الاستلهام من الطبيعة كمصدر لابتكار تصميمات مستدامة لدعم السياحة الشاطئية فى مجال التصميم الصناعى

Biomimicry as a source for sustainable design innovation to support beach tourism in the field of industrial design

د/ محمد محمد رياض عبدالسلام

أستاذ مساعد بقسم التصميم الصناعى - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان

قسم تصميم المنتجات - كلية الفنون التطبيقية - جامعة بدر mohamedryead@yahoo.com

ملخص البحث: Abstract

يعتبر الاستلهام من الطبيعة أحد المصادر التى يستطيع من خلاله المصمم الصناعى مشاهدة الطبيعة والتعلم منها والبحث من خلالها عن طرق جديدة لبناء المنتجات والوصول لمصادر جديدة من الاستلهام لتصميم منتجات ذات كفاءة عالية وأكثر متانة وتستهلك طاقة وخامات أقل مع الطبيعة ، بالإضافة إلى إيجاد حلول تصميمية بيئية عن طريق استلهام الأشكال والعمليات والأنظمة البيئية لحل المشكلات التصميمية وزيادة الاستدامة فى تصميم المنتجات والخامات المستخدمة من قبل الإنسان والبيئة. ولما كانت الجوانب البيئية أمر هام في تصميم المنتجات المستدامة ليمكنها التغلب على التغييرات المناخية التى تحدث فى العالم، فقد أدى ذلك إلى الاهتمام بتعليم المصممين الصناعيين كيفية تبنى الاستلهام من الطبيعة كمصدر للتصميم الابتكارى والمستدام فى مجال التصميم الصناعى. وقد تم وضع وتطبيق منهجية تصميمية للاستلهام من الطبيعة فى جزء من مشروعات التخرج بقسم تصميم المنتجات بكلية الفنون التطبيقية بجامعة بدر بالقاهرة للعام الجامعى 2022/2021، بهدف الوصول إلى أفكار تصميمية مبتكرة ومستدامة لمنتجات تساعد على رفع وغرس الوعى البيئى والممارسة المهنية للطلاب فى مجال التصميم الصناعى وتدعم قطاع السياحة الشاطئية بجمهورية مصر العربية .

كلمات دالة: Keywords

الاستلهام من الطبيعة Biomimicry - التفكير التصميمي Design Thinking- التصميم المستدام Sustainable Design- التصميم البيئى Eco-design

Paper received 9th August 2022, Accepted 26th September 2022, Published 1st of November 2022

المقدمة: Introduction

بالنظر إلى آثار تغير المناخ وتزايد عدد السكان، فإنه يجب على المؤسسات من جميع الأنواع تبني الاستلهام من الطبيعة كمصدر للابتكار والاستدامة، ويساعد الاستلهام من الطبيعة الشركات ذات التفكير المستقبلي، والتي تبحث عن مصادر جديدة للابتكار وتصميم منتجات وعمليات مستدامة تؤدي أداء جيداً، وتوفر الطاقة، وتقلل من تكلفة المواد، وتقضى على النفايات. وهناك نوعين من الاستلهام في عملية التصميم هما: الأول هو تحديد الحاجة البشرية أو قضية التصميم والبحث عن الحلول التي من خلالها قامت النماذج البيولوجية الأخرى أو النظم البيئية بحل هذه المشكلة، والثاني هو تحديد خاصية أو سلوك أو وظيفة معينة في نموذج دور بيولوجي أو نظام بيئي وإجراء تفسير لذلك في التصميم البشري (Yurtkuran et al., 2013).

وقد أصبحت محاكاة الطبيعة بشكل متزايد جزءًا من المعجم المعتاد للتصميم الصناعي والاستدامة، ويعتمد على دراسات الجدوى الخاصة بالاستدامة فى التصميم على وضع خطة تنفيذية أو إعطاء سمات لفكرة أو مفهوم يتطلب تحقيقه من خلال التصميم، ولذلك يجب على المصممين الصناعيين تضمين متطلب الاستدامة ضمن متطلبات عملية التصميم وتحقيقه من خلال وضع حلول تصميمية قابلة للتطبيق بالاعتماد على الاستلهام من الطبيعة كمصدر لابتكار تصميمات مستدامة (Verbeek, 2011). لذا فإنه يجب دمج استلهام مبادئ النظام البيئي العامة في التصميم في مرحلة مبكرة واستخدامها كأداة تقييم طوال عملية التصميم (Mansour, 2010)

مشكلة البحث: Statement of the Problem

فى ضوء أزمة التغيرات المناخية التى يسعى العالم لمواجهتها كان لابد للشركات والمجتمعات والمنظمات إيجاد طرقاً جديدة لجعل المنتجات القديمة أكثر كفاءة، مع طاقة أقل وتقليل عدد مدخلات الموارد غير المتجددة وذلك بتبنى استخدام الاستلهام من الطبيعة كإطار عمل واستراتيجية للشركات تمكنها من تصميم وتطوير منتجات جديدة تكون أكثر مرونة ونجاحًا وكفاءة وقدرة على المنافسة (Flint, 2014). وفقًا لتقرير صادر عن معهد Fermanian للأعمال والاقتصاد الذي يتابع نشاط الاستلهام من الطبيعة، فقد زادت براءات الاختراع والمقالات العلمية والمنح البحثية بأكثر من خمسة أضعاف منذ عام 2000، ومن المقدر أن يمثل مجال الاستلهام من الطبيعة حوالي 1.6 تريليون دولار من إجمالي الناتج العالمي لعام 2030، ولذلك يعتبر الاستلهام من الطبيعة هي أصل التغيير من خلال الدراسات الأكاديمية في تعليم التصميم الصناعي، والتى ازداد نموها مؤخرًا فى الابحاث الأكاديمية اما كتخصص أو موضوع بحثى، لكنها لا تزال في مرحلة التطوير (Avcı, 2019) لذا يسعى المصممون والمصنعون اليوم إلى إيجاد حلول مستدامة لتحسين عمليات التصميم والمنتجات، والتي من شأنها تقليل آثارها البيئية.

أهداف البحث: Research Objectives

يهدف البحث إلى وضع منهجية تصميمية تساعد المصممين الصناعيين على التفكير التصميمي بالاستلهام من الطبيعة لابتكار تصميمات مستدامة.

أهمية البحث: Research Significance

1- خلق جيل جديد من المصممين الصناعين يهتمون بالقضايا البيئية وتضمينها فى تصميماتهم.
2- تدعيم المصممين الصناعيين بمنهجية تفكير تصميمي للاستلهام من الطبيعة.
3- لفت انتباه الشركات وأصحاب المصلحة إلى تبنى القضايا البيئية والمشاركة فى وضع حلول لها .

فرض البحث: Research Hypothesis

وضع منهجية تفكير تصميمي للاستلهام من الطبيعة تساعد المصمم الصناعى على ابتكار تصميمات مستدامة.

منهج البحث: Research Methodology

يتبع البحث المنهج التحليلي التجريبي.

الإطار النظري: Theoretical framework

أولاً: الاستلهام من الطبيعة فى التصميم الصناعى:

يستمد المصممون الصناعيون استلهامهم من مصادر متعددة لمعالجة مشكلات التصميم الصعبة، وتتمثل إحدى هذه الطرق في دراسة الطبيعة ومحاولة فهم الطرق التي تطورت بها لمواجهة التحديات

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

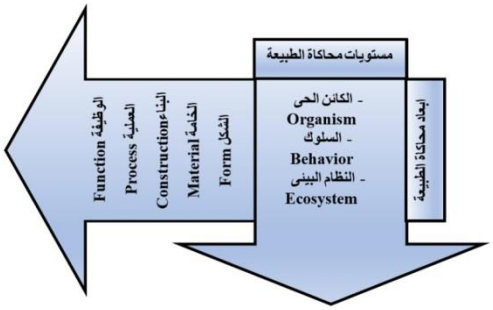
البيئية. ويعتبر الاستلهام من الطبيعة مدخل فلسفي يمكن أن يؤدي إلى أفكار جديدة وحلول مبتكرة لها العديد من المزايا من منظور وظيفي أو منظور الاستدامة. ولا يقتصر دور الاستلهام من الطبيعة على الأشكال العضوية للطبيعة أو آلياتها فقط ، بل ايضا فهم الطبيعة كنظام كامل (Benyus, 1997). وبهذه الطريقة، يستخدم الاستلهام من الطبيعة حالياً في مجموعة كبيرة من التخصصات والمجالات مثل الهندسة المعمارية وتصميم الأنظمة والاتصالات والتصميم الصناعي (Avcı, 2019).

