Journal of Al-Azhar University Engineering Sector

Vol. 17, No. 63, April 2022, 765 - 774

THE ROLE OF RESPONSIVE FACADES AS A HIGH-TECH IN ZERO CARBON BUILDINGS

Heba Abdel Salam Youssef [1*], Tarek Saad El-Hinnawy [2], Mahmoud Fathy Ahmed [2]

[1] Department of Architecture, Pyramids Higher Institute of Engineering and Technology

[2] Department of Architecture, Faculty of Engineering, Shoubra , Benha University

*Corresponding author's E-mail: enghebayousef19@gmail .com

Received :22 Nov. 2021 Accepted: 28 Dec. 2021

Abstract:

The current century is characterized by a great acceleration in all aspects of life, which had a tangible impact on the progress of humanity in general and the acceleration of science and technology in particular. It allows providing solutions to the problems that the building sector suffers from, such as carbon emissions during the life cycle of buildings, especially during the operation phase, as well as the waste of energy consumption, as it is an influencing factor in the issuance of emissions indirectly, while not positively exploiting the surrounding environment resources. This coincided with high technology and its techniques that gave great flexibility to the architectural thought and allowed new horizons that were not preceded before, such as technologies that provide response and adaptation for buildings and their ability to simulate the surrounding nature as if it were a biological organism that can adapt and interact with variables. This prompted the research towards studying and scrutinizing whether it was possible, through these responsive technical data as one of the high-tech outputs, to achieve reducing carbon emissions from the operating stage of buildings, as a goal towards achieving zero carbon emissions in what is known as zero-carbon buildings, through the study and analysis of buildings The administrative headquarters of the Swiss Insurance Company and to identify the most important technologies and responsive systems used and the extent of their achievement to reduce the rate of energy consumption and thus carbon emissions. The research concludes that some of the responsive technologies that can be applied and benefited from as one of the technical strategies used in zero-carbon buildings.

Keywords: Zero Carbon Buildings - Responsive Facades - High Tech.

دور الأغلفــة المـستـجـيبة كتقنيـة فائقــة في المبـاني عديمـة الكـربـون

هبة عبدالسلام يوسف[١]*، طـارق سعد الحناوي[٢] ، محمـود فتحـي أحمـد [٣]

[١] قسم الهندسة المعمارية – معهد الأهرامات العالي للهندسة والتكنولوجيا

[٢] قسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها

* البريد الإلكتروني للمؤلف الرئيسي: enghebayousef19@gmail .com

الملخص :

يتميز القرن الحالي بالتسارع الكبير في كافة مناحي الحياة مما كان له الأثر الملموس في تقدم البشرية بشكل عام وتسارع العلوم والتكنولوجيا بشكل خاص ، ولقد كان لهذا التطور مردوده علي قطاع المباني بشكل واضح فإن الكثير من الدراسات والأبحاث المعمارية في الأونة الأخيرة تسعي لإيجاد أساليب تقنية جديدة تسمح بتقديم حلول للمشاكل التي يعاني منها قطاع المباني مثل الإنبعاثات الكربونية الصادرة خلال دورة حياة المباني ولاسيما خلال مرحلة التشغيل ، كذلك هدر الإستهلاك للطاقة حيث أنها عامل مؤثر في إصدار الإنبعاثات بشكل غير مباشر مع عدم الإستغلال لموارد البيئة المحيطة بشكل إيجابي . ولقد تزامن ذلك مع التكنولوجيا الفائقة وتقنياتها التي أعطت مرونة كبيرة للفكر المعماري وسمحت لأفاقا جديدة لم تكن مسبقة من قبل مثل التقنيات التي توفر الإستجابة والتكيف للمباني وقدرتها علي محاكاة الطبيعة المحيطة كما لو كانت كائن بيولوجي يمكنه التأقلم والتفاعل مع المتغيرات . وهذا ما أستدعي البحث نحو الدراسة والتدقيق ما إن كان يمكن من خلال تلك المعطيات التقنية المستجيبة كأحد مخرجات التكنولوجيا الفائقة تحقيق خفض الإنبعاثات الكربونية ناتج مرحلة التشغيل للمباني وذلك كهدف نحو تحقيق إنعدام الإنبعاث الكربونية فيما يعرف بالمباني عديمة الكربون ، وذلك من خلال الدراسة والتحليل لمبني شركة The Edge والتعرف علي أهم التقنيات والأنظمة المستجيبة المستخدمة ومدي تحقيقها لخفض معدل الإستهلاك للطاقة وبالتالي الإنبعاثات الكربونية . وينتهي البحث إلي التعرف علي بعض التقنيات المستجيبة التي يمكن تطبيقها والإستفادة منها كأحد الإستراتيجيات التقنية المستخدمة بالمباني عديمة الكربون .

الكلمات المفتاحية : المباني عديمة الكربون – الواجهات المستجيبة – التقنيات الفائقة .

١- المقدمة :

يتميز القرن الحادي والعشرون بالتقدم التكنولوجي الملحوظ خلال السنوات الأخيرة ، والذي كان له مردود علي كافة الجوانب المجتمعية علي المستويين التطبيقي والتجريبي . وقد كان لقطاع المباني حظ وفير من هذا التقدم التكنولوجي حيث غطي العديد من متطلبات القطاع المعماري حتي أصبحت العناصر التكنولوجية هامة وفعالة في المباني فيما يعرف بالتقنيات الفائقة ، والتي قد أعطت الحرية وأطلقت العنان للعاملين بمجال الهندسة المعمارية نحو البحث والدراسة للإستفادة من إمكانية توظيف تلك التقنيات بحيث تعطي فاعلية وتكيف مع المحيط الخارجي للمبني كما تمكن المبني أن يحاكي الطبيعة والإستجابة للتغيرات البيئية الطارئة ، وإعتبار ذلك خطوة أساسية نحو مشاركة المباني في التنمية المستدامة من خلال خفض معدل الإنبعاثات الكربونية الصادرة عنها . والتي تم التأكيد والدعوة إليها من خلال إتفاقية باريس لعام ٢٠١٥م نحو خفض الإنبعاث لغازات الصوبة الزجاجية والتي من ضمنها غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، وقد حثت الإتفاقية الدول المشاركة علي البحث عن السبل والإستراتيجات التي يمكن أن تحقق هذا الخفض للإنبعاثات الكربونية في كافة القطاعات والتي من ضمنها قطاع المباني [١].

