Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (3) (JUNE, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) العدد 3 يونيو 2026
ردمد: 3135-2359

تحليل العلاقة بين خصائص الواجهات المعمارية واستهلاك الطاقة في المباني التعليمية

عفاف على بشير معروف
ماجستير هندسة معمارية
المعهد العالى للتقنيات الهندسية/طرابلس- ليبيا

Analysis of the Relationship Between Architectural Façade Characteristics and Energy Consumption in Educational Buildings

Afaf Ali Bashir Maarouf
Master of Architecture
Higher Institute of Engineering Technologies/Tripoli, Libya
afafaali12@hotmail.com

تاريخ الاستلام: 2026/04/06 تاريخ المراجعة 05/08/ 2026 تاريخ القبول:2026/05/19- تاريخ النشر: 06/07/ 2026

الملخص

تهدف الدراسة إلى تحليل العلاقة بين خصائص الواجهات المعمارية واستهلاك الطاقة في المباني التعليمية وتقييم دور عناصر الواجهة المختلفة في تحسين الأداء الحراري للمبنى وتقليل الطلب على الطاقة. وقد اعتمدت الدراسة على منهجية نوعية تحليلية مركبة، حيث تم استخدام المراجعة الأدبية لتحليل الدراسات السابقة ذات الصلة، والمنهج الوصفي لوصف البيانات والنتائج وتفسيرها، والمنهج الكمي في جمع البيانات ومعالجتها إحصائياً واستبعاد القيم الشاذة لضمان دقة النتائج وموثوقيتها. كما تم توظيف منهجية المحاكاة باستخدام برنامج DesignBuilder المرتبط بمحرك EnergyPlus لمحاكاة الأداء الحراري والطاقة لمجموعة من السيناريوهات المختلفة لخصائص الواجهات المعمارية، بما في ذلك نسبة النوافذ إلى الجدران،اى نسبة المصمت الى المفتوح ، ونوع الزجاج المستخدم، وخصائص العزل الحراري، واتجاه الواجهة، وعناصر التظليل المختلفة.وقد أشارت النتائج إلى وجود علاقة قوية بين خصائص الواجهات المعمارية واستهلاك الطاقة في المباني التعليمية، حيث تبين أن تحسين خصائص العزل الحراري واستخدام الزجاج عالي الكفاءة وأنظمة التظليل المناسبة يسهم بصورة مباشرة في خفض الأحمال الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة السنوي.كما اشارت النتائج الي أن نسبة النوافذ إلى الجدران واتجاه الواجهة يمثلان أكثر العوامل تأثيراً في الأداء الطاقي للمبنى، بينما حلول التظليل والعزل الحرارى قد ساهمت فى رفع الكفاءة الحرارية وتحسين مستوى الراحة الحرارية الداخلية للمستخدمين. وان تطبيق استراتيجيات التصميم المستدام للواجهات يمكن أن يؤدي إلى تخفيض استهلاك الطاقة بنسبة تراوحت بين 20% و35% مقارنة بالتصاميم التقليدية، لذلك توصي الدراسة بضرورة البحث عن طرق واساليب معمارية يمكن من شانها تحسين الاداء الحرارى في العمارة الحديثة.

الكلمات المفتاحية : الواجهات المعمارية،استهلاك الطاقة ،المباني التعليمية ، عناصر الواجهة المختلفة ، الأداء الحراري وتقليل استهلاك الطاقة .

Abstract

This study aims to analyze the relationship between architectural facade characteristics and energy consumption in educational buildings, and to evaluate the role of different facade elements in improving the building's thermal performance and reducing energy demand. The study employed a hybrid qualitative-analytical methodology, utilizing a literature review to analyze relevant previous studies, a descriptive approach to describe and interpret the data and results, and a quantitative approach to collect, statistically process, and eliminate outliers to ensure the accuracy and reliability of the findings. A simulation methodology using

DesignBuilder software, linked to the EnergyPlus engine, was employed to simulate the thermal and energy performance of various architectural facade characteristics. These characteristics included window-to-wall ratio, glass type, thermal insulation properties, facade orientation, and different shading elements. The results indicated a strong, significant relationship between architectural facade characteristics and energy consumption in educational buildings. Improving thermal insulation properties, using high-efficiency glass, and employing appropriate shading systems directly contribute to reducing heat loads and lowering annual energy consumption. The results also showed that window-to-wall ratio and facade orientation are among the most influential factors in a building's energy performance, while advanced shading and insulation solutions have contributed to increased thermal efficiency and improved user comfort. The application of sustainable facade design strategies can lead to energy consumption reductions ranging from 20% to 35% compared to traditional designs. Therefore, the study recommends exploring smart methods and approaches to enhance architectural performance in modern architecture.
Keywords: Architectural facades, energy consumption, educational buildings, various facade elements, thermal performance and energy consumption reduction.

1. المقدمة

في ظل النظام العالمي الجديد وفي ظل التطلع الى تحقيق الاستدامة في كافة القطاعات بصفة عامة وفي قطاع المباني والعمارة بصفة خاصة ؛أصبح تحسين كفاءة الطاقة من أهم المتطلبات والأولويات لمواجهة التحديات البيئية والاقتصادية المرتبطة بارتفاع معدلات استهلاك الطاقة ، ونظراً لأن قطاع تشييدالمباني يعتبر من أكثر القطاعات استهلاكاً للطاقة على مستوى العالم ، ومن أكثر القطاعات طلباً على الطاقة مما يؤدي إلى وجود بعض الآثار البيئية السلبية والاقتصادية والاجتماعية (Alghamdi,et al,2022) .وبالتالي يؤثر على الاستدامة المجتمعية والاستدامة البيئية والاستدامة الاقتصادية وهما المحاور الثلاثة الرئيسية لتحقيق الاستدامة الكلية ،حيث تعني الاستدامة بمفهومها العام هو الحفاظ على حقوق الأجيال الحالية من الموارد دون المساس بحقوق الأجيال المستقبلية (Bahri,et al,2025).من أجل تحقيق هذه الاستدامة اتجهت الأبحاث والدراسات الحديثة إلى إيجاد رؤى وإستراتيجيات وصياغة إطارات يمكن من شأنها خلق الاستدامة في قطاع المباني والعمارة تحديداً من خلال تحديد العناصر المعمارية الأساسية المؤثرة في الأداء الحراري للمباني وتحديد الحد الفاصل بين البيئة الداخلية والخارجية للتحكم في درجة الحرارة وانتقالها والإشعاع الشمسي والإضاءة الطبيعية وحركة الهواء (Islam,et al,2024) .

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل العلاقة بين خصائص الواجهات المعمارية واستهلاك الطاقة في المباني التعليمية. وانطلاقاً من تحقيق هذا الهدف يتم تحقيق مجموعة من الأهداف الفرعية تتمثل في تقييم دور العناصر المعمارية للواجهة في تحسين الأداء الحراري للمبنى وتحديد الخصائص الأكثر تأثيراً في خفض استهلاك الطاقة واقتراح توصيات من شأنها تحقيق الاستدامة في هذا القطاع. وتكتسب هذه الدراسة أهميتها من كونها تلعب دوراً مهماً في فهم اهمية خصائص الواجهات المعمارية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل المباني بصفة عامة والمباني التعليمية بصفة خاصة. و كذلك من كونها جمعت بين المراجعة الأدبية للدراسات السابقة والمنهج التطبيقي التحليلي من خلال إجراء محاكاة باستخدام برنامج design builder وإجراء التحليل الإحصائي لتحديد هذه العلاقة بين عناصر الواجهة وكفأة استهلاك الطاقة، وكونها أيضاً دراسة شاملة تناولت كافة الجوانب المتعلقة بالعلاقة بين خصائص الواجهات المعمارية وكفاءة استخدام الطاقة.

أما المشكلة البحثية الرئيسية المتعلقة بتحليل العلاقة بين خصائص الواجهات المعمارية واستهلاك الطاقة تتعلق بأن التحليل التأثيري التكاملي لمختلف عناصر الواجهة على استهلاك الطاقة انصب على المباني السكنية، و التجارية فقط .في حين لم

تحظى المباني العامة كالمستشفيات والمباني التعليمية من القدر الكافي بالبحث رغم ما تتميز به من أنماط تشغيلية واستهلاكية للطاقة ،وأن العديد من الدراسات السابقة لم تعتمد على نماذج محاكاة متكاملة تربط بين خصائص الواجهات المعمارية والظروف المحلية المناخية، وتأثيرها على أداء المبنى الحراري (عبدالباسط & محمد (2023). لذلك يمكن باختصار صياغة المشكلة البحثية في الحاجة إلى دراسة شاملة ومتكاملة توضح طبيعة العلاقة بين خصائص الواجهات المعمارية واستهلاك الطاقة في المباني التعليمية وتحديد العوامل الأكثر تأثيراً في تحسين الأداء الحراري رغم البيئات المختلفة ،وسد هذه الفجوة البحثية من خلال توظيف أدوات المحاكاة والتحليل العلمي لتقديم نتائج وتوصيات يمكن استخدامها في دعم تصميم مباني تعليمية أكثر كفاءة واستدامة في ظل التطلع العالمي لتحقيق الاستدامة في مجال الطاقة(مصطفى، 2020).

