Journal of Al-Azhar University Engineering Sector

Vol. 19, No. 70, January 2024, 369-382

TOWARDS NET ZERO ENERGY SCHOOLS IN HOT REGIONS USING SIMULATION TECHNIQUES - CASE STUDY: A TYPICAL SECONDARY SCHOOL, JAZAN, SA

Laila H. K. Al Shamakhi, Ahmed Omar M.S. Mostafa*

Department of Arch. and Building Sciences, College of Arch. and Planning, King Saud University, Riyadh 11574, P.O. Box 57884, KSA

***Correspondence:** ahmedoms@ksu.edu.sa

Citation:

L.H.K Shamakhi and A. O.M.S Mostafa," Towards Net Zero Energy Schools in Hot Regions Using Simulation Techniques- Case Study: a typical secondary school, Jazan, SA", Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, vol. 19, pp. 369-382, 2024

Received: 1 October 2023

Revised: 15 December 2023

Accepted: 23 December 2023

DOI: 10.21608/auej.2023.240054.1434

Copyright © 2024 by the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International Public License (CC BY-SA 4.0)

ABSTRACT

As the world's energy crisis continues, interest in energy conservation and sustainability has increased. The concept of the Net Zero Energy (NZE) buildings has emerged as one of the trends trying to mitigate the effects of this crisis, supported by the current accelerated digital technologies. Despite the spread of the NZE buildings' studies, there is a lack of literature dealing with NZE Schools at the national level in Saudi Arabia which represents the research incentive, gap and problem. Through a descriptive and experimental approach, this paper tried to conclude and apply a number of strategies to achieve NZE schools in hot regions in general and in Jazan region, SA, in particular supporting the objectives of the Ministry of Education, related to developing 2000 schools by 2030, and aligned with the Kingdom vision 2023 related to achieving sustainability and reducing energy consumption.

KEYWORDS: energy crisis, sustainability, net zero energy schools

نحو مدارس صفرية الطاقة في المناطق الحارة بتوظيف تقنيات المحاكاة - حالة دراسية: مدرسة ثانوية نموذجية بمنطقة جازان، المملكة العربية السعودية

ليلى بنت حسين بن قاسم الشماخي ، أحمد عمر محمد سـيد مصطفى *

قسم العمارة وعلوم البناء، كلية العمارة والتخطيط، جامعة الملك سعود، الرياض 11574، ص.ب. 57448، المملكة العربية السعودية

* **البريد الألكتروني البحث الرئيسى:** Ahmedoms@ksu.edu.sa

الملخص

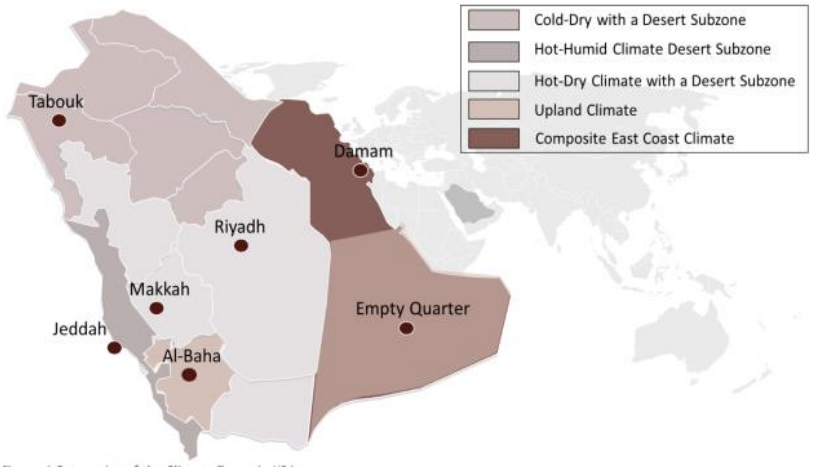
مع استمرار أزمة الطاقة التي يعاني منها العالم نتيجة لتزايد النمو العمراني وتناقص موارد الطاقة غير المتجددة، تزايد الإهتمام باتجاهات ترشيد الطاقة وتحقيق الإستدامة، وظهر مفهوم المباني صفرية الطاقة كأحد اتجاهات التخفيف من آثار هذه الأزمة. ومع التطور المتسارع في التقنيات الرقمية، حدث تحول كبير في المجال العمراني بتوظيف هذه التقنيات، خلال دورة حياة المبنى، في تحسين أداء المباني والطاقة المستهلكة. وعلى الرغم من تعدد الدراسات العالمية التي تناولت توظيف تقنيات المحاكاة الرقمية لدعم تحقيق المباني صفرية الطاقة في المباني عموما وفي المدارس على وجه الخصوص، إلا أن تحليل الدراسات السابقة أظهر قلة الدراسات التي تناولت هذا الموضوع على مستوى مدارس المملكة العربية السعودية، وهو ما يمثل الفجوة والإشكالية البحثية لهذه الورقة البحثية. انتهج البحث المنهج الوصفي التحليلي والمنهج التجريبي لتحقيق أهدافه باستخلاص وتطبيق عدد من الاستراتيجيات لتحقيق صفرية الطاقة في مدارس المناطق الحارة بصورة عامة وفي أحد النماذج المتكررة لمدارس منطقة جازان كحالة درسية لدعم تحقيق أهداف وزارة التعليم ذات العلاقة بتحقيق الاستدامة وتخفيض استهلاك الطاقة خلال عمليات تطوير 2000 مدرسة بحلول2030، متوافقة بذلك مع رؤية المملكة 2030.

الكلمات المفتاحية: المدارس، المدراس صفرية الطاقة، ترشيد استهلاك الطاقة، الاستدامة.

1. المقدمة

لطالما كانت الطاقة عصب حياتنا وعنصرًا لاستمراريتها وتطورها، ووفقا لتقرير صادر عن الوكالة الأممية في عام 2022، فإن أكثر من 34 في المائة من الطلب العالمي على الطاقة في عام 2021 جاء من قطاع البناء والتشييد، إلى جانب حوالي 37 في المائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون "المتعلقة بالطاقة والعمليات" [1]، واهتماماً بهذا الموضوع فقد توجهت العديد من الأبحاث العلمية، في السنوات الأخيرة، إلى التركيز على الحد من الأثر البيئي للأبنية وتحويلها إلى أبنية مكتفية ذاتياً لمتطلبات الطاقة أو أبنية صفرية الطاقة، ووضعت العديد من الدول الخطط الهادفة إلى تطوير وإنشاء الأبنية صفريّة الطاقة حتى عام 2030 من جهة، وتحديث وتطوير الأبنية المشيدة لتصبح أبنية صفرية بحلول عام ٢٠٥٠ من جهة أخرى.

وتوافقاً مع الإتجاهات العالمية للتعامل مع إشكالية أزمة الطاقة، أولت المملكة العربية السعودية اهتماماً كبيراً بتحقيق أهداف التنمية المستدامة في جميع المجالات ضمن رؤيتها 2030، وتضمن ذلك تحسين أداء الطاقة في قطاع المباني والتشييد. ويمثل الفهم الجيد للخصائص المناخية الخطوة الأولى لتحقيق ذلك. وعلى الرغم من اعتبار مناخ المملكة، بشكل عام، مناخ صحراوي حار، إلا أنه يجب اعتبار المساحة الشاسعة التي تغطيها المملكة والتنوع في طبيعة وخصائص مناخ كل منطقة من مناطقها (الموضحة في شكل-1).



شكل رقم (1) المناطق المناخية بالمملكة العربية السعودية (المصدر: **ncm.gov.sa**)

وعلى التوازي مع الجهود العالمية لمعالجة إشكالية أزمة الطاقة وبحث سبل تقليل التأثيرات الناتجة عنها، برز دور التقنيات الرقمية في تحسين جودة الحياة في جميع القطاعات ومنها قطاع المباني والتشييد، وأمكن توظيف العديد من التقنيات الرقمية لدعم أنشطة تحسين أداء وكفاءة المباني سواء على مستوى الفراغات حول المبنى أو على مستوى الغلاف الخارجي للمبنى أو على مستوى الفراغات الداخلية، وأحدثت التطورات المتلاحقة في عالم التقنيات الرقمية ثورة هائلة في كافة المجالات بما فيها مجال العمارة، وظهرت اتجاهات معمارية تعتمد على استخدام تلك التقنيات، وأصبح ينظر للعمارة على أنها تخصص ينزع إلى استخدام التكنولوجيا بشكل مباشر وأساسي [2]، وتوسعت الجهود للاستفادة من هذه التقنيات في مجالات أعمال التصميم والتشييد المختلفة ومايرتبط بذلك من أنشطة حماية البيئة والاستجابة لتأثيرات التغير المناخي وغيرها [3]، وبرزت تطبيقات وتقنيات محاكاة أداء الطاقة المعتمدة على الحاسب الآلي في تقديم أدوات قيمة تدعم المعماريين والمهندسين في إعطاء صورة شاملة لسلوك الطاقة للمبنى والإشكاليات المرتبطة بذلك وبدائل تحسينها [4]. وتعددت الدراسات والأبحاث التي تناولت تحليل الوضع القائم للعديد من المباني ومنها المدارس، ومثال ذلك ما قام به كل من [5] من تحليل لأداء الطاقة بتوظيف تقنيات المحاكاة الرقمية لمدارس عالية الأداء في بلجيكا وما توصل إليه من وجود فجوة كبيرة في أداء الطاقة، وما قام به [6] عملية محاكاة لمدرستين في أسبانيا لتحليل فعالية تجديد الهواء بواسطة نظام تهوية ميكانيكي مقارنة بنظام التهوية الطبيعية تُستخدم المستشعرات وأجهزة تسجيل البيانات لقياس درجة الحرارة والرطوبة وثاني أكسيد الكربون في الداخل والخارج واستخلاص توصيات لتحسين الوضع القائم.

