Engineering Research Journal
journal homepage: https://erj.journals.ekb.eg/

منهج مقترح لتوظيف تقنيات العمارة الذكية في تعزيز استدامة المباني التعليمية

A Proposed Approach for Employing Smart Architecture techniques to Enhance the Sustainability of Educational Buildings

آية محمد صبري عباس [*,1]، شريف عبد الرؤوف البناني[2]، هالة أديب فهمي[3]

1. مدرس مساعد بالمعهد التكنولوجي العالي بالعاشر من رمضان
2. أستاذ العمارة والبيئة بقسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة بالمطرية – جامعة حلوان
3. أستاذ مساعد بقسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة بالمطرية - جامعة حلوان

[*]Corresponding author E-mail: aya.mohammed@hti.edu.eg

ملخص البحث باللغة العربية:

تتجه الأبحاث المعمارية بشكل متزايد نحو التركيز على تطوير المباني الذكية والمستدامة، وذلك من خلال توظيف تقنيات الاتصال والمعلومات المتقدمة لتلبية متطلبات البناء المستقبلية. ومع ظهور البرمجيات ذاتية التشغيل، ظهرت اتجاهات جديدة في تصميم المساحات، لا سيما في البيئات التعليمية، حيث تُمكّن التقنيات الذكية هذه البيئات من مواكبة التطورات السريعة في مجالي العلوم والتعليم. تعمل هذه التقنيات على تهيئة بيئات تعليمية مرنة وتفاعلية، مما يعزز من قدرة الطلاب على التفاعل بشكل أفضل مع محيطهم.

على الرغم من فوائد التقنيات الذكية، فإن مفهوم الاستدامة، الذي ينادي بالعودة إلى الطبيعة وتقليل الاعتماد على التكنولوجيا لترشيد استهلاك الطاقة، غالبًا ما يتم التغاضي عنه. وقد أدى هذا التجاهل إلى الاعتماد المفرط على التحكم التكنولوجي دون مراعاة كافية للتأثيرات البيئية السلبية المحتملة، مما أدى في نهاية المطاف إلى عدم تحقيق متطلبات الراحة في المساحات المعمارية.

يهدف هذا البحث إلى تعزيز استدامة المباني التعليمية من خلال دراسة متطلبات تصميم المباني الذكية وتطبيق التقنيات الحديثة في المباني التعليمية. ويركز البحث على دمج تقنيات ذكية قابلة للبرمجة في أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء من أجل تحقيق بيئة داخلية ديناميكية في التحكم بدرجات الحرارة والتهوية والإضاءة وذلك من خلال منهج مقترح لتوظيف تقنيات العمارة الذكية وتحقيق التوازن بين استدامة المبني وكفاءة استخدام الطاقة وراحة مستخدمي المبني، ومن ثم تطبيقها على مبني جامعي قائم بالقاهرة، مما يحقق تقليل استهلاك الطاقة ودعم استدامة المباني التعليمية.

الكلمات المفتاحية: المباني التعليمية - العمارة الذكية - المباني المستدامة

أ- مقدمة البحث:

ترافق العمارة الإنسان في مختلف مراحل حياته، وتهدف باستمرار إلى توفير بيئات ومساحات مريحة. وقد تحقق هذا الهدف بشكل متزايد بفضل التقدم التكنولوجي الذي أتاح دمج أنظمة ذكية وفعّالة في التصميم المعماري مع الأنظمة التكنولوجية في الفراغات المعمارية. أصبحت المباني الذكية نقطة تحول في مجالات العمارة بالتوازي مع التقدم في علوم البناء والهندسة وتكنولوجيا المعلومات. إن تطوير الفراغات باستخدام أحدث التقنيات الذكية يرفع من كفاءة الأداء. ومع تحول العالم إلى اقتصاد قائم على الخدمات. تُعد المباني التعليمية بيئة معقدة وديناميكية تخدم مجموعة متنوعة من الاحتياجات وآلاف الأشخاص، والهدف من تصميم فراغ تعليمي ذكي هو توفير مساحة تعليمية فعالة من خلال استخدام الخدمات التي توفرها تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، مما يحسن جودة البيئة الداخلية ويوفر بيئة مريحة وآمنة للطلاب والعاملين بها ويقلل استهلاك الطاقة.

ب- المشكلة البحثية:

تستهلك المباني التعليمية في مصر كميات كبيرة من الطاقة غير المتجددة وتعد المباني التعليمية من أعلى المباني استهلاكًا للطاقة.، مع قلة مراعاة الظروف المناخية والبيئية عند التصميم. على مدى العقود الماضية، على الرغم من التقدم التكنولوجي المستمر، فقد أثبتت الأنظمة الذكية كفاءتها على المدى الطويل من حيث تكاليف دورة الحياة وقدرتها على تقليل استهلاك الطاقة. ومع تفاقم أزمة الطاقة العالمية، أصبح من الضروري تطبيق هذه التقنيات في المباني.

DOI: 10.21608/erj.2025.340280.1146
Received 30 November 2024; Received in revised form 19 January 2025; Accepted 04 February 2025
Available online 01 March 2025

تتحدد مشكلة البحث في استهلاك المباني التعليمية كميات كبيرة من الطاقة غير المتجددة، وغالبًا ما يتم إهمال استخدام التقنيات الذكية التي من شأنها تدعيم الجوانب التصميمية داخل المباني التعليمية رغم إمكانياتها في الحفاظ على الطاقة داخل الفراغ ، وعدم مراعاة ما توصل إليه العلم والتكنولوجيا من مواد وأنظمة ذكية للوصول للراحة الحرارية وتقليل استهلاك الطاقة بالمبني التعليمي.

ج- الأهداف البحثية:

يهدف البحث إلى الوصول إلى منهجية لتفعيل دورتقنيات العمارة الذكية كمحرك أساسي في الاستدامة داخل المباني التعليمية وآلية تطبيقها لرفع كفاءة الأداء للفراغات الداخلية مما يقلل من معدلات استهلاك الطاقة داخل المبني. وللوصول إلى هدف البحث تم تحديد الأهداف الفرعية التالية:

1. زيادة وعي واقتناع المعماري بالأهمية القصوى لإدخال المواد الذكية المتوافقة بيئياً مع خفض التأثير البيئي للفراغات الداخلية للمباني التعليمية بالإضافة إلي خفض استخدام المسطحات الزجاجية مع المناخ الحار الجاف في مصر لتحقيق أعلي درجات التوافق البيئي والاستدامة البيئية للمبني.
2. تطبيق مبادئ العمارة الذكية للوصول إلى ترشيد استهلاك الطاقة في الفراغات المعمارية، عن طريق اختيار أنسب الطرق الملائمة للمحددات والمعطيات البيئية والإمكانيات المتاحة للمبني.
3. تقييم تأثير تطبيق تقنيات العمارة الذكية على المستوى المحلي، مع التركيز على مساهمتها في تحقيق الراحة الحرارية والتكيف مع المناخ في المباني التعليمية، مما يسهم بدوره في تقليل استهلاك الطاقة غير المتجددة.
4. . الاستفادة من التكنولوجيات الحديثة للإضاءة الصناعية ونظم التحكم في الإضاءة الطبيعية بالمباني لتحقيق اقتصاديات استهلاك الطاقة واستدامة المبني.

د- فرضية البحث:

يؤثر الغلاف الخارجي للمبني التعليمي والعلاقات بين الفراغات الداخلية على كمية الطاقة الشمسية المكتسبة والحمل الحراري على المبني، وبالتالي يؤثر على معدل استهلاك الطاقة، ومن هنا " **يفترض البحث أن تطبيق تقنيات العمارة الذكية في المباني التعليمية يحقق الاستدامة المتكاملة للمبنى، ويتيح الاستخدام الأمثل للفراغات الداخلية، مما يحسن الأداء الحراري للمبنى ويقلل من استهلاك الطاقة**".

ويتحقق ذلك من خلال تصميم الغلاف الخارجي للمبني والعناصر الداخلية للفراغات التعليمية بأحدث التقنيات الحديثة والمواد التكنولوجية الذكية لتحقيق الاستدامة في المبني التعليمي مما يؤثر على معدل استهلاك الطاقة.

ه- منهجية البحث.

اعتمدت منهجية البحث على أنظمة الاستقراء والتحليل والتطبيق بهدف تطوير منهجية تصميمية للمباني التعليمية تحقق الاستدامة الكاملة. وذلك من خلال تطبيق التقنيات والمواد الذكية التكنولوجية للوصول إلى فراغات تعليمية مستدامة.

تطبيق المنهجية المقترحة علي مبني تعليمي قائم لاختبار ما توصلت اليه الدراسة النظرية على المشروعات الجديدة والقائمة ويتم فيها دراسة الفراغات التعليمية للمبني وتطبيق تجربة لمحاكاة الفراغات الداخلية الذكية في المباني التعليمية من خلال البرامج "Design Builder " طبقاً للمنهجية المقترحة للبحث.

1- منظومة التصميم المستدام للمبني

1/1 تعريف المبني المستدام

تعرف المباني المستدامة **بأنها تعتمد على الكفاءة في التعامل مع الطاقة والمواد والمياه، وتتوافق بكفاءة مع كل العناصر الطبيعية للبيئة المحيطة، فهي تصمم وتنفذ وتشغل ويتم صيانتها والتخلص منها بأساليب تحترم البيئة**. مع تحقيق الكفاءة الوظيفية والبيئية من خلال توفير الراحة للمستخدمين وتقليل تأثيرات الإنشاء والاستعمال على البيئة.

تهدف المباني المستدامة إلى تقليل الآثار السلبية الناتجة على البيئة الطبيعية، والحد من استهلاك الموارد الغير قابلة للتجديد، والحد من استخدام المواد الضارة بالبيئة وتقليل استهلاك الطاقة. تتمثل الأهداف الرئيسية للمباني المستدامة فيما يلي[1]:

- تحقيق التصميم المتكامل وتناغم العلاقات الوظيفية بين عناصر المشروع
- حسن اختيار الموقع والاستفادة من امكانياته
- كفاءة استغلال الموارد والطاقة، وبأقل تأثير بيئي.
- منع التلوث وبما يحتوي من جودة الهواء داخل المبني والتخلص من النفايات بطرق سليمة.

2/1 معايير استدامة المبني:

1/2/1 اعتبارات الموقع

يجب أن يناســـب المبني مع الأرض بحيث لا يعمل على إحداث تغييرات في الموقع إذا تم إزالته ويبقى الموقع كما كان قبل أن يتم البناء عليه، ويتضمن هذا المعيار علاقة المبنى بالبيئة المحيطة، والتأثير على الأنظمة الأيكولوجية طبقاً للجدول التالي (1-1):

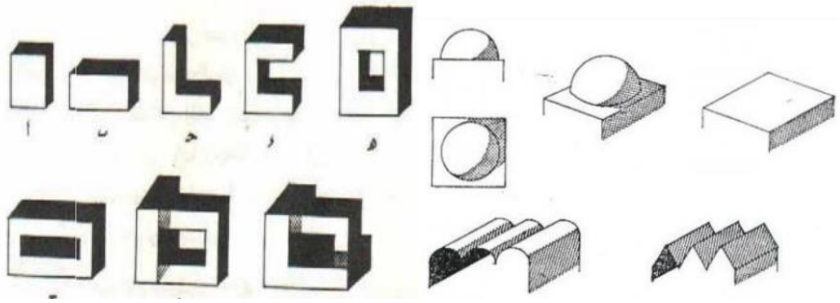
علاقة المبنى بالبيئة المحيطة	التأثير على أنظمة الايكولوجية
دراسة توجيه المبنى، وذلك للاستخدام الامثل للشمس وطاقة الرياح. مراعاة تأثير البيئة على تشكيل وكتلة المبنى.	توفير البنية التحتية وإمكانية تطويرها. تقليل الآثار البيئية الناتجة عن المباني.

[1] إبراهيم، د. أحمد فتحي (2012). "دور النظم ومواد البناء في تحقيق الاعتبارات الاقتصادية والبيئية للاستدامة في المسكن الميسر"، ورقة بحثية لمؤتمر التقنية والعمران، صـــ76.

استخدام المواد المحلية المتوفرة. معالجة الواجهات الشمالية باستخدام وسائل التظليل لتقليل الأحمال الحرارية	تقليل تأثير عمليات البناء على الطبيعة

2/2/1 تصميم وتوجيه المبني

يؤثر شكل المسقط الأفقي للمبنى بكمية الأشعة الشمسية الساقطة عليه في اتجاهاتها المختلفة نتيجة التوجيه الجغرافي له, وبالتالي يؤثرعلى كمية الظلال الساقطة علي المباني في المناطق المناخية المختلفة. يلاحظ في الشكل (1-1) أن المربع أقل نصيب من الظل سواء في الواجهة أو الأسقف، وتزداد كمية الظل كلما أصبح شكل المبني أكثر تعقيداً، والتشكيل الأكثر ظلالاً المبني ذو الفناء الداخلي، يؤدي استخدام الأسطح المنحنية والمنكسرة إلى زيادة كمية الظل الذاتي والساقط وبالتالي تقليل الجزء المعرض لأشعة الشمس من سطح المبنى.



شكل (1-1) يوضح تأثير شكل المبني على كمية الظلال الساقطة

Source: Osman Attman, green architecture technologies and material, 2007, p55 – 56

3/2/1 إدارة المواد والموارد المستدامة

تتحقق إدارة المواد المستدامة والحفاظ عليها عن طريق[2]:

- الحد من استنزاف المواد ذات المصادر المحدودة، واستخدام مواد أخرى مصنعة أو بديلة.
- تقليل مخلفات البناء والاعتماد على تفكيك المبنى، وليس هدم أثناء مرحلة الإزالة.
- الاعتماد على المواد المحلية وتقليل الطاقة المستهلكة في النقل والتركيب.
- إعادة استخدام وتوظيف الهيكل الإنشائي.
- تصميم مباني قابلة للفك والتركيب للاستفادة من المواد وإعادة تدويرها.
- تقليل استخدام المواد ذات الأثر السلبي على البيئة.

4/2/1 الابتكار في التصميم

يتضمن طرح أساليب جديدة للتصميم والبناء مع مراعاة الاعتبارات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية عند تصميم المبني، فيتم تصميم المبني وتنفيذه وتشغيله بأساليب وتقنيات متطورة . التصميم الجيد يحقق كفاءة بين وظائف المبنى والتشكيل والنظم الميكانيكية، ومواد البناء التكنولوجية، ولذلك فإن تطبيق هذا المفهوم يجب أن يمر بعدة مراحل تتلخص في الآتي[3]:

- الاعتماد على الاستدامة كأسلوب حياة في التصميم.
- الاتجاه إلى حفظ الموارد الطبيعية.
- توعية شركاء المبنى لفهم وتطبيق التصميم المستدام لحفاظ علي البيئة.

5/2/1 كفاءة إدارة المياه

ويمكن تحقيق أفضل كفاءة للمياه بتطبيق مبادئ الاستدامة من خلال ترشيد الاستهلاك وإعادة الاستخدام، ومنها:

- الاعتماد على المياه غير صالحة للشرب في ري عناصر التنسيق الموقع.
- استخدام التقنيات الحديثة في الأجهزة الصحية المستخدمة في المباني.
- تخزين مياه الأمطار ومعالجتها وإعادة استخدامها.
- معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية.

6/2/1 كفاءة استخدام الطاقة

ويشمل قطاع البناء استهلاك الطاقة في التشييد والتشغيل، فقد أصبح رفع كفاءة وترشيد استهلاك الطاقة أمرا هاماً لتحسين الأثر البيئي وذلك لخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، وذلك عن طريق[4]:

- مراعاة التوجيه والشكل، وأماكن الفتحات.
- التصميم المناسب لمراعاة استهلاك الطاقة في عملية التدفئة والتبريد.
- استخدام التقنيات الحديثة للعزل وتكسيه المباني.
- الاعتماد على الطاقة المتجددة واستخدام الخلايا الشمسية وتوربينات الرياح في توليد الطاقة.

