https://erjm.journals.ekb.eg
ISSN:

DOI: ---------

ERJ
Engineering Research Journal
Faculty of Engineering
Menoufia University

الجدران المتنفسة في مواجهة التغير المناخي

محمد عادل شبل[1]، هند السعيد السعيد الدعدر[2]، رضوى محمد محمد دياب[1]
قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة بشبين الكوم [1]
طالبة ماجستير – قسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة بشبين الكوم [2]
*(Corresponding author: adam_mt2005@hotmail.com)**

ملخص البحث

- ناقش البحث مشكلة التغير المناخي أسبابة ومتغيراته ومدى التأثير الذي قد يتسبب به على المباني وصحة المستخدمين حيث تشهد الأرض مؤخراً تغيراً مناخياً بالإضافة الى ظاهرة الاحتباس الحراري العالمي. وترتكز مشكلة البحث على التكيف مع التغيرات المناخية، وذلك من خلال طرح ثلاثة أسئلة بحثية: (أ) هل تتمكن الجدران المتنفسة من التكيف مع التغيرات المناخية "وهو مصطلح تم استخدامه لأول مرة في عام 1969 في ألمانيا وهي نوع من المباني التي تعتمد بشكل اساسي على نظم التهوية الطبيعية في تصميمها من خلال الغلاف الخارجي منه الى الفراغات الداخلية وبقية أجزاء المبنى لتمده بالهواء النقي وتخلصه من الملوثات والحرارة الزائدة"؟ (ب) ما هي معايير التكيف التي يمكن للمبنى من خلالها التكيف مع التغيرات المناخية؟ (ج) ما هي منهجية تصميم تلك المباني التي يمكن للمعماري الاستفادة منها في المستقبل لتصميم هذا النوع من الأبنية؟ ويهدف البحث الى الوصول الى المعايير التي من خلالها يتم تصميم الجدران المتنفسة التي تساعد المعماري عند تصميمة الى ضمان كفاءة الفكرة التصميمية من الناحية البيئية، وتحليل مدى نجاح تلك المباني في التكيف مع تغيرات المناخ. وترتكز منهجية البحث على منهج تحليلي مقارن من خلال رصد وتحليل نماذج معمارية للمباني المتنفسة وفقا لتحقيقيها عدة معايير منها (أن تكون قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية، أن تعمل المباني على تحسين استهلاك الطاقة، أن توفر الراحة الحرارية وجودة الهواء الداخلي). وتكمن أهمية البحث في تصدي وتكيف المباني في مصر مع تغيرات المناخ وذلك لان المباني في مصر غير مصممه لتوفير الراحة الحرارية. وتمثلت أهم النتائج فيما يلى: (1) المبنى المتكيف مع البيئة ومع التغيرات المناخية التي تحدث بها، يحتاج الى مجموعة أنظمة وتقنيات ذكية تمكنه من التفاعل والتكيف ولابد من تكامل كل العناصر التصميمية للحصول على عناصر فعالة للتكيف مع التغيرات (2) يمثل تظليل الواجهة حلا يهدف الى تقليل الحمل الحراري في المبنى وبفعل التطور التكنولوجي المعاصر يمكن للجدران الخارجية ان تواجه التغيرات المناخية وذلك إما عن طريق استخدام عناصر متحركة بوسائل ميكانيكية أو بالاعتماد على المواد وقدرتها الذاتية على الاستجابة والتحسس لمتغيرات البيئة (3) دراسة الموقع والتعرف على مميزات وعيوب المناخ من خلال ملفات الطقس ودراسة التغيرات المناخية المستقبلية يعد أهم المراحل التي يبنى عليها تصميم الجدران المتنفسة التي تساعدها في مواجهة تغير المناخ.

الكلمات المفتاحية: التغيرات المناخية؛ الواجهات المتحركة؛ التكيف المناخي؛ المباني المستجيبة.

Abstract:

•The research discussed the problem of climate change causes and variables and the extent to which it may affect buildings and users' health, where Earth recently experiences climate change in addition to global warming. The research problem is based on adapting to climate change by asking three research questions: (a) Can breathing walls adapt to climate changes (b) What adaptation systems can the building adapt to climate change? (c) What is the methodology for designing such buildings that architects can use in the future to design this type of building? The research aims to reach the criteria through which breathing walls help the architect when designing is designed to ensure the environmental efficiency of the design idea and to analyze the success of these buildings in adapting to climate change. The research methodology is based on a comparative analytical approach by monitoring and analyzing architectural models of breathing buildings according to their achievement, including (adapting to climate changes, improving energy consumption, and providing thermal comfort and indoor air quality). The importance of research lies in the response and adaptation of buildings in Egypt to climate change because buildings in Egypt are not designing to provide thermal comfort. The most important results were (1) the building adapted to the environment and to the climate changes with which it occurs. It needs a set of smart systems and techniques that enable it to interact and adapt. All design elements need to be integrated to obtain effective elements to adapt to changes (2) Facade shading is a solution aimed at reducing convection in the building. With modern technological development, exterior walls can respond to climate changes by either using mechanical moving elements or relying on materials and their ability to respond and sensitize to environmental variables (3) Studying the site and identifying the advantages and disadvantages of the climate through weather files and studying future climate changes are the most important stages upon which the design of respiratory walls that help them in the face of climate change is built.

Keywords: Climate Change; Kinetic Facade; Climate Adaptation; Responsive Buildings.

مقدمة

ان التكيف هو مصدر الهام رئيسي لفكرة المباني المتنفسة والتي تحتوي على أنظمه تمكنها من تجديد الهواء داخل الفراغات، أن المفهوم المعاصر لغلاف المبنى الذي يتكيف مع الظروف البيئية ظهر في العقود الأخيرة فقط ويطلق عليها "الجدران المتنفسة" ويُقصد به استخدام هيكل المبنى لتحسين جودة الهواء الذي يصل إلى المستخدمين داخل المبنى باستخدام عناصر طبيعية أو صناعية أو كليهما، حيث أن قطاع المباني أحد أهم مصادر انبعاث غازات الدفيئة البشرية المنشأ، حيث أن المباني مسئولة أيضا عن الانبعاثات المسببة لظاهرة الاحتباس الحرارى البشرية المنشأ. وكنتيجة لهذه الانبعاثات ، تتعرض الأرض لارتفاع في درجات الحرارة بمعدلات غير مسبوقة، وبالتالي يقع شاغلي المباني ضحية للتغيرات المناخية بكل اثارها من ارتفاع درجات الحرارة او انخفاضها وايضا الظروف القصوى من موجات حارة وموجات باردة بالإضافة إلى انخفاض جودة الهواء الداخلي، مما يؤثر على القدرة الوظيفية للبالغين وانتشار الامراض وايضا حدوث الكثير من الوفيات بسبب هذه الظروف القصوى للتغير المناخ، ومن هنا ظهرت أهمية "الجدران المتنفسة" حيث توفر جدران التنفس التي تتضمن عزلًا ديناميكيًا بديلاً جذابًا يجعلنا نقترب من مثالية التهوية الطبيعية، وايضا يمكن من خلال تلك الجدران تعزيز كفاءة الطاقة من خلال تقليل قيمه العزل الديناميكية للمبنى، والقدرة على توفير أعلى قدر من معدلات التهوية الداخلية دون زيادة في استخدام الطاقة، والتحكم في تدفق الهواء الى المبنى .