2. المراجعة الادبية والدراسات السابقة

الإطار النظري للدراسة هو إطار يمكن تشكيله من خلال محورين أساسيين هما المفاهيم الأساسية والمراجعة الأدبية للدراسات السابقة حيث أنه من خلال هذين المحورين تتشكل الخطوط العريضة للإطار النظري والطريقة التي سيتكامل بها مع الإطار التطبيقي للدراسة .

2.1.المفاهيم الأساسية

المفاهيم الأساسية هي مجموعة من المفاهيم والمصطلحات التي يمكن من خلالها فهم إجراءات الدراسة فهما نوعيا وتكوين محددات واضحة حول إجراءات الدراسة ومنهجيتها وأهدافها والنتائج التي أشارت إليها ومن أهم هذه المفاهيم ما يلي:

1. **عناصر الواجهات المعمارية:** تُعتبر عناصر الواجهة المعمارية من أهم مكونات غلاف المبنى للتحكم في التفاعل بين المساحات الداخلية والخارجية. تشمل هذه العناصر النوافذ والأبواب، وعناصر التظليل المعماري، ومواد التكسية الخارجية، والعزل، بالإضافة إلى اختيار نسبة النوافذ إلى الجدران، واتجاه الواجهة. تؤثر جميع هذه العناصر بشكل مباشر على كمية الإشعاع الشمسي الداخل إلى المبنى، ومعدل انتقال الحرارة، والتهوية الطبيعية، والإضاءة النهارية، مما يجعلها من أهم العوامل المؤثرة في الأداء الحراري للمبنى واستهلاكه للطاقة (Ragab,et al,2025).
2. **استهلاك الطاقة في المباني** : يمثل استهلاك الطاقة في المباني إجمالي الطاقة المستهلكة داخل المبنى لتشغيل أنظمته وخدماته المختلفة، بما في ذلك التبريد والتدفئة والإضاءة والتهوية، وغيرها من الأجهزة والمعدات. يُعد هذا المؤشر من أهم المعايير لتقييم الأداء التشغيلي والبيئي للمباني. ومن بين مختلف مفاهيم التصميم في المباني، ينبغي خفض استهلاك الطاقة باستخدام غلاف فعال وتقنيات ذكية لاستبدال مصادر الطاقة التقليدية (Mohammadi,et al,2022).
3. **الأداء الحراري للمبنى:** المقصود به قدرة المبانى على توفير ظروف داخلية مريحة حراريًا وتقليل أحمال التبريد والتدفئة إلى أدنى حد ممكن، مع الاعتماد بشكل أقل على أنظمة التبريد والتدفئة الاصطناعية. ويعتمد الأداء الحراري للمباني على الخصائص الحرارية لغلاف المبنى والعناصر المعمارية، وهي: خصائص المواد، والعزل، وتوجيه المبنى، والإشعاع الشمسي، والخصائص المعمارية للواجهة. بعبارة أخرى، كلما ارتفع الأداء الحراري للمبنى، انخفضت أحمال التدفئة المطلوبة (Bortolini,et al,2021).
4. **كفاءة الطاقة في المباني:** تُعرَّف كفاءة الطاقة في المباني بأنها تحقيق مستوى الجودة المطلوب (الراحة الحرارية والوظيفية) بأقل قدر من الطاقة المستخدمة. وتتحقق كفاءة الطاقة عادةً من خلال تطبيق استراتيجيات التصميم والتشغيل التي تقلل من فقد الحرارة وتحسن أداء الأنظمة. يُعتبر مفهوم كفاءة الطاقة أحد أهم أهداف المباني المستدامة، وذلك لما يوفره من فوائد اقتصادية تتمثل في توفير الطاقة في تكاليف التشغيل، وفوائد بيئية تتمثل في انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وتحسين استدامة استخدام الموارد الطبيعية (Barbosa,et al,2024).

5. **التصميم المستدام** : يُعرَّف التصميم المستدام بأنه منهج تصميمي يراعي المتطلبات البيئية والاقتصادية والاجتماعية طوال دورة حياة المبنى. ويركز هذا المنهج على الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية، والحد من الآثار البيئية السلبية، وتوفير جودة عالية للمساحات الداخلية. وفيما يتعلق بالواجهات المعمارية، يُمكن للتصميم المستدام أن يُقلل من استهلاك الطاقة من خلال تحسين استخدام ضوء النهار والتهوية الطبيعية، واستخدام مواد بناء مناسبة، وعناصر تظليل مناسبة للواجهات تتناسب مع الظروف المناخية المحلية (Uşma, & Sökmen 2025).
6. **المباني التعليمية** : هي مباني يتم استخدامها بغرض التعليم سواء ،كان تعليما قبل جامعي او بعد جامعي وتشمل المدارس والمعاهد والكليات (خاصة او حكومية)،بالاضافة الي الاكاديميات المختلفة الاختصاصات
7. **نسبة النوافذ إلى الجدران (WWR)**:تُعرَّف نسبة النوافذ إلى الجدران بأنها نسبة مساحة زجاج النوافذ إلى المساحة الإجمالية لجدار الواجهة، وتُعتبر عمومًا من أهم المتغيرات في استهلاك الطاقة وأداء المباني. فزيادة مساحة النوافذ تُحسّن الراحة الحرارية من خلال زيادة الإضاءة الطبيعية وتقليل استهلاك الطاقة من أنظمة الإضاءة الاصطناعية، بينما قد تؤدي في الوقت نفسه إلى زيادة الأحمال الحرارية الناتجة عن الإشعاع الشمسي في حال عدم مراعاة ذلك بشكل مناسب (Hong,et al,2020).
8. **التظليل المعماري:** يتضمن التظليل المعماري استخدام عناصر معمارية مثل المظلات والشرفات للتحكم في انتقال الإشعاع الشمسي إلى المباني. يُعدّ التظليل المعماري أحد أهم العوامل لتحسين الأداء الحراري وتقليل أحمال التبريد في المباني، لا سيما في المناطق الحارة والجافة، وذلك لخفض درجة حرارة المساحات الداخلية وضمان الراحة. (El Dallal,et al,2024)
9. محاكاة الطاقة: تُعرَّف محاكاة الطاقة بأنها استخدام برامج متخصصة لمحاكاة وتصميم نموذج للمبنى وتقييم أدائه الحراري في ظل ظروف تشغيلية وبيئية مختلفة. تُمكّن أدوات النمذجة هذه، مثل DesignBuilder وEnergyPlus، من تحديد بدائل التصميم الأمثل قبل البدء بالبناء، مما يُفيد المصممين والباحثين في تصميم واجهات المباني وتقييم أدائها في مجال الطاقة.
10. **الحمل الحراري والراحة الحرارية:** يُعرَّف الحمل الحراري بأنه كمية الحرارة التي يجب إزالتها أو إضافتها للحفاظ على بيئة حرارية مناسبة داخل المبنى. أما الراحة الحرارية فهي الحالة التي يشعر فيها الشخص بالراحة البيئية الحرارية المحيطة به (Mahdavinejad,et al,2024).

2.2.الدراسات السابقة

الدراسات الحديثة في الفترة الأخيرة شهدت اهتماما متزايدا بدراسة تأثير خصائص الواجهات المعمارية على استهلاك الطاقة والأداء الحراري للمباني حيث بات التوجه العالمي نحو تحقيق الاستدامة من الضروريات من أجل الحفاظ على الموارد البيئية وتقليل الانبعاثات الكربونية وقد تناولت العديد من الدراسات تحليل العلاقة بين تصميم الواجهات وكفاءة الطاقة من زوايا مختلفة ففي دراسة أجراها Ma et al. (2024) تهدف الي مراجعة نقدية شاملة حول "تصميم واجهات المباني السكنية الموفرة للطاقة" ، وكذلك استكشاف الأبحاث في هذا المجال، حيث غطت وحللت اثنتين وستين دراسة منشورة تناولت تصميم الواجهات وكفاءة الطاقة. وكشف تحليل هذه الأبحاث أن عناصر الواجهة، ونسبة النوافذ إلى الجدران، وأداء الزجاج ومواده، بالإضافة إلى وسائل التظليل ومواد بناء الجدران الخارجية، هي العوامل الأكثر تأثيرًا على الأحمال الحرارية واستهلاك الطاقة في المباني. وأكدت هذه الدراسة أن اتخاذ قرارات تصميمية مبكرة و مناسبة للواجهات يمكن أن يُسهم إيجابًا في خفض الأحمال الحرارية واستهلاك الطاقة في المباني.

كذلك أجرى حنفي (2025) دراسةً حول تأثير العناصر المعمارية للواجهة على الأداء الحراري والطاقي للمباني في المناطق الحارة، وذلك من خلال مراجعة مجموعة من عناصر الواجهة، بما في ذلك العزل الحراري، ونوع الزجاج، وعناصر التظليل الشمسي. وأظهرت النتائج أن تحسين خصائص غلاف المبنى يؤثر بشكل مباشر على استهلاك الطاقة، وعلى زيادة الراحة الحرارية لشاغليه، وتوصي الدراسة بالتطبيق المبكر لحلول الواجهات عالية الأداء في مراحل التصميم المعماري.