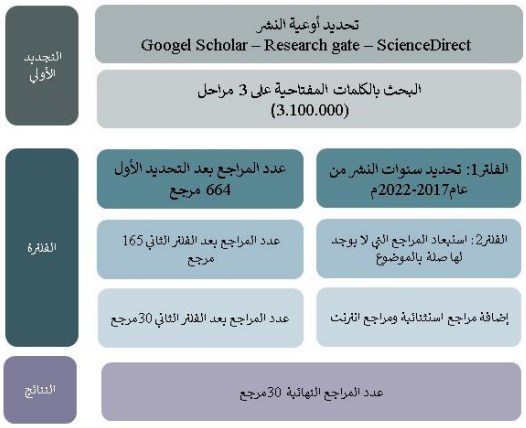
1. 1. المشكلة والأهداف والأهمية البحثية

على الرغم من تعدد الدراسات العالمية التي تناولت توظيف تقنيات المحاكاة الرقمية لدعم تحقيق المباني صفرية الطاقة في المباني عموما وفي المدارس على وجه الخصوص، إلا أن تحليل الدراسات السابقة أظهر قلة الدراسات التي تناولت هذا الموضوع على مستوى مدارس المملكة العربية السعودية، وهو ما يمثل الفجوة والإشكالية البحثية لهذه الورقة البحثية التي تمثل أحد المبادرات لتجسير هذه الفجوة البحثية، والمساهمة في دعم تحقيق المدراس صفرية الطاقة لمدارس المناطق الحارة، بدراسة وتحليل العناصر والمتغيرات المرتبطة بذلك واستخلاص الدلائل الإرشادية وأهم الإستراتيجيات الواجب اتباعها لتحقيق ذلك، وتوظيف تقنيات المحاكاة على أحد الحالات الدراسية في منطقة جازان لتوضيح متطلبات وإمكانيات تحقيق صفرية الطاقة في المباني المدرسية.

من اهم ما يؤكد أهمية هذه الدراسة توافق أهدافها مع برامج رؤية المملكة 2023، ومع أهداف وزارة التعليم في تحقيق الإستدامة وتخفيض استهلاك الطاقة في المدارس، ويؤكد ذلك التقرير الصادر عن وزارة التعليم والمتضمن تطوير 2000 مدرسة مستدامة بحلول عام 2030، هذا إضافة الى اعتبار هذه الدراسة مبادرة لتجسير الفجوة الحادثة في مجال دراسات تحقيق المدارس صفرية الطاقة في المملكة بتوظيف تقنيات المحاكاة.

1. 2. منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة في معالجة المشكلة البحثية على المنهج الوصفي التحليلي في الجزء الأول منها المعتمد على المراجعات الأدبية لدراسة وتحليل متغيرات تحسين أداء الطاقة للمباني وصولا للمدارس صفرية الطاقة، واستخلاص أهم الدلائل والإستراتيجيات المتبعة لتحقيق صفرية الطاقة في المباني المدرسية، وعلى المنهج التجريبي في الجزء الثاني لتطبيق عدد من الاستراتيجيات التي تم استخلاصها في الجزء الأول على نموذج مدرسة محلية في منطقة جازان بالمملكة العربية السعودية بتوظيف أحد تطبيقات محاكاة الطاقة، للوصول إلى النتائج المرجوة من هذا الدراسة. ولضمان تغطية المراجعات الأدبية لجوانب الدراسة وحداثتها، تم، بعد تحديد أوعية النشر، تحديد الكلمات المفتاحية ثم الفترة الزمنية للنشر، ثم فلترة النتائج على مستويات مختلفة وصولاً إلى مراجع الدراسة وفق الموضح في شكل-2.



شكل رقم (2) إجراءات تحديد مراجع الدراسة
المصدر الباحثان

2. المباني صفرية الطاقة

تسعى صفرية الطاقة لإنتاج عمارة متوافقة مع البيئة، مع الحد من آثارها السلبية، وتحقيق أقصى كفاءة لاستهلاك الطاقة [7]، بالإضافة إلى إمكانية الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة، وتخفيض تكاليف التشغيل والصيانة [8].

2. 1. مفهوم المباني صفرية الطاقة

يعرف قسم الطاقة بالولايات المتحدة الأمريكية المبنى صفري الطاقة أنه مبنى عالي الكفاءة فيه مقدار الطاقة المستهلكة سنويا أقل من أو تساوي الطاقة المتجددة المولدة بالموقع [9]، بينما تعرفه الجمعية الأمريكية للتبريد والتدفئة وتكييف الهواء المباني صفرية الطاقة على أنها مباني: مصممة بحيث تحقق التوازن بين الاستهلاك المنخفض للطاقة وتوظيف الطاقة المتجددة المولدة بالموقع، بحيث توفي متطلبات الطاقة على مدار العام [10].

2. 2. معيار كثافة استخدام الطاقة في المباني (EUI) ودورها في تحقيق مباني صفرية الطاقة

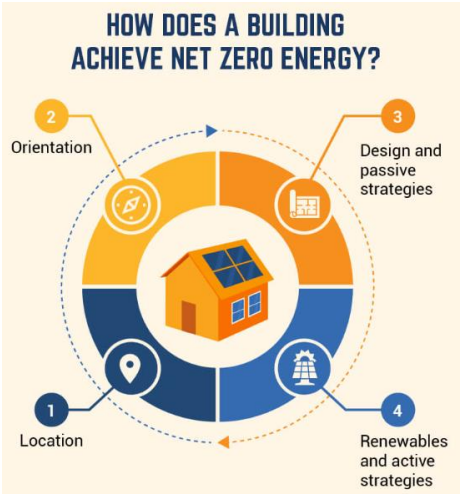
معيار كثافة استخدام الطاقة Energy Use Intensity (EUI) يمثل واحداً من أهم المؤشرات المستخدمة لدراسة ولتحقيق صفرية الطاقة من خلال مقارنة بين استخدام طاقة المباني كنموذج أولي مع المباني من نفس النوعية ومساحة مقاربة والخصائص الأخرى يمكن حسابه بقسمة إجمالي استهلاك الطاقة السنوي للمبنى على المساحة الإجمالية للمبنى. وكلما انخفضت قيمة هذا المعيار، يعني أن أداء الطاقة أفضل. ووكما هو محدد في شكل (4)، يتم في هذا المعيارتصنيف المباني من حيث أداء الطاقة وفقاً للمدى الذي حققته من استهلاك الطاقة السنوي لكل وحدة مساحة من المساحة المبنية، وبالتالي يمكن في هذا المعيار اعتبار بعض المباني "صفرية الطاقة" على الرغم من عدم تساوي الطاقة المستهلكة مع الطاقة المتولدة من المصادر الطبيعية، ففي حالة المدارس على سبيل المثال تندرج المدرسة ضمن تصنيف المباني صفرية الطاقة إذا كان مدى قيمة معيار كثافة استخدام الطاقة فيها بين صفر وحوالي 27. وسيتم الإعتماد على هذا المعيار خلال التجربة العملية لهذه الورقة البحثية.

بعد اعتبار استراتيجيات تصميم الموقع العام وتوجيه كتل المبنى ومواصفات عناصره يمثل معيار كثافة استخدام الطاقة للمبنى EUI الخطوة الأولى لتحقيق المباني صفرية الطاقة، كما هو موضح في شكل (3)، حيث يمكن من خلال اجراءات حساب هذا المعيار تحديد الاستراتيجيات التي تستهدف تقليل الطاقة المستهلكة للمباني الجديدة، وتحسين أداء الطاقة للمباني القائمة، ويتبع ذلك مراجعة هذا المعيار مع مستويات معايير الحفاظ على الطاقة للمباني وصولاً إلى صفرية الطاقة لنفس نوعية المبنى، كما هو موضح، في شكل (4)، للمباني التعليمية. ومن ثم يتم وضع وتنفيذ استراتيجيات سلبية ونشطة مختلفة للمبنى الحالي لتعزيز الأداء وتقليل استهلاك الطاقة. والخطوة الثالثة تتمثل في اختيار الوسائل المناسبة لسياقات وطبيعة موقع المشروع لإنتاج الطاقة المتبقية اللازمة للمبنى باستخدام الطاقة المتجددة لتحقيق الطاقة الصفرية [7].

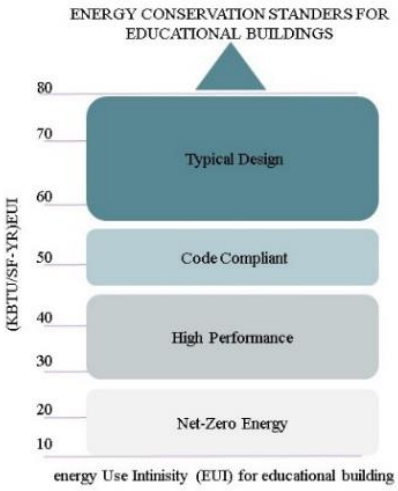
2. 3 . مبادئ المباني صفرية الطاقة

وفقا لتصنيف المبنى والسياق المناخي يكون الوصول الى مبنى صفري الطاقة من خلال المبادئ التالية ولتي أكدتها جميلة إبراهيم وآخرون [11]:

- أولاً: تقليل الطلب على الطاقة سواء خلال مراحل التصميم والتنفيذ أو للمباني القائمة وتشمل مجموع متطلبات الطاقة للمبنى وتدفئة وتبريد الفراغ وتسخين الماء والطاقة المساعدة، والتهوية والإضاءة والأجهزة.
- ثانياً: تحسين جودة البيئة الداخلية مما يتيح أقصى درجات الراحة الحرارية وتجنب ارتفاع درجة الحرارة. وهذا يشمل توظيف التهوية الطبيعية بالتوجيه واختيار الأوقات المناسبة ومراقبة جودة الهواء من خلال التهوية الميكانيكية.
- ثالثًا: تحديد نسبة مئوية من الطلب على الطاقة المتجددة يتم تغطيتها بواسطة الرصيد السنوي للطاقة المتجددة، من المهم أيضا عمل حساب الطاقة الإضافية لمعالجة متطلبات مطابقة الطاقة والتخزين.
- رابعا: تقليل القيمة الشاملة لاستهلاك الطاقة الأولية وانبعاثات الكربون سنويا مع اعتبار قيمة نقل الطاقة.