كما يعتبر قطاع المباني أحد أهم المصادر للإنبعاثات الكربونية بنسبة تمثل ٤٣٪ من إجمالي الإنبعاثات علي مستوي العالم [١]، مما أدي إلي البحث والدراسة نحو إيجاد السبل والإستراتيجيات بقطاع المباني التي تتميز بالإستخدام للتكنولوجيا الفائقة ، وذلك للتعرف عن مدي إمكانية تفاعل وإستجابة أنظمة واجهات المباني مع التغيرات المناخية الطارئة للبيئة الخارجية ، أو للمتغيرات البيئية للفراغ الداخلي مثل (مستوي درجة حرارة – الإنبعاثات الكربونية – الرطوبة) أو متطلبات المستخدمين للفراغ ومدي إمكانية مشاركتهم في هذا النظام المستجيب للوصول إلي إنعدام الكربون بالمباني وهذا يعرف بالمباني عديمة الكربون Zero Carbon-Building (ZCB).

٢- الإنبعاثات الكربونية وتأثيرها على التغيرات المناخية :

شهدت الأونة الأخيرة أزمة بيئية علي مستوي العالم هي تغير المناخ ، حيث أن تغير الأنظمة البيئية وتلوث البيئة أصبح الشغل الشاغل للمجتمع الدولي ، ومن أهم ظواهر تغير المناخ هي ظاهرة "الإحتباس الحراري"Global Warming والتي قد تجلب الكوارث للإنسان مما يهدد طبيعة الحياة علي الإرض وضياع حق الأجيال القادمة في العيش ،حيث تتأثر تلك الظاهرة بمستوي إنبعاث غازات الصوبة الزجاجية Green House Gases والتي تشتمل علي مجموعة من الغازات من ضمنها غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 [٢]. كما تضع إحتمالية الإحترار العالمي بمعدل يصل من +٠,٥ درجة مئوية إلي +١,٣ درجة مئوية علي مدار العام ،

الشكل (١) تأثير الإنبعاثات علي الإتزان البيئي المصدر : Chau C, Leung T, Ng W. A review on life cycle assessment

بالإضافة الي زيادة درجة الحرارة بمقدار ٠,٨ درجة مئوية علي مدار العام ، وهذا ملاحظ بالفعل خلال الفترة الحالية متمثل في إرتفاع درجة الحرارة عن المعدل الطبيعي خلال فترة الصيف إلي جانب زيادة الفترة الموسمية للصيف عن المعدل المعتاد عليه ، وكذلك زيادة الرطوبة في الجو خلال فترة الشتاء [٣].

وعلي أثر هذا أنعقدت العديد من المؤتمرات الدولية التي أهتمت بالبيئة وقضاياها ، فقد أشارت أحدث تقارير "الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ" IPCC الي أنه منذ عام ١٩٧٠م قد تضاعف إنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 بسبب الإحتراق العالمي للوقود الأحفوري والأنشطة المستهلكة للطاقة في كافة القطاعات [٤]، ويعتبر قطاع المباني مساهم رئيسي في إنبعاثات الكربون سواء أثناء عمليات البناء أو بعد التشغيل ، حيث يمثل إستهلاك الطاقة في المباني حوالي ثلث إستخدام الطاقة في جميع أنحاء العالم .[٥]

ومن خلال الدراسات والأبحاث السابقة لرصد مصادر الإنبعاثات الكربونية من المباني خلال مرحلة التشغيل ، أتضح أن تلك الإنبعاثات ناتج الإستهلاك للطاقة التشغيلية للمبني والتي تحقيق متطلبات تلبية الراحة الحرارية لمستخدمي المبني ، وقد تم تصنيف المؤثرات في معدل الإنبعاثات التشغيلية للمباني **الي نوعين من المؤثرات وهما :**[٦]

أ- **المؤثرات الغير مباشرة للإنبعاثات :** هي المؤثرات التي ينتج عنها الإنبعاثات الكربونية ناتج تشغيلها بالمباني مثل الطاقة التشغيلية للمبني بكافة متطلباته والتي قد تستهلك في صورة طاقة كهربائية ، والإنبعاثات الصادرة عن معدات تدفئة المبني ميكانيكيا وذلك بالمباني المكيفة .

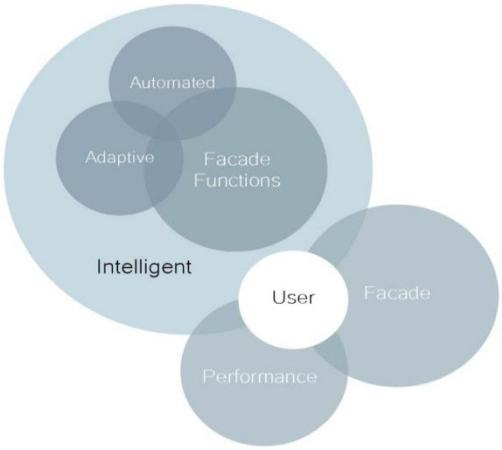
ب- **المؤثرات المباشرة للإنبعاثات :** صنفت تلك المؤثرات إلي نوعان أحدهما منتج للإنبعاثات وهي مواد البناء والنهو ومدي محتواها من الكربون الكامن ، والمؤثر الأخر هو عدم توافر العناصر التي تساعد علي إمتصاص تلك الغازات مثل نقص معدل المسطحات الخضراء وعدم الإهتمام بتوافرها بالمباني .