1- مفهوم الاستلهام من الطبيعة:

تستند كلمة الاستلهام من الطبيعة (Biomimicry) اشتقاقياً إلى مجموعة من الجذور اليونانية حيث تعني كلمة Bio الحياة وتعني Mimicry الاستلهام. وقد ظهر هذا المصطلح لأول مرة في الدراسات العلمية عام 1962 وزاد استخدامه بمرور الوقت خاصة بين العلماء العاملين في مجال علم المواد في الثمانينيات (Pawlyn, 2011). وقد ظهر هذا المصطلح بصورة فعلية بعد ثلاثة عقود بعد الستينيات في كتاب جانين بينيوس (Benyus) عام 1997م - عالمة إحياء ورائدة أمريكية في تخصص "الاستلهام من الطبيعة - بتوثيق ودمج نتائجها حول الاستلهام من الطبيعة في كتاب "الابتكار المستلهم من الطبيعة"، وعرفت الاستلهام من الطبيعة بأنه "علمًا جديدًا يدرس نماذج الطبيعة ثم يحاكى أو يستلهم من هذه التصاميم والعمليات لحل المشكلات البشرية" وأضافت أن الهدف الرئيسي للاستلهام من الطبيعة هو تحقيق الاستدامة فى التصميم (Benyus, 1997).

وفى تعريف آخر للاستلهام من الطبيعة بأنها "محاكاة الأساس الوظيفي للأشكال والعمليات والأنظمة البيولوجية لإنتاج حلول مستدامة"، ولذا يعتبر الاستلهام من الطبيعة مبدأ توجيهي مقترح ليكون نقلة نوعية للتعلم الإبداعي والقائم على حل المشكلات الضرورية للتعليم نحو الاستدامة (Elmeligy, 2016).

وقد تم تصنيف الاستلهام من الطبيعة كما هو موضح بالشكل (1) (Ramzy, 2015) الى ثلاثة مستويات هى: الكائن الحى (Organism) والسلوك (Behavior) والنظام البيئي (Ecosystem)، فقد يستلهم التصميم خصائص الكائن الحى الفردي أو قد يكون مستلهم من سلوك الكائن الحى، أو قد يستلهم التصميم من النظام البيئي بأكمله للكائن الحى ومحيطه، ويحتوى كل مستوى على خمسة أبعاد تحدد في أي مستوى يُدرج التصميم فيه على أنه استلهام من الطبيعة بالطريقة التي يبدو بها وهى: الشكل (form)، والخامة المصنوع منها (material)، وطريقة البناء (construction)، وكيف يعمل (process)، وما هي قدرته الوظيفة (function).



شكل(1) مستويات وأبعاد الاستلهام من الطبيعة (Ramzy, 2015)

ويمكن تصنيف الاستلهام من الطبيعة فى التصميم إلى (Abdelsabour, 2019):

- **الاستلهام البصرى (الكائن الحى) Visual (organism inspiration:** يتم فيها استلهام شكل الكائنات الحية فى الطبيعة وبالتالى استخدامه فى ابتكار الجوانب الجمالية فى تصميم المنتجات .
- **الاستلهام المفاهيمى (السلوك) (Behavior Conceptual inspiration:** يتم فيها استلهام سلوك الكائنات البيولوجية من خلال الاسس او العمليات الموجودة فى الطبيعة والتى تساعد فى ترجمتها وتطبيقها على مواد البناء والأشكال والأنظمة التصميمية.
- **الاستلهام الحاسوبى (النظام البيئى) (Ecosystem Computational inspiration:** يعتبر استلهام النظام البيئى من اصعب عمليات الاستلهام ولكنها تتميز بامكانية احداث ثورة فى التصميم ، حيث يتم استلهام ميكانيزمات الطبيعة للكائنات البيولوجية من خلال استنباط الاساليب التي ترتبط بها الكائنات الحية بالنظم البيئية.

ويوضح الجدول (1) تصنيف مستويات الاستلهام من الطبيعة والأبعاد الخمسة لكل مستوى .

جدول (1) تصنيف مستويات الاستلهام من الطبيعة والأبعاد الخمسة لكل مستوى (إعداد الباحث)

		مستويات الاستلهام من الطبيعة		
		الاستلهام البصرى (الكائن الحى)	الاستلهام المفاهيمى (السلوك)	الاستلهام الحاسوبى (النظام البيئى)
الابعاد الخمسة للاستلهام من الطبيعة	الشكل form	الشكل يشبه الكائن الحي	يبدو أن الشكل قد تم إنشاؤه بواسطة كائن حي.	يشبه النظام البيئى الذى يعيش فيه الكائن الحى
	الخامة material	خامة مصنوعة من نفس خامة الكائن الحي مثل: الهيكل الخارجي/ الجلد على سبيل المثال	مادة مصنوعة من مواد مماثلة يبني بها الكائن الحي	مواد مصنوعة من نفس نوع المواد التي يتكون منها (كائن حي) النظام البيئي.
	البناء construction	يحاكى طريقة الكائن الحى فى البناء	يتم البناء بنفس الطريقة التي يبني بها الكائن الحي.	يتم تجميع البناء بنفس طريقة تجميع النظام البيئي (الكائن الحي)
	العملية process	تتم العملية بنفس طريقة اداء الكائن الحى	تعمل العملية بنفس الطريقة التي تعمل بها كومة الكائن الحي	تعمل العملية بنفس طريقة عمل النظام البيئي (الكائن الحي)
	الوظيفة function	تحاكى الوظيفة مثل وظيفة الكائن الحي ولكن فى سياق أكبر	تعمل الوظيفة بنفس الطريقة التي تعمل بها إذا قام بها الكائن الحي	وظيفة قادرة على العمل بنفس الطريقة التي يعمل بها النظام البيئي (الكائن الحي)

ويرى الباحث أن تبنى مستويات الاستلهام من الطبيعة وأبعادها الخمسة فى التصميم الصناعى يؤدى إلى:

- الابتكار فى إنشاء خامات وتقنيات جديدة .
- إنشاء خامات ومنتجات وبيئات وحلول هندسية أكثر استدامة.
- اعتبار التصميم القائم على الاستلهام من الطبيعة يساهم في زيادة الرفاهية والراحة النفسية للإنسان.

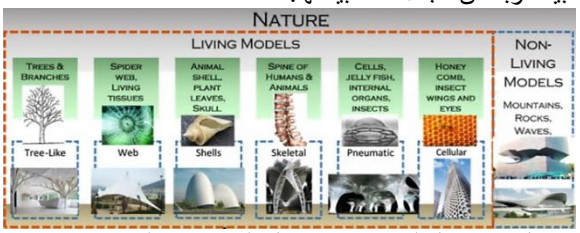
2- دور الاستلهام من الطبيعة فى تحقيق الابتكار والاستدامة فى التصميم:

يتمتع مفهوم الاستلهام من الطبيعة بإمكانيات غنية لمساعدة المصممين الصناعيين على حل المشكلات البشرية المعقدة في حياتهم التعليمية والمهنية من خلال تقديم ابتكار مستدام، حيث لا تزال الطبيعة مصدر إلهام في التصميم لحل المشكلات من خلال مختلف المجالات. وقد أصبح مفهوم الاستدامة ذا أهمية متزايدة بالنظر إلى الأزمة البيئية والمناخية في جميع أنحاء العالم، وأدت إلى اكتساب التصميم المستدام أهمية كبيرة لحل أزمة الاستدامة التي يواجهها العالم اليوم، بالإضافة إلى الابتكار الذى يعتبر عنصرًا مهماً في اقتصاد اليوم السريع التغير، ويعد التفكير في أفكار مبتكرة ومستدامة لتطوير المنتجات والخدمات مكونًا حيويًا للشركات للحفاظ على قدرتها التنافسية. ويلعب مصممو المنتجات دورًا مهمًا في مجال التصميم البيئي نظرًا لموقعهم في المرحلة الأولى من عملية تطوير المنتج حيث يكون متطلبات التصميم هو أهم قرار يتم اتخاذه (Gumulya & Andriato, 2020) .