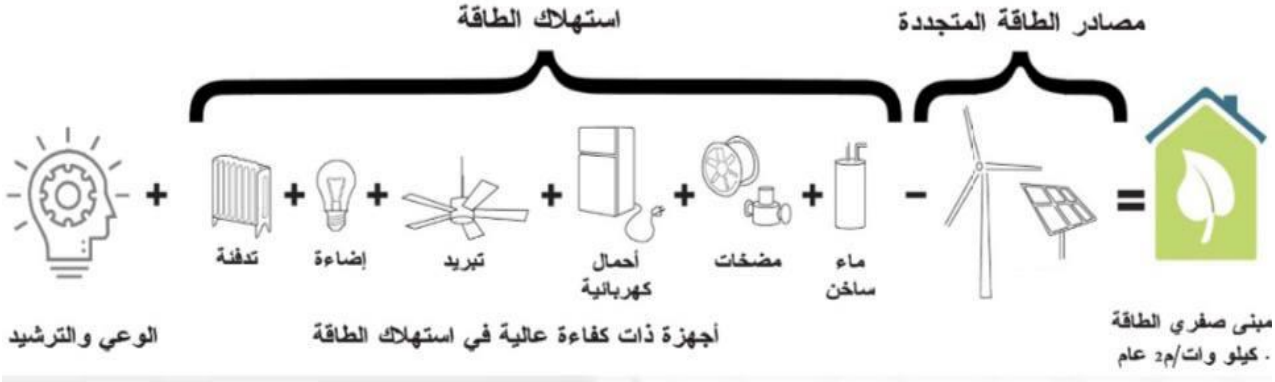


الشكل رقم (3) كيفية تحقيق صفرية الطاقة للمباني
المصدر: [12]



الشكل رقم (4) مستويات معايير الحفاظ على الطاقة للمباني وصولاً إلى صفرية الطاقة للمباني اعتماداً على معيار كثافة استخدام الطاقة
المصدر: [13]

بالنسبة للمبانى القائمة، وحيث أن مرحلة اختيار نوعية ومنطقة المشروع وموقعه وتوجيه وتصميم وتنفيذ المبنى تمت بالفعل، فتعتمد محاولات تحقيق صفرية الطاقة للمبنى على بحث وتحليل المتغيرات التي يمكن بتطبيقها تقليل معيار EUI ويتطلب ذلك تنفيذ استراتيجيات سلبية ونشطة للمبنى الحالي لتعزيز الأداء وتقليل استهلاك الطاقة بعد ذلك، يتم التوجه لإنتاج كمية من الطاقة المتجددة لتحقيق صفرية الطاقة لاستكمال متطلبات الطاقة المتبقية [14]، ويعتمد ذلك على الميزانية المحددة للتطوير. غالباً ما يتم تقليل الاستهلاك عن طريق: الترشيد، والاعتماد على معدات ذات كفاءة عالية للطاقة، واستخدام التقنيات السلبية في الإضاءة، والتظليل، والتهوية، ومن ثم استخدام مصادر الطاقة المتجددة لإمداد المبنى بما ينقصه من طاقة، ويوضح الشكل رقم (5) كيفية معادلة الطاقة المستهلكة مع المولّدة بغية الوصول إلى صفرية الطاقة [15].



الشكل رقم (5) معادلة الطاقة المستهلكة مع المولّدة للوصول إلى صفرية الطاقة - المصدر [15]

3. 3 . المدارس صفرية الطاقة

اتجه المعماريون في الآونة الأخيرة إلى تقديم مدارس تحمل وعياً بيئياً، ومسئولية تجاه التغيرات المناخية وأزمات الطاقة العالمية، روعي فيها الدمج بين التصميم والمعالجات الخاصة بترشيد استهلاك الطاقة، مع إضافة تقنيات متنوعة؛ لتوليد أكبر قدر من الطاقة المتجددة، وربط ذلك كله بالمناهج والعملية التعليمية وتعد المدارس صفرية الطاقة أحد التوجهات العالمية واسعة الانتشار التي تحقق أغراضاً بيئية وتعليمية في آن واحد [16].

وتعددت التعريفات للمدارس صفرية الطاقة، ومنها التالي:

- المدارس الصفرية هي: المدارس المنشأة بمكونات واستراتيجيات متكاملة مع العملية التصميمية؛ لتحقيق كفاءة الطاقة عند أو تحت ٢٠ ألف وحدة حرارية بريطانية مع إمكانية استخدام التقنيات الهندسية بالموقع لتوليد الطاقة المتجددة لاحقاً [10]، وهي مبانٍ مدرسية تحقق جميع متطلبات المباني صفرية الطاقة، مضافاً إليها الوظيفة التعليمية؛ بوصفها مركز لتثقيف الطلاب وتعليمهم مبادئ الاستدامة والحفاظ على الطاقة [10].

ومن أهم الأساليب والتقنيات المستخدمة في المدارس صفرية الطاقة والتي اتضحت من مراجعة اثنين من الحالات الدراسية المتميزة كمدارس صفرية الطاقة والحاصلين على الشهادة الذهبية في تصنييف (LEED): مدرسة ديسكفري وتقع بولاية فيرجينيا الولايات المتحدة الأمريكية [17] ، [18] و مدرسة ليدي بيرد جونسون وتقع بولاية تكساس الولايات المتحدة الأمريكية [19] :

- العمل على نشر مفهوم الإستدامة وثقافة الحفاظ على الطاقة من قبل جميع العاملين والطلاب للوصول إلى صفرية الطاقة: وذلك من خلال توفير برنامج وموقع على الإنترنت يتضمن إحصائيات ومعدلات آنية ويومية وأسبوعية وشهرية، وعلى مدار العام الدراسي لمعدلات الاستهلاك الكلي للطاقة، ومعدلات الاستهلاك لكل مصدر من مصادر الاستهلاك الرئيسة، وكذلك معدلات إنتاج الطاقة، وتوفير معمل تعليمي قرب المدخل الرئيسي لطلاب المدرسة وطلاب المدارس الأخرى لاستكشاف ودراسة ما يتعلق

بالخلايا الشمسية، مزرعة الرياح، وأساليب الحفاظ على المياه، ونظام الاستفادة من الطاقة الحرارية الكامنة بالأرض، وتوفيرشاشات تفاعلية عند المدخل الرئيسي وعلى طول الممر الرئيسي، تعطي قراءات لمعدلات إنتاج واستهلاك الطاقة، وذلك للأغراض التعليمية لتوضيح مقدار الطاقة المستهلكة في كل فصل وفي كل فراغ من فراغات المدرسة.

- مراعاة ظروف وسياقات الموقع وتوجيه كتل المباني لاستثمار الطاقات الطبيعية في تحسين كفاءة أداء الطاقة للمبنى وتحسين جودة الهواء داخله.
- معالجات الغلاف الخارجي لتحسين الأداء الحراري: استخدام مواد عازلة بالأسطح والحوائط يبلغ معامل العزل لها ٣، كما استخدم اللون الأبيض؛ لزيادة معامل الإنعكاس الحراري (R)، وتقليل امتصاص الحرارة خلال السطح.
- توفير الطاقة المستهلكة في الإضاءة: تنفيذ دراسات ونمذجة؛ لتحديد أفضل وضع للفتحات والكاسرات للتظليل لإدخال الإضاءة الطبيعية المناسبة على مدار اليوم الدراسي، وتم الإعتماد على مصابيح (LED) للإضاءة الصناعية لاستهلاك أقل قدر ممكن من الطاقة. إضافة إلى ذلك استخدام مستشعرات للضوء في الفصول؛ بحيث تعمل الإضاءة الصناعية بالتكامل مع الإضاءة الطبيعية وبحيث تظل مستويات الإضاءة ثابتة طوال الوقت.
- ترشيد استخدام الطاقة المستهلكة في تشغيل الفراغات المختلفة (إضاءة وتكييف وغيرها) بتوفير مستشعرات الحركة في الفراغات والممرات الداخلية لتعمل أجهزة التكييف والإضاءة الصناعية فيها فقط عند وجود حركة بالفراغات.
- استخدام الطاقات الطبيعية في توليد الطاقة وتوفيرها: فعلى سبيل المثال تم الإستفادة من الطاقة الكامنة بالأرض Geothermal Energy في تقليل استهلاك للطاقة اللازمة للتكييف بنسبة ٣٠ % مقارنة بالأنظمة الأخرى، وتم استخدام الخلايا الشمسية على الأسطح لتوليد الطاقة، واستخدام طاقة الرياح من خلال مزارع توربينات الرياح على الرغم من ضعف إنتاج مثل هذه المزارع مقارنة بإجمالي الطاقة المنتجة؛ فقد تم استخدامها للأغراض التعليمية، واعتبارها رمزاً لجهود المدرسة في الإستدامة واستخدام الطاقات الطبيعية.

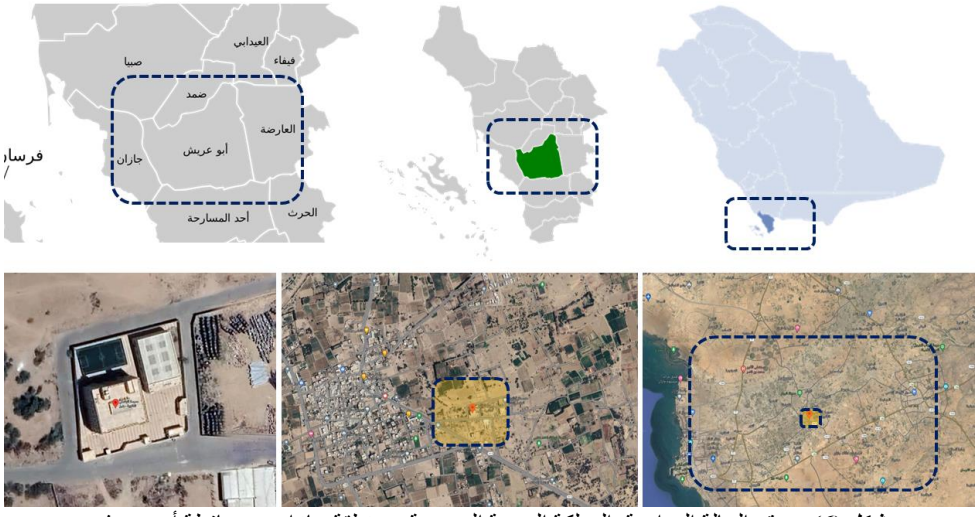
وهناك العديد من المواقع المتخصصة التي وثقت حالات دراسية للمدارس صفرية الطاقة أو ذات الأداء العالي لكفاة الطاقة، ويمكن الرجوع إلى أمثلة لذلك في موقع معهد المباني الحديثة (https://newbuildings.org/hubs/zero-energy/#case-studies) ، وموقع مكتب مكلاي معماريون (https://www.maclayarchitects.com/net-zero-net-postive-energy.php)

3. التعريف بالحالة الدراسية

اتجه المعماريون في الآونة الأخيرة إلى تقديم مدارس تحمل وعياً بيئياً، ومسئولية تجاه التغيرات المناخية وأزمات الطاقة العالمية، روعي فيها الدمج بين التصميم والمعالجات الخاصة بترشيد استهلاك الطاقة، مع إضافة تقنيات متنوعة؛ لتوليد أكبر قدر من الطاقة المتجددة، وربط ذلك كله بالمناهج والعملية التعليمية وتعد المدارس صفرية الطاقة أحد التوجهات العالمية واسعة الانتشار التي تحقق أغراضاً بيئية وتعليمية في آن واحد [16].

