المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في التصميم المعماري والداخلي

Biomimetics As An Analogical Reasoning Ideology In Architectural & Interior Design

أ.د/ عبد الرحمن محمد بكر

أُستاذ التصميم البيئي بقسم التصميم الداخلي والأثاث – كُلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان.

Prof. Abd El-Rahman Muhammad Bakr

Professor Of Environmental Design, Interior Design And Furniture Department, Faculty of Applied Arts - Helwan University

abdelrahman_hussein@a-arts.helwan.edu.eg

أ.د/ أحمد محمود يوسف

أُستاذ كيمياء وتكنولوچيا البلمرات – شعبة بحوث الصناعات الكيميائية – المركز القومي للبحوث.

Prof. Ahmed Mahmoud Youssef

Professor Of Polymer Chemistry And Technology - Chemical Industries Research Division - National Research Center

drahmadyoussef1977@gmail.com

أ.م.د/ ضياء الدين محمد طنطاوي

أُستاذ مُساعد بقسم التصميم الداخلي والأثاث – كُلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان.

Assist. Prof. Diaa-Elden Mohamed Tantawy

Associate Professor Of Interior Design, Interior And Furniture Design Department, Faculty Of Applied Arts - Helwan University

diaatantawy@hotmail.com

د/ أحمد محمد لبيب عبد الحميد

دكتور باحث – قسم فيزياء الموجات الميكروئية – شعبة البحوث الفيزيقية – المركز القومي للبحوث.

Dr. Ahmed Mohamed Labeeb Abd El-Hamid

Research Doctor - Department Of Microwave Physics - Division Of Physical Research - National Research Center

ahmad.m.labeeb@gmail.com

م.م/ ياسمين عادل عبد المنعم ورد

مُدرس مُساعد بقسم التصميم الداخلي والأثاث – كُلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان.

Assist. Lect. Yassmin Adel Abd El-Moneim Ward

Assistant Lecturer, Department Of Interior Design And Furniture - Faculty Of Applied Arts - Helwan University

YasmineAdel@a-arts.helwan.edu.eg

المُلخص:

تنطوي نُهج المُحاكاة الحيوية (البيوميمتكس) على إيجاد حلول للمُشكلات التصميمية من خلال مُحاكاة وظائف و/أو عمليات الأنظمة البيولوچية عبر تطبيق إستراتيچية النقل التناظري من النُظم البيئية إلي التكنولوچيا على النحو الذي يتصدى لتحديات التصميم المعماري والداخلي بشكل أكثر إستدامة، وذلك لكونها إيدلوچية تفكير إبداعية مُستدامة تُنتج المزيد من الحلول المُلهمة الأكثر تصالحية وتجديد للنُظم الإيكولوچية ... تفترض الدراسة أن مُحاكاة عمليات ووظائف الأنظمة البيئية تُعزز الكفاءة الهيكلية للمبنى وتُحث على تخليق مواد مُبتكرة، فضلاً عن توفير تقنيات أكثر إستدامة في إدارة النفايات والمياة إلي

جانب ترشيد إستهلاك الطاقة بإتباع آليات توفر الراحة الحرارية، وذلك بالتزامن مع تعظيم مبدأ توليد الطاقة من مصادر مُتجددة ... وللتحقق من قُدرة المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تناظرية على رفع كفاءة أداء المبنى التشغيلي من منظور الكفاءة الهيكلية وترشيد إستهلاك الطاقة، تضمنت تلك الدراسة إختبار مدى كفاءة تطبيق تلك المنهجية الفكرية المُستندة على النقل التناظري لوظائف وعمليات الأنظمة البيولوچية فى إكساب البيئة المبنية خواص الإبتكار والإستدامة، فضلاً عن دراسة قُدرة تلك المنهجية الفكرية على رفع الكفاءة الهيكلية للمبنى، ومناقشة أثر تفعيلها في تخليق المواد المُتقدمة بالتزامن مع دراسة قُدرتها على تحسين إدارة المياة والنفايات إلي جانب تعزيز التنظيم الحراري للبيئة الداخلية وذلك ضمن إطار بيئي مُستدام يُناظر الأداء التشغيلي للنظام البيئي مُعززاً بذلك التصميم التجديدي في العمارة الذي يُحث على إعادة إصلاح وتجديد النُظم الإيكولوچية المُحيطة. وقد توصلت الدراسة إلي أن تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري تُحث على تحقيق الكفاءة الهيكلية للعمارة بواسطة دعم التكامل بين الهيئة الشكلية والبنية الهيكلية والوظيفة الأدائية للكيان المعماري، فضلاً عن تخليق المزيد من المواد المُتقدمة المُبتكرة غير المُلوثة للنظام البيئي المُحيط إلي جانب قُدرتها على جلب آليات مُستدامة تعزز الإدارة المُتكاملة للمياة وللنفايات. كما أن لتلك الايدلوچية التناظرية دوراً كبير في تخليق أغلفة مباني تكيُفية تحقق التنظيم الحراري إلي جانب قدرتها على طرح العديد من الحلول المُستدامة لحل أزمة توليد الطاقة والحث على توليدها من مصادر مُتجددة.'

الكلمات المُفتاحيــة:

المُحاكاة الحيوية – الإستدامة البيئية – إيدلوچيات التفكير التجديدي – التناظر - التفكير التناظري – الجسر الوظيفي.

Abstract:

Biomimetics approaches involve finding solutions to design problems by mimicking the functions and/or processes of biological systems, by applying an analog reasoning strategy from ecosystems to technology in a way that addresses the challenges of architectural and interior design in a more sustainable way. This is due to it is a sustainable creative thinking ideology producing more inspiring solutions that are most restorative and regenerative ecosystems ... The study assumes that mimicking the processes and functions of ecosystems enhances the structural efficiency of the building and stimulates the creation of innovative materials, urging synthesis of innovative materials, as well as providing more sustainable technologies in waste and water management, In addition to reducing energy consumption by adopting mechanisms that passively provide thermal comfort, in conjunction with maximizing the principle of generating energy from renewable sources ... This study was presented to verify the ability of Biomimetics as an analogue ideology in raising the efficiency of the operational building performance from a structural efficiency perspective, and reduce energy consumption.

Therefore, this study included evaluating the efficiency of applying that intellectual methodology based on analog transfer of functions and processes of biological systems in providing the building environment with the characteristics of innovation and sustainability, as well as studying the ability of that intellectual methodology to raise the structural efficiency of the building, and discuss the impact of its activation on the synthesis of advanced materials in conjunction with a study of its ability to improve water and waste management, in addition to enhancing the thermoregulation of the indoor environment within a sustainable environmental

framework; corresponding to the operational performance of the ecosystem enhanced by the regenerative design in architecture that promotes the repair and renewal of surrounding ecosystems.

Keywords:
Biomimetics – Ecological Sustainability - Regenerative Thinking Ideologies – Analogy - Analogical Reasoning (AR) – Analogical Transfer – Functional Bridge of Analogy.

المُقدمـــــة:

في ضوء زيادة وتيرة تدهور النُظم البيئية وفُقدان المزيد من الموائل الطبيعية والتنوع البيولوچي للكائنات الحية المؤثر بدوره على خدمات ووظائف النظام البيئي، وبالتوازي مع الجهود التى تبذلها العديد من البُلدان لإيجاد حلول مُستدامة بيئية تجدُدية لتحقيق الإدارة المُتكاملة للمباني بأسلوب يجمع بين التنمية الحضرية والإقتصادية ضمن إطار بيئي، لذا أكد العُلماء وصُناع القرار على إلزامية إدخال **إيدلوچيات تفكير مُبتكرة** تتبنى مباديء الإستدامة والتصميم التجديدي، وتأخذ الطبيعة كنموذج، كمُعلم أو كُموجه وكمقياس. وهو الأمر الذي ألزم المُصممين والمُهندسين للعودة إلي الطبيعة بإعتبارها هى الأساس الذي قامت عليه العديد من العلوم التى تبحث في قوانين أو نظريات الطبيعة وكيفية الإستفادة منها في توليد أنظمة تصميمية تستند على مبادىء إيكولوچية لحل المُشكلات الإنسانية؛ حريصين بذلك على تفعيل ممارسة التناظرات البيولوچية بإتخاذ الطبيعة كمصدر لنقل الأفكار، الإستراتيچيات، المبادىء والوظائف إلي المجالات التكنولوچية، الهندسية والتصميمية سعياً لتحقيق مبادىء الإستدامة، وهي الممارسة العملية التى يُشار إليها بنُهج **"المُحاكاة البيولوچية "الحيوية"**.

وفقاً لما نصت عليه الدراسات السابقة حول إستراتيچية التناظر، بإعتبارها هي جوهر **التفكير التماثلي/التناظري** القائم على بناء التشابهات بين نظامين (كيانين)، فإنها تُعد ذات قوى تخليقية وتجديدية تدعم عمليات التفكير الإستدلالي، فضلاً عن كونها إستراتيچية ترتكز عليها مرحلتي الترجمة المُجردة والنقل لعمليات تصميم المُحاكاة الحيوية حيث تُسهل بناء علاقات بين الكيانات المُناظرة. تتميز نُهج المُحاكاة البيولوچية (الحيوية) بالبحث الإستراتيچي المُستند بشكل أساسي على التناظر للنماذج البيولوچية، وهو ما يُميزها عن غيرها من علوم الطبيعة الأُخرى المُستندة على الإلهام الحيوي للأشكال أو الهيئات المورفولوچية. **إذن،** تدعم إستراتيچية التناظر (التفكير التناظري) نهج المُحاكاة الحيوية حيث يتم نقل الوظائف، العمليات، الآليات، الإستراتيچيات من الأنظمة البيولوچية إلي التطبيق المعماري أو التكنولوچي. فنجد أن نُهج المُحاكاة الحيوية تستند على **إستراتيچية التناظر (AS)** لمُحاكاة عمليات ووظائف النُظم البيولوچية بهدف تقديم المزيد من الحلول المُبتكرة والمُستدامة التجديدية للتحديات البشرية مروراً بمجموعة من الأطوار المُتعاقبة التى تُصيغ الإطار المُحدد لتطبيق المُحاكاة الحيوية بدءاً من طور **التجريد** مروراً بـ طور **النقل** وصولاً لـ طور **التطبيق**.

مُشكلة البحث:

تكُمن مُشكلة البحث في إتباع المُعماريين والمُصممين للمُناهج الفكرية النمطية التى ينجم عنها تصميمات مُجمدة فكرياً غير مُتوافقة مع السياق البيئي المُحيط، فضلاً عن إنتاج عمارة ذات بيئات داخلية مرضية لقاطنيها ومُدمرة في الوقت ذاته للنظام البيئي المُحيط.

ومن هُنا تبلورت **المُشكلة الرئيسية** للبحث في الحاجة المُلحة لمنهجيات تفكير مُبتكرة تكون أكثر إستدامة تتوجه نحو الطبيعة للتعلُم من أنظمتها القُدرة على الإستجابة والتكيف، فضلاً عن ترشيد إستهلاك الطاقة، وهو ما يُعزز بدوره روافد الفكر التجديدي الذي يدعو إلي تصحيح أو مُعالجة ما تضرر من النُظم البيئية بفعل الأنشطة البشرية المُدمرة، بينما تمثلت **المُشكلة**

الثانوية في الحاجة إلي وجود منهجية فكرية (إستراتيچية إجرائية واضحة) تُعد بمثابة نظام حاكم يُنظم التبادل المعرفي بين المجالات المُختلفة (البيولوچيا والتكنولوچيا أو الهندسة المعمارية).

أهداف البحث:

يهدف البحث إلي التحقق من مدى كفاءة المُحاكاة الحيوية كإستراتيچية تفكير تناظري في تفعيل مبادىء الإبتكار والإستدامة في البيئة المبنية، بإعتبارها إيدلوچية تفكير مُمنهجة قادرة على تعزيز الفكر التجديدي المُستدام في التطبيقات المعمارية.

فرضية البحث:

تتحقق الدراسة البحثية من مدى صحة الفرضية التى تنص على أن: لتطبيق المُحاكاة الحيوية - كإستراتيچية تناظرية لوظائف الأنظمة الحية - القُدرة على تعزيز الكفاءة الأدائية للبيئة المبنية من منظور الكفاءة الهيكلية، ترشيد إستهلاك الطاقة وإدارة النفايات ... ومن ثم تُشكل المباني جُزءاً لا يتجزأ من النظام الإيكولوچي.

منهجية البحث:

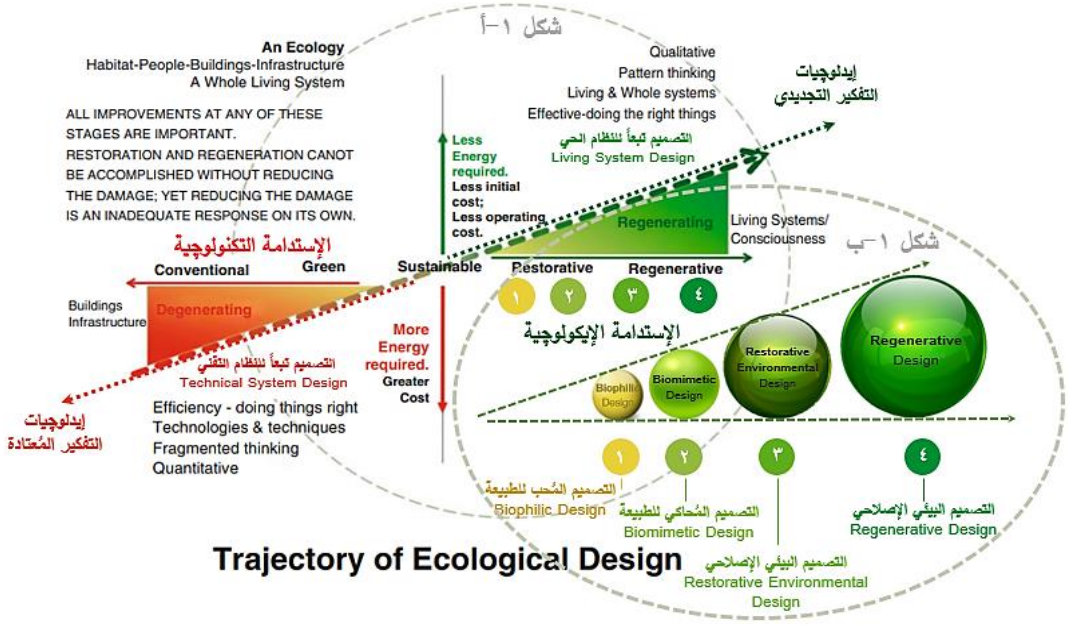
يتبع البحث لإثبات الفرضية كُلً من: **المنهج الإستقرائي** المُتمثل في دراسة تعريفات المُحاكاة الحيوية والفرق بينها وبين المُمارسات الحيوية الأُخرى، والتعرف على أُسسها الفلسفية ونُهج التفكير الخاصة بها لتطبيقها في العملية التصميمية. و**المنهج الوصفي التحليلي** لوصف وتحليل نتائج دمج إستراتيچية التفكير التناظري ضمن نُهج المُحاكاة الحيوية، بالإضافة إلي تفسير أثر تطبيقها في العمارة للتحقق من مدى كفاءتها في تعزيز الفكر التجديدي المُستند على الإبتكار والإستدامة.

١. الإطار النظري للبحث (الدراسة النظرية):

١-١. المُحاكاة الحيوية كإحدى إيدلوچيات التفكير التجديدي في البيئة المبنية المُستدامة.