أجرى أبو إبراهيم وآخرون دراسةً بحثيةً أخرى. (2025) حيث يقدم مراجعة تحليلية حول الواجهات الشمسية المُهواة وقدرتها في تحسين كفاءة الطاقة في المباني، حيث أظهرت أن دمج هذه الأنظمة في أغلفة المباني فعال في تقليل الأحمال الحرارية، وله دوركبير في تحسين الأداء الحراري من خلال الاستفادة من الطاقة الشمسية والحمل الحراري الطبيعي. لذا، تُعد الواجهات الشمسية المُهواة خيارًا ذكيًا للمباني المستقبلية الموفرة للطاقة.

تناولت المراجعة المنهجية التي أجراها فتحي وآخرون (2025) موضوع "المواد الذكية في الواجهات المعمارية: نحو تحسين الأداء الحراري وتوفير الطاقة في المباني". تتفاعل المواد الذكية مع البيئة المحيطة، وبالتالي تُحسّن الأداء الحراري والتحكم فيه، وتُقلل استهلاك الطاقة، وتُعزز راحة شاغلي المباني. يُعتبر التصميم الذكي المُدمج مع الواجهات موضوعًا رئيسيًا وناشئًا في مجال العمارة المستدامة المستقبلية. اما دراسة (Elshamy,et al 2025) اجرت بحثًا حول تقييم استراتيجيات تصميم الواجهات للمباني الشاهقة، حيث أثبت أن تحسين أداء الزجاج والجدران الستائرية سيكون واعدًا لتقليل استهلاك الطاقة، وخاصة أحمال التبريد للمباني الشاهقة، بالإضافة إلى تعزيز راحة المستخدمين مع تقليل تأثير المبنى على البيئة المحيطة، وأكد على أهمية التصميم الذي يأخذ في الاعتبار الخصائص المناخية لتحقيق أعلى كفاءة في استخدام الطاقة. وهذا ماا كده (Su,et al,2025). حيث اشار الي ان التصميم الذكي المُدمج مع الواجهات يعمل علي تحسين الأداء الحراري في المباني ويقلل من استهلاك الطاقة ويعزز من راحة المستخدم .

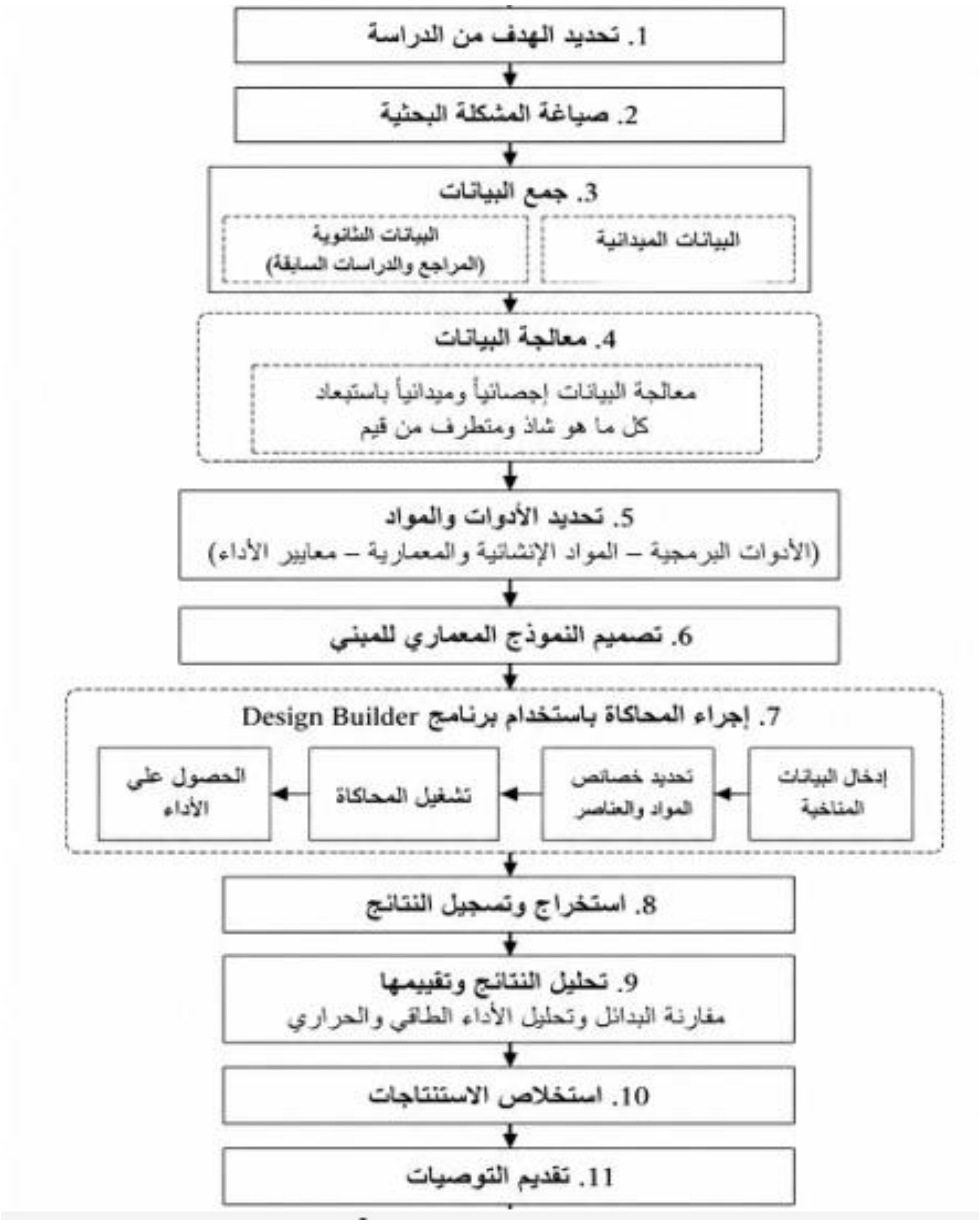
3. المنهجية والطريقة

تستخدم هذه الدراسة منهجًا تحليليًا تطبيقيًا لمحاكاة العلاقة بين معايير واجهة المبنى المعماري واستهلاك الطاقة في المباني التعليمية. وقد استُخدم برنامج DesignBuilder لإنشاء نموذج افتراضي لمبنى تعليمي مستدام باستخدام محرك المحاكاة الحراريةEnergyPlus ، وذلك لمحاكاة أحماله الحرارية واستهلاكه للطاقة مع خيارات تصميم متعددة. شملت الدراسة بعض معايير الواجهة، مثل اتجاه المبنى، ونسبة النوافذ إلى الجدران، ونوع الزجاج، ومستوى العزل الحراري، وأنواع مختلفة من وسائل التظليل، وتم فحص تأثيرها على الأحمال الحرارية للمبنى واستهلاكه السنوي للطاقة.حيث تمت محاكاة تصميم المبنى كحالة أساسية (نموذجية)، ثم تم توليد مجموعة من خيارات التصميم المستدام، وقورنت هذه الخيارات بالحالة الأساسية باستخدام مؤشرات أداء طاقة مختلفة. وتم تحليل نتائج المحاكاة لملاحظة تأثير كل متغير على حمل الطاقة للتبريد والتدفئة والإضاءة، كما تم تحليل الأداء الحراري للمبنى وراحة المستخدم الحرارية. استُخدمت أساليب التحليل الوصفي والكمي لتحليل المقارنات وتحديد حلول التصميم الأمثل التي توفر أفضل أداء للطاقة وأفضل أداء حراري. وبناءً على هذا التحليل، تم التوصل إلى مجموعة من النتائج والتوصيات التي تُسهم في تطوير مبانٍ تعليمية أكثر استدامة وكفاءة في استهلاك الطاقة، بما يتماشى مع أهداف التنمية المستدامة و العمارة الخضراء.

3.1. الاطار التطبيقي للدراسة

الإطار التطبيقي للدراسة , والموضح بالشكل رقم (1)،هو إطار يوضح مراحل الدراسة التطبيقية بدءاً من تحديد الهدف وصياغة المشكلة البحثية مروراً بجمع البيانات ومعالجتها إحصائياً وميدانياً باستبعاد كل ما هو شاذ ومتطرف من قيم ومن

ثم تحديد الأدوات والمواد، ثم تصميم المبنى وعمل المحاكاة باستخدام برنامج Design Builder واستخلاص وتسجيل النتائج وتحليلها وتقييمها ومن ثم استخلاص الاستنتاجات وتقديم التوصيات.



