استراتيجيات استخدام الذكاء الاصطناعي في التصميم المستدام للواجهات المعمارية

A Strategies for Utilizing Artificial Intelligence in the Sustainable Design of Architectural Façades

م.د/ شيماء سمير عبد المنعم عباس
المدرس بالمعهد العالي للفنون التطبيقية - التجمع الخامس
Dr. Shaimaa Samir Abdeloneam Abbas
Lecturer at Higher Institute of Applied Arts, Fifth Settlement
Shaimaa sameer@hotmail.com

الملخص

في سياق تتزايد فيه استجابة المباني للتحديات البيئية، والوظيفية، والجمالية، تبرز الواجهات المعمارية بوصفها عنصرًا حيويًا يربط بين الراحة الداخلية للمستخدمين والظروف المناخية الخارجية. وتتناول هذه الدراسة تطوير استراتيجية متكاملة توظف الذكاء الاصطناعي في تصميم واجهات مستدامة تجمع بين الأداء البيئي، وكفاءة الطاقة، والتعبير الثقافي. ويتم استخدام تقنيات المحاكاة الرقمية، والنمذجة الحاسوبية، وتطبيقات التصميم التجريبي لاستكشاف كيف يمكن للأنظمة الذكية أن تساهم في اتخاذ قرارات تصميمية مدروسة ومبنية على تحليل متعدد المعايير.

يكتسب موضوع الواجهات أهمية خاصة من الناحية البيئية والجمالية، حيث تُعد الواجهة العنصر الأكثر حضورًا عند النظر إلى المبنى. وهي لا تقتصر على كونها غلافًا خارجيًا، بل تمثل وسيطًا بين المبنى والمجتمع، حاملةً هوية ثقافية وبيئية، ومؤثرة في الذاكرة الجمعية من خلال رسائلها الجمالية والاجتماعية. وتؤدي الواجهات المستدامة دورًا بارزًا في تقليل الآثار البيئية، وتحسين كفاءة الطاقة، وتعزيز جودة الحياة داخل المباني. كما تشمل مهامها: الأداء الحراري من خلال تنظيم انتقال الحرارة، والإضاءة الطبيعية وعزل الصوت، وتحسين التهوية، بجانب دورها في التعبير الجمالي المرتبط بالهوية الثقافية.

يعتمد البحث على منهج نظري وتطبيقي، من خلال تطوير مصفوفة تربط بين أهداف الاستدامة (مثل تقليل الحرارة، وتعزيز الإضاءة الطبيعية، والتهوية، والتكامل الثقافي) وبين استخدام الأنظمة الذكية والمواد المستجيبة. ويركز الجانب العملي للدراسة على نماذج تصميمية مفاهيمية لواجهات فندقية مستجيبة في بيئات سياحية. وقد تم اختيار واحة سيوة كنموذج تطبيقي نظرًا لخصوصيتها المناخية والثقافية، حيث يتناول التطبيق كيفية التعامل مع التحديات المناخية كالتعرض الشديد للشمس، والحفاظ على الهوية المحلية، واستخدام الموارد المتاحة محليًا. كما يستعرض إمكانيات دمج المساحات الخضراء في بيئة صحراوية.

يركز البحث على التصور البصري والاستجابة التصميمية، بهدف تقديم نهج شمولي يجمع بين المعرفة التقليدية والتقنيات الحديثة، ويعيد تشكيل فهم الواجهة كعنصر ديناميكي ذكي، مستدام بيئيًا، ومرتبط بالمكان.

الكلمات المفتاحية:
الذكاء الاصطناعي - التصميم المستدام - الواجهات المعمارية.

Abstract

As buildings increasingly respond to environmental, functional, and aesthetic challenges, architectural façades emerge as a vital interface between indoor comfort and external climatic conditions. This study proposes an integrated strategy for utilizing artificial intelligence (AI) in the sustainable design of façades, aiming to combine environmental performance, energy

efficiency, and cultural expression. Digital simulation tools, computational modeling, and experimental design applications are used to explore how intelligent systems can support well-informed, multi-criteria design decisions.

Façades hold particular importance both environmentally and aesthetically, as they are often the most prominent and perceivable aspect of any building. They serve not only as physical enclosures but also as communicative surfaces that carry environmental and cultural messages. Façades can influence and be influenced by their surrounding context, becoming embedded in collective memory through their aesthetic, environmental, or social functions. Sustainable façades aim to reduce negative environmental impacts, minimize energy consumption, and enhance indoor environmental quality. Their roles include thermal regulation, light control, sound insulation, natural ventilation, and visual expression.

This research adopts a combined theoretical and practical methodology by developing a design matrix that links key sustainability goals—such as thermal reduction, enhancement of daylighting and ventilation, and integration of cultural identity—with smart systems and responsive materials. The practical part of the study translates these strategies into conceptual façade prototypes for eco-touristic hotel applications.

Siwa Oasis in Egypt was chosen as the case study due to its unique desert climate and rich cultural heritage. The application explores how adaptive façade strategies can respond to extreme solar exposure, accumulated heat, and the need to preserve local identity through low-maintenance and locally sourced materials. Additionally, the study investigates opportunities for integrating greenery and ecological systems within a desert environment.

Rather than quantitatively assessing energy or thermal performance, the study focuses on conceptual development and visual representation of responsive façade strategies. It aims to present a holistic design approach that merges traditional knowledge with innovative materials and AI-powered tools. The research reframes the façade as a dynamic and intelligent environmental interface—one that is sustainable, culturally resonant, and rooted in place-specific conditions.

Keywords :

Artificial Intelligence –Sustainable Design - Architectural Facades.

المقدمة

تكتسب واجهات المباني أهمية خاصة، فهي تمثل حلقة وصل ديناميكية بين المبنى والبيئة المحيطة، فتؤثر بشكل مباشر على أدائه من حيث استهلاك الطاقة، والتنظيم الحراري، والإضاءة الطبيعية، والتهوية، لذلك اصبح لتصميم الواجهة المستدامة أولوية استراتيجية في تقليل البصمة البيئية والكربونية مما يسهم في تحقيق نتائج معمارية مستدامة.

وقد اعتمد تصميم الواجهات – في الماضي- على استراتيجيات يتم مراعاتها، ولكن مع تزايد المتطلبات والحداثة والتطورات التكنولوجية تم اللجوء إلى استخدام التقنيات الرقمية المتقدمة وأبرزها الذكاء الإصطناعي. وقد ادخلت نماذج جديدة في تصميم الواجهات المستدامة وتحسينها، وتساعد أدوات الذكاء الاصطناعي المهندسين المعماريين بدءا من خوارزميات التصميم التوليدي وصولا إلى منصات محاكاة الأداء والتى تتم عن طريق اختيار آلاف البدائل التصميمة في دقائق وكذلك تحليل مجموعات البيانات المعقدة وذلك بالاعتماد على نماذج تنبؤية تراعي العديد من تكوينات الواجهات وفقا لمعايير الأداء الخاصة بالمناخ مثل درجة الحرارة وحساب الطاقة الشمسية والتعرض للرياح وكفاءة المواد وتوافق كل ذلك مع مقاييس الاستدامة.

يحاول هذا البحث وضع استراتيجيات لدمج الذكاء الاصطناعي في التصميم المستدام للواجهات المعمارية. بدلاً من اعتبار الذكاء الاصطناعي مجرد أداة تقنية. يتضمن أحد المكونات الرئيسية للاستراتيجية مواءمة أدوات الذكاء الاصطناعي مع ثلاثة ركائز أساسية للاستدامة: الأداء البيئي(الاستراتيجية البيئية) ، والقدرة على التكيف الوظيفي (الاستراتيجية الوظيفية)، والتوافق الثقافي (الاستراتيجية الجمالية). على سبيل المثال، يُمكن للخوارزميات التوليدية إنشاء أنظمة تظليل ديناميكية أو أنماط محاكاة حيوية مصممة خصيصا لمناطق مناخية محددة. والأهم من ذلك، يمكن للذكاء الاصطناعي دعم إنشاء تصاميم واجهات تراعي التقاليد والمواد المحلية، مما يحافظ على الهوية الإقليمية ويعزز الابتكار.