فالمبنى يجب أن يكون الملجأ والمأوى الذي يحمى شاغليه من المخاطر الناتجة عن هذا التغير. ومن خلال دراسة استراتيجيات التكيف كانت التهوية الطبيعية من أهم الانظمة المستخدمة في تصميم المباني لمواجهه خطر الارتفاع في درجات الحرارة سواء بتزويد المبنى بالهواء النقي والمتجدد أو تبريد المبنى وتوفير الراحة الحرارية للمستخدمين، هذا النوع من المباني التي تعتمد بشكل اساسي على نظم التهوية الطبيعية في تصميمها يطلق عليها "المباني المتنفسة". ان الطريقة التي يتنفس بها المبنى تشبه كثيرا عملية تنفس الكائنات الحية حيث ينتقل الهواء من المحيط البيئي الى اجهزة التنفس لتمده بالأكسجين وتطرد ثاني أكسيد الكربون وبقية الغازات الغير مرغوبة، وكذلك المبنى فالتهوية هي حركة الهواء من المحيط البيئي للمبنى من خلال الغلاف الخارجي الى الفراغات الداخلية وبقية أجزاء المبنى لتمده بالهواء النقي وتخلصه من الملوثات والحرارة الزائدة.

وتتلخص المشكلة البحثية: ترتكز مشكلة البحث الى ضرورة التكيف مع التغير في المناخ في مصر، مع عدم ملائمة المباني القائمة مع هذا التغير فإن ذلك سيكون له تأثيرات شديدة على البيئة المشيدة، والراحة الحرارية، وجودة الهواء الداخلي للفراغات والتي تمثل خطرا على صحة الانسان، بالإضافة الى عدم وجود الوعي الكافي بالتصميم البيئي للمباني، وذلك من خلال طرح ثلاثة أسئلة بحثية، تتمثل فيما يلي: -

أ. هل تتمكن الجدران المتنفسة من التكيف مع التغيرات المناخية؟

ب. ما هي معايير التكيف التي يمكن للمبنى من خلالها التكيف مع التغيرات المناخية؟

ج. ما هي منهجية تصميم تلك المباني التي يمكن للمعماري الاستفادة منها في المستقبل لتصميم هذا النوع من الأبنية؟

وتهدف الورقة البحثية: الوصول الى المعايير التي من خلالها يتم تصميم الجدران المتنفسة التي تساعد المعماري عند تصميمة الى ضمان كفاءة الفكرة التصميمية من الناحية البيئية، تكيف المباني مع التغيرات المناخية التي تحدث لامحالة، بالإضافة الى توفير أعلى قدر من معدلات التهوية الداخلية دون زيادة في استخدام الطاقة، مما يجعلها هدفاً الى تحقيق رؤية الحكومة المصرية للتنمية المستدامة 2030.

فرضية البحث: بعد التعرف على المشكلة البحثية التي يهدف البحث الى دراستها، وبعد عرض الأهداف المرجوة من الدراسة يضع البحث فرضية علمية يتم اختبار مدى صحتها من خلال البحث، وتلك الفرضية هي: أن المبنى يمكن أن يتنفس من خلال تصميم جدران المبنى وتزويده بأنظمة ذكية قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية.

وتعتمد المنهجية البحثية على منهج تحليلي مقارن في رصد وتحليل نماذج معمارية للمباني المتنفسة وفقا لتحقيقها عدة معايير منها (أن تكون قادرة على التكيف مع التغيرات المناخية، أن تعمل المباني على تحسين استهلاك الطاقة، أن توفر الراحة الحرارية وجودة الهواء الداخلي، واستنتاج الأنظمة المعمارية التي تساعد المبنى على التنفس والتكيف مع التغيرات المناخية.

1- المفاهيم:

1-1 التغير المناخي: قامت الهيئة المعنية بتغير المناخ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)بإصدار تقرير يفيد بتغير المناخ وذلك بارتفاع درجة حرارة الأرض بمقدار 1.1 درجة مئوية فوق مستوى ما قبل الصناعة، وقامت بالتعبير عنة بأنه حالة المناخ التي يمكن تحديدها باستخدام الإحصاءات التي يتم اختبارها من خلال التغيرات في متوسط حالة المناخ، وتباين خصائصه، والذي يكون عادة قائماً لفترة طويلة مثل العقود أو أكثر. وقد يكون هذا التغير بسبب عوامل طبيعية مثل الانفجارات البركانية أو التغير في ميول الأرض أو الانجراف القاري أو ظاهرة النينو، أو بسبب عوامل بشرية مثل انبعاثات الغازات الدفيئة. [1]

1-2 التهوية الطبيعية: يقصد به حركة الهواء من خارج المبنى إلى الداخل، حيث تعمل القوى الطبيعية مثل الرياح، فروق الضغط ودرجات الحرارة على حركة الهواء من الخارج الى الفراغات الداخلية عبر الفتحات الموجودة بغلاف المبنى والتي تشمل النوافذ، الابواب، الملاقف وغيرها ثم يتم توزيع الهواء عبر مسارات توزيع تمثلها الفراغات المختلفة للمبنى إلى أن تصل إلى المخرج والذي قد يكون الأبواب، النوافذ، الشخشيخة وغيرها. وتعتمد التهوية الطبيعية على المناخ، تصميم المبنى، سلوك مستخدمي المبنى. [2]

1-3 التكيف مع تغير المناخ: هو عملية تسعى بها المجتمعات إلى جعل نفسها أقدر على مواجهة مستقبل غير مضمون. كما يشير إلى إتباع سياسات وممارسات تستهدف الاستعداد لآثار تغير المناخ، الذي يخفف من الضرر، أو يستغل الفرص المفيدة في هذه التغيرات، حيث يتعذر اليوم تجنب هذه الآثار بالكامل، ولكن التدخل البشري قد يسهل التكيف مع تغير المناخ المتوقع وأثارة، وقد قام الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ (IPCC) بتصنيف أنواع التكيف الى أربعة أنواع [3]

أ. **التكيف الاستباقي Anticipatory (proactive) adaptation:** هذا النوع من التكيف يحدث قبل التأثيرات الفعلية لتغير المناخ هو يعتبر إجراء وقائي لمنع أو تقليل التأثيرات الناتجة عن تغير المناخ المحتمل. يظهر هذا النوع من التكيف في الأنظمة البشرية كتنفيذ قوانين البناء، تدعيم الشواطئ، كافة الأنظمة التي من صنع الإنسان.