وقد توسع فى السنوات الماضية البحث فى إرشادات الطبيعة للنماذج والإجراءات المستدامة لما توفره من المزايا الآتية (Cohen & Reich, 2016):

- توفر أشكال وهياكل الطبيعة مجموعة واسعة من الخصائص بأقل استخدام ممكن للمواد أو الطاقة.
- يتم إجراء عمليات التصنيع في الطبيعة خلال فترة الحياة، وبالتالي يمكن تجنب درجات الحرارة المرتفعة والضغوط القوية أو المواد السامة.
- تُظهر أنظمة الطبيعة تدفقات فعالة من الطاقة والمواد.
- يمكن إعادة تدوير المنتجات الطبيعية.
- اقتراح أفكار (استراتيجيات) تصميم محددة- توجه المصمم فيما يجب فعله.
- تحديد الأولويات / تركيز الانتباه (الأهداف)- توضيح أهداف التصميم وأين يجب وضع الاهتمام.
- الاحتفاظ بالمقاييس- تساعد على قياس ما إذا كانت الأهداف تتحقق أم لا.

وفى مجال تعليم وممارسة التصميم الصناعى، يلعب المصممون الصناعيون دوراً فى طرح التصميمات المبتكرة مع توفير الاستدامة فى التصميم من خلال مراعاة الجوانب البيئية والاجتماعية والاقتصادية، ويوضح شكل (2) مثال لتصنيف الأشكال البنائية من الطبيعة وبعض مجالات تطبيقاتها.



شكل (2) مثال لتصنيف الاشكال البنائية من الطبيعة وبعض مجالات تطبيقاتها، المصدر: (Abdelsabour, 2019)

3- مداخل عملية تصميم الاستلهام من الطبيعة:

توجد وجهات نظر متعددة حول عمليات التصميم بشكل عام، وقد تم تحديد مدخلين لعملية التصميم للاستلهام من الطبيعة هما:

- تحديد مشكلة التصميم ودراسة الطرق التي حلت بها الكائنات الحية أو النظم البيئية الأخرى، وتعرف هذه الطريقة بمدخل من المشكلة إلى علم الأحياء (From a Problem to Biology)
- تحديد سمة معينة في كائن حي أو نظام بيئي وترجمتها إلى تصميم يعالج مشكلة بشرية، وتعرف هذه الطريقة بمدخل من علم الاحياء الى التطبيق (From biology to an application) .

3-1- مراحل عملية تصميم الاستلهام من الطبيعة بمدخل من المشكلة إلى علم الأحياء:

يوفر هذا المدخل للمصممين الصناعيين والمهندسين البدء من خلاله فى تحديد مشكلة التصميم وإيجاد الحلول في علم الأحياء (من المشكلة إلى علم الأحياء) اما بمفردهم او بالاستعانة بمستشارين علم الاحياء ، ومثال على ذلك القطار السريع في اليابان الذي أعيد تصميمه بمحاكاة منقار طائرالرفراف لحل مشكلة الضوضاء التي يصدرها القطار في كل مرة يخرج فيها من النفق بسبب تغير ضغط الهواء. بعد ذلك ، تم العثور على حل في علم الأحياء من خلال طائر الرفراف الذي يغوص من الهواء إلى الماء ، وتم استلهام تصميم الجزء الأمامي من القطار باستخدام منقار طائر الرفراف ، وكانت النتيجة هي قطار أكثر هدوءًا وأسرع وأكثر كفاءة في استخدام الطاقة كما هو موضح فى شكل (3) (Elsamadisy et al., 2019) .

شكل (3) الاستلهام من الطبيعة بمنهجية من المشكلة إلى علم الأحياء (BioLearn, 2019)

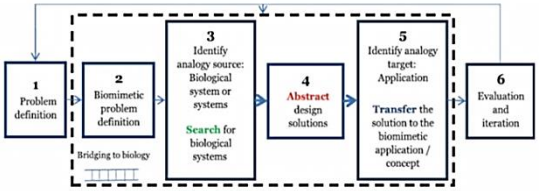
ويوضح الشكل (4) مراحل عملية تصميم الاستلهام من الطبيعة بمدخل من المشكلة إلى علم الأحياء وهى (Cohen & Reich, 2016):

3-1-1 المرحلة الأولى تحديد المشكلة: والتى يعتبر التعريف الجيد لها جزءاً أساسياً من الحل التصميمي.

3-1-2 المرحلة الثانية والمحددة بالإطار المتقطع: وتشتمل على الانتقال لتعريف المشكلة المراد محاكاة الطبيعة لها، ثم مرحلة البحث فى النظم البيولوجية، ثم مرحلة التجريد للحلول التصميمية، ثم المرحلة الأخيرة داخل الإطار وهى تحويل تلك الحلول إلى تطبيقات ومفاهيم تصميمية.

3-1-3 المرحلة الثالثة التقييم والتكرار: ويتم فى هذه المرحلة تقييم الحلول وتطبيقاتها فى المنتجات المصممة ومراجعتها طبقاً للمشكلة السابق تحديدها.

ويجب ملاحظة أن المراحل التصميمية لاتسير بصورة خطية ولكنها تتم بصورة متوازية بحيث يمكن الرجوع من أى مرحلة إلى مرحلة أخرى طبقاً للمعلومات المطلوب الوصول لها.



شكل (4) مراحل عملية تصميم الاستلهام من الطبيعة (مدخل من المشكلة إلى علم الأحياء) (Cohen & Reich, 2016)

3-2- مراحل عملية تصميم الاستلهام من الطبيعة بمدخل من علم الأحياء إلى التطبيق:

يبدأ هذا المدخل بدراسة الكائنات الحية من خلال علم الأحياء ثم الانتقال إلى التطبيق، ويعتمد هذا المدخل بشكل أساسى على الدراسات التى تتم فى علم الأحياء من خلال متخصصين بهذا العلم والاستفادة من النتائج التى توصلت لها تلك الدراسات من خلال تحويلها لتطبيقات تكنولوجية مبتكرة، وقد انطلقت العديد من الابتكارات من هذا المدخل مثل اكتشاف الطلاءات التى تحافظ على نظافة الأسطح والتى تم اشتقاقها من دراسة أوراق زهرة اللوتس وكيفية الاحتفاظ بنظافة سطحها من الأتربة والمياه، وأيضاً الاستفادة من طائر البطريق الخالى جسمها من الجليد رغم معيشتها فى بيئات جليدية إلى إجراء بحث عن الاستلهام من الطبيعة لمنع تكون الجليد

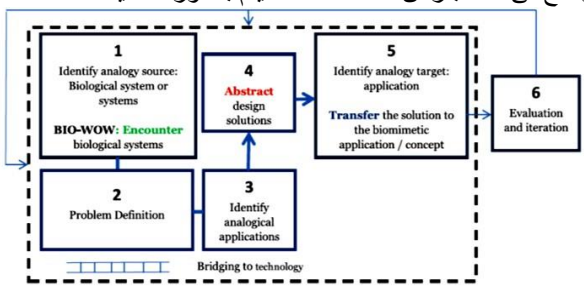
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

على أجنحة الطائرات، وبالإضافة إلى ذلك أثارت العملية السريعة لبناء هيكل عظمي جديد لجراد البحر في بيئة المياه العذبة فضول مزارع جراد البحر، وأدى البحث إلى اكتشاف كربونات الكالسيوم غير المتبلورة (ACC)، وهي قاعدة لمكملات الكالسيوم الجديدة والمستوحاة بيولوجيًا (Cohen & Reich, 2016).

ويوضح الشكل (5) المراحل الأساسية لعملية تصميم الاستلهام من الطبيعة بمدخل علم الأحياء إلى التطبيق حيث تنقسم المراحل إلى (Cohen & Reich, 2016):

1-2-3 المرحلة الأولى المحددة بالإطار المتقطع: وتشتمل على مجموعة من الخطوات تبدأ بتحديد مصادر التناظر للنظم والأنظمة البيولوجية ، ثم الانتقال إلى تحديد المشكلة التى يتم من خلالها تحديد التطبيقات المتشابهة وتحويلها إلى حلول تصميمية مجردة ثم تحويلها إلى حلول ومفاهيم لتطبيقات محاكاة الطبيعة.

2-2-3 المرحلة الثانية تشتمل على عمليات التقييم والاختبار: ويمكن الرجوع لأي خطوة يراد التحقق منها قى ذلك المدخل مع الوضع فى الاعتبار أن هذا المدخل لا يتم بصورة خطية.