وقد تم اختيار مدينة سيوة كدراسة حالة وتوضح كيفية تكييف الاستراتيجيات الثلاث مع السياقات البيئية المحددة للمدينة وهي بيئة صحراوية، ركزت التصاميم المدعومة بالذكاء الاصطناعي على تقليل اكتساب الحرارة وتعظيم العزل باستخدام مواد طبيعية. وساهم كذلك الذكاء الاصطناعي في تحقيق تحسينات ملموسة في أداء الطاقة وراحة المستخدم وانتاج الأفكار التصميمية بشكل سريع.

مشكلة البحث

1. هناك نقص في الاستراتيجيات الواضحة لدمج الذكاء الاصطناعي لمعالجة المتغيرات المعقدة في سير العمل المعماري.
2. يواجه المصممون تحديات في الموازنة بين الأهداف البيئية والوظيفية والتعبير الثقافي.

اهمية البحث

1. يقدم استراتيجيات عملية لاستخدام الذكاء الاصطناعي في العملية التصميمية الخاصة بالواجهات المستدامة.
2. للواجهات دور رئيسي في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين أداء المباني.
3. يسد الفجوة بين التقنيات الحديثة والعمارة التقليدية.
4. يعزز استدامة وأداء المباني من خلال أنظمة واجهات ذكية قائمة على البيانات.
5. يوضح تكامل القيم الثقافية في التصميم بمساعدة الذكاء الاصطناعي، مما يضمن أن تكون الاستدامة ليست تقنية فحسب، بل إنسانية أيضًا.

اهداف البحث

1. وضع استراتيجية شاملة تربط أدوات الذكاء الاصطناعي بالأهداف البيئية، والوظيفة، والهوية الجمالية والثقافية.
2. تحديد إمكانيات الذكاء الاصطناعي في تحسين أداء الواجهات المستدامة.

فروض البحث

1. يساهم تطبيق استراتيجيات التصميم المتكاملة والمحددات (البيئية، الوظيفية، الجمالية) بشكل كبير في تصميم وتطوير واجهات معمارية مستدامة.
2. تعالج هذه الاستراتيجيات أهداف الاستدامة الرئيسية، بما في ذلك الأداء الحراري، وكفاءة الطاقة، والتكامل البيئي، والتعبير الثقافي بالذكاء الاصطناعي.

منهجية البحث

يعتمد البحث على المنهج التحليلي النظري والتجريب البصري:

1. تقتصر الدراسة على تحديد وتصنيف وتطبيق الاستراتيجيات البيئية والوظيفية والجمالية في تصميم الواجهات.
2. تحليل واجهات مسبقة التنفيذ باستخدام الثلاث استراتيجيات الرئيسية.
3. تترجم الاستراتيجيات المختارة إلى نماذج تصميمات بصرية أولية مطورة من خلال أساليب تصميم تجريبية وأدوات تصور بمساعدة الذكاء الاصطناعي.
4. تهدف المنهجية إلى تحويل الاستراتيجيات النظرية إلى نماذج بصرية للواجهات قابلة للتطبيق، ملائمة للسياق المناخي والثقافي والمادي (المدينة المختارة- سيوة).

حدود البحث

1. تركز الدراسة تحديدًا على الواجهات المعمارية، وليس على المبنى بأكمله، كما تركز على تجربة في حيز مكاني وهو منطقة "سيوة" بداخل جمهورية مصر العربية.
2. التحليل التكنولوجي لأدوات ومنصات الذكاء الاصطناعي المتاحة حاليًا حتى تاريخ البحث.
3. لا يتضمن هذا البحث إجراء اختبارات مادية أو محاكاة أو التحقق الكمي من خصائص المواد أو أداء الطاقة أو التأثير البيئي للواجهات المقترحة.

أولا: الإطار النظري

تعريف الواجهات المستدامة وأهميتها

بحلول منتصف سبعينيات القرن الماضي، تغيرت الصلة بين المناخ وتصميم المباني من مسألة توفير ظروف حرارية مناسبة للعمل والمعيشة إلى وظيفة تعزيز كفاءة الطاقة وتقليل استهلاك الوقود اللازم لتلبية شروط راحة محددة. وفي ذلك الوقت تقريبًا، طُبقت في العديد من البلدان ضوابط تنظيم جوانب الأداء الحراري للمباني (وخاصة المساكن). لقد تغير التركيز الحالي لخطاب المناخ وتصميم البناء مرة أخرى، وأصبح الآن يركز بشكل أساسي، على قضية تجنب التغيرات المناخية المحتملة عن طريق خفض انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري.[2]

وتم تعريف الاستدامة في العمارة بأنها الحفاظ على الأنظمة الايكولوجية والاقتصادية والاجتماعية المشكلة للبيئة الحضرية وهي عملية تتضمنن التعامل مع الموارد والتوجه التقني للتطوير بصورة متناغمة ومتوافقة مع الاحتياجات الحالية والمستقبلية للإنسانية.[1]

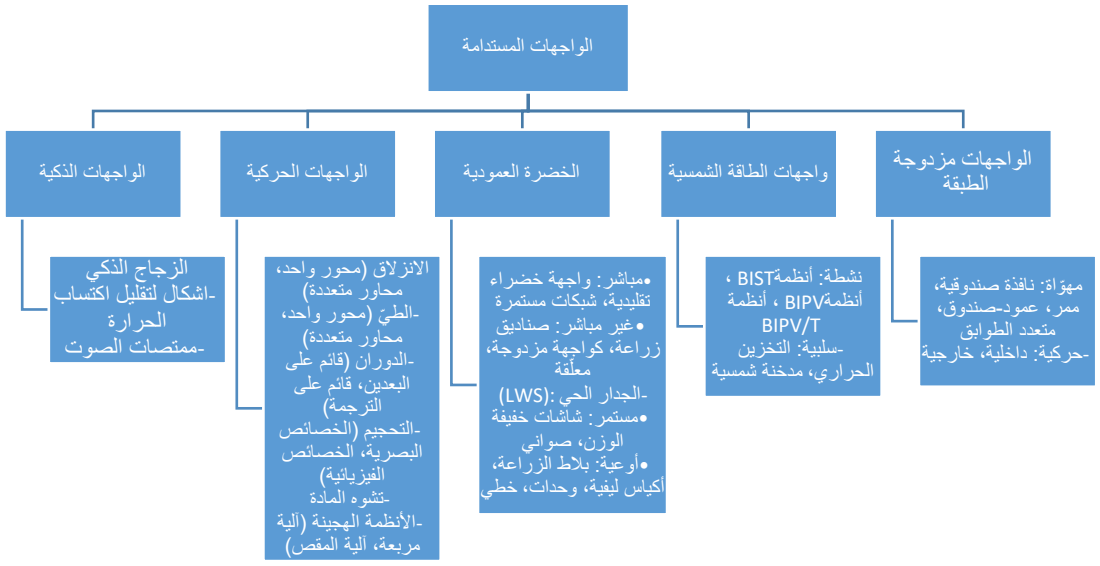
أنواع الواجهات المستدامة

تعد الواجهات العنصر الأبرز عند النظر إلى مبنى ما. ويمكن لخصائص الواجهة أن تؤثر على المحيط بها، وكذلك تتأثر به. فهي ناقل رئيسي للهوية، كما يمكن للمبنى أن يمثل دورا في الذاكرة الجماعية نتيجة لرسالته سواء كانت (جمالية أو بيئية أو اجتماعية). وتعمل الواجهات المستدامة على تقليل الآثار البيئية السلبية وتهدف إلى استخدام أقل قدر من الطاقة والحفاظ على بيئة صحية داخلية للمبنى.

وتلعب الواجهة دورا بارزا في أداء المبنى وتتضمن ميزات مثل أجهزة التظليل، والألواح الشمسية، والعزل لتحسين أدائه مع الحفاظ على جاذبيته الجمالية ، ويمكن توضيح دورها في:

1. **الأداء الحراري**: صممت الواجهات لتنظيم انتقال الحرارة، وتقليل استهلاك الطاقة للتبريد والتدفئة، وتحسين الراحة.
2. **الإضاءة وعزل الصوت**: تتحكم في دخول الضوء الطبيعي، وتقليل الحاجة إلى الإضاءة الاصطناعية، وتساهم في الراحة البصرية. كما تقلل من الضوضاء الخارجية.
3. **التهوية**: تمكين تدفق الهواء الطبيعي، مما يُحسّن جودة الهواء الداخلي ويُقلل من استهلاك الطاقة.
4. **الجماليات**: تعكس الواجهات التعبير الثقافي وتساهم في طابع المبنى، حيث تدمج الوظيفة مع الهوية البصرية.[2]

وهناك العديد من الواجهات المستدامة، سيتم تناول خمس فئات رئيسية: الواجهة الذكية، والواجهات الحركية، والخضرة العمودية، والواجهة الشمسية، والواجهة مزدوجة الطبقة، ويعد هذا المخطط شكل (1) شاملا لهذه الواجهات مع توضيح أهم الخامات المستخدمة لتحقيق واجهة مستدامة بخامات ذكية تعمل على توفير الطاقة للمبنى.