---

[2] ريم عكاشة محمد المدارس (2016)," الخضراء لدعم التعليم البيئي - إمكانية استخدام المبني كأداه تعليميه"، رسالة قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة الزقازيق، مصر.

[3] محمد أسامة محمد رسمي (2011), "دراسة لتحويل المدارس إلي مدارس مستدامة، رسالة ماجستير، كلية هندسة، جامعة القاهرة، صـــ48.

[4] عبد الحميد, نادية عبد العزيز(2018) " الهيكل الإنشائي كأداة لتعزيز الأداء المستدام بالمباني العالية" رسالة ماجستير، جامعة حلوان ، صـــ 16-17

- الصيانة الدائمة وتطبيق متطلبات الجودة القياسية لضمان كفاءة استخدام الطاقة.

7/2/1 إدارة المخلفات

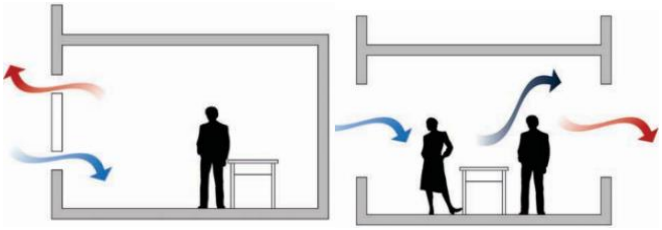
- تقليل المخلفات في مراحل البناء المختلفة.
- تنفيذ برامج فرز النفايات وإعادة التدوير
- إعادة استخدام مخلفات البناء والمخلفات الصناعية في البناء.
- التخلص من المخلفات الصلبة عن طريق الدفن أو الحرق

3/1 الاعتماد على التهوية الطبيعية في المبني

تعتمد التهوية الطبيعية على توجيه المبني وتتم عن طريق النوافذ وتخفض نسبة استهلاك الطاقة للتبريد ميكانيكاً، بالإضافة إلي تحسين جودة البيئة الداخلية وتحقيق الراحة الحرارية، حيث تعمل علي زيادة جودة الهواء و خفض تكاليف التشغيل والصيانة. ومن أنواعها:

1/3/1 التهوية من جانب واحد أو من جانبين Single Sided Ventilation or Cross Ventilation

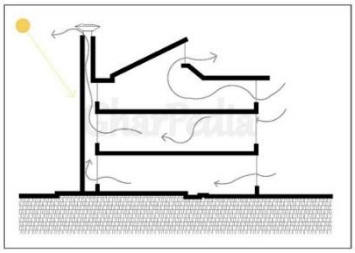
تستخدم التهوية من جانب واحد فتحة واحدة في الجدار أو من جانبين على فتحتين متقابلتين للاستفادة من فرق الضغط الناتج عن هبوب الرياح (إذ ارتفع الضغط على الجانب المواجه للرياح وينخفض على الجانب الآخر يدفع الهواء إلي الدخول والخروج عبر الفراغ)، هذا الفرق في الضغط يجعل التهوية من جانبين أكثر فاعلية في تجديد الهواء مقارنةً بالتهوية من جانب واحد[5] كما في شكل (1-2).



شكل (1-2) يوضح التهوية من جانب واحد أو من جانبين
Source: www.archdaily.com/ (Accessed 15-6-2024)

2/3/1 تهوية بالسحب Stack effect

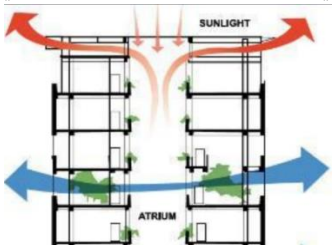
هي ظاهرة طبيعية تعتمد على اختلاف درجات الحرارة بين داخل وخارج المبنى، مما يؤدي إلى حركة الهواء بشكل طبيعي كما في شكل (1-3). ملقف الهواء هو تصميم معماري تقليدي يعزز هذه الظاهرة، حيث يسحب الهواء البارد من الأسفل ويدفعه إلى الأعلى، مما يبرد المبنى ويجدد الهواء داخله. هذه الطريقة صديقة للبيئة وموفرة للطاقة، وتعتبر بديلاً فعالاً لأنظمة التكييف التقليدية[6].



شكل (1-3) يوضح التهوية بالسحب Stack effect
Source: www.archdaily.com/ (Accessed 15-6-2024)

3/3/1 التهوية عن طريق الأفنية Atrium Ventilation

هو عبارة عن تصميم فناء منتصف المبني يساعد في خلق تهوية طبيعية لفراغات المبني بالإضافة إلى التخلص من الهواء الساخن الملوث[7].



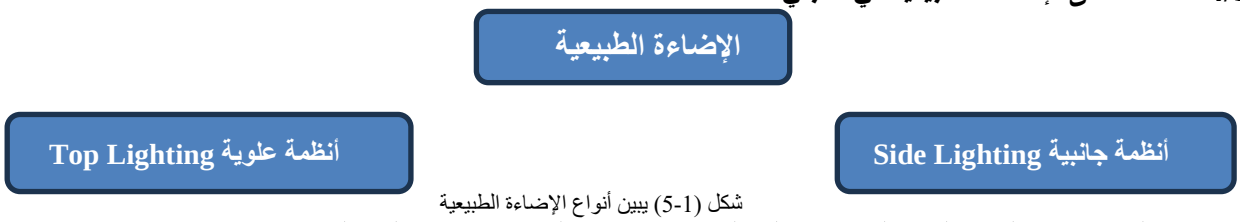
شكل (1-4) يوضح التهوية بالأفنية Atrium Ventilation
Source: http://www.archdaily.com/ (Accessed 15-6-2024)

5 Birgit Krausse, Malcolm Cook, Kevin Lomas,(2018), " Performance Monitoring of a Naturally Ventilated City Centre Library," PLEA20016-the 23rd Conference on passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland,p 23

6 Awadallah, Mohamed ali, (2016), "Green Building Guideline of Jordan", paper, Joran International Energy Conference-Aman, p 33.

7 Elattar, Sherif Mohamaed Sabry, (2019), "Towards advanced building technology role through Appling competitive building materials and systems", Faculty of engineering, Fayoum university conference on technology & Sustainability in the Built Environment, p 23

4/1 الاعتماد على الإضاءة الطبيعية في المبني

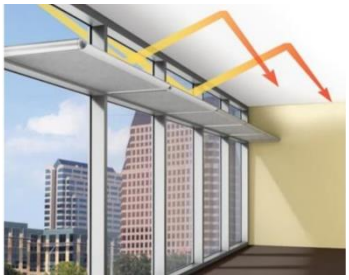


شكل (1-5) يبين أنواع الإضاءة الطبيعية

الإضاءة الطبيعية توفر الراحة النفسية لمستخدمي الفراغ، حيث إنها تربط المستخدم بصريا بالبيئة الخارجية، تم تصنيفها إلى نوعين [8]:

1/4/1 أنظمة جانبية Side Lighting: وهي أنظمة الإضاءة في واجهات المبني مثل:

أ- نظام رفوف الإضاءة Light shelves



هو تصميم معماري ذكي يعمل علي استغلال الضوء الطبيعي بشكل فعال، يتكون هذا النظام من رفوف عاكسة توضع بين عتبة النافذة وسقف الغرفة ، وهذه الرفوف تعمل علي تجميع أشعة الشمس التي تدخل من النافذة وإعادة توجيهها نحو سقف وجدران الفراغ مما يعمل علي توزيع الإضاءة داخل الفراغ كما في الشكل التالي (1-6).

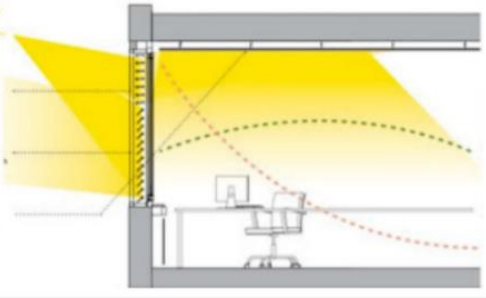
شكل (1-6) يبين طريقة عمل نظام Light shelves لتوفير الإضاءة الطبيعية
Source: www.archdiwanya.com/Daylight-Systems, html (Accessed 20/8/2024)

ب- نظام الانيدوليك Anidolic systems:

نظام الأنيدوليك يعتمد على تجميع ضوء النهار بواسطة أسطح عاكسة مصممة خصيصًا (تشبه المرايا القطعية المكافئة) لتوجيه الضوء إلى نقطة محورية داخل المبنى، ثم إعادة توزيعه بشكل متساوٍ وفعال. يمتاز هذا النظام بقدرته على العمل بكفاءة حتى في الأيام الغائمة، حيث يجمع الضوء المنتشر ويعزز الإضاءة الطبيعية. يستخدم الأنيدوليك في توفير إضاءة عالية الجودة مما يساهم في توفير الطاقة وتحسين البيئة الداخلية [9].

ج- نظام الكاسرات الشمسية Louver Systems:

هي عبارة عن شرائح أفقية أو رأسية يتم تركيبها أمام النوافذ أو الواجهات للتحكم في كمية الضوء الداخل للفراغ حيث تعمل على توجيه الضوء الطبيعي لعمق الفراغ، كما يساهم في توفير تظليل كافٍ خلال فصل الصيف، والسماح بدخول أشعة الشمس الدافئة في الشتاء[10]كما في الشكل التالي (1-7).



شكل (1-7) يوضح طريقة عمل نظام Louver لتوفير الإضاءة الطبيعية داخل فراغات المبني
Source: www.archdiwanya.com/Daylight-Systems, html (Accessed 20/8/2024)

2/4/1 أنظمة علوية Top Lighting :

هي أنظمة الإضاءة في أسقف المباني، وتشمل العديد من الأنظمة التي تعمل على توصيل الضوء لأكبر مساحة ممكنة من الفراغات مثل:

أ- نظام الإضاءة السماوية Skylights :

هي عبارة عن نافذة مصممة في سقف المبنى بأشكال وأحجام مختلفة، تهدف إلى إدخال الضوء الطبيعي إلى الداخل. تُستخدم هذه الفتحات كحل مثالي لتعزيز الإضاءة في المساحات التي تفتقر إلى النوافذ الجانبية الكافية ولا تسمح بدخول كمية مناسبة من الضوء [11]، كما في الشكل التالي (1-8).

8 مني عوض الوزير، "دور الواجهات في تحقيق الراحة الحرارية داخل المباني الإدارية في مصر"، رسالة دكتوراة، قسم عمارة، كلية الفنون الجميلة، جامعة الإسكندرية، 2011، صـ48

9 العدوي. مني السعيد، (2019)،"دور الأنظمة التكنولوجية السالبة في دعم تطبيق العمارة الخضراء"، ورقة بحثية منشورة، مجلة كليه الهندسة بشبرا.

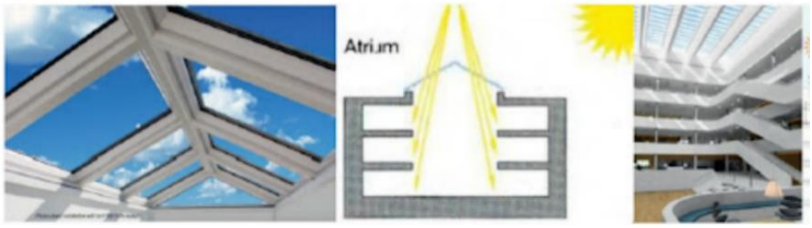
10 www.archdiwanya.com/Daylight-Systems,html (Accessed 20/8/2024)

11 Boubekri. Mohamed, 2014, “Daylight Design: Planning Strategies and Best Practice Solution”, B

شكل (1-8) يوضح نظام Skylights لتوفير الإضاءة النهارية
Source: www.archdiwanya.com/Daylight-Systems, html (Accessed 20/8/2023)

ب- نظام الأتريوم Atrium:

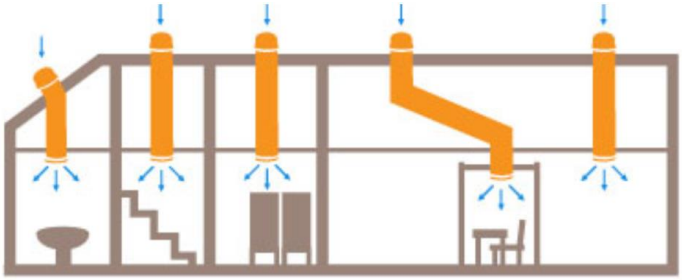
هو فتحة سقف كبيرة بقلب المبني، وتطبق في المباني التجارية والإدارية، بحيث تكون المنطقة الرئيسية للمبني بعيدة عن الفتحات الجانبية، وهو أكثر فاعلية من استخدام المناور الصغيرة[12] كما بشكل (1-9).



شكل (1-9) يوضح نظام Atrium لتوفير الإضاءة النهارية
Source: www.archdiwanya.com/Daylight-Systems, html (Accessed 20/8/2024)

ج- نظام الأنابيب الخفيفة Light piping system:

هو نظام مبتكر لإدخال الضـــوء العلوي الطبيعي في الطوابق الســـفلية من مبني متعدد الطوابق، وهو عبارة عن أنبوب الإضـــاءة التقليدي والجامع ونظام النقل، وتأتي أنابيب الضوء بأحجام وأشكال مختلفة تبعاً لكمية الضوء المراد توصيله للفراغ[13] كما في شكل التالي (1-10).



شكل (1-10) يوضح نظام Light Pipes وطريقة عمله لتوصيل الإضاءة الطبيعية بكفاءة عالية داخل الفراغ
Source: www.svetlovody.cz/en/sunlight/what-are-light-pipes/ (Accessed 20/8/2024)

2- منظومة التصميم الذكي للمبني

المباني الذكية هي عملية تصميم المباني بطريقة تتيح لها استخدام التكنولوجيا الحديثة لتحسين كفاءة البنية التحتية، وتوفير الراحة لمستخدمي الفراغ. تعتمد المباني الذكية علي مجموعة من التقنيات والأنظمة المتكاملة لتحسين الأداء والتفاعل مع المستخدمين والبيئة المحيطة، كما تعمل علي تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتوفير التحكم والإدارة الذكية وزيادة الأمان والسلامة.

1/2 تعريف المبنى الذكي

المبني الذكي هو المبني الذي تتكامل فيه أنظمة البيئة من استخدام للطاقة والتحكم في درجة الحرارة والإضاءة والصوت، و يعني القدرة علي برمجه المبني بطريقة إلكترونية بما يقابله من ظروف ومتغيرات بيئية، وذلك من خلال استخدام التقنيات التكنولوجية الحديثة[14].

الجدول التالي(2-1) يبين أهم سمات المبني الذكي التي من خلالها يمكن تحقيق قيم العمارة لذكية.

Automation الأتمتة	Virtuality الافتراضية	Sustainability الاستدامة
تطوير وتنقية البيئات المعمارية الفيزيائية في اتجاه دعم قدرتها على الاستجابة الذاتية لمتغيرات الداخلية والخارجية. وتلبية رغبات المستخدم. وتحسين الأداء، تقليل تكلفة التشغيل،	التوظيف الأمثل لتقنيات الاتصال المتطورة وشبكة المعلومات الدولية، وطريقة المعلومات فائق السرعة، ومعطيات الواقع الافتراضي، وذلك بهدف خلق بيئات فيزيائية قادرة على	إيجاد بيئة عمرانية قادرة على تحمل مسؤوليتها البيئية وتحقيق مبادئ مفاهيم الحفاظ والاستدامة، من خلال الاعتماد على مصادر الطاقة المستدامة الكامنة متجددة وغير ملوثة للبيئة، وذلك بهدف

12 محمد بن سعد ال حمود, (2018), "ترشيد استهلاك الطاقة: مبدأديني ومطلب وطني", قسم الهندسة المعمارية – جامعة الملك فهد للبترول والمعادن – بحث منشور صـ8

13 Fartadi-scurtu. Loana, (2015)," Daylight Planning:in Denmark's residential" PH.D. in architectural Technology and Construction Management, Lillebaelt academy of Professional Higer Education, Denmark.