شكل (5) مراحل عملية تصميم الاستلهام من الطبيعة (مدخل من علم الأحياء إلى التطبيق) (Cohen & Reich, 2016)

4- أدوات وطرق الاستلهام من الطبيعة فى التصميم:

يوجد العديد من الطرق التي يمكن أن تساعد بها أفكار الطبيعة في تحسين منتج أو عملية ومنها:

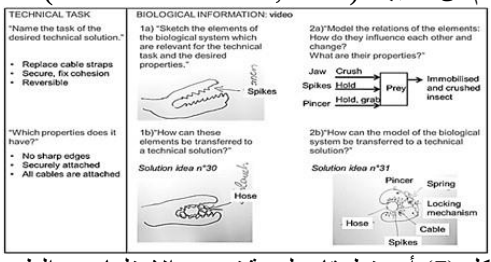
1-4- البحث في قواعد بيانات الاستلهام من الطبيعة: هناك نوعان من قواعد بيانات المحاكاة الحيوية هما (Avcı, 2019):

- قواعد بيانات الأنظمة البيولوجية المصنفة وفقًا للمصطلحات الهندسية أو التصنيفات الأخرى ذات الصلة، وهذا النوع يعتبر مصدر جيد لتحديد مواقع الكائنات الحية.
- قواعد بيانات المنتجات المستوحاة من الأحياء، وهذا النوع يعتبر مصدراً جيداً لتحديد تطبيقات الاستلهام من الطبيعة؛ ومع ذلك ترتبط هذه التطبيقات بالأنظمة البيولوجية التي يمكن استخدامها لابتكارات الإستلهام من الطبيعة الجديدة.

2-4- اسكتشات التماثلات البصرية Visual Analogy Sketching: وهى عبارة عن أسلوب يشجع على رسم النظم البيولوجية بمستويات تكبير مختلفة وتفاصيل للمساعدة في تطوير تماثلات للمبادئ والمكونات الهندسية، وتساعد بالتفكير في شكل ووظيفة النظام، ويوضح الشكل (6) نموذج استخدام اسكتش التماثلات البصرية فى التصميم.

شكل (6) نموذج استخدام اسكتش التماثلات البصرية فى التصميم (performing et al., 2016)

3-4- لوحة تصميم الاستلهام من الطبيعة Bio-inspired design Canvas: وهى عبارة عن دليل مرئي يعتمد على نظرية المعرفة المفاهيمية لهيكلة أنماط التفكير لعملية التصميم المستلهمة من الطبيعة، ويوضح الشكل (7) احد تطبيقات لوحة تصميم الاستلهام من الطبيعة (Harsha & Lakshmi, 2020) .



شكل (7) أحد تطبيقات لوحة تصميم الاستلهام من الطبيعة (Harsha & Lakshmi, 2020)

4-4- نظام تشاكرابارتي The Chakrabarti System: وهى طريقة تستخدم لوضع حلول تصميمية جديدة لمشاكل تصميم المنتج، وتم تطويرها بواسطة Chakrabarti وآخرون (Chakrabarti et al., 2005) ، وتسعى هذه الطريقة إلى تقديم أفكار تناظرية للتصميم، والتي يمكن أن تكون مستوحاة بيولوجيا أو اصطناعياً، وتعتمد هذه الطريقة على وجود قاعدتي بيانات متوازيتين هما : (Avcı, 2019)

- واحدة تصف الأنظمة الطبيعية القادرة على حركات معينة (مثل الحشرات- الطيران، الأسماك- السباحة، القفز).
- وأخرى تحتوي على أنظمة ميكانيكية اصطناعية قادرة على تفسير السلوكيات المختلفة- (ناقل الحركة، المكنسة الكهربائية الشفط، الثقب punching hole - puncher)- لتسهيل التوليد التناظري التفاعلي للأفكار البديلة ذات الصلة بحل مشكلة التصميم .

5-4- Bio-TRIZ: هي عملية منهجية تسمح للمصممين- دون الحاجة إلى علماء الأحياء- باستخراج الحلول البيولوجية والإستلهام لأي مشكلة في التصميم بإتباع خطوات منهجية محددة وموضحة بالشكل (8)، وقد تم تطوير هذه المنهجية لتحليل 500 ظاهرة بيولوجية تغطي أكثر من 270 وظيفة؛ قاموا بتحليل أكثر من 2500 صراع وحلها في علم الأحياء مرتبة حسب مستوى التعقيد (BARAKAT et al., 2016).

شكل (8) مراحل منهجية Bio-TRIZ

ثانياً: الاستلهام من الطبيعة فى مجال تعليم التصميم الصناعى:

يتناول هذا الجزء تحديد مراحل عملية التفكير التصميمي التى يتبعها الطلاب أثناء دراسة مشروعاتهم التى يكلفوا بها، ومحاولة دمج عملية التفكير التصميمي مع عمليات التصميم بالاستلهام من الطبيعة من خلال وضع منهجية تفكير تساعد الطلاب على تضمين مداخل التصميم بالاستلهام من الطبيعة ضمن برنامج التصميم لمساعدتهم على توليد افكار ابتكارية وتحقيق الاستدامة فى التصميم.

1- مراحل عملية التفكير التصميمي فى مجال تعليم التصميم الصناعى:

تركز عملية التفكير التصميمي الموضحة بالشكل (9) على كيفية وضع الحلول التصميمية، وتستند إلى إطار عمل يمكن استخدامه من أجل معالجة المشكلات الكبيرة والمعقدة، وحتى غير المعروفة إلى حد كبير في تطوير المنتجات. وتشتمل عملية التفكير التصميمي على المراحل الاتية (Dam & Siang, 2020) :

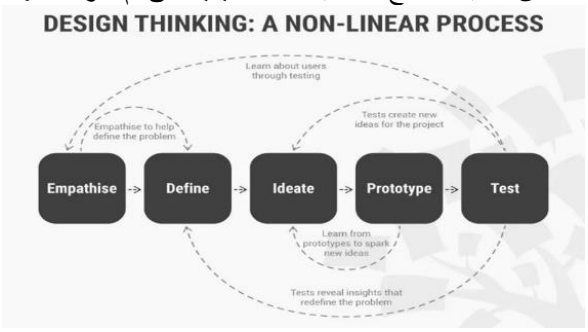
1-1- مرحلة التعاطف او الشعور (البحث عن المشكلة): تتضمن المرحلة الأولى من عملية التفكير التصميمي تطوير الشعور بالتعاطف مع الأشخاص الذين تصمم لهم لاكتساب رؤى حول ما يحتاجون إليه، وماذا يريدون، وكيف يتصرفون ويشعرون ويفكرون، ولماذا هم يظهرون هذه السلوكيات والمشاعر والأفكار عند التفاعل مع المنتجات في بيئة حقيقية (Lestari, 2020).

2-1- مرحلة التعريف: وتهدف هذه المرحلة من عملية التفكير التصميمي إلى تحديد حلول المشكلة الحقيقية التي سيحلها التصميم من خلال وضع قائمة لمتطلبات التصميم المراد تحقيقها فى التصميم النهائى للمنتج .

3-1- مرحلة وضع الأفكار: يتم فى هذه المرحلة وضع بدائل لأفكار التصميم ثم تقييم تلك البدائل وتطوير الفكرة النهائية التى تحقق عناصر قائمة متطلبات التصميم.

4-1- مرحلة النمذجة: يتم فى هذه المرحلة عمل نماذج للفكرة التصميمية بإحدى طرق النمذجة مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد لمشاهدة وتقييم الجوانب الجمالية والاستخدامية فى التصميم، ويتم فى هذه المرحلة مطابقة شكل التصميم مع الشكل الناتج عن مرحلة الفكرة التصميمية والتاكد من تطابق نموذج التصميم مع شكل الفكرة التصميمية التى تم التوصل لها.

