جمعية أمسيا مصر (التربية عن طريق الفن)
المشهرة برقم (٥٣٢٠) سنة ٢٠١٤
مديرية الشئون الإجتماعية بالجيزة

هندسيات الطبيعة ودورها في تصميمات طباعة أقمشة السيدات

Geometric of Nature and role in women's textile printing designs

إعداد

أ.د/هدى صدقي عبد الفتاح
أستاذ التصميم بقسم طباعة المنسوجات كلية الفنون التطبيقية ـ جامعة حلوان

أ.د / هدى أحمد رجب عبد الرحمن
أستاذ التصميم بقسم طباعة المنسوجات كلية الفنون التطبيقية ـ جامعة حلوان

م/ مروه عاطف عبد المنعم عبد الله
مهندس مصمم مسجل بمرحلة الدكتوراه -كلية الفنون التطبيقية ـ جامعة حلوان

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

هندسيات الطبيعة ودورها في تصميمات طباعة أقمشة السيدات
Geometric of Nature and role in women's textile printing designs

مقدمة:

تعتمد عملية التصميم على التنظيم البصري والادراكي لما يراه المصمم حوله من عناصر في البيئة غالبا تكون من الطبيعة بما تملكه الطبيعة من تنوع في العناصر والنسق أو النظم، فالطبيعة هي المصدر الأساسي للمصمم للابداع لما تحويه من أشكال لانهائية من العناصر التي تتسم بالتغير الدائم في مظهرها المرئي وفقا لما يحدث في الطبيعة من متغيرات. (1)

ومنذ بداية القرن العشرين اتجهت الأبحاث العلمية لكشف جوانب متعددة لمفاهيم الطبيعة تلك الاكتشافات مكنت الانسان من التعرف على جوانب من الطبيعة كان من الصعب ادراكها بالعين المجردة ، والتي افصحت عن المزيد من الأسرار الكونية للعلاقات المختلفة القائمة على نظم وقوانين في الغالب تكون الأشكال الهندسية هي العنصر الأساسي فى بنيتها .

فالأشكال التي تظهر امامنا في الطبيعة على انها تبدو عشوائيه او فوضاويه ثبت انها تنتج من معادلات رياضيه هذه المعادلات تستخدم في دراستها نوع مختلف من الرياضيات تعرف بهندسة الفركتال (Fractal Mathematics) ومخططات الفورونوى Voronoi Daigrams وتتناول دراسة قوانين النمو وتكوين الخلايا والنسب الجمالية لهم فى الطبيعة وهى تختلف عن الهندسة الاقليدية، ويمكن القول أن الهندسة الإقليدية هي هندسة المسطرة والفرجار، وتشمل الهندسة المستوية ثنائية الأبعاد مثل (المثلث والمربع والدائرة)، وهندسة المجسمات مثل (المكعب – الهرم– الاسطوانة – المخروط – الكرة(2) وقد تبنت بعض المدارس الفنية على مر العصورمثل الباوهاوس وآرت نوفو وغيرهما فكرة الاعتماد والتركيز على الهندسة الاقليدية باشكالها الهندسية كالدائرة والمربع والمثلث لتحقيق التبسيط والتجريد والوضوح باعتبار ان هذه الاشكال هى الاشكال الاساسية مثلما اعتمدت فى الالوان على الاحمر والاصفر والازرق باعتبارها الالون الاساسية الا ان التطور العلمي الحديث نتج عنه رُؤًى فنية جديدة تشكلت في اتجاهات فنية متعاقبة متأثرة بالنظريات الحديثة القائمة على هندسة الطبيعة (كهندسة الفركتال ومخططات الفورونوى والنسبة الذهبية).

وهنا تتضح مشكلة البحث هل الاشكال الاساسية فى الهندسة الاقليدية هى نفس الاشكال الاساسية الهندسية فى الطبيعة وما هى تلك الاشكال الهندسية التى يمكننا اعتبارها اشكال اساسية فى الطبيعة وامكانية الاستفادة منها ومن نظمها فى تصميم طباعة اقمشة السيدات.

مشكلة البحث:

تتلخص مشكلة البحث في بعض التساؤلات:

١- هل الأشكال الطبيعية سواء كانت أشكال ترى بالعين المجردة أو أشكالا مجهرية يقوم الأساس البنائي لها على أشكال هندسية ؟

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

٢- هل الاشكال الاساسية ذات البناء الهندسى فى الطبيعة هى نفس الاشكال الاساسية فى الهندسة الاقليدية التى تبنتها كثير من المدارس الفنية على مر العصور باساليب مختلفة مثل مدرسة الباوهاوس و آرت نوفو ؟

٣- كيفية الاستفادة من الأشكال الهندسية الأساسية ونظمها البنائية الموجودة في الطبيعة بعد دراستها من خلال فنانى هذا الاتجاه للاستلهام منها في التصميم؟

هدف البحث :

يهدف البحث الى القاء الضوء على هندسيات الطبيعة والاشكال الاساسية فيها القائمة على النظريات الحديثة والتطور العلمى والفرق بينها وبين الهندسة الاقليدية و اثرهما على الاتجاهات الفنية وكيفية الاستفادة منها فى تصميم طباعة اقمشة السيدات.

فروض البحث:

يفترض البحث أنه يمكن الإستفادة من هندسيات الطبيعة والاشكال الاساسية فيها القائمة على النظريات الحديثة و**التطبيقات العملية لها في الوصول الي صيغ ابتكارية جديدة في مجال تصميم طباعة أقمشة السيدات**

حدود البحث:

الحدود الزمانية: من بدايات القرن العشرين وحتى الأن .

الحدود المكانية: جمهورية مصر العربية.

الحدود الموضوعية:

١. دور الاشكال الهندسية الاقليدية فى بعض المدارس الفنية فى العصور المختلفة.
٢. دراسة الأشكال الأساسية في الطبيعة
٣. دور الاشكال الهندسية الاساسية فى بعض الاتجاهات الفنية الحديثة
٤. التصميمات المبتكرة والمستلهمة من الأشكال الهندسية الأساسية في الطبيعة.

منهجية البحث:

المنهج الوصفي التحليلي: وفيه يتم دراسة الأشكال الهندسية الأساسية في الطبيعة واسلوب تناولها في بعض المدارس الفنية في القرن العشرين دراسة وصفية تحليلية .

المنهج التجريبي: ويعتمد على تناول الجانب الابتكاري في تجارب التصميم المستلهمة من الأشكال الهندسية الأساسية الموجودة بالطبيعة.

الكلمات المفتاحية Key words :

هندسيات الطبيعة Geometric of Nature واشكالها الاساسية:

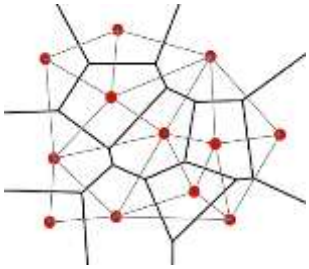
هي الهندسة المنبثقة من الطبيعة اي ان الطبيعة تخضع لنظم هندسية خاصة تختلف عن الهندسة الإقليدية قام بدراستها العديد من العلماء و الفنانين حيث توصلوا إلي نظرية الفوضي وتُعد هندسة الفركتال نموذجاً تطبيقياً لها (٣) ، وكذلك مخططات الفرنوي والنسبة الذهبية. وقد ساعد تقدم علوم الكمبيوتر وأساليبه وتطبيقاته فى الرسوم والنمذجة على نمو وتطور هذا النوع من الهندسات.