شكل رقم (1) : يوضح الاطار التطبيقي للدراسة

3.2. الاجراءات

طبقا للاطار التطبيقي ، فإن إجراءات الدراسة يمكن تلخيصها كما يلي:

1. **تحديد الهدف وصياغة المشكلة البحثية:** حيث أن هدف الدراسة هو تحديد العلاقة بين عناصر واجهات المباني المعمارية وتقليل استهلاك الطاقة، وتحقيق الاستدامة، وصياغة المشكلة البحثية المتعلقة به حيث ان العديد من الدراسات السابقة لم تعتمد على نماذج محاكاة متكاملة تربط بين خصائص الواجهات المعمارية والظروف المحلية المناخية، وتأثيرها على أداء المبنى الحراري.

2. **جمع البيانات ومعالجتها** : جمع البيانات من مصادرها المختلفة قواعد البيانات على الإنترنت والكتب والدراسات السابقة ، ومعالجتها يدوياً وإحصائياً باستبعاد كل ما هو شاذ واستخدام اختبار أنوفا احادى الاتجاه (اختبار تحليل التباين احادى الاتجاه ANOVA) وهو مفهوم حجم الاتجاه وتحديد قيمة P–Value ولكن القيمة الحدية لها هي 5% للتحقق والتأكد من كون البيانات تصلح للتحليل الإحصائي.
3. **تحديد الادوات** : تتضمن أدوات الدراسة مجموعة من الأدوات البرمجية المتعلقة بالمحاكاة DesignBuilder وبرامج إكسل و–SPSS للتحليل الإحصائي بالإضافة إلى مجموعة أخرى من الأدوات مثل كتب الدراسات السابقة
4. **اجراء المحكاة** : تم إجراء المحاكاة باستخدام برنامج design builder تم اختيار هذا البرنامج، والذي يعتمد على محرك المحاكاة nergiblus بهدف تقييم تأثير العناصر المعمارية المختلفة على استهلاك الطاقة اللازمة للحراري ، تحديدا لقدراته الكبيرة على تقديم نتائج موثوقة وإنشاء نماذج هندسية ثلاثية الأبعاد وفق الأبعاد والتوزيع الطبيعي الوظيفي المحتمل للمبنى وتم تنفيذ المحاكاة وفقا للخطوات التالية(وفاء واخرون 2025).

1) **إدخال البيانات المناخية بمنطقة الدراسة المختلفة** : حيث تم ادخال البيانات طبقا للدول رقم (1) وهي بيانات المناخ الطاقة المحتمل وتضمن درجات الحرارة واتجاه الشمس والرطوبة وسرعة الرياح والاتجاه على المظهر العام.

جدول (1): البيانات المناخية لمنطقة الدراسة – شمال ليبيا

المتغير المناخي	القيمة المعتمدة
نوع المناخ	متوسطي حار جاف صيفًا ومعتدل شتاءً
متوسط درجة الحرارة السنوية	21.5 °C
متوسط درجة الحرارة صيفًا	30–36 °C
متوسط درجة الحرارة شتاءً	10–16 °C
الرطوبة النسبية المتوسطة	55–65%
متوسط سرعة الرياح	3.5–5.0 m/s
الاتجاه السائد للرياح	شمالي / شمالي غربي
متوسط الإشعاع الشمسي	5.5–6.5 kWh/m²/day
فترة التبريد الحرجة	مايو – أكتوبر
فترة التدفئة المحدودة	ديسمبر – فبراير

2) **تعريف خصائص الغلاف الخارجي للمبنى:**حيث تم إدخال خصائص الجدران والأسقف والأنشطة وأنواع مواد البناء بالإضافة لخصائص العزل الحراري ومقاومة انتقال الحرارة وكذلك تحديث خصائص الواجهة المعمارية محل الدراسة بما في ذلك نسب النوافذ إلى الجدران وأنواع الزجاج المستخدمة وأنظمة التظليل واتجاه الواجهات وفقا للجدول الموضح رقم(2).

جدول (2): خصائص الغلاف الخارجي والواجهة المعمارية للمبنى

العنصر	الخصائص المعتمدة في النموذج
نوع المبنى	مبنى تعليمي
عدد الطوابق	3 طوابق

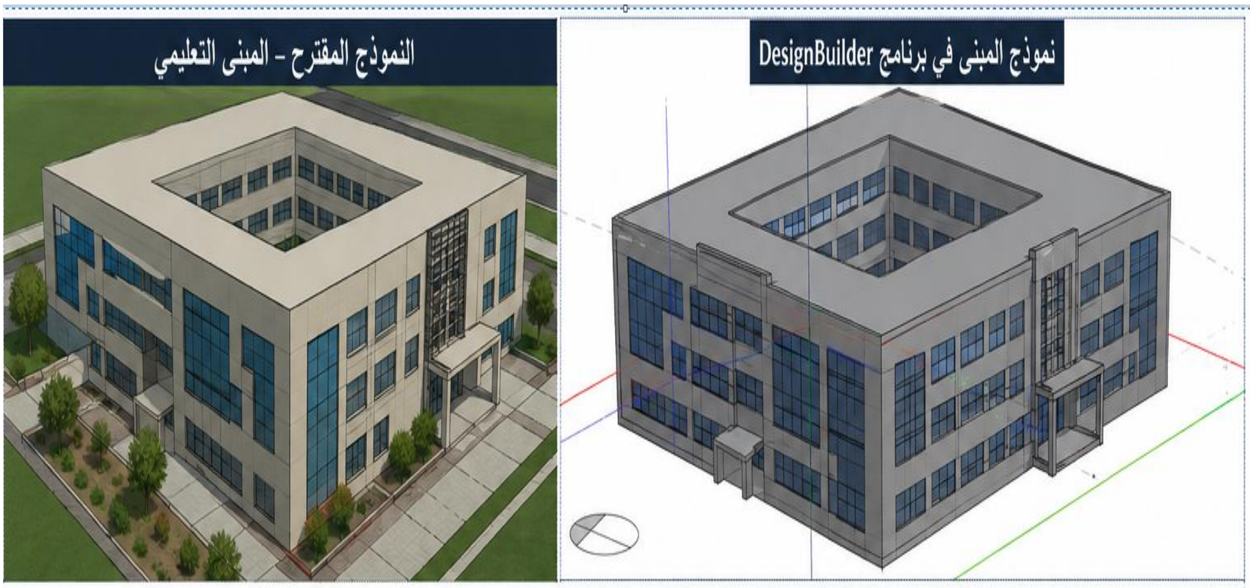
المساحة الكلية	$6000\ m^2$
مساحة الطابق الواحد	$2000\ m^2$
ارتفاع الطابق	4 m
اتجاه الواجهة الرئيسية	جنوب / جنوب شرقي
نسبة النوافذ إلى الجدران WWR	في النموذج الأساسي 30%
نوع الزجاج	زجاج مزدوج Low-E
معامل انتقال الحرارة للزجاج	2.6 W/m

3) **تعريف الأحمال الداخلية للمبنى** :والتي تشمل أعداد المستخدمين ومعدلات الإشغال وأنظمة الإضاءة والأجهزة الكهربائية وساعات التشغيل وفقا للجدول الموضح رقم (3)

جدول (3): الأحمال الداخلية وساعات التشغيل

المتغير التشغيلي	القيمة المعتمدة
نوع الاستخدام	تعليمي / قاعات دراسية وإدارية
عدد المستخدمين التقريبي	450–600 مستخدم
كثافة الإشغال	0.10 شخص/m^2
ساعات التشغيل اليومية	8 ساعات
أيام التشغيل الأسبوعية	5 أيام
فترة التشغيل	8:00 صباحًا – 4:00 مساءً
كثافة الإضاءة	$8–10\ W/m^2$
حمل الأجهزة الكهربائية	$10–12\ W/m^2$
درجة ضبط التبريد	24 °C
درجة ضبط التدفئة	20 °C
معدل التهوية	10 L/s للشخص
نظام التكييف	بنظام تبريد وتدفئة تقليدي HVAC
معدل تسرب الهواء	0.5 ACH

4) **عرض المحاكاة السنوية:** حيث تم عرض عرض المحاكاة السنوية للمبنى الأساسي base case والموضح بالشكل رقم (2)للحصول على مؤشرات الأداء المرجعية حيث تم إنشاء مجموعة من السيناريوهات .



شكل رقم(2) : يوضح المبنى الأساسي base case

5) **محاكاة وتحليل النتائج:** لكل وضع من الاوضاع المدروسة في هذه الدراسة، أُجريت محاكاة باستخدام برنامج DesignBuilderلمدة عام. وشملت مؤشرات الأداء المُستخلصة: استهلاك الطاقة السنوي، وحمل التبريد السنوي، وحمل التدفئة السنوي، واستهلاك طاقة الإضاءة السنوي، ومؤشرات الراحة الحرارية الداخلية. وتم تحليل النتائج ومقارنتها بالحالة المرجعية لاختيار الوضع الأمثل من حيث استهلاك الطاقة والأداء الحراري للمبنى(Zorba,et al 2018) .