شكل (1) يوضح أنواع الواجهات المستدامة

The Features of the Sustainable Façade Category, :N. Rahimi, C. Cucuzzella, and A. Soulikias 18th PARIS International Conference on Design, Architecture, Materials & Nanotechnology (PDAMN-23) April 17-19, 2023 Paris, France

ولاختيار المواد في أنظمة الواجهات المستدامة دورًاهاما في تحسين أداء المباني، وتعزيز كفاءة الطاقة، وتقليل الأثر البيئي. وقد صممت مواد الواجهات المستدامة للاستجابة للظروف المناخية واحتياجات المستخدمين. وهي لا تسهم في الراحة الحرارية و التحكم في الإضاءة الطبيعية و تحسين التهوية فحسب بل تؤكد على القيمة الجمالية ومفهوم الاستدامة وفي الجدول التالى (1) بعض المواد ذات طابع الاستدامة التى يمكن استخدامها في تصميم الواجهات وقد تم تصنيف المواد تبعا لأنواع الواجهات المستدامة التى تم ذكرها في الشكل السابق.

نـــــوع الواجهة	الواجهات الذكية[3]	الواجهات الخضراء[4]	الواجهات الشمسية[5]	الواجهات الحركية [6]	الواجهات المزدوجة[7]
وظيفته ا	خامات بتكنولوجيا حديثة تعمل على تقليل الأثر البيئي مثل الحرارة والضوء والرطوبة على المبنى من الداخل	أنظمة معمارية تُدمج النباتات في غلاف المبنى لتعزيز الأداء البيئي والوظيفي والجمالي. تُساهم في التنظيم الحراري، وتنقية الهواء، والتحكم في المناخ المحلي.	أنظمة غلاف للمباني تدمج تقنيات الطاقة الشمسية (النشطة والسلبية) في تصميمها لتعزيز كفاءة الطاقة والراحة الحرارية والاستدامة.	تتكيف وتستجيب للظروف البيئية، مثل ضوء الشمس ودرجة الحرارة والرياح، من خلال الحركة والتحول	تحسين أداء المباني من خلال التنظيم الحراري، والتهوية الطبيعية، وكفاءة الطاقة، والابتكار الجمالي
امثلة	Thermochromic Materials: تغيير اللون تبعا للحرارة Photochromic Materials: يغمق او يفتح تبعا للشمس Electrochromic Glass: تغيير الشفافية للتحكم في اكتساب الحرارة Phase Change Materials (PCMs): تقليل احتياجات التدفئة والتبريد Self-cleaning Materials TiO_2 coatings) : التنظيف باستخدام الاشعة فوق البنفسجية Hydrochromic Materials:تغيير المظهر استجابة للرطوبة والتظليل	Direct Green: تنمو بدعم هيكلي بسيط مثل اللبلاب Indirect Green: تنمو النباتات على هيكل دعم منفصل (تعريشات، شبكات، كابلات) بعيدًا عن الواجهة. Vertical Gardens: ألواح مسبقة الصنع أو وحدات معيارية تحمل أنظمة تربة أو أنظمة زراعة مائية مدمجة في الواجهة.	Building-Integrated Photovoltaic Façades (BIPV): وحدات طاقة كهروضوئية لتوليد الكهرباء مباشرةً من ضوء الشمس Solar Shading: أجهزة تظليل خارجية مصممة لتقليل اكتساب الحرارة والتوهج مع السماح بدخول ضوء النهار يمكن ان تكون فتحات ثابتة أو انظمة بارامترية او حركية Solar Thermal:	Mechanically Operated: تستخدم محركات أو تروسًا أو مشغلات لتحريك الألواح Transformable or Shape-Shifting Façades: الألواح أو الأسطح تُغير شكلها أو زاويتها أو موضعها لتنظيم المدخلات البيئية. AI-Controlled Kinetic Façades: مُدمجة مع خوارزميات الذكاء الاصطناعي Grasshopper + Ladybug Tools + Owl (AI plugin)	Box Window Type: وحدات واجهة مزدوجة مستقلة تهوية طبيعية من خلال زجاج داخلي وخارجي Storey-Height Façade: يحتوي كل طابق على تجويف مزدوج الطبقات منفصل مع تدفق هواء مستقل سلامة أفضل من الحرائق وعزل صوتي Hybrid/Mixed Mode DSF: تجمع بين ميزات من أنواع مختلفة

		Biofacades: واجهات تفاعلية دمج الطحالب أو الكائنات الحية في أنظمة مزدوجة الطبقات لتوليد الطاقة واحتجاز الكربون.	ألواح مثبتة على الواجهات تجمع الطاقة الشمسية كحرارة (بدلاً من الكهرباء). Dynamic / Kinetic Solar Façades: واجهات ذكية بعناصر متحركة تتكيف مع مسار الشمس Hybrid Solar Façades (PV + Thermal or PV + Green Wall): ألواح كهروضوئية مزودة بمبادلات حرارية خلفية جدران خضراء مزودة بوحدات كهروضوئية مدمجة طاقة + تبريد + جمالية		من واجهات مزدوجة الطبقات (مثل: جزء منها على شكل نافذة صندوقية، وجزء منها على شكل ممر، تتيح دمج أجهزة التظليل أو الألواح الكهروضوئية
جدول (1) يوضح بعض الخامات المختلفة في الخمس انواع من الواجهات المستدامة.					

اهمية الذكاء الاصطناعي في تصميم الواجهات المستدامة

تكمن مساهمات الذكاء الاصطناعي في مجال تصميم الواجهات المستدامه في قدرته على معالجة وتحليل مجموعة بيانات ضخمة بشكل سريع ومنضبط. فمن خلال النمذجة التنبؤية والخوارزميات يمكن للذكاء الاصطناعي محاكاة التفاعلات البيئية المعقدة، والقيام بالعديد من البدائل التصميمية التى لا حصر لها، وتحديد الأداء والكفاءة. وتتيح هذه القدرة إنشاء واجهات لا تقتصر على مراعاة البيئة فحسب، بل تصمم أيضا وفقا لمعايير مناخية ومكانية ومتعلقة بالمستخدم. كما تدعم القوة الحسابية للذكاء الاصطناعي عمليات صنع القرار التي تتجاوز الحدس أو الخبرة، مما يضفي دقة علمية على منطق التصميم وتنفيذه، كما يعزز الذكاء الاصطناعي التعاون بين التخصصات من خلال سد الفجوة بين الإبداع المعماري والدقة الهندسية. فمن خلال أدوات التصميم التوليدية، يمكن للمصممين استكشاف أشكال هندسية وأنماط مبتكرة للواجهات مع ضمان تحقيق أهداف الأداء.

تستخدم خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تقديم مجموعة واسعة من التطبيقات والأدوات التي تسهم بشكل مباشر في حل مشاكل الاستدامة، بدءا من خفض انبعاثات الكربون وصولًا إلى إدارة النفايات وتعزيز كفاءة استخدام الطاقة .يستغل الذكاء الاصطناعي كأداة لإحداث تأثير إيجابي، والمساعدة في حل التحديات المعقدة مثل تغير المناخ، وإدارة الموارد. وقد تم

إطلاق العديد من الأدوات والمنصات لهذا الغرض وفي الجدول التالي (2) بعض المشكلات الرئيسية التى تواجه المصمم عند القيام بتصميم واجهة مستدامة وتوضح بعض برامج الذكاء الاصطناعي التى تساعد في حل هذه المشكلات:

المشكلة	الغرض من استخدام الذكاء الاصطناعي	اداة الذكاء الاصطناعي
كفاءة الطاقة وخفض انبعاثات الكربون	التنبؤ بالطاقة وتحسينها، للتحكم في الإضاءة، وأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء، والأجهزة المنزلية للحد من استهلاك الطاقة	Google DeepMind: تقليل استخدام الطاقة Carbon Tracker: مراقبة انبعاثات محطات الطاقة حول العالم. Urbent Smart Building AI: يُحسّن أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والإضاءة في المباني التجارية.
إدارة المياه	يكشف التسربات في أنظمة المياه.	AIQx (Aquai): أجهزة مراقبة ذكية للمياه مزودة بخاصية كشف التسربات القائمة على الذكاء الاصطناعي.
تحليل البيانات ونمذجة المناخ	يساعد الذكاء الاصطناعي على تسريع نماذج المناخ وتحسينها	ClimateAI: يتنبأ بتأثير المناخ على المحاصيل وسلاسل التوريد. BlueDot: يستخدم الذكاء الاصطناعي لتتبع تفشي الأمراض المرتبطة بالمناخ. OpenAI Codex + بيانات المناخ: يمكن للمطورين إنشاء نماذج الاستدامة
تخيل التصميم الجمالي النهائي	يقوم بعمل عدة نماذج قائمة على مدخلات محددة يتم ادخالها بواسطة الانسان	Midjourney

جدول (2) يوضح بعض برامج الذكاء الاصطناعي المستخدمة في عمل الواجهات المستدامة.