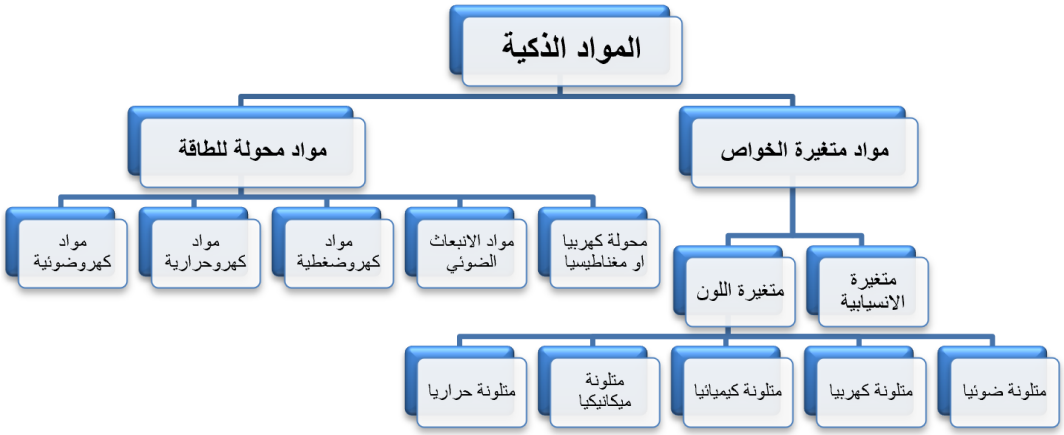
14 ماجدة بدر أحمد إبراهيم،2015، دراسة تحليلية لتقييم الأداء البيئي للمباني الذكية، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، صـ 23

تحقيق الراحة المستخدم، ورفع إنتاجية، وذلك من خلال تبني مفهوم الأتمتة كمنهج، والاعتماد على التجهيزات التقنية، وأجهزة الاتصال المتطورة كأداة لتحقيق هذا المفهوم.	استيعاب الخدمات، دعم أداء الأنشطة عن بعد والتحول نحو البدائل اللامادية، التكامل مع المجتمع الكوني لعصر المعلومات لتحل البيئات الافتراضية محل لزيارتها المادية التقليدية.	تحقيق الكفاءة البيئية وعدالة الاستهلاك بين الأجيال، والتوافق والتكامل مع المحيط، وتلبية الاحتياجات المحلية، والتفاعل مع المشكلات الكونية15.

ومن أهم الخصائص التي يتميز بها المبني الذكي:

- أن المبني يتعامل مع البيئة الخارجية من خلال أنظمة آليه تمكن المبني من الاستجابة للظروف والمتغيرات الداخلية والخارجية، حيث يقوم المبني بفتح وإغلاق واجهاته وفقاً للظروف المناخية ويتم تخزين المعلومات في الحاسب المركزي للمبني.
- يقرر المبني الطريقة الأكثر فاعلية لتوفير بيئة مناسبة ومريحة للمستخدمين من خلال أنظمة الأتمتة والإدارة ودعم القرار في المبني.
- أقل طاقة ممكنة لتحقيق أفضل أداء عملياً واقتصادياً باستخدام نظم تحكم متطورة.
- أن يستجيب المبني لاحتياجات المستخدمين من خلال أنظمة الاتصالات المتقدمة التي تحقق سرعة الاتصال مع العالم الخارجي باستخدام الحاسب الآلي والألياف البصرية وغيرها من وسائل الاتصالات السلكية واللاسلكية.

2/2 معايير تصميم المبني الذكي



شكل رقم (2-1) شكل تخطيطي يوضح انواع المواد الذكية
المصدر: الباحثة

1/2/2 استخدام مواد بناء ذكية

هي مواد تتفاعل مع متغيرات البيئة المحيطة لتعطي استجابات معينة عن طريق توزيع بعض المشغلات والمجسمات الإلكترونية في المواد، ولها القدرة على إنتاج تأثير مفيد استجابة للمحفزات المختلفة جعلت المواد الذكية جديرة بالاستخدام في التطبيقات المعمارية المختلفة.

أولاً: المواد الذكية متغيرة الخواص Smart materials are anisotropic

مواد ذكية متغيرة اللون وهي تتغير خصائصها الفيزيائية والبصرية نتيجة لتغيير مصدر الطاقة الخارجي في البيئة المحيطة وفي الحقيقة لا يتغير لونها ولكن يتغير خصائصها البصرية نتيجة المحفزات الخارجية مثل (درجة حرارة – كمية إضاءة – الضغط - الرطوبة)، في حالة تعرض المادة للمحفز الخارجي ينتج عنها تغير في اللون. يتم استخدامها في النوافذ كمانع للوهج والانعكاس.

1- مواد ذكية متغيرة التدفق والانسياب وهي مواد لزجة تغيير من خصائصها استجابة للمجال الكهربائي أو المغناطيسي، حيث يؤدي إلي تنظيم اتجاه البنية المكونة للمادة فينتج عنها تغيير في لزوجة السائل وعند إزالة المجال الكهربائي تعود المادة لحالتها الاصلية. تتميز هذه المواد بالقدرة علي التكييف والتفاعل مع التغيرات في البيئة بشكل ديناميكي مما يجعلها مفيدة في التحكم الذكية مثل أنظمة التبريد الذكية التي تتكيف مع درجة الحرارة المحيطة لتحقيق كفاءة أفضل أنظمة[16].

ثانياً: المواد الذكية المحولة للطاقة Energy-converting smart materials

تصنف هذه المواد علي حسب قدرتها علي استعادة الطاقة الداخلية وتحويلها إلي شكل آخر وهي مواد ثنائية الاتجاه، أي أن الطاقة الداخلة الخارجة يمكن تحويلها. من هذه المواد:

1- مواد متحولة مغناطيسياً Magnitostrictives: وهي مادة يحدث فيها تحول في الشكل عند تعرضها لمجال مغناطيسي.
2- مواد الانبعاث الضوئي Light-emitting materials: هي مواد ينبعث منها الضوء والتي تحول طاقة الإدخال إلي طاقة إشعاعية.
3- مواد كهروحرارية (Therma Electrical) هي مواد تستخدم جهد كهربائي لخلق وصلات ساخنة أو بادرة. تستخدم في الأجهزة الأوتوماتيكية.
4- مواد كهروضغطية (Piezo Material) وهي مواد تنتج تياراً كهربائياً عند تعرضها للضغط ينتج عنه تغيير في الشكل وإنتاج جهد كهربائي
5- مواد متحولة كهربياً Electrostrictives: وهي مواد تتغير شكلها استجابة لتعرضها لمجال كهربائي.

2/2/2 التصميم الذكي لواجهات المبني

[15] Sinpoli, J. (2019). Smart building systems for architects. Owners and builders, Oxford, Uk: Elsevier press An imprint of Elsevier.p33.
[16] El Attar, S. (2013). Smart structures and material technologies in architecture applications. Academic Journals, 8(31),1512-1521.

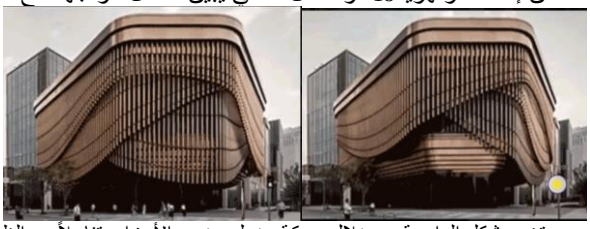
الغلاف الذكي يمثل جزء من أنظمة المبني الذكي المتصل بالأجزاء الأخرى من المبني مثل التغليف Enveloping Zone مثل الحساسات والمشغلات وجميعها يتم التحكم به من نظام إدارة المبني المركزي[17]. ولها دور في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين الظروف الداخلية للمبني من خلال الاستجابة للتغيرات الخارجية بشكل ميكانيكي وآلي وتتفاعل الواجهات الذكية مع التغيرات الخارجية.

تنقسم الواجهات الذكية إلى خمس أقسام رئيسية كما في شكل (2-2).

شكل (2-2) يبين أنواع الواجهة الذكية - المصدر: الباحثة

أ- الواجهات التفاعلية Interactive facades

تعمل الواجهات التفاعلية على الاستجابة للظروف البيئية من خلال إدخال منهج تصميمي مثل استخدام الزجاج عالي الأداء وتحسين أنظمة التحكم لضمان أداء مثالي للمبنى، مع تغيير أوضاع الشاشات الخارجية في الواجهة بالفتح والغلق أوتوماتيكاً تبعاً لقوة أشعة الشمس، وتقوم على الاستغلال الامثل للطاقة الطبيعية المتاحة من إضاءة وتهوية[18]، والشكل التالي يبين تفاعل الواجهة مع البيئة الخارجية للفتح والغلق إلكترونياً..



شكل (2-3) يبين تغيير شكل الواجهة من خلال حركة دخول وخرج الأجزاء تفاعلاً مع الظروف المناخية
Source: www.Lumenhaus.com/desings/index.htm. (Accessed 20/9/2024)

ب- الواجهات المزدوجة Double facades:

تعد من الواجهات المزدوجة من التطورات المثيرة للاهتمام حيث إنها تعمل على عزل الوظائف الداخلية وراء الواجهة المزدوجة ويتم الحصول عليها عن طريق إضافة طبقة زجاجية خارج الواجهة لتوفير مباني ذات تهوية وعزل صوتي. من أهم أنواع الواجهات المزدوجة (الواجهات الصندوقية - واجهة الممرات الهوائية - الواجهة متعددة الطوابق).

شكل (2-4) يبين الواجهة المزدوجة الصندوقية
Source: www.Lumenhaus.com/desings/index.htm. (Accessed 2/8/2024)

ج- الواجهات المتحركة kinetic facade

هي واجهات لها القدرة على تغيير شكلها وتوجيه نفسها ذاتياً والتحكم بكمية فتحاتها وفق العوامل البيئية الخارجية بما في ذلك درجات الحرارة والرطوبة والرياح. تعتبر هذه الواجهات ذات تأثير كبير في خفض درجة الحرارة. ويجب تصميم هذه الواجهات في المراحل الأولى للتصميم بحيث تتكامل مع كل أجزاء المبنى لتحقيق مبدأ الآليّة والحد من استهلاك الطاقة.

شكل (2-5) يبين الواجهات المتحركة والقدرة علي التحكم بفتحاتها - مبنيالمقر الجديد لمجلس أبوظبي للاستثمار – برج البحر
Source:www.architravel.com/architravel/building/gsw/headquarters, (Accessed 20/6/2024)

د- الواجهات الشمسية Solar facades

تعتمد هذه الواجهات على استخدام الخلايا الضوئية، وذلك لتوليد الكهرباء واستخدامها في أغراض التدفئة والتبريد والإضاءة، حيث تعمل هذه الخلايا كستارة أمام الجدران الداخلية المعزولة مع أنابيب هوائية لمنع رفع درجة حرارة الوحدات الكهروضوئية. وتعد هذه الوجهات داعمة للمباني الخضراء والمستدامة وتساهم في خفض استهلاك الطاقة[19].

أثبتت الدراسات أن الواجهات الذكية لها دور فعال في الأداء الأمثل للطاقة وتوصي العديد من الدراسات بأن تصبح الواجهات الذكية من أسس تصميم المباني المستدامة لخفض الطاقة والوصول للمباني صفرية استخدام الطاقة غير المتجددة. **تتميز الواجهات الذكية بمجوعة من الخصائص:**

- صمام حراري يعمل علي مقاومة الحرارة وتنظيم تدفقها من وإلي خارج المبني.
- تصفية الإشعاعات يسمح بدخول الأشعة ذات أطياف موجية محددة وفق الظروف البيئية الداخلية كما هو محدد له مسبقا.

---

[17] ماجدة بدر أحمد إبراهيم، (2019). "العمارة الذكية - كمدخل لتطبيق التطور التكنولوجي في التحكم البيئي وترشيد استهلاك الطاقة بالمباني", دراسة تحليلية لتقييم الأداء البيئي للمباني الذكية"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، مصر, صـ56.

[18] نيرفانا أسامة حنفي، (2011). "أسس و معايير تصميم المباني الذكية"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، مصر, صـ 29.

[19] Addington, M & Schodeck, D. (2014), "Smart material and Technologies for the architecture and design professions", Architecture Press, an imprint of Elsevier, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, UK. P 30

- حاجز لمنع دخول الهواء يسمح بدخول الهواء بشكل متعمد حسب البيئة الداخلية للمبني والظروف الخارجية كما يعمل كحاجز للمواد الملوثة.
- مجمع وموزع للطاقة حيث توجد أنظمة تعمل على تجميع الطاقة الشمسية الحرارية لتحسين الأداء الحراري للمبني.
- القدرة على التظليل الميكانيكي والتحكم بكمية الإضاءة عن بعد.
- تحقيق منظومة ذكية لترشيد العزل الحراري في الأجواء الحارة والباردة.

3/2/2 التحكم في إدارة الطاقة من خلال الأنظمة الذكية

تصنف الأنظمة الذكية داخل المباني إلي:

شكل (2-6) يبين تصنيف الأنظمة الذكية داخل المباني

أولاً: أنظمة التحكم البيئي تشمل أنظمة التحكم البيئي على:

أ- أنظمة التدفئة والتهوية والتكييف HVAC System

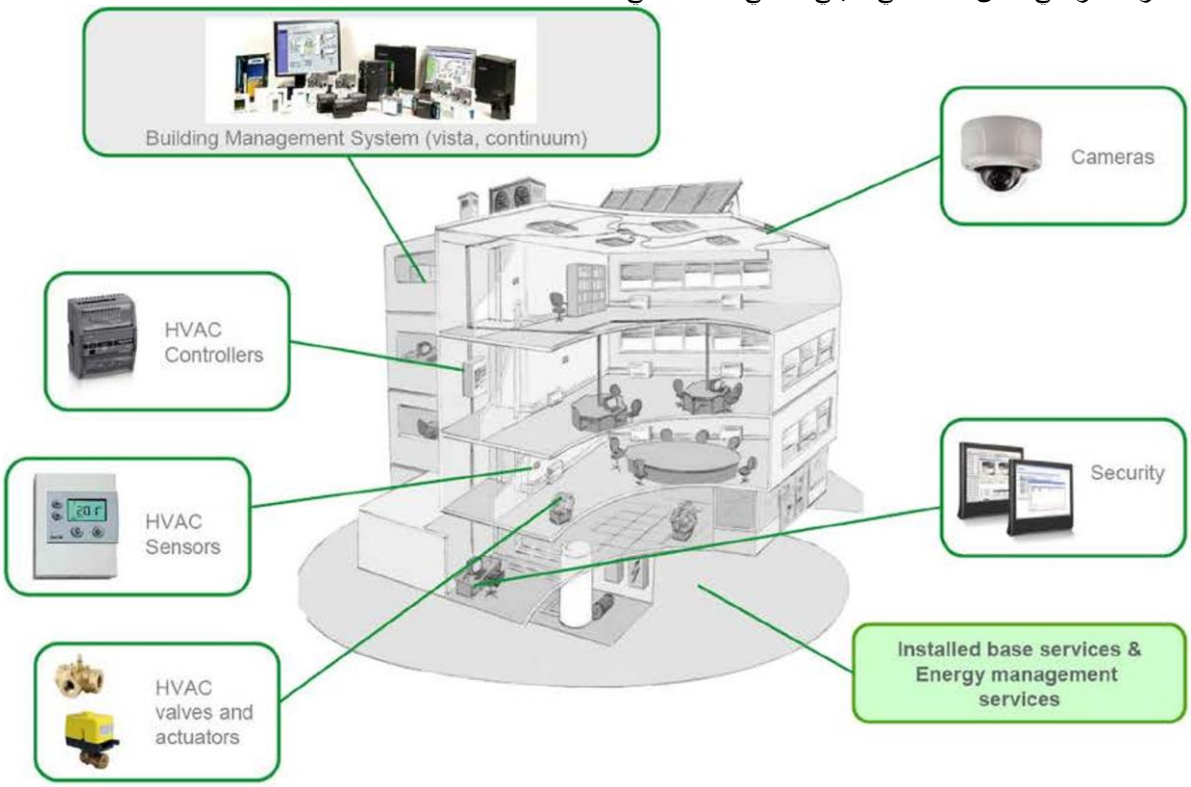
هي نظم مرتبطة بنظم الأتمتة وإدارة المبني التي تساعد علي تحسين الهواء الداخلي للفراغات وتساعد على مراقبة درجات الحرارة وتعديلها طبقاً لحاجة المستخدمين، وتعديل الرطوبة ودرجة الحرارة وسرعة الهواء المتدفق للغرفة.