6) **تقييم الأداء والاستنتاجات:** في الختام، تم تقييم جميع الاوضاع ومقارنتها من خلال مؤشرات أداء الطاقة والأداء الحراري، مع توضيح نسبة التحسن مقارنةً بالحالة المرجعية.و تم استخلاص استنتاجات حول تأثير خصائص الواجهة المعمارية على استهلاك الطاقة، واقتُرحت توصيات تصميمية لتحسين أداء المباني في القطاع التعليمي، بما يحقق فوائد بيئية واقتصادية(بلال واخرون 2022).

3.3. التحليل الاحصائي

أما التحليل الإحصائي فقد تم استخدام مجموعة من الاختبارات الإحصائية منها اختبار أنوفا أحادي الاتجاه من خلاله يتم التحقق من البيانات ومدى صلاحيتها للتحليل الإحصائي من خلال تحديد قيمة P value و القيمة الحدية لها 5% وكلما كانت القيمة أقل من 5% كلما كانت البيانات ذات فروقات و دلالات إحصائية ويكون التباين المفسر أعلى وأفضل. أما الاختبار الثاني هو اختبار الانحدار الخطي متعدد لتحديد العلاقة الانحدارية الخطية بين خصائص الواجهة المعمارية والغلاف الجوي الخارجي ونسبة تقليل الطاقة

معادلة الانحدار الخطي المتعدد(Multiple Linear Regression)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \varepsilon$$

حيث:

- Y =استهلاك الطاقة أو نسبة خفض استهلاك الطاقة .
- X_1 =نسبة النوافذ إلى الجدران .(WWR)
- X_2 =نوع الزجاج .
- X_3 =كفاءة العزل الحراري .
- X_4 =نظام التظليل .

- X_5 =اتجاه الواجهة .
- X_6 =خصائص مواد الواجهة .
- β_0 =ثابت الانحدار .
- $\beta_1 \ldots \beta_6$ =معاملات الانحدار .
- ε =الخطأ العشوائي.

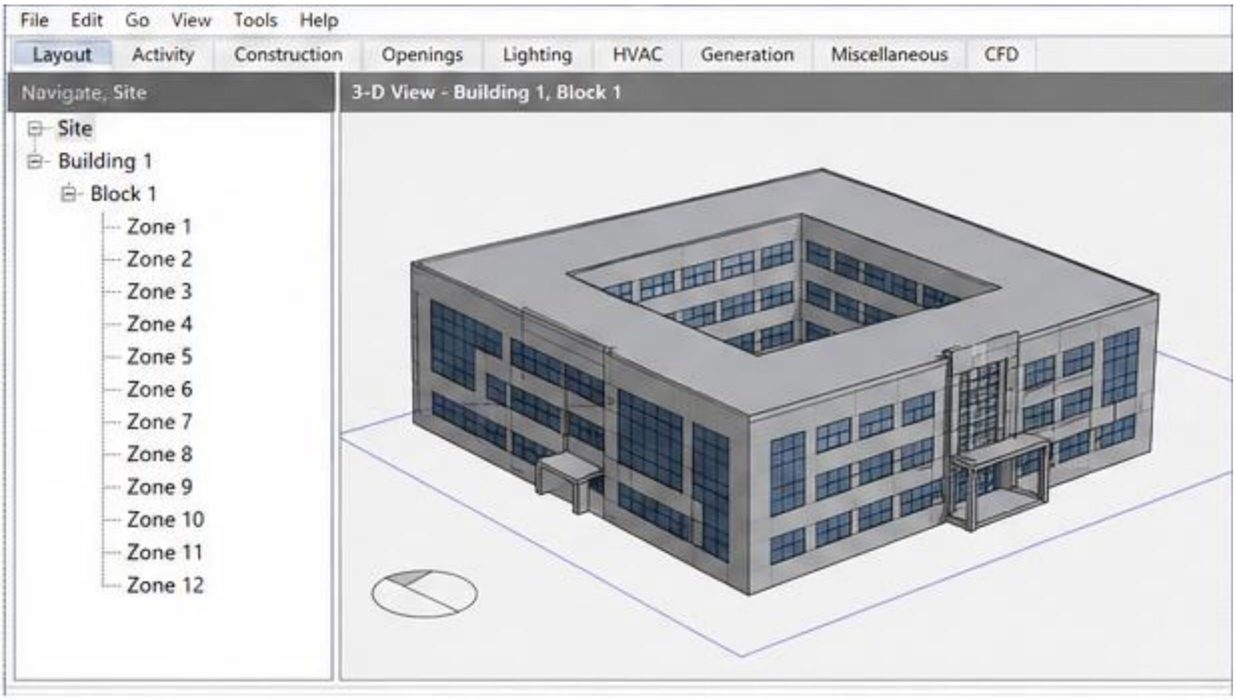
وكذلك اختبار الارتباط بيرسون لتحديد الارتباط بين عناصر الوجه الخارجية وتقليل الطاقة والراحة الحرارية للمستخدمين في المبنى. **معادلة معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient)**

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

حيث:

- r =معامل الارتباط.
- X_i و Y_i هي قيم المتغيرات التابعة والمستقلة
- X ‾و Y ‾ هي قيم المتوسطات للمتغيرات التابعة والمستقلة .

4. النتائج



شكل رقم(3) : يوضح التصميم في محكاة DesignBuilder

الشكل رقم (3) يوضح النموذج في محكاة DesignBuilder، وتقسيمة الي مناطق (ZONE) لتوضيح العناصر وحساب الاحمال الحرارية

جدول(4) : يوضح مجموعة من اوضاع المحكاة

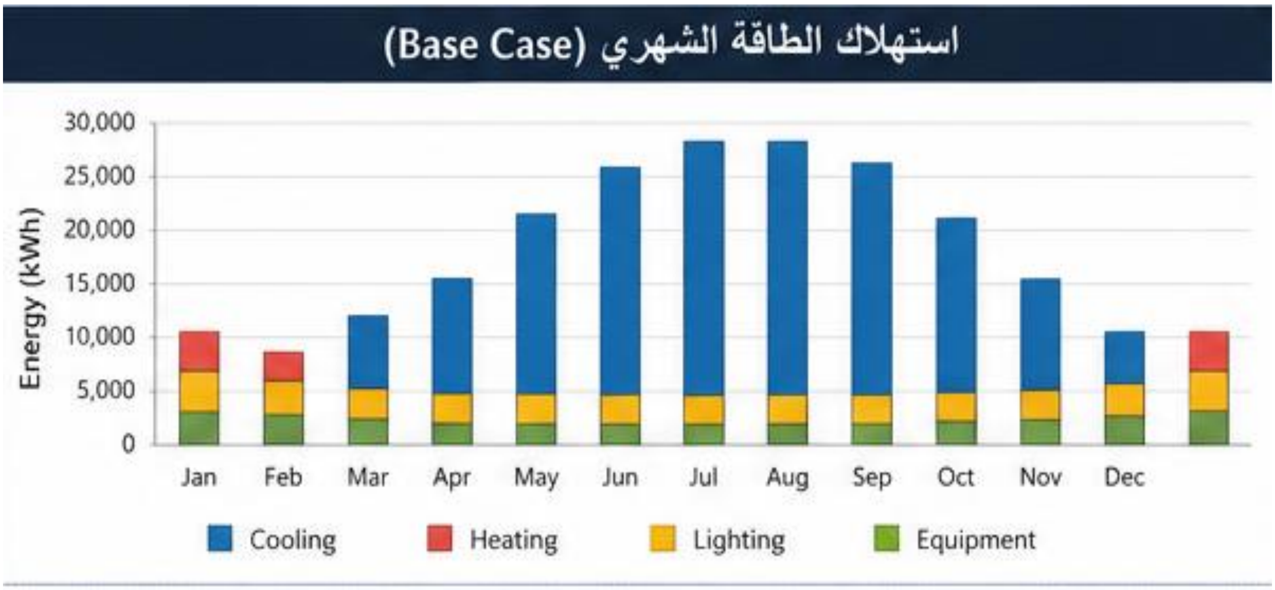
الحالة	WWR	التظليل	الزجاج
Base Case	20%	لا يوجد	عادي
S1	30%	أفقي	مزدوج
S2	40%	أفقي	Low-E
S3	50%	رأسي	Low-E
S4	60%	متحرك	ثلاثي

جدول رقم (4) يوضح الاوضاع الاربعة بالاضافة الي الوضع النموذج الاساسي ، من حيث عناصر نسبة النوافذ إلى الجدران والتظليل ونوع الزجاج ،

جدول 5: النموذج الأساسيBase Case)

المؤشر	القيمة السنوية
إجمالي استهلاك الطاقة	210.5 kWh/m².year
استهلاك طاقة التبريد	152.3 kWh/m².year
استهلاك طاقة التدفئة	18.7 kWh/m².year
استهلاك طاقة الإضاءة	24.6 kWh/m².year
استهلاك طاقة المعدات	14.9 kWh/m².year
أقصى حمل تبريد	620 kW
أقصى حمل تدفئة	185 kW

جدول رقم (5) يوضح نتائج المحاكاة على نموذج المبنى الأساسي باستخدام برنامج DesignBuilder. بلغ إجمالي استهلاك الطاقة 210.5 كيلوواط ساعة/مترمربع/سنة فقط، مما يُشير بوضوح إلى تأثير الظروف المناخية المختارة على استهلاك الطاقة في المبنى، بكفاءة عالية. بالإضافة إلى ذلك، كانت نسبة استهلاك الطاقة الحرارية من إجمالي استهلاك الطاقة كبيرة، حيث بلغت 152.3 كيلو وات ساعة/مترمربع/سنة، مما يُشير إلى أن الأحمال الحرارية، مثل الإشعاع الشمسي، قد تُهيمن على استهلاك الطاقة. كان استهلاك التدفئة منخفضًا: 18.7 كيلوواط ساعة/مترمربع/سنة؛ مما يُظهر فرقًا واضحًا بين أحمال التدفئة والتبريد في ظل الظروف المناخية الحارة جدًا لشمال ليبيا .