الاستراتيجيات والابتكارات

بناءا على مخطط انواع الواجهات المستدامة، يقدم البحث منهجية قائمة على ثلاثة استراتيجيات رئيسية عند القيام بعمل واجهة مستدامة ومن الممكن استخدام احدى الاستراتيجيات منفردة أو دمجها مع الأخرى مما يحقق استدامة طويلة الأمد، ورفاهية المستخدم، وهوية معمارية، وهذه الاستراتيجيات هي:

1- الاستراتيجية البيئية.
2- الاستراتيجية الوظيفية.
3- الاستراتيجية الجمالية.

الاستراتيجية البيئية : ترتبط هذه الاستراتيجية بالمؤثرات البيئية الخارجية للواجهة وتحاول تقليل البصمة الكربونية للمبنى وتحسن تفاعلها مع البيئة وذلك عن طريق:

- **التحكم في أشعة الشمس والتظليل**: استخدام الستائر الشمسية، والنوافذ البارزة لتقليل اكتساب الحرارة غير المرغوب فيه والوهج، مع زيادة ضوء النهار الطبيعي إلى أقصى حد.
- **التهوية الطبيعية**: تصميم نوافذ قابلة للفتح، أو تجاويف مهواة وذلك لتحسين تدفق الهواء وجودة الهواء الداخلي.
- **الإضاءة الطبيعية**: تعظيم الاستفادة من الضوء الطبيعي من خلال المساحات الزجاجية الواسعة، والأسطح العاكسة، مما يقلل الاعتماد على الإضاءة المصطنعة.
- **اختيار المواد**: اختيار مواد منخفضة الاستهلاك للطاقة، وقابلة لإعادة التدوير، ومحلية المصدر للحد من التأثير البيئي.
- **الواجهات الخضراء**: دمج النباتات لتحسين العزل، وجودة الهواء، وتكامل المبنى مع الطبيعة.

الاستراتيجية الوظيفية: تتعلق هذه الاستراتيجية بتحسين اداء الواجهة وسهولة الاستخدام، وتظهر في:

- **التكيف والاستجابة**: واجهات ذكية تستجيب للظروف الخارجية (مثل التظليل الديناميكي والمواد المتجاوبة).
- **الأداء الصوتي**: استخدام أنظمة واجهات متعددة الطبقات ومواد عازلة للصوت لتقليل الضوضاء الخارجية.
- **إدارة المياه**: تجميع مياه الأمطار، والتحكم في جريان المياه.
- **السلامة والأمان**: ضمان حماية الواجهة من المخاطر البيئية (الرياح، الحرائق، الأشعة فوق البنفسجية)، بالإضافة إلى التهديدات البشرية.
- **كفاءة الصيانة**: تصميم أنظمة واجهات سهلة الوصول ومتينة، يسهل تنظيفها وإصلاحها بمرور الوقت.

الاستراتيجية الجمالية: تضمن الاستراتيجيات الجمالية مساهمة الواجهة في الهوية الثقافية والسياقية والبصرية للمبنى، وتظهر بشكل رئيسي بصريا في:

- **التعبير المادي**: اختيار مواد تعبر عن الاستدامة (الخشب، الطين، خامات معاد تدويرها) وتندمج مع البيئة.
- **التكامل الثقافي**: عكس الهوية المحلية من خلال الأنماط والألوان والزخارف أو الأشكال، وهو أمر ذو صلة خاصة بالعمارة التراثية.
- **الشفافية والتعتيم**: استخدام الأسطح الصلبة والشفافة لخلق إيقاع وتسلسل هرمي وجاذبية بصرية.
- **اللون والملمس**: استخدام أنظمة الألوان والأسطح المزخرفة لإثارة تجارب حسية أو محاكاة البيئة الطبيعية.
- **تصميم الإضاءة**: دمج إضاءة الواجهة التي تعزز هوية المبنى ليلاً دون التسبب في تلوث ضوئي.
- **العناصر الفنية**: دمج الجداريات والشاشات أو العناصر الحركية التي تساهم في القيمة الجمالية، مع أداء دور وظيفي أو بيئي في كثير من الأحيان.

شكل (2) يوضح الاستراتيجيات المستخدمة وعناصرها الرئيسية.

يوضح الجدول التالي (3) بصورة مختصرة الثلاث استراتيجيات الرئيسية وكيفية استخدام كل منهما في تحقيق حلول محددة عن طريق استخدام واجهات تساهم في حل هذه المشكلات وكذلك موضحا فيها اهم برامج الذكاء الاصطناعي التي تساهم في حل هذه المشكلات.

الاستراتيجية	الغرض	نوع الواجهة	التقنيات	الوعي البشرى	الذكاءالاصطناعي
الاستراتيجية البيئية.	- ترشيد استهلاك الطاقة - الاستفادة من الطاقة الشمسية والاضاءة الطبيعية - الاستجابة لتغيرات المناخ - العزل الحراري	- الواجهات الذكية - الواجهات الخضراء - الواجهات الشمسية	-درجة دخول ضوء النهار -أنظمة التظليل -ألواح الطاقة الشمسية الكهروضوئية -تهوية طبيعية	-تحليل الموقع -اختيار المواد	الذكاء الاصطناعي لمحاكاة المناخ (Ladybug، Climate Studio)
الاستراتيجية الوظيفية.	-تحسين أداء الواجهة - سهولة استخدامها	- واجهة مزدوجة -واجهة حركية واجهة ذكية	-انظمة حركية -التحكم في اكتساب الحرارة -التحكم في الضوضاء -تكييف الواجهة باستخدام أجهزة الاستشعار -مقاومة الحريق -تجميع مياه الأمطار	-التصميم البشري للأنظمة الميكانيكية -استبيانات لمعرفة الاحتياجات البشرية	الذكاء الاصطناعي في المحاكاة البارامترية Grasshopper (+ Owl) الذكاء الاصطناعي لأجهزة الاستشعار

الاستراتيجية الجمالية.	-التعبير عن الهوية والثقافة -التفاعل مع البيئة	-واجهات مستوحاة من التراث المعماري المصري(مصري قديم- اسلامي) -واجهات بارامترية -واجهات مستوحاة من الطبيعة	-تصميم هندسي -ملامس -زخارف ثقافية محلية	الإبداع البشري والذكاء الثقافي أدوات التصميم الخوارزمي (جراسهوبر، راينو)	الذكاء الاصطناعي للتصميم التوليدي Midjourney, (DALL·E
جدول (3) من تصميم الباحثة يوضح الثلاث استراتيجيات.					

ثانيا: الإطار التحليلي

تم اختيار ثلاثة نماذج معمارية كدراسات حالة رئيسية لتسليط الضوء على كيفية توظيف التقنيات الحديثة والابتكارات التصميمية لتحقيق واجهات مستدامة تتفاعل مع السياق المناخي والبيئي المحيط. تتنوع هذه النماذج من حيث الموقع الجغرافي، والظروف المناخية، والاستراتيجيات التصميمية، مما يثري التحليل ويعزز المقارنة ضمن إطار البحث. وقد تمثلت هذه النماذج في :أبراج البحر (Bahr Towers) في الإمارات العربية المتحدة، The Edgeفي هولندا، و Bosco Verticaleفي إيطاليا. يجسد كل مشروع تكاملاً متميزاً بين الاستراتيجيات البيئية والوظيفية والجمالية ، لذا فهي متوافقة للتحليل في إطار البحث.

