international DESIGN JOURNAL
Print ISSN 2090-9632
Online ISSN 2090-9640

دراسة تحليلية لتأثير فن النحت علي تحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية

An Analytical Study of The Impact of Sculpture Art on Improving Energy Efficiency in Architectural Facades

غادة محمد السيد محمد شطا
مدرس بقسم النحت والتشكيل المعماري والترميم - كلية الفنون التطبيقية - جامعة دمياط – مصر، Dr.ghadashata@gmail.com

ملخص البحث

يشهد العصر الحديث تزايداً ملحوظاً في الاهتمام بتقنيات البناء المستدامة والحلول المبتكرة لتعزيز كفاءة الطاقة في المباني، وذلك استجابة للتحديات البيئية والاقتصادية العالمية، وفي هذا السياق يبرز فن النحت كأداة تصميمية قوية يمكن أن تساهم في تحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية، حيث يتجاوز فن النحت دوره التقليدي في التعبير الفني ليصبح جزءاً من حلول تقنية تهدف إلى تقليل استهلاك الطاقة في المباني، وذلك من خلال تحسين التهوية الطبيعية، تقليل الامتصاص الحراري، وتعزيز توجيه الضوء الطبيعي. وعلي ذلك تمثلت **مشكلة البحث** في: كيف يمكن لفن النحت أن يصبح أداة تصميمية فعّالة لتحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية؟ وما هي الآليات والأساليب الأكثر فعالية لتحقيق هذا الهدف؟

وتتمثل **أهمية البحث** في إلقاء الضوء على كيفية استخدام فن النحت كأداة تصميمية تجمع بين الجماليات والكفاءة الوظيفية في الواجهات المعمارية، تعزيز التكامل بين الفنون المعمارية والهندسة البيئية لتطوير حلول أكثر استدامة في تصميم المباني، كما يوفر البحث أمثلة تطبيقية من واقع العمارة الحديثة التي يمكن أن تشكل نماذج إرشادية لتصميمات مستقبلية مستدامة، ويقدم البحث إطاراً عملياً لتطبيق تقنيات النحت في تحسين الأداء الحراري والبيئي للمباني. كما **يهدف البحث** إلى دراسة العلاقة بين فن النحت وكفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية، استكشاف التقنيات والمواد الحديثة المستخدمة في دمج النحت مع التصميم المعماري، إلقاء الضوء على الفوائد البيئية والاقتصادية من استخدام فن النحت في تحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية، وتحليل دور العناصر النحتية في تحسين جودة التجربة البصرية والتفاعل البشري مع المباني.

كلمات دالة

كفاءة الطاقة، الأداء الحراري، التظليل
Energy Efficiency, Thermal Performance, Shading.

Paper received August 25, 2024, Accepted October 24, 2024, Published on line January 1, 2025

المقدمة Introduction

يستند دور فن النحت في العمارة إلى جذور تاريخية عميقة، حيث تم استخدامه عبر العصور لتزيين المباني والتعبير عن الهويات الثقافية والحضارية، ومع ذلك كان دوره تقليدياً يقتصر على الجماليات حتى ظهرت الحاجة إلى حلول مبتكرة لمواجهة التحديات البيئية في العمارة المعاصرة، ومع التطورات التكنولوجية الحديثة تطور فن النحت ليصبح أداة تقنية تُستخدم للتحكم في العوامل البيئية المؤثرة على المبنى مثل الإشعاع الشمسي، التهوية الطبيعية، وتوجيه الضوء الطبيعي، مما يسهم في تحسين كفاءة الطاقة وتقليل استهلاكها، بالإضافة إلى تحسين الراحة الحرارية للمستخدمين.

حيث تعد العمارة الحديثة مجالاً ديناميكياً واسعاً يجمع بين التكنولوجيات المتقدمة والمفاهيم الجمالية المبتكرة بهدف إنشاء مبانٍ لا تقتصر على وظيفتها الأساسية فقط، بل تسهم في تحسين جودة الحياة والحفاظ على البيئة، ومن بين الأساليب الحديثة التي تجسد هذا التوجه هو دمج فن النحت مع التصميم المعماري، فلم يعد فن النحت مجرد عنصر زخرفي، بل أصبح يؤدي وظائف بيئية وتقنية تسهم بشكل فعّال في تحسين كفاءة الطاقة في المباني، مما يجعله عنصراً أساسياً في تصميم المباني المستدامة.

فإن التوجه العالمي نحو الاستدامة دفع المصممين والمعماريين إلى البحث عن حلول ذكية تلبي الاحتياجات البيئية مثل تقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية، ومن هنا يأتي دور فن النحت كعنصر تصميمي قادر على تحسين الأداء الحراري للمبنى من خلال توفير الظل وتقليل اكتساب الحرارة، مما يقلل من الحاجة إلى أنظمة التبريد الميكانيكية، هذا الاستخدام الوظيفي لفن النحت الذي يجمع بين الجمال والابتكار التقني، يمثل توجهاً واعداً في العمارة الحديثة ويساهم في تحقيق التوازن بين القيم الجمالية والكفاءة الطاقية.

مشكلة البحث: Statement of the Problem

على الرغم من التقدم الكبير في تقنيات البناء المستدامة والاهتمام المتزايد بتقليل استهلاك الطاقة في المباني، لا تزال هناك حاجة إلى استكشاف سبل جديدة ومبتكرة لتحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية، حيث يعد فن النحت أحد هذه المجالات التي لم يتم استغلالها بالكامل لتحقيق التكامل بين الجمال الفني والأداء الطاقي، وعلى ذلك تتمثل مشكلة البحث في:

- كيف يمكن لفن النحت أن يصبح أداة تصميمية فعّالة لتحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية؟ وما هي الآليات والأساليب الأكثر فعالية لتحقيق هذا الهدف؟

أهداف البحث: Research Objectives

1- دراسة العلاقة بين فن النحت وكفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية.
2- استكشاف التقنيات والمواد الحديثة المستخدمة في دمج النحت مع التصميم المعماري.
3- إلقاء الضوء على الفوائد البيئية والاقتصادية من استخدام فن النحت في تحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية.
4- تحليل دور العناصر النحتية في تحسين جودة التجربة البصرية والتفاعل البشري مع المباني.

CITATION Ghada Shatta (2025), An Analytical Study of The Impact of Sculpture Art on Improving Energy Efficiency in Architectural Facades, International Design Journal, Vol. 15 No. 1, (January 2025) pp 175-193

أهمية البحث: Research Significance

1- إلقاء الضوء على كيفية استخدام فن النحت كأداة تصميمية تجمع بين الجماليات والكفاءة الوظيفية في الواجهات المعمارية.
2- يسهم البحث في تعزيز التكامل بين الفنون المعمارية والهندسة البيئية لتطوير حلول أكثر استدامة في تصميم المباني.
3- يوفر البحث أمثلة تطبيقية من واقع العمارة الحديثة التي يمكن أن تشكل نماذج إرشادية لتصميمات مستقبلية مستدامة.
4- يقدم البحث إطاراً عملياً لتطبيق تقنيات النحت في تحسين الأداء الحراري والبيئي للمباني.

فروض البحث: Research Hypothesis

1- يمكن لفن النحت في الواجهات المعمارية أن يلعب دوراً فعالاً في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين الراحة الحرارية للمستخدمين.
2- استخدام التكنولوجيا الحديثة في تصميم وتنفيذ العناصر النحتية في الواجهات المعمارية يزيد من فاعليتها في تحقيق أهداف الاستدامة الطاقية.
3- تطبيق النحت في الواجهات المعمارية يمكن أن يحقق توازناً بين الجماليات والكفاءة الطاقية، مما يسهم في تطوير مبانٍ مستدامة ومبتكرة.

منهج البحث: Research Methodology

1- **المنهج الوصفي التحليلي:** والذي يتمثل في توضيح المبادئ الأساسية لفن النحت في العمارة وتأثيره على الشكل الخارجي للمبني، ومفهوم كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية، ودور فن النحت كوسيلة للتظليل وتحسين الأداء الحراري في الواجهات المعمارية، ودراسة تحليلية لتأثير فن النحت على كفاءة الطاقة والأداء البيئي في بعض الواجهات المعمارية المعاصرة.
2- **المنهج التطبيقي:** المتمثل في الجانب العملي من البحث.

الإطار النظري: Theoretical Framework

أولاً: مبادئ فن النحت في العمارة:

فن النحت الذي تطور عبر العصور كوسيلة للتعبير الفني والجمالي، قد اكتسب في الوقت الحاضر بعداً إضافياً في الهندسة المعمارية، فلم يعد يقتصر دور فن النحت في العمارة على الإضافة الجمالية، بل بات يلعب دوراً وظيفياً في تعزيز كفاءة الطاقة، تحسين الراحة الحرارية، والتحكم في الإضاءة الطبيعية للمباني.

أ- <u>المبادئ الأساسية لفن النحت في الواجهات المعمارية:</u>

1- **التكامل بين الفن والهيكل المعماري:** أحد أهم مبادئ فن النحت في الواجهات المعمارية هو تحقيق التكامل التام بين الشكل الفني والهيكل الوظيفي للمبنى، حيث يجب أن يتفاعل النحت مع البنية المعمارية بطريقة لا تؤثر سلباً على أداء المبنى، بل تضيف إليه جمالية ووظائف إضافية، فالنحت يمكن أن يكون جزءاً من هيكل المبنى أو يضاف كعنصر منفصل؛ وفي كلتا الحالتين يجب أن يدعم الفكرة المعمارية ويعمل كجزء لا يتجزأ منها. (Ahmed, 2023, p695)
2- **تفاعل الفراغ مع الكتلة:** النحت يتعامل مع الكتلة والفراغ بطريقة تمكنه من خلق توازن بصري يبرز الهيكل المعماري، فالنحت يمكن أن يشكل فراغات متشابكة مع الكتلة المعمارية، مما يعطي العمارة عمقاً وإحساساً بالحركة، كما يمكن للفراغات التي يخلقها النحت أن تكون جزءاً من الوظيفة العملية للمبنى، مثل فتحات التهوية الطبيعية أو الفراغات التي تتحكم في الإضاءة. (Ahmed, 2023, p695)
3- **التناغم مع البيئة المحيطة:** أحد المبادئ الأساسية هو تفاعل فن النحت مع البيئة المحيطة من حيث الضوء، الظل، والرياح. فالعناصر النحتية يجب أن تتكامل مع الظروف المناخية المحيطة بالمبنى وتستفيد منها، مثل توجيه الرياح وتوفير الظل. (Cheng, 2024)
4- **الإيقاع والحركة:** العناصر النحتية تساهم في إضفاء الإيقاع والحركة على الواجهات المعمارية، سواء من خلال توزيع الكتل النحتية بشكل متكرر أو من خلال تشكيل منحنيات وانحناءات توحي بالحركة. هذا المبدأ يساعد في إضفاء ديناميكية على التصميم ويخلق تجربة بصرية تتغير مع اختلاف زوايا النظر. (Ahmed, 2023, p697)
5- **التدرج والتناسب:** العناصر النحتية يجب أن تحافظ على التناسب بين العناصر المختلفة، فالتدرج في استخدام العناصر النحتية يمكن أن يساهم في توجيه الأنظار إلى أجزاء محددة من المبنى، والحفاظ على نسب العناصر النحتية مع المبنى ككل يضمن عدم تشويه التوازن البصري أو المادي، كما أن التناسب يشمل العلاقة بين الحجم، الشكل، والمواد المستخدمة في النحت بما يتماشى مع الهيكل المعماري العام. (Cheng, 2024)

ب- <u>تأثير فن النحت على الشكل الخارجي للمبنى:</u>

1- **تشكيل هوية بصرية فريدة:** النحت يمكن أن يضفي على المبنى هوية بصرية فريدة، من خلال الاستخدام الذكي للمنحوتات الخارجية، حيث يمكن للمعماريين إنشاء مبانٍ مميزة ولافتة للأنظار، مما يميزها عن المباني التقليدية، فالأشكال المنحوتة تضيف لمسة من الفن على الواجهات المعمارية، وتكون نقطة جذب بصرية رئيسية. (Ahmed, 2023, p696)
2- **تحسين الوظائف البيئية:** يمكن لفن النحت أن يكون له تأثير مباشر على تحسين أداء المبنى في الظروف البيئية المختلفة، حيث يمكن للمنحوتات أن تساعد في تحسين تدفق الهواء حول المبنى مما يعزز التهوية الطبيعية، كما يمكن أن تساهم في تقليل الحرارة الممتصة عن طريق توفير الظل والتحكم في اتجاه أشعة الشمس. (Cheng, 2024)
3- **التحكم في الإضاءة والظل:** تأثير النحت على الإضاءة مهم جداً، حيث يمكن أن يستخدم لتوجيه الضوء الطبيعي إلى مناطق محددة من المبنى أو لتوفير الظل في أماكن أخرى، فالأشكال المنحوتة يمكن أن تخلق تأثيرات ظلال ديناميكية تغير من الشكل البصري للواجهة مع تغير زاوية الشمس. (Cheng, 2024)

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

4- **إضافة البعد الثالث:** النحت يضيف بُعداً ثالثاً للواجهة المعمارية، مما يجعلها أكثر تفاعلية وحيوية، فالواجهات التقليدية تكون عادة مسطحة، بينما الواجهات النحتية تعطي إحساساً بالعمق والحركة، مما يزيد من جاذبية التصميم البصري. (Ahmed, 2023, p699)

5- **التفاعل مع البيئة المحيطة:** يمكن أن يصمم النحت بطريقة تتفاعل مع البيئة المحيطة والمارة، حيث يمكن أن تصمم العناصر النحتية لتخلق تأثيرات بصرية مختلفة بناءً على زاوية النظر أو حتى استجابة لتغيرات الطقس مثل الرياح أو المطر، مما يخلق واجهة ديناميكية تفاعلية ومتغيرة باستمرار. (Cheng, 2024)

ثانياً: كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية:

كفاءة الطاقة أصبحت من أبرز القضايا التي تشغل المجتمع المعماري والهندسي في ظل التحديات المناخية العالمية وارتفاع تكاليف الطاقة، وتتعلق كفاءة الطاقة في المباني بتقليل استهلاك الطاقة بدون التأثير على مستوى الراحة الحرارية أو الوظيفية للمباني، حيث تلعب الواجهات المعمارية دوراً حيوياً في تحقيق هذا الهدف من خلال التحكم في تدفق الطاقة بين البيئة الداخلية والخارجية، تحسين التهوية الطبيعية، وتقليل الاعتماد على الأنظمة الميكانيكية للتدفئة أو التبريد.