هندسة الفركتال fractal geometry :

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

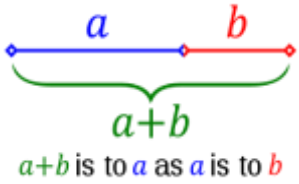
التى تمثل نمط هندسي تكرارى ذاتى التشابة يتكرر على مقاييس تتزايد في الصغر وتؤدي إلى أشكال وأسطح متعرجة غير منتظمة الا انها موجودة بكثرة فى الطبيعة فى نمو الكائنات كما فى الاشجار وأحد أشهر تطبيقاتها شجرة فيثاغورس والتى توضح كيف نرسم الشجرة هندسيا استنادا لنظرية فيثاغورس (مجموع مساحة المربعين القائمين على طول ضلعي الزاوية القائمة في المثلث القائم الزاوية يُساوي مساحة المربع القائم على الوتر) (٤).

مخططات الفورنوى Voronoi :



تعد مخططات الفورنوى أساسا لتقسيم المساحات الكبيرة إلى مساحات أصغر فى النظم الكونية من خلال توصيل مجموعة من النقاط داخل المساحات الكبيرة للحصول على مساحات أصغر يطلق عليها خلايا فورنوى Voronoi ، وتستخدم مخططات فورنوى فى المجالات الفنية لما لها من قيم جمالية تشكيلية وهى تحاكى الخلايا الموجودة فى الطبيعة (٥)

النسبة الذهبية Golden Ratio :



النسبة الذهبية قائمة على التناسب وهو مفهوم يشير الى أهمية العلاقات بين أجزاء الكيان الواحد فى الطبيعة كنسبة رياضية، والتناسب بهذا الشكل يمكن اعتباره قيمة عددية معبرة عن القيم الجمالية فى علاقة الجزء بالكل فى الطبيعة. و هي بشكل رياضي بسيط تتكون النسبة الذهبية عندما ينقسم الخط إلى قسمين؛ الجزء الأطول (a) مقسوماً على الجزء الأصغر (b) يساوي مجموع (a) + (b) مقسوماً على (a) ، وكلاهما يساوي (١,٦١٨) (٦).

الأشكال الهندسية الأساسية Basic geometric shapes :

ويتناول البحث نوعين من الاشكال الهندسية لادراك الفرق بينهما ودورهما فى بعض الحركات الفنية المتعاقبة والاستفادة من معطيات هذه الدراسة فى تصميم طباعة اقمشة السيدات. وهما الاشكال الهندسية الاقليدية و الاشكال الهندسية فى الطبيعة.

دور الاشكال الهندسية الاقليدية فى الفن فى العصور المختلفة:

تبدو ان بعض الأشكال دائمًا أكثر جوهرية من غيرها. وقد تم استخدام هذه الحقيقة في نظريات الفن وأساليب التدريس الفنية. فغالبًا ما تسمى الأشكال الهندسية البسيطة كالدائرة والمثلث والمربع والدائرة بالأشكال الهندسية الأساسية **Basic geometric shapes** ، على الأقل في المجالات المعاصرة للفنون البصرية مثل الهندسة المعمارية والرسم والتصميم. في هذه الحقول ، يُعتبر المثلث والمربع والدائرة عادةً الأشكال الأساسية (٧)

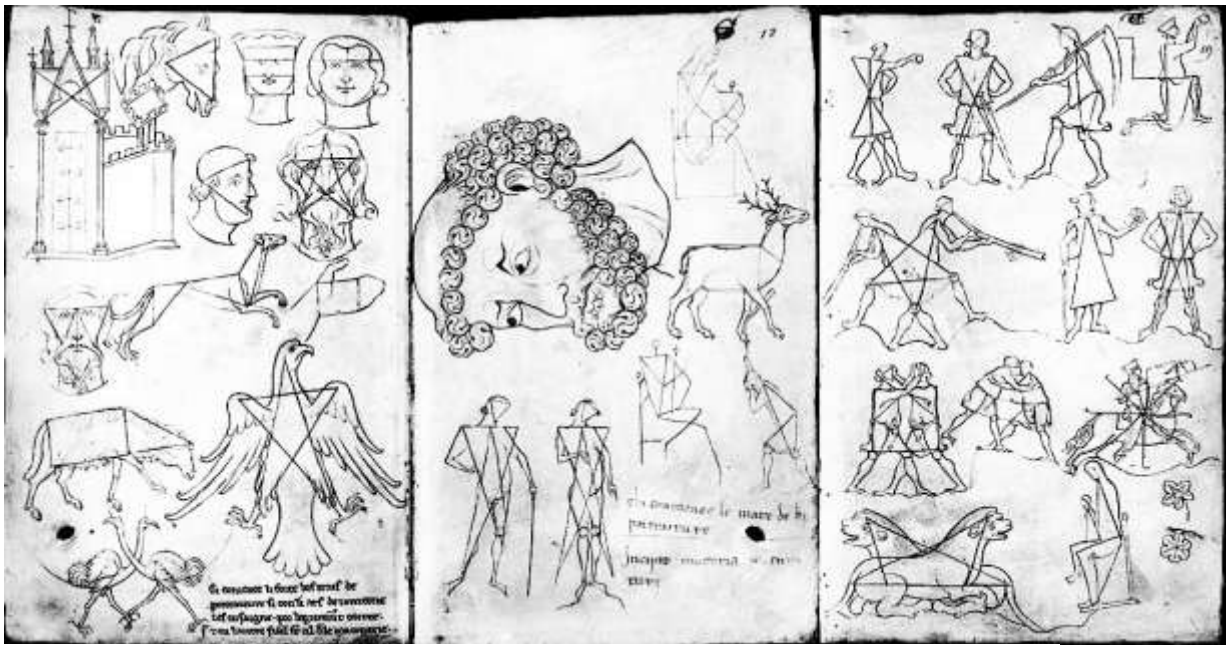
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وقد استخدم العديد من الفنانين أشكالًا هندسية (الهندسة الاقليدية) وخاصة الدائرة والمثلث والمربع على مر العصور ، في دراساتهم ورسوماتهم باساليب متباينة. ونذكر منها الامثلة التالية التى توضح التباين فى اساليب استخدام الاشكال الهندسية:

١. رسومات فيلارد دي هونيكورت Villard de Honnecourt (١٢٠٠ – ١٢٥٠):

فيلارد دي هونيكورت وعمل بشكل رئيسي ، كان مهندسًا معماريًا ناجحًا عاش في شمال فرنسا ترك لنا "كراسة الرسم" تحتوي على حوالي ٢٥٠ رسماً وتصميما لمجموعة متنوعة من الموضوعات يعود تاريخها إلى حوالي ١٢٢٥-١٢٣٥ وهى موجودة حاليًا في المكتبة الوطنية الفرنسية بباريس.