- **أبراج البحر: (Bahr Towers)** تمثل نموذجا فريدا لتكامل التصميم مع المناخ الصحراوي الحار، حيث تستخدم الواجهات المتحركة المستجيبة للرياح، والمستوحاة من المشربية التقليدية، لتقليل الحمل الحراري وتعزيز التهوية الطبيعية، مما يجعلها مثالا بارزا على دمج الحلول الذكية المستجيبة للمناخ في بيئة قاسية.
- **The Edge**في أمستردام يجسد واجهة ذكية تعتمد على الذكاء الاصطناعي وتقنيات التحكم في الطاقة والتهوية والإضاءة لتحقيق أعلى درجات الكفاءة البيئية والوظيفية. هذا المشروع يُعد من أكثر المباني ذكاءً في العالم، ويظهر كيف يمكن توظيف التكنولوجيا في التحكم بالواجهة لتحقيق راحة المستخدم وكفاءة استهلاك الطاقة في بيئة باردة ورطبة.
- **Bosco Verticale** في ميلانو يعد تجربة رائدة في الدمج بين العمارة والطبيعة، من خلال توظيف واجهات خضراء رأسية تعزز التنوع البيولوجي، وتحسن جودة الهواء، وتوفر عزلا حراريا وصوتيا طبيعيا. هذه الواجهة تمثل حلا بيئيا وجماليا في آن واحد، وتقدم نموذجا متقدما لإعادة التوازن بين الإنسان والطبيعة في المناطق الحضرية المكتظة.

يبرز اختيار هذه المشاريع الثلاثة مدى التنوع في الاستراتيجيات المستدامة المستخدمة، والتي تجمع بين عناصر التصميم الذكي، والتكامل مع المناخ المحلي، وإدماج الجماليات المعمارية مع الأداء الوظيفي. وهذا التنوع يدعم منهجية البحث في تحليل وتحقيق واجهات مستدامة متعددة الأبعاد يمكن الاستفادة منها في تطوير مشاريع مشابهة في سياقات بيئية مختلفة.

1- أبراج البحر The Al Bahar Towers

المكان: أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة

المهندسون المعماريون: Aedas Architects

تاريخ الإنجاز: ٢٠١٢

نوع الواجهة: واجهة ديناميكية مستوحاة من المشربية

المناخ: صحراوي حار

شكل(3) ابراج البحر بالامارات

يوضـــح الجدول التالي (4) تحليل مبنى ابراج البحر بناءا على الثلاث اســـتراتيجيات (البيئية والوظيفية والجمالية) مع توضيح استخدام الذكاء الاصطناعي في تصميم المبنى.

	الاستراتيجية البيئية	الاستراتيجية الوظيفية	الاستراتيجية الجمالية	استخدام الذكاءالاصطناعي
الوصف	تستخدم الواجهة نظام تظليل ديناميكيًا عبارة عن ألواح مصنوعة من الألياف الزجاجية، تفتح وتغلق تلقائيًا حسب موقع الشمس، مما يقلل من امتصاص الطاقة الشمسية بنسبة ٥٠٪ مما نتج عنه انخفاض كبير في استهلاك طاقة التبريد	-الواجهة مجهزة بمحركات، ويتم التحكم فيها بواسطة نظام حاسوبي يتتبع الشمس، مما يحسن الراحة الحرارية في الداخل. -تسمح بنفاذ ضوء النهار مع تقليل الوهج، مما يُقلل الحاجة إلى الإضاءة الاصطناعية. -تسهل منصات الوصول المدمجة في هيكل الواجهة المزدوجة أعمال الصيانة	-الأنماط الهندسية مستمدة من الزخارف المعمارية الإسلامية، مما يُضفي عليها هوية بصرية فريدة. -في الليل، تضفي المشربية على الأبراج تأثير الفانوس المتوهج، مما يعزز مكانتها الأيقونية في الأفق.	ساعد الذكاء الاصطناعي والتصميم الخوارزمي في محاكاة حركة الشمس، وتحليل أنماط الظل، واختبار مئات من تكوينات الواجهات: - حجم وحركة عناصر التظليل -الاتجاهات المثلى للوحدات الفردية -نسبة فتحة الواجهة -يتم التحكم في النظام باستخدام نظام إدارة مباني (BMS) مُعزز بالذكاء الاصطناعي استخدم النظام مدخلات المستشعرات وخوارزميات تتبع الطاقة الشمسية للتنبؤ بمستويات التظليل وتعديلها على مدار اليوم -رُبطت أدوات محاكاة مثل Ecotect وRadiance وEnergyPlus بالنموذج البارامتريّ لتكرار التصاميم بسرعة واختبار النتائج البيئية باستخدام التعلم الآلي لتحديد التكوينات المثلى.

جدول(4) تحليل مبنى ابراج البحر.

The Edge-2

المكان: أمستردام، هولندا

المهندسون المعماريون: PLP Architecture

تاريخ الإنجاز: 2015

نوع الواجهة: واجهة زجاجية ذكية بتقنية متكاملة

شكل (4) ذا ايدج امستردام

يوضـــح الجدول التالي (5) تحليل مبنى the edge بناءا على الثلاث اســـتراتيجيات (البيئية والوظيفية والجمالية) مع توضيح استخدام الذكاء الاصطناعي في تصميم المبنى.

	الاستراتيجيات البيئية	الاستراتيجيات الوظيفية	الاستراتيجيات الجمالية	استخدام الذكاء الاصطناعي[9]
الوصف	-يستخدم المبنى واجهات زجاجية ذكية تزيد من استغلال ضوء النهار مع تقليل اكتساب الحرارة. -يتضمن ستائر آلية وأنظمة إضاءة سريعة الاستجابة، مما يُحسّن استخدام الطاقة	-الواجهة متصلة بنظام بناء ذكي يستخدم مستشعرات إنترنت الأشياء للتحكم في الإضاءة وتكييف الهواء والتظليل بناءا على وجود المستخدم وحالة الطقس. -يمكن للمستخدمين تخصيص الإعدادات عبر هواتفهم الذكية، مما يُحسّن الراحة والإنتاجية.	-تصميم أنيق وشفاف يعكس الهوية المؤسسية الحديثة. -تعزز الأروقة الداخلية والواجهات الزجاجية التواصل البصري والإضاءة الطبيعية، مما يعزز الانفتاح. -يكمل المظهر التكنولوجي المتطور وظيفته كنموذج أولي لمكان عمل رقمي	يُستخدم الذكاء الاصطناعي بشكل أساسي لتحسين كفاءة الطاقة، والاستخدام المكاني، وراحة شاغلي المبنى. تُدمج أنظمة الذكاء الاصطناعي مع أجهزة الاستشعار الذكية في المبنى والبنية التحتية لإنترنت الأشياء (IoT). تجمع هذه الأنظمة بيانات آنية حول الإضاءة، ودرجة الحرارة، والإشغال، واستخدام الطاقة، مما يُمكّن من استجابات تكيفية مستمرة.

				يتحكم الذكاء الاصطناعي في أنظمة المبنى لتقليل استهلاك الطاقة بناءً على تحليل آني للإشغال وتوافر ضوء النهار تُتاح بيئات عمل مُخصصة من خلال خوارزميات الذكاء الاصطناعي التي تُخصص المكاتب وقاعات الاجتماعات بكفاءة
جدول (5) تحليل مبنى the edge				

Bosco Verticle-3

المكان: ميلان، ايطاليا

المهندسون المعماريون: Stefano Boeri Architetti

تاريخ الإنجاز: 2014

نوع الواجهة: واجهة خضرا

شكل(5) بوسكو فيرتكال بايطاليا

يوضــح الجدول التالي (6) تحليل مبنى bosco verticle بناءا على الثلاث اســتراتيجيات (البيئية والوظيفية والجمالية) مع توضيح استخدام الذكاء الاصطناعي في تصميم المبنى.