شكل رقم 4: يوضح النتائج الشهرية في محكاة DesignBuilder

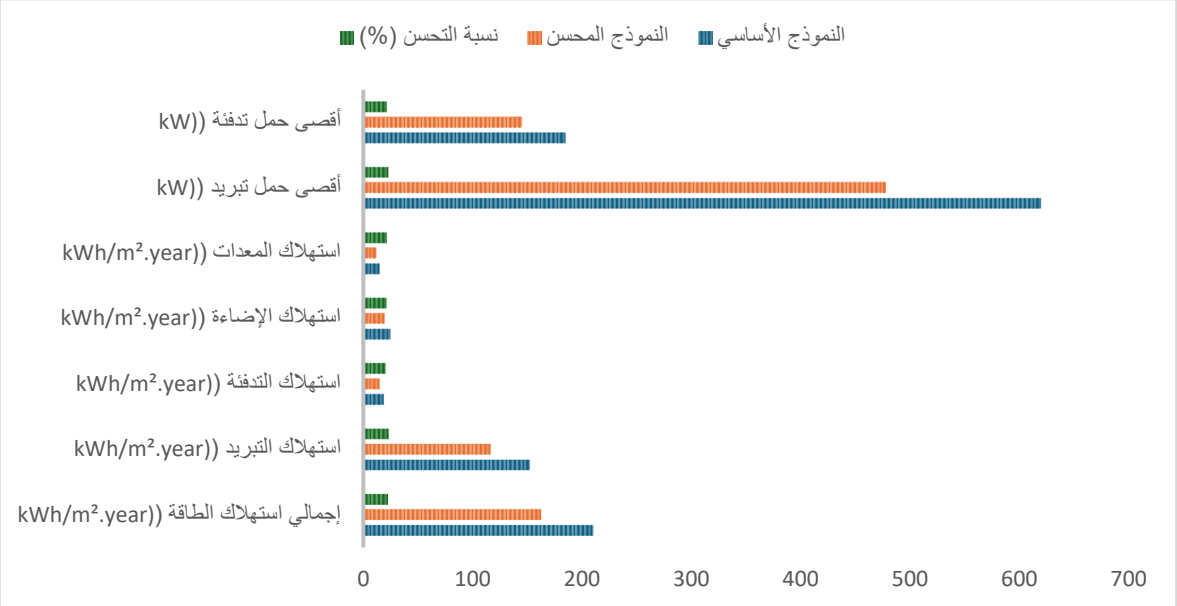
يوضح الشكل رقم (4) التوزيع الشهري لاستهلاكات الطاقة في النموذج الأساسي. يتضح من خلال الشكل أن تك التبريد هي المكون الأكبر من إجمالي الاستهلاك معظم أشهر السنة، مما يعكس الظروف المناخية لارتفاع درجات الحرارة وساعات الشمس، وأن استهلاك التدفئة يقتصر فقط على أشهر الشتاء وتحديدا ديسمبر ويناير وفبراير بينما استهلاك الطاقة المتعلق بالإضاءة والمعدات تقريبا شبة ثابت .

جدول 6:مقارنة النموذج الأساسي والنموذج المحسن

المؤشر	النموذج الأساسي	النموذج المحسن	نسبة التحسن (%)
إجمالي استهلاك الطاقة (kWh/m².year)	210.5	162.7	22.8
استهلاك التبريد (kWh/m².year)	152.3	116.8	23.3
استهلاك التدفئة (kWh/m².year)	18.7	14.9	20.3
استهلاك الإضاءة (kWh/m².year)	24.6	19.4	21.1
استهلاك المعدات (kWh/m².year)	14.9	11.7	21.5
أقصى حمل تبريد (kW)	620	478	22.9
أقصى حمل تدفئة (kW)	185	145	21.6

جدول رقم(6) يوضح مقارنة بين أداء الطاقة لكل من النموذج الأساسي والنموذج المُحسَّن بعد تطبيق حلول تصميم الواجهات المستدامة. يتضح من الجدول تحقيق مكاسب كبيرة في الطاقة والأحمال الحرارية في جميع مؤشرات الأداء. انخفض إجمالي استهلاك الطاقة بنسبة 22.8%، من 210.5 كيلوواط ساعة/م² سنة إلى 162.7 كيلوواط ساعة/م² سنة. كما لوحظ انخفاض بنسبة 23.3% في طاقة التبريد، ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى فعالية تعديلات تظليل الواجهات المعمارية في الحد من

اكتساب الحرارة الشمسية. علاوة على ذلك، تحقق توفير في طاقة التدفئة والإضاءة والمعدات بنسب 20.3% و21.1% و21.5% على التوالي. وانخفضت أحمال التبريد والتدفئة القصوى بنسبة 22.9% و21.6% على التوالي. ويُستنتج من ذلك أن تحسين خصائص الواجهات باستخدام عزل أفضل، وزجاج عالي الأداء، وعناصر تظليل مصممة معماريا بعناية، يُمكن أن يزيد بشكل فعال من كفاءة الطاقة والأداء الحراري للمبنى، مما يُعزز استدامته.



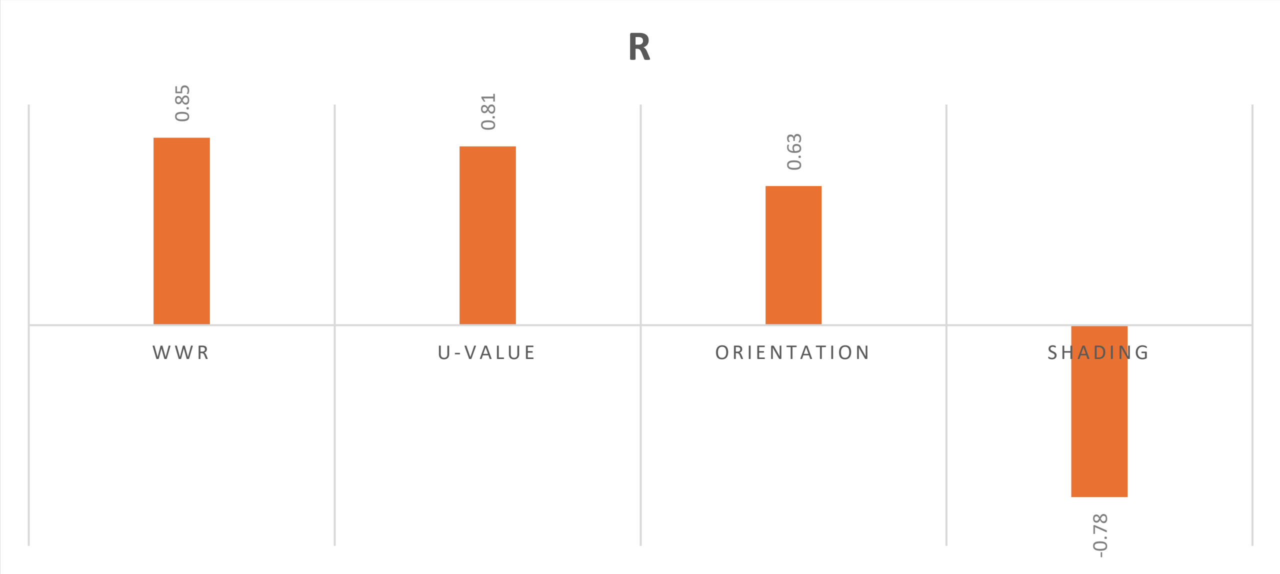
شكل رقم 5: مقارنة النموذج الأساسي والنموذج المحسن

يوضح الشكل 5 مقارنة بين النموذج الأساسي والنموذج المُحسَّن بعد تطبيق استراتيجيات الواجهات المستدامة. وقد تحسَّنت جميع مؤشرات الحمل الحراري بشكل ملحوظ. انخفض استهلاك الطاقة الإجمالي، وطاقة التبريد، وطاقة التدفئة، وطاقة الإضاءة، وطاقة المعدات في النموذج المُحسَّن؛ حيث تراوحت نسبة تحسين الأداء بين 20.3% و23.3%. علاوة على ذلك، تحسَّنت ذروة حمل التبريد وذروة حمل التدفئة إلى 22.9% و21.6% على التوالي. ومن هذا الشكل، يتضح أيضًا فعالية تحسين تصميم الواجهات المعمارية في خفض الحمل الحراري وتعزيز الأداء الكلي للطاقة.

