تحليل تأثير المعالجات التصميمية لفتحات واجهات المباني الإدارية على تقليل الاكتساب الحرارى

Analyzing Impact of Design Treatments for facades' Openings of Office Buildings on Reducing Heat Gain

د/ رشا مازن عبد السلام

مدرس بقسم العمارة، كلية الفنون الجميلة، جامعة أسيوط، أسيوط، مصر.

Rasha_Mazen@farts.aun.edu.eg

ملخص

شهدت الأعوام الأخيرة تطورات هائلة فى تقنيات البناء على المستوى العالمى ادت إلى حدوث تغيرات كبيرة فى المعالجات التصميمية للفتحات فى واجهات المبانى الادارية ليؤدى المبنى وظيفته دون زيادة فى الاكتساب الحرارى وخاصة فى البلاد ذات المناخ الحار. تلاحظ على المستوى المحلى الاهتمام بشكل الفتحات من الناحية الجمالية مع اغفال دورها الفعال فى امكانية تقليل الاكتساب الحرارى.

يهدف البحث إلى دراسة تأثير المعالجات التصميمية لفتحات واجهات المباني الإدارية لتقليل الاكتساب الحرارى داخل الفراغات الداخلية وذلك بالقاء الضوء على العوامل التى تؤثر على النفاذ الحرارى خلال هذه الفتحات وما تتطلبه من معالجات تصميمية مع دراسة تحليلية لأهم هذه المعالجات التى يمكن تطبيقها فى تلك المبانى. لتحقيق الهدف تم عمل دراسة لفتحات واجهات ثلاث مبانى إدارية على المستوى العالمى والاقليمى ذات نفس المناخ (حار جاف) لبحث العوامل التى تؤثر على الاداء الحرارى لهذه المبانى وما يصاحبها من تقليل استهلاكها للطاقة مع ضمان الإضاءة الطبيعية فى فراغاتها. وتبين من الدراسة أن استخدام الكوليسترا امام الفتحات حقق نسب تعتيم عالية للواجهات الشرقية والغربية وصلت إلى 60% وانعكس ذلك على تقليل احمال التبريد بنسبة 20% كما ساعد استخدام الستائر الديناميكية الذكية على تقليل نفاذ اشعة الشمس للداخل بنسبة أكثر من 50% مقابل 60% عند استخدام مسطحات خضراء رأسية وتبين أن استخدام الكاسرات الشمسية حقق نسب تظليل فى المبانى ما بين 95% - 100% فى المبانى محل الدراسة. وتؤكد هذه النتائج الدور الإيجابي للمعالجات التصميمية لفتحات واجهات المباني فى تقليل الاكتساب الحرارى لها.

كلمات مفتاحية:

المعالجات التصميمية – الاكتساب الحرارى – الاشعاع الشمسى – الفتحات الخارجية – المبانى الادارية.

ABSTRACT

Recent years have witnessed tremendous developments in building techniques at the world level, which have led to major changes in the design treatments of facades' openings in office buildings so the building performs its function without an increase in heat gain, especially in countries with a hot climate. On the local level, the importance is directed toward the shape of openings from the aesthetics view without paying attention to their active role in decreasing the heat gain.

This research article is aimed at studying impact of design treatments for openings of office buildings' facades on reduction of the heat gain inside inner spaces. This calls for shedding light on the factors, which affect the thermal penetration through these openings and their demand from design treatments along with a study analysis for the important treatments which can be applied for these buildings. To achieve the goal of the present article, a study is conducted for facades' openings of three office buildings at the international and regional levels, which has the same climate (hot and dry) to investigate the factors, which affect the thermal performance of these buildings and associated reduction of energy consumption while maintaining natural lighting in their

spaces. It is concluded from the study that the use of Alkolestra in front of openings achieved opacity ratio up to 60% for the eastern and western facades with a subsequent reduction of cooling loads by 20%. Also, the use of smart dynamic curtains helped in reducing penetration of solar radiation inside the building by more than 50% against 60% on using green vertical areas. The use of sun-breakers achieved shading ratios between 95% and 100% in the buildings under study. These results confirm the positive role of the design treatments for facades' openings of buildings in decreasing their heat gain.