3. 1 . التعريف بموقع الحالة الدراسية

تقع الحالة الدراسية التي تمثل مدرسة ثانوية نموذجية في إحدى المناطق التابعة لمحافظة أبي عريش بمنطقة جازان بالمملكة العربية السعودية وفق الموضح في الشكل (6)

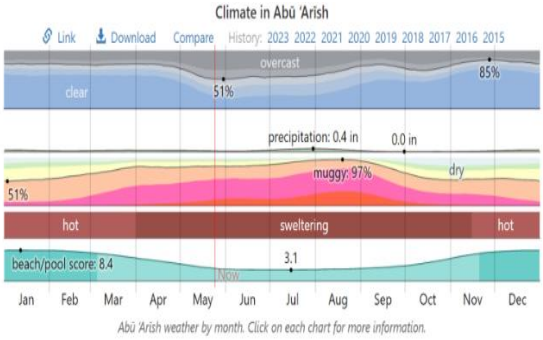


شكل (6): موقع الحالة الدراسية: المملكة العربية السعودية – منطقة جازان – محافظة أبو عريش
(المصدر: Google Earth Pro)

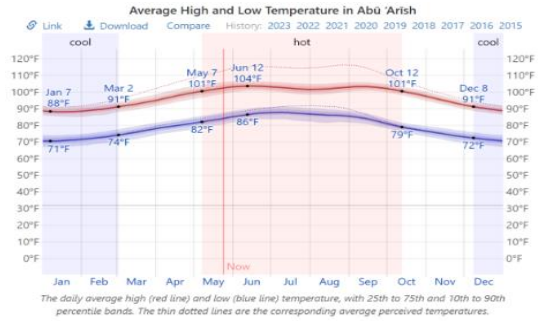
3. 2 . التعريف بمناخ موقع الحالة الدراسية

تتميز المملكة العربية السعودية في العموم بأنها منطقة مناخية حارة وجافة يمثل فيها حمل التبريد للمباني غالبية استهلاك الطاقة وبالتالي، فإن جزءا من رؤية الحكومة الجديدة هو تقليل تأثير استهلاك الطاقة على الغلاف الجوي بسبب إنتاج غازات الدفيئة من المباني وهي أي نوع من الغازات التي تحتوي على خصائص امتصاص الأشعة تحت الحمراء التي تنبعث من سطح الأرض وتشعها مرة أخرى إليها ، بما في ذلك: بخار الماء ، ثاني أكسيد الكربون2و و الميثان [20]

وتتميز منطقة جازان، كما يتضح من شكل (7)، بصيف طويل، قائظ، جاف، وغائم جزئيا والشتاء قصير ودافئ ورطب وجاف وصاف في الغالب. على مدار العام، تتراوح درجة الحرارة عادة من 71 درجة فهرنهايت إلى 104 درجة فهرنهايت ونادرا ما تقل عن 67 درجة فهرنهايت أو أعلى من 107 درجة فهرنهايت.



(أ) الخصائص العامة للمناخ



(ب) متوسط درجات الحرارة

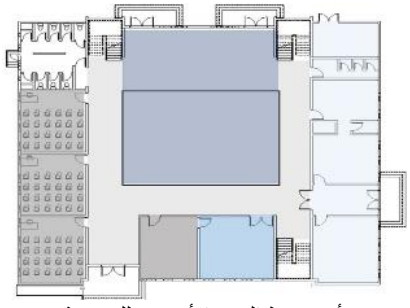
شكل (7): بعض الخصائص العامة للمناخ في منطقة جازان – محافظة أبو عريش

المصدر: https://weatherspark.com/y/102295/Average-Weather-in-Jizan-Saudi-Arabia-Year-Round

3. 3 . التعريف بطبيعة ومكونات الحالة الدراسية:

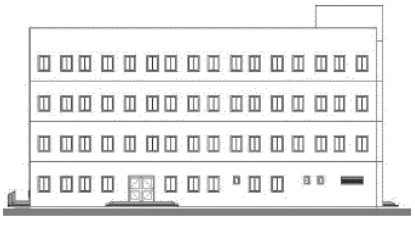
الحالة الدراسية عبارة عن مدرسة ثانوية للبنين بمساحة 5060م2 ومساحة البناء 3700م2 (39826.5 قدم مربع). ورأى الباحثان أن اختيار هذه الحالة كمبنى نموذجي متكرر للمدارس يعتبر من اكثر نماذج مباني المدارس تطبيقا في منطقة جازان، والتي اتضح من المعلومات الأولية إمكانية تخفيض وترشيد جزء كبير من الطاقة المستهلكة فيها وتعزيز أداء الطاقة ويمكن في حال نجاح التجربة أن يكون هذا النموذج بمثابة رمز تعليمي يثقف الناس حول استراتيجيات التصميم لمباني عالية الأداء للطاقة في المناطق شديدة الحارة.

يبدا اليوم الدراسي في المدرسة من 7:00ص الى 2:00م، ويبلغ عدد الطلاب بها 700 طالب موزعين في 32 فصل (سعة الفصل 24 طالب + مدرس=25فرد)، ومساحة الفصل تصل إلى (35م2 =378 قدم مربع)، يتكون المبنى من أربعة طوابق مع فناء مغلق يحتوي الطابق الأول على مكاتب المعلمين الرئيسية ومنطقة الصلاة وثلاثة فصول للصف الأول وتتكون الطوابق المتبقية من تسعة فصول لكل طابق مع مكتب مدرس واحد ودورات مياه وفق الموضح في الأشكال (8-أ و8-ب)، توزيع الفتحات في الواجهات الخارجية منتظم دون معالجات للإتجاهات المختلفة وفق الموضح في الأشكال (8-ج و 8-د و 8-هـ و 8-و).

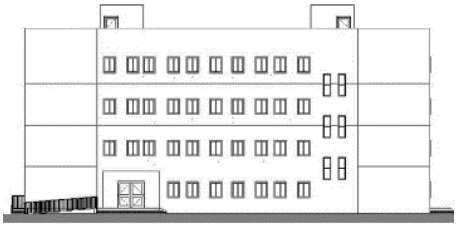


(أ) مسقط الدور الأرضي للمدرسة

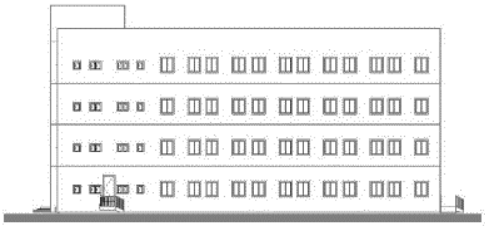
(ب) مسقط الأدوار العلوية للمدرسة



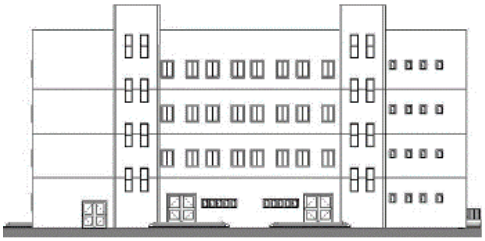
(ج) الواجهة الشرقية للمدرسة



(د) الواجهة الجنوبية للمدرسة



(هـ) الواجهة الغربية للمدرسة



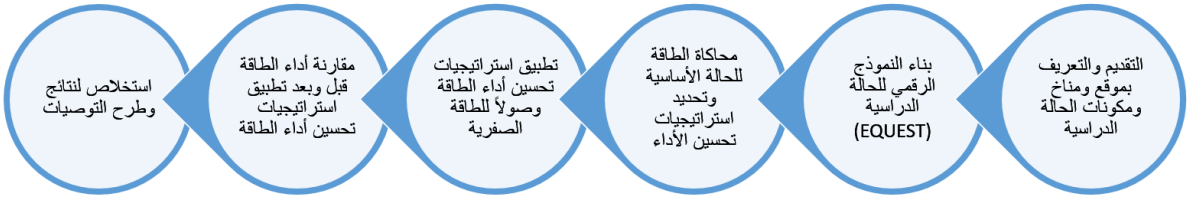
(و) الواجهة الشمالية للمدرسة

شكل (8): مساقط وواجهات الحالة الدراسية (المصدر : وزارة التعليم السعودية)

4. تطبيق التجربة العملية على الحالة الدراسية

4. 1 . مسار التجربة والسيناريو المقترح

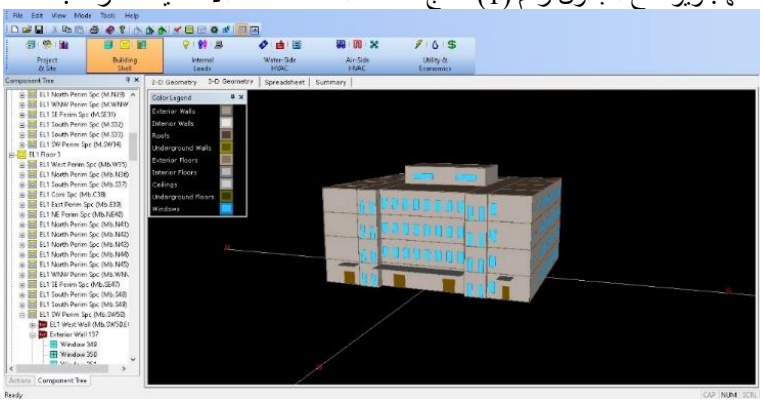
مسار التجربة المقترح للحالة الدراسية يمر بعدة مراحل، وفق الموضح في شكل (9) وتبدأ بشرح للحالة الدراسية ثم بناء النموذج الرقمي للحالة الدراسية، في برنامج EQUEST ثم البدء بإدخال ملف طقس المنطقة واختيار نموذج مدرسة ثانوي والبدء بمحاكاة أداء الطاقة بعد إدخال معلومات البناء على الحالة الدراسية ثم تطبيق استراتيجيات الإيجابية والسلبية على المبنى وصولا لصفرية الطاقة وأخيرا مقارنة أداء المبنى قبل وبعد واستنتاج القراءات النهائية.