أ- تعريف مفهوم كفاءة الطاقة:

تُعرف كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية بمدى قدرة الواجهة على تقليل انتقال الحرارة بين داخل المبنى وخارجه، مما يحد من الاحتياج إلى أنظمة التدفئة أو التبريد المكثفة، وبالتالي يقلل من استهلاك الطاقة. فالواجهة المعمارية تعتبر عنصراً رئيسياً في تحقيق ذلك، حيث تتحكم في دخول وخروج الحرارة والضوء والهواء، وتؤثر بشكل مباشر على الأداء الحراري والبيئي للمبنى. (Ma, Wan, 2024)) وتتمثل أهمية كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية فيما يلي:

- **توفير الطاقة**: واجهات المباني المصممة بكفاءة طاقية تقلل من الاعتماد على أنظمة التدفئة والتبريد، مما يقلل من استهلاك الكهرباء.
- **تحسين الراحة الحرارية**: تصميم واجهات ذات كفاءة عالية يعزز من راحة المستخدمين عن طريق الحفاظ على درجة حرارة داخلية مستقرة.
- **تقليل البصمة الكربونية**: من خلال تقليل استهلاك الطاقة، تساهم الواجهات ذات الكفاءة العالية في تقليل الانبعاثات الكربونية، مما يدعم الاستدامة البيئية.
- **زيادة العمر الافتراضي للمباني**: من خلال تحسين الأداء الحراري والعزل، تتعرض المباني لأقل تغيرات في الحرارة والرطوبة، مما يقلل من التآكل ويحسن متانة المواد. (Ma, Wan, 2024)

ب- عناصر تحسين كفاءة الطاقة في تصميم الواجهات المعمارية: كفاءة الطاقة في المباني تعتمد على عدة عناصر، منها:

1- **العزل الحراري:** تُعتبر الطبقات العازلة جزءاً حيوياً من تصميم الواجهات التي تساهم في تحسين كفاءة الطاقة، فالعزل يقلل من الفاقد الحراري خلال فصول الشتاء ويقلل من اكتساب الحرارة خلال الصيف، مما يقلل من الحمل على أنظمة التدفئة والتبريد.

2- **التصميم الشمسي**: من خلال تصميم واجهات تسمح بتقليل دخول حرارة الشمس في الصيف، وزيادة استفادة المبنى منها في الشتاء، حيث يمكن تحقيق ذلك من خلال استخدام تقنيات مثل التظليل المتكامل أو النوافذ الموجهة بشكل صحيح.

3- **التهوية الطبيعية** :الواجهات يمكن أن تكون مصممة للسماح بمرور الهواء الطبيعي من الخارج إلى الداخل، مما يقلل من الحاجة إلى أنظمة التكييف والتبريد.

4- **الزجاج عالي الكفاءة** :استخدام زجاج معزول حرارياً وعاكس لأشعة الشمس يقلل من اكتساب الحرارة داخل المبنى.

5- **المواد العاكسة للحرارة** :استخدام مواد خارجية تعكس أشعة الشمس بدلاً من امتصاصها يقلل من كمية الحرارة المكتسبة.(Ma, Wan, 2024)

ت- العوامل المؤثرة على كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية:

هي مجموعة من المتغيرات التي تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على كمية الطاقة المطلوبة لتشغيل وتدفئة وتبريد وإضاءة المباني. تتحكم هذه العوامل في مدى استهلاك الطاقة داخل المبنى، وتلعب دوراً حاسماً في تحديد مدى استدامة وكفاءة المبنى في استخدام الموارد، ومن أهم هذه العوامل:

1- **التصميم المعماري والبناء:** يعتبر التصميم المعماري الشامل للمبنى من أهم العوامل التي تؤثر في كفاءة الطاقة. حيث يمكن لتصميم الواجهة، الشكل الهندسي، والمساحة المدمجة أن يقلل أو يزيد من استهلاك الطاقة، كما يمكن للتصميم المتقن للفتحات والنوافذ تحسين التهوية الطبيعية وتقليل الحاجة إلى استخدام أنظمة التدفئة والتبريد. (Alwetaishi, 2019, p1206)

2- **التوجيه الجغرافي للمبنى:** توجيه المبنى بالنسبة لأشعة الشمس واتجاه الرياح يلعب دوراً رئيسياً في استهلاك الطاقة، فالمباني التي تواجه الجنوب في المناخات الحارة تتعرض لاكتساب قدر كبير من حرارة الشمس، ما يتطلب استخدام المزيد من الطاقة لتبريدها. على الجانب الآخر، توجيه المبنى في الاتجاه الصحيح يمكن أن يقلل من الاعتماد على أنظمة التدفئة والتبريد عبر الاستفادة من الطاقة الشمسية والتهوية الطبيعية. (Alwetaishi, 2019, p1207)

3- **العزل الحراري**: العزل الجيد يحد من تبادل الحرارة بين داخل المبنى وخارجه، مما يقلل من الحاجة لاستهلاك الطاقة لتدفئة أو تبريد المبني، فالجدران والأسقف والنوافذ المعزولة بشكل صحيح تمنع تسرب الحرارة إلى الخارج في الشتاء وتمنع دخول الحرارة في الصيف، فالمواد العازلة مثل الصوف الصخري أو البوليمرات الخاصة تساعد في تحسين كفاءة العزل وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة. (Alwetaishi, 2019, p1207-8)

4- **أنظمة التهوية:** التهوية الطبيعية أو الميكانيكية تؤثر بشكل مباشر على جودة الهواء الداخلي وكفاءة الطاقة، فالتهوية الطبيعية المصممة بشكل صحيح تقلل من الحاجة إلى أنظمة التكييف والتبريد الميكانيكية، حيث تسمح بتدوير الهواء داخل المبنى. كما ان استخدام تقنيات مثل الفتحات والشبابيك القابلة للتحكم أو الأنظمة المتكاملة لتحسين دوران الهواء الطبيعي تساهم في تحسين كفاءة الطاقة. (Alwetaishi, 2019, p1209)

5- **الأنظمة الشمسية والتظليل:** استخدام أنظمة التظليل الخارجية (مثل الستائر، الألواح الشمسية، أو الهياكل المعمارية مثل المظلات) يقلل من اكتساب الحرارة الشمسية وبالتالي يقلل من الحاجة إلى التبريد، فالمباني المصممة باستخدام التظليل الديناميكي أو الثابت يتم التحكم في كمية الضوء والحرارة التي تدخل المبنى، كما أن استخدام أنظمة تظليل خارجية مثل الشرائح الشمسية أو النوافذ ذات الطلاء العاكس يقلل من اكتساب الحرارة، مما يقلل من الضغط على أنظمة التبريد. (Alwetaishi, 2019, p1209-1210)

6- **نوع مواد البناء:** المواد المستخدمة في بناء المبنى تؤثر على قدرته على العزل الحراري واستهلاك الطاقة، فالمواد ذات الكتلة الحرارية العالية (مثل الخرسانة أو الطوب) يمكن أن تمتص الحرارة من الشمس خلال النهار وتطلقها في الليل، مما يقلل من التقلبات الحرارية داخل المبنى، والمواد العاكسة مثل الطلاءات الخارجية أو الأسطح المعدنية تساهم في تقليل اكتساب الحرارة . (Alwetaishi, 2019, p1211)

7- **الإضاءة الطبيعية والصناعية:** تصميم الإضاءة يؤثر بشكل كبير على كفاءة استخدام الطاقة داخل المباني، حيث إن استغلال الإضاءة الطبيعية من خلال النوافذ والأسطح الزجاجية يقلل من الحاجة إلى الإضاءة الصناعية خلال النهار. أما بالنسبة للإضاءة الصناعية، فإن استخدام المصابيح الموفرة للطاقة مثل مصابيح LEDبدلاً من المصابيح التقليدية يسهم في تقليل استهلاك الطاقة. (Alwetaishi, 2019, p1211)

8- **نظام تدفئة وتبريد المبنى:** الأنظمة الميكانيكية لتدفئة وتبريد المبنى تعد من أكبر العوامل المؤثرة على استهلاك الطاقة في المباني، حيث ان أنظمة التدفئة والتبريد الحديثة (مثل المضخات الحرارية، أنظمة التبريد بالطاقة الشمسية، أو الأنظمة الهجينة) يمكن أن تقلل بشكل كبير من استهلاك الطاقة مقارنة بالأنظمة التقليدية، كما أن تحسين توزيع الهواء داخل المبنى من خلال تقنيات التهوية المدمجة يوفر في استهلاك الطاقة. (Alwetaishi, 2019, p1212)

9- **التحكم الآلي في الأنظمة (Smart Systems):** الأنظمة الذكية للتحكم في التدفئة، التبريد، الإضاءة، والتهوية يمكن أن تحسن من كفاءة استهلاك الطاقة في المباني، حيث ان استخدام تقنيات مثل أجهزة التحكم الذكية التي تعتمد على الاستشعار لضبط درجات الحرارة أو الإضاءة وفقاً لوجود الأشخاص داخل الغرف، يمكن أن يقلل من الفاقد في استهلاك الطاقة ويحسن كفاءة الأداء العام للمبنى. (Alwetaishi, 2019, p1212)

ث- <u>معايير قياس كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية:</u>

هي مجموعة من المؤشرات التي تستخدم لتقييم الأداء الحراري واستهلاك الطاقة في الواجهات المعمارية، حيث تساعد هذه المعايير في تحديد مدى فعالية الواجهة في تقليل الفاقد الحراري وزيادة كفاءة استخدام الطاقة في المباني، وهناك عدة معايير ومؤشرات لقياس الأداء الطاقي، منها:

1- **قيمة العزل الحراري (U-Value):** هي مقياس يُستخدم لتحديد كفاءة العزل الحراري للمواد أو العناصر الإنشائية في المباني، بما في ذلك الواجهات المعمارية. تعبر قيمة Uعن مقدار الحرارة الذي يمكن أن يمر عبر وحدة المساحة من المادة (مثل الجدران أو النوافذ) في ظل فرق درجة حرارة معين (عادةً 1 درجة مئوية) بين الداخل والخارج، حيث تتأثر قيمة U بالمواد المستخدمة في البناء، سمكها، وخصائص العزل الخاصة بها. فكلما انخفضت قيمةU كان العزل أفضل، مما يعني أن المبنى سيحتفظ بالحرارة بشكل أكثر فعالية في الشتاء ويقلل من دخول الحرارة في الصيف. (Wang, Yan, Xiao, 2012, p874)

2- **معامل الانتقال الشمسي (Solar Heat Gain Coefficient - SHGC):** يُقيس SHGC نسبة الطاقة الشمسية التي تمر عبر الواجهة إلى داخل المبنى، مما يؤدي إلى زيادة درجة الحرارة الداخلية. فكلما كانت هذه النسبة أقل، قلّت كمية الحرارة التي تدخل المبنى من الشمس، مما يقلل من الحاجة إلى أنظمة التبريد. (Wang, Yan, Xiao, 2012, p875)

3- **معامل الضوء المرئي (Visible Light Transmittance - VLT):** هو مقياس لنسبة الضوء الطبيعي الذي يمكن أن يخترق الواجهة إلى داخل المبنى. فكلما كانت نسبة VLT أعلى، كلما زادت كمية الضوء الطبيعي التي تدخل المبنى، مما يقلل الحاجة إلى استخدام الإضاءة الصناعية، كما يمكن أن يؤدي استخدام زجاج بقدرة نفاذية عالية للضوء إلى تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في الإضاءة. (Wang, Yan, Xiao, 2012, p875)

4- **معامل الفتحات الهوائية (Air Leakage Rate - ALR):** يمثل هذا المعدل كمية الهواء التي تتسرب عبر الفتحات الصغيرة والشقوق في الواجهة أو النوافذ، فالواجهات التي تسمح بتسرب كمية كبيرة من الهواء تحتاج إلى مزيد من الطاقة لتبريد الهواء الداخلي، لذلك فإن تقليل تسرب الهواء من خلال تحسين جودة التثبيت واستخدام مواد جيدة يزيد من كفاءة استهلاك الطاقة. (Wang, Yan, Xiao, 2012, p877)

5- **معامل الانعكاسية (Reflectivity):** يُقيس قدرة السطح الخارجي للواجهة على عكس أشعة الشمس بدلاً من امتصاصها. فالواجهات العاكسة، مثل الواجهات الزجاجية المزودة بطبقة عاكسة أو مواد مثل الألومنيوم اللامع، تساعد في تقليل كمية الحرارة التي يمتصها المبنى، مما يقلل من الحاجة إلى التبريد. (Wang, Yan, Xiao, 2012, p878)

ثالثاً: تأثير فن النحت على كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية:

تأثير فن النحت على كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية يتجلى من خلال الدور المزدوج الذي يلعبه فن النحت في تحسين الأداء الجمالي والوظيفي للمبنى، حيث يعد فن النحت عنصراً تصميمياً مؤثراً يمكن أن يساهم في تحسين كفاءة الطاقة عبر التحكم في الضوء الطبيعي، تقليل الحمل الحراري، وتحسين التهوية.