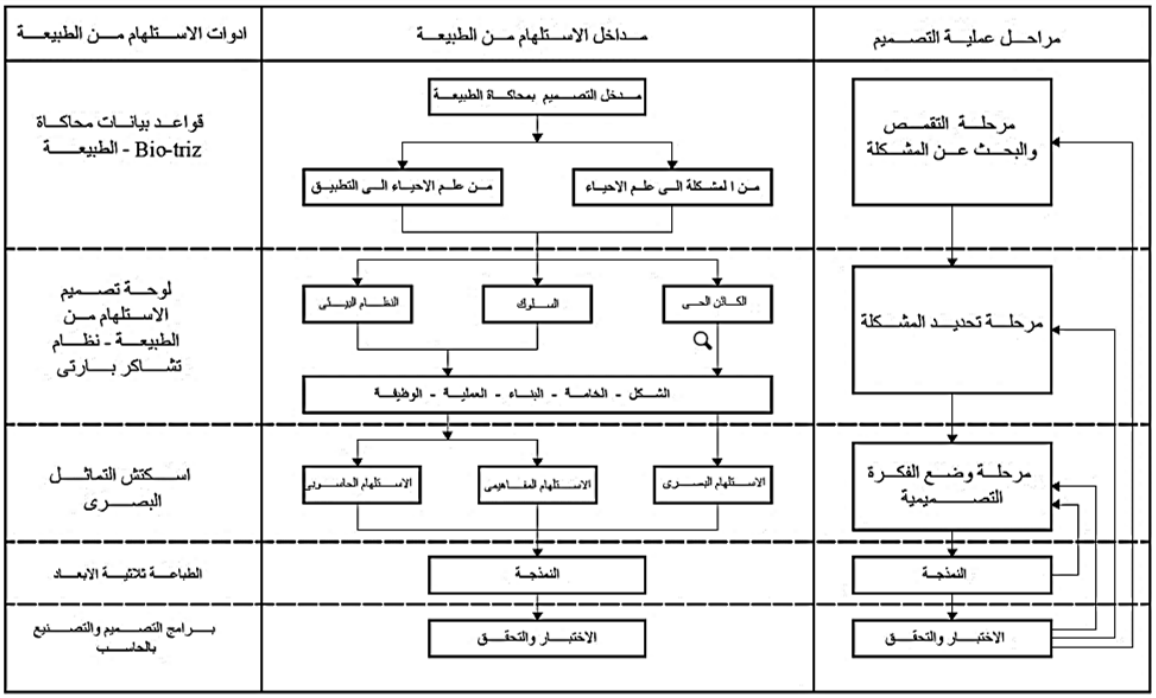
5-1- مرحلة الاختبار: ويتم فى هذه المرحلة اختبار عينة من المنتجات للتاكد من كفاءتها الوظيفية والجمالية وتحقيق القبول لدى المستخدم ، ويمكن فى هذه المرحلة الرجوع الى مرحلة البحث عن المشكلة او مرحلة تحديد المشكلة او مراجعة مرحلة وضع الافكار للتاكد من مطابقة المنتج للمتطلبات التصميمية التى تم التوصل لها.



شكل (9) مراحل عملية التفكير التصميمي
(Dam & Siang, 2020)

2- وضع منهجية تفكير تصميم الاستلهام من الطبيعة فى مجال تعليم التصميم الصناعى:

تهدف هذه المنهجية إلى تطوير مهارات التفكير التصميمي لدى الطلاب، واكسابهم مهارات بناء وحل المشكلات، والقدرة على التعاون، ودمج المعرفة بين الطلاب لإعدادهم للمشاركة بنشاط في التنمية المستدامة من خلال استراتيجية التعلم النشط القائم على حل المشكلات، ويوضح الشكل (10) مراحل عملية التفكير التصميمى وربطها بمداخل الاستلهام من الطبيعة واستخدام الأدوات الملائمة للاستلهام فى كل مرحلة من مراحل المنهجية.



شكل (10) منهجية تفكير تصميم الاستلهام من الطبيعة (إعداد الباحث)

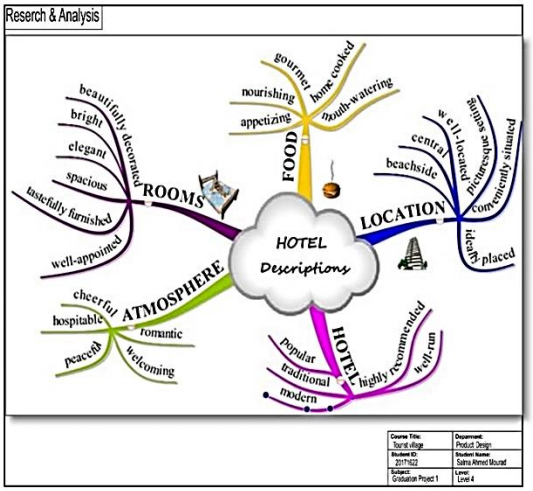
3- تطبيقات الاستلهام من الطبيعة فى مشروعات تخرج طلاب التصميم الصناعى:

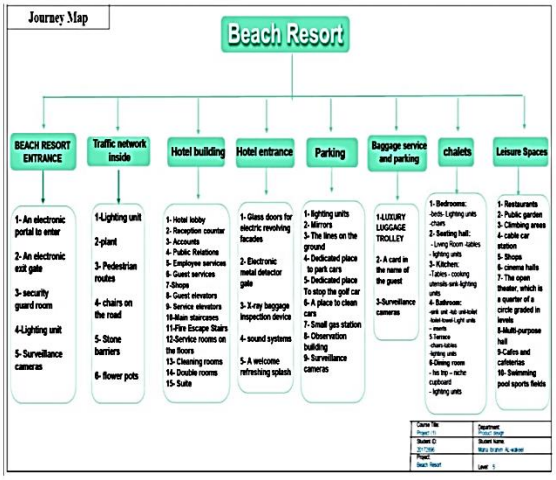
قام الباحث بتبنى وتطبيق منهجية التفكير التصميمى للاستلهام من الطبيعة فى مشروعات التخرج التى تم تخصصيها فى ابتكار تصميمات مستدامة فى قطاع السياحة الشاطئية بجمهورية مصر العربية بقسم تصميم المنتجات بكلية الفنون التطبيقية بجامعة بدر بالقاهرة للعام الجامعى 2022/2021 بهدف الوصول إلى أفكار تصميمية مبتكرة ومستدامة لمنتجات تساعد على رفع وغرس الوعى البيئى والممارسة المهنية للطلاب فى مجال التصميم الصناعى.

وقام الطلاب بعمل دراسة استكشافية عن القرى السياحية الشاطئية الخاصة وكذلك الشواطئ العامة بهدف تحديد المجالات والموضوعات التصميمية فى تلك القرى تمهيداً لاختيار كل طالب لأحد الموضوعات بالمجالات التى تم تحديدها. وقد قام الطلاب بعمل تصنيف لمجالات المشروع بالإضافة إلى الموضوعات المتعلقة بكل

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

مجال تمهيداً لاختيار كل طالب المجال والموضوع الذى يرغب العمل فيه بناء على دراساته فى هذا المجال.
وقد استخدم الطلاب فى هذه المرحلة أدوات مختلفة لعرض المعلومات مثل الخرائط ذهنية والشجرة المنطقية التى توضح من خلالها مجالات التصميم والموضوعات التى يمكن تناولها فى مجال التصميم الصناعى والموضحة بالشكل (11).





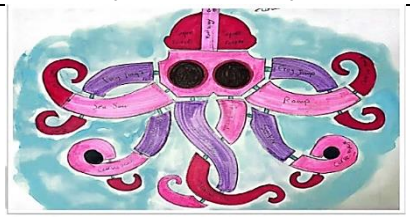
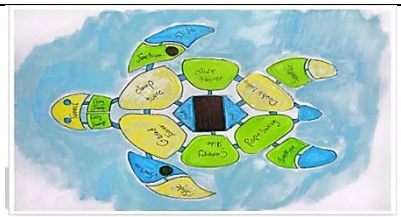
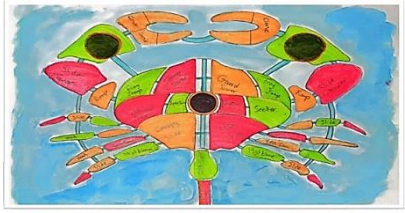
شكل (11) مجالات وموضوعات التصميم باستخدام الخرائط الذهنية والشجرة المنطقية (إعداد الباحث)

ويستعرض الباحث نتائج الموضوعات المختارة للاستلهام من الطبيعة وعرض التصميمات الابتكارية والمستدامة التى تم التوصل لها من خلال المشروعات الآتية:

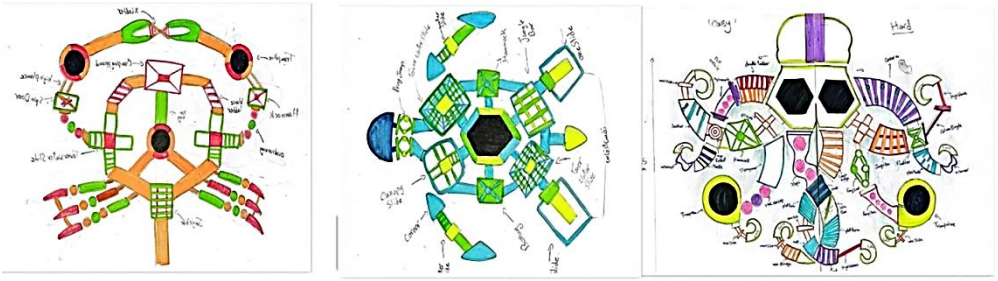
1-3- التطبيق (1) مشروع تصميم استلهام من الطبيعة لوحدة ألعاب مائية:

قام أحد الطلاب باختيار موضوع الألعاب المائية باعتبارها من الأنشطة الترفيهية الشاطئية من خلال عمل دراسة استكشافية لمرحلة البحث وتحديد المشكلة وتصنيف الأنشطة الرئيسية التى تحتوى عليها وحدة الألعاب والمتمثلة فى أنشطة القفز والتسلق والتزحلق كوظائف أساسية يوفرها التصميم المطلوب.
وقد قام الطالب بتحديد مدخل الاستلهام من (المشكلة إلى علم الأحياء)، حيث قام الطالب بتحديد الكائنات البحرية التى يستلهم منها شكل التصميم من خلال البحث فى قواعد البيانات للاستلهام من الطبيعة واستخدام أداة لوحة الاستلهام واسكتشات التماثل البصرى لعرض الأفكار التصميمية والموضحة بالجدول (2).