تسعي الدراسة نحو تمكين كافة عناصر المبني ولاسيما التقنيات الفائقة كأحد التطبيقات التكنولوجية بالمباني ، والتي قد تسمح بتخفيض تدريجي في الطلب علي الطاقة بالمباني وبالتالي خفض الإنبعاثات الكربونية ، بحيث تمكن المبني من التكيف والإستجابة للتغيرات البيئية المحيطة بالمبني للإستفادة منها في توفير الطاقة المستهلكة داخل المبني حيث أنها تعتمد علي الأجهزة الميكانيكية فقط ، ولكن ما يسعي إليه البحث هو تحقيق التكامل بين البيئة الخارجية للمبني ومتطلبات البيئة الداخلية من خلال التطبيق التقني المستجيب قدر الإمكان .

٣- الواجهات المستجيبة في المباني عديمة الكربون

:Responsive Facades in Zero Carbon Buildings

تعتمد إستدامة المباني عديمة الكربون علي ثلاث جوانب أساسية ، بداية من الجانب المجتمعي حيث أن هناك حاجة لتحقيق مستوي عالي من رفاهية المستخدم وجودة البيئة الداخلية ، ثم الجانب البيئي وهو الحاجة الي تقليل إستهلاك الطاقة التشغيلية في المباني وخفض الإنبعاثات الكربونية مع تحديد الأثار البيئية المرتبطة بالمباني ، حيث يساعد دمج تقنيات التصميم السلبي للواجهات والأنظمة النشطة في غلاف المبني "الواجهات المستجيبة" في إعطاء إمكانيات عالية لتحسين ظروف البيئة الداخلية وتقليل التأثير البيئي للمبني علي البيئة ، وكذلك يهتم الجانب الأخير بتوافر سمات الذكاء في الواجهات حيث يجب أن تتبني أغلفة المباني المستجيبة علي العناصر التي تمنكها من التفاعل والإستجابة بفاعلية مع التغيرات المحيطة .[٧]



الشكل (٢) خصائص الواجهات المستجيبة .
المصدر : Böke et al., 2018

٣-١ خصائص الواجهات المستجيبة :

يعتبر من أهم خصائص الواجهات المستجيبة التكيف مع التغيرات البيئية من خلال قدرتها علي تغيير بعض من وظائفها أو ميزاتها أو سلوكها بشكل متكرر وعسكي بمرور الوقت علي مدار اليوم ، إما بشكل سلبي أو نشط وذلك إستجابة لمتطلبات الأداء المتغيرة بهدف تحقيق تحسين أداء الطاقة داخل المبني مع تحقيق الراحة للمستخدمين .[٨]

يمكن تلبية خصائص الواجهات المستجيبة من خلال الأنظمة الديناميكية ومن أمثلتها "أجهزة المستشعرات" sensors و"مكونات النظام" system components و"المواد الذكية" smart materials ، حتي تساهم في تحقيق خفض التأثير للمبني علي البيئة . **فهي قادرة علي إدارة تدفقات الطاقة عن طريق تغيير الخصائص من خلال ما يلي** : [٩]

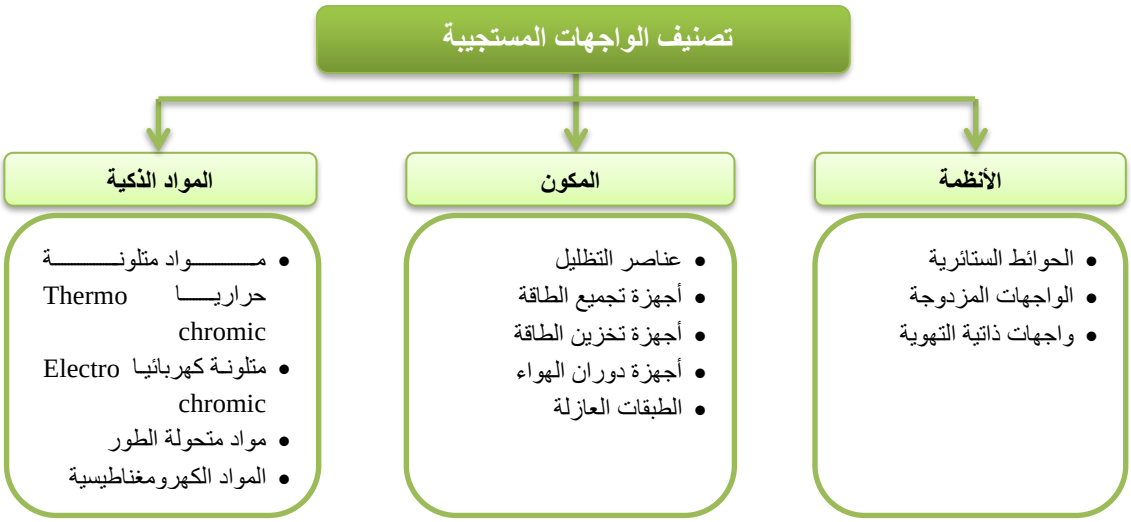
أ- أنظمة التحكم (يدوي أو تلقائي) .
ب- تغيير خصائص العناصر الثابتة للمواد الذكية .
ت- الأجزاء المتحركة مثل الكاسرات والنوافذ .