ب- أنظمة إدارة الطاقة (BEMS):

يعمل هذا النظام علي التنسيق بين نظام HVAC ونظم التحكم بالإضاءة وذلك من خلال برامج لإدارة الطاقة لخفض استهلاك المبني للطاقة والحد من التكاليف الكهربية بالمبني مع المحافظة علي بيئة آمنه ومريحة لمستخدمي الفراغ[20].

ثانياً: أنظمة الأمن والأمان.

هي من أهم المعايير التي يجب توفرها بالمباني الذكية لمنح المبني الخصوصية الامنية وهي شكل من أشكال التكامل في هيكلة النظام المستخدم للحماية والسيطرة على المصاعد ونظم طوارئ للإنذار للفراغات المختلفة، حيث يتم مراقبة حالة المبني من الناحية الإنشائية من خلال أجهزة استشعار منتشرة في أماكن مختلفة في المبنى كما في الشكل التالي.



شكل (2-7) يوضح أعمال الإدارة والمراقبة من خلال أجهزة الاستشعار المنتشرة في المبني
Source: www.Lumenhaus.com/desings/index.htm. (Accessed 10/3/2024)

ثالثاً: أنظمة إدارة الشبكة الكهربائية تشمل أنظمة إدارة الشبكة الكهربائية علي الأنظمة التالية:

[20] مني صبح عبد الفتاح، (2018), "التأثير التقني والجمالي لتطبيقات النانوتكنولوجي علي تصميم الواجهات المعمارية"، بحث منشور، مجلة العمارة والفنون، مجلد 2 ، عدد 11، صـ 70.

أ-أنظمة الإضاءة Lighting Systems

تعتمد هذه التقنية على نوع فراغ المبني واختيار نظم الإضاءة المناسبة التي يتم دمجها مع الإضاءة الطبيعية بحيث تتكامل معها للحفاظ علي الطاقة، وتتم السيطرة المركزية علي الإضاءة أو نظم استشعار من خلال البرامج لمستخدمي الفراغ. يعتمد هذا النظام في الإضاءة علي خلايا ضوئية أو نظم استشعار ويتم إدارة استهلك الطاقة من خلال عملية مراقبة إشغال الفراغ وتعديلها ذاتياً لملائمة الإضاءة المطلوبة.

ب-التحكم بالفتح والغلق Switching

يتم التحكم آلياً بفتح وغلق المفاتيح الكهربائية للإضاءة حسب الحاجة أوتوماتيكياً لوحدات الإضاءة القريبة من الفتحات حيث يقوم حساس قياس شدة الإضاءة الطبيعية بإدخال البيانات إلي جهاز التحكم الذي يقوم بدوره باستخدام هذه البيانات لتشغيل أو إيقاف التيار الكهربائي أو خفت مسار التيار الكهربائي.

ج-نظم إدارة الطاقة الكهربائية Electric Power Management System

يتكون هذا النظام من أجهزة مراقبة وأجهزة تحكم لمراقبة التوزيع الكهربائي وتوفير معلومات الاستهلاك، ويسهم هذا النظام في تحديد وتشغل نظم أو برامج خاصة لخفض استهلاك الطاقة.

3/2 تطبيقات المواد الذكية في المباني التعليمية

1/3/2 الطوب الذكي في الواجهات الخارجية.

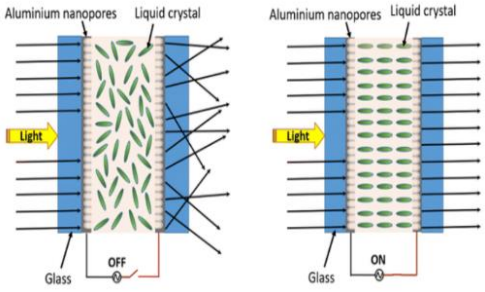
الطوب الذكي Smart Birks هو عبارة عن طوب طفلي تقليدي به عناصر الكترونية مناسبة قادرة على إصدار مخرجات قابلة لقياس خواصها الكهربائية وهذه الإصدارات ترسل إشارات ناتجة عن مراقبة درجات الحرارة والاهتزاز والحركة داخل المبني، فهو مزود بأجهزة استشعار ومعالجات ووصلات إشارات اتصال سلكية للتحذير من الضغوط الخفية، ويقوم بنقل الإشارات على فترات منتظمة داخل المبنى، مما يوفر معلومات مهمة لرجال الإطفاء والإنقاذ. ومراقبة الحالة الإنشائية للمبني[21].

شكل (2-8) يبين العناصر الإلكترونية المدمجة بالطوب الذكي

Source: FORMAT INSTRUCTIONS FOR Somchai 2004 PAPERS(Acceesed 24-3-2024)

2/3/2 تقنيات الزجاج الذكي في النوافذ.

أولاً: تكنولوجيا البلورات السائلة



هي عبارة عن بللورات سائلة Liquid crystal موجودة بين طبقتي الزجاج في النوافذ الذكية وتعمل علي التحكم في كمية الضوء النافذ منها وذلك من خلال تغيير استجابة البللورات السائلة للشحنات الكهربية حيث تعمل الشحنة الكهربية علي تريب البللورات بشكل منتظم ليصبح الزجاج شفافاً ويسمح بمرور الضوء في الاتجاهين، وفي حالة اختفاء الشحنة الكهربية تعود البللورات لوضع غير منتظم فتمنع أشعة الضوء الوصول للفراغ الداخلي وبالتالي توفر الخصوصية، وهذا النوع مناسب للاستعمال كفواصل بين الفراغات للتحكم في تحقيق الإضاءة المطلوبة.

شكل (2-9) يبين آليه عمل تكنولوجيا البلورات السائلة

Source: https://doi.org/10.1039/d2ma01007k,(Accsseed 12-3-2024)

ثانياً: تكنولوجيا الزجاج الكهربي Electro chromic glass

تعتمد هذه التكنولوجيا علي تغير الخصائص اللونية للزجاج عند تعرضه لتيار كهربي، حيث يغلف الزجاج بمادة ungsten Oxide مع طبقات متعددة ثابتة عليه تعمل بالكهرباء فهي تقوم بتغيير الخصائص الموصلة والعاكسة للزجاج فتحول لون الزجاج من اللون الأزرق إلي اللون الشفاف كما في شكل (2-10). هذا النوع من الزجاج يعمل علي تقليل الوهج والحرارة غير المرغوب فيها، وتستخدم في الفراغات الداخلية لتحقق الخصوصية، وأيضاً في الواجهات للتحكم في الإضاءة[22].

شكل (2-10) يبين آليه عمل الزجاج الكهربي (زجاج الالكتروكروميك) حيث يغير لونه من الأزرق إلي الشفاف عند تعرضه للتيار الكهربي

Source: www.jmaterenvironsci.com/Document,(Accessed 14-3-2024)

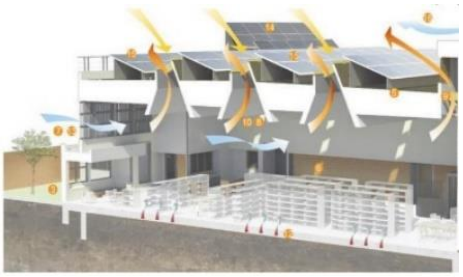
[21] Nitesh Dogne, Ashish Choudhary, (2014), "Smart Construction Materials and Techniques", Published paper, National conference on Alternative and innovative construction Materials and Techniques, p.24.

[22] Charlotte Lelieveld, (2013), "Smart Materials For the Realization of An adaptive Building Component", Phd Thsis, Faculty of Architecture, Delft university, P 79

3/3/2 أنواع الأرضيات الذكيةTypes of smart flooring

أ- أرضيات التهوية عن طريق إزاحة الهواء

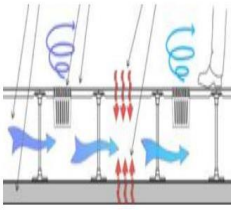
تعتمد فكرة تصميم هذا النظام على ادخال الهواء من فتحات أرضية حيث يملأ الحيز الداخلي وبعد الاستفادة منه يتم خروجه من السقف عن طريق الفتحات المخصصة له، ويتميز هذا النظام بأنه يصل إلي كافة أجزاء الحيز الداخلي ويزيل معه أي ملوثات، فيتم دخول الهواء الجديد من الفتحات الأرضية ليحل محل الهواء المستعمل ويخرج الأخير من فتحات السقف كما بالشكل.



شكل (2-11) يبين طريقة تهوية الأرضيات بالمبني عن طريق إزاحة الهواء
Source: http://www.aiatopten.org/node/471 (Accessed 23-6-2024)

ب- أرضيات تحويل الطاقة الميكانيكية (الحركية)

تستخدم هذه الأرضيات في دعم الفراغات التعليمية عن طريق استخدام الطاقة الكهربية، فهي أرضية حركة تفاعلية تولد الطاقة عند الحركة عليها، ثم تترجم هذه الطاقة الميكانيكية المتولدة من تحريك أرجل الأشخاص المتواجدين علي الأرضية وتحويلها إلي طاقة كهربائية كافية لإدارة الليلة وأيضاً للتدفئة في الشتاء والتبريد في الصيف، وتعتمد التقنية علي استخدام خشب مطلي بالسيليكون ومزين بالبلورات النانوية.



شكل (2-12) يبين طريقة تحويل الطاقة الميكانيكية الي طاقة كهربائية علي الأرضيات الذكية
Soure:www.archdiwanya.com/2022/04/Active-systems.html,(Accessed 23-6-2024)

4/3/2 المواد الذكية في التشطيبات الداخلية

تعددت مواد الإكساء لتواكب التطور الفني والتكنولوجي ومن الأمثلة على مواد التشطيب الذكية.

أ- الدهانات الذكية والطلاءات Smart Paints and Coatings:

هو دهان يتغير لونه عند التعرض للحرارة ويتكون من ثلاثة أنواع مختلفة من البللورات السائلة مما يجعله قادراً علي تغيير لونه أكثر من مرة عند تعرضه لدرجة حرارة مختلفة23، هذا النوع من الطلاءات غير مناسب لغلاف المبني بسبب تآكل المادة عند التعرض المستمر للأشعة فوق بنفسجية.

ب- التسقيف بألواح Acrylife

هو نظام تسقيف يستخدم ألواح بيضاء Acrylife PVC تعمل على انعكاس الضوء، خفيف الوزن، ومانعة لتسرب المياه. تعمل على حماية الطقس من الظروف المناخية القاسية وبالتالي خفض كمية من الحرارة من أشعة الشمس التي يتم امتصاصها من خلال غلاف المبنى.

ج- شرائح فيلمية Radiant Color and mirror

هي عبارة عن شرائح رقيقة تعتمد علي انعكاس الضوء المرئي ويجعلها متداولة للعديد من التطبيقات، وتتكون من طبقات متعددة من الشرائح البوليمرية لتصبح مقاومة للأشعة الفوق بنفسجية.

د- الألياف البصرية المدمجةCompact Optical Fiber

تستخدم هذه الكابلات لتقييم التصدعات والانحناءات الشديدة والاهتزازات، وتعتمد هذه الطريقة علي تحليل الضوء المرسل من خلال كابل الالياف البصرية المدمج، حيث ان التصدعات التأثيرات الأخرى المصاحبة للتلف تؤثر علي خصائص الضوء المرسل.

3- تكامل الاستدامة وتقنيات العمارة الذكية

الجمع بين مبادئ الاستدامة والتكنولوجيا الذكية في تصميم وبناء المباني يهدف إلى تحقيق كفاءة أكبر في استخدام الموارد وتقليل الأثر البيئي للمباني، مع تحسين الراحة والجودة لمستخدمي الفراغ، **وذلك من خلال النقاط التالية:**

أولاً: الاستدامة

- استخدام مصادر الطاقة المتجددة والاعتماد علي أنظمة الإضاءة والتهوية الطبيعية.
- تحسين العزل الحراري للمباني لتقليل الحاجة إلى التدفئة والتبريد.
- استخدام مواد بناء مستدامة محلية لتقليل تكاليف النقل وانبعاثات الكربون.
- استخدام أنظمة تجميع مياه الأمطار وإعادة استخدام المياه الرمادية.
- الاعتماد على استراتيجيات إدارة النفايات خلال عملية البناء وبعدها لتقليل النفايات.

ثانياً: تقنيات العمارة الذكية

- أنظمة إدارة المباني والتحكم الآلي في أنظمة الإضاءة والتكييف والتهوية بناءً على الظروف البيئية ومراقبة استهلاك الطاقة.
- تكنولوجيا المعلومات والاتصالات من خلال استخدام أجهزة استشعار متصلة بالإنترنت لجمع البيانات وتحليلها عن البيئة الداخلية والخارجية للمبني لتحسين كفاءة الطاقة.
- استخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات والتنبؤ باحتياجات المستخدمين وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة .
- التحكم في الهواء الداخلي من خلال أنظمة تهوية ذكية وأجهزة مراقبة لجودة الهواء.

[23] أسماء فاضل،2018, "العمارة الذكية وانعكاسها التكنولوجي علي التصميم، دراسة حالة المباني الادارية، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، صـ45.

1/3 تأثير تكامل الاستدامة والعمارة الذكية على ترشيد استهلاك الطاقة

تكامل العمارة المستدامة مع العمارة الذكية يعمل علي تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل الهدر، مما يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة وتعزيز الأداء البيئي للمباني **من خلال المعايير التالية:**

1- التحكم الذكي في الإضاءة باستخدام أجهزة استشعار للضوء الطبيعي مما يقلل من استخدام الطاقة.
2- تقليل الأثر البيئي من خلال تقليل استهلاك الطاقة والمياه واستخدام مواد مستدامة.
3- إدارة التدفئة وتكييف الهواء الذكي المتكيفة مع الظروف الجوية، للحفاظ على درجات الحرارة المناسبة باستخدام الترموستات الذكية
4- التحكم في النوافذ والتظليل الذكية المتكيفة مع تغييرات الطقس والإضاءة الطبيعية مما يقلل الحاجة إلى التدفئة والتبريد الاصطناعي.
5- تقوم الأجهزة الذكية بمراقبة إدارة استهلاك الطاقة وتحليل البيانات لتحديد الفرص المحتملة للتوفير.
6- أنظمة الصيانة الذكية تقوم بمراقبة حالة المعدات وتحديد المشاكل، مما يحسن من كفاءة تشغيل الأنظمة ويقلل استهلاك الطاقة.

4- الدراسة التحليلية

يتناول هذا الجزء تحليل مشروعات عالمية التي محققة معايير الاستدامة بالمبني وتعتمد على تقنيات العمارة الذكية، وسيتم وتحليل هذه الأمثلة لفهم طرق تعزيز استدامة المبني من خلال تطبيقات الذكاء وذلك للوصول للاستخدام الأمثل لوظيفة الفراغات الداخلية وتحسين أداء المبني وتوفير الطاقة. ومن أهم معايير اختيار الأمثلة التحليلية:

- أن تكون المشروعات حائزة على جوائز عالمية أو تكون حاصلة علي اعتماد من أحد الهيئات الدولية لتقييم الاستدامة.
- جميع المباني المختارة مباني تعليمية تم تنفيذها خلال العشر سنوات الماضية.
- تحتوي جميع المباني المختارة على أنظمة الإدارة الذكية وتعتمد على التقنيات التكنولوجية في ترشيد استهلاك الطاقة بالمبني التعليمي.

