-club-and-cyberpunk-culture/ .)

كان الهدف من المشروع هو بناء فراغ متواصل مستمر يمتد من الداخل إلى الخارج ذو تحولات طوبولوجية مختلفة، حيث تتحول فيه الأسطح الطوبولوجية من سطح الى اخر، وتندمج الخطوط المستقيمة مع المنحنية لتعطى تصميم ذو

تشـكيل متصـل ومرتبط ببعضـه داخليا وخـارجيـا، حيـث أن الفراغـات الـداخليـة للملهى أيضـا متصلة ومسـتمرة ولا تفصـل بينهـا حـدود مثـل الحـوائـط والـقـواطع التقليدية، فالفراغات ذات تشـكيل تندمج فيه الحوائط مع الأسقف مع الأرضيات مع الفتحات، والانتقال البصرى من فراغ لآخر يتم من خلال تشـكيل الديكور الداخلي، وكل هذا أدى إلى إحسـاس المسـتخدم بتنويعات في الفراغ العام مع اسـتمرارية وتواصـل الفراغ بصـريا من الداخل إلى الخارج .

- برج سوهو الصين SOHO China:

من تصـميم المعمارية "**زها حديد" Zaha Hadid**، يقع Lize SOHO في جنوب غرب بكين- الصـين ، وهو عبارة عن مبنى مكون من ٤٥ طابقًا يتكون من برجين مسـتقلين، إطارها الهيكلي الفعال يقلل العبء على كل برج ، يعتبر المبنى بمثابة تقاطع لخمسـة خطوط مترو أنفاق جديدة ، ويقسـم البرج أعلاه إلى نصـفين كل منهما مغطى بجدار سـتارة متكامل، تمتد المسـاحة الممتدة بين البرجين عبر المبنى بأكمله، حيث يصـل ارتفاعها إلى ١٩٤,١٥ مترًا لتشـكل أطول ردهة في العالم، اعتمد تصـميم المبنى على الفكر الطوبولوجي وظهر ذلك في ليونة واستمرارية وتدفق الخطوط المكونة للمبنى من الداخل.

شكل (١٨) يوضح تدفق الخطوط المكونة للمبنى من الداخل

شكل (١٩) يوضح تقسيم البرج أعلاه إلى نصفين متصلين
(https://www.architecturalrecord.com/articles/14408-leeza-soho-tower-by-zaha-hadid-architects)

النتائج:

١- اسـتطاعت الطوبولوجيا أن تفتح ابواب البحث في أيجاد حلول لمشـاكل ونظريات علمية معقدة لظواهر كونية لم تكن معروفة من قبل.

٢- طرحت هذه النظريات مجموعة من البنى الهندسـية والنظم الطوبولوجية قائمة على منطق رياضـي وشـبكات هندسـية متعددة الأبعاد أثرت مجال التصميم

٣- استطاعت الطوبولوجيا أن تضيف أبعادا جمالية لرؤية الأعمال الفنية من خلال اكتشاف قيم جمالية لم تكن مطروقة من قبل.

التوصيات:

١- إجراء المزيد من الدارسات والبحوث التي تستند على النظريات العلمية التي تتفاعل قوانينها مع الفن.

٢- الاستفادة من التقدم العلمي وما يقدمه من جديد في مجال الدمج بين العلوم والفنون.

٣- نشر ثقافة الفكر الرياضي كأداة أساسية لثقافتنا، وربطها بمجال التصميم.

المراجع:

المراجع العربية:

أحمد عبد القادر رمضان، طه مرسى العدوى. (دون تاريخ). *التبولوجى العام*. قسم الرياضيات، كلية العلوم، جامعة الملك سعود، فرع القصيم.

صفاء محمود زايد مصطفى. (2017). *نظم البناء والتحول للهيئات في ضوء بعض النظريات العلمية لاستحداث تصميمات زخرفية*. مجلة كلية التربية النوعية، جامعة القاهرة، العدد.(30)

المراجع الأجنبية:

Babinec, T., Best, C., Bliss, M., Brendler, N., Fu, E., Fung, A., Klein, T., Larson, A., Lee, T., Madonna, J., Mousseau, J., Posavetz, N., Rosenberg, M., Rogers, D., Sardone, A., Shaler, J., Srinivasan, S., Troyan, P., Yim, J., Uible, E., Van Farowe, D., Warmker, P., Wu, Z., & Zhang, N. (2007). *Introduction to topology*. Renzo's Math 490, Winter 2007, p. 23.

Hatcher, A. (2001). *Algebraic topology*. Cambridge University Press.

Joshi, K. D. (1983). *Introduction to general topology* (1st ed.). New Age International (P) Ltd., Publishers.

Kalaiselvi, T., Phill, M., & Ramesh Kumar, M. (2018). The real life applications of knot theory and how it is connected with the graph theory. *International Journal of Creative Research*

Thoughts (IJCRT), 6(2), 901–910.

Seifert, H., & Threlfall, W. (1980). *Topology of 3-dimensional fibered spaces* (M. A. Goldman & W. Heil, Trans.). Academic Press. (Original work published)

Wells, R. O. (2015). *The origins of complex geometry in the 19th century*. Rice University, Jacobs University, University of Colorado at Boulder.

المو اقع الالكترونية:

1. https://suniltanna.com/keplerpoinsot2.php
2. https://www.britannica.com/science/topology
3. https://www.researchgate.net/figure/A-table-of-prime-knots-up-to-six-crossings-In-the-Alexander-Briggs-notation-these-knots_fig1_331313611
4. https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Tabela_de_n%C3%B3s_matem%C3%A1ticos_01.jpg
5. https://www.sciencenews.org/article/knots-proteins
6. https://marketplace.secondlife.com/p/Meshometry-Toroidal-Knots-Mesh-Pack/17687655
7. https://www.wikiart.org/en/m-c-escher/knots-colour
8. https://www.redbubble.com/i/canvas-print/Artwork-By-Maurits-cornelis-Escher-1898-1972-Netherlands-by-SpaceCompany/131607671.5Y5V7
9. https://www.redbubble.com/i/canvas-print/Artwork-By-Maurits-cornelis-Escher-1898-1972-Netherlands-by-SpaceCompany/131607671.5Y5V7
10. https://www.artsy.net/artwork/max-bill-endless-ribbon-version-iv
11. https://www.evolo.us/urban-night-club-and-cyberpunk-culture/
12. https://www.architecturalrecord.com/articles/14408-leeza-soho-tower-by-zaha-hadid-architects