جدول (2) مرحلة وضع افكار التصميم المستلهمة من الطبيعة بمدخل من المشكلة إلى علم الأحياء (إعداد الباحث)

نوع الاستلهام	اسم الكائن الحى	الفكرة التصميمية المقترحة
الاستلهام البصرى لشكل للكائن الحى	- الاخطبوط	
	- السلحفاة	
	- السرطان	

ثم قام الطالب بوضع التفاصيل التصميمية على كل فكرة لتحقيق متطلبات التصميم والموضحة بالشكل (12)



شكل (12) التفاصيل التصميمية للأفكار المستلهمة من الطبيعة (إعداد الباحث)

وقام الطالب بتقييم أفكار التصميم واختيار التصميم النهائى كما هو موضح بالشكل (13).

شكل (13) التصميم النهائى المستلهم من الطبيعة ثلاثى الأبعاد فى بيئة الاستخدام (إعداد الباحث)

وأخيراً قام الدارس بعمل لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم الموضح بالشكل (14).

شكل (14) لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم المستلهم من الطبيعة (إعداد الباحث)

2-3 التطبيق (2) مشروع استلهام تصميم وحدة استحمام شاطئية

قام أحد الطلاب باختيار مشروع تصميم وحدة استحمام شاطئية باعتبارها من الأنشطة الشاطئية التى يحتاج إليها المصطافين وخصوصاً بعد خروجهم من شاطئ البحر حيث قام الطالب بعمل دراسة استكشافية لمرحلة البحث وتحديد المشكلة وتصنيف الأنشطة الرئيسية التى تحتوى عليها الاستحمام وتحديد الوظائف الأساسية التى يجب أن يوفرها فى التصميم المطلوب من خلال وضع قائمة بمتطلبات التصميم الموضحة بالشكل (15).

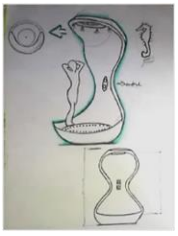
Research & Analysis

Design Requirements	Engineering Requirements	Usage Requirements	Aesthetic Requirements	Productivity Requirements	Economic Requirements	Environmental Requirements
Body Dryer	A unit designed to dry the entire body instead of a towel	It dries quicklyit is comfortable for the feet when standing on itIt has the characteristics of cold and hot hawar	Choose colors that match With the marine environment	The possibility of placing a vibrator with the drying unit	The Design is made of low or medium-priced materials to suit all beaches, private or public	Choose a material that is not affected by the sun or water, because the marine environment
Personal belongings accessories	Parts in the cabin body or accessories for hanging the towel, keeping the soap and the sitting chair	Easy to use Don't take too much space	A good and different shape, suitable for the rest of the design and the beach atmosphere	The design of the accessories can be installed, removed and folded		Manufactured from friendly materials and sources energy Anti-corrosion and rust tolerant of moisture
cabin	A structure with a shape close to the geometric shape in which the shower is placed	Easy to clean be foldable		The cabin is designed so that it does not take up much space and is foldable		

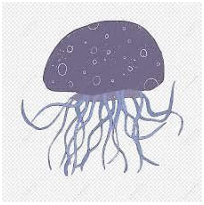
شكل (15) قائمة بمتطلبات التصميم مشروع استلهام تصميم وحدة استحمام شاطئية (إعداد الباحث)

وقد قام الطالب بتحديد مدخل الاستلهام من (المشكلة إلى علم الأحياء)، حيث قام الطالب بتحديد الكائنات البحرية التى يستلهم منها شكل التصميم من خلال البحث فى قواعد البيانات الاستلهام من الطبيعة واستخدام لوحة الاستلهام واسكتشات التماثل البصرى لعرض الأفكار التصميمية والموضحة بالجدول (3).

جدول (3) مرحلة وضع أفكار التصميم المستلهمة من الطبيعة بمدخل من المشكلة إلى علم الأحياء (إعداد الباحث)

نوع الاستلهام	اسم الكائن الحى	الفكرة التصميمية المقترحة
الاستلهام البصرى لشكل للكائن الحى	- حصان البحر	

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

	- حصان البحر + القوقعة البحرية	
	- قنديل البحر 	

وقام الدارس بتقييم أفكار التصميم واختيار التصميم النهائى كما هو موضح بالشكل (16).

شكل (16) التصميم النهائى المستلهم من الطبيعة ثلاثى الأبعاد ومنظور مفكك للاجزاء (إعداد الباحث)

وأخيراً قام الدارس بعمل لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم الموضح بشكل (17).

شكل (17) لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم المستلهم من الطبيعة (إعداد الباحث)

3-3- التطبيق (3) مشروع استلهام تصميم وحدة عائمة فى مياه البحر:

قام أحد الطلاب باختيار مشروع تصميم وحدة عائمة فى مياه البحر باعتبارها من الأنشطة الشاطئية التى تساعد المصطافين على قضاء أوقات ممتعة داخل مياه البحر حيث قام الطالب بعمل دراسة استكشافية لمرحلة البحث وتحديد المشكلة وتصنيف الأنشطة الرئيسية التى تحتوى عليها الاستحمام وتحديد الوظائف الأساسية التى يجب أن يوفرها فى التصميم المطلوب من خلال وضع قائمة بمتطلبات التصميم الموضحة بالشكل (18).

Research

Design Requirements

Requirement PHASE

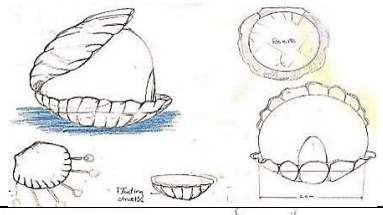
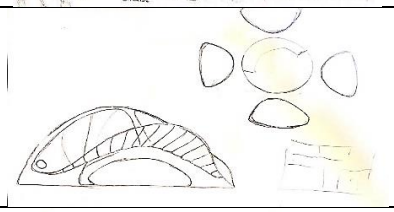
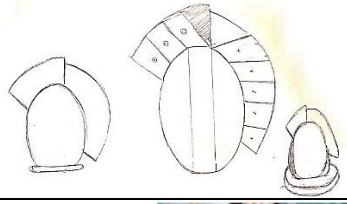
Process	Design/Function requirements	Engineering requirements	Usage requirements	Aesthetic requirements	Production requirements	Economic requirements	Environmental requirements
Power	1. Solar Power	• Solar Cells • Oxidized Water	• Cleaning • Ergonomics	• No edges • Cold Color	• Easy Moulding • Suitable Assembly	• Amount Control liters	• Non-Toxic • Safety
	2. Pre Pso Power	• Toilet • Waste • Heat	• Easy to understand • Accessible - Data Sheet • Troubleshooting Identify	• Non seen • Translucent • Suitable dimension	• Small size • Vintage Retro Style • Market Found elements	• Specialized Program for time saving and speed improvement for power	• Electrically Sealed
	3. Wind Power -Piezo-electric	• Wind Blade • Piezoelectric Parts	• Easy to Conduct / assembly and clean • Low noise • Renewable	• Hard non wearing material • Transparent to view inside clear to check	• Corrosion Resistance Material • Few Parts with instructions / assembly	• Less operation time • Reasonable Price • Replaceable Blade	• Non-Toxic • Acoustic
	4. Hydro-Electric Power	• Dynamos	• Area to keep • Easy to clean	• Color coded • Non-Slippery	• Can be assembled to motor for moving	• Stopper for next phase	• Non-Toxic
Systems	1. Sanitary System	• Pipes	• Cleaning • Timing	• Color coded with icons • Suitable dimension	• Easy Moulding • Suitable Assembly	• Specialized Program	• Non-Hazardous
	2. Water Supplier	• Tanks	• Cleanable	• No edges • Cold Color	• Corrosion Resistance Material	• Amount Control liters	• Clean Free • Durable Material
	3. Floating System	• Timing - Sensors • Motors	• Float	• Translucent	• Few Parts with instructions / assembly	• Less operation time	• Non-Toxic wearing • Fluried
	4. Materials	• Non corrosion	• Sea Water Resistance • Temperature Resistance	• Cold Color • Non-Slippery	• Heat resistance material/Sea Water	• Stopper for next phase	• Non-Toxic • Safety
	5. Moving System	• Motor	• Applicable to keep	• Color Coded • Covered and sealed	• Low Speed	• Less operation time • Replaceable Tank	• Non-Toxic • Acoustic
	6. Piezo-Electric System	• Piezo-Electric	• Small area	• Gold and coated	• Connection to input unit	• Reasonable Price	• Non-Hazardous
Entertainment	1. Barbecue	• Coal • Coal Grill	• Food	• Color coded • Suitable dimension	• Easy Moulding • Suitable Assembly	• Specialized Program • Amount Control Food	• Electrically Sealed • Non-Toxic
	2. Glass walk	• Glass Floor	• Handle • Easy to unhook / assembly and clean	• No edges • Vivid Color	• Huge size	• Un-Replaceable net	• Non-Toxic
	3. Water Games	• Sliders • Yacht	• Low noise • Smoke-free (Outdoor)	• Transparent to view inside clear to check	• Few Parts with instructions / assembly	• Less operation time	• Safety • Acoustic
	4. Romantic Sit	• Chairs	• Applicable • Area to keep	• Color coded • Non-Slippery	• Connection to storage unit for packaging	• Stopper for next phase	• Non-Toxic • Non-Hazardous