٣-٢ تصنيف تقنيات الواجهات المستجيبة :

يوجد العديد من التصنيفات للواجهات المستجيبة والتي تم تطويرها من مصادر مختلفة تبعا للتقنيات المتاحة للتطبيق ، والكثير منها يتداخل في التصنيف نظرا للإستجابة المطلوبة منها ، ومن الأمثلة علي ذلك التصنيف الذي أستند إلي الإطار التعاوني Cost Action TU 1403 ، تم من خلاله إجراء التصنيف من حيث التقنيات المتاحة من مواد وأنظمة والغرض منها إعتمادا علي عوامل مختلفة مثل الغرض من الواجهة ، والعناصر ذات القدرة علي الإستجابة ، ومستوي التشغيل . وسيتم توضيح ذلك بالشكل رقم (٣) تصنيف التقنيات المستخدمة بالواجهات المستجيبة وأليات تطبيقها لتحقيق الغرض من توظيفها [٩] ، وضح تصنيف للتقنيات المستجيبة ما بين الأنظمة المستخدمة في التظليل من كاسرات وستائر علي مستوي الواجهة وأنظمة التجميع للطاقة المتجددة التي يمكن تطبيقها علي مستوي المبني وكذلك الأنظمة التي تستخدم كمعالجة للزجاج مع تحقيق الإستجابة لكل من درجة الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي بغرض الحد من الحرارة النافذة الي داخل المبني ، وتتشكل تلك الإستجابة في عدة أشكال منها المنع أو الرفض أو التعديل للخصائص أو التجميع للإستفادة قدر الإمكان من الموارد الطبيعية النظيفة سواء الشمس أو الرياح ، وتكون خلال الوقت المحدد لها لتحقيق للوظيفة المحددة .

الشكل (٣) تصنيف الواجهات المستجيبة تبعا Cost Action TU 1403 . المصدر : Aelenei et al., 2018

ويوجد تصنيف أخر يعتمد علي تقسيم العناصر المكونة للواجهة الي ثلاث أنواع وهي "الأنظمة المستجيبة" مثل الحوائط الستائرية والواجهات المزدوجة والواجهات ذاتية التهوية مما تحقق توفير قدر كبير من الإضاءة والتهوية الطبيعية للفراغات الداخلية ، والعناصر "المكونة للواجهة" التي تساعد علي التظليل والعزل للفراغات الداخلية أو عناصر لتحويل وتوليد الطاقة ، وكذلك "المواد الذكية" والتي تحقق الإستجابة من خلال تغيير خصائصها للإستفادة منها في الحفاظ علي توازن البيئة الداخلية ، كما تم التوضيح بالشكل رقم (٤) .



الشكل (٤) تصنيف الواجهات المستجيبة تبعا لعناصر الواجهة . المصدر : Aelenei et al., 2018

قد أعتمد التصنيف السابق للواجهات المستجيبة علي رصد العناصر والمكونات التي تعطي إمكانية الحركة والتفاعل مع المتغيرات الخارجية ، سواء علي مستوي المواد الذكية وقدرتها علي إعطاء رد فعل من خلال تغيير الخواص الفيزيائية بها حتي تحسن من ظروف البيئة الداخلية ، وكذلك الأنظمة والعناصر التي يمكنها أن تساعد في تحقيق المتطلبات البيئية للمبني ، **في النهاية يمكن تصنيف الأنظمة المستخدمة بالواجهات المستجيبة كما يلي** : [٩]

- **الأنظمة المستجيبة** : تتمثل في الأنظمة المدمجة في الواجهة والتي تقيس الظروف البيئية من خلال نظام المستشعرات مع نظام التحكم المركزي بالمبني وهو الذي يتم من خلاله ضبط الإستجابة المطلوبة .
- **الأنظمة التفاعلية** : تعطي القدرة علي التفاعل وإعطاء رد الفعل بناء علي التجارب السابقة مما قد يعطي مخرجات مختلفة .
- **الأنظمة التلقائية** : تطور للأنظمة التفاعلية ولكن يتم بها إستخدام الطاقة الكامنة لتحقيق الحركة من خلال النقل الميكانيكي أو المواد متغيرة الخواص .

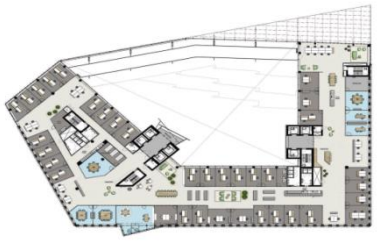
كما يجب عند التطبيق لتلك التقنيات مراعاة ما تم رصده لكل من خصائص المباني عديمة الكربون والعوامل الثلاثة الأساسية للتطبيق التكنولوجي بالمباني عديمة الكربون ، وتلك العوامل هي العوامل المجتمعية ، والعوامل البيئية وكذلك العوامل التكنولوجية ، كما كان للتطبيق التكنولوجي علي مستوي الواجهات للمباني عديمة الكربون أحد العوامل المؤثرة في تحقيق أهداف وتوجهات تلك المباني ، وهي أنه أصبح الهدف من التطبيق التقني بالمباني هو تحسين أداء المباني من خلال توفير الراحة الحرارية داخل المبني وكذلك الحفاظ علي البيئة الخارجية بواسطة الخفض لمعدل الإنبعاثات الصادرة عن المباني .

٤- دراسة تحليلية لتطبيقات أنظمة الواجهات المستجيبة في المباني :

تم تحديد نموذج الدراسة علي المباني التي تميزت بإستخدام التقنيات التكنولوجية ولاسيما الواجهات المزدوجة إلي جانب وجود عناصر مستجيبة بالواجهة ، وبناء علي هذا سيتم الدراسة والتحليل لمقر المبني الإداري لشركة The Edge في هولاندا ، تم من خلالها التعرف علي الأنظمة التكنولوجية المستخدمة بالغلاف الخارجي للمبني ومدي تأثير تلك الأنظمة علي خصائص تحقيق المباني عديمة الكربون الثلاثة كمعايير أساسية في تحقيق مشاركة الواجهات المستجيبة نحو الخفض في معدل الإنبعاث الكربوني للمبني خلال مرحلة التشغيل .