Keywords:
Design Treatments – Heat Gain – Solar Radiation – Outer Openings – Office Buildings.

1. مقدمة

تعتبر مشكلة الاكتساب الحرارى من اهم المشكلات التى تتعرض لها واجهات المبانى الادارية والتى تمتاز بكبر المسطحات الزجاجية, واصبحت هذه المشكلة تشغل دول العالم خاصة المناطق ذات المناخ الحار الجاف حيث ارتفاع درجات الحرارة وكبر نطاق الأشهر الحارة على مدار العام مما يزيد من معدل التدفق الحرارى داخل تلك المبانى.

وتعتبر الفتحات هى نقطة الضعف فى الواجهة حيث أنها تشكل المصدر الرئيسي للكسب أو الفقد الحرارى للفراغ الداخلى وبالتالي فهي تؤثر بشكل كبير على النمط الحرارى داخل المبنى لذا يجب مراعاة تصميمها بشكل كامل وأن يكون المعماري على دراية بميكانيكية الانتقال الحرارى خلال زجاج النوافذ بهدف تقليل الاكتساب الحرارى داخل الفراغات.

لذا يعتبر التصميم البيئي للفتحات مشكلة معقدة نظرا لتعدد اهداف التصميم والتعارض فيما بينها حيث أن النافذة يجب أن تعمل كمرشح أو فلتر لنفاذ الضوء بغرض توفير الإضاءة الطبيعية مع حجب الاشعاع الشمسي المباشر لمنع تسخين الفراغات الداخلية من جهة وكذلك الحد من زيادة الابهار الضوئي مع اتاحة الرؤية للفراغ الخارجى من الجهة الأخرى[2].

وتحاول معظم الدول النامية نقل التكنولوجيا الحديثة المطبقة على الواجهات الخارجية للمبانى الادارية دون الاهتمام بمدى توافقها مع المناخ المحيط.

يهدف البحث إلى دراسة تأثير المعالجات التصميمية لفتحات واجهات المباني الإدارية للحد من الاكتساب الحرارى داخل الفراغات الداخلية مما يستوجب على المصمم المعمارى عند استخدام المعالجات التصميمية للفتحات بهدف تقليل الاكتساب الحرارى أن يراعى توافقها مع المتغيرات المناخية.

البحث مقسم إلى سبعة اجزاء حيث يركز الجزء الثانى على تأثير الاشعاع الشمسى وميكانيكية انتقاله خلال زجاج الفتحات والجزء الثالث يستعرض العوامل التى تؤثر على النفاذ الحرارى خلال فتحات المباني والجزء الرابع يوضح المعالجات التصميمية للفتحات الخارجية بهدف تقليل الاكتساب الحرارى والجزء الخامس يركز على دراسة تحليلية لفتحات واجهات ثلاث مبانى إدارية محل الدراسة على المستوى العالمى والاقليمى ذات نفس المناخ بهدف دراسة كلا من العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى خلال فتحات المبانى الثلاثة والمعالجات التصميمية لفتحاتها الخارجية للتقليل من الاكتساب الحرارى والجزء السادس يوجز اهم الاستنتاجات التى توصل إليها البحث.

- **المشكلة البحثية:**

– تفاقم التحديات البيئية من جانب المباني بشكل عام وواجهاتها بشكل خاص والتى تمثلت فى زيادة نسبة الفتحات والزجاج بواجهات المبانى الادارية ومردود ذلك على زيادة الاكتساب الحرارى لذلك كان لابد من الاهتمام بدراسة المعالجات التصميمية الخاصة بالفتحات لتقليل عملية الاكتساب الحرارى.

– تلاحظ على المستوى المحلى الاهتمام بشكل الفتحات من الناحية الجمالية فى الواجهات مع اغفال دورها الفعال فى امكانية تقليل الاكتساب الحرارى والاعتماد على أنظمة التكييف الميكانيكية للتغلب على مشكلة هذا الاكتساب وما يصاحبه من زيادة فى استهلاك الطاقة.

– عدم وجود اشتراطات تصميمية تلزم المعمارى بضرورة معالجة الواجهات وفتحاتها للحد من الاكتساب الحرارى.