شكل (18) قائمة بمتطلبات التصميم مشروع استلهام تصميم وحدة عائمة فى مياه البحر (إعداد الباحث)

وقد قام الطالب بتحديد مدخل الاستلهام من (المشكلة إلى علم الأحياء)، حيث قام الطالب بتحديد الكائنات البحرية التى يستلهم منها شكل التصميم من خلال البحث فى قواعد البيانات للاستلهام من الطبيعة واستخدام لوحة الاستلهام واسكتشات اللتماثل البصرى لعرض الافكار التصميمية والموضحة بالجدول (4).

جدول (4) مرحلة وضع أفكار التصميم المستلهمة من الطبيعة بمدخل من المشكلة إلى علم الأحياء (إعداد الباحث)

نوع الاستلهام	اسم الكائن الحى	الفكرة التصميمية المقترحة

الاستلهام البصرى بمحاكاة الشكل للكائن الحى	- القوقعة البحرية	
	- حوت الاوركا	
	- قوقعة حلزون البحر	

وقام الطالب بتقييم أفكار التصميم واختيار التصميم النهائى كما هو موضح بالشكل (19).

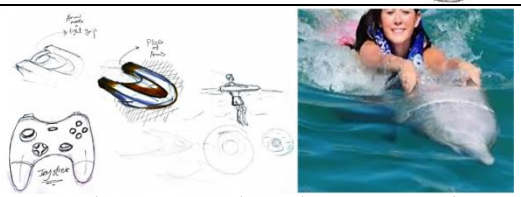
شكل (19) التصميم النهائى المستلهم من الطبيعة ثلاثى الأبعاد ومنظور مفكك للأجزاء (إعداد الباحث)

وأخيراً قام الطالب بعمل لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم الموضح بشكل (20).

شكل (20) لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم المستلهم من الطبيعة (إعداد الباحث)

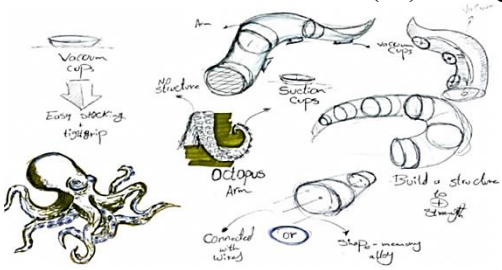
3-4- التطبيق (4) مشروع استلهام تصميم وحدة انقاذ تفاعلية:

قام أحد الطلاب باختيار مشروع استلهام تصميم وحدة إنقاذ تفاعلية باعتبارها من الأنشطة الشاطئية التى تساعد على انقاذ المصطافين من حالات الغرق داخل مياه البحر حيث قام الطالب بعمل دراسة استكشافية لمرحلة البحث وتحديد المشكلة وتصنيف الأنشطة الرئيسية التى تحتوى عليها وحدة الإنقاذ، وقام الباحث بالاعتماد على مدخل الاستلهام من المشكلة إلى علم الأحياء من خلال استلهام تصميم شكل الوحدة من الدولفين والموضحة بالشكل (21).



شكل (21) اسكتش لفكرة التصميم (إعداد الباحث)

وقام الطالب بتبنى مدخل (من علم الأحياء إلى التطبيق) حيث قام بدراسة ميكانيزم أرجل الاخطبوط لاستلهام شكل الأرجل التى تستطيع الدوران حول جسم الغرقى وانتشالهم من المياه كما هو موضح بالشكل (22).



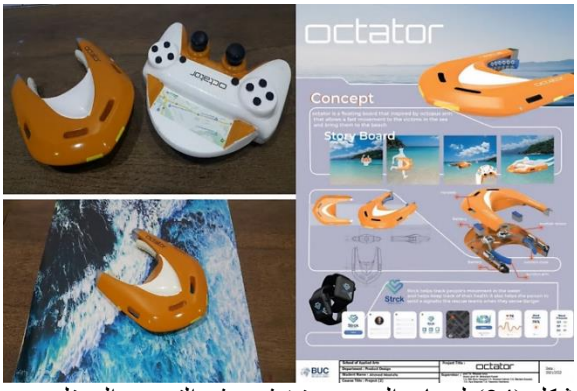
شكل (22) دراسة ميكانيزم حركة أرجل الأخطبوط للاستلهام منها فى التصميم (إعداد الباحث)

وقام الطالب بتقييم أفكار التصميم واختيار التصميم النهائى وتوضيح مكوناته كما هو موضح بالشكل (23).

شكل (23) التصميم النهائى المستلهم من الطبيعة ثلاثى الأبعاد ومكوناته

وأخيراً قام الطالب بعمل لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم الموضح بالشكل (24).

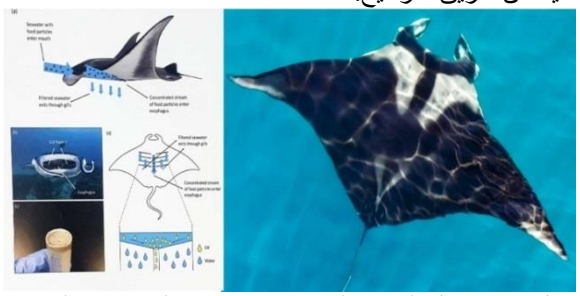
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل (24) لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم المستلهم من الطبيعة

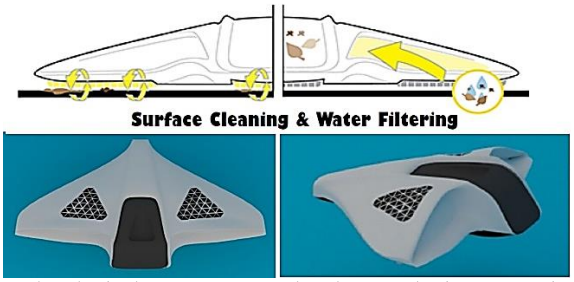
3-5- التطبيق (5) مشروع استلهام تصميم وحدة تفاعلية لتنظيف وفلترة مياه حمامات السباحة:

قام أحد الطلاب باختيار مشروع استلهام تصميم وحدة تفاعلية لتنظيف وفلترة مياه حمامات السباحة حيث قام الطالب بعمل دراسة استكشافية لمرحلة البحث وتحديد المشكلة وتصنيف الأنشطة الرئيسية التى تحتوى عليها وحدة الإنقاذ، وقام الطالب بالاعتماد على مدخل الاستلهام من المشكلة إلى علم الأحياء من خلال استلهام تصميم شكل الوحدة من سمكة (Manta Ray Fish)، بالإضافة إلى مدخل من علم الأحياء إلى التطبيق لاستلهام وظيفة ترشيح السمكة للمياه، حيث أن السمكة تتغذى على العوالق المائية الناتجة من الطعام عن طريق الترشيح، وتتكون المرشحات من مجموعة من الصفائح النسيجية مثل الإسفنج ذات لون قرمزي موضوعة على قضبان الخياشيم المتتالية التي تدعم الخياشيم، فعند تناول الطعام فإن فصي الدماغ ينفتحان لتوجيه المياه الغنية بالبلانكتون تجاه الفم، ويوضح الشكل (25) شكل السمكة الخارجى بالإضافة إلى قطاع يوضح النظرية البيولوجية لإتمام وظيفة فلترة المياه من العوالق المائية عن طريق الترشيح.