إرتبطت الأنماط الفكرية المُعاصرة بشكل مُباشر بالتوجهات البيئية المُستدامة عامةً وبإستراتيچيات تفعيل الإستدامة البيئية خاصةً وذلك لتلبية كافة المُتطلبات الوظيفية والبيئية والإقتصادية ضمن إطار مُتكامل يُحقق التوافق والإنسجام بين البيئة المبنية (المشيدة) والبيئة الطبيعية المُحيطة.[١]

عادةً ما يوصف تطبيق التنمية المُستدامة في التصميم وفقاً لإتجاهين تدفق أو لتيارين، أحدهُما يعتمد على التقنية والهندسة **(الإستدامة التكنولوچية)** التى تتضمن التصميم الأخضر القائم على الأساس التقني والمُنفصل عن البيئة الطبيعية، والآخر يعتمد على مبادئ النظم البيئية و/أو الحيوية **(الإستدامة الإيكولوچية/البيئية)** التى تتجه نحو دراسة قُدرة النُظم البيئية للحفاظ على وظائفها وعملياتها الأساسية بهدف الحفاظ على تنوعها البيولوچي على أكمل وجه على المدى البعيد،[١-٥] **كما هو موضح في (شكل ١-أ).**

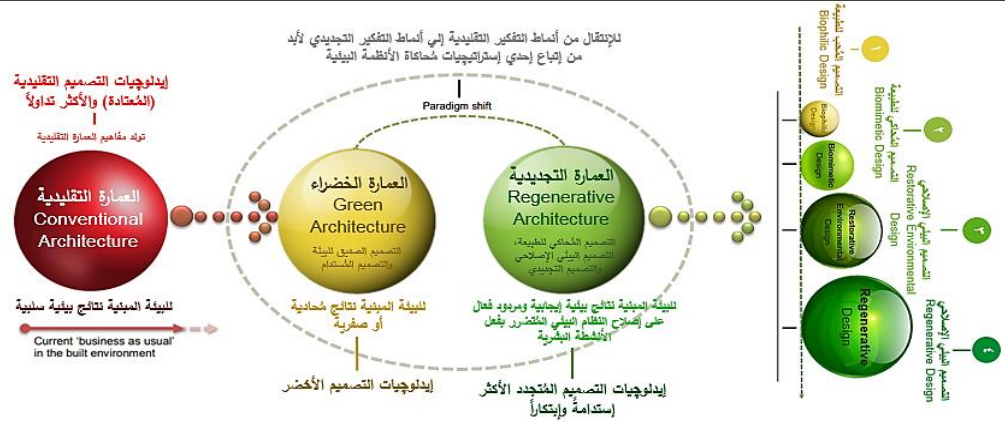


شكل ١-أ: يوضح مساري تطبيق الإستدامة في التصميم الإيكولوجي، موضحاً الفرق بين مسار التصميم تبعاً للأنظمة الحية ومسار التصميم تبعاً للأنظمة التقنية. المصدر: (باميلا ماتج وبيل ريد - ٢٠٢٠م)[٥] - شكل ١-ب: يوضح الإستراتيجيات الإيكولوجية للإستدامة. المصدر: (رمضان، أنوار وحسن، أمجد - ٢٠١٨)[١]

في ضوء الحركات الخضراء، إقتصر مفهوم تفعيل الإستدامة في البيئة المبنية بشكل رئيسي على كفاءة إستخدام الطاقة والموارد فضلاً عن تقليل التأثير البيئي للمبنى على البيئة المُحيطة (مفهوم البيئة المبنية المُحايدة)؛ أي **في نموذج التفكير الأخضر، لا توجد محاولة لإصلاح الضرر الماضي**. أما في العقد الماضي دعت العديد من الدراسات إلي إحداث تحول جذري في مفاهيم تطبيق الإستدامة في البيئة المبنية وإدخال إيدلوجيات تفكير جديدة، من أهمهم دراسة مايبريت بيدرسن زاري[٦] وسارة چينكين[٧] مقترحان "إعادة التفكير في البيئة المبنية من أجل مُستقبل أكثر إستدامة وذلك من خلال حدوث تحول في التفكير من مفاهيم تُحث على خفض التأثيرات البيئية أو جعلها مُحايدة من حيث الطاقة أو الكربون أو النفايات أو المياه إلي مفاهيم مُبتكرة تدفع البيئة المبنية إلي تجاوز هذا الحد بإتجاه تقديم فوائد بيئية إيجابية صافية للعالم الحي و/أو الإيكولوجي المُحيط"؛[٦-٧] (أي ينبغي أن تكون النتائج البيئية الإيجابية هي الهدف، وهذا يعني أن البيئة المبنية **يجب أن تساهم أكثر مما تستهلك في النظم البيئية بينما تعالج في نفس الوقت الضرر البيئي في الماضي والحاضر**).[٦]

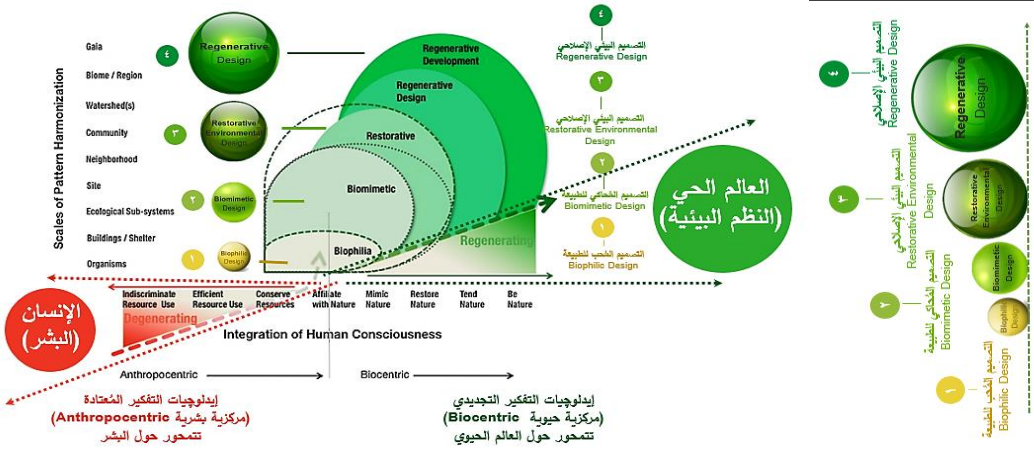
يعود هذا التحول الحادث خلال القرن الماضي بإتجاه الاستدامة البيئية وأنظمة التصميم المُتجدد (التجديدي) إلي التحول الجذري في نظرة العالم للطبيعة الحية المُحيطة الذي يُعد نتيجة حتمية للتقدم المُتزايد في جميع علوم الطبيعية (العلوم الفيزيائية والبيولوجية ...). خلال عصر الميكنة (العصر الصناعي) كان يُنظر إلي العالم الحي على أنه آلة مُكونة من أجزاء مُنفصلة، أما في وقتنا هذا ووفقاً للنظرة البيئية فإن العالم الحي يُرى كشبكة ذاتية التنظيم مُتطورة بإستمرار ومُكونة من مجموعة من الأنظمة الحية المُترابطة. لذلك كان لمفهوم النظام البيئي الذي تم تطويره بواسطة علم النظم الحية تأثيراً خاصاً في تشكيل فهم إيكولوجي تجديدي ذو تداعيات عميقة على الاستدامة والتنمية.[٨] فنجد أن التصميم المُتجدد يسعى إلي معالجة التدهور المُستمر لخدمات النظام البيئي من خلال تصميم وتطوير البيئة المبنية لإستعادة قدرة النظم البيئية على العمل في صحة مثالية لتحقيق المنفعة المتبادلة لكل من البشر والأنظمة الإيكولوجية. ضمن إطار التصميم التجديدي نجد أن المُصمم يري المبنى كحلقة من حلقات النظام المُغلق وذلك لكون المباني لا تُمثل كيانات مُنفصلة عن النظام البيئي المُحيطة بل هي إحدى أجزاء هذا النظام الأكبر والأشمل.[٦]

تتطلب عملية التحول الجذري من بيئة مبنية تُدهور النظم البيئية إلى بنية تُجدد النظم البيئية **إدراج إيدلوجيات تفكير ذات نُهج شمولية تُحقق الإستدامة والإبتكار معاً وتُفعل المفاهيم الإيكولوجية للعالم الحي**، وهو الأمر الذي دفع إلي ظهور المزيد من الإستراتيجيات البيئية خلال القرن الماضي التى تدعو إلي تبني مبادىء التصميم المُتجدد، وذلك لإحداث تغيير واضح في أنماط التصميم التقليدية التى تتبع نموذج تفكير "**العمل كالمُعتاد** Business As Usual"،[٦] كما هو موضح في (**شكل ٢**).



شكل ٢: يوضح الحاجة المُلحة لإيدلوجيات تفكير مُبتكرة تُحقق التحول الجذري المرجو للإنتقال من التنمية التقليدية إلى التنمية المُتجددة.
المصدر: (بيدرسن زاري، مايريت - ٢٠١٢م)[٦]

خلال عام ١٩٨٠م و١٩٩٠م تم تنظيم كافة الإستراتيجيات البيئية للإستدامة الإيكولوجية التى تتمركز حول إيدلوجيات تفكير تجديدية تستند على مجموعة من المفاهيم الفلسفية والنظرية والعلمية القائمة على تضمين الأنظمة الحية في بوطقة التصميم؛ والتى تسعي في المقام الأول إلى تفعيل مفهوم الدمج والتكامل الشمولي بين البيئة المُشيدة (الهياكل المبنية) والأنظمة الحية للطبيعة.[٢-١] بحيث تلتزم تلك الإستراتيجيات بتحقيق صافي الأهداف الإيجابية للبيئة المبنية على النظام البيئي المُحيط. لذلك تشابهت تلك الإستراتيجيات في تحقيق المفهوم الشمولي الدامج للبيئة المبنية مع النظام الإيكولوجي المُحيط إلا أنها تختلف في النطاق المنهجي الذي يشمله كُل منهم، لذلك شغلت تلك الإستراتيجيات أربعة نطاقات مُتعاقبة (مستويات متتالية) على طول النطاق الشمولي للتفكير التجديدي، هُم كما يلي: التصميم المُحب للطبيعة (البيوفيليا)[٣]، التصميم المُحاكي للطبيعة (البيوميمكري Biomimicry و/أو المُحاكاة الحيوية Biomimetics)[٤]، التصميم البيئي الإصلاحي[١]، التصميم المُتجدد (التجديدي).[٥] **(شكل ١-ب) و(شكل ٣)**



شكل ٣: يوضح نطاقات و/أو مُستويات التصميم البيئي على طول النطاق الأشمل لتفعيل الإستدامة البيئية في التصميم.
المصدر: (باميلا مانج وبيل ريد - ٢٠٢٠م)[٥]

نستخلص مما سبق أن، التصميم المُحاكي للطبيعية أو ما يُعرف بـ المُحاكاة الحيوية Biomimetics هو أحد أهم إيدلوچيات التفكير المُبتكرة القادرة على إحداث تحول جذري في مفاهيم التصميم المُستحدثة وذلك لكونها قادرة على تحقيق مبادىء التصميم المُتجدد حيث الحفاظ على التنوع الإيكولوچي للبيئة الطبيعية المُحيطة بالمبنى فضلاً عن تفعيل مبدأ التكامل الشمولي بين البيئة المبنية والعالم الحي المُحيط.[*] **(* المصدر:** إستخلاص الباحث بالإستناد إلي ما ورد في بند (١-١))

١-٢. المُحاكاة الحيوية كإستراتيچية مُتجددة تحقق الإستدامة والإبتكار.

قبل التطرق إلي دراسة المُحاكاة الحيوية كوسيلة لتحقيق الأهداف التجديدية (من الإستدامة والإبتكار) في البيئة المبنية، وكإستراتيجية تفكير مُتجددة في السياق المعماري أو الحضري، من الضروري أولاً فهم وتعريف ماهية المُحاكاة الحيوية وما هو الفرق بينها وبين غيرها من الممارسات الحيوية الأُخرى للإلهام الحيوي من الطبيعة، فضلاً عن ذكر التطور التاريخي لمفهوم المُحاكاة الحيوية.

١-٢-١. مفهوم المحاكاة الحيوية (البيوميمتكس) وعلاقتها بممارسات الإلهام الحيوي الأُخرى.

١-٢-١-١. مفهوم المحاكاة الحيوية (البيوميمتكس).

يرجع أصل مُصطلح **البيوميمتكس** Bio-mimetics لذات الجذور اليونانية لمُصطلح **البيوميمكري** Bio-mimicry، حيث يتكون المُصطلح من **شقين**: الشق الأول Bios (يعني **الحياة**) والثاني mīmēsis (يعنى **المُحاكاة**، وهو يُشير إلي القُدرة على مُحاكاة مظهر شيء ما).[٩] قُدمت أول صياغة لـ مُصطلح المُحاكاة الحيوية (البيوميمتكس) كمجال بحث علمي في أواخر عام ١٩٥٠م من قبل عالم الفيزياء الحيوية **أوتو شميت Otto Schmidt** في كتابه بعنوان "النمو والشكل" وذلك عندما إستخدم المُصطلح لوصف إختراع تصميمي يُحاكي إنتشار الطاقة الكهربائية بداخل الجهاز العصبي لرأسيات الأرجل، بينما يرجع أول إستخدام للمُصطلح رسمياً إلى قاموس أوكسفورد الإنجليزي الذي ظهر في فهرس مُجلد ١٣٢ للعلوم المنشور في ديسمبر عام ١٩٦٠م.[١٠]

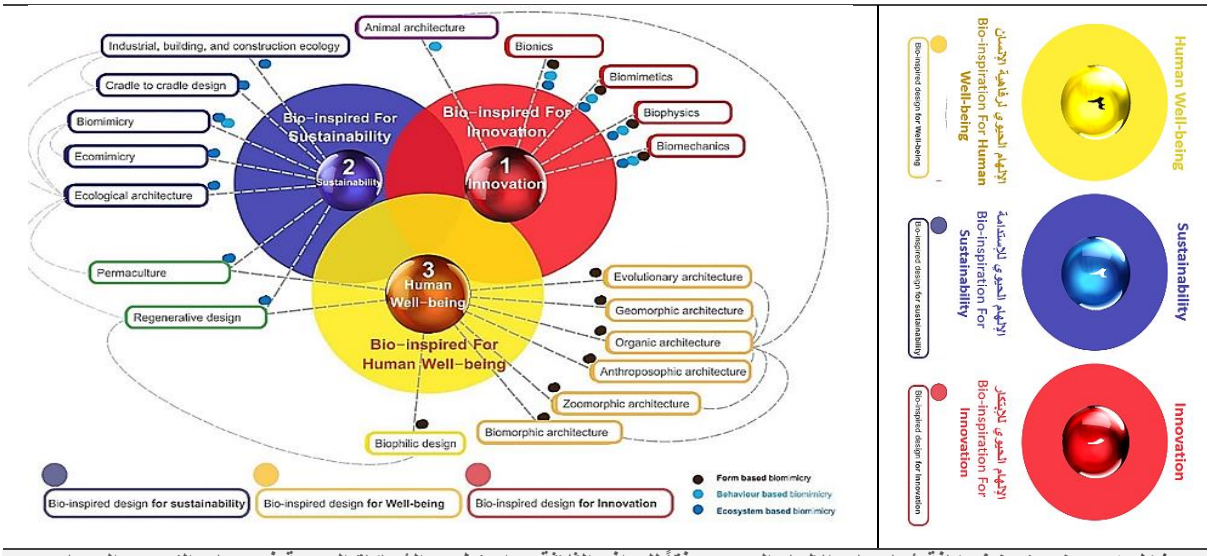
أما في عام ١٩٤٧م، عُرفت المُحاكاة الحيوية لأول مرة في قاموس مريام ويستر The Merriam-Webster Dictionary على أنها:**"هي دراسة التشكيل، التكوين، البنية الهيكلية أو الوظائف، المواد، الآليات والعمليات للكيانات البيولوچية بهدف تصنيع مُنتجات مُناظرة بواسطة آليات صناعية تُحاكي الآليات الطبيعية"**،[١١] بينما يُؤكد التعريف المُبكر للمُحاكاة الحيوية على **التخليق الصناعي المُستند إلي علم الكيمياء في مُضاهاة المواد والعمليات البيولوچية**. كما عرفتها إسطوانة الأيزو (رقم 18458) ISO/CD مؤخراً على أنها: **"هي التعاون مُتعدد التخصصات للبيولوچيا والتكنولوچيا أو غيرهما بهدف حل المُشكلات أو لتخليق المواد أو الأنظمة الإصطناعية من خلال كُل من التجريد، النقل والتطبيق لمبادىء النُظم البيولوچية"**[١٢] (مُشيراً بذلك إلي تطبيق مراحل **إستراتيچية التناظر** التالي تناولها لاحقاً).

أما من المنظور المعماري، فقد قدم بوهل وناشتيجال Pohl & Nachtigall تعريفاً **للمُحاكاة الحيوية المعمارية** في كتابهما "المُحاكاة الحيوية في العمارة والتصميم" (عام ٢٠١٥م)، بأنها **"تخصصاً علمياً فريداً يهتم بشكل منهجي بالتنفيذ التقني وتطبيق مُحاكاة جوانب الأنظمة البيولوچية المُختلفة من هياكل وعمليات ومبادىء كمسار موجه نحو تفعيل التقارب والتناظرِ بين البيولوچيا والهندسة أو التكنولوچيا سعياً لتوليد مفاهيم مُتبادلة تُحث على الإبتكار"**.[١٣]

١-٢-١-٢. الإختلاف المفهومي بين المحاكاة الحيوية (البيوميمتكس) وغيرها من الممارسات الحيوية الأُخرى.

تعدد المُمارسات الحيوية التى يتضمنها التصميم المُستوحى بيولوچياً الذي يصف التناظرات والإستعارات المنقولة من الأنظمة الحية للعالم الطبيعي إلي التكنولوچيا و/أو الهندسة المعمارية، تُعد المُحاكاة الحيوية أحد أهم تلك الممارسات إلا أنه دائماً ما يتداخل مفهوم المُحاكاة الحيوية مع غيرها من المُمارسات الأُخرى للإلهام الحيوي، لذلك عملت العديد من الدراسات

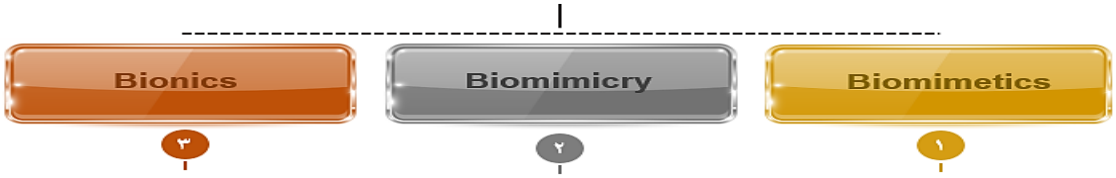
السابقة على وضع خطوط فاصلة بين مفهوم المُحاكاة الحيوية وغيرها من المُمارسات الأُخرى، من أهم تلك الدراسات ما قدمه كوهين وريتش في كتابهما: "طريقة تصميم المحاكاة الحيوية للإبتكار والإستدامة" (عام ٢٠١٦م)[١٤]حيث صُنفت المُمارسات الحيوية إلي ثلاث فئات تبعاً للدافع وراء تطبيق الإلهام الحيوي من الطبيعة في التصميم (الإلهام من أجل الإستدامة – الإلهام من أجل الإبتكار – الإلهام من أجل السلامة والرفاهية للإنسان)[٦] **(شكل ٤)**.



شكل ٤: يوضح تصنيف كافة مُمارسات الإلهام الحيوي وفقاً للدوافع الثلاثة وراء تطبيق المُحاكاة الحيوية في سياق التصميم المعماري والداخلي. المصدر: (كوهين وريتش - ٢٠١٦م)[١٤]

من أكثر المُمارسات التى يتداخل مفهوم المُحاكاة الحيوية معها، هي: **الإلكترونيات الحيوية "البيونكس"**، **التقليد الحيوي للطبيعة "البيوميمكري"** على وجه التحديد والتى عادةً ما تُدرك كمرادفات لبعضها البعض؛ إلا أن تلك المُمارسات الحيوية تُمثل **نقاط تنمية طورية** في مسار **تطور ممارسات الإلهام الحيوي من الطبيعة**.[١١] يوضح **(جدول ١)** الحدود المفهومية الفاصلة بين المُحاكاة الحيوية والبيونكس والبيوميمكري.