شكل رقم (9): السيناريو المقترح للتجربة العملية – المصدر الباحثان

4. 2. بناء النموذج وإدراجه في تطبيق المحاكاة ومحاكاة الطاقة للحالة الأساسية للمبنى

تم استخدام جدول البناء للحالة الأساسية والرسومات المعمارية لإنشاء النموذج الرقمي للحالة الأساسية كما يوضحها الشكل (10) بعد إدراج النموذج الرقمي في تطبيق المحاكاة (EQUEST)، وبعد ادخال كافة معلومات الموقع والمناخ ومعلومات البناء ونظام الإضاءة والتكييف والتهوية وتسخين المياه المستخدم، تم إجراء محاكاة الأداء الحالي لاستهلاك الطاقة للمدرسة لفهم أداء الطاقة المبنى وتحديد المكونات التي تحتاج إلى تطوير أداء الطاقة لها. ويوضح الجدول رقم (1) نتائج محاكاة الطاقة للحالة الأساسية للمدرسة.



شكل رقم (10): النموذج الرقمي للحالة الدراسية بعد إدراجه في تطبيق المحاكاة EQUEST

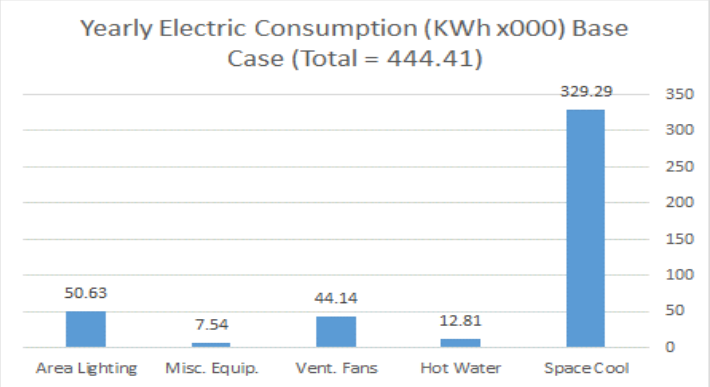
جدول رقم (1): استهلاك الكهرباء للحالة الدراسية خلال شهور العام (مخرجات برنامج المحاكاة للحالة الأساسية)

Electric Consumption (kWh x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	17.70	17.45	24.70	24.64	32.61	34.16	33.95	37.11	30.98	31.47	24.98	19.54	329.28
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	1.09	0.98	1.09	1.05	1.09	1.05	1.09	1.09	1.05	1.09	1.05	1.09	12.83
Vent. Fans	3.41	3.23	3.95	3.48	3.91	3.96	3.75	4.17	3.58	3.76	3.46	3.44	44.14
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	0.64	0.58	0.64	0.62	0.64	0.62	0.64	0.64	0.62	0.64	0.62	0.64	7.57
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	4.30	3.89	4.30	4.16	4.30	4.16	4.30	4.30	4.16	4.30	4.16	4.30	50.66
Total	27.16	26.13	34.69	33.95	42.57	43.97	43.74	47.32	40.40	41.26	34.27	29.02	444.48

4. 3. تحليل نتائج محاكاة الحالة الأساسية وتحديد الإشكاليات في عناصر استهلاك الطاقة

أظهرت نتائج المحاكاة أن هناك ثلاثة عوامل رئيسية تتسبب في ارتفاع استهلاك الطاقة: وحدات تكييف الهواء كبيرة الحجم ، والتي تسبب حمولة تبريد عالية ، والإضاءة الاصطناعية ومراوح التهوية، كما يتضح من الشكل (11). علاوة على ذلك ، هناك عوامل أخرى تضيف أيضا إلى الاستهلاك العالي للطاقة مثل عدد وحجم النوافذ الخارجية وموضعها وأجهزة التظليل والعزل. وسيتم في هذا الجزء تحليل أهم العوامل المسببة لزيادة استهلاك الطاقة لتحديد الإستراتيجيات المناسبة لمعالجتها للوصول إلى صفرية الطاقة المستهدفة لهذه الدراسة.



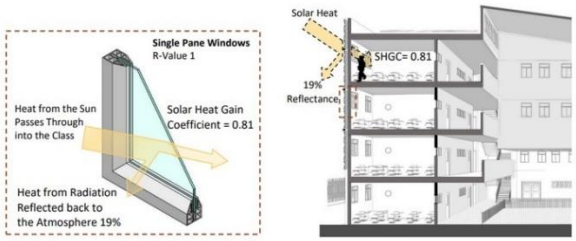
شكل رقم (11): التوزيع السنوي للاستهلاك السنوي الطاقة في الحالة الدراسية (المصدر: الباحثان)

4. 3. 1. جدران وأسقف الغلاف الخارجي

- الجدران الخارجية والأسقف هي أكثر العناصر مواجهه لأشعة الشمس فهي تتعرض لإشعاع شمسي كبير وتنقل الحرارة لداخل الفضاء. والحوائط الخارجية غير معزولة حرارياً وكذلك السقف، وتظهر واجهات المدرسة عدم استخدام أي وسائل لتظليل السقف أوالواجهات الخارجية مما يؤدي الى زيادة أحمال التبريد المطلوبة للفرغات الداخلية.

4. 3. 2. النوافذ الخارجية

- واجهات المدرسة تحتوي على عدد كبير من النوافذ ذات زجاج أحادي ومواصفات عادية في جميع الواجهات ودون أي معالجات لتجنب أشعة الشمس المباشرة على الزجاج، كما يتضح من شكل (8) وشكل (12)، وهو أمر يزيد من حمل التبريد المطلوب للفراغات الداخلية، إضافة إلى الازعاج داخل الفصول الدراسية.
- يضاف إلى ذلك أن إدارة المدرسة اضطرت إلى إغلاق النوافذ بستائر سوداء لتجنب دخول الإشعاع الشمسي المباشر إلى بعض الفراغات الداخلية، كما يتضح من الشكل (13)، مما أدى إلى إشكالية أخرى لأن اللون الأسود لديه قدرة امتصاص عالية، مما يزيد من كسب الحرارة وزيادة أحمال التبريد المطلوبة للفراغات الداخلية.

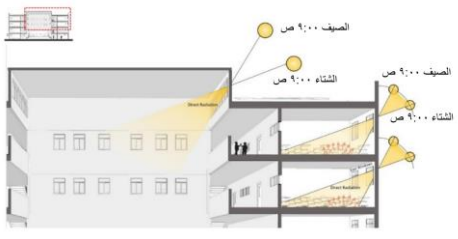


شكل رقم (12) تأثير الزجاج منخفض الكفاءة المستخدم في المبنى (المصدر: وزارة التعليم والتوضيح للباحثين)

شكل رقم (13) حجب إضاءة الشمس في الفصول الدراسية بستائر سوداء (المصدر: وزارة التعليم والتوضيح للباحثين)

4. 3. 3. الإضاءة الصناعية والطبيعية

- عدم استثمار الإضاءة الطبيعية والإعتماد على الإضاءة الصناعية: على الرغم من عدد النوافذ الكبيرة في واجهات المدرسة، الا ان ضوء النهار لايستخدم بشكل فعال مما يؤدي إلى الإتجاه إلى الإضاءة الصناعية وبالتالي زيادة استهلاك الطاقة، كما يتضح من شكل (14)، وعلى العكس فبعض النوافذ تم تغطيتها بستائر سوداء وأدت إلى إشكاليات كما تم توضيحه في الجزء السابق في شكل (13). سقف المبنى في منطقة الفناء الداخلي يستخدم فية السقف الغائر وبه إضاءة صناعية على الرغم من وجود فتحات علوية للإضاءة الطبيعية، كما يوضحه شكل (15)، نتج عن ذلك عدم ترشيد استخدام الإضاءة الصناعية.