	الاستراتيجيات البيئية	الاستراتيجيات الوظيفية	الاستراتيجيات الجمالية	استخدام الذكاء الاصطناعي[10]
الوصف	تضم الأبراج أكثر من ٩٠٠ شجرة و٢٠ ألف نبتة مدمجة في نظام الواجهة. تعمل هذه النباتات كمناخ محلي، حيث توفر عزلًا طبيعيًا، وتمتص ثاني أكسيد الكربون، وتنتج الأكسجين، وتحد من تأثير الجزر الحرارية الحضرية. تُعاد استخدام مياه الأمطار لري النباتات، كما تُقلل النباتات من التلوث الضوضائي.	-تعمل النباتات الخضراء كظلال شمسية، حيث تنظم درجات الحرارة الداخلية دون الحاجة إلى أنظمة ميكانيكية. -تزرع الأشجار على شرفات مثبتة، مدعومة بالخرسانة المسلحة، وتروى تلقائيًا. -راعى المهندسون عوامل مقاومة الرياح، واحتواء الجذور، واختيار النباتات بناءا على اتجاه الواجهة.	-تحول الواجهة المبنى إلى غابة عمودية، مُعيدةً تعريف مفهوم المباني الشاهقة الحضرية. -تكمن الجاذبية البصرية في التغيرات الموسمية في الألوان، مما يضفي على المبنى طابعًا حيويًا وديناميكيًا. -يدمج هذا التصميم الجمالي الحياة الحضرية مع الطبيعة، معززًا بذلك مبادئ biophilic design.	-تراقب أجهزة الاستشعار البيئية المدعومة بالذكاء الاصطناعي صحة النباتات، ومستويات الرطوبة، وأحمال الرياح في الغابة العمودية لأتمتة تخطيط الري والصيانة. -تقترح التحديثات المستقبلية دمج الذكاء الاصطناعي لمحاكاة سلوك النباتات في ظل الظروف المناخية المتغيرة، مما يعزز الأداء البيئي على المدى الطويل.

جدول (6) تحليل مبنى bosco verticle

ثالثا: التطبيق العملي

بناءاً على الأسس النظرية التي تم توضيحها في الصفحات السابقة، فإن الجانب العملي من هذا البحث يهدف إلى ترجمة استراتيجيات الاستدامة إلى صور بصرية تصميمية ملموسة للواجهات المعمارية. يقوم البحث بنهج تطبيقي في حل المشكلات وكيفية معالجة التحديات البيئية والوظيفية والجمالية من خلال تصميم مدروس للواجهات، وذلك في سياق المناطق المختلفة بيئيًا وثقافيًا.

ولتحقيق ذلك، يقترح البحث مصفوفة منظمة تربط أهداف الاستدامة الرئيسية - مثل التحكم في الطاقة الشمسية، وترشيد استهلاك الطاقة، وتعزيز المساحات الخضراء، والتكامل الثقافي - بالاستراتيجيات والمواد الذكية. ومن خلال دراسة كل تحد من تحديات الاستدامة من حيث آثاره التصميمية، ثم تحديد الحلول الإيجابية المناسبة، بما في ذلك المواد الذكية والموارد المحلية والأنظمة المستجيبة.

كنقطة محورية، تم اختيار مدينة واحة سيوة في مصر كموقع للتطبيق. تمثل سيوة مشهدًا بيئيًا وثقافيًا فريدًا، يتميز بظروف مناخية صحراوية قاسية، وتقاليد بناء محلية أصيلة، وزخارف محلية. يبحث الجانب العملي من هذا البحث في كيفية استجابة استراتيجيات الواجهات التكيفية لما يلي:

- التعرض لأشعة الشمس الشديدة وتراكم الحرارة.
- ضرورة الحفاظ على الهوية المحلية وتجسيدها.
- الحاجة إلى أنظمة بسيطة وسهلة الصيانة باستخدام مواد محلية أو مستدامة.
- إمكانية دمج المساحات الخضراء والأنظمة البيئية في البيئة الصحراوية.

لا يهدف هذا الإطار إلى اختبار أو قياس الأداء الحراري أو الطاقة للأنظمة، بل يركز على التطوير المفاهيمي والترجمة البصرية للاستراتيجيات. ويهدف إلى تقديم نهج تصميمي شامل يدمج المعرفة التقليدية، والابتكار في المواد، والتقنيات الحديثة (الذكاء الاصطناعي) لتطوير حلول واجهات مناسبة إقليميًا ومستدامة بيئيًا.
وللقيام بهذا ، يقدم البحث مخطط حلول المشكلات لربط التحديات البيئية بصريًا باستجابات الواجهات

جدول (7) توضح هذه المخططات طرقا لاتخاذ القرارات التصميمية، وتوفر أساسًا منهجيًا للنماذج الأولية التجريبية للواجهات التي تليها.

المشكلة	الهدف من الواجهة	الاستراتيجية	مقترح المواد المستخدمة	نوع النظام
Solar Control الطاقة الشمسية	التحكم في الضوء والحرارة، التكيف مع مسار الشمس	بيئية، وظيفية	Smart Glass + Kinetic Screens	Dynamic
	تظليل + كهرباء + هوية ثقافية	بيئية، وظيفية، جمالية	PV Mashrabiya + Recessed Windows BIPV	Passive + Energy
	خفيف الوزن، يُرشح الأشعة فوق البنفسجية.	بيئية	ETFE Cushions with Sun Inflation	Semi-Dynamic
	تظليل عميق + كتلة حرارية.	وظيفية، جمالية	Clay Louvers + Compressed Earth	Passive + Thermal
Reduceing energy use تقليل استهلاك الطاقة	حاجز حراري، وينشر ضوء النهار	بيئية، وظيفية	ETFE Cushions with Dynamic Shading Mesh	Hybrid (Passive + Dynamic)
	التبريد الطبيعي والتظليل الشمسي	بيئية، جمالية	Green Walls + Clay or Ceramic Louvers	Passive

	يخزن ويطلق الحرارة، ويثبت درجات الحرارة الداخلية، ويخفض أحمال التدفئة والتهوية وتكييف الهواء	بيئية، وظيفية	Phase Change Material Cladding + Passive Vents	Passive
Enhancing Greenery & Biodiversity تعزيز المساحات الخضراء والتنوع البيولوجي	زيادة الغطاء النباتي، تبريد الهواء بشكل طبيعي	بيئية، جمالية	Green Walls with Drip Irrigation (Modular Trays)	Passive (Living System)
	دمج مناطق الزراعة بين طبقات الزجاج تحسين جودة الهواء والعزل الحراري	بيئية، وظيفية	Double-Skin Façade with Green Cavity	Hybrid (Passive + Vegetation)
	الهندسة المخصصة المطبوعة بتقنية ثلاثية تدعم المساحات الخضراء في اتجاهات متنوعة، وتسمح بالتعبير الفني عن التنوع البيولوجي	وظيفية، جمالية	Parametric Façade with Plant Pockets	Passive
	استخدام الذكاء الاصطناعي لمراقبة احتياجات المياه والضوء، وتدعيم صحة النبات مع الحد الأدنى من استخدام المياه	بيئية، وظيفية	Hanging Gardens with Smart Irrigation Sensors	Active (Smart-Enabled)

	مادة مستدامة مدمجة مع هيكل التسلق وسهولة الصيانة والجماليات	وظيفية، جمالية	Recycled Wood Panels + Climber Grid	Passive
	توفير تظليل للواجهات، وتعزيز التنوع البيولوجي على مستويات متعددة من المبنى	بيئية، وظيفية	Green Roof Extension as Shading Façade Element	Passive
enhance cultural identity تعزيز الهوية الثقافية	كتل حرارية تقليدية بزخارف سيوية محفورة او منحوتة	وظيفية، جمالية	Mud Brick Façade with Vernacular Ornamentation	Passive
	عزز السرد البصري، ويحافظ على الرمزية الثقافية، ويدوم في المناخات القاسية	جمالية	Ceramic Tiles with Local Symbolic Motifs	Passive (Finish Layer)
	غشاء خفيف الوزن وحديث مطبوع بزخارف محلية، يضيف هوية بصرية للأنظمة المبتكرة	بيئية، جمالية	ETFE Layer Printed with Cultural Patterns	Passive
	ينحت أو ينقش التاريخ المحلي أو القصص الشفوية أو الفن التقليدي على أسطح الواجهة	جمالية	Stone or Adobe Relief Panels (Storytelling Walls)	Passive

جدول (7) مخطط حلول المشكلات بناءا على الاستراتيجيات والمواد المستدامة

مقترح تطبيقي لواجهة فندق مستدامة بمنطقة "سيوة" – جمهورية مصر العربية

أولا الدراسة التحليلية

الظروف المناخية:

- مناخ صحراوي حار : درجات حرارة مرتفعة خلال النهار، واحتياجات تبريد كبيرة.
- إشعاع شمسي مرتفع: فرصة لاستخدام الطاقة الشمسية وأنظمة التظليل.
- الهواء الجاف والرياح المحملة بالرمال: يتطلب مواد مقاومة للغبار ومستقرة حرارياً.