الحدود الفاصلة بين: (١) المُحاكاة الحيوية، (٢) التقليد الحيوي للطبيعة و(٣) الإلكترونيات الحيوية



١. المُحاكاة الحيوية Biomimetics	٢. تقليد الطبيعة Biomimicry	٣. الإلكترونيات الحيوية Bionics
التعريف: يتشكل كي يُناظر المواد والعمليات البيولوجية بطريقة صناعية **(أي يُحاكي العمليات الكيميائية الحيوية بداخل الكائن الحي)**، وعادةً ما يصف الطريقة التخليقية لمُحاكاة العمليات الكيميائية.	**التعريف**: العلم الجديد الذي يدرس نماذج الطبيعة ثم يُقلد أو يستلهم هذه التصميمات والعمليات لحل المُشكلات الإنسانية بطريقة مُستدامة؛ مُتخذاً معايير الطبيعة كمقياس للحكم على مدى ملائمة الإبتكارات.	**التعريف**: يجمع بين البيولوجيا والتقنيات، ويقتصر على تصميم الأنظمة الإلكترونية التي لها نفس الوظائف المنسوخة من الطبيعة، وبالتحديد تصنيع الأجزاء التعويضية لجسم الإنسان والذكاء الإصطناعي ...

هو **المُناظرة** بين البيولوجيا والعلوم الأُخرى لتجريد **(الوظائف والعمليات البيولوجية)** لمبادىء تُنقل وتُطبق كحلول.	هو نهج المُحاكاة الحيوية الذي يُشترط إتخاذ الطبيعة كنموذج، كموجه وكمُقياس لتحديات التنمية المُستدامة.	هو نهج المُحاكاة الحيوية مع إستبدال الوظائف البيولوجية بمُكافئاتها الإلكترونية و/أو الكهروميكانيكية ...
مجال التطبيق: مُتعددة، من أهمها: الهندسة – علوم المواد - **التكنولوجيا العسكرية Military Technology** - علم النُظم ..	**مجال التطبيق**: محدودة، تتضمن: التنمية المُستدامة - توليد الطاقة والإنتاج – الهندسة – العمارة ...	**مجال التطبيق**: محدودة، تتضمن: الطب - الروبوتات - **السيبرنيات (علم التحكم الآلي) Cybernetics** ...

جدول ١: يوضح الحدود الفاصلة بين المُحاكاة الحيوية (البيوميمتكس) وأكثر المُمارسات الحيوية تداخلاً "تقليد الطبيعة" و"الإلكترونيات الحيوية". المصدر: (جاكوبس - ٢٠١٤م)[١١]

يرجع السبب وراء إختيار المُحاكاة الحيوية من بين ممارسات الإلهام الحيوي الأُخرى وتمركز الدراسة البحثية حولها في كونها نهجاً وظيفياً يستمد مبادئه التوجيهية من الفهم الإيكولوچي لكيفية عمل الطبيعة، حيث تُمثل المُحاكاة الحيوية نقطة إنطلاق للتفكير الشمولي للأنظمة الحية والتصميم التجديدي مُحدثة بذلك تحول مفهومي بإتجاه مُعاكس لمنهجيات التفكير التقليدية للتصميم. فنجد أن تصميم المُحاكاة الحيوية يسعى إلي إيجاد حلول مُستدامة مُبتكرة للمُشكلات عن طريق مُحاكاة إستراتيچيات ووظائف الأنظمة البيولوچية التى إجتازت إختبارات الزمن من خلال تكيفها بشكل جيد على المدى الطويل، فهو أكثر من مُجرد إستنساخ للكائن الحي أو النظام البيولوچي بل هو إجراء فحص دقيق للنظام لتفعيل النقل للمبادىء الأساسية التى وُجدت في الحل الطبيعي لتطبيقها في التحديات التصميمية لتوفير حلول فعالة وأكثر إستدامة للقضايا البيئية خاصةً المُتعلقة بالطاقة. [*] **(* المصدر:** توضيح وتفسير لرؤية الباحث بالإستناد إلي إلي ما ورد في بند (١-١) بالبحث**)**

١-٢-١-٣. أصول المُحاكاة الحيوية والتطور التاريخي لها عبر الزمن.

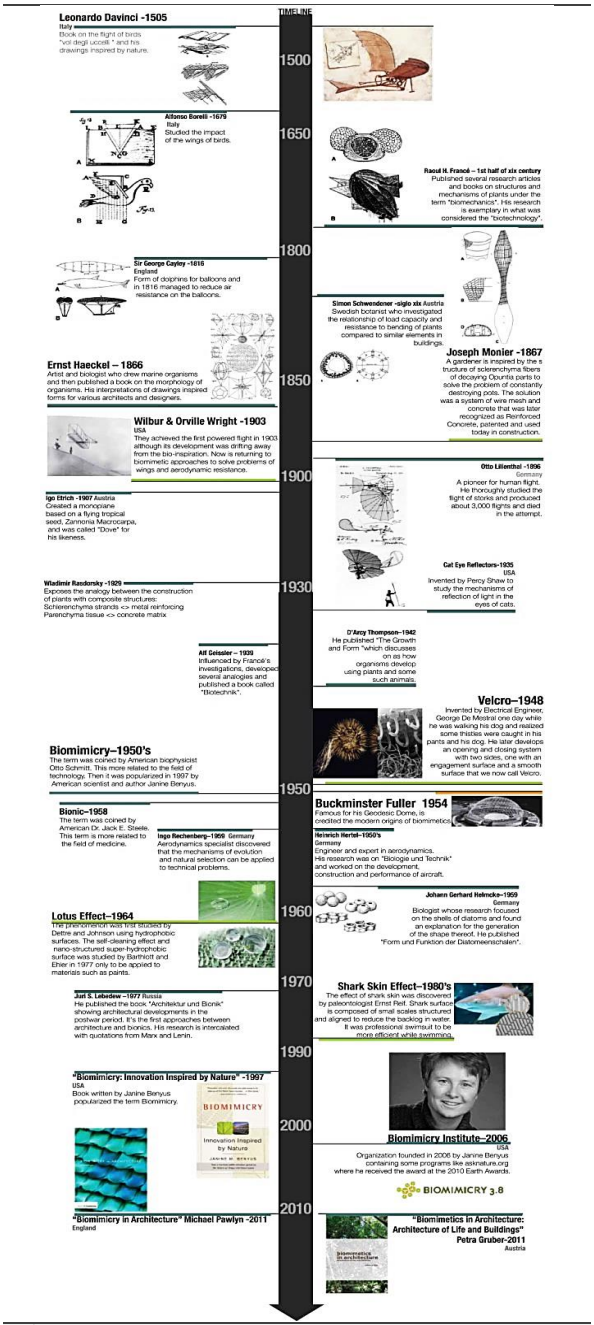
من وجه النظر التاريخية، لا تُعتبر المُحاكاة الحيوية نهج تصميم حديث بل يُمكن إرجاع أصول المفهوم إلي عصور ما قبل التاريخ (العصر الحجري) حينما قام الإنسان بتصنيع أسلحة تشبه مخالب الحيوانات إلا أن **مُحاولات الطيران البشري بدءاً من** مُحاولات ليوناردو دافنشي (١٤٥٢-١٥١٩م) في تصميم آلة الطيران (طائرة "Ornithopter") المستوحاة من أجنحة الطيور[١٥] وصولاً إلي تصميم الأخوان رايت لأول طائرة مأهولة (للبشر) تعمل بالمُحركات في عام ١٩٠٣م[١٦] تُعد تلك المُحاولات من أشهر الأمثلة على مُحاكاه الطبيعة. ثم لاحقًا عام (١٨٩٠م-١٩١٠م) تجلى أسلوب الفن الحديث Art Nouveau المستوحى حيوياً في كل من العمارة والفنون البصرية. إلي جانب براءات الإختراع المُستمدة من النماذج الطبيعية كما هو موضح في الجدول الزمنى لإبتكارات المُحاكاة الحيوية[١٧] **(شكل ٥)**.

١-٢-٢. المُحاكاة الحيوية (البيوميمتكس) كإستراتيچية تصميم تجديدى.

تستند الأُسس الفلسفية والأهداف الضمنية للمُحاكاة الحيوية على إتباع إيدلوچيات تفكير مُبتكرة مُتمثلة في مُمارسات حيوية داعية لإتخاذ العالم الحي مصدراً للإستلهام، وتجنب الإفتراض القائل بأن أي مُحاكاة لكائن أو مادة أو بنية بيولوچية يكون مُستدام وتجديدي بطبيعته، وهو ما أشارت إليه **جيبيشوبر** (٢٠٠٩م): **"إن المقصد هو جعل التصميم أكثر إستدامة مُستقل عن طريقة التصميم ذاتها"**. فضلاً عن دور المُحاكاة الحيوية في إحداث تحول إيدلوچي لنُهج التفكير الكلاسيكية المُستندة على **مركزية الإنسان** الداعية لإستخراج أكبر قدر مُمكن من الموارد البيئية والسيطرة عليها.

ومن هُنا، نجد أن المُحاكاة الحيوية تُدرج كأحد أفضل الإستراتيجيات التى تحث على التحول الفكري نحو الإنتقال من إعتبار النُظم البيئية كمخازن لا تنضب من الموارد إلى المفهوم الأشمل بأن البشر يعيشون داخلها ويعتمدون عليها للبقاء على قيد الحياة، مما ينعكس بدوره على التصميم من خلال الإبتعاد عن تصميم مباني تبدو كآلة للعيش فيها إلى تصميم مثالي تتكامل فيه البيئات البشرية بشكل تكافلي مع النُظم البيئية لعدم الإضرار بصحة النظام البيئي.

لذلك، يُعد ظهور حركة المُحاكاة الحيوية بمثابة نُقطة إنطلاق تحولية للمفهوم العالمي بإتجاه العالم الطبيعي لتفعيل المفاهيم الأكثر إندماجاً مع البيئة، فالمُحاكاة الحيوية هي أحد جوانب تطبيق المعرفة البيئية في التصميمات البشرية ضمن إطار يحترم بطبيعته السياق البيئي المُحيط بالإقتران مع تضمين المفاهيم الشاملة للتصميم التجديدي بدافع **"الإستدامة"** و"الإصلاح و/أو التجدُد"، إذن تحرص المُحاكاة الحيوية على تقديم خُطط تصميمية تُحث على تحقيق كُل من **"الإستدامة والإبتكار"** من أجل الحفظ والإصلاح والتجدُد.



شكل ٥: يوضح الجدول الزمنى لتطور إبتكارات المُحاكاة الحيوية.
المصدر: (إيدلين جارسيا لا توري، مقالة بعنوان: "الجلود البيولوجية" منشورة إلكترونياً - ٢٠١٨م)[١٧]

١-٢-٣. المحاكاة الحيوية كمُحرك للإستدامة البيئية وللإبتكار الهادف في العملية التصميمية.

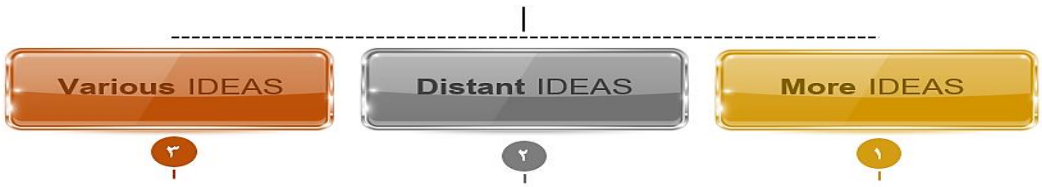
حددت دراسة زاري (عام ٢٠١٢م) ثلاثة دوافع رئيسية لتطبيق المُحاكاة الحيوية في العمارة والتصميم الداخلي، هي: **الإبتكار – الإستدامة – السلامة والرفاهية**.[٦]

١-٢-٣-١. المحاكاة الحيوية كمُحرك للإبتكار في العملية التصميمية.

تُعتبر المُحاكاة الحيوية بمثُابة مُحرك للإبتكار يشمل كلاً من الصناعات التقليدية وقطاع التكنولوجيا الفائقة حيث يعكس النمو المُتسارع لأبحاث وبراءات إختراع المُحاكاة الحيوية عدداً مُتزيداً من الإبتكارات التى ستمثل حوالي ١,٦ تريليون دولار من إجمالي الناتج العالمي بحلول عام ٢٠٣٠م.[١٨] كما أشارت الدراسة المُقدمة من قبل لوري-لوقا (عام ٢٠١٤م) مدى تداخل نُهج المُحاكاة الحيوية في الأبحاث العلمية الخاصة بالتطبيقات العلمية القائمة على الإبتكارات.

المُحاكاة الحيوية كآلية إبتكار لتوليد الأفكار التجديدية خلال مراحل التصميم: تُحث المُحاكاة الحيوية على توليد مفاهيم مُبتكرة للتصميم خاصةً عندما يتم دمجها خلال مراحل التصميم الأولي، وبالتحديد في مرحلة تكوين المفاهيم أو الأفكار التصميمية لكونها المرحلة المسؤولة عن حوالي ٧٠٪ من الجودة النهائية للمُنتج، حيث تُعزز المُحاكاة الحيوية توليد المفاهيم المُبتكرة بفعل ثلاث عوامل: **الوفرة – التباعد – التعدُد و/أو الإختلاف**،[١٤] كما هو موضح في **(جدول ٢)**.

عوامل توليد المفاهيم المُبتكرة للمُحاكاة الحيوية Biomimetics` Agents For Generating Innovatvion



أفكار وفيرة More IDEAS	أفكار مُتباعدة Distant IDEAS	أفكار مُتعددة Various IDEAS
توسع المُحاكاة الحيوية نطاق الحلول المُحتملة خلال المراحل الأولية لتكوين المفاهيم التصميمية أو خلال مرحلة توليد الأفكار كحلول لتحديات التصميم المطروحة، نظراً لتوافر العديد من النماذج البيولوجية والأنظمة البيئية التى يُمكن مُحاكاتها للتوصل لحلول مُبتكرة للمُشكلة.	تستند المُحاكاة الحيوية على عمليات النقل التناظري للمفاهيم من **مجال** (المصدر؛ البيولوجيا) إلي **مجال آخر** (الهدف؛ التكنولوجيا)، وهو ما يُعرف بـ التناظر Analogy **التالي تناوله بالتفصيل في بند (١-٣)**، حيث تستند المُحاكاة الحيوية على تفعيل التناظرات عبر المجالات المُتباعدة (النطاقات غير ذات الصلة)، لما لها من إمكانيات فائقة في تعزيز الإبتكار. وقد أكدت دراسات عدة على تحسُن الإبتكار عند تفعيل التفكير التناظري الذي يربط الوظائف البيولوجية بالتحديات التكنولوجية.	تُحث المُحاكاة الحيوية على تحول الإيدلوجيات الفكرية المُتبعة تصميمياً لكونها تستند على نموذج تفكير مُختلف قائم على إستنباط الحلول من الطبيعة بخلاف الحلول التقليدية المُعتادة. وتخلق هذة الإختلافات بين مبادىء حلول الطبيعة والتكنولوجيا فرصاً للتطرق لإستراتيجيات تصميم مُبتكرة تكون أكثر فاعلية.

جدول ٢: يوضح العوامل الثلاثة المؤثرة على توليد المفاهيم المُبتكرة من خلال تطبيق إستراتيجية المُحاكاة الحيوية في التصميم.

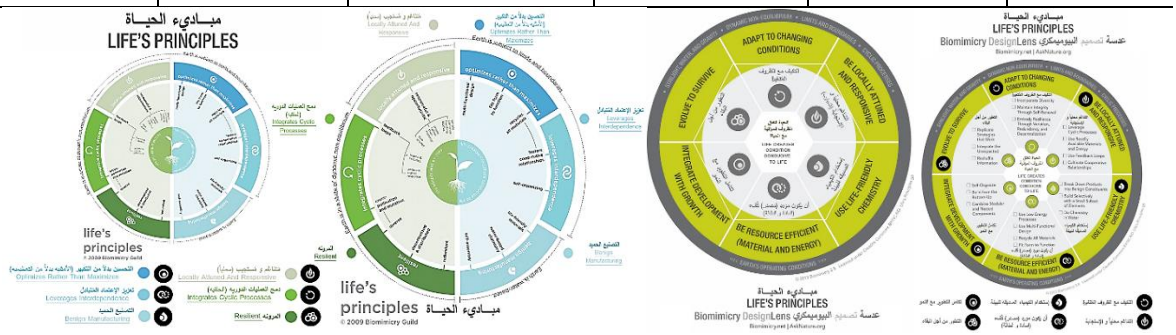
المصدر: (كوهين وريتش - ٢٠١٦م)[١٤]

١-٢-٣-٢. المحاكاة الحيوية كمُحرك للإستدامة في العملية التصميمية.