٤-١ المبني الإداري لمبني الحافة The Edge ، هولاندا عام ٢٠١٥م :

مبني إداري تم تصميمه بواسطة PLP Architecture ومقرها لندن ، يوجد المبني في وسط حي زويداس التجاري في أمستردام تبلغ مساحته الإجمالية ٤٠ ألف متر مربع ، تم تصميم المسقط الأفقي للمبني علي شكل حرف U ، يوجد بالضلع الشرقي ١٣ طابق والضلع الغربي ١٥ طابق ، تم الربط بينهم بسقف مائل ويتوسط المبني فناء سماوي . الفكرة الأساسية للمبني هو إنشاء مبني طموح يضع معايير جديدة لتصميم المكاتب في مجالات متعددة بما في ذلك الإستدامة والتكنولوجيا ، وتصميم أماكن العمل وهندسة الهياكل والواجهات .



شكل رقم (٥) مسقط افقي لمبنـي The Edge ، هولنـدا، ٢٠١٥ . المصدر : https://placetech.net

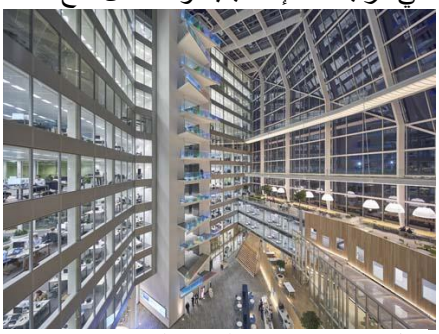
شـكل رقـم (٤) لقطـة منظوريـة لمبنـي The Edge ، هولندا، ٢٠١٥ . المصدر : https://placetech.net

أ- <u>سمات الإستجابة بالغلاف الخارجي لمبنى شركة The Edge:</u>

يتمتع المبني بجميع سمات الإستجابة في المبني من تشغيل ألي وتوفير الإستجابة والتفاعل مع البيئة المحيطـة علـي مسـتوي البيئة الداخلية والبيئة الخارجية ، فقد حقق تفاعل مع كافة العناصر المحيطة الي جانب العنصر البشري فـي المبنـي . حيـث يشتمل المبني علي مجموعة واسعة من إدارة المرافق المدمجة ونظام توزيع الطاقة الكهربائية وأجهزة تحكم وبرنامج خبير لرصد الطاقة EcoStruxure ، مما يتيح لمديري المرافق بمبني الحافة إمكانية المراقبة والقياس والتحكم في جميع البيانات الواردة من المبني لضمان إمكانية المحاسبة وكذلك تحقيق راحة المستخدمين . كما يوفر نظـام إدارة المبنـي BMS الـتحكم في الفناء الداخلي ، والنوافذ والستائر المستجيبة ، وأنظمة الإضاءة والتهوية الميكانيكية ، والتدفئة والتبريد . يوجد ٢٨٠٠٠ جهاز إستشعار Sensors في المبني لقياس مستويات درجة الحرارة والرطوبة والحركـة فـي الفراغـات المختلفـة للمبنـي ، وهناك حساسات لسرعة الرياح وإتجاهها ولدرجة الحرارة الخارجية ودرجة حرارة الفناء الداخلي والفراغات ، والرطوبـة الجوية والإشعاع الشمسي ، ومسـتويات الضـوء الخـارجي للخلايـا الشمسـية . كمـا تـم دعـم المبنـي بـنظم إتصـالات عاليـة المستوي تمتاز بإستخدام لوحات الـ LED فائقة الفعالية مصنوعة من Philips خصيصا لأجهزة المبنـي وتسـتخدم لتحميـل البيانات في شبكة الإنترنت علي مستوي المبني. [١٠]

ب- <u>الأنظمة المستخدمة في مبنى The Edge :</u>

تتنوع الأنظمة المستخدمة في المبنـي حيـث تمكـن المبنـي مـن تحقيـق أعلـي درجـات الإسـتجابة والتفاعـل مـع كافـة المتغيـرات المحيطـة بـالمبني سـواء علـي مسـتوي البيئـة المحيطـة أو علـي مستوي الشاغلين للمبني ، **<u>وقد تحقق ذلك من خلال الأنظمة التالية :</u>**



شكل رقم (٦) إستخدام الغلاف المزدوج بمبني The Edge مع فناء داخلي بإرتفاع ١٥دور . المصدر : https://placetech.net

- **<u>نظام الغلاف المزدوج :</u>**إستخدم الغلاف المزدوج بالواجهة الشـمالية للمبنـي تـم إسـتخدام مسـاحات كبيـرة مـن الزجـاج العـاكس بكامـل الواجهـة للمبنـي ، وتـم الفصـل بـين الواجهـة الخارجيـة للمبنـي والواجهة الداخلية بواسطة Atrium ساعد علي عـزل بيئـة العمـل الداخلية عـن تعرضـها المباشـر للتغيـرات المناخيـة الخارجيـة الـي جانب الإستفادة القصوي مـن الإضـاءة والتهويـة الطبيعيـة بأقصـي قدر ممكن ، ممـا يقلـل مـن كسـب حـرارة الشـمس المباشـرة . كمـا يحقق الإتريوم التهوية الطبيعيـة للمبنـي ، وتسـمح الألـواح الشـبكية الموجودة بين كل طابق بتدفق الهواء الساخن من الفراغات المكتبية الي الفناء المفتوح حيث يرتفع ويخرج من الفتحات العلوية .
- **<u>النوافذ والستائر المستجيبة :</u>**يعتمد المبني علي حركة الشمس علي مدار اليوم بهدف تحقيق أقصي قدر من توفير الطاقة ، يوفر فناء المبني ضـوء النهـار الشـمالي بينمـا تحتـوي الواجهـات الأخـري علـي نوافـذ لتـوفير الإضـاءة والتهوية اللازمة ، إلي جانب أن ستائر النوافذ مصـممة وفقـا لزوايـا الشـمس ممـا تـوفر ظـلا إضـافيا للمسـاحات المكتبية ويقلل من إكتساب الحرارة الشمسية .