ب. **التكيف المخطط Planned adaptation :** هذا النوع من التكيف يكون نتيجة الى قرار متعمد سياسيا، يستند على أساس الوعي بأن الظروف قد تغيرت أو أوشكت على أن تتغير وبالتالي ضرورة العمل للمحافظة أو تحقيق الحالة المطلوبة.

ج. التكيف التفاعلي Reactive adaptation : هذا النوع من التكيف الذي يحدث بعد أثار تغيرات المناخ. يظهر في النظم البشرية من خلال الزيادة في طلب الطاقة، وفي النظم الطبيعية مثل الارتحال الى الأراضي الرطبة.

د. التكيف العفوي (spontaneous) Autonomous adaptation: هذا النوع من التكيف لا يشكل استجابة واعية للمنبهات المناخية ولكن ينجم عن التغيرات البيئية في النظم الطبيعية وتغيرات السوق أو الرفاهية في الأنظمة البشرية.

4-1 المباني المتنفسة breathing buildings: هو مصطلح تم استخدامه لأول مرة في عام 1969 في ألمانيا، ويُقصد به استخدام هيكل المبنى لتحسين جودة الهواء الذي يصل إلى المستخدمين داخل المبنى باستخدام عناصر طبيعية أو صناعية أو كليهما، أو هي نوع المباني الذي يعمل بطريقة مشابهه لكيفية عمل الأجهزة التنفسية للكائنات الحية كالرئتين في جسم الإنسان. [4]

2- تكيف الجدران المتنفسة مع التغيرات المناخية :

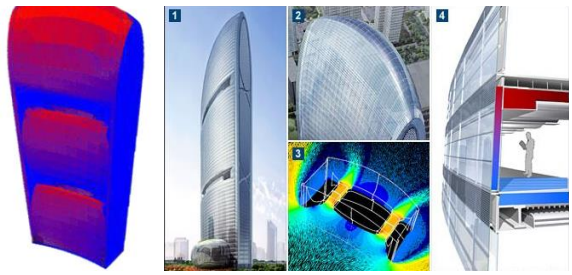
قشرة المباني المتكيفة مع المناخ هو مصطلح في هندسة المباني يصف مجموعة الواجهات والسقوف التي تتفاعل مع التنوع في بيئتها بطريقة ديناميكية. المباني التقليدية لها مظاريف بناء ثابتة، وبالتالي لا يمكنها التصرف استجابة لظروف الطقس المتغيرة ومتطلبات القاطنين. من ناحية أخرى، فإن جدران المباني المتكيفة مع المناخ لديها القدرة على التغيير بمرور الوقت. فهي تساهم في توفير الطاقة للتدفئة والتبريد والتهوية والإضاءة. وهي تحفز على التأثير الإيجابي على جودة المباني الداخلية في المباني. [5]

يتميز غلاف المبنى التكيفي للمناخ بالقدرة على تغيير بعض وظائفه أو ميزاته أو سلوكه بمرور الوقت بشكل متكرر، وذلك استجابة لمتطلبات الأداء المتغيرة والظروف المتغيرة للحدود، ويقوم بذلك بهدف تحسين الأداء الإجمالي للبناء. تختلف أشكال تكيف الجدران المتنفسة مع التغيرات المناخية بين:

2-1 التكيف التركيبي أو المرن:

حيث يبدأ التكيف مع تغير المناخ من المرحلة التصميمية وحتى انتهاء مراحل المبنى، وقد يمكن التنبؤ بكمية استهلاك الطاقة في المبنى، ودرجات الحرارة الداخلية والاماكن التي يمكن وضع الخلايا الشمسية فيها على واجهات المبنى وذلك من خلال برامج المحاكاة، ومع توفير المعلومات من برامج المحاكاة لأداء المبنى يتم بناء علية عمل التعديلات الازمة للوصول لكفاءة أعلى في الأداء، على سبيل المثال عند تكامل أدوات التصميم وبرامج المحاكاة يزيد ذلك من مرونة التصميم وأنه عندما يحرك المصمم جدار أو إذا قام بتغير في فتحات الواجهة يقوم البرنامج بالتنبؤ بطريقة استقبال المبنى لضوء النهار، والأداء الحراري للمبنى، ولذلك تعتبر المرونة جزء مهم من تصميم المبنى فهي إما انه تم تغيير عناصر المبنى أثناء التصميم لتكون أكثر تكيفاً مع المناخ المحيط بالمبنى أو انه تم تصميم عناصر المبنى لتتكيف مع المحيط . [6]

مثال لذلك برج اللؤلؤة في الصين تم بناء هيكل المبنى لتوليد الطاقة حيث قام مصممي المبنى بعمل محاكاه لواجهة المبنى لدراسة أماكن سقوط أشعه الشمس القصوى لمعرفة أماكن وضع خلايا شمسية بها وتم تحسين شكل البرج وزاويته واتجاهه وفقًا لمسار الشمس لإنتاج الكهرباء عبر الخلايا الكهروضوئية داخل واجهاته الشرقية والغربية وبالتالي توليد الطاقة داخل المبنى، كما يوجد 4 توربينات رياح مدمجة في بطن البرج لدفع الهواء الى المبنى، والتي يمكن أن تولد مليون كيلوواط لكل ساعة من الكهرباء سنويًا. بدلاً من استخدام المراوح لإعادة تدوير الهواء القديم، يتم توصيل الهواء النقي إلى كل طابق. كما يعمل نظام التهوية تحت الأرضيات، حيث تعمل الموزعات الدوامية على توفير الهواء النقي الخارجي فقط إلى المساحة وتساعد على مزج الهواء ومن ثم يتم ترشيح هذا وتنقيته لتحسين جودة الهواء وبالتالي يمنع من إعادة انتشار الفيروسات، يعمل نظام التبريد الداخلي لبيرل ريفر تاور أيضًا على توفير الطاقة بحيث تستخدم تقنية السقف المشبع بالمياه المنقولة بالأنابيب للحفاظ على برودة المساحة الداخلية بدلاً من وحدات تكييف الهواء المكلفة كما يتم حجز حرارة الشمس بين الطبقة المزدوجة لواجهة المبنى وإعادة استخدامها كطاقة لتزويد المبنى بالطاقة. شكل (1).