تُعتبر المُحاكاة الحيوية بمثابة أداة إستدامة مُناسبة لمرحلة إشتقاق المفهوم من الطبيعة. قدم معهد تقليد الطبيعة ٣,٨ إطاراً مُحدداً يُشار إليه بـ مبادىء الحياة Life Principles **(جدول ٣)**،[١٩] وهي تلك المبادىء التى تُمثل إستراتيجيات الإستدامة في الطبيعة ومبادىء حلول تصميم الطبيعة في ظل ظروف مُحددة. وتُعتبر هذة المبادىء بمثابة أنماط إستدامة يمكن نقلها إلى تطبيقات المُحاكاة الحيوية لكونها تُمثل وحدات أساسية للنقل التناظري من البيولوجيا إلى التكنولوجيا. كما أنها توفر إستراتيجيات تصميم وقياس لمدى تلبية التصميم لمبادىء الإستدامة من عدمها.[١٤][٢٠]

مبادىء الحياة كإحدي أدوات الإستدامة Life Principles As A Sustainable Tool	
LOGO	مبادىء الحياة الستة لـ تقليد الطبيعة Biomimicry LIFE PRINCIPLES

(١) التطور من أجل البقاء.	(٢) التكيف مع الظروف المُتغيرة.	(٣) التناغم محلياً والإستجابة.	(٤) تكامل التطوير مع النمو.	(٥) أن يكون المورد (مصدر) كُفء.	(٦) إستخدام الكيمياء الصديقة للحياة.
EVOLVE TO SURVIVE	ADAPT TO CHANGING CONDITIONS	BE LOCALLY ATTUNED & RESPONSIVE	INTEGRATE DEVELOPMENT WITH GROWTH	BE RESOURCE EFFICIENT (MATERIAL AND ENERGY)	USE LIFE-FRIENDLY CHEMISTRY



جدول ٣: يوضح عدسة التصميم البيوميمكري المُمثلة لمبادىء الحياة Biomimicry Life`s Principles المُتضمنة ستة مبادىء كإستراتيچيات رئيسية لتوليد أفكار تصميمية مُستدامة بيئياً. المصدر: (دريك - ٢٠١١م)[٢١]

نستخلص مما سبق، أن المُحاكاة الحيوية تُعتبر بمثابة إيدلوچية تفكير تجديدي تستند في الأساس على تفعيل إستراتيچيات تُحث على تطبيق الإستدامة البيئية وتقود العملية التصميمية بإتجاه (نحو) الإبتكار الهادف لحل المُشكلات البيئية و/أو البشرية.[*] (* **المصدر: إستنتاج الباحث** وفقاً لما ورد في البند السابق)

١-٣. المُحاكاة الحيوية كإستراتيچية تفكير تناظري مُمنهجة.

قبل التطرق إلي دراسة نهج المُحاكاة الحيوية في العملية التصميمية وإختبار الفرضية التى تنص على أن نُهج المُحاكاة الحيوية تُعتبر بمثابة إستراتيچية تفكير تناظري في التصميم وذلك نظراً لكونها تُدعم النقل التناظري للوظائف والعمليات البيولوچية من كيان المصدر إلي الهدف (المُتمثل في الجسر التناظري)، فكان لابد أولاً من فهم وتعريف ماهية التناظر بالإضافة إلي توضيح معنى التفكير التناظري ثم ذكر المُكونات الرئيسية التى تستند عليها إستراتيچية التناظر (التفكير التناظري).

١-٣-١. مفهوم التناظر وماهية التفكير التناظري.

١-٣-١-١. مفهوم التناظر لغوياً وتصميماً.

التناظر هو مفهوم مركزي في الإدراك البشري والتفكير الإبداعي، وهو شكل من أشكال التفكير الذي يشير إلى شيء ما ليكون مشابهاً للآخر في جانب معين بناءً على التشابه المعروف بينهم في الجوانب الأخرى.[٢٢] يعود مُصطلح التناظر إلي الجذور اليونانية لكلمة Analogia التى تعني **المُماثلة**، وقد ورد تعريف التناظر في قاموس كامبريدج الدولي (١٩٩٥م) بأنه **"هو النظر إلي أوجه التشابه مع فحص الإختلافات المُتحكمة في مدى عُمق العلاقة بين الهدف والمصدر"**، بينما ورد التناظر في قاموس أكسفورد الجديد (٢٠١١م) على أنه **"هو مُقارنة بين شيئين مُمثلاً العلاقة الترابطية بين الشيء الذي يتم مُقارنته أو تمثيله بشيء آخر من حيث جوانب أو خواص مُعينة"**.[٢٣]

بينما يُعرف التناظر **لغوياً** بأنه وجود تشابه بين شيئين في بعض الجوانب، بحيث يُقصد بالتشابه **"العلاقة الذهنية التى تأسست في العقل نتيجة التركيز الإنتقائي لبعض السمات التى تتداخل في صدد مُعين مع تجاهل السمات الأُخرى"**.[٢٤] يستند إنشاء التناظر على تحديد التشابهات بين العلاقات المعروفة لكيانات المصدر والعلاقات المُحتملة لكيانات الهدف؛ عند مُقارنة التناظر بالتشابه نجد أن كلاهُما يستلزم محاذاة بنية العلاقة بين المصدر والهدف، ولكن في حالة الإختلاف فنجد أن التناظر يستلزم مشاركة العلاقة بينهما، أما في حالة التشابه يستلزم مشاركة سمات الشيء (الكائن)؛[٢٥] أي أن التناظر يتضمن العلاقات المشتركة بين المصدر والهدف بشكل مُستقل عن مظهر أو سمات الأشياء.

أما **تصميماً** فيُعرف التناظر بأنه منهجية فكرية يتبعها المُصمم لربط كيان الهدف بـ كيان المصدر الذي يتم إستحضاره "إسترجاعه" وفقاً لعلاقه تشابه مُستندة على نقل خواص مُعينة من مجال المصدر إلي مجال الهدف. عادةً ما تُطبق منهجية التناظر كإستراتيجية لحل المُشكلات التصميمية عن طريق رسم مُخططات لأوجه التشابه والإختلاف بين مجال المصدر ومجال الهدف سعياً لنقل الحل من مجال المصدر المألوف إلي مجال الهدف غير المألوف"،[٢٢-٢٤] أي تُستخدم التناظرات لبناء الجسور بين المجهول (المفاهيم غير المألوفة) التى تتطلب التوضيح وبين المعلوم (المعلومات المعروفة سابقاً) لبناء بنية معرفية جديدة". يربط التناظر بين كيانين مُتباينين، حيث يُعتبر الكيان الأول بمثابة المصدر الأساسي الذي تُنقل منه الخواص و/أو المباديء إلي الكيان الأخر (المُقترن به).

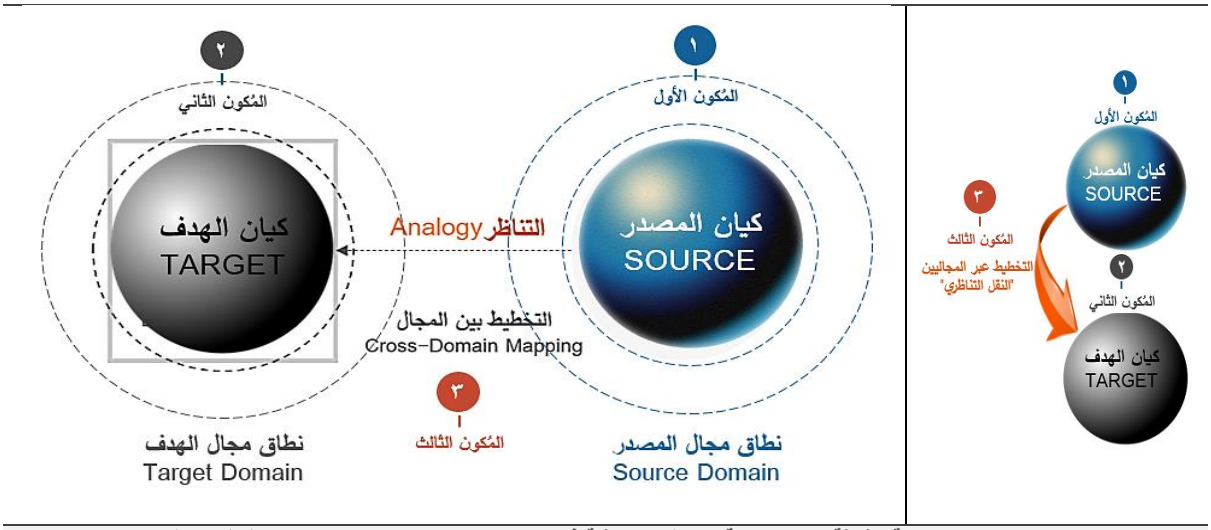
١-٣-١-٢. ماهية التفكير التناظري (التفكير بالتناظر).

التفكير هو مصدر كل فعل (عمل) بشري. يُعتبر التفكير من أصعب العمليات فهماً لدى العقل البشري وبالتالي يتعسر تعريفه بسهولة. يرجع السبب وراء محاولة تفكير الإنسان في العمليات المادية والحيوية المُحيطة إلي المُحاولة المُستمرة في فهم بعضها ومطاردته المُتلاحقة لفهم وتفسير البعض الآخر منها. كما يُعد التفكير لغة تُمكن التعبير عن المشاعر والوعي بالذات؛ أي أن نقل شيء ما للآخرين ما هو إلا تعبير عن تجربة سابقة شاملة إستكشاف المفارقات والمعضلات، وتغذياتها الراجعة إلى التجربة.

يبني مفهوم **التناظر Analogy** و**التفكير التناظري Analogical reasoning** جسرًا بين المفاهيم غير المألوفة والمعلومات السابقة للمُساعدة على إنشاء بنية معرفية جديدة خاصة بالمفاهيم المُجردة (التى لم يتم إختبارها)، ومن ثم يُمكن فهم أي مشكلة تبدو غريبة إذا تم التفكير فيها من خلال التناظر والمُماثلة.

فبالتالي يُعرف التفكير التناظري على أنه إنعكاس لكيانين **[المصدر** و**الهدف]** من خلال مقارنتهما بإيجاد تشابه والتعامل مع الهدف كمصدر في عمليات مُتوالية أو مُتعاقبة. يُعتبر التفكير التناظري أحد الإستراتيجيات المُستخدمة في حل المشكلات، بحيث يشتق حلاً من المصدر وينقله إلى الهدف [المشكلة] بإستخدام التناظر من خلال ربط المألوف بـغير المألوف [مشكلة جديدة].[٢٢] أي "هو منهجية لخلق علاقات رابطة كيانين المصدر والهدف من منظور تماثلي" [٢٣] مشيراً بذلك إلي المُكونات

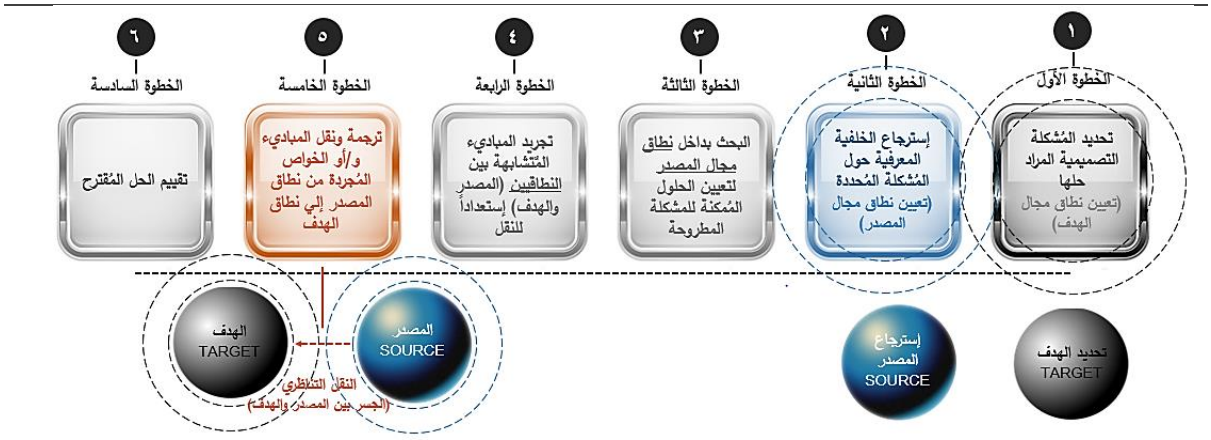
الرئيسية لإستراتيجية التناظر المُتمثلة في كل من: **الهدف** Target - **المصدر** Analogue – **التخطيط عبر نطاقي أو مجالي** المصدر والهدف Mapping. **(شكل ٦)**



شكل ٦: يوضح المُكونات الرئيسية الثلاثة لإستراتيجية التناظر المُتمثلة في: كيان المصدر، كيان الهدف والتخطيط التناظري عبر المجالين حيث تطبيق النقل التناظري للوظائف والعمليات من نطاق المصدر إلي نطاق الهدف. المصدر: (سمر علام - ٢٠١٠م)[٢٣]

١-٣-١-٣. إستراتيجية التناظر لحل المُشكلات التصميمية.

تُعرف إستراتيجية التناظر بأنها "هي طريقة تقديم المفاهيم العلمية بواسطة المُماثلة بين شيء غير مألوف (المُشبهه) بشيء آخر مألوف (المُشبهه به) يسهل فهمه لوجود عُنصر تماثل بينهما".[٢٦] تتخذ إستراتيجية التناظر مجموعة من الخطوات المُتعاقبة بدءاً من تحديد المُشكلة مروراً بإسترجاع نطاق المصدر وتحليل أو تجريد المبادىء المُتشابهة إستعداداً لنقلها من مجال المصدر إلي الهدف (مرحلة النقل التناظري) وصولاً إلي مرحلة تقييم الحل،[٢٧] كما هو موضح في **(شكل ٧)**.

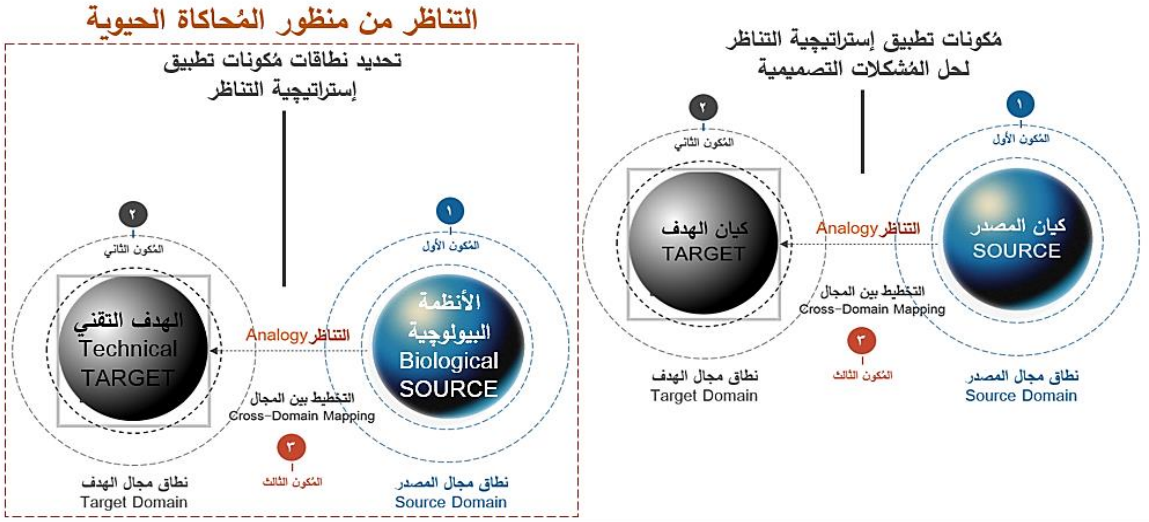


شكل ٧: يوضح خطوات تطبيق إستراتيجية التناظر لحل المُشكلات التصميمية. المصدر: (سالجويردو وهاتشويل - ٢٠١٦م)[٢٧]

١-٣-٢. نُهج المُحاكاة الحيوية من منظور إستراتيچية التناظر لحل المُشكلات التصميمية.

١-٣-٢-١. إستراتيچية التناظر من منظور المُحاكاة الحيوية.

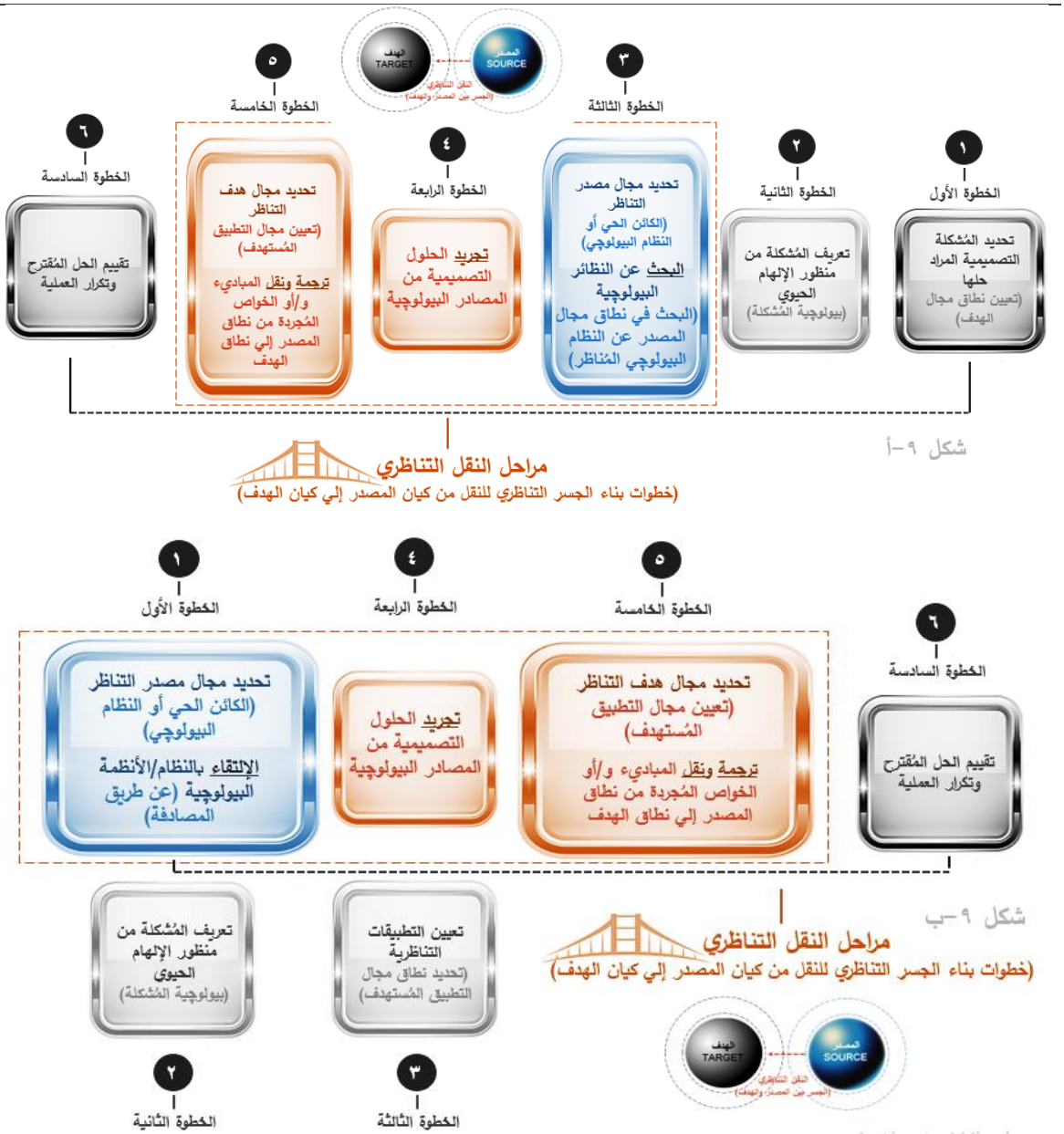
تستند نُهج المُحاكاة الحيوية بشكل رئيسي على تطبيق إستراتيچية التناظر حيث نقل الظواهر البيولوچية من مجال المصدر المُتمثل في الأنظمة الإيكولوچية إلي مجال التطبيق المُستهدف (قد يكون مجال تقني أو تصميم) **(شكل ٨)**، وذلك من أجل تقديم المزيد من الحلول المُبتكرة والمُستدامة للتحديات البشرية سواء أكانت هندسية أو تكنولوچية.[٢٨]



شكل ٨: يوضح المُكونات الرئيسية لتطبيق إستراتيچية التناظر في حل المُشكلات التصميمية من منظور المُحاكاة الحيوية. المصدر: (رسم الباحث، بالرجوع إلي مرجع: سمر علام - ٢٠١٠م)[٢٣]

١-٣-٢-٢. نُهج المُحاكاة الحيوية في ظل تطبيق إستراتيچية التناظر.