- **هدف البحث**

يهدف البحث إلى استعراض استخدام المعالجات التصميمية على فتحات واجهات المبانى الإدارية فى المناخ الحار الجاف لتقليل الاكتساب الحرارى من خلال دراسة العوامل التى تؤثر على النفاذ الحرارى داخل تلك المبانى مع الاهتمام بتطبيق هذه المعالجات على فتحات واجهاتها للوصول إلى مبانى إدارية ذات اداء حرارى جيد.

- **منهجية البحث**

لتحقيق الأهداف السابقة يتبع البحث منهجين وهما:

المنهج الاستقرائى:

من خلال دراسة الاشعاع الشمسي وميكانيكية انتقاله خلال زجاج فتحات المبانى وكذلك دراسة العوامل التى تؤثر على النفاذ الحرارى لداخل المباني وما تتطلبه من معالجات تصميمية لفتحاتها الخارجية لتقليل الاكتساب الحرارى.

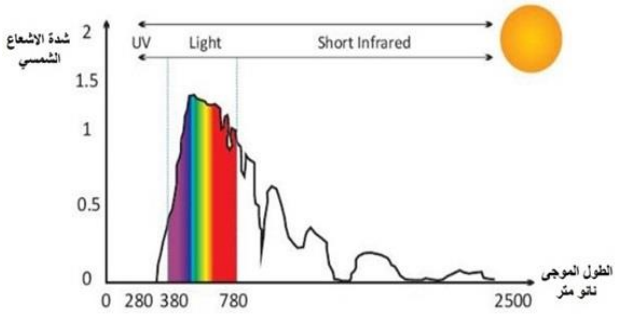
المنهج التحليلي الاستنباطى:

من خلال عمل دراسة تحليلية لثلاث مبانى إدارية على المستوى العالمى والاقليمى ذات نفس المناخ والتى نجحت فى استخدام معالجات تصميمية خارجية للفتحات لتقليل الاكتساب الحرارى لهذه المبانى بهدف تطبيقها على المستوى المحلى لتقليل الاكتساب الحرارى فى تلك المبانى.

2. الاشعاع الشمسي وميكانيكية انتقاله خلال الزجاج

يشمل الاشعاع الشمسي ثلاثة انواع من الاشعة تختلف باختلاف الطول الموجي لها وهى الضوء المرئي بنسبة (47%) والأشعة تحت الحمراء بنسبة (50%) والأشعة فوق البنفسجية بنسبة (3%) [2] كما هو موضح بشكل (1):

* الضوء المرئي Visible light: وهو يمثل اشعاع بطول موجى بين 380 – 780 نانو متر[16].
* الاشعة فوق البنفسجية Ultra violet: وهى تمثل الاشعاع ذو الطول الموجي الاقل من 100 - 380 نانو متر[17].
* الأشعة تحت الحمراء Infra-red: وهى تمثل الاشعاع ذو الطول الموجي الاكبر من 780 – 2500 نانو متر[17].



شكل (1) مكونات الاشعاع الشمسي طبقا للطول الموجي.

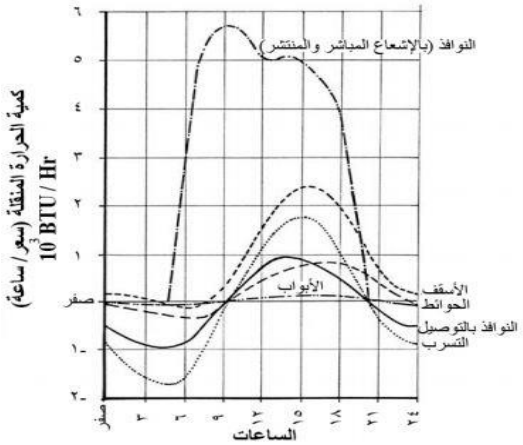
UV: الاشعة فوق البنفسجية , Light: الضوء المرئي , Short Infrared: الاشعة تحت الحمراء[24].

وعند سقوط اشعة الشمس مباشرة على الزجاج فنجد أن نسبة من الاشعة تنعكس للخارج ونسبة يمتصها الزجاج نفسه ونسبة تنفذ إلى الفراغ الداخلي ويتكون الاشعاع الشمسي من ثلاث اشعاعات تختلف فى الاطوال الموجية[17].