شكل (1) برج اللؤلؤة في الصين، التنبؤ بكمية إشعاع الشمس على سطح البرج. المصدر:
https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1629-case-study-pearl-river-tower-guangzhou.pdf?fbclid=IwAR2WuJyqh_pSUGTzxWw33Ca2AYzQNg0ZgYCV099nnranqiKzycx0E4uIQzs

التكيف السلوكي: حيث يتم عمل دراسة للمناخ الموجود به المبنى عن طريق ملفات الطقس الخاص بالمنطقة، ودراسة احتياج مستخدمي المبنى ومتطلباتهم للإضاءة، وبناء علية يتم عمل الجدران الخارجية. مثال لذلك مبنى The Q1 Headquarters في ألمانيا تتكون واجهته من نظام تظليل يتعقب مسار الشمس وهومن الأمثلة التصميمية على الجدران المتنفسة التي تتكيف مع تغير المناخ حول المبنى من خلال الاستجابة التلقائية للظروف البيئية، حيث صممت واجهة المبنى بغلاف مكون من شبكة من المعدن حيث تتكون الواجهة من عناصر من الحديد غير قابل الصدأ وقابل للحركة، ويقوم النظام بفتح وإغلاق نفسه استجابة لكمية الضوء التي تدخل المبنى، عندما يصطدم ضوء الشمس باللدائن المطلية بالفضة ، يتم إرسال شحنة كهربائية عبر السطح مما يؤدي إلى تشوه المادة، عندما يكون هناك قدر كبير من ضوء الشمس تتمدد المادة لتوفير التظليل، بدلاً من ذلك عندما لا يصطدم المبنى بقدر كبير من الضوء الطبيعي تتعاقد المواد للسماح بدخول مزيد من الضوء إلى المبنى، يعمل نظام الواجهة هذا حقًا على تنشيط المبنى ليكون شيئًا حيًا، والذي يتماشى جيدًا مع موضوعي "الاستجابة البيئية". شكل (2)

شكل (2) واجهة مبنى The Q1 المتكيفة مع شدة إضاءة الشمس الخارجية.
المصدر: https://www.archdaily.com/326747/q1

2- 3 التكيف عن طريق التعلم: اي مبنى ذكي يحتوي على نظام تحكم يمكنه التعلم من تصرفات المستخدم ويحتفظ بيها مثال على ذلك إذا قام المستخدم بفتح النوافذ للتهوية خلال درجات حرارة معينه فان المبنى يحتفظ بتلك المعلومة وعند كل عام عند الوصول الى نفس درجات الحرارة فان المبنى يقوم باستعادة المعلومات وفتح النوافذ تلقائيا لوصول المستخدم للراحة الحرارية المطلوبة.
مثال مبنى The Adaptive House – Colorado يعد هذا المنزل مثالا عن التكيف بالتعلم من خلال إدراك طبيعة الأنشطة لشاغلي المبنى وبناء علية يقوم المبنى باتخاذ القرارات التي توفر راحة شاغليه بل والتعلم من القرارات الخاطئة. شكل (3).

شكل (3) مبنى The Adaptive House – Colorado
المصدر: https://home.cs.colorado.edu

3- أنواع الجدران المتنفسة للتعامل مع ظاهرة تغير المناخ:

3-1 الجدران الحركية: هي الجدران ذات العناصر المتغيرة يُعرف الغلاف الذي يوصف بالحركي على أنه الغلاف الذي يدمج مجموعة مكونات لديها القدرة على الحركة، والتي يتمثل دورها في حدوث الحركة الموضعية، والتي تؤدي إلى تغير شكل غلاف المبنى، وقد يتحقق ذلك من خلال هذه الطرق: الطي، الانزلاق، التمدد أو التحول من حيث الحجم أو الشكل.
مثال لذلك مبنى RMIT Design Hub المعهد الملكي للتكنولوجيا بملبورن- استراليا من تصميم Sean Godsell. يتكون جدار المبنى من حوالي 16250 قرص من الزجاج الشفاف، وتقوم مجموعه من تلك الأقراص بالحركة استجابة لحركة الشمس لتقليل الحرارة المكتسبة على مدار اليوم.

شكل (4) مبنى Design Hub
المصدر: https://www.archdaily.com/335620/rmit-design-hub

2-3 الجدران المستجيبة: هي الجدران التي تصف رد الفعل الناتج عن التفاعل بين الظروف البيئية الخارجية وأنظمة الغلاف، تصف عملية الاستجابة التي تتم بأكملها بالواجهة، بداية من وجود المثيرات (الأنظمة الطبيعة) والانتهاء بتغير سلوك الواجهات (التكيف) مروراً بدمج الأنظمة الاصطناعية والحركية والتفاعلات المختلفة المستمرة التي تتم بين كافة الأنظمة.
مثال لذلك مركز للأبحاث السرطانية AGORA في مدينة لوزان في سويسرا من تصميم المهندس الألماني ستيفان بيني. يتميز المشروع بأنه مبتكر وموفر للطاقة، حيث يضم المشروع أنظمة للطاقة المتجددة للحد من استهلاكها، كما تم تغطية واجهات المبنى بواجهات مصممة خصيصاً لتعزيز كمية الإضاءة الطبيعية والحد من أشعة الشمس بالإضافة إلى فتحات نوافذ لتوفير الهواء والتحكم بدرجة الحرارة، تتصف تكسيه الواجهة التي تغطي المبنى بانها واجهة خرسانية ذات عزل مغطاة بطبقة معدنية يشار اليها باسم "الشبكة" هي نوع من شبكة الألومنيوم المغلفة حراريا التي تحزم المبنى بأكمله، وتعمل كحماية من أشعة الشمس مع ضمان الشفافية القصوى من الداخل، بالإضافة أن مساحة Agora مجهزة بأكثر من 1200 حاجز صوتي ، تتميز الجدران الخرسانية بأنها مائلة و "مكسورة". يتم العزل الخارجي الكامل مع طبقة معمارية مزدوجة تحمي من أشعة الشمس، وتتكون من واجهة الأتريوم ETFE وواجهاته مصنوعة من Makrolon ، وهو نوع من ألواح البولي كربونات هو عبارة عن لوح صلب شديد الشفافية ، مصنوع بشكل عام من البولي كربونات، بحيث تنحني الواجهات والألواح الكبيرة المائلة، أحيانا للتراجع وترك مساحات التنفس أمام السياق المبني، وأحيانا للتقدم وخلق علاقات مثيرة للاهتمام مع الطبيعة المحيطة، مع اقطرانه بشبكة تدفئة، والتهوية الطبيعية للمباني جنبًا إلى جنب مع توزيع سائل التبريد عبر الأنابيب الموجودة في الأسقف لتجنب الحاجة إلى تكييف الهواء.[7]