نستنتج من البند السابق، أن المُحاكاة الحيوية هي بمثابة عملية نقل تناظري للمعرفة من علم الأحياء "البيولوچيا" كمصدر إلي التكنولوچيا أو التصميم كـهدف، وبالتالي فهي تبني جسر تقاربي بين نطاقين مُتباعدين مُتضمنه مجموعة من الأطوار المُتعاقبة التى تُصيغ الإطار المُحدد لتطبيق المُحاكاة الحيوية بدءاً من طور **البحث عن النظائر البيولوچية** ثم **التجريد** مروراً بـ **النقل** ووصولاً لـ **التطبيق**. أشارت دراسة سالجويردو وهاتشويل (عام ٢٠١٦م) أن للمُحاكاة الحيوية إتجاهين (مسارين) من منظور تطبيق إستراتيچية التناظر؛ حيث تُمثل تلك الإتجاهات الدوافع وراء تطبيق التناظر بين الطبيعة والتصميم.[٢٧][٣١] في حالة تحفيز النقل التناظري بواسطة مُشكلة تصميمية يتطلب حلها فإن عملية المُحاكاة الحيوية تتبع النهج أو المسار المُباشر. وفي المُقابل إذا سمحت ظاهرة بيولوجية بتحديد مشكلة التصميم التي يمكن حلها بواسطة مماثلة هذة الظاهرة فإن عملية المُحاكاة الحيوية تتبع النهج أو المسار غير المُباشر،[١٣][١٤][٢٩] كما هو موضح في **(شكل ٩)**.



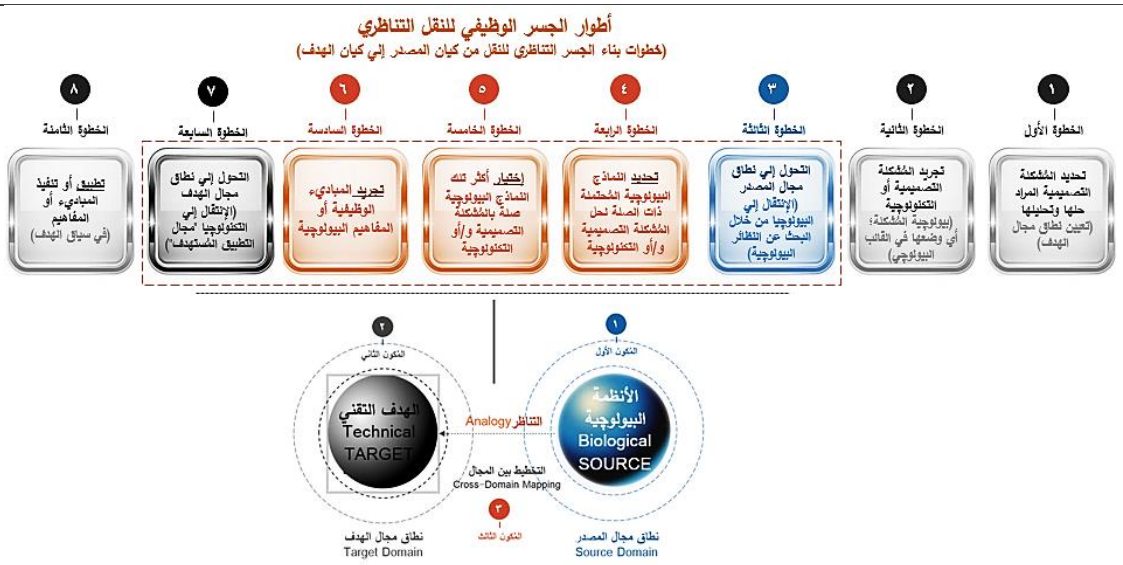
شكل ٩: يوضح شكل أ: مراحل النقل التناظري لعملية المحاكاة الحيوية التى تتبع المسار المباشر، بينما يوضح شكل ب: مراحل النقل التناظري لعملية المحاكاة الحيوية التى تتبع المسار غير المباشر. **المصدر: (رسم الباحث، بالرجوع إلي مرجع: كوهين وريتش - ٢٠١٦م)**[١٤]

قدمت دراسة بادارنة وكادري (عام ٢٠١٤م) مُقارنة بين الخطوات الرئيسية للنقل التناظري خلال مساري المُحاكاة الحيوية، تتلخص نتائج تلك المُقارنة في **(جدول ٤)**،[٣٠] فجاءت النتائج مؤكدةً على أن مرحلتي البحث عن النظائر البيولوجية وتجريد ثم نقل المبادىء أو الخواص من المصدر إلي المجال المُستهدف بؤرتين رئيسيتين في مراحل تطبيق إستراتيجية التناظر في التصميم المُستوحي بيولوجياً.[٢٧][٣٢]

النهج المُباشر (دراسة: بادرانة وكادري – ٢٠١٤م)		النهج غير المُباشر (دراسة: بادرانة وكادري – ٢٠١٤م)	
الخطوة العامة الأولي - ١	تعريف المشكلة.	الخطوة العامة الأولي - ١	مجال المصدر البيولوجي.
الخطوة العامة الثانية - ٢	مراحل النقل التناظري.	الخطوة العامة الثانية - ٢	إستكشاف الوظيفة والتحقق منها؛ التجريد والنقل.
الخطوة العامة الثالثة - ٣	مجال التطبيق المُستهدف.	الخطوة العامة الثالثة - ٣	المُحاكاة.

جدول ٤: يوضح مُقارنة بين الخطوات العامة للمسار المُباشر والغير مُباشر لعمليات المُحاكاة الحيوية وفقاً لما ورد في دراسة بادرانة وكادري – عام ٢٠١٤م). المصدر: (رسم الباحث، بالرجوع إلي مرجع: بادرانة وكادري - ٢٠١٤م)[٣٣]

مما سبق نستخلص، أن الخطوات العملية (الإجرائية) لتطبيق التناظرات البيولوجية في نُهج المُحاكاة الحيوية تتلخص في الآتي: صياغة أهداف البحث – البحث عن التناظرات البيولوجية – تحليل التناظرات البيولوجية والتجريد – النقل التناظري.[*][٣٢] وبالتالي نُلاحظ أن تفعيل إستراتيجية التناظر في مساري المُحاكاة الحيوية يتمركز حول أطوار (مراحل) النقل التناظري لوظائف وعمليات الأنظمة البيولوجية وهو ما يُطلق عليه **جسر نقل الوظائف "الجسر الوظيفي للنقل"**، حيث **إستخراج/تجريد**، **نقل** و**تطبيق** المفاهيم الوظيفية والمبادىء المُكتسبة من النماذج البيولوجية (مجال المصدر) إلي مجال التطبيق المُستهدف (التكنولوجيا أو العمارة)[*][٣٣]، كما هو موضح في **(شكل ١٠)**. (* **المصدر: إستنتاج الباحث** وفقاً لما ورد في مرجع[٣٢] ومرجع[٣٣])



شكل ١٠: يوضح مراحل تطبيق الجسر الوظيفي للنقل التناظري في نُهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية. المصدر: (رسم الباحث، بالرجوع إلي مرجع: سارتوري وتشاكرابارتي - ٢٠١٠م)[٣٢] و(كروبير وآخرون – ٢٠١٧م) [٣٣] و(كريستينا وآخرون - ٢٠١٧م) [٣٤]

٢. الإطار التحليلي للبحث (الدراسة التحليلية):

بعد أن تم إستنتاج الخطوات الإجرائية لتطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية القائم على حل المُشكلات التكنولوجية و/أو التصميمية والمُستند بشكل رئيسي على أطوار النقل التناظري لإستراتيجية التناظر، يُمكننا من خلال الدراسة التحليلية للبحث أن نختبر مدى كفاءة تطبيق تلك الخطوات المُمنهجة للمُحاكاة الحيوية المُستندة على إستراتيجية التناظر في حل المُشكلات التصميمية (التصميم المعماري والداخلي) ودراسة مردودها على تحقيق الإستدامة البيئية من منظور التصميم التجديدي. لذلك تتحقق الدراسة التحليلية من أن لتطبيق المسار المُباشر للمُحاكاة الحيوية - كإستراتيجية تناظرية - القُدرة على تعزيز الكفاءة الأدائية للبيئة المبنية من منظور الكفاءة الهيكلية، ترشيد إستهلاك الطاقة وإدارة النفايات ... ومن ثم تُشكل المباني جُزءاً لا يتجزأ من النظام الإيكولوجي للعالم الحي.

٢-١. إختبار تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في التصميم المعماري والداخلي.

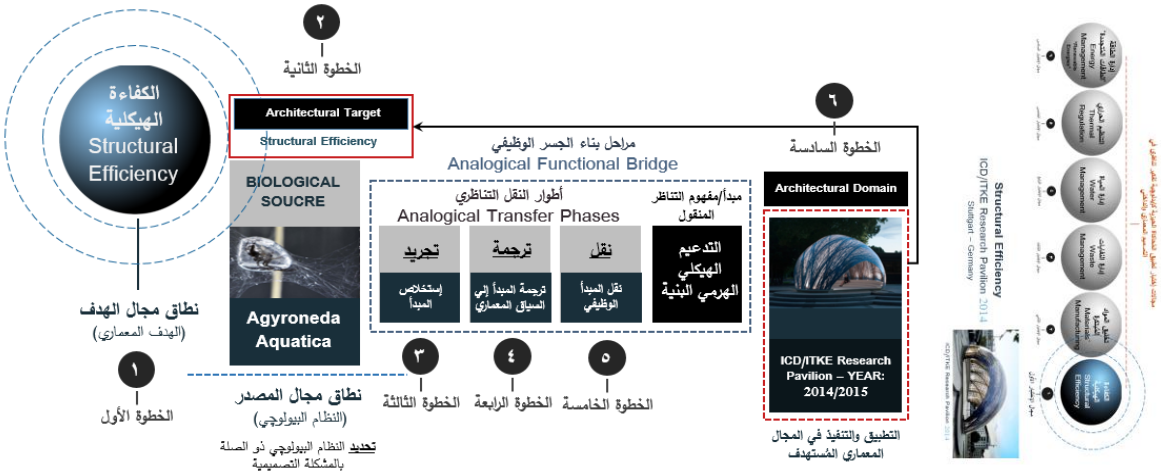
يُعد للمُحاكاة الحيوية المُستندة على التفكير التناظري دوراً كبيراً في تفعيل مفهوم التكيُف في **العمارة البيئية** فضلاً عن تلبية مُتطلبات **التصميم الداخلي** المُستدام. وفيما يلي يتم إختبار مدى كفاءة تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوجية تفكير تناظري في الهندسة المعمارية عبر عدة نطاقات تطبيق مُتضمنة: **الكفاءة الهيكلية – تخليق المواد - إدارة النفايات - إدارة المياة – التنظيم الحراري - إدارة الطاقة** وتوليد الطاقات المُتجددة،[٣٥][٣٦] وذلك من خلال دراسة تحليلية لمجموعة من المشروعات المعمارية التى تضمنت تطبيق تلك الإستراتيجية التناظرية للمُحاكاة الحيوية من أجل تحقيق كفاءة الموارد والطاقة، وتحسين هياكل ووظائف البيئة المبنية.

٢-١-١. مجال الإختبار الأول: الهياكل البنائية "الكفاءة الهيكلية" Structural Efficiency.

في الطبيعة لايوجد فصل بين المادة والهيكل، حيث أنه في الهياكل الطبيعية تشتق القوة من البنية المورفولوجية للتشكيل وليس من الكتلة الحجمية للمادة، كما تتراكم المواد في مواقع الإجهاد "مواضع إحتياج القوة فقط دون غيرها بحيث تقل في المواضع الأُخري". في الطبيعة يُعد "الشكل" هو نتيجة المُتطلبات الوظيفية التي تلبيها "البنية"، والتي لا يمكن فصلها عن "المادة".[٣٦]

٢-١-١-١. تحليل مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال البنية الهيكلية.

يوضح **(شكل ١١)** تطبيق مراحل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية المُستندة على التفكير التناظري في حل المُشكلات التصميمية المُتعلقة بالبنية الهيكلية لتحسين الكفاءة الهيكلية للتصميم المعماري.



شكل ١١: يوضح مراحل تطبيق النَهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في التصميم المعماري لتحسين الكفاءة الهيكلية.

المصدر: رسم الباحث، وفقاً لما ورد في دراسة (عامر وآخرون - ٢٠٢٠م) [٣٧]

٢-١-١-٢. مثال تطبيقي على تفعيل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال البنية الهيكلية.

المثال التطبيقي الأول: لتفعيل المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في مجـــال البنية الهيكلية

ICD/ITKE Research Pavilion – YEAR: 2014/2015 [٣٨]

إسم المشروع: جناح ICD/ITKE Research Pavilion 2014/2015	**المهندسين المعماريين:** البروفيسور أكيم مينجز Jan (ICD) Achim Menges، جان كنيبرز (ITKE) Knippers	**الموقع:** شتوتجارت، ألمانيا - **سنة المشروع:** ٢٠١٥م.

تحليل المشروع من منظور تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري

PROJECT ANALYSIS

المفهوم التصميمي: يستند المفهوم التصميمي على دراسة عمليات البناء البيولوجية للهياكل المقواه بالألياف، التى تتشكل بطريقة مادية عالية الفعالية ومُتكاملة وظيفياً. في هذا الصدد، أثبتت عملية بناء الشباك لعنكبوت الماء الجرس (Agyroneda Aquatica) أنها ذات أهمية خاصة، مما دفع لتحليل الأنماط السلوكية وقواعد التصميم الخاصة بها لإستخلاصها ونقلها إلى عملية تصنيع تكنولوچية.[٣٥][٣٦][٣٨]

مصدر التناظر البيولوچي: آليات تصنيع العناكب لشباكها (عنكبوت الجرس الغاطس أو عنكبوت الماء Agyroneda Aquatica).

هدف التناظر التكنولوچي: تخليق بنية هيكلية مُتكاملة وظيفياً وأكثر كفاءة في إستخدام المواد.