في هذه الرسومات ، يتم استخدام الأشكال الهندسية البسيطة ، وخاصة الدائرة والمثلث والمربع للإشارة إلى أبرز الأشكال والخطوط ، على سبيل المثال ، البشر والحيوانات أو أحيانًا كاساس يبنى عليه اشكاله اوعناصره. (٨)



دراسات الوجوه واجسام الاشخاص والحيوانات بأشكال هندسية من رسومات فيلارد دي هونيكورت

آلْبْرِخْت دورر Albrecht Dürer (١٤٧١-١٥٢٨):

كان رسّاما ألمانياً عاش في نورمبرغ .أظهر موهبته في فن التصوير الزيتي، كما استطاع أن ينشىء مدرسة فنية جديد عملت على تحرير الفن من قيود العصور الوسطى والجمع بين الواقعية الفنية الألمانية والمثالية الإيطالية، محققا حضوراً عالمياً من خلال عدد من لوحاته ، وقد تم استخدام الاشكال الهندسية البسيطة كأدوات لدراسة الأشكال وأحجام الأجسام ، و أيضًا لدراسة النسب الواقعية والقابلة للقياس لجسم الإنسان أو الحيوان وهنا ايضا كان استخدام الاشكال الهندسية كاسلوب

ألبرخت دورر ، رأسان مقسمان إلى أوجه ، من كراسة الرسم ، ١٥١٩

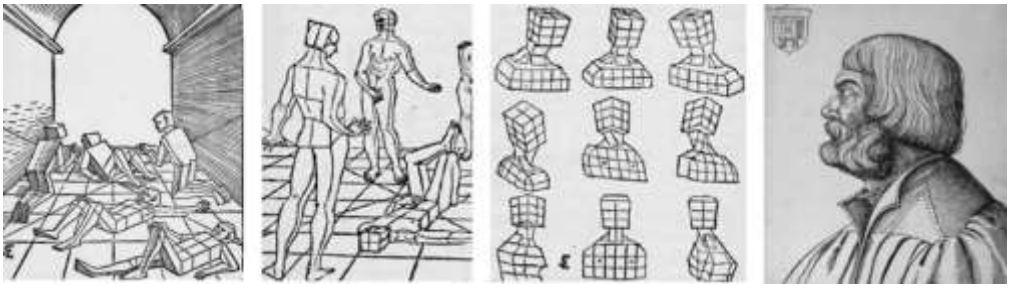
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

لدراسة النسب والحركة وليس لاستخدامها كعناصر اساسية للعمل الفنى (٩).

٢. إيرهارد شون Erhard Schön (١٤٩١-١٥٤٢) :

مصمم وفنان المانى ولد في نورمبرغ باعتباره ابن الرسام ماكس شون الثالث.. من الواضح أنه قد تأثر بفن ألبريشت دورر Albrecht Dürer (الذى كان رسّاما ألمانياً عاش في نورمبرغ ايضا المذكور فى المثال السابق) وكانت طريقة شون في النمذجة ووضع الأشكال مشتقة من دورر. وقد أنتج مطبوعات من أنواع مختلفة ، وأثبت نفسه باعتباره فنان مطلوب شعبيا..أول عمل معروف له هو سلسلة من النقوش الخشبية لكتاب ،.و في عام ١٥٣٨ ، نشر بحث عن النسبة في الفن Wikipedia site:ar.kcugenii.com فى نورمبرج.

و استخدم إيرهارد شون الاشكال الهندسية ثلاثية الابعاد كاسلوب للتخطيط وضبط النسب والحركة وكأن اشخاصه مصنوعة من مكعبات خشبية (١٠).



ان النهج الذى اتبعه رواد البنائية و الباوهاوس فى استخدامهم للأشكال الاولية كان متبعا على نطاق واسع في نظريات وتعاليم الفن والرسم باسلوب مباشر ولكن كعناصر اساسية فى التصميم وليس فقط كاسلوب تخطيط كالاتجاهات السابقة، ونذكر من هؤلاء الرواد مايلى:

١. فاسيلي كاندينسكي Wassily Kandinsky (١٨٦٦-١٩٤٤):

فنان روسي وألماني وهو احد مؤسّسي الفن التجريدي كان معتمداً على الأشكال المجرّدة، التي وجد فيها قوة إيحائية كبيرة. فاستخدم كالانطباعيين الألوان المضيئة، ولكن على خلفية سوداء لزيادة قوة اللون، وسعى بالتدريج إلى تحرير التصوير من عبء التمثيل. وتأثر بالوحشيين Fauves ، وعلى الرغم من تخطي الفنان مظاهر الأشياء، وتجنب تمثيل الواقع ، بقيت لوحاته ذات مناخ تأثيري عاطفي.هذه الآراء والأفكار، كانت الركيزة الأساسية التي قام عليها المذهب «التجريدي» في التصوير، التي أكدت على ان الفن يبدأ عندما تنتهي الطبيعة (وهذا عكس ما هو متبع الان فى الاتجاهات الفنية الحديثة). وفر الباوهاوس لكاندينسكي الانتقال إلى مرحلة جديدة، فنهج أسلوباً جديداً للجمع بين ثلاثة أشكال هندسية أساسية (الدائرة والمثلث والمربع) (١١).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

٢. بول كلي Paul Klee (١٨٧٩-١٩٤٠):

بول كلي رسام سويسري المولد ، ذو أسلوب فريد تأثر بالتعبيرية والتكعيبية والسريالية .تعتبر مجموعاته المكتوبة من المحاضرات والكتابات حول نظرية الشكل والتصميم مهمة للفن الحديث فى ذلك الوقت وجد أن الفن سمح له بحرية استكشاف أسلوبه والتعبير عن أفكاره . ، وقام بالتدريس في العديد من الجامعات والمدارس الفنية ، بما في ذلك مدرسة باوهاوس الألمانية للفنون ، وكان يُشِار إليه كأفضل الفنانين الألمان الجدد ، تم جمع محاضرات كلي في مجموعة تحتوى على أكثر من ٣٣٠٠ صفحة، باسم "دفاتر بول كلي" . وتعد هذه المجموعة بمثابة كتاب مرجعي للفنانين المعاصرين . و أعتمد في اسلوبة في رسم لوحاته علي أستخدام الأشكال الهندسية ثنائية الأبعاد مثل الدائرة و المربع و المثلث و يظهر ذلك بوضوح في لوحاته و الاشكال الهندسية هنا عنصرا اساسيا فى التعبير(١٢).

٣. أوسكار شليمر Oskar Schlemmer (١٨٨٨-١٩٤٣):

أوسكار شليمر فنان المانى ، في عام ١٩١٩ اتجه إلى النحت وأقام معرضًا لأعماله في غاليري دير شتورم في برلين. ، قام بالتعليم فى أقسام الرسم الجداري والنحت في مدرسة باوهاوس قبل أن يرأس ورشة المسرح في عام ١٩٢٣. وكان واحدًا من أهم المعلمين في ذلك الوقت اشتهر شليمر دوليًا بالعرض الأول له في شتوتغارت في عام ١٩٢٢. كان يتعامل بشكل أساسي مع إشكالية الشكل في الفضاء لذلك لجأ للاشكال الهندسية ثلاثية الابعاد لتجسيد شخصياته على المسرح. وبعد استخدام التكعيبية كنقطة انطلاق لدراساته الهيكلية ، أصبح عمل شليمر مفتونًا بإمكانيات الأشكال وعلاقتها بالمساحة المحيطة بها ، ويمكن رؤية الأشكال المميزة في منحوتاته وكذلك لوحاته.

ويظهر في اسلوبة اعتمادة علي استخدام الأشكال ثلاثية الأبعاد مثل الشكل المخروطي والكروي الذي يعطي إحساسا بالتجسيم ويظهر ذلك حتى فى لوحاته ثنائية الابعاد(١٣).

٤. يوهانس إيتن Johannes Itten (١٨٨٨-١٩٦٧):

هو فنان من سويسرا ، التحق بمدرسة الفنون الجميلة في جنيف ، أثبتت دراسات إيتن في أكاديمية برن أنها أساسية لعمله اللاحق كمعلم ، فهو باحث في فن الألوان. واصبح المعلم الرائد في باوهاوس. كتب كتاب فن الألوان"The Art of Color " على أساس ملاحظات الفنان عن الألوان الطبيعية والأعمال الفنية لمختلف الشعوب. يستكشف الكتاب قوانين تباين الألوان والانسجام والتصميم. تم تصميمه لتوسيع الآفاق واكتساب المعرفة و رؤية جديدة للفنانين والمهندسين

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المعماريين والمصممين. وحيث كان اهتمام يوهانس إيتن بالالوان قويا فقد اعتمد فى تصميماته على العناصر الهندسية الاساسية كالخط والدائرة والمربع والمثلث(١٤).