المواد المحلية وثقافة البناء:

- الكرشف: مزيج تقليدي من الملح والطين والصلصال - كتلة حرارية كبيرة وتأثير بيئي.
- خشب النخيل وسعف النخيل: مصدر محلي ويستخدم في أنظمة التظليل والأسقف.
- طوب اللبن والكتل الترابية المضغوطة: عزل ممتاز، طاقة متضمنة منخفضة.
- حجر من المحاجر المحلية: متين ومراعي للسياق.

عناصر ثقافية وتراثية

- تراثها بربري/ أمازيغي -الزخارف الهندسية السيوية، وزخارف النخيل، وقوام الصخور الملحية، وعمارة الطوب اللبن
- ستائر مستوحاة من المشربيات: للخصوصية والتهوية وتصفية الشمس.
- ألوان محايدة: درجات ألوان ترابية، أصفر مائل للبني، بيج رملي - تمتزج مع المناظر الطبيعية.
- أنماط هندسية وإسلامية: يمكن دمجها في ألواح مثقبة، وعناصر ثلاثية الأبعاد.
- مساحات اجتماعية مميزة: ساحات، مداخل مظللة، ومناطق مجتمعية.

تحليل لاهم الفنادق البيئية في سيوة

الفندق	الخامات البيئية المستخدمة	صورة توضيحية
Adrère Amellal	مبنية بالكامل من **الكَرْشِف** (kershef)، وهو مزيج تقليدي من الطين، الملح، والقش— مصنوع محليًا ويُستخدم لعزل حراري فعال. البنية الداخلية: أسقف معلقة من جذوع النخيل، واستخدام خشب الزيتون في النوافذ والأبواب، حيث تُستغل المواد المحلية السنوية المتجددة. ادارة النفايات: يُستخدم نظام معالجة بيولوجي (wetland) مزروع بالنباتات المحلية لمعالجة مياه الصرف، وتقليل النفايات البيولوجية.	

Taziry Ecolodge	مبني بأسلوب تقليدي Siwan من **الكَرْشِف**، والجدران المصنوعة بالطين والملح، والأسقف خشب النخيل لتوفير عزل حراري طبيعي **إدارة النفايات والمياه** :فصل النفايات العضوية واستخدامها كسماد، معالجة الصرف الصحي عبر wetlands صناعية، وإعادة تدوير النفايات الأخرى	
Shali Lodge & Albabenshal	استخدام **الكَرْشِف** وأنماط البناء التقليدية الصديقة للمناخ	

جدول (8) يوضح اهم الفنادق في سيوة واستخداماها للخامات المستدامة.

ثانيا: أهداف واستراتيجيات التصميم

أ- المشكلات البيئية

الهدف	الاستراتيجيات	الطريقة
تقليل اكتساب الحرارة وتعزيز الراحة الحرارية	البيئية	-استخدام مواد عالية الكتلة الحرارية (الكرشف، والطوب) لتنظيم درجات الحرارة الداخلية. -تطبيق أنظمة التظليل: الأسقف المعلقة، والزعانف العمودية، وألواح المشربية. -تركيب مداخن تهوية أو ملقف للرياح.
استخدام الطاقة الشمسية لتوليد الطاقة	البيئية، الوظيفية	-تركيب ألواح كهروضوئية مدمجة (على السطح أو الواجهة). -استخدام ألواح المشربية الكهروضوئية: دمج الطاقة الشمسية مع التظليل. -استخدام أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية المدمجة في المبنى (لتسخين المياه).

جدول (9) يوضح بعض المشكلات البيئية في منطقة سيوة وحلولها المستدامة

ب- استخدام المواد المحلية والذكية معا

المواد المحلية	المواد الذكية
استخدام خشب كيرشيف للجدران	استخدم الطلاءات الحرارية: لتغيير انعكاسية الضوء بناءا على الحرارة
استخدم خشب النخيل المُعاد تدويره للمظلات والفتحات	استخدم مواد تغيير الطور (phase- PCMs change materials) في كسوة الجدران لتنظيم درجة الحرارة
الطوب الطيني أو الطوب الترابي المضغوط (CEB compressed earth blocks) لأغراض إنشائية أو زخرفية	تركيب ستائر تظليل حركية تستجيب لزوايا الشمس

جدول (10) يوضح نماذج للخامات المحلية بمنطقة سيوة ونماذج مواد ذكية

ج- تعزيز الهوية الثقافية

- تجريد الأنماط التقليدية باستخدام التصميم البارامتري.
- دمج الزخارف التراثية باستخدام ألواح مقطوعة بالليزر أو الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- استخدام ألوان وملمس يعكسان الطابع المعماري لسيوة.

ثالثا: تجارب تصميمة للواجهة من المعطيات السابقة

يوضح الجدول التالى العناصر الرئيسية المستخدمة في كتابة ال prompt الخاصة بالواجهات المقترحة بناءا على الهدف التصميمي من الواجهة.

الخامات/ النظام	الفكرةprototype	الهدف التصميمي
Wall mass + rooftop PV	Kershef + Solar Panels	Passive cooling + renewable energy
Laser-cut screen with integrated PV	Photovoltaic Mashrabiya	Shade + cultural pattern + power
Palm wood + kinetic actuator	Kinetic Palm Screens	Sun-tracking shade system
Local clay + PCM	Phase-Change Mud Panels	Thermal regulation for interior comfort
Transparent smart polymer	ETFE Cushions with siwan Patterns	Light diffusion + art + insulation

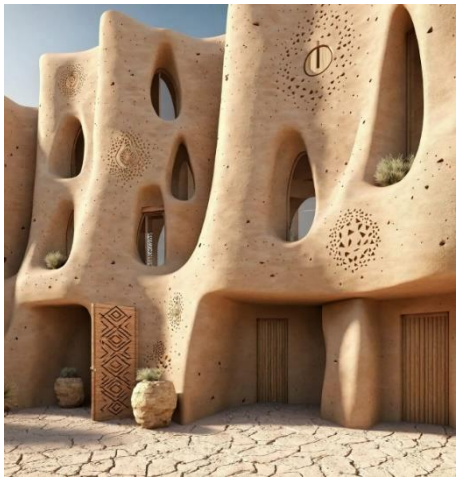
Clay louvers + desert greenery	Green Wall with Local Plants	Biodiversity + evaporative cooling
Mud plaster with thermochromic pigment	Thermochromic Mud Finish	Heat reflection + color change
Adobe + Phase Change Material	PCM Adobe Wall	Thermal comfort through heat storage
ETFE film pillows	ETFE Cushion Façade	Insulation + diffused daylight
Clay blocks with hydrogel layer	Hydrogel Brick Wall	Passive evaporative cooling
Local stone	Perforated Stone Panel	Natural cooling + traditional pattern
Salt + natural ash mix	Geopolymer Salt Panels	Thermal mass + local reference
Bamboo fiber board	Compressed Bamboo Board Façade	Eco material + shading + texture
Plants + mist curtain	Green Wall + Cooling Fabric	Cooling + soft greenery feel

جدول (11) يوضح الخامات المناسبة للهدف التصميمي والتى تم استخدامها عند كتابة prompt لانتاج التجارب البصرية.