البنية الهيكلية البيولوچية (الخاصية المنقولة من البيولوچيا إلى التكنولوچيا): تبني العناكب شبكة على شكل شريحة أفقية توضع تحتها فقاعة الهواء، حيث يتم تعزيز فقاعة الهواء عن طريق وضع ترتيب هرمي للألياف من الداخل، مما ينتج عنه بنية مُستقرة يمكنها تحمل الضغوط الميكانيكية، مثل تغيير التيارات المائية لتوفير بيئة آمنة ومُستقرة للعنكبوت. [٣٨]

النقل التناظري من المصدر البيولوچي إلى الهدف التكنولوچي: يستند تطبيق النقل التناظري على تعزيز آليات التصنيع الرقمي والروبوت في تشييد البنية الهيكلية للجناح، حيث تم وضع روبوت صناعي داخل غلاف مُكون من غشاء مدعوم بالهواء المضغوط المصنوع من المادة إيثيلين رباعي فلورو الإيثيلين Ethylene Tetra-fluoroethylene (**ETFE**). تُدعم القشرة الخارجية للجناح بفعل الهواء المضغوط بينما يتم تقوية البنية الهيكلية من الداخل آلياً بألياف الكربون، وبشكل تدريجي لتصنيع هيكل قائم على الدعم الذاتي مُناظرة بذلك البنية الهيكلية في الأنظمة البيولوچية حيث يتم تطبيق ألياف الكربون بشكل إنتقائي للتعزيز الهيكلي فقط، بينما يتم إستخدام القوالب الهوائية في الوقت ذاته كجلد بناء مُتكامل وظيفياً مما ينتج عن هذا عملية بناء فعالة من حيث الموارد والكفاءة الهيكلية.[٣٥][٣٦][٣٨]

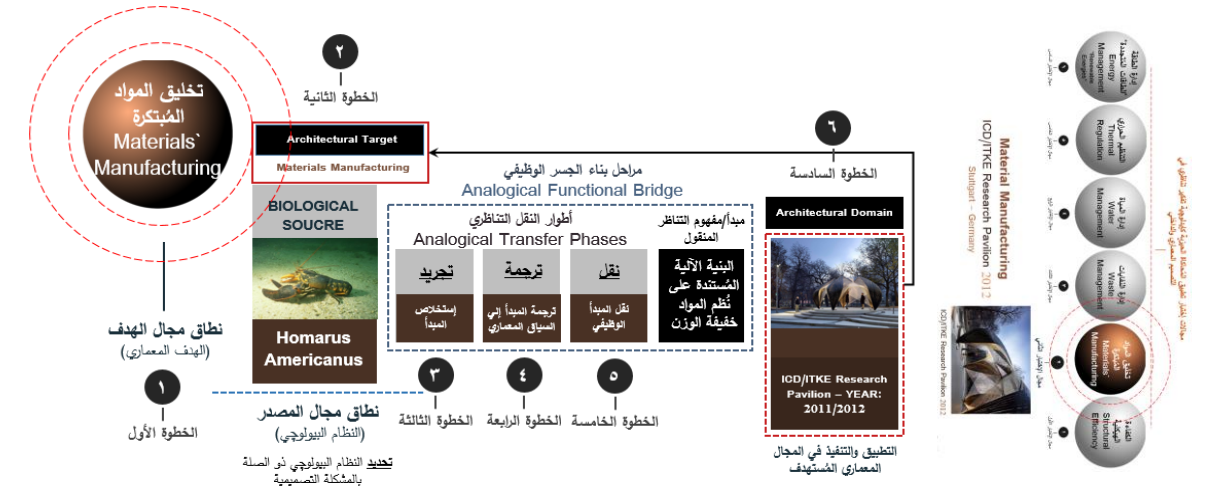
شكل ١٢: يوضح تصميم وتصنيع جناح ICD/ITKE لعام ٢٠١٤م بإستخدام برامج الحاسوب. المصدر: (الموقع الإلكتروني: https://www.archdaily.com/770516/icd-itke-research-pavilion-2014-15-icd-itke-university-of-stuttgart, تاريخ الدخول على الموقع ٦ يناير ٢٠٢٢م)[٣٨]

٢-١-٢. مجال الإختبار الثاني: تخليق المواد المُبتكرة Innovative Materials Synthesis.

في الطبيعة لا توجد نفايات، كل المواد هي جزء من دورة لا نهاية لها من الإستخدام وإعادة الإستخدام من قبل الكائنات الحية والعمليات الطبيعية. وتتسم العمليات المادية في الطبيعة بكونها قابلة لإعادة التدوير، بالإضافة إلى أنها تعمل بمواد يسهل تصنيعها وإعادة تدويرها في الظروف المُحيطة، كما تتميز العديد من المواد الطبيعية بأنها تتفاعل مع التغيرات في بيئتها بدون أجهزة إستشعار أو معالجات أو مشغلات إلكترونية. يُعد التحول من الطريقة الخطية والمهدرة والملوثة لإستخدام الموارد إلى نموذج الحلقة المغلقة أحد التحولات الأساسية التي سنحتاج إليها للوصول إلى بنية مُستدامة.[٣٥]

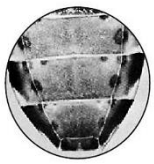
٢-١-٢-١. تحليل مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال تخليق وتصنيع المواد المُبتكرة.

يوضح **(شكل ١٣)** تطبيق مراحل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية المُستندة على التفكير التناظري في حل المُشكلات التصميمية المُتعلقة بتخليق المواد المُبتكرة لتحسين العمليات المادية في مجال المعماري والتكنولوچي.



شكل ١٣: يوضح مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في التصميم المعماري لتخليق و/أو تصنيع مواد مُبتكرة لا ينتج عنها أي مُخلفات أو نفايات. المصدر: رسم الباحث، وفقاً لما ورد في دراسة (عامر وآخرون - ٢٠٢٠م) [٣٧]

٢-١-٢-٢. مثال تطبيقي على تفعيل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال تصنيع المواد المُبتكرة.

<table>
<tr><td colspan="3"><u>المثال التطبيقي الثاني:</u> لتفعيل المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في <u>مجـــال</u> <u>تخليق المواد</u>
ICD/ITKE Research Pavilion – YEAR: 2012 [٣٩]</td></tr>
<tr><td>إسم المشروع: جناح ICD/ITKE Research Pavilion 2012</td><td>المهندسين المعماريين: كلية العمارة والتخطيط العمراني، جامعة شتوتجارت Faculty of Architecture & Urban Planning, University of Stuttgart</td><td>الموقع: شتوتجارت Stuttgart، ألمانيا Germany - سنة المشروع: ٢٠١٢م.</td></tr>
<tr><td colspan="2"><u>تحليل المشروع</u> من منظور تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري
<u>PROJECT</u> ANALYSIS</td><td rowspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">المفهوم التصميمي: يستند المفهوم التصميمي على تطوير عملية تصنيع روبوتية مُبتكرة في سياق صناعة البناء قائمة على أساس لف خيوط الكربون والألياف الزجاجية وأدوات التصميم الحسابية ذات الصلة، وذلك بفعل تطبيق طرق المُحاكاة لتخليق بنية هيكلية لجناحاً بحثياً مصنوعًا آلياً من مركبات الكربون والألياف الزجاجية. المُحاكاة الحيوية والعمليات الجديدة للإنتاج الآلي.[٣٩]</td></tr>
<tr><td colspan="3">مصدر التناظر البيولوچي: المبادئ المادية والمورفولوچية للهياكل الخارجية للمفصليات (مفصليات الأرجُل) Arthropods’ Exoskeletons، بصفة خاصة الهيكل الخارجي لروبيان "الكركند" The Lobster (Homarus americanus).
 
هدف التناظر التكنولوچي: تقديم إحتمالات بنائية هيكلية جديدة New Tectonic Possibilities في الهندسة المعمارية تستند على مُحاكاة عمليات البناء في الطبيعة.</td></tr>
</table>

(شرح للنموذج البيولوچي) يتكون الهيكل الخارجي للكركند (المُتمثل في البشرة The Cuticle) من جزء داخلي رخو يُعرف بـ Endocuticle، وطبقة خارجية صلبة نسبياً تُعرف بـ Exocuticle. إن البشرة هي نتاج إفراز يتم فيه دمج ألياف الكيتين في مصفوفة بروتينية. دمج ألياف الكيتين في المصفوفة عن طريق تكوين طبقات فردية أحادية الإتجاه. في المناطق التي تتطلب نقل حمل غير اتجاهي، يتم تصفيح هذه الطبقات الفردية معاً في ترتيب حلزوني. يسمح هيكل الألياف بتوزيع موحد للحمل في كل إتجاه. من ناحية أخرى، تُظهر المناطق التي تخضع لتوزيعات الإجهاد الإتجاهي بنية طبقة أُحادية الإتجاه، وتعرض مجموعة ألياف مُتباينة الخواص تم تحسينها لنقل الحمل الموجه. ترجع الكفاءة العالية والتنوع الوظيفي للبشرة إلى مجموعة محددة من شكل الهيكل الخارجي واتجاه الألياف والمصفوفة.

النقل التناظري من المصدر البيولوچي إلى الهدف التكنولوچي: يستند تطبيق النقل التناظري على تعزيز نقل كُل من الخواص البنائية والتركيبية الآتية: (١) عدم التجانس – (٢) التدرج (التسلسل الهرمي) - (٣) تكامل الوظيفة. ينتُج عن هذا التمايز المادي الموضعي خلق قشرة هيكلية عالية الكفاءة وأكثر فعالية. تشكل المبادئ المورفولوچية المجردة لتوجية الألياف المُتكيف محلياً الأساس لتوليد الشكل الحسابي وتصميم المواد وعملية التصنيع للجناح. تم تطبيق هذه المبادئ على تصميم هيكل غلاف آلي يعتمد على نظام مركب من الألياف يتم فيه وضع الزجاج المشبع بالراتنج وألياف الكربون بشكل مستمر بواسطة روبوت، مما أدى إلى بنية مركبة ذات إتجاه ألياف محدد، تم أيضاً دمج مستشعرات الألياف الضوئية، التي تراقب بشكل مستمر تغيرات الإجهاد والانفعال في الهيكل. فقد سمح تكامل طرق إنشاء النموذج، والمحاكاة الحسابية والتصنيع الآلي على وجه التحديد بتطوير هيكل عالي الأداء.[٣٥][٣٦][٣٩]

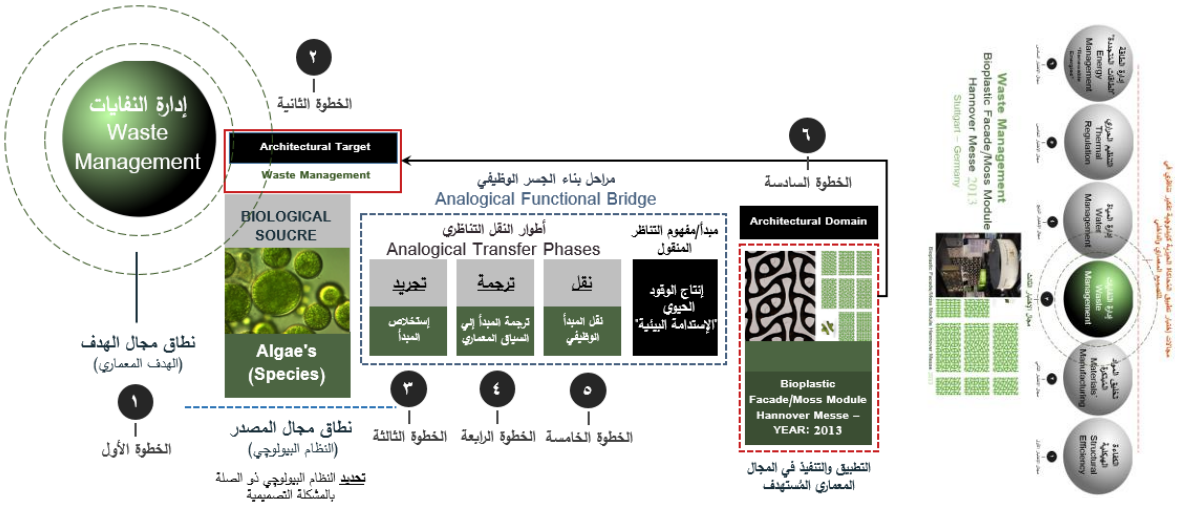
شكل ١٤: يوضح تصميم وتصنيع جناح ICD/ITKE لعام ٢٠١٢م بإستخدام الروبوتات الآلية المُبرمجة حاسوبياً. المصدر: (الموقع الإلكتروني: https://www.archdaily.com/340374/icditke-research-pavilion-university-of-stuttgart-faculty-of-architecture-and-urban-planning - تاريخ الدخول على الموقع ٦ يناير ٢٠٢٢م)[٣٩]

٢-١-٣. مجال الإختبار الثالث: إدارة النفايات Wastes Management.

يتعلق هذا المجال التطبيقي بإحداث تحول جذري في إدارة النفايات من النموذج الخطي إلى نموذج الحلقة المغلقة عن طريق إدخال مواد يُمكن إعادة تدويرها وإعادة إستخدامها.

٢-١-٣-١. تحليل مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال إدارة النفايات.

يوضح **(شكل ١٥)** تطبيق مراحل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية المُستندة على التفكير التناظري في حل المُشكلات التصميمية المُتعلقة بإدارة النفايات.



شكل ١٥: يوضح مراحل تطبيق النَهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في التصميم المعماري من أجل إدارة النفايات ضمن نظام الحلقة المُغلقة. المصدر: رسم الباحث، وفقاً لما ورد في دراسة (عامر وآخرون - ٢٠٢٠م) [٣٧]

٢-١-٣-٢. مثال تطبيقي على تفعيل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال إدارة النفايات.

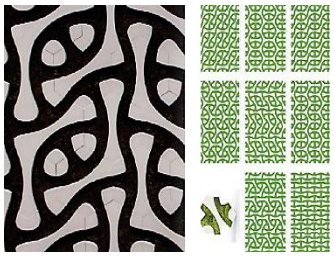
المثال التطبيقي الثالث: لتفعيل المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في مجـــال إدارة النفايات

Bioplastic Facade / Moss Module Hannover Messe – YEAR: 2013 [٣٥]

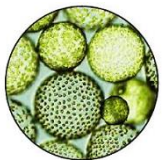
إسم المشروع: الواجهة الحيوية Bioplastic moss module.	**المهندسين المعماريين:** يوردان دوموزوف Yordan Domuzov معهد الهياكل الداعمة والتصميم الإنشائي - جامعة شتوتجارت University of Stuttgart.
الموقع: شتوتجارت Stuttgart، ألمانيا Germany - **سنة المشروع:** ٢٠١٣م.	

تحليل المشروع من منظور تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري

PROJECT ANALYSIS



وصف المشروع: كجزء من مشروع ممول من قبل الصندوق الأوروبي للتنمية الإقليمية The European Regional Development Fund(ERDF)، يتم تطوير المنتجات المصنوعة من البلاستيك الحيوي من أجل تكسية داخلية وخارجية عالية الجودة في المباني من خلال تقديم الواجهة الحيوية المُكونة من وحدات تتضمن الطحالب المعروضة في معرض هانوفر.[٣٥]

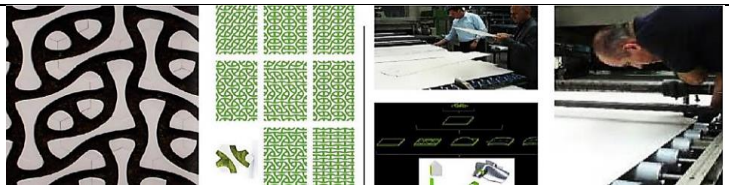


مصدر التناظر البيولوچي: الطحالب.

هدف التناظر التكنولوچي: تقديم إمكانيات جديدة لواجهات المدينة الداخلية القائمة على أساس حيوي في الشوارع المزدحمة.

آليه إدارة النفايات (المنقولة من البيولوچيا إلى التكنولوچيا): لهذا الغرض، يتم بثق الألواح المصنوعة من المواد الحيوية، وهي مُناسبة للتطبيقات الخارجية دون أي طلاءات أخرى، وبالتالي يمكن إعادة تدويرها والتخلص منها بطريقة محايدة لثاني أكسيد الكربون. يمكن أيضاً تشكيل الألواح حرارياً بشكل ثلاثي الأبعاد،

لإمكانية تطبيقها في تكسية الواجهات المُستدامة للأسطح ذات الشكل الحر مُستقبلياً. تتميز تلك الألواح بأنها ذات مستوى عالٍ من إمتصاص الصوت، ومُنخفضة التكاليف (تكاليف الصيانة). [٣٥]



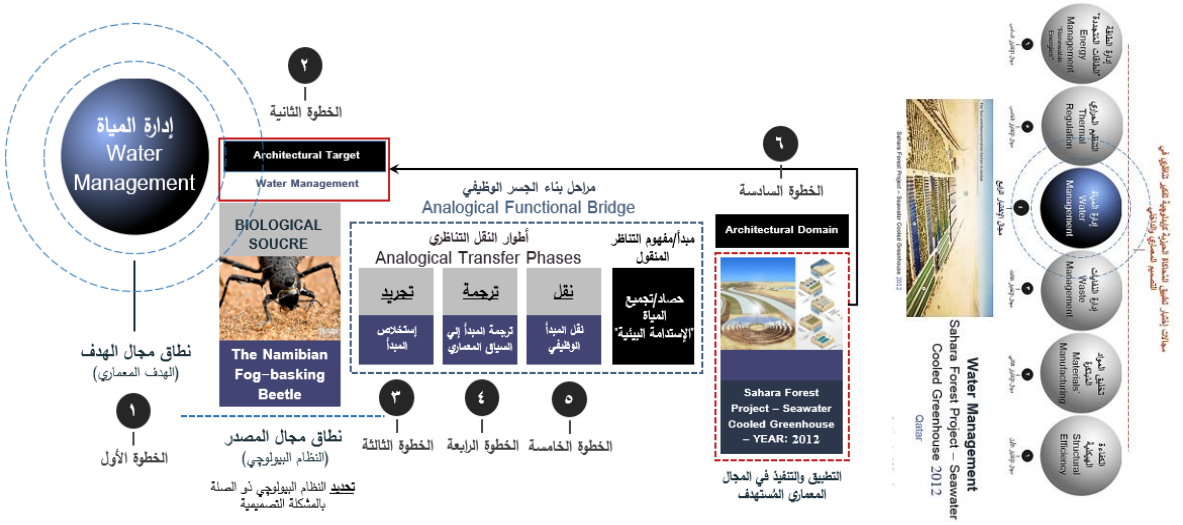
شكل ١٦: يوضح تصميم وتصنيع واجهة مُتكونة من مجموعة من الوحدات الحاوية للكائنات الحية الدقيقة (طُحلب: هانوفر ميسي). **المصدر:** (نورمانوفيتش وليوردان – ٢٠١٦م)[٣٥]

٢-١-٤. مجال الإختبار الرابع: إدارة المياة Water Management.

يتعلق هذا المجال بآليات إدارة المياة في مناطق المُناخ الجاف، حيث يرتبط المُناخ الجاف بمكاسب عالية من الطاقة الشمسية التى تتطلب إدارتها لتقليل فقد المياة بالتبخر. تتبلور **إستراتيجيات إدارة المياة بالنسبة للهندسة المعمارية** في عمليات: **تخزين أو تجميع مياة الأمطار – إدارة/مُعالجة مياة العواصف – مُعالجة وإعادة إستخدام المياة الرمادية والسوداء.**[٣٦]

٢-١-٤-١. تحليل مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال إدارة المياة.

يوضح **(شكل ١٧)** تطبيق مراحل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية المُستندة على التفكير التناظري في حل المُشكلات التصميمية المُتعلقة بإدارة المياة.