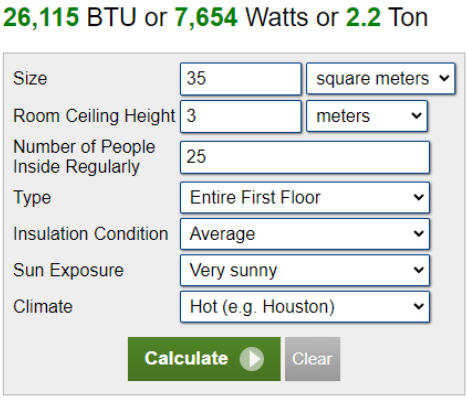


شكل رقم (14) عدم استثمار الإضاءة الطبيعية في المبنى (المصدر: وزارة التعليم والتوضيح للباحثين)

شكل رقم (15) الإضاءة الصناعية بسقف الفناء الداخلي (المصدر: وزارة التعليم والتوضيح للباحثين)

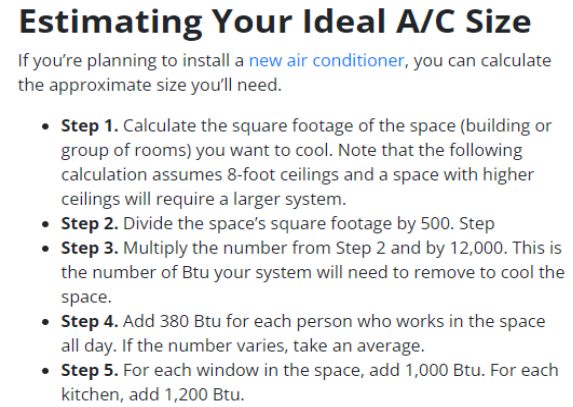
4. 3. 4. نظام التهوية والتكييف بالمدرسة

- عدم استثمار التهوية الطبيعية: يرتبط ذلك بأسلوب تشغيل المدرسة في الفصول وفي الفناء على الرغم من الدور الكبير الذي تلعبه التهوية الطبيعية في تحسين جودة الهواء الداخلي لأن تلوث الهواء في الأماكن المغلقة يمكن أن يصل إلى خمسة أضعاف الهواء في الخارج، وتقدر منظمة الصحة العالمية بأن تحسين التهوية الطبيعية يمكن أن يقلل نسبة الأمراض المرتبطة بالرئة بنسبة تصل إلى %20 [21].
- الزيادة غير المبررة لقدرات وحدات التكييف بالمبنى: كل فصل من فصول المدرسة يحتوي على (2) وحدة تكييف كل منها بقدرة 3.3 طن (إجمالي حمل التبريد لكل فصل = 6.6 طن). تم الإعتماد على عدد من المواقع المتخصصة في حساب أحمال التبريد للفراغات اتضح أن حمل التبريد لكل فصل مبالغ فيه وهو أحد الأسباب الرئيسية في استهلاك كمية كبيرة من الطاقة، كما توضحه الأمثلة في الأشكال (16-أ و 16-ب).
- إضافة إلى ذلك تحتوى المدرسة على فناء داخلي مكيف لايستخدم إلا مرة واحدة في اليوم، ويقترح توظيفه لفعاليات صفية وغير صفية لاستثمار الطاقة المستهلكة في تكييفه.
-



(ب) موقع لحاسبة الوحدات الحرارية تم من خلاله تقدير حمل التبريد للفصل الدراسي (2.2 طن)

المصدر: https://www.calculator.net/btu-calculator.html?roomsize1=35&roomsize1unit=meters&ceilingheight1=3&ceilingheight1unit=meters&people1=25&roomtype1=first&insulation1=normal&sunexposure1=sunny&climate1=hot&ctype=room&x=52&y=20



(أ) موقع لتقدير حجم وحدات التكييف للفراغات تم من خلاله تقدير حمل التبريد للفصل الدراسي (1.8 طن)

المصدر: https://www.sobieskiinc.com/blog/how-size-commercial-air-conditioner/

شكل رقم (16): نماذج لتقدير حساب حمل التبريد للفصل باعتبار أقصى سعة له (25) فرد

4. 4. الاستراتيجيات المقترحة لتحسين أداء الطاقة والوصول إلى صفرية الطاقة

لمعالجة الوضع القائم، سيتم الاعتماد على ثلاثة استراتيجيات أساسية كما يتضح من شكل رقم (17):

- الإستراتيجيات السلبية: وتهدف إلى تقليل الطلب على الطاقة من خلال استثمار الطاقات والمواد الطبيعية وفق المتاح لموقع المبنى ومحيطه، وحسن توجيه كتل المبني لتحقيق أعلى كفاءة في أداء الطاقة، وبتحقيق كفاءة أداء الطاقة لمواد وفتحات الغلاف الخارجي، وإعادة استخدام ما يمكن من المياه بالموقع.
- الإستراتيجيات النشطة: وتهدف إلى ترشيد استخدام الطاقة المطلوبة لكافة المعدات والأجهزة والتركيبات التي تستخدم لتحقيق الراحة لمستخدمي المبنى.

شكل رقم (17): الإستراتيجيات المقترحة لتحسين أداء الطاقة للحالة الدراسية

(المصدر: الباحثان)

- توظيف الطاقة المتجددة، عند الحاجة ووفقاً لطبيعة وسياقات الموقع المحيط بالمشروع، والميزانية المحددة للمشروع، للتوفيق بين الاستراتيجيات السلبية والنشطة إضافة إلى تأثيرها الإيجابي على البيئة.

4. 4. 1. الإستراتيجيات السلبية

الإستراتيجيات السلبية: حيث أن الحالة الدراسية لمبنى قائم بالفعل فسيتم الإعتماد على استراتيجيات لتحسين أداء الطاقة للغلاف الخارجي وتشمل عزل وتظليل السقف والجدران والنوافذ، واستخدام الألوان الفاتحة والعاكسة واستثمار النوافذ الخارجية في الإضاءة والتهوية الطبيعية للتحكم في كمية استهلاك الطاقة وتقليل الطلب عليها. إضافة إلى زيادة فرص تحقيق الراحة للفراغات الداخلية وتحقيق جودة الهواء بها.

- تحسين أداء الطاقة لجدران وأسقف الغلاف الخارجي: إضافة عناصر للتظليل والعزل الجيد للجدران والأسقف للحد من اكتساب وفقد الحرارة وتقليل أحمال التكييف ، وزيادة الراحة الحرارية داخل الفراغات الداخلية وبالتالي إلى توفير استهلاك الطاقة.
- تحسين أداء الطاقة لنوافذ الغلاف الخارجي: النوافذ المواجه للجنوب يسهل تحقيق التظليل المناسب لها للسيطرة على الإشعاع الشمسي، والنوافذ المواجهة للشمال مثالية لتوفير ضوء النهار الطبيعي وتقليل اكتساب الحرارة الشمسية. ويتم حساب الكاسرات الرأسية في الواجهات الشرقية والغربية. يقترح استخدام الزجاج المزدوج في النوافذ لها دور كبير في تحسين الأداء الحراري له. يضاف إلى ذلك إحكام تركيب النوافذ والتأكد من عدم تسرب الهواء أو الحرارة من الفراغات حولها.
- تحسين أداء الإضاءة الطبيعية وتقليل استخدام الإضاءة الصناعية: يمكن توفير الطاقة في الفصول باستثمار الإضاءة الطبيعية لضوء النهار مما يؤدي إلى تقليل استخدام الاضاءة الصناعية. يمكن التوفير باستخدام ضوء النهار من النوافذ والأبواب بصورة جيدة واستخدام الألوان العاكسة للضوء لتحسين انتشار الضوء الطبيعي بالفراغات مما يساعد على استهلاك الطاقة في البهو، كما يتضح من الأشكال (18-أ و 18-ب)

(أ) تصميم النافذة مدمج مع كاسرات أفقية للتظليل وعاكسة لتوزيع الضوء الطبيعي داخل الفراغ

(ب) عنصر تظليل منفصل بفجوة هوائية عن الحائط وعاكس لتوزيع الضوء الطبيعي داخل الفراغ

شكل رقم (18) مقترحات تظليل النوافذ لتحسين استهلاك الأداء الطاقة واستثمار الإضاءة الطبيعية
(المصدر: وزارة التعليم والتوضيح للباحثين)

- تحسين أداء التهوية الطبيعية: يرتبط ذلك بطبيعة تصميم النوافذ وبأسلوب تشغيل المدرسة في الفصول وفي الفناء. حيث يمكن اللجوء إلى فتح النوافذ عندما تنخفض الحرارة أو حتى لفترات قصيرة في الصباح أيام الصيف، أو ليلاً، وإضافة إلى تأثير ذلك في تحسين أداء الطاقة من خلال تقليل استخدام المكيفات، فله دور كبير في تحسين جودة الهواء الداخلي، ويوضح شكل (19) بعض الإستراتيجيات السلبية لتحسين أداء الطاقة للغلاف الخارجي للمبنى.

شكل رقم (19) بعض الاستراتيجيات السلبية تحسين الأداء الحراري
(المصدر: وزارة التعليم والتوضيح للباحثين)

4. 3. 2. الإستراتيجيات النشطة

حيث أن الحالة الدراسية لمبنى قائم فسيتم الإعتماد على مراجعة كفاءة أداء الطاقة لأجهزة التكييف وسخانات المياه ووحدات الإضاءة للفراغات الداخلية، والتأكد من مناسبة الأحمال الخاصة بها ومن إمكانياتها في مجال توفير الطاقة المستهلكة أو أداء وظيفتها بأعلى أداء للطاقة.

- نظام التكييف بالمبنى: بناء على ما اتضح من المبالغة في أحمال وحدات التكييف لكل فصل وهو أحد الأسباب الرئيسية في استهلاك كمية كبيرة من الطاقة، وحفاظاً على الوضع القائم وأقل تعديلات ممكنة، يقترح أن يتم تشغيل وحدة واحدة فقط في كل فصل واعتبار الوحدة الثانية للطوارئ، وتبادل ذلك دورياً كل فصل دراسي على سبيل المثال.
- نظام الإضاءة الصناعية بالمدرسة: على الرغم من واجهات المدرسة تحتوي على العديد من النوافذ الا ان ضوء النهار لايستخدم بشكل فعال في الفصول وفي الفناء الداخلي كما سبق توضيحه مما يؤدي إلى الإتجاه إلى الإضاءة الصناعية وبالتالي زيادة استهلاك الطاقة. المقترح أن يتم تحسين استثمار الإضاءة الطبيعية بتطبيق استراتيجيات لتوزيع ضوء النهار الطبيعي داخل الفصول وفي

الفناء، واستبدال كافة المصابيح الاصطناعية المستخدمة بمصابيح موفرة للطاقة (LED) بمستوى شدة الإضاءة المطلوب للفراغات التعليمية.

- سخانات المياه: مراجعة كفاءة أداء الطاقة لسخانات المياه، والتأكد من عزل التوصيلات لضمان عدم إهدار الطاقة المستهلكة في تسخين المياه، يضاف إلى ذلك أن مناخ منطقة جازان في الشتاء يمكن معه عدم إستخدام سخانات المياه وإلغاء هذا البند في النماذج التصميمية، وهو ما يؤدي إلى تحسين إضافي في أداء الطاقة في المدرسة.