الجدول التالي (4-1) يوضح البيانات الكاملة للمباني التحليلية محل الدراسة.

اسم المشروع	السنة	الموقع	درجة تقييم أداء المبني
جامعة سيدانسك Syddansk University	تم التجديد 2014	جنوب الدنمارك	شهادة Green GOOD
مركز ابحاث جينيو، GENYO University	تم الإنشاء 2016	غرناطة - أسبانيا	حاصل علي تقييم LEED

1/4 مبني جامعة سيدانسك جنوب الدنمارك Southern Denmark Syddansk University

1/1/4 وصف المشروع:

يقع المبني في Kolding, Denmarkكولدينج وتم تسليمه في 2014، وهو مبني تعليمي للمصمم المعماري Henning Larsen Architects ، حصل المبني عي جائزة حصل على جائزة Green GOOD DESIGN لعام 2016 من المركز الأوروبي للهندسة المعمارية والفن والتصميم والدراسات الحضرية. يتكون المبني من خمسة طوابق واعتمد علي تكرار نمط الشكل المثلث في مجموعة مستمرة عبر الطوابق المختلفة،

شكل (4-1) يبين مبني جامعة سيدانسك Southern Denmark Syddansk University
Source: www.arcbuild.com/portfolio/sdu-university-of-southern-denmark-campus-kolding Accessed 23-6-2024)

2/1/4 التقنيات الذكية بالمبني:

أ- يعتمد فكرة المبني على تفاعل ديناميكي مبرمج حيت تتحرك الواجهة ديناميكيا بنظام برمجي من خلال وحدات ظليه تتفاعل مع قوة أشعة الشمس وتعمل كوحدات تظليل للحد من الإضاءة والحرارة من خلال فتح الوحدات وغلقها مما يغير من شكل الواجهة بشكل مستمر[24].

ب- يتميز المبني بأنظمة تظليل ذكية تسعى للتكيف مع التغيرات المناخية وتوفير ضوء النهار الأمثلDaylight . الواجهة الأصلية مكسوة بالزجاج، مثبت فوقها كاسرات شمسية مزودة بنظام برمجي تفاعلي لفتحها أوتوماتيكيا مع قلة أشعة الشمس، والغلق مع شدة سطوع ووهج الشمس، تفتح الوحدات بشكل كامل أو بشكل منفصل تبعا لقوة أشعة الشمس بحيث توفر للمرتادين الراحة الحرارية مما يقلل من استهلاك طاقة أجهزة التبريد[25].

[24] Parthenopoulou, N. (2017). Sustainability through Intelligence in Buildings. International Journal of Engineering Research and Applications. P17,18.

[25] Gyeong Yun, K. C. (2014). The influence of shading control strategies on the visual comfort and energy demand of office buildings. Energy Build.p70.

شكل (4-2) يبين الكسوات الزجاجية للغلاف الخارجي للمبني وتأثيرها علي الإضاءة الداخلية

Source:www.e-architect.com/denmark/kolding-campus-university-southern(Accessed 23-6-2024)

ج- تكون نظام التظليل الحركي بغلاف المبنى من 1600 شريحة مثلثة من الصلب الفولاذ المثقب، وهي مثبتة على الواجهة بطريقة تسمح لها بالتأقلم مع ضوء النهار المتغير وتدفق الضوء المطلوب، وعندما تغلق هذه الوحدات المثلثة فإنها تكون مستوية على طول الواجهة، في حين أنها تظهر من الواجهة عند فتحها نصفيا أو مفتوحة بالكامل، تم تزويدها بأجهزة استشعار تقيس مستويات الضوء والحرارة بشكل مستمر وتنظم عناصر الحركة آليًا بواسطة محرك صغير.

شكل (4-3) يوضح نظام التظليل الحركي المثبتة علي واجهات المبني

Source:www.e-architect.com/denmark/kolding-campus-university-southern (Accessed 23-5-2024)

3/1/4 كفاءة اختيار مواد البناء:

تعتمد مواد البناء على المواد الذكية حيث تشمل مجموعة من المواد والتقنيات الحديثة التي تهدف إلى تحسين كفاءة الطاقة، الاستدامة، والأداء الوظيفي للمباني. من بين هذه المواد[26]:

- الخرسانة الذكية :تتضمن تقنيات النانو لتحسين القوة والمتانة، وقد تحتوي على أجهزة استشعار لرصد الإجهاد والشقوق.
- الزجاج الذكي :يتغير شفافيته وتعتيمه بناءً على الظروف البيئية مثل درجة الحرارة والإضاءة.
- المواد ذاتية الشفاء :قادرة على إصلاح الشقوق الصغيرة والضرر بدون تدخل بشري، مثل بعض أنواع البوليمرات والخرسانة.
- العوازل الذكية :مواد تتغير خصائصها العازلة بناءً على الظروف البيئية، مثل الجل الهوائي الذي يمكنه تعديل نفاذية الهواء والرطوبة.
- الأخشاب المحسّنة :معالَجة بتقنيات متقدمة لزيادة مقاومتها للحريق والرطوبة والحشرات.
- الطلاءات الذكية :تحتوي على خصائص مضادة للبكتيريا أو تعكس الحرارة لتقليل الكسب الحراري في المباني

2/4 مبنى جينيو، فايزر - جامعة غرناطة - جونتا دي GENYO Building, Pfizer-University - ، غرناطة، إسبانيا

1/2/4 وصف المشروع:

- يقع المبني في مجمع تكنولوجيا العلوم الصحية في غرناطة، تبلغ مساحة 5.633م2.
- يتألف المبنى من خمسة مستويات (الطابق السفلي + 4)، الطابق السفلي المخصص لوقوف السيارات والخدمات. ويتكون أساسا من كتلة خطية في خط مركزي مزدوج تضم جميع وحدات البحث ومناطق دعمها (المختبرات) في المستويات الأربعة[27].

شكل (4-4) يبين مبني مبنى جينيو، فايزر - جامعة غرناطة GENYO Building, Pfize

Source: www.archdaily.com/328262/genyo-laboratories-planho (Accessed 23-9-2024)

2/2/4 التقنيات الذكية بالمبني:

- واجهة المبني مكونة من الغلاف المزدوج الكهروضوئي وألواح من الزجاج بدرجات وأحجام مختلفة بها فتحات زجاج مزدوج منخفض الانبعاث يفصل بين الفراغات والبيئة الخارجية.

[26] Parthenopoulou, N. (2017). Sustainability through Intelligence in Buildings. International Journal of Engineering Research and Applications. P25

[27] www.archdaily.com/328262/genyo-laboratories-planho/ Accessed 15/7/2024.

- تم تركيب غلاف ثان على جدار المبنى الخارجي بهدف تحسين أدائه السلبي وتحويل الغلاف الرأسي إلى محطة حقيقية لتوليد الكهرباء، بفضل الخلايا الكهروضوئية المدمجة في الزجاج مع الميزات الجمالية، يعمل هذا النظام علي التهوية تنظيم الحرارة والبرودة والضوء والرياح والعزل الصوتي لتحقيق الراحة وتوفير الطاقة.

- الواجهة مكونة من 1062م2 من الغلاف الضوئي المزدوج تولد كمية كبيرة من الطاقة التي تستهلكها حوالي 32000 كيلوواط ساعة من الطاقة سنويًا وتمنع استهلاك 19 برميل من النفط سنويًا. يمكن أن تقلل هذه الواجهة من متطلبات الطاقة لنظام HVAC حوالي 41٪.
- تم تصميم الواح شمسية على الواجهة الجنوبية وفقا لزوايا سقوط الاشعاع الشمسي لتوفير تظليل إضافي للفراغات الداخلية، الامر الذي يقلل من مكاسب حرارة الشمس. وتقوم الالواح الشمسية على الواجهة الجنوبية بتوفير الكهرباء اللازمة لجميع الهواتف المحمولة وأجهزة الحاسب المحمولة مما يقلل من تكلفة فواتير الكهرباء. أما الواجهة الشمالية فهي واجهة زجاجية شفافة تماما كما في شكل (4-5)، والزجاج المستخدم بها عازل للصوت والضوضاء، الواجهات الجنوبية والشرقية والغربية ذات فتحات أصغر لتوفير الكتلة الحرارية والتظليل وقابلية التهوية.

شكل (4- 5) يبين تقسيم الواجهة الزجاج الشمالية للمبني ومثبت عليها الخلايا الضوئية
www.archdaily.com/328262/genyo-laboratories-planho

3/2/4 كفاءة اختيار مواد البناء:

- كسوة الواجهات تعتمد على الزجاج الكهروضوئي فهو مصنوع من صفائح ألومنيوم مموجة موضوعة عموديًا بفتحات منفصلة في الواجهة.
- الواجهة الخارجية مناسبة لدمج الخلايا الكهروضوئية لأنها تتكون من زجاج واحد ويمكن للوحدات أيضًا توفير التظليل الشمسي وحماية المبنى من الإشعاع الشمسي المفرط أو الوهج وتقليل النقل الشمسي الثانوي الذي يدخل المبنى
- تم تركيب وحدات زجاج السيليكون غير المتبلور بدرجة 20% شبه شفافية (L vision) علي الواجهة. التي تبلغ مساحتها 7535 مترًا مربعًا ، هي مزيج من ثلاثة أنواع مختلفة من الزجاج (زجاج أبيض - زجاج سيريغرافي تقليدي - الزجاج الكهروضوئي) بمساحة إجمالية نشطة تبلغ 5 627 م2، حيث تم دمج PV في نمط جمالي. أظهرت هذه الواجهة أن الواجهات الشمسية لا تمثل حل جمالي فقط بل هي وسيلة لتحقيق أهداف المناخ في المباني.

لفهم وتحديث معايير التصميم المستدامة وتقنيات الهندسة المعمارية الذكية التي تؤثر على استهلاك الطاقة في المبنى، نستعرض الجداول التالية لتحليل الأمثلة التحليلية بمقياس Licert لتسليط الضوء على الجوانب الرئيسية التي تؤثر على تعزيز استدامة المبنى،

الجدول التالي (4-2) يبين تحليل معايير تحقيق التصميم الذكي وتأثيرها علي تحسين كفاءة الطاقة بالمبني.

معايير تقييم التصميم الذكي																				
مقارنة	عناصر التصميم الذكي									تقنيات التكنولوجيا الذكية										نسبة المعايير التصميم المحققة
	الواجهات الذكية	أغلفة مزدوجة	أغلفة ديناميكية	كاسرات شمسية متحركة	التظليل الديناميكي	الإضاءة الطبيعية	التهوية الطبيعية	مواد بناء ذكية	كفاءة مياه الأمطار	كفاءة العزل الحراري	الاستشعار الذاتي والتكيف	أنظمة التحكم بالطاقة	كفاءة التشغيل	التشغيل الذاتي والصيانة	إنذار ذاتيا	أنظمة الاستجابة الديناميكية	الأمن والسلامة	الحماية والمتانة	
جامعة سيدانسك	■	■	■	■	■	■	■	■	□	□	■	□	■	■	■	■	■	□	94 %
مركز ابحاث جينيو	■	■	□	—	□	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	□	■	85 %

■ استخدام جيد ٥ □ استخدام بمعدل ٣,٧٥ ــ ٢,٥ □ استخدام بمعدل ٢,٥-١,٢٥ — استخدام ضعيف ١,٢٥-١

الجدول التالي (4-3) يبين تحليل معايير تحقيق التصميم المستدام وتأثيرها علي تحسين كفاءة الطاقة بالمبني

معايير تحقيق التصميم المستدام											
مقارنة	موقع المبني	تصميم المبني			جودة البيئة الداخلية			كفاءة المياه	قياس الطاقة	توليد الطاقة	المواد والموارد	نسبة المعايير التصميم المحققة
		الحوائط	النوافذ والفتحات	الأسطح	الراحة الحرارية	الراحة الضوئية	درجة الرطوبة					

	كفاءة توجيه المبني	مواد بناء ذات كفاءة	تشكيل الحوائط	مواد بناء ذات كفاءة	نسبة الفتحات	مواد بناء ذات كفاءة	تشكيل السطح	مواد زجاجية	درجة الحرارة والرطوبة	حركة الهواء	مواد العزل	نسبة الإشعاع الشمسي	معدات التكييف	حوائط ذاتية التنظيف	تخزين مياه الأمطار	الإضاءة الصناعية	أجهزة التبريد	خلايا شمسية	مجمعات شمسية	مواد موفرة للاستهلاك	مواد ذاتية التنظيف	
جامعة سيدانسك	■	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■	■	□	■	■	■	■	■	■	□	89 %
مركز ابحاث جينيو	■	■	■	■	□	■	■	■	■	□	■	■	□	■	□	■	■	■	■	■	■	92 %

■ استخدام جيد ٥ □ استخدام بمعدل ٣,٧٥ – ٢,٥ — استخدام بمعدل ٢,٥-١,٢٥ — استخدام ضعيف ١,٢٥-١

الجدول التالي (4-4) يبين تحليل تقنيات الذكاء في إدارة المبني للأمثلة التحليلية

معايير تقييم تقنيات الذكاء في إدارة المباني

مقارنة	نظم الأمن والأمان		أنظمة الإدارة الذكية						أنظمة إدارة الطاقة				أنظمة الترفيه والتكامل			نسبة المعايير المتصيم المحققة
	شبكة الكاميرات الذكية	أنظمة إطفاء الحريق	التحكم الذكي بالمناخ	التحكم في التهوية الذكية	التحكم في الإضاءة	التحكم في الفتحات	أنظمة الصوت الذكية	أنظمة المياه الذكية	نظم إدارة الطاقة	موارد الطاقة المتجددة	البعد البيني للطاقة	الاكتفاء الذاتي	مرافقة المباني الذكية	شبكة الاتصال الداخلي	أنظمة الذكيWI-Fi	
جامعة سيدانسك	■	■	■	■	■	■	■	□	■	□	■	■	■	□	■	95 %
مركز ابحاث جينيو	■	□	■	■	□	■	□	■	□	□	■	■	□	■	■	88 %

■ استخدام جيد ٥ □ استخدام بمعدل ٣,٧٥ – ٢,٥ — استخدام بمعدل ٢,٥-١,٢٥ — استخدام ضعيف ١,٢٥-١

٥- الدراسة التطبيقية على أحد المباني التعليمية القائمة

يتم التطبيق علي أحد مباني المعهد التكنولوجي العالي بالعاشر من رمضان وهو مبني كلية الهندسة المعمارية تم تأسيسه عام 2006م، والجدول التالي (5-1) يبين أهم المعلومات الأساسية لمبني الدراسة:

اسم المبني	المعهد التكنولوجي العالي
موقع المبني	العاشر من رمضان
نوع الإشغال	مبني تعليمي جامعي
تاريخ الإنشاء	2010
المساحة	2172.1م2

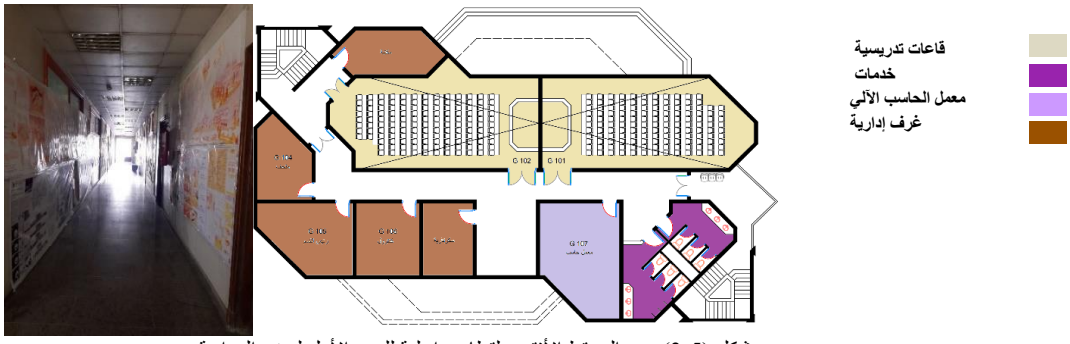
شكل (5-1) يبين الموقع العام لمبني كلية الهندسة المعمارية ووصف منظوري
المصدر: الباحث