جدول 7 : يوضح الارتباط بين عناصر الواجهه وتقليل استهلاك الطاقة

Variable	r	p
WWR	0.85	<0.001
U-value	0.81	<0.001
Orientation	0.63	0.003
Shading	-0.78	<0.001

جدول (7) يوضح معامل ارتباط بيرسون بين مُدخلات تصميم الواجهة وأداء استهلاك الطاقة في المبنى. تُظهر النتائج وجود ارتباطات قوية بين المُدخلات واستهلاك الطاقة. يُشير معامل الارتباط البالغ 0.85 ($p < 0.001$) بين نسبة النوافذ إلى الجدران واستهلاك الطاقة إلى أهمية تصميم فتحات الواجهة؛ إذ تُعدّ نسبة النوافذ إلى الجدران العامل الأكثر ارتباطًا إيجابيًا بكفاءة الطاقة. يلي ذلك ارتباطٌ قويٌّ آخر، وهو معامل الارتباط البالغ 0.81 ($p < 0.001$)، بين معامل انتقال الحرارة (U-value) للجدار واستهلاك الطاقة.



شكل رقم 6: يوضح الارتباط بين عناصر الواجهه وتقليل استهلاك الطاقة

يوضح الشكل رقم (6) العلاقة بين متغيرات تصميم الواجهة وأداء الطاقة للمبنى. ومن المثير للاهتمام ملاحظة وجود ارتباط إيجابي قوي بين نسبة عرض الجدار إلى طوله ($r = 0.85$) وقيمة معامل انتقال الحرارة ($r = 0.81$)، مما يؤكد تأثيرهما الكبير على استهلاك الطاقة في المبنى. علاوة على ذلك، يرتبط اتجاه الواجهة ارتباطًا إيجابيًا أيضًا ($r = 0.63$)، بينما تُظهر أنظمة التظليل ارتباطًا سلبيًا قويًا ($r = 0.78$)، مما يدل على قدرتها على تقليل أحمال التبريد وتعزيز أداء الطاقة الإجمالي للمبنى. وهذا يُظهر في النهاية المساهمة الكبيرة لتصميم الواجهة المعمارية في تحسين الأداء الحراري وأداء الطاقة للمنشآت التعليمية.

جدول 8 : يوضح العلاقة الانحدارية بين عناصر الواجهه وتقليل استهلاك الطاقة

Variable	β	t	p
WWR	0.43	6.2	<0.001
U-value	0.39	5.4	<0.001
Shading	-0.36	-4.9	<0.001

يوضح الجدول رقم (8) تحليل الانحدار الخطي المتعدد لتأثير معايير تصميم الواجهات على أداء الطاقة في المباني. يُظهر معامل نسبة العرض إلى الارتفاع (WWR) أعلى تأثير إيجابي (0.43، $p < 0.001$)، يليه معامل انتقال الحرارة (U-value) (0.39، $p < 0.001$)، وكلاهما يرتبط ارتباطًا إيجابيًا قويًا باستهلاك الطاقة في المباني. في المقابل، تُظهرعناصر التظليل ارتباطًا سلبيًا قويًا بأداء الطاقة (0.36، $p < 0.001$)، حيث تُسهم في تقليل المكاسب الحرارية وتحسين كفاءة الطاقة. بشكل عام، يُشير نموذج الانحدار إلى أن معايير تصميم الواجهات المعمارية تُعد مؤشرات تنبؤية لأداء الطاقة في المباني التعليمية.

5. المناقشة

من خلال استكشاف العلاقة بين خصائص واجهات المباني المعمارية واستهلاك الطاقة في المباني التعليمية. وطبقا لنتائج محاكاة حاسوبية باستخدام برنامج DesignBuilder لتقييم تأثير مختلف المعايير المعمارية لواجهات المبانى التعليمية على الأداء الحراري وكفاءة الطاقة في المبنى. وقد لوحظت علاقة واضحة بين خصائص الواجهات المعمارية ومعدل استهلاك

الطاقة، حيث اعتُبر تصميم الواجهة أحد أهم العوامل المؤثرة على أداء الطاقة، وذلك لدور عناصر الواجهة في التحكم في انتقال الحرارة، واكتساب الإشعاع الشمسي، والإضاءة الطبيعية، والتهوية(Koçak,et al 2025) .

تُظهر نتائج المحاكاة أن معدل استهلاك الطاقة الإجمالي يبلغ 210.5 كيلوواط ساعة/مترمربع/سنة للنموذج الأساسي، وأن حمل التبريد يُمثل النسبة الأكبر من إجمالي معدل استهلاك الطاقة السنوي، حيث يبلغ 152.3 كيلوواط ساعة/متر مربع/سنة. وهذا يعني بوضوح التأثير الكبير للظروف المناخية الحارة في شمال ليبيا، والتي تتميز بارتفاع درجات الحرارة صيفًا وارتفاع الإشعاع الشمسي خلال معظم أيام السنة، مما يُثبت أهمية تصميم الواجهات معماريا كوسيلة رئيسية لتقليل حمل التبريد في المباني التعليمية في المناطق الحارة(wang,et al 2025) .

أظهر البحث الآثار الإيجابية لتحسين خصائص واجهة المبنى باستخدام زجاج منخفض الانبعاثية، وزيادة العزل الحراري لعناصر الواجهة، وتطبيق نظام تظليل مناسب، بالإضافة إلى تحسين نسبة مساحة النوافذ إلى مساحة الجدران اى تحسين نسبة المصمت الى المفتوح فى الواجهة. وقد أسفر ذلك عن انخفاض في استهلاك الطاقة بنسبة 22.8% مقارنةً بالنموذج الأساسي، مع انخفاض أحمال التبريد والتدفئة بنسبة 23.3% و20.3% على التوالي. وبذلك، ثبت أن عناصر الواجهة هي أكثر الطرق فعاليةً للحد من اكتساب الحرارة في المبنى وتحسين كفاءة غلافه.

تتفق نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة ما وآخرون (2024) الذين أكدوا أن نسبة مساحة النوافذ إلى مساحة الجدران، ونوع الزجاج، ونظام التظليل من أهم جوانب تصميم الواجهة المؤثرة على استهلاك الطاقة والأداء الحراري للمبنى. كما تتوافق مع نتائج دراسة الشامي وآخرون (2025) الذين أثبتوا أن اتجاه الواجهة يلعب دورًا هامًا في الأحمال الحرارية للمباني التعليمية. في هذه الدراسة، يؤدي التوجيه الأمثل للواجهة إلى توفير الطاقة. وتتفق هذه الدراسة مع العديد من الأبحاث التي أثبتت أن الجمع بين العزل الحراري المحسن وأجهزة التظليل المناسبة يُحقق وفورات كبيرة في الطاقة.

كما لوحظ من خلال دراسة سيناريوهات مختلفة أن نسبة عرض الجدار إلى ارتفاعه، وتوجيه الواجهة، والعزل الحراري، تُعد من أهم العوامل المؤثرة على أداء المبنى، إذ تتحكم هذه العوامل بشكل مباشر في كمية الإشعاع الشمسي وانتقال الحرارة عبر واجهة المبنى. أما العناصر المعمارية للتظليل، فلها دور في التحكم في الأحمال الحرارية الصيفية(Taha & .2022) Ahmed

إلى جانب خفض استهلاك الطاقة في المبنى، يُحسّن تصميم الواجهة معماريا بشكل جيد الراحة الحرارية داخله. ويؤدي انخفاض الحمل الحراري إلى تقليل تقلبات درجات الحرارة الداخلية، مما يُهيئ بيئة تعليمية أفضل.

بشكل عام، يمكن القول إن استخدام تصميم معماري مستدام للواجهات يُحقق فوائد بيئية، حيث يُقلل من انبعاثات الكربون نتيجةً لخفض استهلاك الطاقة. وبالتالي، يُساهم في تحقيق فوائد اقتصادية وبيئية للمبنى. لذلك، يُعد دمج مفهوم كفاءة الطاقة في المراحل الأولية للتصميم المعمارى أمرًا بالغ الأهمية. يجب استخدام برامج متطورة مثل DesignBuilder لتقييم الحلول المختلفة قبل تطبيقها.

وبناءً على النتائج والاستنتاجات المذكورة أعلاه، يتضح أن خصائص واجهات المباني المعمارية تُعدّ عاملاً حاسماً في استهلاك الطاقة في المباني التعليمية، وأن تحسين هذه الخصائص يتيح فرصة عملية نحو بناء مبانٍ فعّالة ومستدامة، لا سيما في المناطق الحارة، كما هو الحال في شمال ليبيا حيث تُشكّل أحمال التبريد الجزء الأكبر من استهلاك الطاقة في المباني(Gab Allah,et al 2022) .