أ- <u>النحت كوسيلة للتظليل:</u>

إن أحد الاعتبارات الرئيسية في التصميم المستدام

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

هو الاستخدام الفعال للموارد الطبيعية، وعندما يتعلق الأمر بكفاءة استخدام الطاقة، يلعب الضوء الطبيعي دوراً حاسماً، حيث يعد استغلال الضوء الطبيعي من خلال قرارات التصميم الإستراتيجية أمراً بالغ الأهمية لتحقيق كفاءة استخدام الطاقة في الهندسة المعمارية المستدامة. فمن خلال النظر في عوامل مثل التوجيه، وضع النوافذ، أنظمة الإضاءة النهارية، أجهزة التظليل، والأنظمة المستجيبة للضوء يمكن تحسين استخدام الضوء الطبيعي، تقليل استهلاك الطاقة، وإنشاء مساحات جذابة ومريحة بصرياً. ومن خلال نحت المساحات بالضوء والظلال، يمكن المساهمة في بيئة مبنية أكثر استدامة ووعياً بالبيئة. (Elzeyadi, 2017, p316)

كما ان استخدام فن النحت كوسيلة للتظليل في الواجهات المعمارية يمثل نهجاً متكاملاً يجمع بين الجمالية الفنية والكفاءة الطاقية من خلال تصميم عناصر منحوتة ذكية ومبتكرة، حيث يمكن للمباني أن تقلل من استهلاك الطاقة، تحسن من الراحة الحرارية، وتعزز من جاذبيتها البصرية. يتطلب هذا النهج توازناً دقيقاً بين الجمال والوظيفة، اختيار المواد المناسبة، والتفكير المستقبلي في الاستدامة والتكنولوجيا الذكية. وعلى الرغم من التحديات المرتبطة بالتكلفة والصيانة، فإن الفوائد البيئية والاقتصادية تجعل من استخدام العناصر النحتية خياراً جذاباً للمباني الحديثة المستدامة. (Elzeyadi, 2017, p317)

- **آليات تأثير فن النحت على التظليل في الواجهات المعمارية:**

- **تخفيف الحرارة الشمسية:** عند استخدام المفردات النحتية كعنصر تظليل، مثل الشرفات المنحوتة أو الألواح النحتية المتحركة، يمكن تقليل كمية الحرارة التي تدخل إلى المبنى، حيث يقلل ذلك من الحاجة إلى أنظمة التكييف والتبريد، ويعزز ذلك من كفاءة استهلاك الطاقة.
- **تقليل الإشعاع الشمسي المباشر:** يمكن للعناصر النحتية المتواجدة على الواجهة أن تعكس أو تحجب الإشعاع الشمسي المباشر، مما يقلل من اكتساب الحرارة داخل المبنى.
- **إدارة الضوء الطبيعي:** تساعد العناصر النحتية في توزيع الضوء الطبيعي بشكل متساوٍ داخل المبنى، مما يقلل من الحاجة إلى الإضاءة الصناعية خلال النهار. كما يمكن أن تعمل كعاكس ضوئي لتوجيه الضوء إلى مناطق معينة دون زيادة الحرارة. (Elzeyadi, 2017, p318-319)

- **أنواع النحت المستخدم للتظليل في الواجهات المعمارية:**

- **النحت الشبكي (Mesh Sculptures):** يتكون من هياكل مثقبة أو شبكية تسمح بمرور بعض الضوء والهواء بينما تحجب جزءاً كبيراً من الإشعاع الشمسي، تُستخدم هذه الأنواع بشكل شائع في المناطق الحارة لتقليل الحرارة المفرطة مع الحفاظ على التهوية الجيدة.
- **النحت الجداري (Relief Sculptures):** يشمل هذا النوع من النحت العناصر البارزة والغائرة على الجدران الخارجية للمبنى، مما يخلق تأثيرات ظل ثلاثية الأبعاد، حيث يمكن لهذه العناصر أن تحجب أشعة الشمس المباشرة وتقلل من الحرارة الداخلية.
- **النحت الحركي (Kinetic Sculptures):** يتفاعل مع الرياح أو تغيرات الطقس، مما يسمح بإنشاء ظلال متحركة تتغير مع حركة الشمس، هذا النوع من النحت يساهم في توفير تظليل ديناميكي يتكيف مع الظروف البيئية المتغيرة.
- **النحت المستقل (Freestanding Sculptures):** يتم وضعه خارج المبنى ويمكن تعديله أو تحريكه لتحقيق أفضل تأثير تظليل، كما يمكن أن يكون هذا النوع من النحت جزءاً من تصميم الواجهة ليشكل حاجزاً أمام أشعة الشمس المباشرة.
- **النحت المدمج في الواجهة (Integrated Sculptures):** يتضمن دمج العناصر النحتية مباشرة في تصميم الواجهة، مثل تضمين النحت في الجدران الزجاجية أو الأسطح الخارجية، هذا النوع من النحت يوفر تظليلاً دائماً مع تعزيز الجمالية المعمارية. (Elzeyadi, 2017, p320-321)

- **المبادئ التصميمية لفن النحت كوسيلة للتظليل:**

- **التكامل بين الشكل والوظيفة:** يجب أن يكون النحت جزءاً متكاملاً من تصميم الواجهة، حيث يضيف جمالية ويؤدي وظيفة تظليليه في الوقت نفسه، فالتصميم الناجح يحقق توازناً بين الجمال والأداء البيئي.
- **التناسب والتدرج:** يجب أن تكون الأشكال النحتية متناسبة مع حجم المبنى، بحيث لا تطغى على هيكل المبنى الأساسي، فالتدرج في استخدام العناصر النحتية يساعد في توجيه الضوء والظل بشكل فعال.
- **المرونة والتكيف:** التصميم النحتي يجب أن يكون قادراً على التكيف مع تغيرات الظروف البيئية مثل زاوية الشمس وسرعة الرياح، ويمكن تحقيق ذلك باستخدام مواد خفيفة أو عناصر متحركة.
- **استخدام المواد المستدامة:** يجب اختيار مواد النحت التي تتمتع بخصائص عزل جيدة وتكون مستدامة بيئياً، مثل المعادن المعاد تدويرها أو المواد المركبة التي تقلل من استهلاك الطاقة وتحسن الأداء البيئي. (Elzeyadi, 2017, p322)

ب- <u>تأثير فن النحت على توجيه الرياح والتهوية الطبيعية:</u>

يُعتبر فن النحت أحد الأدوات الإبداعية التي يمكن استخدامها لتوجيه الرياح وتحسين التهوية الطبيعية في الواجهات المعمارية، فمن خلال دمج العناصر النحتية في تصميم المباني يمكن تحسين تدفق الهواء وتقليل الاعتماد على أنظمة التهوية الميكانيكية، مما يُعزز من كفاءة الطاقة ويخلق بيئات داخلية أكثر راحة.

- **آليات تأثير فن النحت على توجيه الرياح والتهوية الطبيعية في الواجهات المعمارية:**

1- **دور فن النحت في توجيه الرياح:** تستخدم العناصر النحتية في الواجهات المعمارية كوسيلة لتوجيه حركة الرياح نحو أو بعيداً عن المبنى، يعتمد هذا التوجيه على تصميم الأشكال النحتية وتوزيعها على الواجهة بطريقة تخدم تدفق الهواء بشكل طبيعي ومناسب، حيث يمكن أن يكون للعناصر النحتية التأثيرات التالية:

- **تحويل مسار الرياح:** التصميمات النحتية ذات الزوايا أو الأشكال الملتوية تساعد على تغيير اتجاه الرياح أو تفريقها، مما يمنع الرياح القوية من الاصطدام المباشر بواجهة المبنى.
- **تعزيز تدفق الرياح:** بعض التصميمات النحتية يمكن أن تعمل كأدوات لزيادة سرعة الرياح أو توجيهها نحو

مناطق معينة، مثل فتحات التهوية أو النوافذ، مما يُحسن من تدفق الهواء داخل المبنى. (Alakaby, 2021, p173)

2- **تحقيق التهوية الطبيعية باستخدام النحت:** من خلال فن النحت يمكن تحسين التهوية الطبيعية عبر السماح بدخول الهواء الخارجي إلى داخل المبنى بطرق مبتكرة وفعالة، يعتمد ذلك على تصميم الواجهة وطبيعة العناصر النحتية، ويتحقق ذلك من خلال:

- **إنشاء ممرات هوائية :**تُستخدم الأشكال النحتية لإنشاء مسارات لتوجيه الهواء عبر فتحات أو تجاويف في المبنى، مما يسمح بتدفق الهواء البارد إلى الداخل وخروج الهواء الساخن إلى الخارج، هذه العملية تُعزز التهوية الطبيعية وتُقلل من الحاجة إلى أنظمة التبريد والتكييف.
- **التحكم في ضغط الهواء:** يمكن لعناصر النحت التحكم في ضغط الهواء حول الواجهة المعمارية، مما يساعد في تحسين التهوية الطبيعية عن طريق زيادة تدفق الهواء في المناطق منخفضة الضغط.
- **تشجيع التهوية المتقاطعة**: تصميم العناصر النحتية بطريقة تُعزز دخول الهواء من جانب وخروجه من الجانب الآخر للمبنى، يُساعد على تهوية الفراغات الداخلية بكفاءة أكبر. (Alakaby, 2021, p175)

3- **النحت والرياح الديناميكية:** الأشكال النحتية يمكن أن تعمل بالتوافق مع الديناميكا الهوائية لتحسين جودة الهواء الداخلي، تتعلق هذه الديناميكا بتفاعل الهواء مع الأشكال التي تصادفه أثناء الحركة، فبعض الأشكال النحتية يمكن أن تُستخدم للاستفادة من الرياح الديناميكية لتوجيه الهواء البارد إلى المناطق الداخلية أو دفع الهواء الساخن إلى الخارج، ويتحقق ذلك من خلال:

- **تصميمات مُوجهة لتسريع تدفق الرياح:** يمكن للأشكال النحتية أن تعمل على تسريع تدفق الرياح على طول الواجهة، مما يؤدي إلى سحب الهواء البارد إلى الداخل بشكل أسرع وتوزيعه بكفاءة أكبر.
- **استخدام النحت لخلق مناطق ضغط منخفض**: يتيح تصميم العناصر النحتية بطريقة تخلق مناطق ضغط منخفض خلف أو حول هذه العناصر، إمكانية سحب الهواء الساخن من الداخل، مما يُشجع على دخول الهواء البارد. (Alakaby, 2021, p177)

4- **النحت وتهوية الفضاءات الداخلية والخارجية:** يمكن للعناصر النحتية أن تُعزز من التهوية الطبيعية في الفضاءات الداخلية والخارجية للمباني، من خلال دمج تصميمات تسمح بتدفق الهواء بشكل أفضل، ويتحقق ذلك من خلال:

- **نحت على مستوى الواجهات الكبيرة:** يمكن استخدام العناصر النحتية على واجهات المباني الكبيرة لتوجيه الرياح نحو مساحات خارجية مفتوحة، مما يُحسن من جودة الهواء ويُعزز من الراحة البيئية في الفضاءات العامة.
- **دمج النحت في الأفنية الداخلية:** في المباني التي تحتوي على أفنية داخلية أو ساحات مفتوحة، يمكن للعناصر النحتية أن تعمل كأدوات توجيهية لتحسين تدفق الرياح داخل هذه الفضاءات، مما يُحسن من التهوية الطبيعية دون الحاجة إلى أنظمة ميكانيكية. (Alakaby, 2021, p178)

- **استراتيجيات تصميم النحت لتحسين التهوية الطبيعية:**

1- **استخدام الأشكال المفتوحة والمجوفة:** يمكن للأشكال النحتية المفتوحة والمجوفة أن تعمل كقنوات لتوجيه الرياح إلى المناطق الداخلية، حيث تساهم هذه الأشكال في تحسين تدفق الهواء مع تقليل الاحتكاك والاضطراب.

2- **التحكم في الاتجاه والسرعة:** قبل تصميم العناصر النحتية، يجب إجراء دراسة لحركة الرياح المحلية حول الموقع، حيث يمكن استخدام هذه البيانات لتصميم العناصر النحتية بشكل يتماشى مع اتجاه الرياح ويساهم في تحسين تدفق الهواء.

3- **توزيع النحت بشكل استراتيجي**: توزيع العناصر النحتية بشكل متوازن حول المبنى يعزز من تدفق الرياح بشكل فعال، حيث يجب التركيز على الأماكن التي تواجه اتجاه الرياح السائد لتعظيم الاستفادة من تدفق الهواء. (Alakaby, 2021, p179)

ت- <u>تأثير فن النحت على الأداء الحراري في الواجهات المعمارية:</u>

يُمثل فن النحت أداة فعالة لتحسين الأداء الحراري في الواجهات المعمارية، حيث يُساهم في تقليل امتصاص الحرارة، تعزيز التظليل، وتحسين التهوية الطبيعية. فمن خلال دمج الأشكال النحتية المدروسة في تصميم الواجهات، يمكن تحقيق توازن بين الجمال الوظيفي والراحة الحرارية، مما يُساهم في تحسين كفاءة الطاقة واستدامة المباني في المستقبل. (Larrinaga and Others, 2023)

- **آليات تأثير فن النحت على امتصاص الحرارة في الواجهات:**

1- **الشكل والتصميم:**

- **الأسطح ثلاثية الأبعاد**: يمكن للأسطح المنحوتة والمجسمة أن تخلق ظلالاً متفاوتة على واجهات المبنى، مما يقلل من تعرض السطح لأشعة الشمس مثل الأشكال المجوفة أو المتعددة الأوجه، والتي يمكن أن تعمل كحاجز طبيعي ضد الإشعاع الشمسي المباشر.
- **تصميم الزوايا**: تعمل الزوايا المتعددة للأشكال النحتية على كسر أشعة الشمس مما يؤدي إلى تقليل مساحة السطح المعرضة مباشرة للشمس وبالتالي تقليل امتصاص الحرارة. (Larrinaga and Others, 2023)

2- **المواد المستخدمة:**

- **المواد العاكسة** :استخدام مواد ذات انعكاسية عالية مثل المعادن المصقولة أو الزجاج يمكن أن يقلل من كمية الحرارة الممتصة، فالمواد العاكسة تعيد معظم الإشعاع الشمسي بدلاً من امتصاصه.
- **المواد الطبيعية** :يمكن أن تكون المواد مثل الحجر الطبيعي أو الأخشاب قادرة على تخزين الحرارة لفترات أطول، مما يؤثر على الأداء الحراري للواجهات المعمارية خلال الليل. (Larrinaga and Others, 2023)

3- **تأثير التظليل:** يمكن للعناصر النحتية أن توفر تظليلاً جزئياً لأسطح الواجهة، مما يقلل من درجة الحرارة السطحية، وبالتالي يقلل من امتصاص الحرارة، حيث

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

يقلل التظليل من الحاجة إلى أنظمة التبريد الميكانيكية ويعزز من الراحة الحرارية داخل المبنى. (Larrinaga and Others, 2023)

- **أثر امتصاص الحرارة على الأداء الحراري للمباني:**

1- **تقليل الحمل الحراري:** الظل الذي توفره العناصر النحتية يقلل من تسخين الواجهات الخارجية، مما يؤدي إلى تقليل الحمل الحراري الذي يحتاج إلى التعامل معه عبر أنظمة التبريد الداخلية، ويؤدي ذلك إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة.

2- **التأثير على درجات الحرارة الداخلية:** تقلل الأشكال النحتية التي تساهم في تقليل امتصاص الحرارة من انتقال الحرارة إلى الداخل، مما يحافظ على درجات حرارة معتدلة داخل المبنى دون الحاجة إلى أنظمة تبريد إضافية.

3- **تأثير الحرارة الممتصة على البيئة المحيطة:** يمكن للأشكال أن تخفف من ظاهرة "الجزيرة الحرارية الحضرية" عن طريق تقليل تسخين السطح في المناطق الحضرية المزدحمة، مما يحسن من جودة البيئة الحضرية ويقلل من التلوث الحراري. (Larrinaga and Others, 2023)

- **استراتيجيات تصميمية للنحت لتحسين الأداء الحراري في الواجهات المعمارية:**

1- **استخدام الأشكال العضوية والمتموجة:** الأشكال المتموجة والعضوية يمكن أن تكون فعالة في تقليل امتصاص الحرارة بسبب توزيع أشعة الشمس على زوايا متعددة، حيث تقلل هذه الأشكال من تعرض المبنى للإشعاع المباشر وتخلق ظلالاً طبيعية.

2- **توزيع المنحوتات بشكل استراتيجي على الواجهات:** يجب وضع المنحوتات في الأماكن الأكثر تعرضاً للشمس خلال النهار مثل الواجهات الجنوبية والغربية، حيث يؤدي ذلك إلى تقليل تعرض تلك المناطق لأشعة الشمس المباشرة وتقليل الحمل الحراري.