1/5 وصف موقع المبني ومكوناته:

المبني مكون من 3 طوابق بارتفاع 25 متر بمسطح 2172.1م2 متر مربع، واجهات المبني مكونة من ألواح الرخام والزجاج العادي بعمق 45سم ، المبني مكون من أربعة أدوار. الدور الأرضي يحتوي على غرف إدارية متمثلة (الخزنة – غرف التحكم في الكهرباء – قاعتان رسم – قاعة دراسية)، بالإضافة إلى الخدمات وغرفة الأمن كما في شكل (5-2)،
تقع الواجهة الرئيسية للمبني على اتجاه شمال الشرق، حيث تم توجيه أغلب القاعات الدراسية علي الشرق و الغرب من الواجهة الخلفية للمبني. توجه القاعات الدراسية العملية في الدورين الثاني والثالث علي الغرب مما أدي إلي تعرض معظم القاعات لضوء الشمس المباشر مما يعيق رؤية الطلاب داخل القاعة، بالإضافة إلي توجيه قاعات الدور الأرضي جنوبا وعدم وصول الإضاءة والتهوية الطبيعية كما في شكل

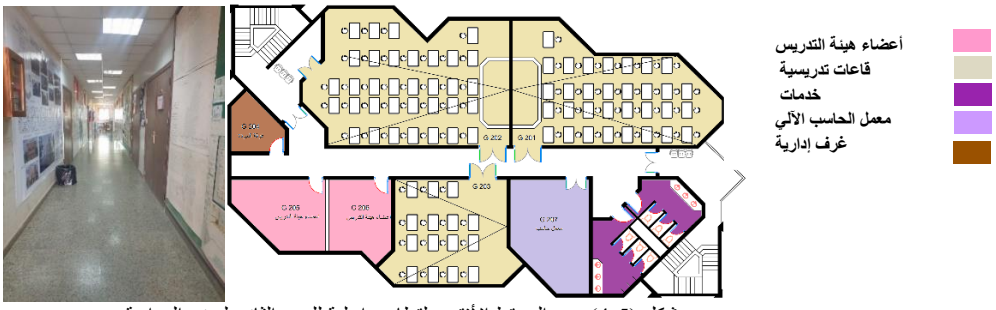
شكل (5-2) يبين المسقط الأفقي للدور الأرضي للمعهد التكنولوجي العالي
المصدر: الباحثة

يحتوي الدور الأول علي عدد 2 قاعة دراسية تسع من 8 – 90 طالب وغرفة رئيس القسم والسكرتاريا ومعمل كمبيوتر وغرف إدارية أخري بالإضافة إلي الخدمات.



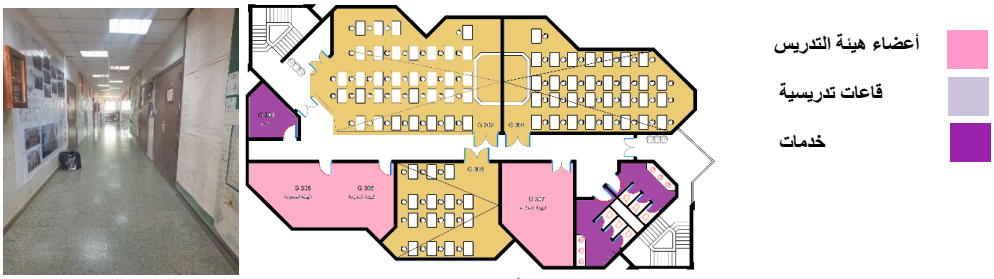
شكل (5-3) يبين المسقط الأفقي ولقطات داخلية للدور الأول لمبني الدراسة
المصدر: الباحثة

يحتوي الدور الثاني علي عدد 3 قاعة دراسية تسع من 60-70 طالب وهيئة التدريس ومعمل كمبيوتر وغرف إدارية أخري بالإضافة إلى الخدمات.



شكل (5-4) يبين المسقط الأفقي ولقطات داخلية للدور الثاني لمبني الدراسة
المصدر: الباحثة

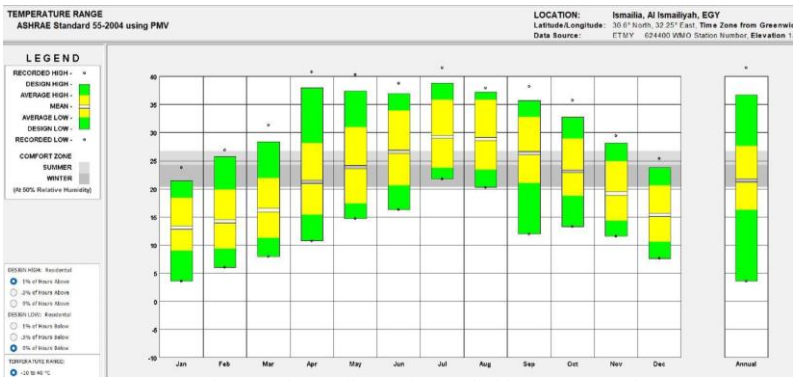
يحتوي الدور الثالث علي عدد 3 قاعة دراسية تسع من 65 – 70 طالب و2غرفة لأعضاء هيئة التدريس ومخزن بالإضافة إلي الخدمات.



شكل (5-5) يبين المسقط الأفقي ولقطات داخلية للدور الثالث لمبني الدراسة
المصدر: الباحثة

2/5 دراسة موقع المبني

تم دراسة المبني من خلال تطبيقات المحاكاة علي المنطقة المحيطة بالمبني (العاشر من رمضان) وتم دراسة البيانات المناخية باستخدام برنامج Climate Consultant الذي يوفر البيانات المناخية وفقا لموقع المبني كما في شكل (5-6) حيث يوضح التحليل المناخي لدرجات الحرارة ويتضح منها أن أعلي معدل لدرجات الحرارة 42 درجة مئوية في شهر يونيو.



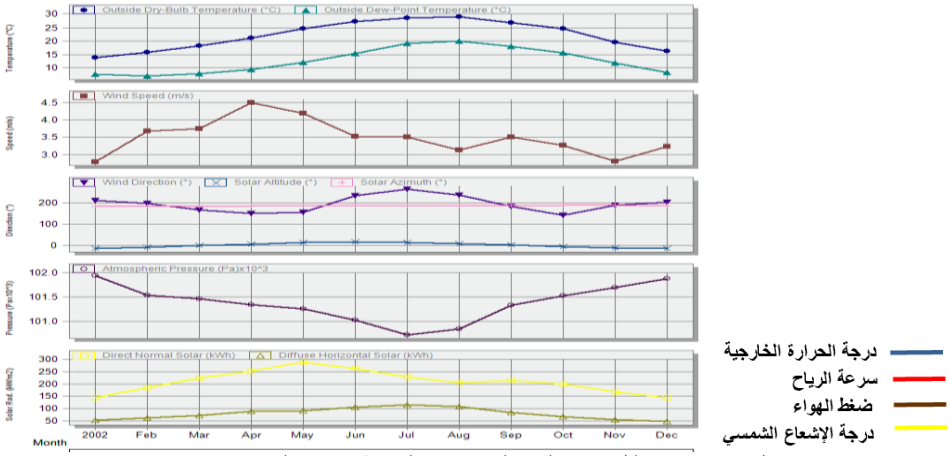
شكل (5-6) يبين تحليل للبيانات المناخية للمنطقة المحيطة بالمبني
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج Climate Consultant

3/5 محاكاة مبني الدراسة من خلال برنامج " design builder" لدراسة الوضع الحالي:

باستخدام برنامج Revit Architecture أمكن تصميم نموذج محاكي للوضع الحالي للمبني ليشمل الجزئيين الأمامي والخلفي، تم رفع نموذج المبني بملف gbxml إلى برنامج Design Builder وإدخال البيانات الأساسية بالمبني للبرنامج لتحديد الموقع الجغرافي وحساب درجات الحرارة والطاقة المستخدمة في المبني، وتم إدخال القاعات الدراسية والفراغات الإدارية داخل المبني وإدخال النوافذ والفتحات وأنظمة التكييف داخل كل فراغ لتكوين نموذج يحاكي المبني الفعلي كما في الشكل (5-7).

تمت عملية محاكاة المبني طوال العام على برنامج Design Builder، ونتيجة تحليل الأداء الحراري في المبني ظهر اختلاف درجات الحرارة طوال العام بين الارتفاع في فصل الصيف والانخفاض شتاءً كما موضح البيانات المناخية للمبني شكل (5-8).

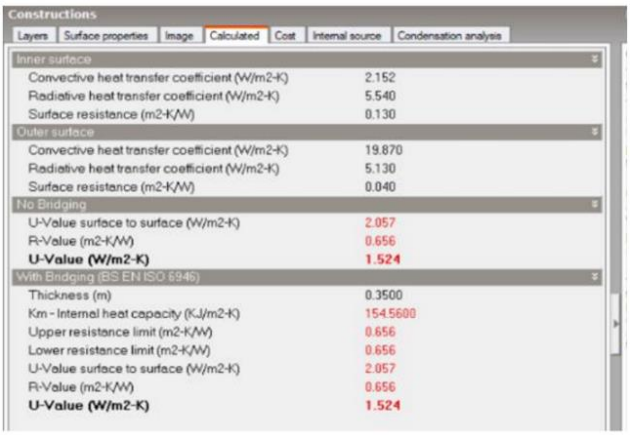
شكل (5-7) يبين مبني الدراسة ببرنامج المحاكاة Design Builder
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج Design Builder



شكل (5-8) يبين تحليل بيانات المناخ لموقع مبني الدراسة ببرنامج المحاكاة Design Builder
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج Design Builder

1/3/5 الغلاف الخارجي للمبني

- تتكون الواجهات من كسوات من الرخام بسمك 2 سم في الواجهات الأربعة مدعمة بكمرات من ألواح الألومنيوم سمك 2 مم، تم إدخال البيانات كاملة علي برنامج المحاكاة Design Builder واختيار أنواع تكسية واجهات كما في شكل (5-9) ليبين الخصائص الفيزيائية لمواد تشطيب واجهات مبني الدراسة
-



شكل (5-9) يبين الخصائص الفيزيائية للجدران الخارجية
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج Design Builder

2/3/5 النوافذ والفتحات

تم استخدام النوافذ الألوميتال في كامل المبني والزجاج المستخدم مفرد شفاف بسمك 6 مم. والزجاج المستخدم فيها هو زجاج شفاف مفرد بسمك 6 ملم. جدول (5-2) يبين الخصائص الفيزيائية للزجاج المستخدم في مبني الدراسة.

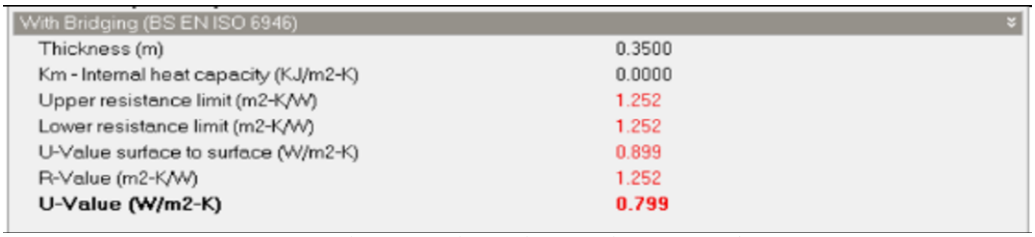
الخاصية	القيمة التقريبية	الوصف
الكثافة	2500 كجم/م^3	يعبر عن كثافة الزجاج ويؤثر على وزنه.
النفاذية الحرارية – U	4.768 واط/ م.ك	نسبة انتقال الحرارة من خلال الزجاج.
معامل التمدد الحراري	9 × 10 كلفن	قياس تمدد الزجاج مع تغير درجة الحرارة.
النفاذية الضوئية	%80 - %90	يحدد كمية الضوء التي يمكن أن تمر عبر الزجاج
معامل الانكسار	1.52	يحدد مدى انحناء الضوء عند مروره عبر الزجاج.

الاعتماد على أجهزة التكييف والإضاءة الصناعية خلال فترات العمل في جميع فراغات المبني (غرف إدارية – قاعات دراسية – قاعات الرسم – معامل الحاسب الآلي) بسبب سوء توجيه الفراغات مما أدي إلي ارتفاع درجة حرارة حيث تصل الحرارة إلي 39 درجة مئوية. التكييف المستخدم في المبنى التكييف المركزي والاسبليت ويستخدم في الفراغات الإدارية والمعامل والتكييف يعمل بارد فقط مع إهمال التهوية بالممرات والحمامات، لذلك يعتبر المبنى لا يحقق تهوية طبيعية بالشكل المطلوب. أما الإضاءة في كامل فراغات المبنى فهي عبارة عن كشافات بكل كشاف 4 لمبات من الفلورسنت كومبكت 80 وات للوحدة.

شكل (5-10) يبين مصادر الإضاءة الصناعية المستخدم في المبني
المصدر: الباحثة

3/3/5 مواد البناء

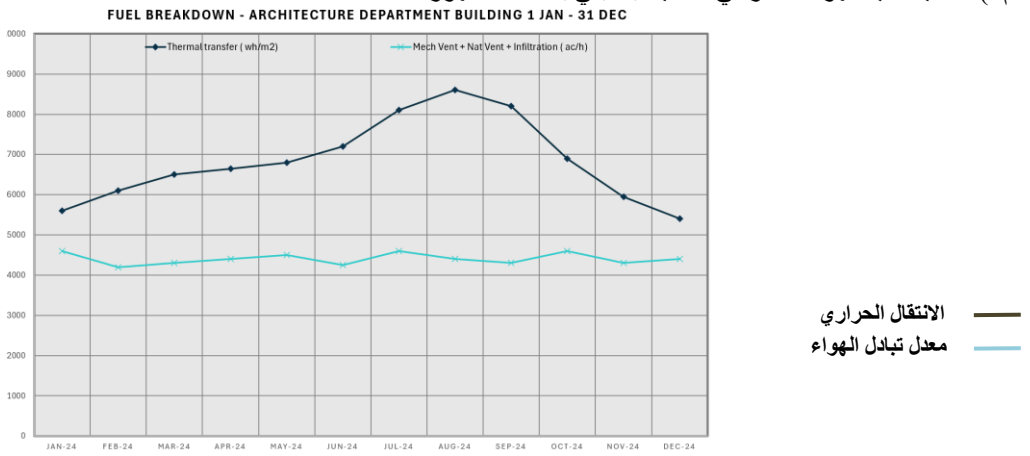
حوائط القاعات مغلفة بالسيراميك وهو مادة عاكسة للصوت وغير لاصقة للأتربة مما يؤثر علي جودة الهواء الداخلي ولا يحتفظ بالحرارة بشكل جيد. سقف المبني خرساني مكون من 7 طبقات بسمك اجمالي 32 سم شامل الخرسانة المسلحة وطبقة عزل البيتومين والعزل الحراري وخرسانة الميول والرمل والمونة الأسمنتية والبلاط السنجابي. ويوضح الشكل التالي (5-11) الخصائص الفيزيائية لمكونات سطح المبنى من خلال برنامج المحاكاة.