شكل (5) مركز للأبحاث السرطانية AGORA
المصدر:
https://www.architectes.ch/fr/reportages/etablissements-medicaux/agora-centre-de-recherche-63312

3-3 **الجدران عالية الأداء**: يُعرف الغلاف الذي يوصف بالأداء العالي بإنه الغلاف الذي يعطي أداء متفوقًا ودرجة عاليةً من الكفاءة نتيجة دمج الحلول والوسائل التكنولوجية بواجهة المبنى، التي تستجيب للظروف البيئة المتغيرة لتنشئ بيئة داخلية مريحة تزيد من صحة وإنتاجية الإنسان، وتحسن من كفاءة استخدام الطاقة خلال مرحلة تشغيل البناء.

مثال لذلك مبنى One River Terrace هو أول مبنى سكني في نيويورك يحقق تصنيف LEED بلاتينيوم، ويُغلَف المبنى بواجهة زجاجية مزدوجة DSF من نوع النافذة الصندوقية، والتي تشتمل على تجويف من 5أجزاء مع زجاج خارجي مفرد معزز للحرارة ووحدة زجاجية مطلية بعازل أقل من الداخل، في هذا النوع يتم تقسيم الواجهة إلى عدة تقسيمات أفقية ورأسية على شكل صناديق صغيرة منفصلة عن بعضها البعض، وتحتوي على فتحات لسهولة تمرير الهواء النقي.

شكل (4) مبنىOne River Terrace

المصدر: River house - One Rockefeller Park, 2 River Terrace: Review and Ratings | City Realty

4-وفيما يلي تحليل مقارن لنماذج معمارية مختارة لرصد مدى قدرتها على التكيف مع تغيرات المناخ:

5-1 مبنى شركة أبل Apple Park تصميم المعماري Norman Foster:

الموقع: كوبرت ينو، كاليفورنيا، الولايات المتحدة.

شيد هذا المبنى بمساحة (260,000 م2) بتصميم عبارة عن حلقة دائرية قطرها 461م وتمثل تلك المساحة 20% فقط من المساحة الكلية للمشروع حيث تمثل 80% من مساحة الموقع غابة من الأشجار التي تم اختيارها لتتحمل الطقس الجاف في المنطقة والتي يصل عددها الى 9000 شجرة، يشكل البناء الأكثر استدامة وصديقة للبيئة في العالم، حيث يقف المبنى كدليل على قوة التصنيع الدقيق لمنتجات البناء.

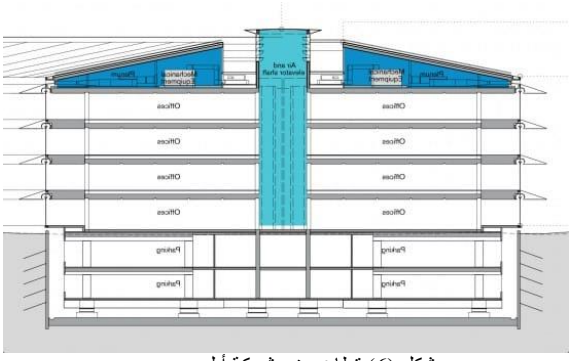
واجهة المبنى: تم تصميم واجهة المبنى بالكامل من الزجاج بطريقة تسمح بمرور الهواء، قامت شركة Sedak بصنع 872 صفائح منحنية باردة مصنوعة من لوحين زجاجيين منفردين، التي يبلغ طول أكبرها حوالي 47 قدمًا في 10 أقدام بالنسبة للواجهة الخارجية، أما الألواح الداخلية التي تصطف على الفناء المركزي للمبنى أصغر قليلاً فقط على ارتفاع 36 قدمًا في 10 أقدام، والتي تسمح بالاتصال المستمر بالمناظر الطبيعية، وأدى تصميم الزجاج بهذه التقنية الى السماح بمرور الهواء الطبيعي داخل الفراغات، مما أنتج عنه تقليل استخدام أجهزة المكيفات بنسبة 70% من العام، بالإضافة الى توفر أكبر قدر من الإضاءة الطبيعية مع الحفاظ على درجة الحرارة داخل المبنى.

شكل (5) زجاج واجهة مبنى شركة أبل Apple Park

المصدر: https://www.archdaily.com/tag/apple-campus

الطاقة: يهدف تصميم المبنى إلى تشغيل المنشأة بالكامل باستخدام الطاقة المتجددة بنسبة 100%، بالاعتماد بشكل كبير على محطات خلايا الوقود الموجودة في الموقع والمصفوفات الكهروضوئية الموجودة على الأسطح، يعتبر المبنى أكبر مزرعة للألواح الشمسية في العالم مما يجعل المبنى ينتج كافة احتياجه من الطاقة.

الراحة الحرارية: تم تصميم البناء للسماح بالتدفئة والتبريد السلبي مما أنتج بناء عالي الأداء وذلك من خلال تصميم أرضية وأسقف المبنى من لوح خرساني مجوف (يتنفس)، تعمل التهوية الطبيعية جنبًا إلى جنب مع الأسقف المبردة، جنبًا إلى جنب مع الكتلة الحرارية العالية للخرسانة على تعزيز الراحة الحرارية داخل المبنى، يتم تخفيض درجة الحرارة المتصورة من خلال وجود مساحات تهوية طبيعية، في حين أن زيادة إمدادات الهواء النقي تقلل من المرض وتعزز أداء الموظفين.