هندسيات الطبيعة Geometric of Nature واشكالها الاساسية:

بعد استعراض الاساليب المختلفة والمتنوعة للاستفادة من الاشكال الهندسية (التى درسناها فى الهندسة الاقليدية) التى اتبعها العديد من الفنانين فى العصور المختلفة سوف نتناول بالدراسة هندسيات الطبيعة وهى الهندسة المنبثقة من الطبيعة اي ان الطبيعة تخضع لنظم هندسية خاصة تختلف عن الهندسة الإقليدية قام بدراستها العديد من العلماء و الفنانين حيث توصلوا إلي نظرية الفوضي وتُعد هندسة الفركتال نموذجاً تطبيقياً لها وكذلك مخططات الفرنوي والنسبة الذهبية. وقد ساعد تقدم علوم الكمبيوتر وأساليبه وتطبيقاته فى الرسوم والنمذجة على نمو وتطور هذا النوع من الهندسيات وكما يوجد للهندسة الاقليدية اشكال اساسية فالطبيعة ايضا اشكالها الاساسية التى نراها تتكرر بصور مختلفة سواء بالعين المجردة او تحت عدسات الميكروسكوب.

الاشكال الاساسية (الهندسية) فى الطبيعة:

وتنقسم الاشكال الهندسية فى الطبيعة الى اشكال ثنائية الابعاد واخرى ثلاثية الابعاد كما فى الجداول التالية:

الاشكال الهندسية ثنائية الابعاد في الطبيعة:

عند دراسة الاشكال الهندسية فى الطبيعة يلاحظ صعوبة رؤية اشكال هندسية ثنائية الابعاد بالعين المجردة فاشكال الطبيعة عادة اشكال مجسمة اى ثلاثية الابعاد وهى تتواجد بصورة واضحة و نلاحظها بسهولة مثلا في أغلب الفاكهه التي تمثل الشكل الكروي مثل العنب و البرتقال و الأشكال المخروطية التي تتمثل في بعض الأشجار وقد توصلت الباحثة الى ان الأشكال ثنائية الأبعاد تتواجد في الطبيعة فى ثلاثة صور اساسية الاولى الكائنات الميكروسكوبية ذات الخلية الواحدة مثل الدياتومات (Diatoms) وهي مجموعة كبيرة من الطحالب السيليكاتية معظمها يكون وحيدة الخلية ، وتظهر باشكال مختلفة دائرية ومربعة ومثلثة وهي واحدة من أشهر أنواع العوالق النباتية في البحار والمحيطات او الخلايا النباتية تحت المجهر ، اما الصورة الثانية للاشكال ثنائية الابعاد فى الطبيعة فتتمثل فى القطاعات العرضية للنباتات اوالفاكهة ، والصورة الثالثة يظهر الشكل ثنائى الابعاد كوحدات تكرارية تغطى جسد الكائنات كالنمر المرقط ، الا انه يمكننا ان نرى الشكل ثنائى الابعاد فى هيكل دولار البحر وهو من اللافقاريات البحرية التي تنتمي إلى مجموعة شوكيات الجلد. وفى الجدول التالى ستة نماذج من الاشكال ثنائية الابعاد فى الطبيعة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الشكل الدائرى: ويتمثل بكثرة فى الدياتومات ذات الخلية الواحدة وكذلك قطاعات النباتات مجهريا من خلال مقطع فى شجرة بلوط أبيض ويمكن رؤية الشكل الدائرى بالعين المجردة فى النباتات وثمارها ذات الشكل الكروى او الاسطوانى مثل البصل وجذع الشجرة وجذور نبات اللوتس وثمارالكيوى وكذلك دولار البحر دولار يتميز بالشكل الدائرى وهو من اللافقاريات البحرية التي تنتمي إلى مجموعة (echinoderms) ويمكن العثور عليها في سواحل المناطق المعتدلة والاستوائية من المحيط الأطلسي والمحيط الهادئ كما يظهر الشكل الدائرى فى الطبيعة كنمط يغطى اجسام بعض الكائنات كالنمر المرقط والضفدع الاسترالى السام وكثير من انواع الاسماك .

الشكل المثلث: ليس من المعتاد رؤية مثلثات حادة في الطبيعة بالعين المجردة. وان كان يمكننا بمساعدة مجهر إلكتروني ضوئي رؤية أشكال وهياكل مثلثة مذهلة فى الكائنات البحرية الصغيرة أحادية الخلية مثل الدياتومات diatoms ، وغالبًا ما يكون لها شكل هندسي. فالخلية الحية الفعلية للدياتومات ، تميل الجزيئات والذرات من المادة الصلبة لها لتنظيم نفسها في هياكل هندسية متكررة وبسيطة ويتمثل فى الدياتومات ذات الخلية الواحدة وكذلك نرى شكل المثلث فى القطاعات العرضية فى النباتات مثل مقطع ساق نبات التيليا (tilia) واحيانا تغطى ظهر نجمة البحرمثلثات فى شكل شبكية مثلثة كما يمكننا رؤية المثلثات فى عظم المشط فى قدم للنسر وكذلك فى مقطع عرضى لساق ثلاثي الزوايا كما في نبات سيبريسى Cyperaceae.

الشكل المضلع: الاشكال المضلعة من اكثر الاشكال انتشارا حيث نراها كنمط يغطى اجساد الكائنات نباتية او حيوانية كنمط تكرارى repeating pattern مكونا شبكيات متماسكة فنراها على ظهر سلحفاة وعلى ثمرة الاناناس وحتى فى صور مجهرية كما على جدار بيض حشرة العتة وومجهريا فى البلاستيدات الخضراء على اوراق النباتات ويمكن رؤيتها فى صورة مفردة مجهريا كما فى الدياتومات او بالعين المجردة فى قطاع عرضى لحبة البامية.

الشكل المربع: بالرغم من ان المربع من الاشكال الاساسية فى الهندسة الاقليدية الا انه لم يسهل تواجدة فى الطبيعة الافى الدياتومات وعلى اجسام انواع من نجمة البحر اما فى شكل مربعات متجاورة حول الفم او فى صورة شريط من المربعات المتجاورة تمتد على طول ازرع نجمة البحر

الشكل المستطيل: الشكل المستطيل اما ان يكون فى صورة شريطية فى الطحالب او فى صورة تكرارية فى الخلايا النباتية وكلها صور مجهرية

الشكل النجمى: الشكل النجمى كثيرا مايكون خماسيا او سداسيا ويوجد فى صور متعددة فى الدياتومات وقطاعات الفاكهة كفاكهة النجمة وشكل البذور فى قطاع عرضى فى التفاحة وندفة الثلج باشكالها المختلفة وهى الاكثر انتشارا حيث ان ندف الثلج ذات اشكال متعددة الا انها دائما تمثل نجمة سداسية الشكل .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

الاشكال الهندسية ثلاثية الابعاد فى الطبيعة:

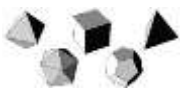
الشكل الكروى: ان أغلب الأشكال من حولنا تمثل الشكل الكروي وباحجام مختلفة مثل ثمار بعض الفاكهة مثل البرتقال و العنب والتفاح والبطيخ والكثير من الاشكال المجهرية كحبوب اللقاح والبذورمثل بذور نبات Delphinium pergrinum والعوالق النباتية كالكوكوليثوفور Coccolithophores وهى عوالق أحادية الخلية تحتوي كل خلية على اثنين من البلاستيدات الخضراء التي تحيط بالنواة. ، محاطة بصفائح كلسية ، والتي يبلغ عرضها حوالي ٢-٢٥ ميكرومتر . ومن الامثلة الجميلة هيكل قنفد البحر هو حيوان صغير شائك كروي ويقطن في جميع المحيطات ، بعد تحلل الكائن يبقى هيكلة الكروى عبارة عن صدفة رقيقة أو صندوق مجوف مكون من صفائح متلاصقة بها ثقوب تخرج منها الاشواك.