3- **دمج النحت مع تقنيات التهوية الطبيعية:** يمكن أن تكون التكوينات النحتية جزءاً من نظام تهوية طبيعي يساعد على تخفيف الحرارة الممتصة عن طريق توجيه الهواء نحو الواجهات لتبريدها بشكل طبيعي. (Larrinaga and Others, 2023)

رابعاً: التقنيات والخامات الحديثة المستخدمة في الواجهات المعمارية لتحسين كفاءة الطاقة:

أ- **<u>التقنيات الحديثة المستخدمة في النحت على الواجهات المعمارية لتحسين كفاءة الطاقة:</u>**

1- أنظمة التحكم في التظليل:

أنظمة التظليل في الواجهات المعمارية تلعب دوراً حيوياً في تحسين كفاءة الطاقة من خلال تقليل الحمل الحراري على المباني، تقليل الحاجة للتبريد والتهوية الصناعية، وتحسين التحكم في الإضاءة الطبيعية. ويمكن تقسيم هذه الأنظمة إلى عدة فئات، منها التظليل الديناميكي والتظليل الشمسي النشط، بالإضافة إلى أنظمة أخرى تعتمد على مواد وتصميمات ذكية للتكيف مع الظروف المناخية.

- **التظليل الديناميكي (Dynamic Shading):** هو نظام تظليل متحرك يتم التحكم فيه أوتوماتيكياً بناءً على الظروف البيئية، مثل الإشعاع الشمسي، درجة الحرارة، أو حركة الرياح. يعمل هذا النظام على توفير التظليل في الأوقات التي تزداد فيها أشعة الشمس وتقليله عند الحاجة للإضاءة الطبيعية أو التدفئة الشمسية، وتتمثل تقنيات التظليل الديناميكي فيما يلي:
  - الستائر المتحركة والمظلات: تستخدم هذه الستائر أو المظلات المتحركة التي تتغير زواياها أو تنفتح وتنغلق تلقائياً بناءً على شدة حرارة الشمس، ويتم التحكم فيها باستخدام مستشعرات الضوء ودرجات الحرارة، مما يُقلل من استهلاك الطاقة المرتبط بالتبريد الداخلي.
  - الواجهات الذكية المتكيفة: تشتمل على عناصر معمارية مثل الألواح المعدنية أو الزجاجية المتحركة، والتي تتغير زواياها أو تتحرك بناءً على بيانات من أنظمة الذكاء الاصطناعي أو الاستشعار البيئي، ويتم استخدام هذه الواجهات في المباني ذات الاحتياجات المتغيرة للضوء الطبيعي والتظليل.
  - الفتحات المتغيرة: تتيح هذه الفتحات دخول الضوء أو إغلاقها تماماً حسب الحاجة، ويتم التحكم بها بواسطة محركات وأجهزة استشعار لضمان التكيف الأمثل مع الإشعاع الشمسي. (Liu, Wu, 2022)
- **التظليل الشمسي النشط (Active Solar Shading):** يعتمد على أنظمة تكنولوجية متقدمة تستجيب ديناميكياً لتغيرات الإشعاع الشمسي بهدف تحسين كفاءة الطاقة، حيث يمكن لهذه الأنظمة أن تستفيد من الطاقة الشمسية لتحويلها إلى طاقة كهربائية أو حرارية، تحسين الأداء الحراري والإضاءة الطبيعية للمباني، وتقليل البصمة الكربونية للمبنى. وتتمثل تقنيات التظليل الشمسي النشط فيما يلي:
  - الأغشية الكهروضوئية الذكي (Smart Electrochromic Films): هي مواد تغير شفافيتها استجابة للإشارات الكهربائية أو تغيرات الحرارة، حيث يمكنها التحول من الشفافية إلى التظليل التام لتحسين الراحة الحرارية وتقليل الحمل الحراري.
  - الزجاج الكهروضوئي (Photovoltaic glass): هو نوع من الزجاج الذكي الذي يمكن ان تغيير مستوى شفافيته بناءً على كمية الضوء والإشعاع الشمسي، حيث يتفاعل هذا الزجاج مع الطاقة الكهربائية لتقليل الإشعاع الشمسي الداخل إلى المبنى، مما يساعد في تقليل الحمل الحراري.
  - كوات الطاقة الشمسية النشطة (Active Solar Louvers): تتمثل في شفرات متحركة مزودة بألواح شمسية تُستخدم كعنصر تظليل وتوليد الطاقة في نفس الوقت، حيث تتحرك الشفرات حسب تغير زاوية الشمس لتوفير التظليل وتوليد الطاقة بشكل مستدام. (Liu, Wu, 2022)
- **التظليل السلبي(Passive Shading Systems):** يشير إلى تصميمات ثابتة لا تحتاج إلى تحكم نشط، وتعتمد على التصميم الهندسي للعناصر المعمارية لتحقيق التظليل. هذا النوع من التظليل يُعد من الأنظمة الأكثر شيوعاً والأقل تكلفة، ويعتمد على مواد وأشكال معمارية تساعد في تقليل الحمل الحراري بدون استخدام الطاقة، توفير تظليل دائم للمبنى، وبساطة التركيب والصيانة. وتتمثل تقنيات التظليل السلبي فيما يلي:

- البروزات الشمسية (Solar Prominences): بروزات ثابتة على نوافذ أو واجهات المباني تعمل على تقليل كمية الإشعاع الشمسي الداخل إلى المبنى خلال فصل الصيف، بينما تسمح بدخول الشمس خلال فصل الشتاء.
- المظلات الثابتة (Fixed Awnings): هي عناصر تظليل مثبتة تُستخدم لحماية المبنى من أشعة الشمس المباشرة، خاصة في النوافذ الكبيرة والواجهات الزجاجية.
- الشبكات النحتية (Sculptural Mesh Screens): شبكات مصنوعة من مواد مثل المعادن أو الخشب تُثبت أمام الواجهة لتوفير تظليل طبيعي وتخفيف عبء الحرارة. (Liu, Wu, 2022)

2- تقنيات الأنظمة الذكية:

تقنيات الأنظمة الذكية المستخدمة في إدارة كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية تعد من الابتكارات الحديثة التي تسهم في تحسين استهلاك الطاقة في المباني بشكل ملحوظ. تعتمد هذه التقنيات على استخدام أجهزة استشعار، برامج تحكم، وأنظمة متكاملة قادرة على ضبط البيئة الداخلية للمبنى استناداً إلى الظروف الخارجية. وتتمثل هذه التقنيات فيما يلي:

- **الأنظمة الزجاجية الذكية (Smart Glazing Systems):**
  - الزجاج الإلكتروكروميك (Electrochromic Glass): هو نوع من الزجاج يمكنه تغيير درجة شفافيته بناءً على شدة التيار الكهربائي. يعمل هذا النظام على التحكم في كمية الضوء والحرارة التي تدخل المبنى تلقائياً، مما يقلل من الحاجة إلى التبريد أو التدفئة، ويستخدم بشكل خاص في المباني ذات الواجهات الزجاجية الكبيرة. (Burnoro, Frighi, 2023)
  - الزجاج اللوني الضوئي والحراري (Photochromic and Thermochromic Glass): يتغير لون هذا النوع من الزجاج تلقائياً استجابة لتغيرات الضوء أو الحرارة الخارجية، مما يساعد في التحكم في درجات الحرارة الداخلية دون الحاجة إلى أنظمة طاقة إضافية. (Burnoro, Frighi, 2023)
- **أنظمة إدارة التهوية الذكية (Smart Ventilation Systems):** التحكم في التهوية الطبيعية من خلال أنظمة ذكية يمكن أن يحسن من كفاءة الطاقة بشكل كبير، وتعتمد هذه الأنظمة على أجهزة استشعار لقياس جودة الهواء ودرجة الحرارة والرطوبة داخل وخارج المبنى، وتقوم بتعديل أنظمة التهوية بناءً على هذه المعطيات.
  - التهوية الطبيعية المُدارة (Smart Natural Ventilation): تعمل هذه الأنظمة على فتح أو إغلاق النوافذ أو الفتحات بشكل تلقائي استجابة لمستويات الحرارة أو الرطوبة، كما يمكن أيضاً دمج هذه الأنظمة مع نظام التحكم في الظل لتحقيق أقصى قدر من تدفق الهواء وتجنب ارتفاع درجات الحرارة الداخلية. (Burnoro, Frighi, 2023)
  - الأنظمة المدمجة في الواجهات القابلة للتنفس (Breathable Facades): هي واجهات تسمح بتدفق الهواء عبرها، مما يسهم في تحسين التهوية الطبيعية، حيث تحتوي هذه الواجهات على أنظمة ذكية تتحكم في الفتحات لتحقيق التوازن بين التهوية وكفاءة الطاقة، حيث تعمل تلقائياً بناءً على مستويات الحرارة الداخلية والخارجية. (Burnoro, Frighi, 2023)
- **أنظمة الإضاءة الذكية (Smart Lighting Systems):** تعتبر من أهم التقنيات المستخدمة في تحسين كفاءة الطاقة داخل المباني، تعتمد هذه الأنظمة على أجهزة استشعار للحركة ومستشعرات للإضاءة لضبط مستويات الإضاءة بناءً على الحاجة.
  - الإضاءة الطبيعية المُدارة (Daylight Harvesting): تستخدم مستشعرات لقياس مستوى الإضاءة الطبيعية داخل المبنى وتعديل الإضاءة الصناعية بناءً على ذلك، مما يقلل من استهلاك الطاقة، فعند توفر الإضاءة الطبيعية الكافية، يتم تقليل أو إطفاء أنظمة الإضاءة الصناعية تلقائياً. (Burnoro, Frighi, 2023)
  - الإضاءة الذكية المتكاملة مع التظليل (Smart lighting integrated with Shading): يتكامل هذا النظام مع أنظمة التظليل الديناميكي لتحسين استخدام الإضاءة الطبيعية، فعندما يتم تظليل النوافذ لمنع دخول الحرارة، يتم تعديل الإضاءة الداخلية لتعويض أي نقص في الإضاءة الطبيعية. (Burnoro, Frighi, 2023)
- **أنظمة التحكم الحراري الذكية (Smart Thermal Control Systems):** تهدف أنظمة التحكم الحراري الذكية إلى تحسين استهلاك الطاقة من خلال التحكم في التدفئة والتبريد بناءً على بيانات فورية من أجهزة استشعار داخلية وخارجية.
  - أنظمة التدفئة والتبريد بالذكاء الاصطناعي (AI-Controlled HVAC Systems): تعتمد على تحليل البيانات من أجهزة الاستشعار الموجودة داخل وخارج المبنى لتعديل درجات الحرارة بطريقة موفرة للطاقة، حيث يمكن لهذه الأنظمة التعرف على أنماط الاستخدام اليومية والتكيف معها لتحقيق أعلى كفاءة ممكنة. (Burnoro, Frighi, 2023)
  - واجهات الجدران النشطة (Active Wall Facades): تعمل هذه الأنظمة على استخدام الجدران كأداة لتدفئة أو تبريد المساحات الداخلية عبر طبقات متكاملة تحتوي على أنظمة لتدفق الهواء، حيث يتحكم النظام في تدفق الطاقة الحرارية من خلال الجدران حسب الحاجة، مما يسهم في تقليل استهلاك الطاقة في التدفئة والتبريد. (Burnoro, Frighi, 2023)
- **أنظمة إدارة الطاقة الذكية (Smart Energy Management Systems):** تُستخدم أنظمة إدارة الطاقة الذكية لمراقبة وتحليل استهلاك الطاقة في المباني وضبط الأنظمة المختلفة لتحقيق التوازن بين الأداء وكفاءة الطاقة. (Burnoro, Frighi, 2023)
  - أنظمة مراقبة الطاقة (Energy Monitoring Systems): تقوم بمراقبة استهلاك الطاقة الفعلي للمبنى في الوقت الحقيقي، حيث يتم تحليل هذه البيانات لتحديد الأماكن التي يمكن تحسين استهلاك الطاقة فيها، كما يتم استخدام هذه الأنظمة لتحديد الفترات الزمنية التي تستهلك فيها الطاقة بشكل غير ضروري وتحسين إدارة الأنظمة الأخرى استناداً إلى ذلك. (Burnoro, Frighi, 2023)

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

- أنظمة توليد الطاقة المدمجة (Integrated Energy Generation Systems): الواجهات الذكية يمكن أن تحتوي على أنظمة لتوليد الطاقة مثل الألواح الشمسية، حيث تعمل أنظمة الإدارة الذكية على تحسين استخدام هذه الطاقة في الأوقات المناسبة وتخزين الفائض لاستخدامه لاحقاً. (Burnoro, Frighi, 2023)

- **أنظمة التحليل والتنبؤ الذكية (Predictive and Analytical Smart Systems):** تعتمد هذه الأنظمة على تقنيات تحليل البيانات والتعلم الآلي للتنبؤ باحتياجات الطاقة المستقبلية بناءً على أنماط الاستخدام وتغيرات الطقس، حيث تقوم هذه الأنظمة بتحليل بيانات استهلاك الطاقة السابقة وبيانات الطقس للتنبؤ بالطلب المستقبلي على التدفئة أو التبريد، مما يسمح للأنظمة الأخرى بالتكيف مسبقاً لتلبية الاحتياجات مع تحقيق أعلى كفاءة في استهلاك الطاقة.(Burnoro, Frighi, 2023)

3- تقنيات المحاكاة الحاسوبية:

تعتمد هذه التقنيات على نماذج رياضية ثلاثية الأبعاد تحاكي الظروف البيئية الحقيقية لتحديد كيفية استجابة المبنى لعوامل مثل الشمس، الرياح، ودرجة الحرارة، مما يسمح للمهندسين والمصممين بإجراء تعديلات دقيقة لتحسين الأداء. وتتمثل هذه التقنيات فيما يلي: (You, Qin, Ding, 2013, p270)

- **نمذجة الطاقة الحرارية (Thermal Energy Modeling):** تتيح تحليل انتقال الحرارة في واجهات المباني لتحديد كيفية تفاعل المواد مع الطاقة الشمسية والتغييرات الحرارية المحيطة. هذه التقنية تساعد في تحليل انتقال الحرارة، تقليل الحمل الحراري، وتحليل الأداء الحراري. ومن أمثلة هذه البرامج: EnergyPlus، TRNSYS. (You, Qin, Ding, 2013, p272)

- **محاكاة الضوء الطبيعي (Daylight Simulation):** تعد محاكاة الضوء الطبيعي جزءاً أساسياً من تصميم واجهات المباني لتحسين كفاءة الطاقة، حيث تمكن من تقييم كيفية دخول الضوء الطبيعي إلى المبنى وتأثيره على الإضاءة الداخلية وتقليل استهلاك الإضاءة الصناعية. ومن أمثلة هذه البرامج: Radiance، DIALux. (You, Qin, Ding, 2013, p273)

- **محاكاة التدفق الهوائي والتهوية الطبيعية (Airflow and Natural Ventilation Simulation):** تسمح هذه التقنية بتحليل كيفية تدفق الهواء داخل وحول المبنى وتأثيره على التهوية الطبيعية وتحسين كفاءة التبريد. ومن أمثلة هذه البرامج:CFD ، OpenFOAM. (You, Qin, Ding, 2013, p275)

- **نمذجة الأداء الكلي للمبنى (Whole-Building Energy Simulation):** تجمع هذه التقنية بين جميع جوانب الأداء الحراري والإضاءة والتدفق الهوائي لتحليل الأداء الكلي للمبنى من حيث كفاءة الطاقة، كما تساعد في تحليل شامل للطاقة، وتحسين الواجهات المعمارية. ومن أمثلة هذه البرامج: DesignBuilder، IES VE.