شكل (6) قطاع مبنى شركة أبل

المصدر: https://www.slideshare.net/MichaelGiffney/apples-new-spaceship-campus-is-final-gift-from-steve-jobs

بناء على ما سبق يظهر أن الآلية التي اعتمد عليها المبنى هي طريقة التركيب بالجدران واستخدام نوع الجدران عالية الأداء في مواجهة التغيرات المناخية والذي أعطى أداء متفوقًا ودرجة عاليةً من الكفاءة نتيجة دمج الحلول والوسائل التكنولوجية بواجهة المبنى والتي ساعدت المبنى الى الوصول الى ما يلي:

1- من خلال تصميم الزجاج بتلك التقنية استطاع المبنى الى التكيف مع التغير المناخي.
2- تحقيق المبنى للاستدامة مما يجعله صديقاً للبيئة.
3- توفير المبنى للطاقة مما يجعله قادرا على تلبية كافة احتياجات المبنى.
4- تحقيق المبنى للراحة الحرارية للمستخدمين من خلال تصميم الواجهة والأسقف والأرضيات.

عيوب المبنى:
تكلفة المبنى الباهظة التي وصلت الى 5 مليارات دولار.

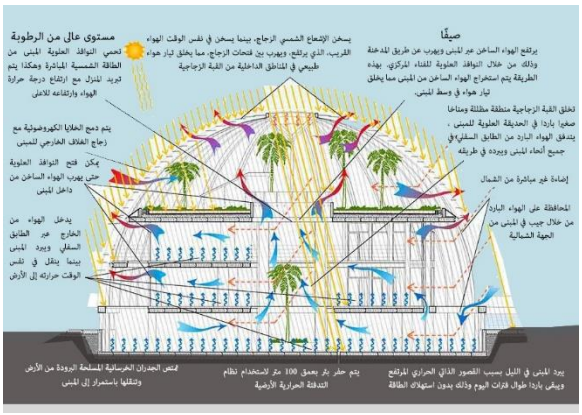
2-5 مبنى شركة أمازون تصميم شركة الهندسة المعمارية العالمية NBBJ:

الموقع: مدينة سياتل بالولايات المتحدة الأمريكية، تم تشيد هذا المبنى بمساحة (650,000 م2) بتصميم عبارة عن قلب خرساني وإطار فولاذي وواجهات زجاجية، يتألّف المقر الجديد من ثلاثة أبنية كرويّة الشكل من الزجاج أكبر كرة في الوسط يبلغ ارتفاعها أربعة طوابق وتبلغ مساحتها (299.6 مترًا مربعًا)، وتضم الكافتيريا والسلالم والمصاعد والحمامات ويغطي بئر السلم "جدار حي" به 25000 نبات.

واجهة المبنى: تم تصميم الواجهة من 2643 لوحًا من زجاج خاص يقوم بتصفية الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء لتقليل الحرارة الخارجية، بالإضافة الى أن الألواح الزجاجية تعمل على كتم حركة المرور في الخارج، والنباتات تخفف الأصوات الداخلية، سيسمح استخدام الزجاج بدخول ضوء طبيعي داخل المبنى، يوفر الزجاج إرسالًا مرئيًا للضوء بنسبة 74 بالمائة ومعاملًا لاكتساب الحرارة الشمسية بنسبة 0.41 عند استخدامه، بالإضافة إلى تمكين التمثيل الضوئي.

الطاقة: يسمح تصميم المبنى بتدفق الهواء البارد من الطابق السفلي عبر فتحات وأيضا من خلال الجدران الخرسانية المسلحة التي تمتص البرودة من الأرض وتنقلها باستمرار الى اعلى المبنى وذلك في جميع أنحاء المبنى، وتخلق القبة الزجاجية منطقة مظللة داخل المبنى، ويرتفع الهواء الساخن للأعلى ويخرج عبر النوافذ العلوية للمبنى مما يخلق تيارا هوائيا وسط المبنى، تم تصميم الزجاج ليحمى المبنى من الأشعة الشمسية المباشرة، تم حفر بئر بعمق 100 متر لاستخدامه في نظام التدفئة خلال الأيام الباردة دون استهلاك في الطاقة.

الراحة الحرارية: يتم الحفاظ على ثبات درجات الحرارة داخل المقر عند درجة حرارة 72 درجة فهرنهايت (22 درجة مئوية) مع رطوبة 60٪ أثناء النهار و55 درجة فهرنهايت (13 درجة مئوية) مع رطوبة 85٪ في الليل، يتم الحفاظ على درجات الحرارة من خلال ألوحًا من زجاج خاص يقوم بتصفية الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء لتقليل الحرارة الخارجية.



شكل (7) قطاع مبنى شركة أمازون

المصدر: https://luisdegarrido.com/research/bioclimatic-/architecture-luis-de-garrido

بناء على ما سبق يظهر أن الآلية التي اعتمد عليها المبنى في التكيف هيا التركيبي أو المرن من خلال استخدام نوع الجدران المستجيبة التي تعطى رد الفعل الناتج عن التفاعل بين الظروف البيئية الخارجية وأنظمة الغلاف والتي استطاع المبنى من خلالها الى الوصول الى ما يلي:

1- قدرة المبنى على التكيف مع التغير المناخي من خلال الحفاظ على درجة الحرارة ثابتة داخل المبنى.
2- توفير المبنى للطاقة
3- تحقيق المبنى للراحة الحرارية للمستخدمين من خلال تصميم الواجهة والأسقف والأرضيات.

عيوب المبنى:
تكلفة المبنى الباهظة التي وصلت الى 4 مليارات دولار.

5-تحليل ومناقشة:

في إطار النتائج التي توصل اليها البحث، بناء على الدراسات السابقة يوجد العديد من النقاط التي يلزم مناقشتها، والتي ترتبط بالإجابة عن الأسئلة البحثية، وتتمثل فيما يلي:

- بالنسبة الى قدرة الجدران المتنفسة الى التكيف مع التغيرات المناخية نجد أن غلاف المبنى يمثل المحور الرئيسي لكافة عمليات السيطرة الحرارية للبيئة الداخلية، ومن خلاله تحدث كافة سلوكيات الانتقال الحراري.
- بالنسبة الى منهجية تصميم المباني المتنفسة التي يمكن للمعماري الاستفادة منها في المستقبل الى تصميم هذا النوع من الأبنية، نجد أنه بناء على الدراسات والنظريات السابقة يمكننا الوصول الى ان محددات البيئة المحيطة تمثل الحاجة الضرورية لتوفير الراحة والأمان واستمرار التنمية المتناغمة للإنسان والمكان، لكي يتمكن المبنى من مواجهة التغير المناخي فيجب إتباع خطوات ومنهجية محددة في المراحل التصميمية وما يسبقها من توفير البيانات الازمة للتكيف مع التغيرات المناخية، ويمكن تلخيص تلك الخطوات فيما يلي: (8)

1- تحديد العوامل المستهدفة:

لكي يتم تحديد وسائل مواجهة المبنى للتغير المناخي كالارتفاع في درجات الحرارة، يجب مراعاة عدة عوامل خلال التصميم:

أ. تحقيق الراحة الحرارية:

يجب أن تؤخذ درجة الحرارة التي يشعر عندها الإنسان بالراحة الحرارية في الاعتبار عند تصميم المباني لتوفير الظروف المناسبة والمريحة للمستخدمين، تبعا للجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد فإن الراحة الحرارية داخل المبنى يجب أن تتراوح بين درجتي 25°س وهي الحد الذي يسمح بالشعور بالدفء، و28°س وهي حد الشعور

بالحرارة.