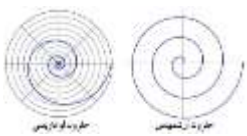
و كوكب الأرض نفسه كروى الشكل والكثير من الكواكب الاخرى وقطرة الماء كروية وفقاعات الصابون وغيرها...

الشكل الاسطوانى: من الاشكال المنتشرة فى الطبيعة ونراها فى جزع الشجرة والنخلة وسيقان النباتات وبعض الخضر والفاكهة تأخذ الشكل الاسطوانى كالخيار والموز وكذلك الكائنات الحية كالدود والثعابين وقد تمثل جزء من جسد كائن كرقبة الزرافة الا انها فى الطبيعة خطوطها اكثر ليونة ولا تكون نهايتى الشكل الاسطوانى دائرة منتظمة كما فى الهندسة الاقليدية.

الشكل المخروطى: ونجده فى صور متعددة فى الطبيعة فى بعض انواع الاشجاركشجر الصنوبروثمارها وثمار وجزورالعديد من الخضر والفاكهة كالفرولة والجزروالفجل وفى دودة شجرة الكريسماس christmas tree worm وفى جسم الانسان كالقلب كذلك اللسان حيث يغلف سطح اللسان غشاء مخاطي تغطيه آلاف الحليمات الصغيرة المخروطية الشكل التي تحتوي في أطرافها على نهايات عصبية بمثابة حاسة التذوق ونرى الشكل المخروطى مجهريا ايضا فى الراديولاريا Radiolaria وهى عوالق حيوانية مجهرية تم العثور عليها فى جميع أنحاء محيطات العالم.

الشكل متعدد السطوح: يسمى في الهندسة الاقليدية متعدد السطوح او متعدد الوجوه وهو ثلاثى الأبعاد والمضلعات التي تشكل متعدد الوجوه هي وجوهها ، وجوانبها تسمى حواف. وقممها تسمى رؤوس المضلعات. ولا نلاحظه فى الطبيعة الا فى شكل تكرارى واشهر امثلته خلية النحل وايضا الصخور البركانية ذات الشكل السداسى وكما توجد فى تركيب الكائنات الدقيقة كالدياتومات وهى تشبة الى حد كبير خلية النحل وكذلك حبوب اللقاح التى تحاط بشبكة من الاشكال السداسية لحمايتها وكذلك فقاعات الماء اوصابون عند تلاحمها تأخذ الشكل السداسى وكذلك عيون بعض الحشرات مثل الذباب ومن الثابت علميا ان الشكل السداسى هو اكثر الاشكال استقرارا فى الطبيعة.





الشكل الحلزونى : في الرياضيات هو منحنى ينطلق من نقطة مركزية،

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وكلما دار حول النقطة يبتعد عنها تدريجياً ،وأشهر الحلزونيات ثنائية الأبعاد حلزون أرشميدس و حلزون لوغاريتمي.

وهناك تعريفان رئيسيان لل"حلزون" :

أ .هو منحنى واقع في مستوى (ثنائى الابعاد) ويدور حول نقطة مركزية ثابتة على مسافة متزايدة باستمرار.

ب.هو منحنى ثلاثي الأبعاد يدور حول محور ثابت بمسافة ثابتة أو متزايدة باستمرار، بينما يتحرك موازيا للمحور. وهو ما يعرف باللولب (١٥).

ونجد الشكل الحلزونى فى أشكال القواقع وفى ذيل فرس البحر و بعض انواع نجمة البحر وقرون الأيائل والخراف والنباتات والعديد من الامثلة فى الكون الشاسع كما فى دوران الماء فى الدوامات ينسحب نحو القاع ودوران الهواء فى الأعاصير مندفعا من الأرض إلى اعلى. وإلتفاف ثعبان يعصر فريسته بين حلقاته، ودوران عنكبوت يبنى نسيج بيته، وتنتظم الجينات فى الحمض النووى فى شكل حلزونى مزدوج، وتتراص البذور فى صرة أنواع عديدة من الزهورمثل عباد الشمس فى شكل حلزونى حول نقطة المنتصف.وتوزيع اوراق النبات على ساقه كثيرا ما يكون فى شكل حلزونى ومن هنا يظهر ان الشكل الحلزونى من الاشكال الاساسية فى الطبيعة.

الشكل النجمي: من الاشكال المنتشرة فى الطبيعة بشكل واضح حتى ان الاشياء والكائنات تحمل اسمها كنجوم السماء ونجمة البحر والصبار النجمي والياسمين النجمي وعشبة نجمة الارض وكثير من الازهار تحوى فى قلب الزهرة عدد من الاشكال النجمية كزهرة hoya pubicalyx وفى كثير من الاحيان يكون الشكل النجمى شكل خماسى الافى حالة نجمة البحر ذلك الحيوان المائى اللافقارى فقد تتعدد اقدامه الانبوبية التى يستخدمها فى الحركة وقد يكون فى صورة مفردة فى الطبيعة كنجمة البحر او فى صورة متداخلة كصبار البحر وعشبة نجمة الارض او فى صورة متجاورة كما فى الازهار.

الشكل المتفرع: هو من الاشكال المنتشرة حولنا في الطبيعة بصورة كبيرة واشهر امثلته الاشجار والنباتات والشعب المرجانية بأنواعها والكثير من الكائنات كأحد انواع نجمة البحر ويطلق عليه سلة نجمة البحر لكثرة تشابك تفريعاته منتجة ما يشبه السلة basket sea star وكذلك دودة Tritoniopsis وهى دودة صغير، يبلغ طولها حوالى٢٠ملم تعيش فى المحيطات واسعة الانتشار بين الهند وغرب المحيط الهادي تتغذى على الشعب المرجانية والميزة الأكثر وضوحا لهذا النوع هو الاجزاء المتفرعة بدقة مرتبة أسفل كلا جانبي حافة الجسم (تشبه الدانتيل) ، والتي تعمل كخياشيم ثانوية، واحد انواع فرس البحر المعروف باسم نبات السدراجون المورق the Leafy Seadragon أكثر ما يميزه هو أن الزوائد الشبيهة بالأعشاب البحرية تتدلى في جميع أنحاء جسمه . قد لا يكون مفاجئًا أن تعيش هذه الحيوانات في أسرة عشب البحر ، حيث يجعل التمويه الذي يشبه عشب البحر من الصعب ان تكتشفه الفرائس والحيوانات المفترسة ونلاحظ التفريع ايضا فى كل اجزاء جسم الانسان فى العروق التى تنقل الغذاء والاكسجين من خلال الدم وكذلك قرون

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

العديد من الحيوانات كالغزال والتى تستخدم كثير فى الهجوم او الدفاع عن النفس ومن هنا كان اهتمام هندسة الفركتال بالشكل المتفرع فكانت ابرز تطبيقاته شجرة فيثاغورس.

ومن دراسة الاشكال الاساسية (الهندسية) فى الطبيعة نستخلص مايلى:

- الاشكال الهندسية الاساسية فى الطبيعة تختلف عن الاشكال الاساسية فى الهندسة الاقليدية، ففى الاشكال ثنائية الابعاد لا تظهر الا فى صورة ميكروسكوبية او مقطعية او لتغطية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

اجسام الكائنات وعادة ماتكون الدائرة والشكل المضلع هما الاكثر انتشارا ويتراجع المربع والمثلث فى الاهمية اما الاشكال ثلاثية الابعاد فالشكل الكروى هو الاكثر اهمية والاسطوانى والمخروطى وتتراجع الاشكال متعددة السطوح كالمكعب والشكل الهرمى ولكن الاشكال متعددة السطوح المتلاصقة كخلية النحل والصخور البركانية وغيرها يكثر تواجدها.