ومما يجدر ذكره أن الزجاج العادى ينفذ الضوء المرئي إلى داخل الفراغ بينما يمنع دخول الأشعة تحت الحمراء لو كانت بعيدة أما القريبة فهي تنفذ من خلاله.

لذلك عند دراسة نفاذ الاشعاع الشمسي فى الصيف حيث درجة حرارة الجو عالية يكون المطلوب السماح بنفاذ الضوء المرئي بالصورة التى تجعله يحقق الاضاءة الكافية مع تقليل نفاذ الاشعة تحت الحمراء (والتى تمثل النسبة الاكبر من الاشعاع الشمسي) بحيث لا تسبب ارتفاعا ملموسا فى درجة حرارة الفراغ الداخلي, ومما يجدر ذكره أن الأشعة تحت الحمراء لا تشعر بها العين ولكن يشعر بها الجلد فتتسبب فى الشعور بارتفاع درجة الحرارة بشكل مباشر[2], ووجد أن استخدام الزجاج يزيد من النفاذ الحرارى للإشعاع الشمسي إلى داخل الفراغ بأكثر من ثلاث مرات نظيره فى غياب الفتحات (أى فى الأسطح المعتمة)[10], وتختلف درجة النفاذ تبعا لنوع الزجاج ودرجة

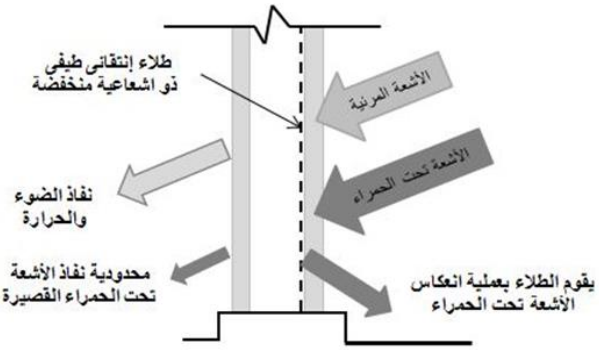
شفافيته ودرجة نقائه[23], ويوضح شكل (2) كبر النفاذ الحرارى الذى يحدث من خلال الفتحات بالمقارنة مع نظيره من عناصر المبنى الأخرى (الأسقف والحوائط).



شكل (2) النفاذ الحرارى خلال الفتحات بالنسبة لعناصر المبنى الأخرى[14].

وتختلف انواع الزجاج من حيث ميكانيكية انتقال الحرارة خلاله وفى التعامل مع الاطوال الموجية المختلفة للإشعاع الشمسي, ويعتبر افضل نوع زجاج هو الذى يسمح بدخول الضوء المرئي ويمنع دخول الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية حيث أنهما يتسببان فى ارتفاع درجة حرارة الحيز الداخلى مما ينعكس على زيادة الاكتساب الحرارى داخل الفراغات الداخلية[20].

يتفاعل الزجاج الإنتقائي طيفيا ذو الإشعاعية المنخفضة تفاعلا مختلفا مع الأطوال الموجية المختلفة للأشعة الشمسية فهو عادة يسمح بنفاذ الأشعة الشمسية ذات الأطوال الموجية التي تدركها عين الإنسان ضوء، بينما يقوم بعملية إنعكاس نسبة كبيرة لموجات الأشعة تحت الحمراء القصيرة التي تحمل حرارة ولا تحمل ذلك الضوء وبالتالي فإن الزجاج يمكنه السماح بدخول كمية كبيرة من الإضاءة الطبيعية إلى الفراغ الداخلى فى المبنى بينما يقوم بعكس كمية كبيرة من الحرارة إلى خارج المبنى[22] ويوضح شكل (3) سلوك الاشعاع الشمسي خلال زجاج مزدوج الطبقة الخارجية له مطلية بطلاء انتقائى طيفى.



شكل (3) سلوك الاشعاع الشمسي خلال زجاج انتقائى طيفى [22].