ب. استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون:

يرتبط معدل استهلاك الطاقة في المباني بناء على زيادة أو نقص انبعاث ثاني أكسيد الكربون، بالإضافة الى ضرورة وضع إستراتيجية لتقليل استهلاك الطاقة والتي يتبعها بالتالي انخفاض معدل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والتي تؤثر بدورها في تفاقم مشكله التغير المناخي.

2- الاطلاع على سيناريوهات التغير المناخي:

عند تصميم مبنى جديد، يجب مراعاة المناخ المحلى للموقع لتحديد احتياجات التدفئة والتبريد للمبنى بالإضافة الى سيناريوهات التغير المناخي المتوقعة لتحديد الاحتياجات المستقبلية، وأيضا يتم استخدام تلك المعلومات لدراسة الاختيارات المختلفة للحد من استهلاك الطاقة في المبنى وتعد أهم عناصر المناخ التي يحتاج المعماري والعمراني لدراستها هيا الحرارة والإشعاع الشمسي، الضغط الجوي، والرياح، والرطوبة، الهطول وأنواعه.

3- دراسة عناصر التصميم المتعلقة بالمناخ:

هي العناصر المؤثرة في التصميم والتي تعمل على تحقيق التكيف مع التغيرات المناخية والشعور بالراحة الحرارية داخل المبنى، فيما يلي توضيح بعض هذه العناصر:

أ. **الزجاج:** تعتبر أشعة الشمس هيا عامل المناخ المتعلق بالزجاج وذلك لأن الزجاج يسمح بامتصاص الأشعة تحت الحمراء وبالتالي تراكم الحرارة وارتفاع درجة حرارة المبنى، ولذلك يجب دراسة نوع الزجاج المستخدم ونسبة انعكاس الأشعة تحت الحمراء ليتم تحقيق التكيف مع المناخ المحيط بالمبنى، بالإضافة الى استخدام عناصر تظليل للحد من ارتفاع درجات الحرارة داخل الفراغات.

ب. **التهوية الطبيعية:** تعتبر درجة الحرارة، الرطوبة وسرعة الرياح من عوامل المناخ المتعلقة بالتهوية الطبيعية والتي تعتبر أكثر الوسائل الصحية التي يحتاجها الانسان من اجل تجديد الهواء المستمر وطرد الملوثات.

ت. **العزل الحراري:** يلعب العزل الحراري دوراً هاماً في الحد من فقدان الحرارة في فصل الشتاء، أما في الصيف فيكون له تأثيران أحداهما مفيد وهو وقاية المبنى من دخول الحرارة خلال النهار بالإضافة الى الوقاية من الحرارة المتراكمة على واجهة المبنى والتي تنتقل من خلاله للداخل، والآخر سلبي وهو منع هروب الحرارة ليلا صيفاً.

- بالنسبة الى المعايير التي من خلالها يتم تصميم الجدران المتنفسة التي يمكن للمبنى من خلالها التكيف مع التغيرات المناخية، وتساعد المعماري عند تصميمة الى ضمان كفاءة الفكرة التصميمية، بناء على الأدبيات النظرية وبناء على مقارنة المباني المتكيفة مع التغيرات المناخية تم استنتاج الالية التي يجب إتباعها خلال تصميم الجدران المتنفسة فيما يلي:

1. يجب على المصمم عمل تقييم شامل لمدى فعالية التصميم في توفير معدلات التهوية اللازمة لتلبية متطلبات التصميم باستخدام أدوات التحليل وبرامج محاكاة أداء المباني المناسبة.
2. تحديد البيانات المناخية للموقع الحالية من معدلات الرطوبة، ودرجة الحرارة، اتجاهات الرياح السائدة وسرعتها.
3. تحديد البيانات المناخية لسيناريوهات التغير المناخي المتوقعة.
4. تحليل البيانات المناخية من خلال تحديد الظروف القصوى التي قد يتعرض لها المبنى وأوقات حدوثها، والتي قد تؤدي إلى اكتساب الحرارة المفرطة وتقلل من احتمال التبريد بالوسائل الطبيعية، تحديد القوي الدافعة التي من المرجح أن يتعرض لها المبنى بما في ذلك الرياح وسرعتها، طبيعة حركة الهواء بالموقع التي يستفاد منها في تصميم مسارات التهوية بالمبنى، تحديد الأوقات التي يحتاج فيها المبنى لوسائل مساعدة للتهوية الطبيعية كنظم التهوية الميكانيكية وتكييف الهواء.
5. تحديد متطلبات الفراغ التصميمية من خلال تحديد استخدامات الفراغات ونشاط المبنى لتوفير الراحة الحرارية بالفراغات الداخلية.
6. تحديد مستويات التلوث بالبيئة المحيطة ومصادرها.
7. تحديد العناصر التي يمكن أن تؤثر على سلوك أو فعالية نظام التهوية الطبيعية بالمبنى كما هو في حالة وجود عوائق داخلية لتدفق الهواء بفراغات المبنى أثناء تطوير مبنى قائم.
8. مراجعة قوانين البناء ومعايير التهوية بها لتحديد معدلات تدفق الهواء اللازمة لجودة الهواء الداخلي، استخدام بيانات الطقس والأحمال الداخلية لتحديد معدلات التدفق المطلوبة خلال المواسم المختلفة من السنة لأغراض التبريد المباشر وغير المباشر على حد سواء.
9. تحديد العناصر المطلوب إضافتها في تصميم المبنى لتحسين أداء التهوية بالمبنى كعناصر التظليل، عناصر تنسيق الموقع من المسطحات الخضراء أو النوافير.
10. تصميم مسارات تدفق الهواء مع مراعاة بعض العناصر التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند تصميم هذه المسارات مثل توجيه المبنى ناحية الرياح السائدة، التضاريس والعوائق المحيطة، مصادر التلوث الخارجية.
11. اختيار نوعية عناصر التهوية وحجمها وطرق التحكم بها والتي تحقق معدلات التهوية المطلوبة سواء النوافذ، الأبواب، فتحات التهوية، الملاقف، المداخن المستخدمة لخروج الهواء "الشخشيخة".
12. في حالة استخدام أنظمة حركية مستجيبة في غلاف المبنى يجب أن يتوافر