شكل ١٧: يوضح مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية كإيدلوجية تفكير تناظري في التصميم المعماري من أجل إدارة المياة ضمن نظام الحلقة المُغلقة لمُعالجة المياة الرمادية والسوداء لإعادة الإستخدام. المصدر: رسم الباحث، وفقاً لدراسة (عامر وآخرون - ٢٠٢٠م) [٣٧]

٢-١-٤-٢. مثال تطبيقي على تفعيل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال إدارة المياة.

المثال التطبيقي الرابع: لتفعيل المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في مجـــال إدارة المياة **Sahara Forest Project – Seawater Cooled Greenhouse – YEAR: 2012**		
إسم المشروع: يشمل "مشروع غابة الصحراء Sahara Forest Project" - الصوبات القائمة على مياة البحر.	**المُهندسين المعماريين:** إستديو التصميم Exploration Architecture.	**الموقع:** قطر Qatar - **سنة المشروع:** ٢٠١٢م.
تحليل المشروع من منظور تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري **PROJECT ANALYSIS** **الهدف وراء إقامة المشروع:** يُخطط مشروع غابة الصحراء لمواجهة تحديات مثل المياة النظيفة والطاقة النظيفة والإنتاج الغذائي المُستدام - بإستخدام تكنولوجيا جديدة تماماً. مشروع غابات الصحراء (SFP) لديه رؤية لخلق إنتاج مربح من الغذاء والمياة والكهرباء النظيفة والكتلة الحيوية في المناطق الصحراوية.		
مصدر التناظر البيولوچي: تُحاكي البيوت الزُجاجية المُبردة بمياة البحر الظروف التي تحصد بها خنفساء الناميبية The Namibian Fog-basking Beetle. **هدف التناظر التكنولوچي:** "يكمُن الهدف من مشروع غابات الصحراء في تطوير ونشر نظام متكامل واسع النطاق لإعادة التشجير وخلق فرص عمل خضراء من خلال الإنتاج المربح للغذاء والمياة العذبة والوقود الحيوي والكهرباء. والنتيجة هي: النمو التصالحي". **عمليات إدارة المياة (المنقولة من البيولوچيا إلى التكنولوچيا)**: تُمثل خاصية الأنظمة البيئية التي تتسم بالتجديد دافعاً قوياً للفريق سعياً للوصول إلى حلول تتجاوز "الإستدامة" بإتجاه "الإصلاح التجديدي". تتمثل أحد المبادئ الأساسية للمُحاكاة الحيوية في الجمع بين التقنيات التي أثبتت جدواها وإستكشاف التعايش المُحتمل بينهما. يزداد تبخر مياه البحر لخلق رطوبة أعلى ثم يتم إنشاء مساحة كبيرة للتكثيف. يتم تحويل المياة المالحة إلى مياة عذبة فقط بإستخدام الشمس والرياح وكمية صغيرة من طاقة الضخ. يعمل مفهوم مشروع غابة الصحراء على تحسين أوجه التآزر بين التقنيات البيئية الحالية والمثبتة لجعل النمو الإصلاحي مربحاً إقتصادياً وبيئياً. من المُفترض أن توفر هذة المنشأة التجريبية أول دليل على أوجه التآزر هذه على نطاق واسع، وتوفر منصة بحثية فريدة لتطوير وإثبات استراتيجيات جديدة لتوفير الغذاء والمياة العذبة والطاقة النظيفة في البيئات الصحراوية. إن العمل الذي تم إنجازه في المشروع التجريبي لمشروع غابة الصحراء في قطر من قبل يارا وقافكو وموظفي البحث في مشروع غابة الصحراء وأعضاء شبكة دولية كبيرة من المتعاونين العلميين، سيضع أسساً علمية سليمة لتحقيق النمو التصالحي في قطر والصحاري في جميع أنحاء العالم.[٣٥]		

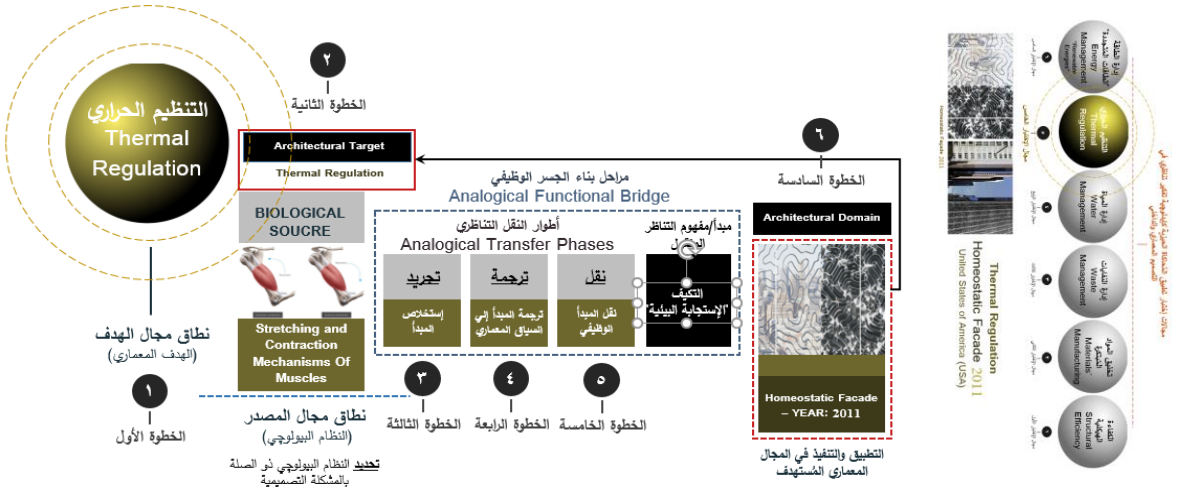
٢-١-٥. مجال الإختبار الخامس: التنظيم الحراري Thermal Regulation.

يُعد التنظيم الحراري أحد أهم مُكونات تحقيق التوازن في المباني. عادةً ما يتم تصميم المبنى من وجهة نظر تنظيم الحرارة إما عن طريق توجيه التصميم أو من خلال أنظمة المغلف (غُلاف المبني) التي يُمكن أن تُخفف تباينات درجات الحرارة، فلابد من إستخدام طاقة أقل لموازنة الظروف الداخلية ميكانيكياً أو كهربائياً. وهذا يعني التحول في إستخدام الطاقة من الأنظمة النشطة إلى الأنظمة السلبية، من الأمثلة الكلاسيكية على الإلهام الحيوي للتبريد هو مركز إيستجيت في هراري-زيمبابوي، بواسطة المعماري ميك بيرس وأروب (عام ١٩٩٦م)، المستوحى من النمل الأبيض. فمن المُحتمل أن تتطور

جلود البناء إلى أنظمة معقدة تشبه الكائنات الحية، وهو ما نص عليه روبرت سور، أن الإتجاه الذي نحتاج أن نسير فيه هو **"تصميم المباني التي تُناظر الكائنات الحية، حيث تذوب الوظيفة والهيكل"**.[٣٦]

٢-١-٥-١. تحليل مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال التنظيم والتوازن الحراري.

يوضح **(شكل ١٨)** تطبيق مراحل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية المُستندة على التفكير التناظري في حل المُشكلات التصميمية المُتعلقة بتحقيق التوازن الحراري للبيئة الداخلية (التنظيم الحراري للحيزات الداخلية).



شكل ١٨: يوضح مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية كإيدلوجية تفكير تناظري في التصميم المعماري من أجل تحقيق التوازن الحراري بداخل المباني. المصدر: رسم الباحث، وفقاً لدراسة (عامر وآخرون - ٢٠٢٠م) [٣٧]

٢-١-٥-٢. مثال تطبيقي على تفعيل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال التنظيم الحراري.

المثال التطبيقي الخامس: لتفعيل المُحاكاة الحيوية كإيدلوجية تفكير تناظري في مجـــال التنظيم الحراري **Homeostatic Facade – YEAR: 2011**[٤٠]		
إسم المشروع: نظام الواجهات ذاتي التنظيم الحراري Self-regulating Homeostatic Façade System.	**المُهندسين المعماريين:** ديكر يدون Decker Yeadon.	**الموقع:** الولايات المُتحدة الأمريكية - **سنة المشروع:** ٢٠١١م.
تحليل المشروع من منظور تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوجية تفكير تناظري **PROJECT ANALYSIS**		
وصف المشروع: تُعتبر الواجهة Homeostatic Facade بمثابة نظام لجلود المباني التكيُفية التى يُمكنها تنظيم درجة الحرارة الداخلية عن طريق التمدد والتقلص مثل العضلات، يفتح ويغلق بشكل مُستقل إستجابة للتغيرات في درجة حرارة الغرفة الداخلية. تُعتبر تلك الواجهة بمثابة تطور واضح في الأنظمة ذاتية الإستجابة مع مُتغيرات البيئة؛ حيث تتحكم في إكتساب الحرارة الشمسية وتقليل إستهلاك الطاقة في المناخات ذات الإختلاف الكبير في درجات الحرارة.[٤٠]		
المفهوم التصميمي: يستند المفهوم التصميمي للواجهة في التوجه لتفعيل الإستدامة البيئية من منظور تصميم أغلفة المباني، وذلك من خلال تصميم واجهة تُحقق التوازن الحراري للمبني والراحة الحرارية لقاطنيه.		

مصدر التناظر البيولوجي: آليات التنظيم الحراري لدى الكائنات الحية المُتمثلة في عملية التوازن الداخلي (الإستتباب Homeostasis). يُناظر نظام الواجهة آليات التمدُد والتقلص للعضلات؛ مما يُمكن النظام من تنظيم فقدان الحرارة وكسبها تلقائياً، الذي يكون له مردود واضح على توفير الطاقة.

هدف التناظر التكنولوجي: يستند المفهوم التصميمي على إنشاء واجهة ذات نظام ضبط ذاتي التشغيل يتكيف مع مُتغيرات البيئة الخارجية، مثل ضوء الشمس وتغيرات درجة الحرارة. يعمل نظام الواجهة على مُناظرة مبادئ طبيعية في الحفاظ على الظروف الداخلية حيث يُناظر الأداء الوظيفي للعضلات من خلال نقل آليات التمدد والإنكماش للنظام البيولوجي.

عمليات التنظيم الحراري (المنقولة من البيولوجيا إلى التكنولوجيا): يتألف غُلاف الواجهة المُزدوج من جدران زجاجية مزدوجة مع تجويف هواء مدمج يُمثل وسيلة تظليل ذاتية التشغيل. يُستخدم شريط Ribbon مُصمم هندسياً على شكل دوامة بداخل تجويف الواجهة الزجاجية مُزدوجة الجلد. وهذا الشريط مصنوع من اللدائن العازلة للكهرباء (بوليمر شبيه بالمطاط) Dielecteric Elastomers، وهى عبارة عن مواد بوليمرية يمكن إستقطابها عن طريق تطبيق تيار كهربائي، حيث أن كلا الجانبين من المادة العازلة للكهرباء مطليان بأقطاب فضية Silver Electrodes؛ كي تعكس الضوء، وتوزع أيضًا الشحنة الكهربائية عبر المادة مما يتسبب في حدوث تغيير في حجم المواد البوليمرية النشطة كهربائياً (- مثلما تؤدي الإشارات الكهربائية إلى تقلص العضلات)، مما يُساعد في التحكم و/أو تنظيم درجة الحرارة بداخل المبنى عن طريق ضبط درجة الشفافية "توفير التظليل".[٤٠]

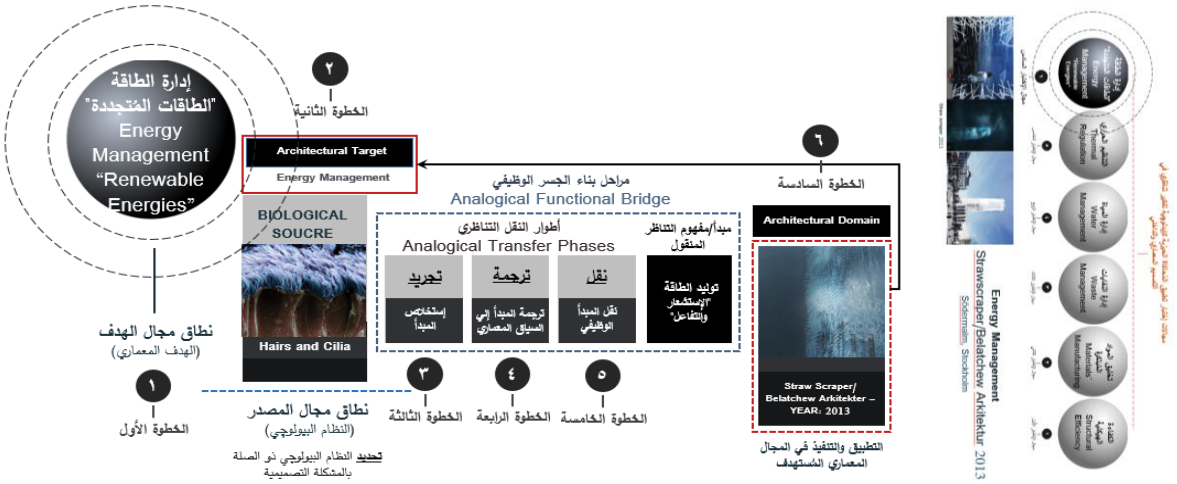
شكل ١٩: يوضح مشروع واجهة التوازن الحراري المعروفة بإسم Homeostatic Facade. (الموقع الإلكتروني: https://www.archdaily.com/101578/moving-homeostatic-facade-preventing-solar-heat-gain - ٦ يناير ٢٠٢٢م)[٤٠]

٢-١-٦. مجال الإختبار السادس: إدارة الطاقة وتوليد الطاقات المُتجددة Energy Management.

يتعلق هذا المجال بتقديم حلول للتحدي المُتمثل في تقليل إستخدام الطاقة إلى الحد الأدنى وربما تعظيم وسائل إنتاج أو توليد الطاقة من مصادر مُتجددة، مُشيراً إلي ضرورة توسيع حدود أنظمة المبنى لتأخذ في الاعتبار إدارة الطاقة لإنتاج المواد، وعملية البناء نفسها، والصيانة، وفي نهاية المطاف تفكيك المبنى وإدارة نفاياته ...

٢-١-٦-١. تحليل مراحل تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال إدارة الطاقة وتوليد الطاقات المُتجددة.

يوضح **(شكل ٢٠)** تطبيق مراحل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في توليد الطاقة من مصادر مُتجددة.



شكل ٢٠: يوضح مراحل تطبيق النَهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في التصميم المعماري من أجل تحسين إدارة الطاقة في المباني وتوفير وسائل مُبتكرة لتوليد الطاقة من مصادر مُتجددة. المصدر: رسم الباحث، وفقاً لدراسة (عامر وآخرون - ٢٠٢٠م) [٣٧]

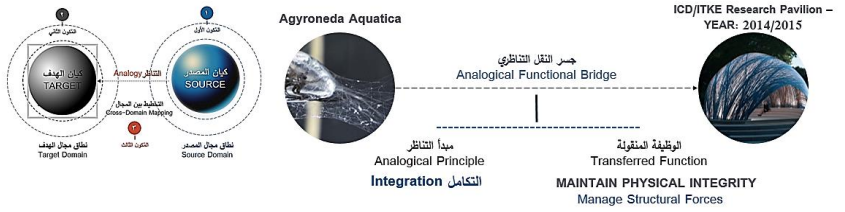
٢-١-٦-٢. مثال تطبيقي على تفعيل النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في مجال إدارة وتوليد الطاقة.

المثال التطبيقي السادس: لتفعيل المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في مجـــال إدارة الطاقة **Strawscraper/Belatchew Arkitektur – YEAR: 2013** [٣٥]		
المشروع: Strawscraper – إمتداد مبني سودر تورن Söder Torn.	**المُهندسين المعماريين:** أدريان سميث Adrian Smith وجوردون جيل Gordon Gill.	**الموقع:** سودرمالم Södermalm ستوكهولم Stockholm - **سنة المشروع:** ٢٠١٣م.
تحليل المشروع من منظور تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري PROJECT ANALYSIS		
وصف المشروع: يُقدم Belatchew Arkitekter مفهوماً لتحويل الأبراج الشاهقة إلى مصانع لتوليد الطاقة، وذلك عن طريق تغطية ناطحة سحاب في ستوكهولم بـ "شعيرات توليد الكهرباء Electricity-generating Bristles"، فقد قام Belatchew بتصميم مزرعة رياح تتصدر المبنى الحالي بإمتداد ١٦ طابقاً للمبنى، حيث يتم تكسية الواجهة بـ "قش بلاستيكي ذو مظهر مشعر مصمم للتحرك مع الرياح"، تعمل تلك الشعيرات البلاستيكية بإستخدام تقنية كهروضغطية، والتي تولد الكهرباء من خلال الضغط الميكانيكي. في هذا السيناريو، فإن تغيرات حركة الهواء والضغط على إرتفاعات مختلفة بطول واجهة ناطحة السحاب من شأنها تسخير الطاقة. تلك الألياف الصغيرة قابلة للتطبيق على مجموعة متنوعة من الأسطح، لتحل محل التقنيات الضخمة والمسببة للضوضاء مثل توربينات الرياح غير المناسبة للبيئات الحضرية الكثيفة. هذا التطبيق غير العادي للألياف على طول الواجهة التي ستتحرك مع الريح سيجعل المبنى يبدو كما لو أنه "يتنفس"، كما أوضح المهندسون المعماريون.		