- ومن الاشكال الاساسية فى الطبيعة الاشكال المتفرعة و النجمية والحلزونية ومكانتها كاشكال اساسية ذات اهمية اكثر بكثير منها فى الهندسة الاقليدية.
- الاشكال فى الطبيعة اكثر ليونة منها فى الهندسة الاقليدية لذا فوجود خطوط شديدة الاستقامة لايظهر الا فى الانماط التكرارية لعوامل فيزيائية حيث يحكمها التوتر السطحى.
- تتكرر الانماط فى الطبيعة فى العناصر المختلفة فنلاحظ وجود شكل وردة ذات خمس بتلات تشبه زهرة الياسمين على ظهر نجمة البحر ودولار البحر وفى ترتيب تلبذور فى قطاع عرضى فى ثمرة التفاح.

- اختلاف هندسيات الطبيعة عن الهندسة الاقليدية ادى لى ضروة دراسة نظم الطبيعة وقوانينها التى انتجت لناهندسة الفراكتال التى تعنى بقوانين التشعب والنمو ومخططات فورونوى التى تهتم برسم الخلايا.
- كثير من الاشكال فى الطبيعة تخضع لنظم تكرارية بصورها المتماثلة كما فى خلية النحل اوالتى تبدو غير منتظمة الا انها تخضع لنظم دقيقة كما فى تشققات الارض وتفرعات ورقة الشجروالخلايا النباتية المجهرية والشعب المرجانية والانماط التكرارية على جلود

الحيوانات.

هندسيات الطبيعة والفنانين المعاصرين:

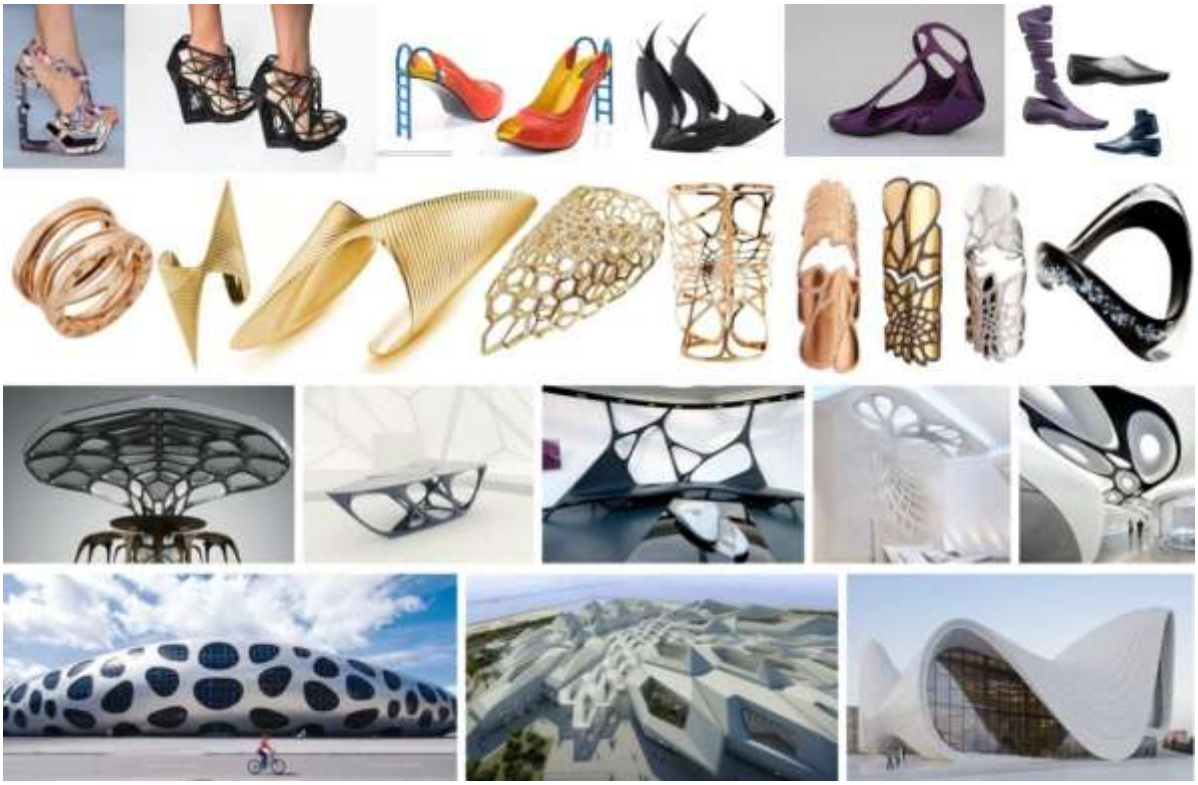
ومع التطور العلمي الذي كان نتيجة للدراسات التي قام بها العديد من الباحثين والعلماء والتى تناولت الطبيعة وبعناصرها ونظمها أصبح هنالك مفاهيم جديدة شملت كل حقول المعرفة العلمية، فاستبدلت المبادئ القديمة وما كان يشار لها "بالمُسَلّمات" بمفاهيم جديدة أكثر دقة وموضوعية وملائمة لمتطلبات العصر. وفق نظريات علمية ومعادلات رياضية دقيقة قامت على دراسة الطبيعة ومحاكاتها. فتحول اهتمام الفنانين من الأشكال المثالية والهندسية الاقليدية لتلك الأشكال الحديثة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

القائمة على هندسيات الطبيعة كهندسة الفركتال ومخططات الفورنوى Voronoi ،و الاهتمام بالنسبة الذهبية وادى هذا التحول الى ظهور فن جديد قائم على جماليات هندسيات الطبيعة ونظمها. وفيما يلى نذكر بعض فنانين هذا الاتجاة الجديد المعتمد على فهم معطيات الطبيعة(١٦)

١. زها حديد (١٩٥٠ – ٢٠١٦):

مهندسة عراقية درست الرياضيات في الجامعة الأمريكية ببيروت ثم التحقت بالجمعية المعمارية في لندن ، فازت بالعديد من الجوائز والميداليات العالمية ،اذ انها كسرت قيود الهندسة التقليدية لتصبح أيقونة تيار التفكيكية، أحد أهم الحركات المعمارية التي ظهرت في القرن العشرين. ويدعو هذا التيار إلى هدم كل الأسس الهندسية الاقليدية وإعادة النظر في العلاقات سواء كانت الإنسانية أو العمرانية، لإعادة بناء جديدة على ضوء فهم لمعطيات الطبيعة . لذلك تتميز تصميماتها بانسيابية لا تحددها خطوط عمودية أو أفقية وسُمي اسلوبها بالتجريد الديناميكي تعدّت زها حديد تصميم المنشآت المعمارية لتقوم بتصميم كل شيء تقريباً من الكراسي والطاولات مروراً بالمجوهرات والأحذية النسائية وعلب البارفان ،وتجسد في أعمالها بصورة واضحة استخدامها لمخططات الفرونوي فى تقسيم الأسطح والفراغات بصورة غير تقليدية اشبه بالخلايا (١٧).