- **تحليل الطاقة الشمسية (Solar Energy Analysis):** يعد تحليل الطاقة الشمسية جزءاً مهماً في تصميم الواجهات المعمارية، حيث يتيح فهم كيفية تأثير الإشعاع الشمسي على المبنى واستغلاله لتوليد الطاقة أو تقليل الحمل الحراري. ومن أمثلة هذه البرامج Polysun. (You, Qin, Ding, 2013, p277)

ب- الخامات الحديثة المستخدمة في النحت على الواجهات المعمارية لتحسين كفاءة الطاقة:

استخدام المواد الحديثة في النحت على الواجهات المعمارية يمكن أن يسهم بشكل كبير في تحسين كفاءة الطاقة في المباني، حيث تعتمد هذه الخامات على الابتكار التكنولوجي والتصميم الموجه لتحقيق التوازن بين الجماليات المعمارية وكفاءة الطاقة، وفيما يلي عرض لبعض الخامات الحديثة المستخدمة في النحت على الواجهات المعمارية لتحقيق هذا الهدف:

1- الألمنيوم المركب (Aluminium Composite Panels – ACP): هو ألواح مكونة من طبقات رقيقة من الألمنيوم مع مادة بوليمرية، يتميز بأنه خفيف الوزن، مقاوم للتآكل، وعازل حراري ممتاز، يمكن تشكيله بسهولة في أشكال نحتية معقدة على الواجهات، يساعد على عزل المبنى من التغيرات الحرارية الخارجية، كما أنه يعمل كعاكس للأشعة الشمسية ويقلل من امتصاص الحرارة، مما يقلل من الاحتياج إلى أنظمة التبريد. (عبد الفتاح،2021، صـ37)

2- الخرسانة عالية الأداء (Ultra-High-Performance Concrete – UHPC): هي مادة خرسانية متقدمة تمتاز بقوتها الفائقة ومتانتها، كما تمتاز بأنها يمكن تشكيلها في أشكال نحتية معقدة، ولديها قدرة عالية على العزل الحراري بفضل كثافتها، كما أنها مقاومة للعوامل البيئية مثل الأمطار والرياح، ويمكنها أن تساعد في تنظيم الحرارة داخل المبنى عبر تقليل انتقال الحرارة بين الداخل والخارج، مما يقلل الحاجة إلى أنظمة التدفئة والتبريد. (عبد الفتاح،2021، صـ38)

3- الأخشاب المعالجة حرارياً (Thermally Modified Wood): عبارة عن خشب طبيعي يتم معالجته حرارياً لتحسين خواصه الميكانيكية وخواص العزل، كما يتميز بجماله الطبيعي ويضفي لمسة دافئة على التصميمات النحتية، ويمتاز بقدرات عالية في العزل الحراري ومقاومة العوامل الجوية، وبفضل قدرته على العزل يمكنه تقليل امتصاص الحرارة في الصيف وحفظ الحرارة في الشتاء. (حمدي، مصطفي، 2022)

4- الزجاج الديناميكي (Dynamic Glass): هو زجاج ذكي يتغير لونه أو شفافيته استجابة لتغيرات الإضاءة أو درجة الحرارة، يُستخدم بشكل فني ونحتي على الواجهات المعمارية، مما يسمح بمرونة التصميم، ويمكنه التحكم في كمية الضوء والحرارة التي تدخل إلى المبنى، كما يقلل من استخدام أجهزة التبريد والإضاءة الصناعية عن طريق التحكم في دخول الضوء الطبيعي وتعديل التظليل بشكل ديناميكي. (حمدي، مصطفي، 2022)

5- الزجاج المزدوج منخفض الانبعاث (Low-E Glass): هو زجاج منخفض الانبعاث يحتوي على طبقة رقيقة تعمل على تقليل انبعاث الحرارة من داخل المبنى إلى الخارج والعكس، هذا النوع من الزجاج يقلل من تأثير الحرارة الخارجية على درجات الحرارة الداخلية، كما يقلل من الفاقد الحراري من خلال النوافذ، مما يساهم في

تحسين العزل الحراري للمبنى ويقلل من احتياجات التدفئة والتبريد. (حمدي، مصطفي، 2022)

6- **الألواح الشمسية المتكاملة في المباني (Building-Integrated Photovoltaics – BIPV):** هي ألواح شمسية مدمجة في عناصر الواجهة مثل الجدران أو النوافذ، مما يجعلها جزءاً من التصميم النحتي، وتُستخدم بتصاميم مبتكرة تُكسب الواجهة جمالاً فنياً ووظيفياً في نفس الوقت، حيث انها تولد الكهرباء مباشرة من الشمس مما يقلل من استهلاك الطاقة الكهربائية التقليدية، كما يمكن دمجها بشكل جمالي في التصميم المعماري دون التأثير على مظهر الواجهة. (عبد الفتاح،2021، صـ41)

7- **الألياف الزجاجية المسلحة بالبلاستيك (Glass Fiber Reinforced Plastics – GFRP):** هي مادة مركبة خفيفة الوزن وقوية تتكون من ألياف زجاجية مدمجة في مصفوفة بلاستيكية، يمكن تشكيلها بسهولة في أشكال نحتية معقدة وخفيفة الوزن، وتمتاز بمقاومتها العالية للعوامل الجوية والحرارة، وبفضل خفة وزنها وخصائصها العازلة، تساعد في تحسين الأداء الحراري للواجهة، مما يقلل من احتياجات التدفئة والتبريد. (عبد الفتاح،2021، صـ43)

8- **الخرسانة الحيوية (Bioconcrete):** هي خرسانة تحتوي على بكتيريا تقوم بإصلاح التشققات ذاتياً وإنتاج مواد إضافية تساعد في تحسين الخواص الحرارية، فهي تمنح المبنى متانة طويلة الأمد وتحافظ على الأداء الحراري بمرور الوقت من خلال الإصلاح الذاتي، كما تحافظ الخرسانة الحيوية على العزل الحراري دون الحاجة إلى إصلاحات مستمرة، مما يحسن من كفاءة الطاقة. (حمدي، مصطفي، 2022)

9- **المواد النانوية (Nanomaterials):** هي مواد تحتوي على جزيئات نانوية لتحسين الخواص الحرارية والميكانيكية، يمكن تطبيقها على السطح الخارجي للواجهات النحتية لتحسين الأداء الحراري والعزل، حيث تشمل هذه المواد طلاءات نانوية تمنع تراكم الأوساخ أو الطحالب، مما يحافظ على الواجهة نظيفة وفعالة، كما أنها توفر عزلاً حرارياً فائقاً وتقلل امتصاص الحرارة من الشمس، مما يقلل من الاحتياج إلى أنظمة التبريد. (حمدي، مصطفي، 2022)

10- **المعادن المعالجة بطلاءات عاكسة (Reflective Coated Metals):** هي معادن مثل الفولاذ المقاوم للصدأ والألمنيوم، مطلية بطلاءات عاكسة للأشعة الشمسية، تُستخدم في تصاميم نحتية مبتكرة على الواجهات، وتقلل من امتصاص الحرارة، كما انها تعكس الحرارة بشكل كبير وتقلل من الحمل الحراري على المبنى، مما يقلل من استخدام أنظمة التبريد. (عبد الفتاح،2021، صـ47)

11- **مواد العزل الحراري المتقدم (Advanced Thermal Insulation materials):** هي مواد عزل حرارية متقدمة مثل العزل الفراغي (Vacuum Insulation Panels – VIPs) أو المواد العازلة النانوية (Aerogels)، هذه المواد توفر عزلاً حرارياً عالي الكفاءة بسمك أقل بكثير من المواد التقليدية، كما أنها تعمل على تقليل التبادل الحراري بين داخل وخارج المبنى، مما يقلل من الحاجة إلى التدفئة في الشتاء والتبريد في الصيف، هذه المواد تساعد في الحفاظ على درجات حرارة مريحة داخل المبنى طوال العام. (حمدي، مصطفي، 2022)

خامساً: التحديات والمعوقات المستقبلية لتحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية:

أ- **التكلفة العالية للتقنيات المتقدمة:** التحدي الرئيسي في تحسين كفاءة الطاقة في الواجهات المعمارية هو التكلفة العالية لتطبيق التقنيات المتقدمة مثل الواجهات الديناميكية، الأنظمة الذكية، والزجاج المتقدم. حيث تتطلب هذه الحلول مواد مبتكرة، أنظمة تحكم معقدة، وتكنولوجيا إنتاج متطورة، مما يزيد من تكلفة البناء والتشغيل. يمكن أن يمثل ذلك عائقاً أمام تبنيها على نطاق واسع، خاصة في المناطق ذات الميزانيات المحدودة. (Akram, 2022)

ب- **المعايير واللوائح المتغيرة:** تواجه تصميمات الواجهات المعمارية تحديات كبيرة فيما يتعلق بالمعايير واللوائح البيئية المتغيرة باستمرار، فمع التقدم التكنولوجي السريع وازدياد الوعي بالاستدامة، قد تتغير المتطلبات القانونية والتنظيمية بشكل متكرر، حيث يفرض ذلك على المهندسين والمصممين ضرورة التكيف مع اللوائح الجديدة وضمان أن المباني تتوافق مع متطلبات كفاءة الطاقة الحالية والمستقبلية.(Hafez, 2023)

ت- **المناخ المحلي والتحديات الجغرافية:** تعتبر عوامل رئيسية تؤثر على كفاءة الطاقة في المباني، فعند تصميم الواجهات يجب أن يأخذ في الاعتبار الظروف المناخية المحلية، مثل درجات الحرارة العالية، الرطوبة، التعرض للأشعة الشمسية، والمناطق الحارة أو الرطبة، والتي قد تتطلب استراتيجيات تظليل وتبريد معقدة لتقليل الحمل الحراري على المبنى.(Hafez, 2023)

ث- **الاستدامة والخامات الصديقة للبيئة:** البحث عن مواد بناء مستدامة وفعالة في استخدام الطاقة هو تحدي كبير، فالكثير من المواد المستخدمة في واجهات المباني تتطلب طاقة عالية في التصنيع أو تسبب انبعاثات كربونية كبيرة، لذلك فان تطوير مواد جديدة تكون فعالة من حيث العزل الحراري وتقلل من استهلاك الطاقة يمثل تحدياً في هذا المجال. (Akram, 2022)

ج- **التكامل مع التقنيات الذكية:** التكامل بين تصميم الواجهات وتقنيات الأنظمة الذكية يمثل تحدياً تقنياً ولوجستياً، حيث ان إدارة الأنظمة الذكية مثل أنظمة التظليل النشط، أجهزة الاستشعار، أو تقنيات التحكم الآلي تتطلب تنسيقاً دقيقاً لضمان تحسين كفاءة الطاقة دون التأثير على جماليات الواجهة أو الوظائف الأخرى. (Akram, 2022)

ح- **تحديات الصيانة والتشغيل:** تتطلب الواجهات المعمارية المعقدة التي تعتمد على تقنيات متقدمة مثل الواجهات الديناميكية صيانة دورية لضمان الأداء الأمثل للأنظمة المرتبطة، كما ان التكلفة العالية للصيانة والتشغيل خاصة

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

في المباني الكبيرة أو المعقدة قد يكون عائقاً أمام استخدام هذه التقنيات على المدى الطويل. (Hafez, 2023)

خ- **التوازن بين الوظائف والجماليات:** من أبرز التحديات في تصميم واجهات معمارية ذات كفاءة طاقية هو التوازن بين تحقيق الأداء الوظيفي المطلوب، من حيث التظليل وتقليل استهلاك الطاقة، وبين تحقيق القيمة الجمالية للمبنى. فقد تتطلب الحلول الفعالة في تحسين الأداء الحراري تغييرات تصميمية كبيرة تؤثر على الشكل الجمالي للمبنى. (Akram, 2022)

د- **الوعي والتبني العام لتقنيات كفاءة الطاقة:** ضعف الوعي بأهمية كفاءة الطاقة وتأثيرها على البيئة يعد أحد التحديات الرئيسية التي تواجه تطبيق هذه التقنيات، فالعديد من المستثمرين وأصحاب المباني قد لا يرون العائد الفوري من استخدام تقنيات كفاءة الطاقة، مما يحد من تبنيها على نطاق واسع. (Hafez, 2023)

ذ- **تحديات التكنولوجيا وتقدمها السريع:** تتطور التكنولوجيا في مجال تحسين كفاءة الطاقة بسرعة كبيرة، مما قد يؤدي إلى أن تصبح بعض الحلول المستخدمة في وقت معين قديمة وغير فعالة في غضون فترة قصيرة، ويتطلب ذلك من المصممين والمهندسين متابعة أحدث التطورات باستمرار وتحديث استراتيجياتهم التصميمية (Akram, 2022).