- **أنظمة توليد الطاقة المتجددة :** يعتبر مبني The Edge محايد للطاقة حيث ينتج طاقة أكثر مما يستهلك تقدر الطاقة المنتجة بـ ٦٥,٠٠٠ كيلو وات/م٢ ناتج عن الألواح الشمسية الموجودة بالمبني ، حيث تم تركيب ٤١٠٠ م٢ من الألواح الشمسية تحتوي الواجهة الجنوبية للمبني علي ١٩٢٠م٢ من الألواح الشمسية بينما تم تركيب عدد ٢٢٨٠ م٢ علي أسطح المباني المجاورة لجعله مبني خالي من الطاقة حتي يكفي من الكهرباء المستدامة لتشغيل جميع الهواتف الذكية وأجهزة الكمبيوتر المحمولة والسيارات الكهربائية في المواقع . كما توجد أجهزة إستشعار بكل لوحة شمسية توفر تقارير مفصلة حول درجة الحرارة والرطوبة . كما أن المبني يخزن الطاقة الحرارية الجوفية نحو ١٣٠م تحت الأرض ليولد كل الطاقة اللازمة لتدفئة وتبريد المبني. [١٠]

شكل رقم (٧) إستخدام الخلايا الشمسية علي الحائط الجنوبي للمبني . المصدر : https://placetech.net

- **تصنيف الأنظمة المستجيبة تبعا لمدى الإستجابة والتفاعل مع التغيرات البيئية :**

جدول رقم (١) تصنيف الأنظمة المستجيبة المستخدمة بالمبني الإداري لشركة The Edge . المصدر : الباحث

الأنظمة المستجيبة	سمات الإستجابة						
	الموضع	الغرض	التشغيل	درجة الإستجابة	شكل الإستجابة	تحقيق الرؤية	وقت الإستجابة
الغلاف المزدوج	كامل الواجهة	كفاءة الطاقة	-	-	تعدل في الخصائص للهواء والإشعاع .	عالية	-
المستشعرات	النوافذ	التحكم	تشغيل خارجي	-	-	-	-
النوافذ الديناميكية	النوافذ	جودة البيئة الداخلية	تشغيل خارجي	فتح - غلق	يجمع - يمنع	عالية	تلقائي
الكاسرات الديناميكية	الغلاف الداخلي	الراحة الحرارية	تشغيل داخلي	فتح - غلق	يجمع - يمنع	متوسطة	تلقائي

يتضح من الجدول رقم (١) تصنيف الأنظمة المستجيبة التي تم إستخدامها بالغلاف الخارجي للمبني ، وأن بعض من الأنظمة تم تطبيقها علي واجهة الغلاف الخارجي مثل مستشعرات النوافذ ذاتية الحركة ، تعمل من خلال الإستجابة للتغيرات البيئية الخارجية سواء علي مستوي سرعة الرياح وشدتها والتي تعمل كمؤثر لمستشعرات النوافذ ، أو شدة الإشعاع الشمسي والتي أعتبرت كمؤثر بالنسبة للمادة المستخدمة . والتي أثرت بدورها علي وقت الإستجابة حيث أنها تحدد من خلال رد الفعل التفاعلي لتلك الأنظمة مع البيئة الخارجية وليس من خلال برمجة إلكترونية . كما وضح أن البعض من تلك الأنظمة يحقق الإستجابة في صورة (فتح وغلق) وذلك علي مستوي النوافذ والكاسرات أو من خلال الإستجابة التدريجية بالتغير في الخواص الداخلية للمادة والتعامل مع المؤثر الخارجي وهذا ما يعطي الإستجابة التدريجية .

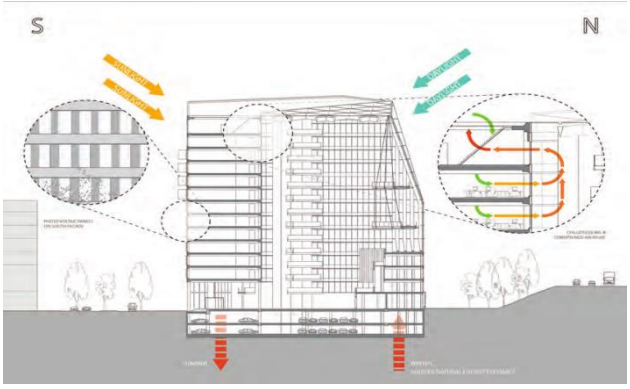
ت- مدي تحقق التكامل بين الأنظمة المستجيبة والمباني عديمة الكربون :

للتأكد من مدي تحقق التكامل من خلال التوظيف للأنظمة المستجيبة حتي يتمكن المبني من تحقيق كافة جوانب الإستدامة للمباني عديمة الكربون ، وإذا ما كانت أسهمت في توفير الراحة الداخلية للمستخدمين من خلال المشاركة في جعل البيئة الداخلية مريحة علي مستوي كل من (الراحة الحرارية – الراحة الضوئية) ، الي جانب مشاركة المستخدمين في القدرة علي التحكم في نظم الإستجابة تبعا لرغباتهم ومتطلباتهم ، فإذا ما كانت تلك الأنظمة حصلت علي تحقيق ذلك تكون بدورها قللت القدر المطلوب من الطاقة المستهلكة بالمبني لتشغيل وحدات وأجهزة التبريد الصناعية وكذلك وحدات الإضاءة الكهربية ، من خلال هذا الخفض في معدل الطاقة تكون مؤشر واضح وملموس في خفض معدلات الإنبعاث لغاز ثاني أكسيد الكربون الصادر عن الطاقة الكهربية المستهلكة في تشغيل المبني .