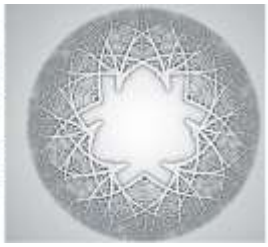


٢. جوريس لارمان Joris Laarman ١٩٧٩

يرى جوريس لارمان ان المهندسين فى عصرنا الرقمى لم يعودوا ملزمين باستخدام أدوات التصميم والتصنيع الرقمية ، بل يمكنهم إنشاء نماذج مخصصة أكثر ذكاءً وأكثر تعقيدًا. فلم يعد

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

استخدام الطبيعة كمرجع أسلوبي ، ولكن في الواقع استخدام المبادئ الأساسية لتوليد الأشكال . بهدف خلق تصميمًا يحقق أقصى قدر من القوة بأقل قدر من المواد وقد وجد ان العظام بطبيعتها تتميز بكفاءة عالية في تنمية الهياكل الداخلية لتحقيق نسبة الوزن إلى القوة المثالى لأنها تضيف وتزيل المواد باستمرار استجابة للضغوط من بيئتها وكذلك لديها القدرة على التخلص من المواد التي لا تحتاج إليها ، بدأ تصميم كرسى العظم Bone Chair بالفعل في عام ١٩٩٨ ، باستخدام ، برنامجًا جديدًا للتصوير والمحاكاة هذا البرنامج يحاكي تمامًا الطريقة التي تقوم بها العظام فى النمو والتطور ، وهو يستخدم نفس مبدأ التطور في الكائنات الحية وذلك باستخدام الحد الأدنى من المواد.ولم يكتفى جوريس لارمان بالاستفادة من خصائص العظم الفيزيائية بل ترجم ايضا تصميماته التى نفذها بوحى من العظم البشري بملمسه وتماسكه وانسيابيته،بالاضافة لخفة وزنه. فكان ذلك السبب الرئيسي وراء حصول هذا الأثاث على شعبية كبيرة(١٨).



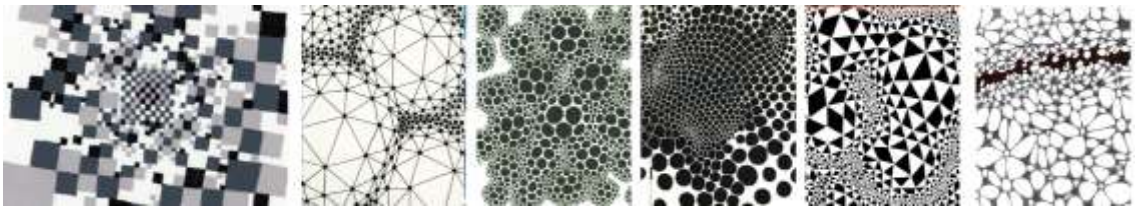
٣. كلينت فولكرسون Clint Fulkerson (١٩٨٠):

يعيش كلينت فولكرسون في بورتلاند بولاية ماين. حصل على **بكالوريوس الفنون الجميلة** في المعادن من MassArt ، لكنه كان في الأساس فنانًا ثنائي الأبعاد منذ ٢٠٠٥. في ولاية ماين ، شارك بأعماله في كثير من المعارض. في عام ٢٠١٤ أقام معرضًا منفردًا في كلية إنديكوت في بيفرلي ، ماساتشوستس. وعمل في العديد من المجموعات الخاص.

عمل كلينت مستوحى من أنظمة الشبكات والتكوينات الطبيعية على المستويات المجهرية والكونية. صُنعت لوحاته الجدارية المرسومة يدويًا باستخدام الطلاء. و يقول عن نفسه " يدفعني الفضول في الطبيعة إلى صنع الفن. أرى الهندسة في كل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مكان أنظر إليه في الطبيعة ، ومن خلال رسم فسيفساء هندسية بسيطة على الورق أشعر أنني أستطيع البدء في عكس هندسة الأنماط التي أراها وأنا أتجول على طول الساحل والغابات. لا أحاول تقليد ما أراه ،بل أقوم بالتحقيق لاكتساب نظرة ثاقبة لمنطق النمو الفركتلي وخلق عوالم جديدة على مساحات مسطحة من الورق أو القماش او الجدران. أقوم بإعداد قواعد بنائية لكل

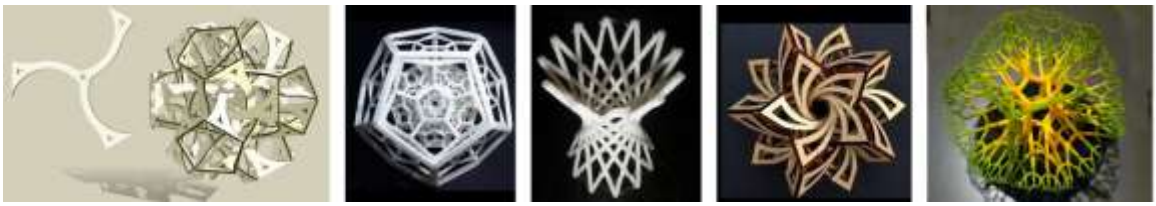


رسم أو لوحة وأترك العملية تحدد النتيجة ،وأقوم بتعديل النتائج كما تعودت"(١٩).

٤. جورج هارت George Hart (١٩٥٥):

جورج هارت هو نحات وعالم رياضيات و رائد في استخدام تكنولوجيا الكمبيوتر والطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم ومعلم امريكى ،. تم التعرف على منحوته الهندسي في جميع أنحاء العالم لعمقه الرياضي واستخدامه الإبداعي للمواد. حصل على الجوائز في العديد من المعارض ، بما في ذلك جائزة الفنان الفردي لمجلس ولاية نيويورك للفنون. تمت دعوته لإلقاء محاضرات وعرض فنه في جميع أنحاء العالم. ،جعل الرياضيات مرئية معتمدا على قوانين الرياضة الحديثة. تركز أبحاث هارت الرياضية على الهياكل والخوارزميات متعددة السطوح الجديدة لإنتاجها في أشكال نحتية. وهو نشط في تطوير الابتكارات في تعليم الرياضيات من خلال الفنون للعالم.

يستمتع هارت بإلقاء محاضرات وورش عمل ، موضحة بالشرائح والنماذج المادية ، لجماهير تتراوح من طلاب المدارس الابتدائية إلى المحترفين ويسعى لإشراك الطلاب في التفكير رياضيًا حول الأنماط والبنية والعلاقات(٢٠).



ونلاحظ في أشكال و تصميمات الفنان هارت ان تجميع الوحدات بطريقة الفرتكلات يذكرنا بمدى محاكاة اسلوبه بطريقة السمكة المنتفخة سمكة (Puffer Fish) التى تحمى بها نفسها ضد الاعداء، فهى تتميز بحركتها البطيئة مما يجعلها فريسة سهلة للكائنات المفترسة ، ولكن فى المقابل هى لديها تقنية مميزة لتستطيع بها الدفاع عن نفسها، فهى تلتهم كميات كبيرة من الماء والهواء دفعة واحدة عند اللزوم، مما يجعلها ذلك تنتفخ اضعاف حجمها الاصلى لتصبح كرة مائية ، ويساعدها على المحافظة

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

غلى شكلها الكروى مجموعة كبيرة من العظام التى تتباعد لتحافظ السمكة على شكلها الكروى(21) وهى تشبه لحد كبير الوحدات التى يستخدمها هارت فى شكلها واسلوب تعاشقها.

المداخل الابتكارية للتصميم :

على ضوء الدراسة السابقة لاربعة من الفنانين يمكننا تحديد بعض المداخل الابتكارية للتصميم .

- مخططات فورونوى التى تتميز بالانسيابية والبعد عن الخطوط الهندسية العمودية والافقية (زها حديد).
- هندسة الفركتال كما فى شجرة فيثاغورس (جوريس لارمان).
- تنوع الافكار والاساليب بستخدام انماط مختلفة (كلينت فولكرسون).
- تصميم افكارمركبة من عناصر بسيطة (جورج هارت).