شكل (5-11) يبين الخصائص الفيزيائية لطبقات سقف المبني
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج Design Builder

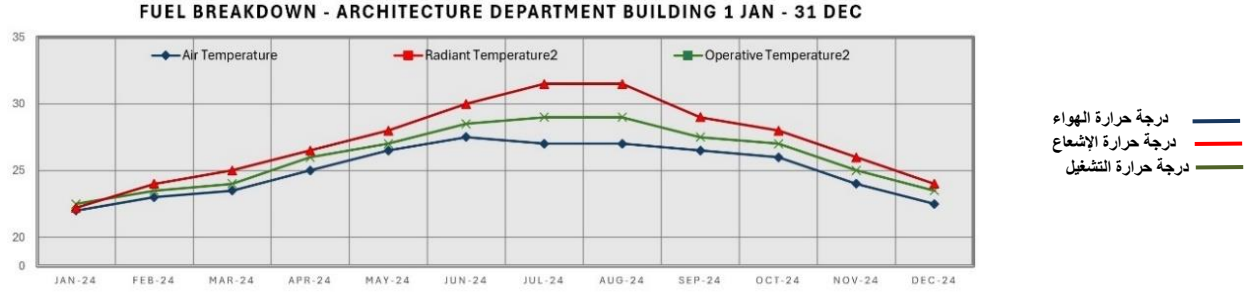
4/3/5 الاكتساب الحراري للمبني

من خلال برنامج المحاكاة تم تسجيل كمية الانتقالات الحرارية الداخلة للمبني طوال العام والشكل التالي (5-12) يبين الإشعاع الشمسي وتقاس (واط / ساعة) خلال شهور السنة حيث وصل إلي الحد الأقصى 8600 وات/الساعة للمتر المربع في شهر أغسطس، بينما تصل إلى الحد الأدنى إلى أقل من 5600وات/الساعة للمتر المربع في الشتاء في شهر يناير، بالإضافة إلي رصد معدل التبادلات الهوائية ويقاس ب (معدل تدفق الهواء / م2) لتحديد كمية الهواء الخارجي المحيط بالمبني باختلاف شهور السنة.



شكل (5-12) يبين معدلات الاشعاع الشمسي ومعدل الهواء الخارجي للمبني من خلال برنامج المحاكاة
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج design builder

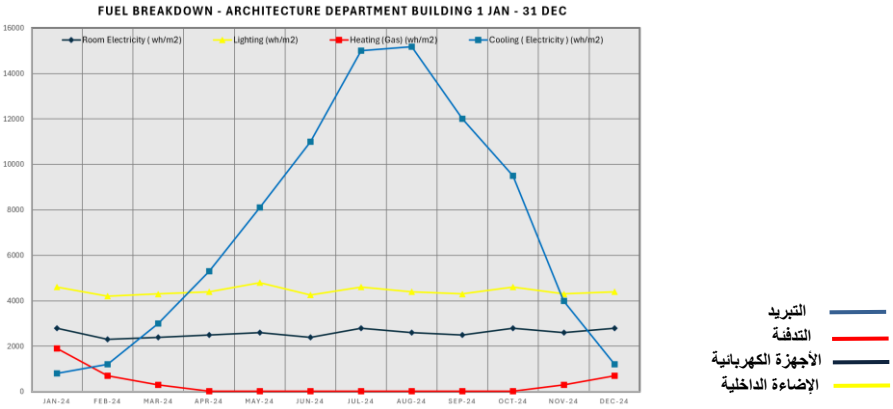
ترتفع درجة الإشعاع الحراري للهواء الداخلي ودرجة حرارة التشغيل بالتوازي على مدار أيام السنة، فتصل إلى الحد الأقصى يتعدى 32 درجة مئوية في شهري يوليو وأغسطس، بينما تصل إلى 22 درجة تقريباً في شهري يناير وديسمبر كما في الشكل التالي.



شكل (5-13) يبين درجات الحرارة للهواء الداخلي للمبني من خلال برنامج المحاكاة
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج design builder

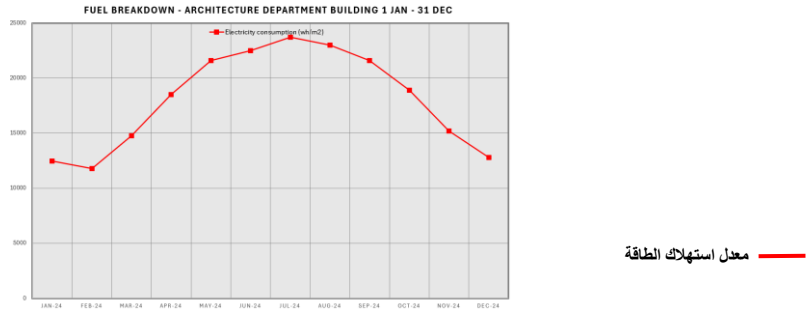
5/3/5 معدل استهلاك الطاقة بالمبني:

بعد محاكاة منهجية التصميم المقترحة على المبني تم استنتاج معدل استهلاك الطاقة في المبني من حيث الإضاءة والأجهزة الكهربائية وأحمال التبريد بالمبني، يصل استهلاك الطاقة في الإضاءة في شهر مايو من للإضاءة 4803 وات/الساعة للمتر المربع، وللأجهزة الكهربائية تصل إلى 2600وات/الساعة للمتر المربع، واستهلاك الطاقة في التبريد يصل إلى 15182.93 وات/الساعة للمتر المربع في شهر أغسطس كما في الشكل التالي.



شكل (5-14) يبين معدل استهلاك الطاقة شهرياً للمبني من خلال برنامج المحاكاة
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج design builder

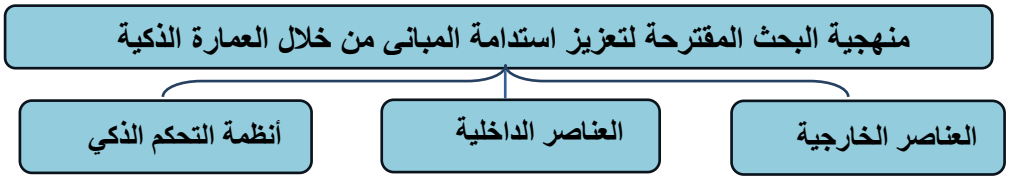
الشكل التالي يوضح نسب استهلاك الطاقة الكهربائية في المبني كاملاً حيث يقدر الاستخدام في شهر يناير 12460وات/ساعة لكل متر مربع، ويصل استهلاك الطاقة في شهر يوليو إلي 23700 وات/ساعة لكل متر مربع، وتقل تدريجياً من شهر أغسطس إلى شهر ديسمبر لتصل إلى 12800 وات/ساعة لكل متر مربع.



شكل (5-15) يبين معدلات استهلاك الطاقة الكهربائية للمبني علي مدار العام من خلال برنامج المحاكاة
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج design builder

4/5 المنهجية المقترحة لتعزيز الاستدامة من خلال العمارة الذكية للمبني:

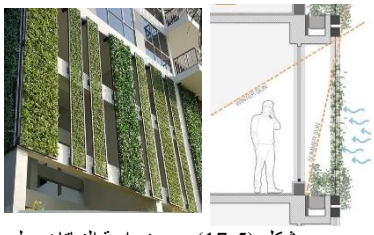
يقترح البحث تطبيق منهجية التصميم الذكي لتحسين أداء المبني لترشيد استهلاك الطاقة وتقليل الاستهلاك السنوي للمبني من خلال ثلاثة محاور أساسية وهما (العناصر الخارجية – العناصر الداخلية – أنظمة التحكم الذكي) سيتم تناولها كما في الشكل التالي:



شكل (5-16) يبين المنهجية المقترحة لترشيد استهلاك الطاقة بالمبني - المصدر: الباحثة

1/4/5 العناصر الخارجية للمبني

أ- استخدام الحوائط والأسقف الذكية الخضراء لعزل الضوضاء الخارجي وتنقية الهواء وتحسن جودة الهواء الداخلي للفراغ وتقلل من درجة الحرارة مما توفر طاقة المبني بالإضافة إلي أنها تضيف مظهر جمالي للمبني.



شكل (5-17) يبين زراعة النباتات علي الحوائط
Source:www.indiamart.com/proddetail/green-elevations-and-facade-(Acessed 12/8/2024)

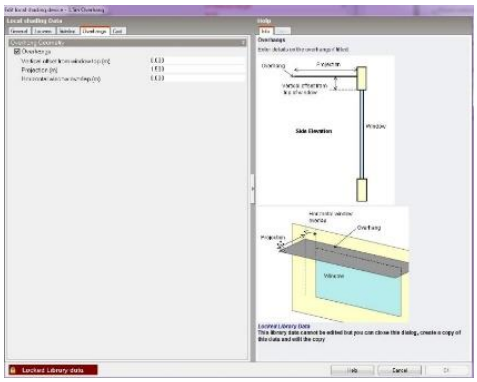
ب- الاعتماد على الزجاج منخفض الانبعاثات **Low-E Glass** المزدوج وهو مكون من طبقتين من الزجاج بينهما فراغ عرضه 13مم من غاز الأرجون، ويتم طلاءه بمادة يطلق عليها **E-Low** تساهم في تقليل اكتساب الحرارة ويسمح بدخول الضوء المرئي ويعمل كعازل للصوت والجدول التالي (5-3) يبين مواصفات الزجاج المستخدم في برنامج المحاكاة (**design builder**).

الخاصية	القيمة التقريبية	الوصف
الكثافة	2500 كجم/م^3	يعبر عن كثافة الزجاج وتأثير وزنة علي المبني
التوصيل الحراري	0.7واط/ م.ك	نسبة انتقال الحرارة من خلال الزجاج.
معامل التمدد الحراري	7 × 10 كلفن	قياس تمدد الزجاج مع تغير درجة الحرارة.
النفاذية الضوئية	%70 - %80	يحدد كمية الضوء التي يمكن أن تمر عبر الزجاج
معامل الانكسار	1.52	يحدد مدى انحناء الضوء عند مروره عبر الزجاج.

ج- استخدام الغلاف المزدوج الذكي**Double skin facade** وهو مكون من طبقتين من الزجاج وبينهما فراغ هوائي بسمك 25سم. يعمل علي التهوية الطبيعية، والتحكم في اكتساب وفقد الطاقة الحرارية الشمسية، حيث ينتقل الهواء من أسفل فتحات الغلاف إلي أعلي ليعمل علي التدفئة شتاءاً.

د- استخدام النوافذ والكاسرات الشمسية الذكية المتحكم بها أوتوماتيكيا تعتمد علي الزجاج **(Electrochromic Glass)**، يتم تزويدها بأجهزة استشعار للتحكم التلقائي. تعمل على ضبط شفافية الزجاج تلقائياً بناءً على شدة الضوء أو درجة الحرارة.

ه- وضع كاسرات للشمس الرأسية والأفقية علي الواجهات الجنوبية **Louver,1 +1m projection ،m overhangs and sidelines**. لتقليل دخول الإشعاع الشمسي مع توفير الإضاءة الطبيعية، شكل (5-18) يبين الكاسرة الشمسية المستخدمة ببرنامج المحاكاة. **Design Builder**



شكل (5-18) يبين أنواع الكاسرات الشمسية المستخدمة في المبني
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج Design Builder

2/4/5 أنظمة التحكم الذكي في المبني

1/2/4/5 التحكم الذكي في التدفئة والتهوية.

- استخدام أجهزة الاستشعار الذكية لدرجة الحرارة والرطوبة حيث تساعد في ضبط التدفئة والتهوية بناءً على درجات الحرارة الخارجية ومستويات الرطوبة، ما يساعد في تحقيق بيئة مريحة.

- التحكم التلقائي من خلال ربط أجهزة الاستشعار بدرجة الحرارة لتحديد معدلات تدفق الهواء وضبطها تلقائيًا حسب الحاجة.

2/2/4/5 أنظمة التحكم الذكي في الإضاءة والنوافذ.

- اعتمدت الإضاءة في المبني على أجهزة الاستشعار الذكية التي تعمل علي ضبط مستوي الإضاءة علي مستويات الإشغال بقياس مستوي الضوء الطبيعي مما يساعد علي الحفاظ علي الطاقة بشكل أكبر.
- التحكم التلقائي بالتهوية حيث تتيح هذه النوافذ التحكم الذكي في التهوية بناءً على مستوى الرطوبة وجودة الهواء داخل المبنى، مما يضمن بيئة صحية ويوفر في استهلاك الطاقة.

3/2/4/5 أنظمة التحكم الذكي في استخدام المياه

- استخدام أجهزة الاستشعار الذكي للكشف عن تسريب المياه في الوقت الفعلي لمنع فقدان المياه وتفادي أضرار هذا التلف
- استخدام أنظمة الري الذكية وذلك من خلال الاعتماد علي أجهزة استشعار لمراقبة أحوال الطقس لتحسين مواعيد الري للنباتات لتقليل هدر المياه.

4/2/4/5 أنظمة إدارة الطاقة في تشغيل المبنى.

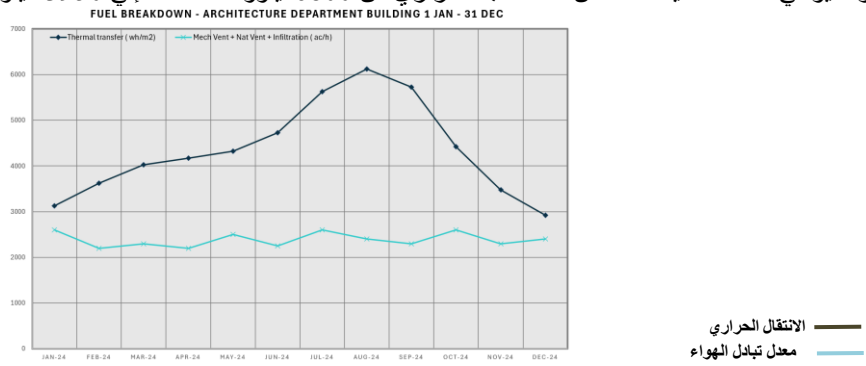
نظام إدارة المبنى (Building Management System) يتيح التحكم الفعّال في عدة جوانب من عمل المبنى، ومثال علي هذه النظم:

- يسهل مراقبة استهلاك الطاقة في المبنى بشكل فعّال. يمكن تحسين أداء أنظمة التدفئة والتكييف والإضاءة لتحقيق أقصى كفاءة.
- التحكم في الإضاءة تلقائيًا وفقًا للظروف البيئية واحتياجات الفراغ.
- التحكم في التكييف وتوزيع الهواء لتحسين جودة الهواء داخل المبنى وضبط درجات الحرارة.
- يعمل علي تكامل نظام الأمان، مثل كاميرات المراقبة وأنظمة الإنذار وأنظمة التحكم في الوصول.
- يعمل علي مراقبة حالة المعدات والأنظمة داخل المبنى، مما يسمح بالكشف المبكر وتحسين جدول الصيانة.
- تكامل نظام إدارة الفعاليات مع BMS لتحديد احتياجات الطاقة والأمان والإضاءة والتكييف أثناء الفعاليات الخاصة.
- يشمل BMS نظامًا للاتصالات الداخلية والخارجية لتسهيل التواصل داخل المبنى ومع الجهات الخارجية.

5/5 نتائج تطبيق المنهجية المقترحة باستخدام برنامج Design Builder:

1/5/5 الاكتساب الحراري لعناصر الغلاف الخارجي للمبني

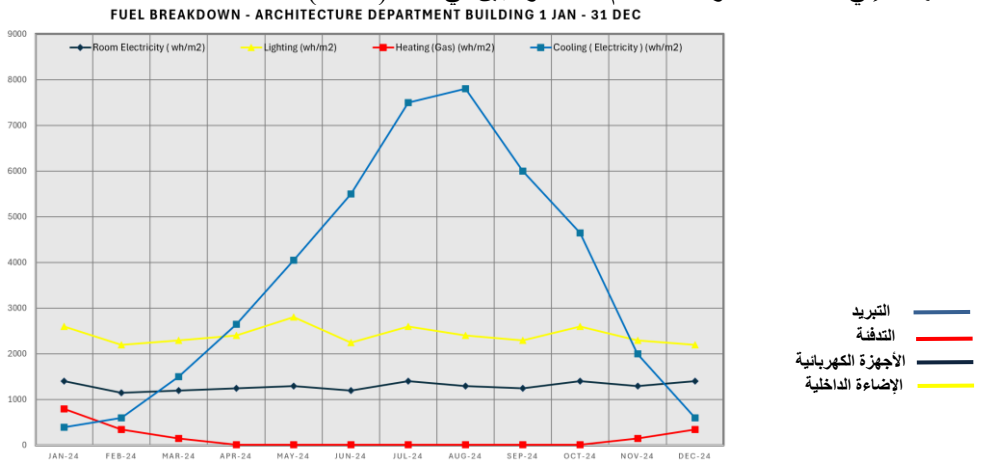
بعد محاكاة التصميم المقترح بالبرنامج المستخدم (Design builder) انخفض نسبة الاكتساب الحراري لحوائط الغلاف الخارجي للمبني بنسبة تزيد عن 55% حيث في فصل الشتاء في شهر يناير انخفض الاكتساب الحراري من 5600كيلووات/الساعة إلى 3125 كيلووات/الساعة، وفي شهر مايو في فصل الصيف انخفض الاكتساب الحراري من 6800كيلووات/الساعة إلي 3950 كيلووات/الساعة كما في الشكل التالي.