- تحديد مكان النظم الحركية سواء النوافذ أو الأسقف أو الواجهة بالكامل.
- تحديد نوع النظم الحركية كنظم حركية ميكانيكية أو نظم حركية ذاتية تبعا لخواص المواد المستخدمة.
- تحديد أنظمة التحكم بالأنظمة الحركية سواء التحكم بنظم التبريد عن طريق التهوية الليلية التي تستخدم في تبريد الكتلة الحرارية لغلاف المبنى ليلا، واستخدام أنظمة للتحكم في التبريد عن طريق عنصر تبريد يتكامل مع التهوية النهارية في أوقات ارتفاع الحرارة كالنوافير ووسائل التبريد الغير مباشرة.
- أنظمة تحكم شاغلي المبنى عن طريق تزويد الفراغات ببعض لوحات التحكم التي يمكن إدارتها يدويا حسب متطلبات مستخدم الفراغ أو عن طريق وسائل التحكم عن بعد على سبيل المثال لفتح وغلق النوافذ.
- توفير أجهزة تجميع البيانات المناخية الخارجية مثل سرعة الرياح واتجاهها، درجة الحرارة الخارجية، درجة حرارة واجهات المبنى، الرطوبة الخارجية، الإشعاع الشمسي. وتوفير أجهزة تجميع البيانات المناخية الداخلية مثل درجة حرارة الهواء الداخلي بالفراغات الداخلية، معدلات الرطوبة الداخلية.

13. يجب أن يتوافر بالمبنى نظام لحساب كمية الطاقة الازمة لتشغيل المبنى واختيار الطريقة المناسبة للحصول على الطاقة.

6-النتائج:

- في الإطار التصميمي تنقسم يمكن تحديد النتائج فيما يلي:

1- دراسة الموقع والتعرف على مميزات وعيوب المناخ من خلال ملفات الطقس ودراسة التغيرات المناخية المستقبلية يعد أهم المراحل التي يبنى عليها تصميم الجدران المتنفسة التي تساعدها في مواجهة تغير المناخ.

2- يمثل تظليل الواجهة حلا يهدف الى تقليل الحمل الحراري في المبنى وبفعل التطور التكنولوجي المعاصر يمكن للجدران الخارجية ان تواجه التغيرات المناخية وذلك إما عن طريق استخدام عناصر متحركة بوسائل ميكانيكية أو بالاعتماد على المواد وقدرتها الذاتية على الاستجابة والتحسس لمتغيرات البيئة.

3- المبنى المتكيف مع البيئة ومع التغيرات المناخية التي تحدث بها، يحتاج الى مجموعة أنظمة وتقنيات ذكية تمكنه من التفاعل والتكيف ولابد من تكامل كل العناصر التصميمية للحصول على عناصر فعالة للتكيف مع التغيرات.

4- بالنسبة الى قدرة الجدران المتنفسة الى التكيف مع التغيرات المناخية نجد أن غلاف المبنى يمثل المحور الرئيسي لكافة عمليات السيطرة الحرارية للبيئة الداخلية، ومن خلاله تحدث كافة سلوكيات الانتقال الحراري.

- في إطار التشريعات والاستثمار يمكن تحديد النتائج فيما يلي:

1- التكيف مع التغيرات المناخية يجعل المجتمعات أقدر على مواجهة التغيرات التي تحدث في المستقبل وتخفف من الانبعاثات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري وبالتالي هناك ضرورة لوضع قوانين وتشريعات تفرض وجود أنظمة في المباني للتكيف مع التغير في المناخية.

2- إن التكاليف الاقتصادية والاجتماعية الناتجة عن التكيف كرد فعل على الأثار الناتجة عن تغير المناخ تعتبر مكلفة وكبيرة بعكس أسلوب التكيف التحسبي المدروس خلال وضع التصميم بتفاصيل ملائمة ومرنة توفي متطلبات المبنى سواء الراحة الحرارية أو التقليل من استهلاك الطاقة على المدى القريب أو البعيد، وبالتالي يؤدي التكيف الى خفض سرعة تأثير التغير المناخي على القطاعات المختلفة.

7-: قائمة المراجع:

1- IPCC, "Climate Change 2014–Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects," Cambridge University Press, 2014.

2- GIVONI, Baruch. Climate Considerations in Building and Urban Design. New York: Van .Nostrand Reinhold, 1998

3- M. Snow and D. Prasad, February 2011, Climate .Change Adaptation for Building Designers

4- منى رزق جاد السيد ، مفهوم المباني المتنفسة ، رسالة ماجستير، جامعة القاهرة،2015.

5- M. Snow and D. Prasad, February 2011, Climate Change Adaptation for Building Designers.

6- Scott Crawford, 2010, Breathing Building Skin: Designing with the Concepts of Biological Adaptation, Master of Science in Design Computing, University of Washington.

7- Y. Kodama,2008, Responsive Building Elements in architecture, IEA ECBCS program, Delft.

8- Hacker, JN, Belcher, SE & Connell, RK (2005). Beating the Heat: keeping UK buildings cool in a warming climate. UKCIP Briefing Report. UKCIP, Oxford.

المواقع الالكترونية:

(I) https://www.aab-acoustic.com/sites/default/files/dossiers/agora.pdf?fbclid=IwAR0bWvonjluKJIT4YoqTmn5i5uCgscT-Xv9JfVVdgaFoMELLkonfXu7sv-4 , Accessed at 27-3-23.

(ii) RMIT Design Hub | 2013-05-16 | Architectural Record

(iii)https://www.archilovers.com/projects/57574/apple-campus-2-project.html#info

(iii)https://architizer.com/blog/inspiration/stories/architectural-details-apple-park-windows/

(iiii) Amazon Spheres / NBBJ | Arch Daily

(iiiii) https://www.archdaily.com/tag/apple-campus