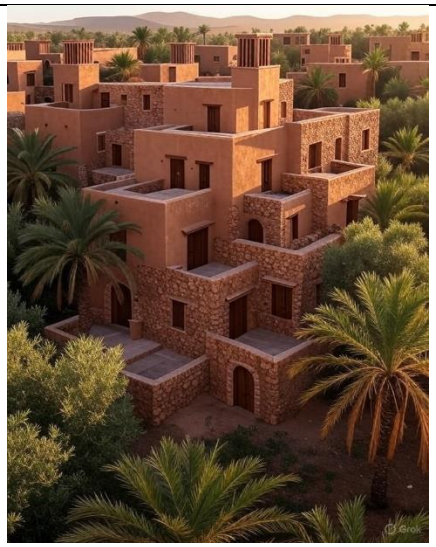
التجارب البصرية

يستعرض البحث مجموعة من التجارب البصرية لواجهات مستدامة معتمدة على الجدول السابق ومستخدمة بعض برامج الذكاء الاصطناعي المتخصصة في الإظهار المعماري اهمها: Midjourney- ideogram- grok- mistral - meta ai – dall-E- wonder

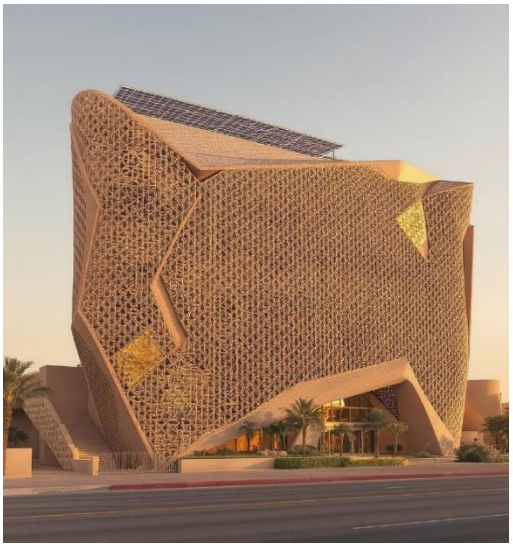
وتشترك تلك الواجهات في عدة ميزات اهمها استخدام الواح طاقة شمسية ، رموز تراثية، خامات محلية سابقة الذكر.

natural local stone - smooth mud plaster treated with thermochromic pigment- Kershef clay bricks infused with hydrogel for passive cooling in a desert-panels



clay bricks infused with hydrogel for passive cooling in a desert- natural local stone panels



Photovoltaic Mashrabiya

Geopolymer Salt Panels

bamboo boards

بينت المرحلة التجريبية من هذا البحث كيفية ترجمة استراتيجيات الاستدامة النظرية إلى نماذج أولية ملموسة للواجهات التي صممت خصيصا لسياق بيئي وثقافي محدد وهو (واحة سيوة). ومن خلال دمج أنظمة التبريد السلبي وأنظمة الطاقة المتجددة، والخامات المحلية المستدامة وعناصر التصميم المستوحاة محليًا، عالج كل حل للواجهات تحديا محددا في الأداء - بدءا من التنظيم الحراري والتحكم في ضوء النهار وصولا إلى التكامل الثقافي. وقد ساعد استخدام الذكاء الاصطناعي كأداة مفاهيمية وداعم في تطوير التصميم من اتخاذ قرارات بصورة سريعة، مما سمح بإجراء عمليات محاكاة وتحسينات للمواد استنادا إلى البيانات البيئية. وتؤكد التجارب مجتمعة على تقديم حلولا مناسبة إقليميا تستجيب لمتطلبات المناخ والهوية والاستدامة. وتضع هذه النتائج الأساس للتكرارات والنماذج الأولية وتقييمات الأداء المستقبلية التي يمكن أن تعزز دور أنظمة الواجهات المستدامة المدعومة بالذكاء الاصطناعي في البيئات الصحراوية.

النتائج

1- اكد البحث على أن دمج استراتيجيات التصميم المستدام مع أدوات الذكاء الاصطناعي يمكن المصممين من تطوير واجهات أكثر قدرة على التكيف مع التغيرات المناخية والبيئية، كما يقوم بتحسين كفاءة اتخاذ القرار في المراحل المبكرة من التصميم.
2- تظهر النماذج التجريبية المصممة أن توظيف المواد الذكية (مثل الزجاج المتغير حراريًا، والأنظمة الحيوية، والحساسات) يمكن أن يساهم في تحسين الأداء البيئي للواجهة دون المساس بالهوية المعمارية المحلية.
3- أظهرت الدراسة أن تطوير واجهات مستجيبة بيئيًا وجماليًا في مناطق مثل واحة سيوة يتطلب فهما دقيقا للسياق المحلي، وهو ما وفرته الاستراتيجيات القائمة على تحليل الاحتياجات البيئية والثقافية، مثل التحكم الحراري، التكامل البيئي، والتعبير الثقافي.

التوصيات

1- يوصي البحث بإنشاء مراجع خاصة بالمواد والأنظمة الذكية المتاحة محليًا، لتسهيل ربط الاستراتيجيات البيئية بموارد قابلة للتنفيذ الفعلي في مواقع مثل سيوة أو شرم الشيخ.
2- تطوير مصفوفات أو كتيبات تصميمية يمكن استخدامها كمرجع للمصممين لربط التحديات البيئية والاستراتيجيات التصميمية لأماكن مختلفة، مثل مصفوفة جدول (8،10) الواردة في البحث.
3- ركز البحث على الجانب المفاهيمي والبصري، لذا يوصى بمتابعة الدراسات بقياسات أداء فعلية (محاكاة حرارية، إضاءة، تهوية) لتأكيد جدوى الحلول المقترحة، ويمكن ان يكون ذلك بالتكامل مع المهندسين المعمارين المتخصصين.

المراجع العربية

1- ميسون محى، خوله هادي، خولة كريم:الاستدامة في العمارة بحث في دور الاستراتيجيات التصميم المستدام في تقليل التأثيرات على البيئة العمرانية، مؤتمر الأزهر الهندسي الثالث عشر، 2014.
mysun mahaa, khawalah hady, khwlat karim:alaistidamat fi aleimarat bahath fi dawr alastiratijiaat altasmim almustadam fi taqlil altaathirat ealaa albiyat aleumraniati, mutamar al'azhar alhandasii althaalith eashra, 2014

المراجع الأجنبية

2- Terry Williamson, Antony Radford, and Helen Bennetts, Understanding Sustainable Architecture *(London: Spon Press, 2003), 110–111.*

3- Addington M. & Schodek, D: Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions, oxford: architectural press,2005,p 163-185

Konarzewska, Bogusława. "Smart Materials and Structures in Sustainable Architecture, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 245, no. 6 (2007).

4- Manso, Maria, and João Paulo: Green Wall Systems a Review of Their Characteristics, Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 41 (January 2015), p 863–871.

Perini, Katia, and Paolo Rosasco: Cost–Benefit Analysis for Green Façades and Living Wall Systems, Building and Environment, volume 70 (December 2013): 110–121

5- Kalogirou, S. A.: Solar Thermal Collectors and Applications, Progress in Energy and Combustion Science, volume 30, no. 3 (2004): 231–295.

Zhang, X., Shen, J., and Xie, J: Review of Solar Building-Integrated Photovoltaic Systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 82 (2018): 3152–3163.

Ostergard, T. Elle, Britvic, C., and Røkenes, H. Drolsum.: Building Integrated Photovoltaic Products: A State-of-the-Art Review and Future Research Opportunities, Solar Energy Materials and Solar Cells, volume 100 (2012): 69–96.

6- Velikov, K., and G. Thün. : Soft Systems Architectural Design, volume 79, no. 3 (2009): 58–63.

Dounas, T., A. Lombardi, M. Sánchez-Riera, and N. Piskorec: Artificial Intelligence and Generative Design: Towards an Adaptive Façade, International Journal of Architectural Computing*, volume 18, no. 4 (2020): 370–386*

7- Saelens, D. 2002. Energy Performance Assessment of Single Storey Multiple-Skin Façades. PhD diss., KU Leuven.

Pomponi, F., and P. A. E. Piroozfar. 2012. "Façades and Environmental Performance: A Case Study of Double Skin Façade." Energy Procedia 14: 133–138.

Safer, N., M. Woloszyn, and J. J. Roux. 2005. "Three-Dimensional Simulation with a CFD Tool of the Airflow Patterns in a Double-Skin Façade with Venetian Blind." Solar Energy 79 (2): 193–203.

8- Turrin, M., P. von Buelow, and R. Stouffs. 2011: Design Explorations of Performance Driven Geometry in Architectural Design Using Parametric Modeling and Genetic Algorithms, Advanced Engineering Informatics 25 (4): 656–675.

9- Deloitte. 2015. *The Edge:* The World's Most Sustainable Office Building. Deloitte Netherlands.
https://edge.tech/buildings/the-edge
https://www.bloomberg.com/features/2015-the-edge-the-worlds-greenest-building/

10- Boeri Studio. 2014. Bosco Verticale: Architecture and Biodiversity.
https://www.archdaily.com/777498/bosco-verticale-stefano-boeri-architetti

Ghaffarian Hoseini, A., N. Dahlan, U. Berardi, A. GhaffarianHoseini, M. A. Hashemipour, and S. Makaremi. 2018. “The Role of Smart Façades in Intelligent Architecture.” Renewable and Sustainable Energy Reviews 91: 588–603.