التجارب التصميمية:

التصميم الاول:

يعتمد التصميم على اكساب الخطوط الليونة والتنوع الذى لمسته الباحثة فى تصميمات زها حديد

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

التصميم الثانى:

استخدام النسبة الذهبية فى تكرار وحدة من الرخويات البحرية تشبه الزهرة

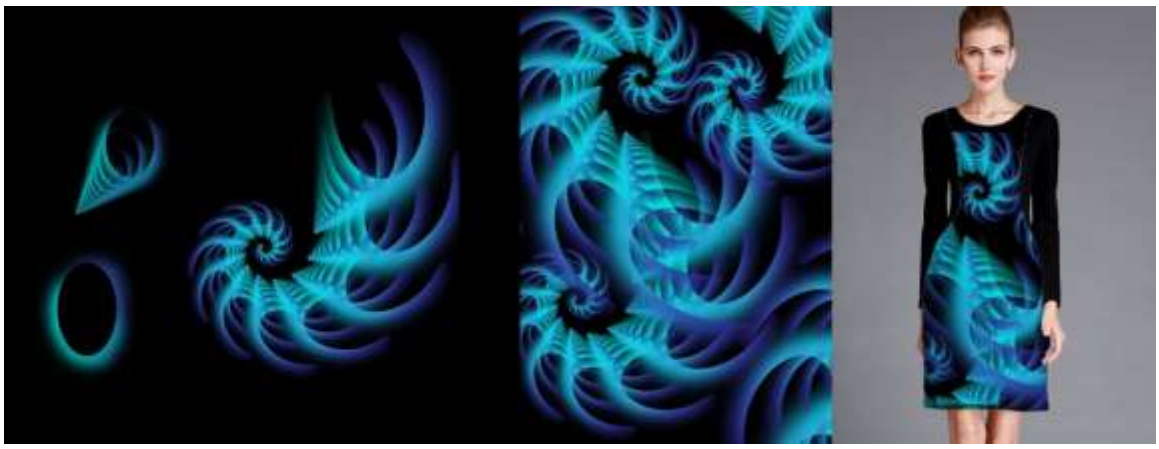
التصميم الثالث:

عمل تصميم من الخلايا باستخدام فرشاة فى برناج الفوتوشوب على شكل خلية مع التكبير والتصغير على نسق اعمال كلينت فولكرسون التى اعتمدت على تكرار الخلايا وشبكاتها باساليب مختلفة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

التصميم الرابع:

يعتمد التصميم على هندسة الفركتال وتكرار الاشكال البسيطة للوصول اللى وحدات مركبة اكثر تعقيدا



التصميم الخامس:

وفيه استخدمت الباحثة احد الكائنات البحرية وكررتها باسلوب هندسة الفركتال لتساهم فى ابتكار تصميم يتميز بالتنوع

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

التصميم السادس:

يعتمد التصميم على وحدة الفراشة وترجمتها بصور مختلفة الى تأثير الخلايا باستخدام الفلتر Stained Glass من قائمة Texture فى برنامج الفوتوشوب

نتائج البحث:

توصلت الدراسة الى النتائج التالية:

١) اثبتت الدراسة ان الاشكال الطبيعية سواء كانت اشكال ترى بالعين المجردة او اشكالا مجهرية يقوم الاساس البنائي لها على اشكال هندسية (ثنائية الابعاد وثلاثية الابعاد).

٢) ان الهندسة المنبثقة من الطبيعة تخضع لنظم هندسية خاصة تختلف عن الهندسة الاقليدية التي قام بدراستها العديد من الفنانين والعلماء في العصور المختلفة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

٣) ان الاتجاه الجديد المعتمد على هندسيات الطبيعة والذي اتخذه عدد من الفنانين العالميين في اعمالهم الفنية المختلفة قائم على النظريات الحديثة مثل هندسة الفركتال ومخططات الفرونوي والنسبة الذهبية.

٤) توصلت الدراسة الى ان التقدم في علوم الحاسب الآلي واساليبه وتطبيقاته في الرسم والنمذجة اثر على تطور النظم الهندسية الموجودة بالطبيعة.

٥) استطاعت الدراسة الوصول الى صيغ ابتكارية جديدة في مجال تصميم طباعة اقمشة السيدات قائمة على هندسة الفركتال ومخططات الفرنوي وايضا النسبة الذهبية وعددها (ستة) تصميما ابتكاريا وعمل التوظيف لها.

توصيات البحث:

١) تظل الطبيعة هي المصدر الاساسي للمصمم لما تحتويه من نظم واشكال لانهائية من العناصر التي تتسم بالتغير الدائم في مظهرها المرئي.

٢) فتح افاق جديدة ورؤى تجريبية مبتكرة تكون بمثابة مداخل للمصمم في مجالات التصميم المختلفة بصفة عامة ومجال طباعة المنسوجات بصفة خاصة.

٣) الاهتمام بفكر الفنانين والمصممين العالمين في تطبيق النظريات الحديثة يجعل المصمم على مواكبة الافكار المتقدمة ومصدرا خصب لأفكاره.

٤) الاهتمام بتطبيق نتائج البحوث القائمة على النظريات الحديثة كمادة تدرس للطلبة في كليات الفنون المختلفة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مراجع:

1 https://www.baianat.com/ar/books/graphic-design/visual-perception-and-its-role-in-the-development-of-innovation
2 https://www.arageek.com/l/ما-هي-الهندسة-الإقليدية
3 https://staffsites.sohag-univ.edu.eg/stuff/posts/show/4566?p=posts
على،طه علي احمد (٢٠١٥): هندسة الفراكتال بين النظرية والتطبيق
4 https://sites.google.com/site/fractalgeometry42013/fractal-geometry
5 عبد العزيز، داليا علي عبد المنعم (٢٠١٧): اثر مخططات فورونوى على بناء الشكل الخزفي- مجلة العمارة والفنون- العدد الثامن
6 https://www.baianat.com/ar/books/grid-system-and-its-effective-role-in-design/golden-ratio
7 Markus Rissanen,(2017): Basic Forms and Nature From Visual Simplicity to Conceptual Complexity, Tessellations Publishing, Phoenix, Arizona, USA, and Springer Science & Business Media, New York, USA
8 https://ar.wikipedia.org/wiki/Villard de Honnecourt
9 https://de.wikipedia.org/wiki/Albrecht_Dürer
10 https://www.getty.edu/art/collection/artists/308/erhard-schon-german-about-1491-1542/
11 http://arab-ency.com.sy/detail/9540
12 https://www.britannica.com/biography/Paul-Klee
13 http://millep.blogspot.com/2015/03/parade-oskar-schlemmer_11.html
14 https://ar.taylrrenee.com/iskusstvo-i-razvlecheniya/50248-kniga-iskusstvo-cveta-itten-iohannes-opisanie-soderzhanie-i-otzyvy.html
15 https://ar.wikipedia.org/wiki/حلزون (رياضيات)
16 عصفور ،مازن (٢٠١٩): انعكاسات العلم على الفن من فيتاغورس إلى الثورة الرقمية، دراسة ظاهراتية، مجلة العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلد 46، العدد 1، ملحق 2
١٧ https://arsco.org/article-detail-322-8-0
١٨ https://www.jorislaarman.com/work/bone-chair
١٩ https://usm.maine.edu/gallery/clint-fulkerson-fluid-geometry-0
٢٠ https://en.wikipedia.org/wiki/George_W._Hart
21 https://blog.nationalgeographic.org/2013/08/21/whats-a-pufferfish-explaining-animal-behind-mystery-circles/

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com