4. 4. تحليل نتائج محاكاة الحالة الدراسية بعد تطبيق استراتيجيات التطوير للوصول إلى صفرية الطاقة

4. 4. 1. تحديث النموذج الرقمي وإجراء المحاكاة للحالة المحدثة

تم تحديث متغيرات النموذج الرقمي في تطبيق المحاكاة (EQUEST)، وفق كافة المعلومات الخاصة بتطبيق استراتيجيات تحسين أداء الطاقة للحالة الأساسية والتي تم مناقشتها في الجزء السابق. ومن ثم إجراء المحاكاة للنموذج المحدث، ويوضح الجدول رقم (2) نتائج محاكاة استهلاك الطاقة للحالة الدراسية خلال شهور السنة.

جدول (2): استهلاك الكهرباء للحالة الدراسية خلال شهور العام (المصدر: مخرجات برنامج المحاكاة بعد تطبيق استراتيجيات تطوير أداء الطاقة)

Electric Consumption (kWh x000)

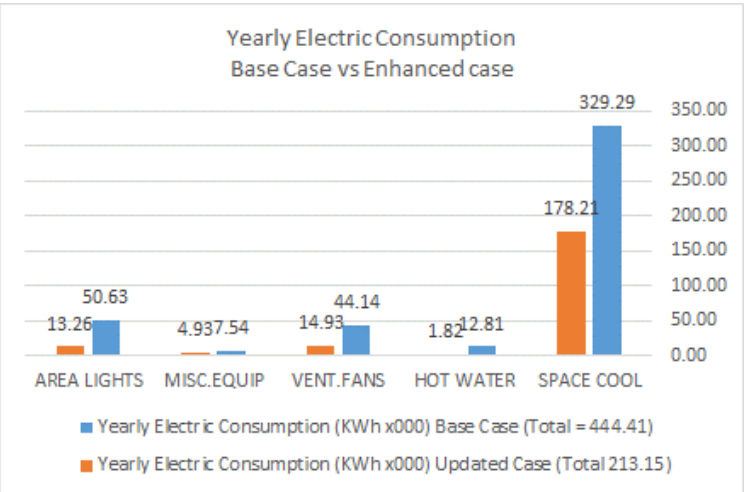
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	10.45	12.54	12.40	12.31	18.21	18.16	17.05	19.11	18.25	17.47	13.01	9.25	178.95
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	0.05	1.09	0.05	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03	0.37	6.57
Vent. Fans	1.21	1.22	1.05	1.48	1.10	1.10	1.05	2.10	1.08	1.26	1.16	1.12	14.93
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	0.54	0.54	0.54	0.52	0.22	0.24	0.64	0.24	0.24	0.21	0.52	0.48	4.93
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	1.10	1.26	1.04	1.16	1.10	1.16	1.10	1.10	1.16	1.10	1.16	0.06	13.26
Total	13.44	16. 65	15.08	15.50	20.88	20.69	20.07	22.80	20.76	20.27	15.88	11.28	213.10

4. 4. 2. مقارنة نتائج الحالة الأساسية والحالة المحدثة

وأظهرت نتائج محاكاة الحالة الدراسية بعد تطبيق استراتيجيات تحسين أداء الطاقة السلبية والنشطة انخفاض كبير في استهلاك الطاقة. ويوضح الجدول (3) والشكل (20) مقارنة بين قيم ونسب أداء الطاقة بناء على نتائج محاكاة الحالة الأساسية ونتائج محاكاة الحالة المحدثة والتي يتضح منها التحسن الكبير في أداء الطاقة لنظام التكييف والتهوية والإضاءة.

جدول (3): الأحمال والنسب المئوية
المصدر: الباحثان من مخرجات برنامج المحاكاة

البند	أحمال الطاقة (1000 ك.و)		الفرق	نسبة التحسن في أداء الطاقة
	الحالة الأساسية	الحالة المحسنة		
أحمال التبريد	329.29	178.21	151.08	**45.9%**
تسخين المياة	12.81	1.82	10.99	**85.8%**
مراوح التهوية	44.14	14.93	29.21	**66.2%**
معدات أخرى	7.54	4.93	2.61	**34.6%**
الإضاءة	50.63	13.26	37.37	**73.8%**
الإجمالي	444.41	213.15	231.26	**52.0%**



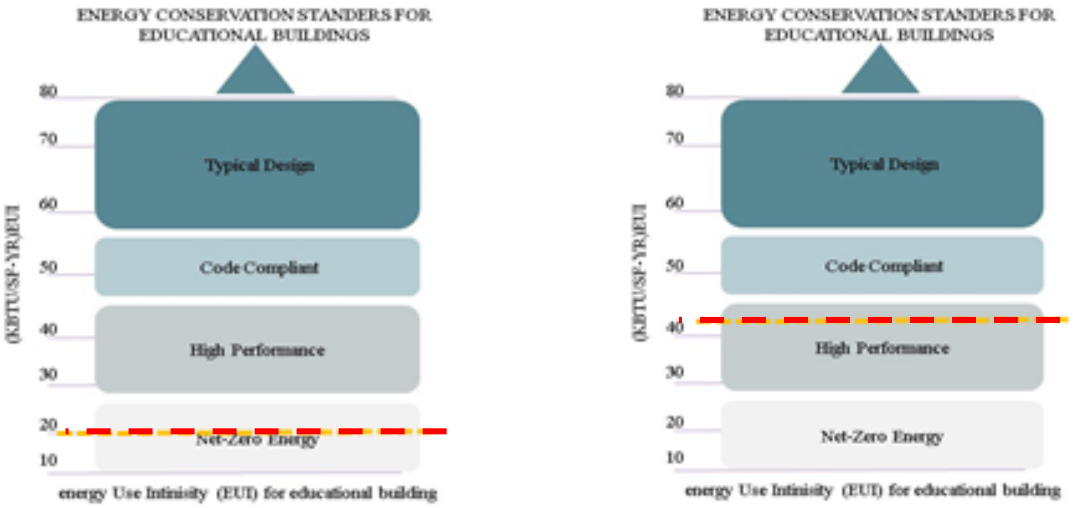
شكل (20): التوزيع السنوي للاستهلاك السنوي الطاقة في الحالة الدراسية الأساسية والحالة الدراسية بعد تطبيق استراتيجيات تحسين الطاقة (المصدر: الباحثان من نتائج برنامج المحاكاة EQUEST).

4. 4. 3. مقارنة معامل كثافة استخدام الطاقة (EUI)

بناء على ما تم التوصل إليه من نتائج تم حساب معامل كثافة استخدام الطاقة لكل من الحالة الأساسية والحالة المحدثة والتي يوضحها جدول رقم (4)، ومن ثم مقارنة مستويات معايير الحفاظ على الطاقة للمباني وصولاً إلى صفرية الطاقة للمباني اعتماداً على معيار كثافة استخدام الطاقة والتي يوضحها الشكل رقم (21) والذي يتضح منه وصول المدرسة إلى المدى الذي يمكن اعتبارها فيه "مدرسة صفرية الطاقة" وفق هذا المعيار. وبالتالي ونظراً لزيادة عدد المدارس المطلوب تأهيلها لتكون مداري ثفرية الطاقة، ولتوفير التكاليف المرتبطة بذلك، فقد رأي الباحثان الإكتفاء بما تم تحقيقه دون الحاجة لتطبيق الاستراتيجية الثالثة الخاصة بتوليد الطاقة من المصادر الطبيعية.

جدول (4): جدول حساب معيار كثافة استهلاك الطاقة للحالة الدراسية الأساسية والحالة المحسنة – المصدر: الباحثان

Item	Total Elect. Cons. per year		Total Gross Area		EUI	
	KWH/y	Kbtu/y	M2	Ft2	KWh/y/m2	Kbtu/y/ft2
Base Case	444410.00	1516326.92	3700.00	39826.47	120.11	38.07
Enhanced Case	213150.00	727267.80	3700.00	39826.47	57.61	18.26
% of Enhancement	52.04%	52.04%			52.04%	52.04%



شكل (21): مقارنة مستويات معايير الحفاظ على الطاقة للمباني التعليمية اعتماداً على معيار كثافة استخدام الطاقة ويتضح منها وصول المبنى في الحالة المحدثة إلى مستوى صفرية الطاقة (المصدر: [13]، والتوضيح للباحثين)

النتائج والتوصيات

النتائج

بناء على التجربة العملية والدراسات التحليلية التي تمت لدراسة إمكانية تحقيق صفرية الطاقة لأحد المباني النموذجية لمدرسة بمنطقة جازان بمناخها الحار لدراسة القدرة على تحقيق الوصول لمبنى مدرسي صفري الطاقة، وأمكن استخلاص التالي::