- تأثير الأنظمة المستجيبة علي تحقيق خصائص المباني عديمة الكربون .

- مساهمة الأنظمة المستجيبة في تحقيق التهوية والإضاءة الطبيعية .
- خفض كم الإنبعاثات الكربونية ناتج عن خفض معدلات الطاقة التشغيلية للمبني .

- **تأثير الأنظمة المستجيبة على تحقيق التهوية الطبيعية :** يقوم نظام التحكم الألي في المبني بالتحكم في فتحات التهوية بالفناء الداخلي ، ويتغذي بالمعلومات من خلال المستشعرات التي تمده بالمعلومات عن درجة الحرارة الداخلية والخارجية وعن سرعة الرياح وإتجاهها بالخارج ، والتي تسمح بدخول الهواء الي الفناء الداخلي ومن ثم الي المكاتب الداخلية المطلة علي الفناء الداخلي أو من خلال النوافذ مباشرة بالنسبة لباقي المكاتب المطلة علي باقي الواجهات .
- **تأثير الأنظمة المستجيبة على تحقيق الإضاءة الطبيعية :** من خلال إستخدام مساحات كبيرة من الزجاج بواجهة المبني الشمالية ، مما يضمن التعرض لأكبر قدر ممكن من الإضاءة الطبيعية ومجال رؤية فسيح مع المناظر الخارجية ، والمكاتب الداخلية تضاء من الفناء الداخلي Atrium المزود بحائط زجاجي بكامل إرتفاع المبني . كما زود الفناء الداخلي بزوايا من الزجاج العاكس للضوء لتأمين أكبر قدر ممكن من الإضاءة الطبيعية . بالنسبة للتحكم في الأشعة الشمسية تم تركيب ستائر علي الواجهة الداخلية تحقق الإستجابة بطريقة أليه إستجابة لمستشعرات الخلية الضوئية علي الواجهة ، والواجهات الشرقية والغربية تتميز بحائط زجاجي مزود بنوافذ وستائر داخلية مستجيبة لدرجة الإضاءة الطبيعية ومدي إمكانية الإستفادة منها من خلال الغلق والفتح للستائر كما يمكن التحكم بها بواسطة الموظفين من خلال تطبيقات أجهزة الهاتف المحمول لكل مستخدم حيث يعلم التطبيق درجة الحرارة المفضلة لدي المستخدم والضوء المناسب له ويقوم بتعديل البيئة وفقا لذلك .



شكل رقم (٩) اليات تحقيق التهوية الطبيعية لمبني The Edge .
المصدر : https://placetech.net

شكل رقم (٨) تطبيق أجهزة الهاتف الذكي لموظفي المبني. المصدر: https://placetech.net

يستخدم نظام الإضاءة في The Edge تقنيات إنترنت الأشياء المتطورة لتمكين جمع البيانات والرؤية عبر تطبيقات برامج Interact Officeالمخصصة ، مما يعزز مرونة المكتب المفتوح ، ويسمح النظام للموظفين بتخصيص الإضاءة ودرجة الحرارة في أماكن عملهم باستخدام تطبيق Interact Office للهواتف الذكية ، ويزود مديري المباني ببيانات في الوقت الفعلي عن العمليات والأنشطة عبر لوحات المعلومات Interact Office تسمح هذه البيانات لمديري المرافق بزيادة الكفاءة التشغيلية إلى أقصى حد بالإضافة إلى تقليل إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المبنى.

- **تأثير الأنظمة المستجيبة على تحقيق التبريد والتدفئة للمبني :** إعتمد المبني علي توفير التبريد والتدفئة عن طريق نظام خزانات المياة الموجود أسفل المبني ، يوجد خلف كل بلاطة سقف ملف ضخم من الأنابيب الزرقاء الرفيعة التي تنقل المياه من وإلى مخزن المياه الجوفية للمبنى للتبريد بالإشعاع خلال أشهر الصيف ، كما يضخ المبنى المياه الدافئة على عمق يزيد عن ٤٠٠ قدم في طبقة المياه الجوفية أسفل المبنى ، حيث يظل معزولًا حتى الشتاء عندما يتم امتصاصه مرة أخرى للتدفئة .يعد النظام الذي تم تطويره لـ Edge هو أكثر أنظمة تخزين الطاقة الحرارية لطبقة المياه الجوفية كفاءة في العالم .

ث- تحقيق الكفاءة في خفض معدل الإنبعاثات الكربونية بمبنى The Edge :

المبني المكتبي هو الأكثر إستدامة حيث يستخدم مبنى The Edge كهرباء أقل بنسبة ٧٠٪ من المباني المكتبية المماثلة بل ينتج ١٠٢٪ من طاقته ، كما قدر أن مبني الحافة قلل من تأثيره علي البيئة بمقدار ٤٢ مليون كجم من ثاني أكسيد الكربون علي مدار ٥ عقود متتالية مع تحقيق وفورات في الطاقة بإستمرار .

فيما يلي سيتم عرض الأنظمة المستجيبة التي تم إستخدامها بالمبني محل الدراسة ومدي تأثيرها علي تحقيق خصائص المبني عديم الكربون وذلك من خلال جدول رقم (٢) ، تم من خلاله تصنيف لتحقيق الجانب المجتمعي وتأثير الأنظمة المستجيبة علي تحقيق كل من الراحة الحرارية والراحة الضوئية والراحة الصوتية ، ثم يأتي الجانب البيئي من خلال تأثيرها علي الخفض في معدل كل من الطاقة التشغيلية اللازمة لتشغيل المبني وخفض الإنبعاث للغاز الصادر عن أجهزة التبريد الصناعية ، وكذلك الجانب التكنولوجي من خلال ألية تحقيق الإستجابة سواء بواسطة الإستجابة اليدوية مثل الستائر الداخلية أو ديناميكية كالنوافذ أو تلقائية مثل الوحدات الزجاجية بالواجهة الخارجية .