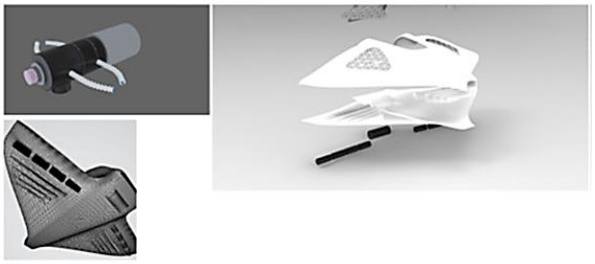
شكل (25) شكل السمكة الخارجى بالإضافة إلى نظرية الترشيح لإتمام وظيفة فلترة المياه من العوالق المائية (إعداد الباحث)

وقد قام الطالب بوضع الفكرة التصميمية شاملة الشكل الخارجى بالإضافة إلى تطبيق وظيفة الفلترة باستخدام عملية الترشح من خلال فلاتر لها نفس خصائص مرشحات السمكة والموضحة بالشكل (26)



شكل (26) شكل التصميم المستلهم 3D ونظرية العمل المستلهمة (إعداد الباحث)

وقام الدارس بتوضيح الفكرة التصميمية من خلال منظور مفكك يوضح أجزاء التصميم وشكل الفلتر المستلهم من السمكة والموضح بالشكل (27).



شكل (27) شكل التصميم المستلهم 3D ونظرية العمل المستلهمة (إعداد الباحث)

وأخيراً قام الدارس بعمل لوحات العرض وتنفيذ نموذج التصميم باستخدام تقنية 3D printing والموضحة بالشكل (28).

شكل (28) لوحة العرض وتنفيذ نموذج التصميم المستلهم من الطبيعة (إعداد الباحث)

النتائج: Results

من خلال تحليل الاطار النظرى بالإضافة إلى التطبيقات فى مجال الاستلهام من الطبيعة توصل البحث إلى النتائج الآتية:

1- وضع منهجية للتفكير التصميمى فى الاستلهام من الطبيعة يستطيع من خلالها المصمم الصناعى تبنى تصميم الاستلهام من الطبيعة فى منتجاته .
2- تحديد مجموعة من الأدوات والطرق يستطيع المصمم الصناعى استخدامها فى عملية تصميم الاستلهام من الطبيعة.
3- تحديد مداخل الاستلهام من الطبيعة إما عن طريق مدخل من المشكلة إلى علم الأحياء، أو مدخل من علم الأحياء إلى التطبيق.
4- تحديد مستويات الاستلهام من الطبيعة فى ثلاثة عناصر هى الكائن الحى والسلوك والنظام البيئى.
5- تحديد أبعاد الاستلهام من الطبيعة فى الشكل والخامة والبناء والعملية والوظيفة.
6- تصنيف أنواع الاستلهام من الطبيعة إلى الاستلهام البصرى والاستلهام المفاهيمى والاستلهام الحسابى.
7- التأكيد على أهمية الاستلهام من الطبيعة ودوره فى تحقيق الاستدامة لمواجهة التغييرات المناخية.
8- تعليم الطلاب تبنى منهجية الاستلهام من الطبيعة فى تصميماتهم لتحقيق الاستدامة فى التصميم.

9- تبنى الاستلهام من الطبيعة فى التصميم يعد نقلة نوعية نحو الابتكار وتحقيق الاستدامة من خلال التعلم القائم على حل المشكلات.

التوصيات: Recommendation

1- دمج منهجية الاستلهام من الطبيعة ضمن المقررات التصميمية لدارسى التصميم الصناعى.
2- إجراء أبحاث تتناول كل مدخل من مداخل الاستلهام بشكل أكثر تفصيلاً.
3- تشجيع الدراسات البينية بين مختلف التخصصات الهندسية والعلوم التطبيقية وعلم الأحياء لمساعدة المصممين على الوصول إلى أعمق شكل من أشكال الاستدامة في الاستلهام من الطبيعة على مستوى النظام البيئي.

المراجع: References

1) Abdelsabour, I. (2019). Investigating bio-morphism approch to enhance structure's creativity and efficiency. *Journal of Engineering and Applied Science, Vol. 66, No. 5, Oct. 2019, PP. 491-513 Faculty of Engineering, Cairo University*. https://www.academia.edu/41742972/Investigating_Bio_Morphism_Approch_To_Enhance_Structures_Creativity_and_Efficiency
2) Avcı, G. (2019). *Use of biomimicry in industrial design education in Turkey: The case of Izmir universities*. https://gcris.iyte.edu.tr/handle/11147/7412
3) Barakat, P., Bakr, A. B., & Elsayad, Z. (2016). *Towards A New Biomimic Approach, New Bio-Mim-Triz Design Process - PDF Free Download*. https://docplayer.net/203928428-Towards-a-new-biomimic-approach-new-bio-mim-triz-design-process.html
4) Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired By Nature*. HarperCollins.
5) *BioLearn*. (2019, August 2). https://biolearn.eu/
6) Chakrabarti, A., Sarkar, P., Leelavathamma, B., & Nataraju, B. S. (2005). A functional representation for aiding biomimetic and artificial inspiration of new ideas. *AI EDAM*, *19*(2), 113–132. https://doi.org/10.1017/S0890060405050109
7) Cohen, Y. H., & Reich, Y. (2016). *Biomimetic Design Method for Innovation and Sustainability* (1st ed. 2017 edition). Springer.
8) Dam, R. F., & Siang, T. Y. (2020). *Stage 3 in the Design Thinking Process: Ideate*. The Interaction Design Foundation. https://www.interaction-design.org/literature/article/stage-3-in-the-design-thinking-process-ideate
9) Elmeligy, D. A. (2016). *Biomimicry for ecologically sustainable design in architecture: A proposed methodological study*. 45–57. https://doi.org/10.2495/ARC160051
10) Elsamadisy, R., Sarhan, A. E., Farghaly, Y., & Mamdouh, A. (2019). Biomimicryas A Design Approach For Adaptation. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, *14*(53), 1516–1533. https://doi.org/10.21608/auej.2019.64210
11) Flint, R. W. (2014). *Practice of Sustainable Community Development: A Participatory Framework for Change* (2013th edition). Springer.
12) Gumulya, D., & Andriato, T. (2020). *Eco-Design Strategy Within Design Thinking Framework for Children's Furniture at Lentera Harapan School Rote, NTT: A Case Study*. 193–202. https://doi.org/10.2991/assehr.k.201202.075
13) Harsha, M. S., & Lakshmi, V. S. (2020). *An analytical approach to sustainable building adaption using biomimicry*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.207
14) Lestari, D. (2020). Biomimicry Learning as Inspiration for Product Design Innovation in Industrial Revolution 4.0. *International Journal of Creative and Arts Studies*, *7*(1), Article 1. https://doi.org/10.24821/ijcas.v7i1.4160
15) Mansour, H. (2010). *Biomimicry: A 21st Century Design Strategy Integrating With Nature In A Sustainable Way*. Https://Www.Academia.Edu/432839/Biomimicry_A_21st_Century_Design_Strategy_Integrating_With_Nature_In_A_Sustainable_Way
16) Pawlyn, M. (2011). *Biomimicry in Architecture*. Riba Publishing.
17) performing, A. T. A. G. B. I. an interdisciplinary, Art, visual artist based in L. A. S. of my previous works include A. H. F. W. S. at the M. of C., & Resources, I. T. W. A. M. C. Y. W. N. A. T. / T. I. W. I. W. / O. T. D. D. at H. (2016, August 26). Conveying Metaphor Through Costume. *Getty Iris*. https://blogs.getty.edu/iris/conveying-metaphor-through-costume/
18) Ramzy, N. (2015). Sustainable spaces with psychological connotation: Historical architecture as reference book for biomimetic models with biophilic qualities. *Archnet-IJAR*, *9*, 248–267. https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v9i2.464
19) Verbeek, K. (2011, March 7). *Biomimicry and Industrial Design BioInspired*. https://bioinspired.sinet.ca/content/biomimicry-and-industrial-design-karen-verbeek
20) Yurtkuran, S., Kırlı, G., & Taneli, Y. (2013). Learning from Nature: Biomimetic Design in Architectural Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *89*, 633–639. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.907

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License