6. الاستنتاجات

طبقا لما تم تحليله وتقييمه من نتائج المحاكاة التي تم إجراؤها باستخدام برنامج Design Builder لتحديد العلاقة بين خصائص الواجهات المعمارية واستهلاك الطاقة في المباني التعليمية تم التوصل إلى مجموعة من **الاستنتاجات المهمة وهي كما يلي:**

1/ أظهرت النتائج إلى وجود علاقة مباشرة ومؤثرة بين خصائص الواجهات المعمارية وأداء الحراري للبناء حيث تبين أن تصميم الواجهة هو أحد العناصر الأساسية والمهمة التي يمكن من خلالها التحكم في استهلاك الطاقة داخل المباني التعليمية.

2/ أشارت النتائج إلى أن تحسين خصائص الواجهة خاصة فيما يتعلق بعوامل التظليل ونسب الزجاج للنوافذ والزجاج منخفض الانبعاثية ومستويات العزل يؤدي إلى خفض الأحمال الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة بصورة كبيرة وبنسب تتراوح من 20% إلى 23%.

3/ بمقارنة السيناريوهات، تبين أن نسبة النوافذ إلى الجدران، واتجاه الواجهة، والعزل الحراري من أهم العوامل المؤثرة على الأداء الحراري للمبنى، إذ تؤثر هذه العوامل على اكتساب الطاقة الشمسية وفقدان الحرارة من غلاف المبنى.

4/ كما أظهر التحليل أن عناصر التظليل المعمارية الخارجية ساهمت في تقليل الأحمال الحرارية خلال فصل الصيف، مما أدى إلى انخفاض ملحوظ في استهلاك الطاقة للتبريد.

5/ وكما تبين أن التصميم المحسن للواجهة لا يساهم فقط في خفض استهلاك الطاقة في المبنى، بل يُحسّن أيضًا من الراحة الحرارية لشاغليه. ويؤدي انخفاض الحمل الحراري وتقلبات درجة الحرارة الداخلية إلى تهيئة ظروف دراسية ملائمة، مما ينعكس إيجابًا على جودة التعلم وكفاءة استخدام المبنى.

7. التوصيات

تشير كل هذه النتائج إلى أن اعتماد نهج تصميم الواجهات المستدامة سيؤدي إلى تعزيز أهداف الاستدامة البيئية والاقتصادية من خلال توفير الطاقة، وخفض تكاليف التشغيل، وتقليل انبعاثات الكربون من قطاع البناء. كما أنها تسلط الضوء على ضرورة دمج جوانب كفاءة الطاقة في مرحلة التصميم المعماري في المراحل المبكرة للمبانى التعليمية، وهناك حاجة إلى استخدام برامج محاكاة أكثر تطوراً مثل DesignBuilder لاستكشاف البدائل وتحديد الحلول الفعالة قبل الشروع في البناء الفعلي.

المراجع

Abdelbasit Al-Fitouri, & Mohammed Al-Farjani. (2023). ملامح الاستدامة البيئية في المساكن التقليدية بالمدن الصحراوية الليبية: غدامس كحالة دراسية. مجلة العلوم الإنسانية والتطبيقية، 8 (15)، 163 –175.

Albatayneh, A. (2018). The influence of building orientation on the overall thermal performance of buildings. Environmental Science and Sustainable Development, 3(2), 6–19.

Alghamdi, S., Tang, W., Kanjanabootra, S., & Alterman, D. (2022). Effect of architectural building design parameters on thermal comfort and energy consumption in higher education buildings. Buildings, 12(3), 329.

Bahri, S. Y., Forment, M. A., Riera, A. S., Heiranipour, M., & Hosseini, S. N. (2025). Kinetic facades as a solution for educational buildings: A multi-objective optimization simulation-based study. Energy Reports, 13, 3915–3928.

Barbosa, E. F., Labaki, L. C., Castro, A. P., & Lopes, F. S. (2024). Energy efficiency and thermal comfort analysis in a higher education building in Brazil. Sustainability, 16(1), 462.

Bortolini, R., & Forcada, N. (2021). Association between building characteristics and indoor environmental quality through post-occupancy evaluation. Energies, 14(6), 1659.

El Dallal, I. S., Abdel-Maksoud, R. A., & Faragallah, R. N. (2024). Guidelines for façade techniques to optimize energy efficiency in educational buildings. Port-Said Engineering Research Journal, 28(4), 84–99.

Elshamy, A. I., Moussa, R. R., El-Mahallawi, I., Elshazly, E., & Alghrieb, M. (2025). Thermal performance variations of office spaces in educational buildings resulting from façade orientation: An Egyptian case study. Buildings, 15(19), 3437.

Gab Allah, E. S., & Morad, M. M. (2022). The effect of daylight on energy consumption in educational spaces by simulation: Faculty of Engineering at Sohag University as a case study. Journal of Engineering Sciences, 50(4), 193–225.

Hanafy, G. A. (2025). The impact of building façade design on energy consumption and thermal performance in hot climate regions. Journal of Engineering Sciences, 53(2), 145–162.

Hong, Y., Ezeh, C. I., Deng, W., Hong, S. H., Peng, Z., & Tang, Y. (2020). Correlation between building characteristics and associated energy consumption: Prototyping low-rise office buildings in Shanghai. Energy and Buildings, 217, 109959.

Islam, M. H., Safayet, M. A., & Al Mamun, A. (2024). Building performance analysis for optimizing the energy consumption of an educational building. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 42(4), 576–595.

Koçak, N. S. Y., Köymen, E., & Yaşa, E. (2025). Daylight performance analysis in primary school classrooms based on transparent surface ratio and facade orientation: A case study of Necmettin Öztürk Primary School. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2), 1–27.

Ma, W., Wang, X., Shou, W., & Wang, J. (2024). Energy-efficient façade design of residential buildings: A critical review. Developments in the Built Environment, 18, 100393.

Mahdavinejad, M., Bazazzadeh, H., Mehrvarz, F., Berardi, U., Nasr, T., Pourbagher, S., & Hoseinzadeh, S. (2024). The impact of facade geometry on visual comfort and energy consumption in an office building in different climates. Energy Reports, 11, 1–17.

Mohammadi, S., Gorji Mahlabani, Y., Karimi, F., & Mohammadhosseini, B. (2022). The effect of architectural design parameters on IEQ in accomplishing school smartification. International Journal of Digital Content Management, 3(5), 223–248.

Mustafa, Y. (2020). الطاقة الشمسية والتطبيق. دار النشر.

Ragab, A., Hassieb, M. M., & Mohamed, A. F. (2025). Exploring the impact of window design and ventilation strategies on air quality and thermal comfort in arid educational buildings. Scientific Reports, 15(1), 19596.

Su, Y., Zhang, X., Li, Y., & Chen, H. (2024). A review on energy in buildings: Current research focus and future development trends. Heliyon, 10(12), e32854.

Taha, A., & Ahmed, M. (2022). Methods of retrofit office buildings' envelopes in Egypt to integrate photovoltaic cells and its effect on energy production. Journal of Engineering Sciences, 50(6), 337–357.

Tahmasbi, F., Mohammadi, S., Hosseini, M., & Zhang, L. (2025). Energy-efficient building façades: A comprehensive review of technologies and strategies for sustainable buildings. Sustainable Materials and Technologies, 43, e01007.

Uşma, G., & Sökmen Kök, D. (2025). The influence of hot and humid climate data on modern architectural façade design: A case study of educational buildings in Adana, Türkiye. Buildings, 15(11), 1939.

Wang, L., Ibrahim, A., & Jiang, Y. (2025). Multi-objective optimization of atrium form variables for daylighting, energy consumption and thermal comfort of teaching buildings at the early design stage in cold climates. Buildings, 15(24), 4434.

بلال رافع عبد العاطي، إيمان عطية ساسي، ونضال فتحي أغفير. (2022). دور برامج محاكاة المبنى في تعزيز استراتيجيات الاستدامة في العملية التصميمية: متطلبات ومعوقات التطبيق في ليبيا ومقترحات الحلول. مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية، 3(2)، 474.491–

وفاء محمد دبك، محمد الصغير الفرجاني، وجمال عبد الرحمن ماشينة. (2025). تحديات وآفاق استخدام برامج المحاكاة لتعزيز الأداء الحراري لغلاف المبنى (حالة دراسية: المباني على الساحل الليبي) Journal of Technology Research, 328–345.
محمد العربي المحروق. (2026). إشتقاق معادلة تجريبية لتقدير العزم الأقصى للكمرات الخرسانية المسلحة باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) بالاعتماد على بيانات الكود الأمريكي (ACI). مجلة العلوم الشاملة, 10(39), 2545-2555.
نرمين خليفة النعاس, & حليمة محمد القرضاوي. (2026). جدوى استخدام الطاقات المتجددة على ميزانية الدولة الليبية الحالية والمستقبلية. Al-Farooq Journal of Sciences, 2(2), 94-119.
م. ايمان بابلي .(2018) .الوظيفة والتصميم في العمارة الداخلية .الدار للنشر والتوزيع.
Zorba, H., Alsaidi, L., & Mosle, S. (2018). Building simulation and energy management for Institute François–Nablus City.