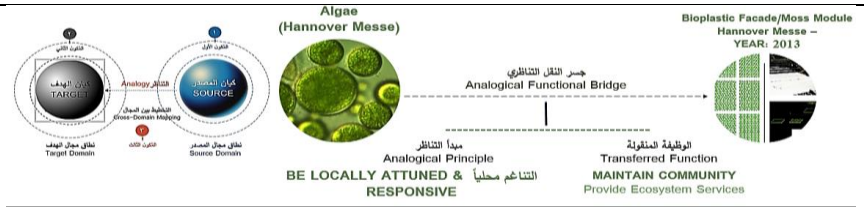
عمليات توليد الطاقة (المنقولة من البيولوجيا إلى التكنولوجيا): تتكون قش الواجهة من مادة مركبة لها خصائص كهروضغطية يمكنها تحويل الحركة إلى طاقة كهربائية. يتم إنشاء الكهرباء الإنضغاطية عندما يتحول تشوه بلورات معينة إلى كهرباء. وتُعد شعيرات الواجهة قابلة للتشغيل بسرعة رياح منخفضة نظراً لأن النسيم الخفيف فقط هو ما يكفي لكي تبدأ القش في التأرجح وتوليد الطاقة.[٣٥]

٢-٢. مُستخلص إختبار تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية في التصميم المعماري.

يُستخلص الجدول التالي **(جدول ٥)** أهم النتائج التى تم التوصل إليها بعد تطبيق النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية كإيدلوجية تفكير تناظري في حل المُشكلات التصميمية الخاصة بالمجالات التالية: الكفاءة الهيكلية – تخليق المواد - إدارة النفايات - إدارة المياة – التنظيم الحراري - إدارة الطاقة وتوليد الطاقات المُتجددة **(مجالات الإطار التحليلي للبحث)**.[*] (* **المصدر: إستنتاج الباحث** وفقاً لما ورد في الإطار التحليلي للبحث)

الهدف المعماري	تطبيق **النهج المُباشر للمُحاكاة الحيوية كإيدلوجية تناظرية** في التصميم المعماري			
١ الكفاءة الهيكلية				
		مجال المصدر SOURCE	الوظيفة Function	مجال الهدف TARGET
		عنكبوت الماء Agyroneda Aquatica	إدارة القوي الهيكلية	الكفاءة الهيكلية Structural Efficiency
٢ تخليق المواد المُبتكرة				
		مجال المصدر SOURCE	الوظيفة Function	مجال الهدف TARGET
		روبيان "الكركند" The Lobster (Homarus americanus)	تعديل الحالة المادية	تخليق وتصنيع المواد الهيكلية Material Manufacturing

٣



مجال المصدر SOURCE	الوظيفة Function	مجال الهدف TARGET
بعض أنواع الطحالب Algae (Hannover Messe)	تقديم خدمات النظام البيئي	إدارة النفايات Waste Management

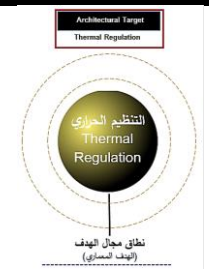
إدارة النفايات

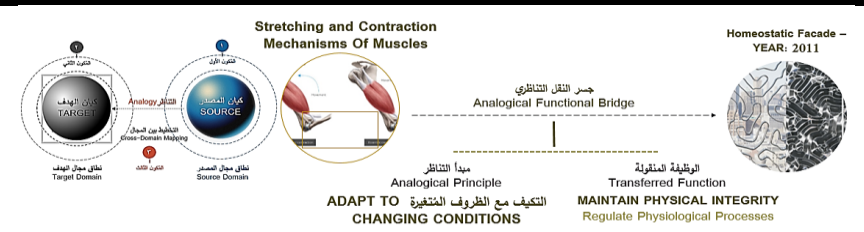
٤

مجال المصدر SOURCE	الوظيفة Function	مجال الهدف TARGET
خنفساء الضباب الناميبية Fog-basking Beetle	تقديم خدمات النظام البيئي	إدارة المياة Water Management

إدارة المياة

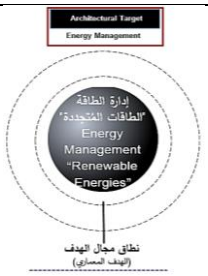
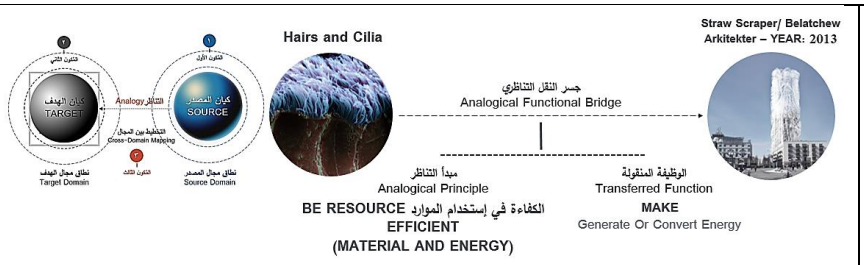
٥





مجال المصدر SOURCE	الوظيفة Function	مجال الهدف TARGET
آليات إنقباض وإنبساط العضلات Muscules	تنظيم وإدارة العمليات الفسيولوجية	التنظيم الحراري (التوازن) Thermal Regulation

التنظيم الحراري

٦ إدارة الطاقة (إنتاج الطاقة)				

مجال المصدر SOURCE	الوظيفة Function	مجال الهدف TARGET
الشُعيرات والأهداب Hair & Cilia	توليد أو تحويل الطاقة	إدارة الموارد والطاقة Energy Management

جدول ٥: يوضح مُستخلص بأهم ما تم التوصل إليه خلال الإطار التحليلي للبحث. **المصدر:** (رسم الباحث)

النتائج:

١. التصميم المُحاكي للطبيعية أو المُحاكاة الحيوية هو أحد أهم إيدلوچيات التفكير المُبتكرة القادرة على إحداث تحول جذري في مفاهيم التصميم المُستحدثة وذلك لكونها قادرة على تحقيق مبادىء التصميم المُتجدد حيث الحفاظ على التنوع الإيكولوچي للبيئة الطبيعية المُحيطة بالمبنى فضلاً عن تفعيل مبدأ التكامل الشمولي بين المباني والعالم الحي المُحيط.

٢. المُحاكاة الحيوية هي إحدى إيدلوچيات التفكير التجديدي المُستندة على إستراتيچيات الإستدامة البيئية والتى تقود العملية التصميمية بإتجاه (نحو) الإبتكار الهادف لحل المُشكلات البشرية ضمن إطار إصلاحي ومُتجدد.

٣. تستند نُهج المُحاكاة الحيوية للأنظمة البيولوچية في التطبيقات المعمارية على تفعيل إستراتيچية التفكير التناظري لنقل المبادىء من النظام البيولوچي إلي الهدف التقني (التكنولوچي) و/أو المعماري.

٤. تُحث المُحاكاة الحيوية المُستندة على إستراتيچية التفكير التناظري على تعزيز التكامل للبنية المبنية مع البيئة المُحيطة، فضلاً عن تحقيق التوازن بين البيئة المبنية والبيئة الطبيعة دون الإخلال بالموارد وإضرار النظام الإيكولوچي.

٥. تستند المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تناظرية على تحقيق الدمج بين التكنولوچيا الرقمية والممارسات الحيوية المُستدامة في أنظمة البناء، وذلك من أجل التفاعل مع البيئة والحفاظ على النظام الإيكولوچي.

٦. ينتج عن دمج الدراسات البينية للمجالات العلمية المُختلفة إيدلوچيات تفكير مُتقدمة تولد مُنتجات مُبتكرة تكون أكثر توافقاً مع البيئة الطبيعة، فمن خلال التعاون بين عُلماء الأحياء والمُصممين يُمكن التوصل إلي تقنيات سلبية مُبتكرة تُناظر الأنظمة البيولوچية في إستجابتها لمُتغيرات البيئة المُحيطة ومن ثم تعزيز الفكر التجديدي للأنظمة البيولوچية التى تضررت بفعل الأنشطة البشرية.

٧. ينتج عن تفعيل تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري في العمارة تحقيق الكفاءة الهيكلية بواسطة تعزيز العلاقة التكاملية بين البنية المورفولوچية وتوزيع المواد البنائية للهيكل، مؤكداً بذلك على الترابط التام بين الهيئة الشكلية والبنية الهيكلية والوظيفة الأدائية للكيان المعماري.

٨. ينتج عن تفعيل تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري إحداث طفرة فكرية حيث تحويل المفهوم التصميمي من العمليات الخطية المُهدرة للمواد إلي العمليات المُتكاملة المُغلقة للبيئة الطبيعية، فضلاً عن تخليق المزيد من المواد المُتقدمة

المُبتكرة غير المُلوثة للنظام البيئي المُحيط. كما أن لتطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري دوراً فعال في إدارة المياة حيث الحث على إتباع آليات تُحقق أعلى مباديء الإستدامة البيئية.

٩. ينتج عن تفعيل تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري تخليق أغلفة مبانى تكيُفية تحقق التنظيم الحراري بآليات ووسائل سلبية من منظور إستهلاك الطاقة.

١٠. ينتج عن تفعيل تطبيق المُحاكاة الحيوية كإيدلوچية تفكير تناظري طرح العديد من الحلول لحل أزمة توليد الطاقة، وذلك عبر آليات مُستدامة تستند على مصادر مُتجددة في توليد الطاقة.

التوصيات:

١. الإستمرار في الدراسة والإستكشاف لمجال المُحاكاة الحيوية والتعلُم من إستراتيچيات البيئة الطبيعية للإلهام منها ولإتخاذها كمصادر لحلول العديد من المُشكلات/التحديات التصميمية.

٢. إلزامية التعامل مع المباني على أنها جُزء من نظام حي والسعي دائماً لإدراج البيئة الطبيعية ضمن مخططات التصميمات وذلك لوضع أهداف تصميمية تعمل فيها المباني على تعزيز النظام الإيكولوچي للبيئة المُحيطة بدلاً من أن تُصمم كمباني جامدة ملوثة للبيئة وتعمل في إتجاه مُضاد للنظام البيئي.

٣. يجب أن يكون المُصمم قادر على دمج مفاهيم الطبيعة في التصميم بدلاً من مُجرد النسخ الشكلي أو التقليد الظاهري للهيئة، بهدف التحسين من منظومة البناء والنظام البيئي في إطار مُتبادل ومُتكامل.

المراجع

[1] Ramadan, A. S. & Hassan, A. M. (**2018**), “The Ecological Design of Living Systems In The Interior Architecture”. Journal of Engineering and Sustainable Development, Vol. 22, (2), 2018.

[2] Mang, P., and B. Reed. (**2012**), "Regenerative Development and Design”. Encyclopedia Sustainability Science & Technology. I. 8855, 2012.

[3] Yassein, G., & Ebrahiem, S. (**2018**), “Biophilic Design in the Built Environment to Improve Well-Being: A Systematic Review of Practices”. Journal of Urban Research, 30(1), 2018.

[4] Elmeligy, D. (**2016**), “Biomimicry for ecologically sustainable design in architecture: a proposed methodological study”. In Proceeding of the 6th International Conference on Harmonisation between Architecture and Nature, 2016.

[5] Mang, P., & Reed, B. (**2020**), “Regenerative development and design”. Sustainable Built Environments, 2020.

[6] Pedersen Zari, Maibritt. (**2012**), "Ecosystem services analysis for the design of regenerative built environments."*Building Research & Information* 40, no. 1, 2012.

[7] Jenkin S, Zari MP (**2009**). “Rethinking our built environments: towards a sustainable future”. Ministry for the Environment, Manatu Mo Te Taiao, Wellington, 2009.

[8] Pickett, S. T., & Grove, J. M. (**2009**), “Urban ecosystems: What would Tansley do?”. Urban Ecosystems, 12(1), 2009.

[9] Khelil, S. (**2015**). “Biomimicry, towards a living architecture in hot and arid regions” (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra), 2015.

[10] Gruber, Petra, et al., (**2011**). “Biomimetics--Materials, Structures and Processes: Examples, Ideas and Case Studies”. Springer Science & Business Media, 2011.

[11] Jacobs, S. (**2014**). “Biomimetics: a simple foundation will lead to new insight about process”. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 9(2), 2014.

[12] Anous, I. (**2015**). “Biomimicry" Innovative Approach in Interior Design for Increased Sustainability”. American international journal of research in formal, applied & natural sciences, 10(1), 2015.

[13] Pohl, G., & Nachtigall, W. (**2015**). “Biomimetics for Architecture & Design: Nature-Analogies-Technology”. Springer, 2015.

[14] Cohen, Y. H., & Reich, Y. (**2016**). “Biomimetic design method for innovation and sustainability”, (pp. 1-253). Berlin, Germany: Springer, 2016.

[15] Goss, J. (**2009**). “Biomimicry: Looking to nature for design solutions”. Corcoran College of Art+ Design, 2009.

[16] Imani, M. (**2020**). “A thermo-bio-architectural framework (ThBA) for finding inspiration in nature: Biomimetic energy efficient building design”, PH. D Thesis, Victoria University of Wellington, 2020.

[17] La Torre, E. G. (**2018**), Electronically Published Article, Titled: “BIOCLIMATIC SKINS: Rethinking the Building Envelope by the Study of Thermoregulation Strategies and Techniques of Living Organisms”, Link: https://bioclimaticskins.wordpress.com/2013/05/04/biomimicry-is-not-new/, The Article Posted on May 4, 2013, (Last accessed On: January 4, 2022).

[18] Al-Obaidi, Karam M., et al. (**2017**). “Biomimetic building skins: An adaptive approach”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 2017.

[19] Biomimicry 3.8b Official Website (**2016**), “Design Lens: LIFE`S PRINCIPLES", Link: https://biomimicry.net/the-buzz/resources/designlens-lifes-principles/, © 2016 Biomimicry 3.8, (Last accessed On: January 4, 2022).

[20] Emily B. Kennedy et al. (**2014**), Final Manuscript About: “Biomimicry – A Path To Sustainable Innovation", Link: https://germinature.files.wordpress.com/2014/12/final-

manuscript_biomimicry-a-path-to-sustainable-innovation1.pdf, ©Massachusetts Institute Of Technology (MIT), December 2014.

[21] Drake, Courtney (**2011**), "Biomimicry: Emulating the Closed-Loops Systems of the Oak Tree for Sustainable Architecture". Masters Theses 1911 - February 2014.

[22] Majeed, S. R., & Al-Majidi, B. H. (**2019**). “Analogical reasoning in architecture”. Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences, 12(1), 2019.

[23] Samar Allam (**2010**), **“**Influence Of Analogical Reasoning On Architecture Design; The Evolution Of Form, Structure and Function**”**, (2010), Link:https://www.academia.edu/3667749/Influence_of_Analogical_Reasoning_on_Architecture_design_the_Evolution_of_Form_Structure_and_Function, (Last accessed On: January 4, 2022).

[24] Shaw, I. S. (**2013**). “A study of analogies between processes in technical and biological systems”. (Doctoral dissertation, University of Johannesburg), South Africa, 2013.

[25] Casakin, H., & van Timmeren, A. (**2014**). “Analogies as creative inspiration sources in the design studio: the teamwork”. In Atiner Conference Paper Series No: ARC2014-1188, Athens, Greece, 2014.

[26] Hey, J., Linsey, J., Agogino, A. M., & Wood, K. L. (**2008**). “Analogies and metaphors in creative design”. International Journal of Engineering Education, 24(2), 2008.

[27] Salgueiredo, C. F., & Hatchuel, A. (**2016**). “Beyond analogy: A model of bioinspiration for creative design”. Ai Edam, 30(2), 2016.

[28] Cheong, H., Hallihan, G., & Shu, L. H. (**2014**). “Understanding analogical reasoning in biomimetic design: An inductive approach”. In Design computing and cognition'12 (pp. 21-39). Springer, Dordrecht, 2014.

[29] Iouguina, A. (**2013**). “Biologically informed disciplines: a comparative analysis of terminology within the fields of bionics, biomimetics, and biomimicry”, (Doctoral dissertation, Carleton University), 2013.

[30] Badarnah, L., & Kadri, U. (**2014**). “A methodology for the generation of biomimetic design concepts”. Architectural Science Review. Advance online publication, 2014.

[31] Salgueiredo, C. F. (**2013**, June). “Modeling biological inspiration for innovative design”. In i3 conference, 2013.

[32] Sartori, J., Pal, U., & Chakrabarti, A. (**2010**). “A methodology for supporting “transfer” in biomimetic design”. AI EDAM, 24(4), 2010.

[33] Kruiper, R., et al. (**2017**, July). “Towards identifying biological research articles in computer-aided biomimetics”. In Conference on Biomimetic and Biohybrid Systems (pp. 242-254). Springer, Cham, 2017.

[34] Wanieck, Kristina, et al. (**2017**). “Biomimetics and its tools”. Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials 6.2, 2017.

[35] NORMANTOVICH, S., & LEORDEAN, I. (**2016**). “Biomimicry in architecture. Mitigation and adaptation to climate change”, 2016.

[36] Niemi, S. (**2017**). “Biomimicry in architecture”. Master Thesis, Aalto University Department of Architecture, Structural Technology, 2017.

[37] Aamer, H. S. et al. (2020), "BIOMIMICRY AS A SUSTAINABLE DESIGN METHODOLOGY FOR BUILDING BEHAVIOUR", 2020.

[38] Archdaily Official Website, Electronic Report: ICD/ITKE Research Pavilion 2014-15 / ICD/ITKE University of Stuttgart, Link: https://www.archdaily.com/770516/icd-itke-research-pavilion-2014-15-icd-itke-university-of-stuttgart, , (Last accessed On: January 6, 2022).

[39] Archdaily Official Website, Electronic Report: ICD/ITKE Research Pavilion / University of Stuttgart, Faculty of Architecture and Urban Planning, Link: https://www.archdaily.com/340374/icditke-research-pavilion-university-of-stuttgart-faculty-of-architecture-and-urban-planning, (Last accessed On: January 6, 2022).

[40] Archdaily Official Website, Electronic Report: Moving Homeostatic Facade Preventing Solar Heat Gain, Link: https://www.archdaily.com/101578/moving-homeostatic-facade-preventing-solar-heat-gain, (Last accessed On: January 6, 2022).