جدول رقم (٢) تصنيف الأنظمة المستجيبة المستخدمة بالمبني The Edge ومدي تحقيقها لخصائص المباني عديمة الكربون . المصدر : الباحث

الأنظمة المستجيبة	خصائص المباني عديمة الكربون							
	الجانب المجتمعي			الجانب البيئي		الجانب التكنولوجي		
	الراحة الحرارية	الراحة الضوئية	الراحة الصوتية	خفض طاقة التشغيل	خفض إنبعاثات	إستجابة يدوية	إستجابة ميكانيكية	إستجابة تلقائية
الغلاف المزدوج	*	*	*	*	*	-	-	-
المستشعرات	*	*	*	-	-	-	*	*
النوافذ المستجيبة	*	*	-	*	*	-	*	*
الكاسرات المستجيبة	*	*	*	*	*	*	*	*

من خلال الدراسة والتحليل لمبني شركة The Edge والتعرف علي التقنيات المستجيبة التي تم إستخدامها علي مستوي الواجهة بغرض توفير الطاقة التشغيلية للمبني والتي بدورها ستكون خطوة مشاركة في خفض الإنبعاثات الكربونية بالتأكيد ، **يؤكد البحث على عدة نقاط وهي :**

- يمكن من خلال التطبيق للتقنيات المستجيبة خفض معدل الإنبعاثات الكربونية للمشروع .
- يجب تحديد الغرض والوظيفة المطلوبة من التطبيق التقني حتي يمكن إختيار التقنية المناسبة للوظيفة المطلوبة .
- تحقيق الخفض في الطاقة اللازمة لتشغيل المبني يحافظ بدوره علي الموارد الطبيعية .

يستنتج مما سبق أن مشاركة الأنظمة المستجيبة التي يمكن تطبيقها بالمباني تحقق خفض في معدل الإستهلاك للطاقة التشغيلية وبالتالي خفض معدل الإنبعاثات الكربونية بالمباني .

٥- نتائج البحث :

- إتجاه التطبيق للتقنيات الفائقة بالمباني أصبح بيئي ، حيث توافرت أنظمة يمكنها أن تحقق إستغلال معطيات البيئة المحيطة وإستغلالها في توفير الطاقة .
- أدي إستخدام التقنيات المستجيبة إلي التوصل لمباني توفر إستهلاك الطاقة ، كما أصبحت عنصر داعما للبيئة من خلال خفض الإنبعاثات الكربونية بالمباني .
- إستخدام التقنيات المستجيبة بغرض خفض الإنبعاثات الكربونية يساهم في تحقيق بيئة مريحة للمستخدمين .
- يمكن تحديد التقنية الملائمة للتطبيق من خلال رصد الغرض البيئي المطلوب تحقيقه من التطبيق التقني .
- التعرف علي عدد من البدائل التقنية المستجيبة سواء علي مستوي الأنظمة مثل الغلاف المزدوج والنوافذ المستجيبة والستائر المستجيبة ، أو المواد المتغيرة حراريا ، ومواضع تطبيقها بالمبني .

٦- توصيات البحث :

- توجية الأبحاث والدراسات العلمية نحو دراسات لتجارب ومحاكاة عملية للتقنيات التكنولوجية ، ومعرفة مدي تأثيرها علي الجانب البيئي ولاسيما خفض معدل الإنبعاثات الكربونية .
- ضرورة توافر البيانات والمعلومات البيئية التي يمكن أن تعزز الدراسات العلمية للتعرف علي أخر مخرجات التطور التكنولوجي بقطاع المباني .
- ضرورة وجود هيئات هندسية فعالة علي مستوي المؤسسات الحكومية المسئولة عن قطاع المباني لإتخاذ الإجراءات والقرارات حول مراقبة ومتابعة مراعاة الجانب البيئي في المباني .

٧- المراجع :

[1] Chau C, Leung T, Ng W. A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. Apply Energy 2015, 143.

[2] Blowers ,Andrew, The Time for Change, in: Blowers, Andrew, 1993, Planning for Sustainable Environment, London, Earth Publication Ltd.

[3] Guattari, C., Evangelisti, L., Balaras, C. A. (2018). On the assessment of urban heat island phenomenon and its effects on building energy performance: A case study of Rome (Italy). Energy and Buildings, 158, 605-615.

[4] IPCC. Climate change 2001: mitigation, contribution of working group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United States of America: Cambridge University Press; 2001.

[5] Mazria, Edward, Options for Near-Term Phase-out of CO2 Emissions from Coal Use in the United States, 2003, p20.

[6] Christina Koukelli, (2018), Integration of thermo-responsive Shape Memory Alloys in an autoreactive facade system, Delft University of Technology, Athens, Greece. 5115736.

[7] Persiani, S.G.L.; Molter, P.L.; Aresta, C.; Klein, T. (2016).Mapping of Environmental Interaction and Adaptive Materials for the Auto reactive Potential of Building Skins. In Proceedings of the 41stIAHS World Congress Sustainability and Innovation for the Future, Algarve, Portugal.

[8] Juaristi, M., Konstantinou, T., Gómez-Acebo, T., & Monge-Barrio, A. (2020). Development and Validation of a Roadmap to Assist the Performance-Based Early-Stage Design Process of Adaptive Opaque Facades. Sustainability, 12(23), 10118.

[9] Aelenei, L.; Aelenei, D.; Romano, R.; Mazzucchelli, E.S.; Brzezicki, M.; Rico-Martinez, M.J. (2018). Case Studies—Adaptive Façade, Delft, the Netherlands.

[10] Kleibrink, M. (2013)." Smart working smart buildings and the future of work". Light life.