ولوحظ فى المباني العالية التى تعلو مستوياتها العليا طبقة القبة الحضرية* زيادة فى شدة الاشعاع الشمسي بنسبة 4 – 5% مع كل 300 م زيادة فى الارتفاع وذلك بسبب انعكاسات الأشعة من اسطح وواجهات المباني المجاورة الأقل فى الارتفاع ويتبع ذلك زيادة احمال التبريد[6].

3. العوامل التى تؤثر على النفاذ الحرارى خلال فتحات المباني:

يوجد العديد من العوامل التى تؤثر على النفاذ الحرارى خلال فتحات المبانى وهى كالتالى:

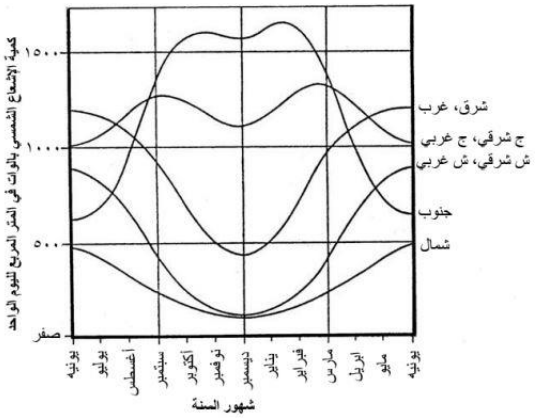
3. 1 مساحة النافذة:

تعتبر مساحة النافذة احد العوامل الرئيسية التى تؤثر على كمية الاشعة الشمسية التى تنفذ داخل الفراغ وتوصلت الدراسات فى المناطق الحارة الجافة أنه كلما زادت مساحة النافذة كلما ارتفعت درجة الحرارة الداخلية أى بزيادة المساحة تزداد شدة الإشعاع الشمسى[9] كلما قلت نسبة الزجاج المستخدم فى الواجهة قل الاكتساب الحرارى, وقد أثبتت الدراسات أن نسبة الزجاج فى الواجهات التى تصل إلى 35% تحقق التوازن بين الإضاءة الطبيعية وبين الاكتساب الحرارى [10].

* طبقة القبة الحضرية: هى طبقة الهواء في المناطق الحضرية التى تمتد من سطح الأرض حتى متوسط ارتفاع المبانى في المنطقة ويحدد مناخها خصائص الأسطح الحرارية وتوجيهها والوانها وكثافة المبانى وطريقة تجميعها.

3. 2 موقع الفتحات وتوجيهها:

- يعتبر توجيه الفتحات من العوامل المؤثرة على الاكتساب الحرارى وبالتالى فإنه من الضروري معرفة تأثير النافذة على الأداء الحرارى للفراغ الداخلى وافضل توجيه للفتحات هو الاتجاه الذى يسمح بمرور ووصول الأشعة الشمسية إلى داخل المبنى خلال فصل الشتاء ويمنعها تماما أو يحد منها خلال فصل الصيف ويوضح شكل (4) قيم كمية الاشعاع الشمسى الساقط على الواجهات الرأسية مختلفة التوجيه بالنسبة للمناخ الحار الجاف[16].
- ويتضح من الشكل أن الفتحات على الواجهات الجنوبية هى الأفضل لأن هذه الواجهات تتلقى الكمية الأكبر من الاشعاع الشمسي خلال فترة النهار من فصل الشتاء أما بالنسبة لفصل الصيف فتكون كمية الاشعاع الشمسي التى تتلقاها اقل ما يمكن [16].
- الفتحات على الواجهات الشمالية أقل الفتحات استقبالا للأشعة الشمسية مما يجعل المبنى اكثر برودة فى فصل الشتاء[19].
- الفتحات على الواجهات الشرقية والغربية تتلقى اعلى شدة اشعاع فى فصل الصيف واقل اشعاع فى فصل الشتاء وبالتالي تعتبر اسوأ الفتحات[15].



شكل (4) قيم كمية الاشعاع الشمسى الساقط على الواجهات الرأسية مختلفة التوجيه وذلك على مدار السنة عند خط عرض 40° شمالا[15].