سادساً: دراسة تحليلية لاستخدام فن النحت في تحسين كفاءة الطاقة في بعض الواجهات المعمارية:

أ- **مبنى أبراج البحر "Al Bahr Towers":**

- **الموقع** :أبو ظبي، الإمارات العربية المتحدة.
- **سنة الإنشاء** :اكتمل المشروع في عام 2012م.
- **المهندس المعماري** :التصميم من توقيع مكتب" AHR Architects"، المعروف سابقاً باسم"Aedas ".
- **فكرة تصميم الواجهة المعمارية**: هي واحدة من أبرز الأمثلة المعمارية التي تجمع بين التصميم الفني والابتكار الهندسي لتحقيق كفاءة الطاقة وتحسين الأداء البيئي. هذا المبنى الذي يضم مقر مجلس أبو ظبي للاستثمار، يشتهر باستخدامه للتصميمات النحتية الديناميكية في الواجهات الخارجية التي تلعب دوراً محورياً في التحكم بالحرارة والضوء. يستمد تصميم الواجهة الخارجية إلهامه من المشربية التقليدية، وهي عنصر معماري عربي تقليدي كان يستخدم للتحكم في كمية الضوء والتهوية داخل المنازل. في أبراج البحر تم تحويل هذا العنصر التراثي إلى نظام نحتي حديث يتكيف مع الظروف المناخية ويعزز من كفاءة الطاقة، حيث تتكون الواجهة من أكثر من 2,000 وحدة ثلاثية الأبعاد من المظلات المتحركة أو "المشربية الآلية"، هذه الوحدات تعمل بتكنولوجيا متقدمة وتتحرك بشكل تلقائي بناءً على اتجاه الشمس ودرجة الحرارة .الوحدات قابلة للفتح والإغلاق، مما يسمح بالتحكم في كمية الضوء التي تدخل المبنى بشكل دقيق. (Attia, 2017, p 7-10) شكل (1)

شكل (1) الواجهة المعمارية لمبني أبراج البحر – أبو ظبي، الامارات العربية المتحدة – 2012م

تحليل القيم الوظيفية	تحليل القيم الجمالية
تحسين كفاءة الطاقة: - **المشربيات الذكية:** تعتمد الواجهة على نظام مشربيات متحركة تتحكم فيها أنظمة حسية متقدمة تستجيب لزاوية الشمس ومستوى الإضاءة، حيث تعمل بتقنيات حديثة لتوفير تظليل ديناميكي. - **تقليل حرارة الشمس:** المشربيات تتحرك تلقائياً لتوفير الظل في الأوقات التي تكون فيها أشعة الشمس قوية ومباشرة، مما يمنع دخول الحرارة الزائدة إلى داخل المبنى، حيث يقلل هذا التظليل من الاعتماد على أنظمة التكييف الميكانيكية، مما يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة بشكل ملحوظ. - **تقليل الانبعاثات الكربونية:** من خلال تحسين كفاءة استخدام الطاقة، يساهم المبنى في تقليل انبعاثات الكربون المرتبطة بالطاقة المستخدمة في التدفئة والتبريد والإضاءة.	**ديناميكية حركة المشربية:** - **المشربية التفاعلية:** تتألف واجهة أبراج البحر من نظام مشربيات حديثة مصنوعة من ألواح معدنية متحركة تتفاعل مع الضوء والشمس، هذه المشربيات عبارة عن وحدات هندسية ذات تصميم مستوحى من التراث الإسلامي، لكنها قادرة على الحركة أوتوماتيكياً حسب زاوية الشمس ومستويات الإشعاع الشمسي. - **التحول البصري المستمر:** تتحرك المشربيات على مدار اليوم تبعاً لتغيرات زاوية الشمس، ما يجعل الواجهة تظهر بشكل تفاعلي يتغير ويتكيف باستمرار، هذه الحركة الدورية تولد تحولاً مستمراً في النمط البصري للواجهة، مما يمنح المبنى طابعاً نحتياً ديناميكياً.
تحسين الإضاءة الطبيعية: - **توازن الإضاءة:** المشربيات المتحركة لا تمنع دخول الضوء تماماً، بل تتحكم في كمية الضوء الداخل حسب الحاجة. في الصباح والمساء عندما تكون الشمس في زوايا منخفضة تتيح المشربيات دخول الضوء الطبيعي، مما يقلل من الحاجة إلى	**دمج التراث بالحداثة:** التصميم يستلهم من المشربية العربية التقليدية، مما يعكس التراث المعماري العربي مع دمجه بتقنيات التكنولوجيا الحديثة، مما يضفي على المبنى طابعاً ثقافياً فريداً يمزج بين الأصالة والابتكار.

الإضاءة الاصطناعية. - **تقليل استهلاك الكهرباء:** نتيجة للتحكم في كمية الإضاءة الطبيعية، يتم تقليل الاعتماد على الإضاءة الصناعية، مما يوفر في استهلاك الكهرباء ويعزز من كفاءة الطاقة داخل المبنى.	
التكيف مع الظروف الجوية: - **أنظمة التحكم الذكية:** تم تزويد الواجهة بنظام تحكم ذكي يعتمد على أجهزة استشعار تستجيب مباشرة للتغيرات المناخية، حيث تتحكم هذه الأجهزة في حركة المشربيات بناءً على درجة الحرارة، ومستويات الإشعاع الشمسي، وسرعة الرياح. - **التكيف مع البيئة المحيطة:** هذا النظام يضمن أن الواجهة تتكيف بشكل دائم مع الظروف الجوية المتغيرة، سواء كانت حارة جداً في فصل الصيف أو معتدلة في الشتاء، مما يجعل المبنى دائماً في حالة توازن مناخي يوفر الراحة للسكان ويقلل من استهلاك الطاقة.	**التفاعل مع البيئة المحيطة:** - **الاندماج مع الطبيعة:** تتفاعل الواجهة مع المحيط الطبيعي للمبنى، حيث تلعب حركة المشربيات دوراً في تعديل التأثيرات الطبيعية، مثل التحكم في دخول ضوء الشمس والحد من الحرارة. هذا التفاعل بين البيئة والواجهة يعزز من القيم النحتية، حيث يتكيف المبنى مع محيطه بطريقة طبيعية وفنية في آن واحد.
تحسين الراحة الحرارية: - **تقليل التأثير الحراري الداخلي:** نظام المشربيات المتحرك يساعد في تقليل الحمل الحراري داخل المبنى من خلال تقليل تأثير الشمس المباشر على الواجهة، يؤدي ذلك إلى تحسين الراحة الحرارية للسكان، حيث يصبح الجو الداخلي معتدلاً بشكل طبيعي، سواء في الأيام الحارة أو الباردة. - **تقليل الاعتماد على أنظمة التبريد الميكانيكية:** تقليل الحاجة إلى تشغيل أنظمة التبريد المستمر يساهم في تحسين جودة الهواء الداخلي، حيث يُقلل من نسبة تداول الهواء المعاد تدويره والمكيف داخل المبنى، كما يؤدي ذلك إلى تحسين الظروف البيئية للسكان.	**الأبعاد النحتية للواجهة:** - **التكرار الهندسي:** تعتمد الواجهة على تكرار وحدات المشربية ذات النمط الهندسي، وعند تفاعل هذه الوحدات مع الشمس وحركتها المتغيرة، يتكون بروات نحتية علي كامل الواجهة، هذا التكرار يولد إيقاعاً بصرياً يعطي إحساساً بالتوازن والديناميكية في الوقت نفسه. - **التأثير ثلاثي الأبعاد:** حركة المشربيات تضفي تأثيراً ثلاثي الأبعاد على الواجهة، حيث تتحول الواجهة من مجرد واجهة مسطحة إلى واجهة متعددة الطبقات، ويتم تعزيز هذا التأثير من خلال استخدام الأنماط الهندسية التي تتغير مع الحركة، مما يضفي على المبنى طابعاً نحتياً.
استخدام المواد المستدامة: تم تصنيع المشربيات من مواد معدنية مستدامة، وهي معادن خفيفة الوزن ومقاومة للصدأ، هذه المواد تقلل من الحاجة إلى الصيانة الدورية وتطيل من عمر النظام، مما يقلل من استهلاك الموارد بشكل عام.	**التباين بين الضوء والظل:** حركة المشربيات تخلق أنماطاً متغيرة من الضوء والظل على الواجهة وعلى الأرضيات والمناطق المحيطة بالمبنى، هذه الأنماط المتغيرة تضفي عمقاً بصرياً على الواجهة وتمنحها تأثيراً نحتياً معقداً.

جدول (1) يوضح القيم الوظيفية والجمالية للواجهة المعمارية لمبني أبراج البحر

ب- <u>مبنى جامعة جنوب الدنمارك " SDU University of southern Denmark campus Kolding":</u>

- **الموقع** :مدينة كولينج - الدنمارك.
- **سنة الإنشاء**:2014 م.
- **المهندس المعماري:** هيننج لارسين (Henning Larsen).
- **فكرة تصميم الواجهة المعمارية:** تعد الواجهة المعمارية لمبنى جامعة جنوب الدنمارك مثالاً بارزاً للتصميم المعماري الحديث الذي يدمج الابتكار المعماري مع كفاءة الطاقة، حيث تتكون الواجهة من أنظمة شمسية ذكية قابلة للتكيف مع تغيرات الطقس والشمس، كما يتفاعل المبنى مع الظروف البيئية المحيطة من خلال الألواح الشمسية المتحركة، التي تتغير حسب زوايا سقوط أشعة الشمس على المبنى طوال اليوم. حيث يتكون نظام التظليل الشمسي من حوالي 1,600 شراع مثلث من الفولاذ المثقوب، وهي مثبتة على الواجهة بطريقة تسمح لها بالتكيف مع ضوء النهار المتغير وتدفق الضوء المطلوب، كما يعتمد المبنى على نظام متطور من التظليل الشمسي يتمثل في ألواح متحركة تتحكم فيها أنظمة ذكية، فعندما تكون الستائر مغلقة تكون مسطحة على طول الواجهة، بينما تبرز من الواجهة عندما تكون نصف مفتوحة أو مفتوحة بالكامل وتمنح المبنى مظهراً نحتياً من خلال البروزات المختلفة على مدار اليوم، كما ان نظام التظليل الشمسي مزود بأجهزة استشعار تقيس باستمرار مستويات الضوء والحرارة وتنظم الستائر ميكانيكياً بواسطة محرك صغير، حيث تتحرك هذه الألواح بشكل تلقائي تبعاً لزاوية الشمس، ما يساهم في تقليل اختراق الحرارة خلال الصيف، وبالتالي تقليل الحاجة لاستخدام أنظمة التبريد. بفضل هذا النظام الديناميكي يتم تنظيم كمية الحرارة وأشعة الشمس التي تدخل إلى المبنى. وفي الشتاء يمكن أن تفتح هذه الألواح للسماح بدخول أشعة الشمس، مما يساعد في تسخين المبنى بشكل طبيعي. (Sood & Patil, 2022, p 269-272) شكل (2)

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

شكل (2) الواجهة المعمارية لجامعة SDU- تصميم المعماري هيننج لارسين - كولينج، الدنمارك - 2014م

تحليل القيم الوظيفية والجمالية للواجهة المعمارية:

تحليل القيم الوظيفية	تحليل القيم الجمالية
تقليل استهلاك الطاقة للتبريد والتدفئة: - **التحكم في درجة الحرارة الداخلية:** حركة الستائر المتحركة على مدار اليوم تساهم في الحفاظ على توازن درجة الحرارة داخل المبنى. في الفصول الحارة يتم تقليل دخول الحرارة عن طريق الظلال الناتجة عن الستائر، مما يقلل من الحاجة إلى تشغيل أنظمة التبريد. أما في الفصول الباردة فإن فتح الستائر يسمح بدخول أشعة الشمس لزيادة درجة الحرارة الداخلية، مما يقلل من الحاجة إلى التدفئة. - **تحقيق كفاءة الطاقة الموسمية:** بفضل هذا التصميم يتمكن المبنى من تقليل تكاليف الطاقة المتعلقة بالتدفئة والتبريد طوال العام. فالاستجابة الديناميكية للواجهة تعني أن المبنى يتكيف مع التغيرات المناخية اليومية والموسمية، مما يساهم في استدامته وكفاءته الطاقية.	**الإيقاع البصري والجمال النحتي:** - **التكرار والنمط:** تتوزع الستائر المعدنية على طول الواجهة في نمط متكرر، وتتحرك بطرق متزامنة أو غير متزامنة، ما يخلق إيقاعاً بصرياً متناغماً. هذا الإيقاع يعزز من جماليات الواجهة ويعطيها بُعداً نحتياً، حيث تتحول الستائر إلى "شرائح" من الأشكال المتداخلة التي تضيف تعقيداً بصرياً. - **التداخل بين الكتل والفراغات:** عندما تتحرك الستائر، تفتح وتغلق مساحات مختلفة على الواجهة. هذا التداخل بين الكتل الصلبة (الستائر) والفراغات (المساحات المفتوحة) يولد شعوراً بالتوازن بين العناصر المختلفة.
الإضاءة الطبيعية وتقليل الحاجة للإضاءة الصناعية: - **زيادة الاعتماد على الإضاءة الطبيعية:** بفضل التصميم الذكي للواجهة يدخل الضوء الطبيعي إلى المبنى بشكل متوازن طوال اليوم، حيث تتحكم الستائر في مستوى الإضاءة الطبيعية المتاحة داخل المبنى من خلال السماح بدخول كمية مناسبة من الضوء، مما يقلل من الحاجة إلى الإضاءة الصناعية أثناء النهار. - **تقليل استهلاك الكهرباء:** نتيجة لما سبق، يتم تقليل استهلاك الكهرباء للإضاءة الداخلية، مما يساهم في تقليل استهلاك الطاقة بشكل عام ويعزز من كفاءة الطاقة في المبنى.	**التغير المستمر في الشكل والظل:** - **التحول المستمر:** حركة الستائر المعدنية تغير مظهر المبنى بشكل دائم، حيث تتحرك في أنماط مبرمجة للاستجابة للضوء، يخلق هذا التحول المستمر إحساساً بأن الواجهة تتحرك وتتحول في شكلها على مدار اليوم. - **تباين الظلال:** مع حركة الستائر، تتغير الظلال على سطح المبنى بمرور الوقت، هذه الظلال المتحركة تضفي على الواجهة طابعاً ثلاثي الأبعاد حيث يتفاعل مع الضوء لإبراز الأشكال البصرية المختلفة.
التهوية الطبيعية: - **التحكم في تدفق الهواء:** الواجهة المتحركة لا تعمل فقط على التحكم في الضوء والحرارة، بل تساهم أيضاً في تحسين التهوية الطبيعية داخل المبنى، حيث يمكن للواجهة السماح بتدفق الهواء الخارجي إلى الداخل في فترات النهار المختلفة، مما يعزز من حركة الهواء الطبيعية داخل المبنى ويقلل من الحاجة إلى أنظمة التهوية الميكانيكية. - **تحسين جودة الهواء الداخلي:** التهوية الطبيعية لا تسهم فقط في تقليل استخدام أنظمة التبريد الميكانيكية، بل أيضاً تحسن من جودة الهواء الداخلي وتخلق بيئة معيشية أكثر صحة وراحة.	**ديناميكية الحركة:** تعد الستائر المعدنية المتحركة في واجهة مبنى SDU مثالاً بارزاً على التصميم المعماري الذي يستجيب للطبيعة ويتفاعل مع البيئة المحيطة، حيث تتميز هذه الستائر بحركتها المتغيرة على مدار اليوم وفقاً لتغير زاوية الشمس، مما يولد تأثيراً بصرياً ديناميكياً يعزز القيمة النحتية للواجهة.
استخدام مواد متقدمة ومستدامة في تصميم الواجهة: - **مواد معدنية مستدامة:** تم تصنيع الستائر المتحركة من مواد معدنية مستدامة وقابلة لإعادة التدوير، مما يضيف قيمة بيئية للمبنى. هذه المواد المعدنية ليست فقط طويلة الأمد، بل تسهم أيضاً في تحسين الأداء الحراري للواجهة. - **العزل الحراري المحسّن:** تعمل الستائر المعدنية كطبقة إضافية من العزل الحراري للمبنى، فعندما تكون مغلقة تقلل من فقدان الحرارة خلال الشتاء وتحجب الحرارة الزائدة خلال الصيف، مما يساهم في تقليل الحمل الحراري على المبنى.	**العلاقة بين الجمال والوظيفة:** الجمالية النحتية الناتجة عن حركة الستائر ليست مجرد عنصر زخرفي، بل ترتبط بشكل وثيق بالوظيفة الأساسية للنظام الشمسي. بينما تضفي الستائر تأثيرات بصرية متغيرة، فإنها في الوقت نفسه تخدم غرضاً وظيفياً يتمثل في تنظيم درجة الحرارة داخل المبنى وتحسين كفاءة الطاقة. هذا التكامل بين الجمال والوظيفة يعزز القيمة المعمارية للمبنى ويجعله مثالاً على التفاعل بين الفن والوظيفة في العمارة الحديثة.