- تمثل المباني صفرية الطاقة أحد الإتجاهات العالمية التي لا تستهدف فقط الحفاظ على الطاقة، ولكن أيضاً لإنتاجها وتخزينها وفي حالات أخرى استثمارها بالتصدير إلى الشبكة العامة. ومن هذا المنطلق يعود تحقيق المدارس صفرية الطاقة بالفائدة على جوانب كثيرة ترتبط بالبيئة والاقتصاد والمجتمع ويعمل على تحقيق بيئة صحية ومريحة.
- من واقع ما تم التوصل إليه في هذه الدراسة وتحقيق مدرسة صفرية الطاقة بتطبيق عدد من الإستراتيجيات السلبية والنشطة، يمكن اعتبار هذه الدراسة مبادرة لتحقيق نماذج لمدارس صفرية الطاقة في المملكة، وتزداد أهمية الدراسة مع وجود أكثر من 700 مدرسة في منطقة جازان، ومع توجه وزارة التعليم بالتوسع في إنشاء المدارس المستدامة، واعتبارها جزء من رؤية السعودية الجديدة التي تهدف لتقليل استهلاك الطاقة والبحث عن واستثمار المصادر الطبيعية البديله لها.
- من أهم الإستراتيجيات التي تم استخلاصها لتحقيق صفرية الطاقة للحالة الدراسية ما يلي:
  - الإستراتيجيات السلبية: وتهدف إلى تقليل الطلب على الطاقة من خلال استثمار الطاقات والمواد الطبيعية وفق المتاح لموقع المبنى ومحيطه، وحسن توجيه كتل المبني لتحقيق أعلى كفاءة في أداء الطاقة، وبتحقيق كفاءة أداء الطاقة لمواد وفتحات الغلاف الخارجي، وإعادة استخدام ما يمكن من المياه بالموقع. حيث أن الحالة الدراسية مبنى قائم بالفعل فقد تم الإعتماد على استراتيجيات لتحسين أداء الطاقة للغلاف الخارجي وتشمل عزل وتظليل السقف والجدران والنوافذ، واستخدام الألوان الفاتحة والعاكسة واستثمار النوافذ الخارجية في الإضاءة والتهوية الطبيعية للتحكم في كمية استهلاك الطاقة وتقليل الطلب عليها. إضافة إلى زيادة فرص تحقيق الراحة للفراغات الداخلية وتحقيق جودة الهواء بها.
  - الإستراتيجيات النشطة: وتهدف إلى ترشيد استخدام الطاقة المطلوبة لكافة المعدات والأجهزة والتركيبات التي تستخدم لتحقيق الراحة لمستخدمي المبنى. حيث أن الحالة الدراسية لمبنى قائم فسيتم الإعتماد على مراجعة كفاءة أداء الطاقة لأجهزة التكييف وسخانات المياه ووحدات الإضاءة للفراغات الداخلية، والتأكد من مناسبة الأحمال الخاصة بها ومن إمكانياتها في مجال توفير الطاقة المستهلكة أو أداء وظيفتها بأعلى أداء للطاقة.
  - توظيف الطاقة المتجددة، ووفقاً لطبيعة وسياقات الموقع المحيط بالمشروع، والميزانية المحددة للمشروع، للتوفيق بين الاستراتيجيات السلبية والنشطة إضافة إلى تأثيرها الإيجابي على البيئة. وهذه الإستراتيجية لم يتم تطبيقها نظراً لوصول معيار كثافة استخدام الطاقة بعد تطبيق الإستراتيجيات السلبية والنشطة إلى مستوى المباني صفرية الطاقة.

- أمكن استخلاص عدد من الإستراتيجيات الإضافية خلال المراجعات الأدبية ومراجعة التجارب العالمية المتميزة للمدارس صفرية الطاقة وشملت التالي:
  - مراعاة ظروف وسياقات الموقع وتوجيه كتل المباني لاستثمار الطاقات الطبيعية في تحسين كفاءة أداء الطاقة للمبنى وتحسين جودة الهواء داخله.
  - استخدام مستشعرات الضوء في الفصول؛ بحيث تعمل الإضاءة الصناعية بالتكامل مع الإضاءة الطبيعية وبحيث تظل مستويات الإضاءة ثابتة طوال الوقت، ومستشعرات الحركة في الفراغات والممرات الداخلية لتعمل نظم التكييف والإضاءة الصناعية فيها فقط عند وجود حركة بالفراغات.
  - استخدام الطاقات الطبيعية في توليد الطاقة وتوفيرها: واتضح أن استثمار الطاقة الكامنة بالأرض Geothermal Energy أدى إلى تقليل استهلاك للطاقة اللازمة للتكييف بنسبة ٣٠ % مقارنة بالأنظمة الأخرى، ويمكن من خلال توظيف الخلايا الشمسية في الواجهات وعلى الأسطح توليد الطاقة اللازمة للمبنى وفي حالات أكثر من الطاقة اللازمة للمبنى ويتم توجيهها إلى الشبكة العامة بمثابل مالي أو نقاط يمكن استخدامها لاحقاً، كما اتضح أنه على الرغم من أن ضعف انتاجية طاقة توربينات الرياح في الحالات الدراسية للمدار، فقد تم استثمارها للأغراض التعليمية، واعتبارها رمزا لجهود المدرسة في الإستدامة واستخدام الطاقات الطبيعية.

التوصيات

- وزارة التعليم: تكوين لجنة مركزية للاستدامة والمباني الخضراء والمباني صفرية الطاقة على مستوى وزارة التعليم تهتم بشؤون تطوير مباني المدارس بمناطق المملكة المختلفة لتحسين أداء الطاقة والوصول إلى صفرية الطاقة، وتنفيذ وتطبيق نظم قياس أداء الطاقة في المدارس وتحليل النتائج ومراجعة وتصحيح مواطن الخلل في استهلاك الطاقة، واعتبار استراتيجيات تحقيق صفرية الطاقة عند إعادة تطوير المدارس.
- وزارة التعليم: الإستفادة من استراتيجيات تحقيق الطاقة الصفرية في تحديث التصاميم والمواصفات النموذجية للمدارس والتي يتم تكرارها في مناطق بالمملكة، مع اعتبار التأكد من كفاءة أداء الطاقة للأجهزة المستخدمة وإلغاء بند سخانات المياه في المناطق التي لاتحتاج إليها، وتحديث هذه الإستراتيجيات وفقاً للتطورات والإتجاهات الحديثة في مجالات ترشيد استهلاك الطاقة والتجارب العالمية الناجحة للمدارس المنفذة في مناطق مماثلة مناخياً لمناطق المملكة المختلفة.
- وزارة التعليم والجهات الإعلامية: نشر ثقافة ترشيد استهلاك الطاقة والمباني المستدامة والمباني الخضراء والمباني صفرية الطاقة: لايتوقف ذلك على الجهات الإعلامية فقط ولكن أيضاً مسؤولي تشغيل جميع المباني العامة بنشر بيانات استهلاك الطاقة لمكونات المبنى في المداخل والممرات العامة من خلال شاشات تفاعلية مرتبطة مباشرة بنظام إدارة المبنى، وتوضيح دور المستخدم في تحقيق ذلك.
- الباحثين في مجال أداء الطاقة: التوسع في محاور الأبحاث المستقبلية في مجالات تصميم تنفيذ المدارس صفرية الطاقة.

تضارب المنفعة

المؤلفون ليس لديهم أي تضارب في المنفعة فيما يتعلق بمحتوى هذه المقالة.

المراجع

[1] United_Nations ،"2022 Global Status Report for Buildings and Construction،" United Nations.2022 ،

[2] S. Zakaria ،"The digital revolution and its role in the development of smart home interior design technology applications "،Architecture, arts and humanities .2020 ،

[3] H. E.-A. H. E.-D. a. A. M. Akram Abdel-Latif ،"Nanotechnology applications to achieve efficient energy management in buildings "،Fayoum University Journal of Engineering .2018 ،

[4] S. AlSaffar ،"Using smart technologies in sustainable buildings "،ARAJ .2019 ،

[5] N. S. ,. F. R. Shady Attia, "Developing two benchmark models for nearly zero energy schools," sciencedirect.com, 2020.

[6] Á. B.-P. M. M.-H. Maite Gil-Baez, "Natural ventilation systems in 21st-century for near zero energy school buildings," sciencedirect, 2017.

[7] Energ_Star, "What is Energy Use Intensity (EUI)," 2018. [Online]. Available: https://www.energystar.gov/buildings/benchmark/understand_metrics/what_eui.

[8] I. Fekry و A. Attia ،"Green Building Strategies to achieve zero energy buildings "،ERJM .2018 ،

[9] s. a. Amani al-seed, "Optimal Design of Net-Zero Energy School Buildings in Oman," Dissertation/ Thesis mandumah, 2022.

[10] DOE/EE-1247, "A Common Definition for Zero Energy Buildings," U.S. Department of Energy, 2015.

[11] S. K. D. H. S. A.-S. a. H. A.-M. K. Jamila Ibrahim ،"The Concept of zero energy as one of the directions for rationalizing energy consumption in the building) "،Electronic Interdisciplinary Miscellaneous Journal) EIMJ .2020 ، المجلد 23، رقم 4، 2020.

[12] BigRentz ،"How to Design a Net Zero Energy Building،" 5 July 2021. [.[متصلAvailable: https://www.bigrentz.com/blog/net-zero-energy-building.

[13] W. Maclay ،"Maclay Architects،" August 2022. [.[متصلAvailable: https://www.maclayarchitects.com/net-zero-net-postive-energy.php#whynznpe.

[14] A. Abd_ElSameea ،"Schools in Arab cities as an introduction to sustainable development (the zero-energy teacher as a model) "،Al Jouf University .2020 ،

[15] A. Abd_ElMaksoud ،"The impact of solar energy on interior design and zero-energy architecture "، Journal of Architecture, Arts and Humanities .2020 ،

[16] N. A. M. M. PA Torcellini, "Plowing through the Cost Barrier: Zero Energy K-12 Schools for Less," osti.gov, 2020.

[17] A. P. Schools, "VA. Discovery Elementary School," 2017.

[18] V. Architects, "Discovery Elementary School," 2017. [Online].

[19] "Lady Bird Johnson Middle School," 2022. [Online]. Available: https://dfwsolartour.org/locations/ladybirdjohnsonmiddleschool/.

[20] M. E.Mann, "greenhouse gas atmospheric science," 2023. [Online].

[21] Finance&Business ،"Five ways to improve air quality in schools،" 12 September 2019. [.[متصل Available: https://fbmjo.com/10-%D8%B7%D8%B1%D9%82-%D9%84%D8%AA%D8%AD%D8%B3%D9%8A%D9%86-%D8%AC%D9%88%D8%AF%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%87%D9%88%D8%A7%D8%A1-%D9%81%D9%8A-%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%AF%D8%A7%D8%B1%D8%B3/.

[22] L. C. E. ,. E. E. Niki Gaitani, "Paving the Way to Nearly Zero Energy Schools in Mediterranean Region- ZEMedS Project," sciencedirect, 2015.

[23] S. W. D. Brian Tedeschi, "Elementary School Renovation to Achieve Net Zero Energy," purdue, 2021.

[24] E. K. W. C. L. W. M. L. Siwei Lou, "Towards Zero Energy School Building Designs in Hong Kong," ScienceDirect, 2016.

[25] a. M. A. Farajallah Alrashed, "Trends in residential energy consumption in Saudi," 2014. [Online].