شكل (5- 19) المقارنة بين الاكتساب الحراري شهرياً للوضع الحالي والتصميم المقترح
المصدر: الباحثة

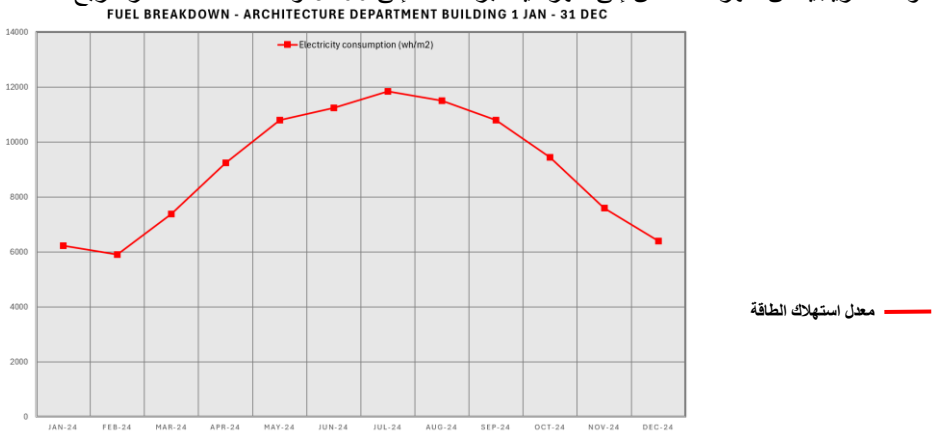
2/5/5 معدل استهلاك الطاقة للمبني

انخفضت معدلات الاستهلاك بنسبة تتعدي 52% من الاستهلاك الحالي للإضاءة الصناعية حيث انخفضت نسبة الاستهلاك إلي 2803 وات.ساعة/م2 في شهر مايو ، وفي فصل الصيف في شهر أغسطس انخفض استهلاك الطاقة في التبريد إلي 7800 وات.ساعة/م2 بعد ما كا يصل معدل الاستهلاك إلي 15182.93 وات.ساعة/م2 كما هو مبين في شكل (5- 20).



شكل (5-20) معدلات الاستهلاك في الإضاءة الصناعية في التصميم المقترح
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج Design builder

الشكل التالي (5-21) يوضح نسبة استهلاك المبني للطاقة بعد تطبيق المنهجية المقترحة علي برنامج المحاكاة (Design builder)، حيث تم استنتاج إجمالي الاستهلاك السنوي للطاقة الكهربائية الكلية للمبني وتشمل (الإضاءة الصناعية – المعدات الكهربائية – أحمال التبريد) يقل حوالي 52% حيث يصل استهلاك الطاقة في شهر يناير 6230وات/ساعة لكل متر مربع، ويصل استهلاك الطاقة في شهر يوليو إلي 11850 وات/ساعة لكل متر مربع، وتقل تدريجياً من شهر أغسطس إلى شهر ديسمبر لتصل إلى 6400 وات/ساعة لكل متر مربع.



شكل (5-21) يبين استهلاك الطاقة السنوي لمبني الدراسة بعد تطبيق المنهجية المقترحة
المصدر: الباحثة بواسطة برنامج Design builder

6- النتائج والتوصيات

اولاً: نتائج البحث

على ضوء محاور الدراسة يمكن استخلاص بعض النتائج ذات الصلة بتعزيز الاستدامة في المباني التعليمة بتطوير تصميم الفراغات الجامعية من خلال تطبيق تقنيات الذكاء الموضحة في التقنيات التالية:

- يؤثر تطور تقنيات الذكاء على الفراغات الجامعية بشكل عام ويسهم بشكل فعال في تطوير العملية التعليمية.
- إن منطق العلاقة بين الاستدامة وتقنيات النظام الذكي يكمن في التكامل والتوافق بينهم، وتمثل الثورة التكنولوجية المتمثلة في تقنيات الذكاء تحدياً جديداً في إيجاد لغة تصميمية تعكس استجابة تصميم الفراغ التعليمي لتقنيات النظام.
- ساهمت التقنيات الذكية في الغلاف الخارجي لرفع كفاءته لتشمل الأغلفة الديناميكية والكاسرات المتحركة والثابتة، واستخدام الأسقف الذكية المتحركة القابلة للفتح لتساهم في التحكم في التهوية والإضاءة الطبيعية داخل الفراغ مما يؤثر علي ترشيد استهلاك الطاقة.
- استخدام أنظمة التحكم الذكية في التبريد والتدفئة والتهوية في المباني المعتمدة علي معايير التصميم المستدام عامل أساسي في ترشيد استهلاك الطاقة بالمبني.
- الاستغناء عن كثير من الأدوات التقليدية وتطبيق تقنيات داخل الفراغات أمكن استخدام الفراغ الواحد في عدة نشاطات وذلك لسهولة تقسيمه لعدة فراغات باستخدام التقنيات المختلفة للحوائط.
- استخدام تقنيات الذكاء الافتراضية ساعد الطلاب داخل الفراغ على زيادة وتحسين القدرة التخيلية لدى الطالب، حيث أصبح لديه القدرة على التفاعل والتواصل مع المعلومة بصورة ثلاثية الأبعاد
- تطبيق التقنيات الذكية ساهم في توفير الراحة الحرارية عند وضعها عند مسطح الفتحات للفراغات ومعالجتها لمحددات المناخ المحيط بالفراغ.
- إن منطق العلاقة بين الاستدامة وتقنيات النظام الذكي يكمن في التكامل والتوافق بينهم، وتمثل الثورة التكنولوجية المتمثلة في تقنيات الذكاء تحدياً جديداً في إيجاد لغة تصميمية تعكس استجابة تصميم الفراغ التعليمي لتقنيات النظام.

ثانياً: نتائج الدراسة التطبيقية

من خلال تطبيق الاستراتيجية المقترحة أمكن ترشيد استهلاك 52% من الاستهلاك الكلي للطاقة شهرياً، ذلك من خلال استخدام برامج المحاكاة في توضيح الفكرة المقترحة بشكل مناسب وتحليل الأداء الحراري للمبني ومعدل استهلاك الطاقة الكهربائية على مدار العام. تم تحقيق معدلات الراحة الحرارية بانخفاض الاكتساب الحراري للمبني وانخفاض نسبة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وعدم استخدام أجهزة التبريد والتكييف HVAC وتقليل استهلاك الإضاءة الصناعية مما أدي إلي تخفيض معدل استهلاك الطاقة للمبني علي مدار العام.

المباني التعليمية الذكية هي المباني التي تتأثر من التكنولوجيا والأنظمة الذكية لتحسين تجربة التعليم والاستدامة، يتضمن تصميم المباني التعليمية الذكية العديد من العوامل المؤثرة، مثل:

1. **التكنولوجيا** :توفير شبكات Wi-Fi قوية، وتجهيز الفصول بالشاشات التفاعلية والأجهزة اللوحية للطلاب والمعلمين.
2. **الإضاءة والتهوية الذكية** :توفير أنظمة إضاءة وتهوية تعمل بالاستشعار لتحسين الراحة وكفاءة الطاقة.
3. **إدارة الطاقة** :استخدام أنظمة التحكم الذكية للتحكم في استهلاك الطاقة وتحسين الكفاءة.
4. **التصميم البيئي** :تكامل العناصر البيئية مثل الطاقة الشمسية وإعادة التدوير في تصميم المبنى.

ثالثا: التوصيات

- ضرورة امتلاك الثقافة الذكية من قبل جميع مجموعات اصحاب القرار في بيئة التعلم الذكية الطلاب، هيئة التدريس، الفريق الإداري، أعضاء فريق الدعم حتى يتمكنوا من المشاركة الفعالة في العملية التعليمية.
- ضرورة إعطاء اهتمام أكبر من قبل الوزارة لتوظيف تكنولوجيا المعلومات والاتصالات مع العملية التعليمية، وإجراء الدراسات من قبل الباحثين نحو مدى توظيف تقنيات الذكاء في الجانب التعليمي بشكل أكبر.
- العمل على المزيد من البحوث والتطوير ودعم الدراسات المستقبلية والأبحاث لفهم دور العمارة الذكية ومدى تأثيرها على تصميم المبنى المستدام.
- العمل على تحويل جميع الجامعات المصرية إلى جامعات ذكية نظراً لفاعليتها وقدرتها على توصيل المعلومات داخل الفراغات المختلفة للجامعة بكل سهولة.
- أهمية توفير وإتاحة أنظمة الاتصالات وشبكات المعلومات بالفراغات التعليمية الجامعية بأنواعها المختلفة.
- عمل اساليب لتقييم المباني الذكية على اساس بيئي لمعرفة مدى تأثيرها بدقه على البيئة المحيطة والحفاظ عليها.
- عمل توعية على مستوى المعماريين بالتكنولوجيا الحديثة بشكل عام وبالعمارة الذكية بشكل خاص، توسيع فكرتها على مستوى محلى لأهميتها والاستفادة منها.
- خفض التكلفة العامة لتطبيق تقنيات العمارة الذكية ويشمل ذلك تكلفة برامج التدريب، والأجهزة، ونظم التشغيل، وغيرها.
- عمل دراسات حول الانظمة الذكية لتعمل معا بشكل متكامل ليصبح المبنى مثل العقل البشرى قادر على التفكير واتخاذ القرارات بناءا على المتغيرات المحيطة به.
- عمل أكواد واسس محدده كمعيار للمباني الذكية حتى يمكن أتباعها عند تصميم اى مبنى ذكى بشكل عام و مبنى تعليمي ذكي بشكل خاص
- تعزيز دور الدولة في حث الشعب علي التعامل بشكل صديق للبيئة من خلال البرامج والدورات التدريبية للتشجيع علي أهمية الحفاظ علي البيئة.

المراجع:

- إبراهيم، د. أحمد فتحي (2012). "دور النظم ومواد البناء في تحقيق الاعتبارات الاقتصادية والبيئية للاستدامة في المسكن الميسر"، ورقة بحثية لمؤتمر التقنية والعمران.
- محمد أسامة محمد رسمي (2011), "دراسة لتحويل المدارس إلي مدارس مستدامة، رسالة ماجستير، كلية هندسة، جامعة القاهرة، صـــ48.
- عبد الحميد, نادية عبد العزيز(2018) " الهيكل الإنشائي كأداة لتعزيز الأداء المستدام بالمباني العالية" رسالة ماجستير، جامعة حلوان ، صـــ 17-16
- د. يونس محمود محمد سليم، (2018),"أثر العناصر التصميمية الخارجية في تحديد مستويات الإضاءة الطبيعية الساقطة على الشبابيك"، الجامعة التكنولوجية – قسم الهندسة المعمارية, صـــ
- فهمي, محمد حسن ,(2012)، "جدلية تشكيل الغلاف الخارجي للمبني من منظور الراحة الحرارية للفراغات المعمارية"، رسالة ماجستير، كلية الهندسة المعمارية, جامعة القاهرة، صـــ 14.
- مني عوض الوزير، "دور الواجهات في تحقيق الراحة الحرارية داخل المباني الإدارية في مصر"، رسالة دكتوراة، قسم عمارة، كلية الفنون الجميلة، جامعة الإسكندرية، 2011، صـــ48
- العدوي. مني السعيد، (2019)،"دور الأنظمة التكنولوجية السالبة في دعم تطبيق العمارة الخضراء"، ورقة بحثية منشورة، مجلة كليه الهندسة بشبرا.
- محمد بن سعد ال حمود, (2018), "ترشيد استهلاك الطاقة: مبدأديني ومطلب وطني", قسم الهندسة المعمارية – جامعة الملك فهد للبترول والمعادن – بحث منشور صـــ8
- ماجدة بدر أحمد إبراهيم،2015، دراسة تحليلية لتقييم الأداء البيئي للمباني الذكية، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، صـــ 23
- ماجدة بدر أحمد إبراهيم، (2019). "العمارة الذكية - كمدخل لتطبيق التطور التكنولوجي في التحكم البيئي وترشيد استهلاك الطاقة بالمباني", دراسة تحليلية لتقييم الأداء البيئي للمباني الذكية"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، مصر, صـــ56.
- نيرفانا أسامة حنفي، (2011). "أسس و معايير تصميم المباني الذكية"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، مصر, صـــ 29.
- مني صبح عبد الفتاح، (2018), "التأثير التقني والجمالي لتطبيقات النانوتكنولوجي علي تصميم الواجهات المعمارية"، بحث منشور، مجلة العمارة والفنون، مجلد 2 ، عدد 11، صـــ 70.
- أسماء فاضل،2018, "العمارة الذكية وانعكاسها التكنولوجي علي التصميم، دراسة حالة المباني الادارية، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة القاهرة، صـــ45.
- Mohammad Arif Kamal, “A Study on Shading of Buildings as a Preventive Measure for Passive Cooling and Energy Conservation in Building”, International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS, December 2013, Vol:10, P19, http://www.ijens.org/102406-5252%IJCEE.pdf Accessed 8-7-2014.
- Birgit Krausse, Malcolm Cook, Kevin Lomas,(2018), ” Performance Monitoring of a Naturally Ventilated City Centre Library,” PLEA20016-the 23rd Conference on passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland,p 23

- ◌Awadallah, Mohamed ali, (2016), "Green Building Guideline of Jordan", paper, Joran International Energy Conference-Aman, p 33.
- Elattar, Sherif Mohamaed Sabry, (2019), "Towards advanced building technology role through Appling competitive building materials and systems", Faculty of engineering, Fayoum university conference on technology & Sustainability in the Built Environment, p 23
- Boubekri. Mohamed, 2014, "Daylight Design: Planning Strategies and Best Practice Solution", B
- Fartadi-scurtu. Loana, (2015)," Daylight Planning:in Denmark's residential" PH.D. in architectural Technology and Construction Management, Lillebaelt academy of Professional Higer Education, Denmark.
- Sinpoli, J. (2019). Smart building systems for architects. Owners and builders, Oxford, Uk: Elsevier press An imprint of Elsevier.p33.
- El Attar, S. (2013). Smart structures and material technologies in architecture applications. Academic Journals, 8(31),1512-1521.
- Addington, M & Schodeck, D. (2014), "Smart material and Technologies for the architecture and design professions", Architecture Press, an imprint of Elsevier, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, UK. P 30
- Nitesh Dogne, Ashish Choudhary, (2014), "Smart Construction Materials and Techniques", Published paper, National conference on Alternative and innovative construction Materials and Techniques, p.24.
- Charlotte Lelieveld, (2013), "Smart Materials For the Realization of An adaptive Building Component", Phd Thsis, Faculty of Architecture, Delft university, P 79
- Parthenopoulou, N. (2017). Sustainability through Intelligence in Buildings. International Journal of Engineering Research and Applications. P17,18.
- Gyeong Yun, K. C. (2014). The influence of shading control strategies on the visual comfort and energy demand of office buildings. Energy Build.p70.
- Parthenopoulou, N. (2017). Sustainability through Intelligence in Buildings. International Journal of Engineering Research and Applications. P25