جدول (2) يوضح القيم الوظيفية والجمالية للواجهة المعمارية لمبني جامعة SDU

ت- الواجهة المعمارية لمبنى The Endesa Pavilion:

- **الموقع:** برشلونة، إسبانيا.
- **سنة الإنشاء:**2012 م.
- **المهندس المعماري**: شركة IAAC(معهد العمارة المتقدمة في كاتالونيا)، تحت إشراف أدريان لاهوز "Adrian Lahoz".
- **فكرة تصميم الواجهة المعمارية**: واجهة مبني The Endesa Pavilionتعتبر نموذجاً مبتكراً في تصميم المباني المستدامة، حيث تم تصميمها بهدف تحسين كفاءة الطاقة من خلال استخدام تقنيات متقدمة وعناصر معمارية متكاملة، الواجهة تتكون من وحدات هرمية الشكل تخرج عن سطح المبنى بشكل متدرج، مثبت عليها مجموعة من الألواح الشمسية بزوايا مثالية لالتقاط أكبر قدر ممكن من أشعة الشمس على مدار اليوم، تم تحديد زوايا الألواح بناءً على تحليل دقيق لحركة الشمس على مدار السنة، مما يسمح بزيادة كفاءة توليد الطاقة. الوحدات المتدرجة في الواجهة لا تعمل فقط على توليد الطاقة الشمسية، بل تساعد أيضاً في التحكم في كمية الضوء والحرارة التي تدخل إلى المبنى، حيث تعمل الواجهة كنوع من الغطاء الطبيعي الذي يحمي الداخل من الحرارة الزائدة في الصيف ويسمح بدخول الشمس في الشتاء، وبفضل تصميم الوحدات المتدرجة يتم تقليل الحمل الحراري على المبنى بشكل كبير، مما يقلل من الاعتماد على أنظمة التبريد الصناعي.(Hudson, 2012) شكل (3)

شكل (3) الواجهة المعمارية لمبني The Endesa Pavilion- تصميم شركة IAAC - برشلونة، اسبانيا - 2012م

تحليل القيم الوظيفية والجمالية للواجهة المعمارية:

تحليل القيم الوظيفية	تحليل القيم الجمالية
توليد الطاقة الشمسية: الواجهة مصممة كوحدات هرمية متدرجة مجهزة بألواح شمسية تعمل على توليد الطاقة الكهربائية مباشرة من أشعة الشمس، حيث تم وضع الألواح بزاوية مثالية لاستغلال ضوء الشمس على مدار اليوم والسنة، مما يجعل المبنى يعتمد بشكل كبير على الطاقة المتجددة لتلبية احتياجاته.	**التدرج الهرمي:** تتميز الواجهة بتصميم هرمي متدرج للوحدات الهندسية التي تبرز من سطح المبنى، فهذه الوحدات ليست مسطحة أو تقليدية، بل تم تصميمها على شكل هياكل هرمية مائلة تختلف في أحجامها وأشكالها، حيث يضفي هذا التدرج إحساساً بالحركة والديناميكية.
تحسين العزل الحراري: تعمل الوحدات الهرمية المتدرجة كعازل حراري طبيعي، مما يقلل من فقدان الحرارة في الشتاء ويمنع ارتفاع درجة الحرارة الداخلية في الصيف، حيث يقلل هذا التصميم من الحاجة إلى استخدام أنظمة التدفئة والتبريد الصناعية، مما يساهم في توفير الطاقة بشكل ملحوظ.	**التفاعل مع الضوء والظل:** الوحدات الهرمية تخلق تباينات ملحوظة بين الضوء والظل على سطح المبنى، فمع تغير زاوية سقوط الشمس خلال اليوم يتغير توزيع الظلال على الواجهة، مما يخلق تأثيراً بصرياً مميزاً يعطي المبنى عمقاً ويبرز الأبعاد النحتية للواجهة.
الإضاءة الطبيعية: تصميم الواجهة يسمح بدخول الضوء الطبيعي بكفاءة، مما يقلل من الحاجة إلى الإضاءة الصناعية خلال ساعات النهار، كما ان الوحدات الهرمية تساعد في توزيع الضوء بشكل متساوٍ داخل المبنى، مما يحسن من راحة المستخدمين ويقلل من استهلاك الكهرباء.	**التنوع البصري والديناميكية:** التكوين النحتي للواجهة يخلق إحساساً بالحركة المستمرة، حيث تبدو الوحدات وكأنها تنبض بالحياة نتيجة لتأثير الضوء والظل المتغيرين، هذا الإحساس بالحركة يعزز من الديناميكية البصرية، مما يضيف بعداً جمالياً للمبنى ويعزز من حضوره البصري في المحيط العمراني.
التهوية الطبيعية الفعالة: يسمح التصميم المتدرج للواجهة بتهوية طبيعية فعالة، فالوحدات الهرمية تخلق ممرات هوائية طبيعية تساعد في تدفق الهواء بحرية داخل المبنى، مما يحسن من جودة الهواء الداخلي ويقلل الحاجة إلى التهوية الميكانيكية.	

جدول (3) يوضح القيم الوظيفية والجمالية للواجهة المعمارية لمبني The Endesa Pavilion

ث- الواجهة المعمارية لمبنى Powerhouse Telemark:

- **الموقع:** يقع المبني في بلدة بورهوس في منطقة تيلمرك، النرويج.
- **سنه الانشاء:** 2020م.
- **المهندس المعماري:** شركة الهندسة المعمارية النرويجية Snohetta.
- **فكرة تصميم الواجهة المعمارية:** تم تصميم الواجهة بزوايا حادة ومائلة بشكل ملحوظ لتتناسب مع الهدف الأساسي للمبنى وهو تحقيق أقصى كفاءة للطاقة، حيث تم

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

دمج الألواح الشمسية في الواجهة المائلة لتكون جزءاً من التصميم، هذه الألواح تم تثبيتها بزاويا مدروسة لتحسين التقاط أشعة الشمس على مدار اليوم والسنة، والشكل الخارجي المائل يعمل أيضاً على تعزيز الأداء البيئي للمبنى من خلال توجيه الألواح الشمسية في الاتجاه الأمثل، يساهم ذلك في إنتاج طاقة أكثر من استهلاك المبنى، كما تم تغطية الواجهة بألواح زجاجية داكنة تمنح المبنى مظهراً عصرياً، بالإضافة إلى كونها مصممة لتقليل اكتساب الحرارة من الشمس ولتحسين الأداء الحراري. كما تعمل الواجهة على تنظيم دخول الضوء الطبيعي إلى الداخل، مما يخلق توازناً بين الإضاءة الطبيعية والحفاظ على درجة حرارة داخلية مريحة. (Skjold, 2016, p2996) شكل (4)

شكل (4) يوضح الواجهة المعمارية لمبني Powerhouse Telemark- تصميم شركة Snohetta- تيلمرك، النرويج - 2020م

تحليل القيم الوظيفية والجمالية للواجهة المعمارية:

تحليل القيم الوظيفية	تحليل القيم الجمالية
التصميم المائل للألواح الشمسية: تم تصميم واجهة المبنى بزوايا مائلة ومدروسة لتوجيه الألواح الشمسية نحو أفضل زاويا ممكنة لالتقاط أشعة الشمس على مدار اليوم، مما يعزز من فعالية الألواح الشمسية في توليد الطاقة.	**الإيقاع والتكرار في العناصر المعمارية:** الألواح الشمسية المدمجة في الواجهة تم ترتيبها بنمط متكرر يخلق إيقاعاً بصرياً منتظماً، هذا التكرار يضفي على الواجهة إحساساً بالتناغم والايقاع البصري، مما يعزز من قيمتها الجمالية.
العزل الحراري الفعّال: الواجهة تحتوي على مواد عالية الأداء في العزل الحراري، والتي تقلل بشكل كبير من فقدان الحرارة خلال الشتاء ومن اكتسابها خلال الصيف. هذا العزل الفعّال يقلل من الحاجة إلى أنظمة التدفئة والتبريد الميكانيكية، مما يخفض من استهلاك الطاقة بشكل كبير.	**التفاعل مع الضوء والظل:** الزجاج الداكن لا يعكس فقط الضوء، ولكنه أيضاً يلعب دوراً في خلق تباين بين الضوء والظل على سطح الواجهة، هذا التباين يعزز من التفاصيل النحتية، حيث تبرز الأجزاء المضيئة بينما تخفي الأجزاء المظللة، مما يضيف عمقاً وبعداً جديداً للتصميم.
تحسين الإضاءة الطبيعية: تم تصميم الواجهة للسماح بدخول كميات كبيرة من الضوء الطبيعي، مما يقلل من الحاجة إلى الإضاءة الصناعية خلال ساعات النهار، حيث تم توزيع النوافذ والزجاج العاكس بطريقة تضمن أقصى استفادة من ضوء النهار الطبيعي مع تقليل التوهج واكتساب الحرارة.	**التكوين الديناميكي:** التكوين النحتي للواجهة يتمثل في تصميمها المائل والزوايا الحادة التي تخلق مظهراً ديناميكياً، يبرز التصميم شكل المبنى ككتلة متناسقة، ولكنه في نفس الوقت يمنح شعوراً بالحركة والابتكار، هذه الزوايا والمنحنيات ليست مجرد عناصر جمالية، بل تلعب دوراً وظيفياً في توجيه الألواح الشمسية بشكل مثالي نحو الشمس.
استخدام مواد مستدامة وعازلة للطاقة: تم اختيار المواد المستخدمة في بناء الواجهة بعناية لتكون مستدامة وصديقة للبيئة، حيث تعمل المواد العازلة المستخدمة على تقليل فقدان الطاقة وتعزيز كفاءة الأداء الحراري للمبنى، مما يساهم في خفض الانبعاثات الكربونية المرتبطة بتشغيل المبنى.	**التكامل بين الجمال والوظيفة:** الجمع بين الجمال والوظيفة في تصميم الواجهة يعكس فلسفة التصميم الشامل التي اعتمدتها شركةSnohetta، فالواجهة لا تُعتبر فقط مظهراً خارجياً جذاباً، بل هي نظام بيئي متكامل يعمل على تحقيق الكفاءة الطاقية ويعزز من الراحة الداخلية.

جدول (4) يوضح القيم الوظيفية والجمالية للواجهة المعمارية لمبني Powerhouse Telemark

الإطار التطبيقي Application framework:

التصميم الأول:

قامت الباحثة بعمل تصميم لواجهة معمارية تتميز بتكوين نحتي عضوي متموج، يجمع بين الابتكار الجمالي والتكنولوجيا الحديثة لتحقيق كفاءة الطاقة. الفكرة الأساسية في التصميم تعتمد على استخدام تقنيات متقدمة وخامات صديقة للبيئة لتحقيق تصميم مستدام يتفاعل مع البيئة المحيطة ويوفر كفاءة عالية في استهلاك الطاقة.

- **الخامات والتقنيات الحديثة المستخدمة في التصميم:**
  - **المعادن المعاد تدويرها:** تم استخدام المعادن المعاد تدويرها في الهيكل الخارجي للواجهة، مما يقلل من

استهلاك الموارد الجديدة ويقلل من البصمة الكربونية المرتبطة بالإنتاج.

- **الخرسانة المستدامة:** استخدمت الخرسانة المستدامة التي تحتوي على مكونات صديقة للبيئة وتقلل من انبعاثات الكربون، حيث توفر الدعم الهيكلي الضروري بينما تحافظ على معايير الاستدامة.
- **الزجاج الذكي:** الواجهة تحتوي على زجاج ذكي يوفر العزل الحراري ويسمح بدخول الضوء الطبيعي للمبنى، مما يقلل من الحاجة إلى الإضاءة الصناعية مع الحفاظ على درجة حرارة مريحة داخل المبنى.
- **الألواح الشمسية:** تم دمج الألواح الشمسية في أجزاء من الواجهة لتوليد الطاقة من الشمس، هذه الألواح مدمجة بشكل ذكي داخل التصميم، مما يعزز إنتاج الطاقة المتجددة ويقلل من الاعتماد على الطاقة التقليدية.
- **نظام التظليل الذكي:** يحتوي التصميم على نظام تظليل ذكي يساعد في التحكم بكمية الضوء والحرارة التي تدخل المبنى، هذا النظام يقلل من اكتساب الحرارة ويقلل الحاجة إلى أنظمة التبريد الصناعية.
- **التهوية الطبيعية:** الثقوب في التصميم تتيح تدفق الهواء الطبيعي داخل المبنى، مما يعزز من عملية التهوية الطبيعية ويقلل من الاعتماد على الأنظمة الميكانيكية لتبريد الهواء.

- **دور التكوين النحتي للواجهة في تحسين كفاءة الطاقة:** التكوين النحتي المميز للواجهة يلعب دوراً أساسياً في تحسين كفاءة الطاقة، ليس فقط من الناحية الجمالية، ولكن أيضاً من الناحية الوظيفية، فيما يلي بعض الطرق التي يساهم بها التكوين النحتي في تعزيز الاستدامة:

- **تحسين تدفق الهواء:** الأشكال المتموجة تساعد في توجيه تدفق الهواء حول المبنى، مما يعزز التهوية الطبيعية ويقلل الحاجة إلى استخدام أنظمة تبريد الهواء الصناعية.
- **التظليل الطبيعي:** التموجات والثقوب في الواجهة تعمل كأنظمة تظليل طبيعية تمنع أشعة الشمس المباشرة من اختراق المبنى خلال النهار، مما يقلل من اكتساب الحرارة داخل المبنى، ويحافظ على بيئة داخلية مريحة.
- **زيادة كفاءة الألواح الشمسية:** الألواح الشمسية المدمجة في التصميم تستفيد من الزوايا المتعددة للسطح المنحني، مما يسمح بزيادة مساحة الاتصال مع أشعة الشمس ويزيد من كفاءة إنتاج الطاقة.
- **التكامل مع البيئة المحيطة:** التكوين النحتي يساعد المبنى على التفاعل مع البيئة المحيطة من خلال الاستفادة من العوامل الطبيعية مثل الرياح والشمس لتقليل استهلاك الطاقة.

<u>التصميم الثاني:</u>

قامت الباحثة بعمل تصميم لواجهة معمارية نحتية تتميز بأشكال عضوية وانسيابية تعكس الجمال المعماري الحديث والتكامل مع البيئة الحضرية، الفكرة الأساسية هنا تعتمد على دمج التشكيل النحتي المبتكر مع التقنيات الحديثة والخامات المستدامة لتحقيق كفاءة عالية في استهلاك الطاقة، الشكل المنحني والمثقّب للواجهة يعزز الأداء البيئي للمبنى ويعطي مظهراً جمالياً مميزاً ذو طابع نحتي.

- **الخامات والتقنيات الحديثة المستخدمة في التصميم:**

- **الألمنيوم المعاد تدويره (Recycled Aluminium):** هو مادة خفيفة الوزن ودائمة يمكن استخدامها في الهيكل الخارجي، حيث يتميز بقدرته العالية على مقاومة التآكل والتأثيرات البيئية، كما ان استخدام الألمنيوم المعاد تدويره يقلل من استهلاك الموارد الطبيعية ويخفض الانبعاثات الكربونية المرتبطة بالإنتاج.
- **العزل الديناميكي المتقدم (Advanced Dynamic Insulation):** يُستخدم عزل حراري متقدم في الأسطح والجدران، هذه المادة قادرة على التكيف مع الظروف البيئية المحيطة، حيث تتغير خصائص العزل حسب درجة الحرارة والرطوبة، كما ان تحسين العزل الحراري يؤدي إلى تقليل الحاجة إلى أنظمة التدفئة والتبريد، مما يقلل من استهلاك الطاقة ويزيد من كفاءة المبنى بشكل عام.
- **الخرسانة ذات الكفاءة الطاقية (Energy-Efficient Concrete):** الخرسانة المستخدمة في هذا المبنى تحتوي على إضافات محسنة لتحسين العزل الحراري والكفاءة الطاقية، كما أنها تحتوي على مواد تقلل من الانبعاثات الكربونية خلال عملية التصنيع، حيث تعمل على الحفاظ على درجة حرارة مريحة داخل المبنى وتقليل الحاجة إلى استخدام أنظمة التكييف، مع تقليل الأثر البيئي لعملية البناء.
- **النوافذ الذكية (Smart Glass Windows):** الزجاج الذكي المستخدم في الواجهة يتغير تلقائياً استجابةً لظروف الإضاءة الخارجية، حيث يمكنه التحول من شفاف إلى معتم لتقليل الإشعاع الشمسي وتحسين العزل الحراري، كما يعمل على تقليل التوهج واكتساب الحرارة خلال النهار، مما يقلل من الحاجة إلى التبريد الصناعي ويحسن كفاءة استهلاك الطاقة.
- **أنظمة التهوية الطبيعية الموجهة (Directed Natural Ventilation Systems):** تصميم الواجهة يتضمن فتحات مثقبة وممرات هوائية تساعد في توجيه تدفق الهواء الطبيعي داخل وخارج المبنى، حيث يمكن لهذه الفتحات تحسين جودة الهواء الداخلي وتقليل الاعتماد على أنظمة التهوية الميكانيكية.
- **الخلايا الشمسية المتكاملة في الواجهة Building-Integrated Photovoltaics - BIPV):** تم دمج الألواح الشمسية في الواجهة الخارجية للمبنى، مما يسمح بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية، فالألواح

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

الشمسية مدمجة في التصميم بطريقة جمالية تجعلها جزءاً من التكوين المعماري للمبني، حيث تقوم بإنتاج الطاقة النظيفة مباشرة من واجهة المبنى، مما يقلل من الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية ويساهم في تحقيق الاستدامة.

- **التظليل الديناميكي (Dynamic Shading Systems)**: الأشكال المنحنية والمثقبة تعمل كنظام تظليل ديناميكي يتفاعل مع حركة الشمس، حيث توفر هذه الأشكال تظليلاً طبيعياً يحجب أشعة الشمس المباشرة في الأوقات الحارة، مع السماح بدخول الضوء الطبيعي في أوقات أخرى.

- **دور التكوين النحتي للواجهة في تحسين كفاءة الطاقة:**
- **التظليل الطبيعي**: الأشكال المنحنية والمثقبة للواجهة تعمل على حجب أشعة الشمس المباشرة خلال ساعات النهار، مما يقلل من كمية الحرارة التي تدخل المبنى، يساعد ذلك في الحفاظ على درجة حرارة معتدلة داخل المبنى دون الحاجة لأنظمة التبريد بشكل مستمر.
- **تحسين تدفق الهواء**: التصميم النحتي للواجهة يساعد في توجيه تدفق الهواء حول المبنى وعبر الواجهة المثقبة، يحسن ذلك من التهوية الطبيعية ويساهم في تبريد المبنى دون استخدام أنظمة التبريد الميكانيكية.

- **الخامات والتقنيات الحديثة المستخدمة في التصميم:**
- **الألياف الزجاجية المحسنة (High-Performance Fiberglass)**: هي مادة قوية وخفيفة الوزن يمكن استخدامها في الهيكل الخارجي، حيث تتميز بقدرتها العالية على العزل الحراري، مما يقلل من انتقال الحرارة بين الداخل والخارج، كما تعمل علي تحسين العزل الحراري وتقليل استهلاك الطاقة للتدفئة أو التبريد.
- **الزجاج منخفض الانبعاث (Low-E Glass): الزجاج** المستخدم في الواجهة هو زجاج منخفض الانبعاث، يمنع انتقال الحرارة من الداخل إلى الخارج والعكس، كما يقوم بالحفاظ على درجة حرارة داخلية ثابتة، مما يقلل من الحاجة إلى التدفئة أو التبريد، ويحسن من كفاءة استهلاك الطاقة.
- **النوافذ الكهروضوئية (Photovoltaic Glazing)**: تم تصميم بعض النوافذ من الزجاج الكهروضوئي القادر على توليد الكهرباء من ضوء الشمس، حيث يقوم بتوليد طاقة كهربائية مباشرة من الواجهة الزجاجية للمبنى، مما يقلل من استهلاك الطاقة التقليدية.
- **نظام التحكم الذكي في الإضاءة (Smart Lighting Control System)**: تم دمج نظام إضاءة ذكي يعتمد على أجهزة استشعار للحركة ومستوى الإضاءة الطبيعية، حيث يتم ضبط شدة الإضاءة تلقائياً وفقاً لمستوى الضوء الطبيعي المتاح، مما يقلل من استهلاك الطاقة.
- **التظليل الذكي**: الأشكال المنحنية والمثقبة تُعد أنظمة تظليل طبيعية تتيح تقليل تعرض المبنى لأشعة الشمس المباشرة، هذه الأجزاء المنحنية تحجب الشمس خلال أوقات النهار الأكثر حرارة، مما يخفف من ارتفاع درجة الحرارة الداخلية.

- **دور التكوين النحتي للواجهة في تحسين كفاءة الطاقة:**
- **توجيه الطاقة الشمسية:** الأشكال المنحنية للنوافذ والفتحات في الواجهة تعمل على توجيه الضوء الطبيعي داخل المبنى بطريقة تقلل الحاجة إلى الإضاءة الصناعية، كما يمكن أن يعزز أيضاً تجميع الطاقة الشمسية عبر الألواح المتكاملة في المنحنيات التي تستقبل الشمس بشكل أفضل.
- **التبريد الطبيعي من خلال الانحناءات:** الأشكال العضوية والانحناءات يمكن أن تعمل على تقليل الضغط الناتج عن الرياح، مما يسهم في تحسين التهوية الطبيعية للمبنى وتخفيف الحرارة دون الحاجة إلى أنظمة التبريد.
- **تحسين جودة الهواء الداخلي:** بفضل التكوين النحتي للواجهة المعمارية يمكن تحسين جودة الهواء الداخلي عن
- **تحسين كفاءة الألواح الشمسية:** الأشكال النحتية توفر زوايا متعددة يمكن أن تزيد من كفاءة الألواح الشمسية المدمجة في الواجهة، فالأسطح المنحنية قد تتعرض لأشعة الشمس من زوايا مختلفة على مدار اليوم، مما يساعد في تحسين إنتاج الطاقة الشمسية.
- **الحد من التأثيرات البيئية المباشرة:** التكوين النحتي للواجهة يمكن أن يساعد في توجيه الرياح بعيداً عن المبنى، مما يقلل من الضغط البيئي المباشر الناتج عن العواصف والرياح القوية، حيث يعزز ذلك من الراحة الداخلية ويقلل من الحاجة إلى تقنيات إضافية للتحكم في المناخ الداخلي.

التصميم الثالث:

قامت الباحثة بعمل تصميم لواجهة معمارية تجمع بين الفن والهندسة المعمارية لتحقيق وظائف جمالية واستدامة بيئية، يعتمد التصميم على دمج التكوين النحتي والانحناءات التي تلتف حول المبنى بشكل يخلق إحساساً بالحركة والديناميكية، مما يجعله لافتاً بصرياً ويضفي عليه طابعاً مستقبلياً، لا يهدف هذا التصميم إلى إبراز الجانب الجمالي فقط، بل يلعب دوراً فعالاً في تحسين كفاءة الطاقة وخلق بيئة أكثر استدامة للمبني.

طريق السماح بتدفق الهواء النقي من خلال الفتحات المثقبة في الواجهة.

النتائج: Results

1- التكامل بين فن النحت والتصميم المعماري يساهم بشكل كبير في تحسين كفاءة الطاقة في المباني.
2- التصميم النحتي المعماري يمكن أن يخلق بيئات معمارية مبتكرة تجمع بين الجمال الوظيفي والفعالية البيئية.
3- النحت كعنصر تصميمي يساهم في رفع القيمة الجمالية للمباني مع المحافظة على كفاءة الطاقة، مما يساهم في تحقيق تصميمات أكثر شمولية.
4- يمكن لفن النحت أن يوفر حلولاً مستدامة من خلال تقليل استهلاك الطاقة في الواجهات المعمارية عن طريق تحسين الراحة الحرارية داخل المباني، تحسين تدفق الهواء الطبيعي، وتعزيز التحكم في الضوء الطبيعي.

التوصيات: Recommendation

1- ضرورة تبني تقنيات النحت كجزء من استراتيجيات التصميم المستدام لتحسين كفاءة الطاقة في المباني.
2- تعزيز الأبحاث والتجارب الميدانية التي تدرس تأثير النحت على الأداء الحراري للمباني في مختلف البيئات المناخية.
3- يمكن تطوير تقنيات النحت التي تستجيب للتغيرات البيئية، مثل التغير في الإشعاع الشمسي أو اتجاه الرياح، لتعزيز التظليل والتهوية الطبيعية.
4- تشجيع التعاون بين المهندسين المعماريين والفنانين لتحقيق تصاميم نحتية وظيفية لتحقيق أداء طاقي أعلى للواجهات المعمارية.

المراجع: References

1-Ahmed, H.T. (2023). The interrelated Qualities between Sculpture and Archisculpture Design. Journal of Architecture, Arts and Humanities, 38 (8), 691-705.

2-Cheng, F. (2024). Aesthetics in Architecture: unity of form, function and meaning. Trans/Form/Ação: Unesp journal of philosophy, Marília, 47(4).

3-Ma, W. & Wang, X. (2024). Energy-Efficient Façade Design of Residential Buildings: A critical review. Developments in the Built Environment, 18. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100393

4-Alwetaishi, A. M. (2019). Design elements for enhancing energy efficiency in building facades: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68, 1203-1214.

5- Wang, S., Yan, C., & Xiao, F. (2012). Quantitative Energy Performance Assessment Methods for Existing Buildings. Energy and Buildings, 55, 873-888. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.037

6-Elzeyadi, I. (2017). The Impacts of Dynamic Façade Shading Typologies on Building Energy Performance and Occupant's Multi-Comfort. Architectural Science Review, 4 (60), 316- 324. https://doi.org/10.1080/00038628.2017.1337558

7-Alakaby, E.A. (2021). Utilizing Wind-Driven Ventilation Force as a Technique in Adaptive Passive Interior Design. In: Alalouch, C., Piselli, C., Cappa, F. (eds) Towards Implementation of Sustainability Concepts in Developing Countries. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham, 171-183. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74349-9_14

8-Larrinaga, Z.A., Anton, N.R., Escuder, K.M., Ruiz, G.L.& Soto, C.G. (2023). Evaluation of the Thermal Performance of Two Passive Facade System Solutions for Sustainable Development. Sustainability Engineering and Science, 15(24), 16737. https://doi.org/10.3390/su152416737

9- Liu, X & Wu, Y. (2022). A Review of Advanced Architectural Glazing Technologies for Solar Energy Conversion and Intelligent Daylighting Control. Architectural Intelligence, 10 (1). https://doi.org/10.1007/s44223-022-00009-6

10-Brunoro, S & Frighi, V. (2023). Smart Façades: Technological Innovations in Dynamic and Advanced Glazed Building Skins for Energy Saving. Façade Design - Challenges and Future Perspective. https://doi.org/10.5772/intechopen.113127

11-You, W., Qin, M. & Ding, W. (2013). Improving Building Facade Design using Integrated Simulation of Daylighting, Thermal Performance and Natural Ventilation. Build. Simul. 6, 269-282.

This is an Open Access article distributed under the Creative Commons Attribution License which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium,provided the original work is properly cited.

https://doi.org/10.1007/s12273-013-0135-6

12-عبد الفتاح، منى صبح. (2021). التطور التكنولوجي والجمالي للمواد البنائية الحديثة وتأثيرها على تصميم الواجهات المعمارية العضوية .مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، 30 (6)، 35-53. https://doi.org/10.21608/mjaf.2020.36668.1740

13-حمدي، ابرار ناصر - مصطفي، أحمد عمر. (2022). أهم اتجاهات وتحديات التقنيات الرقمية لرفع كفاءة العزل الحراري للمباني وواقع تطبيقها في مدينة الرياض - المملكة العربية السعودية. مجلة الإمارات للبحوث الهندسية، 27 (2). https://scholarworks.uaeu.ac.ae/ejer/vol27/iss2/3

14-Akram, M. W., Mohd Zublie, M. F., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2022). Global Prospects, Advance Technologies, and Policies of Energy-Saving and Sustainable Building Systems: A Review. Sustainability, 14(3), 1316. https://doi.org/10.3390/su14031316

15-Hafez, S. F., and Others. (2023). Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research. Energy Strategy Reviews, 45, 101013. https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101013

16-Attia, S. (2017). Evaluation of Adaptive Facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE. QScience Connect, 2(6), 1-13. https://doi.org/10.5339/qproc.2016.qgbc.8

17-Sood, R. & Patil, A.S. (2022). Analysis and Review of the Kinetic Façades in Kolding Campus, South Denmark University. Artificial Intelligence and Sustainable Computing, 265-274. DOI:10.1007/978-981-16-1220-6_23

18-Hudson, D. (2012). IAAC develops Endesa Solar Pavilion for Barcelona's 2012 Smart City Expo. Designboom magazine, Online article. https://www.designboom.com/architecture/iaac-endesa-solar-pavilion/

19-Skjold, T. R. J. & Aslaksen, A. J. (2016). Powerhouse Telemark: A Deep Energy Retrofit. Energy Procedia, 105, 2993-2998. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.309