3. 3 شكل الفتحة وجوانب فتحة النافذة:

عادة تركب النافذة فى حائط بسمك 12 سم أو 25 سم أو اكبر من ذلك وبالتالي لا يمكن أن يهمل هذا السمك حيث أنه له دور هام فى القاء الظل على جزء من النافذة مما ينعكس على تقليل المساحة المعرضة للأشعة الشمسية التى تصل لسطح النافذة ولذلك يفضل تركيب النافذة على السطح الداخلي للحائط لكى يتم الاستفادة من الظل الناشىء من سمك الحائط [19][16] كما فى مبنى مشيخة الازهر بالقاهرة بشكل (5).

شكل (5) مبنى مشيخة الازهر بالقاهرة[16].

3. 4 نسبة مساحة النوافذ للحوائط Window to Wall Ratio:

- يوجد علاقة مباشرة بين نسبة النوافذ إلى الحوائط والاكتساب الحرارى الشمسى حيث مع زيادة نسبة النوافذ إلى الحوائط يزداد الاكتساب الحرارى الشمسى[24] حيث أن الفتحات يمكنها أن تنقل الحرارة خمس مرات أكثر من الاجزاء المصمتة[23].

– يؤدى تصغير نسبة مساحة الفتحات إلى الحوائط فى المناخ الحار إلى تقليل الاكتساب الشمسي الذى يزداد مع الزيادة فى معدلات الاشعاع الشمسى[43].

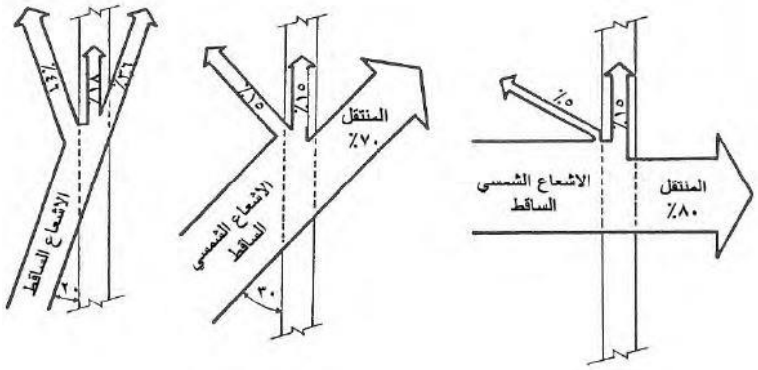
3. 5 نوع مادة الفتحات:

يتمتع الزجاج بنفاذية عالية لأشعة الشمس وتختلف النسبة المئوية لنفاذ الأشعة الشمسية خلال الزجاج إلى الفراغ الداخلى طبقا لثلاثة عوامل:

1.5.3. زاوية سقوط الأشعة الشمسة

تختلف شدة الاشعاع الشمسى تبعا لاختلاف زاوية ارتفاع الشمس فكلما كانت الأشعة عمودية على سطح النافذة كان الاشعاع الشمسى اشد واكبر[18].

يؤثر تغير زاوية سقوط الاشعاع الشمسي على كمية الطاقة المنتقلة عبر الواجهة, فعندما تكون زاوية السقوط عمودية على الواجهة فإن الطاقة المنتقلة تكون اكبر من نظيرتها عند زاوية سقوط تساوى 30 درجة بقيمة مقدارها حوالى (10%) وتقل الطاقة المنتقلة إلى 36% عندما تكون زاوية السقوط تساوى 20 درجة كما هو موضح بشكل (6) وعند زاوية السقوط 80 درجة فالطاقة المنتقلة تكون حوالى نصف الطاقة المنتقلة عند زاوية سقوط 60 درجة[15].



شكل (6) تأثير تغير زاوية السقوط على كلا من كمية الاشعاع المنتقل والمنعكس والممتص فى حالة زجاج صافى ذو سمك 2/1 بوصة[15].

2.5.3. عدد طبقات الزجاج للنافذة:

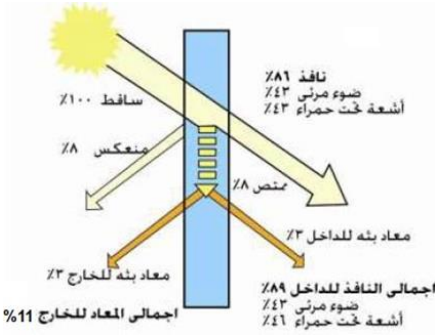
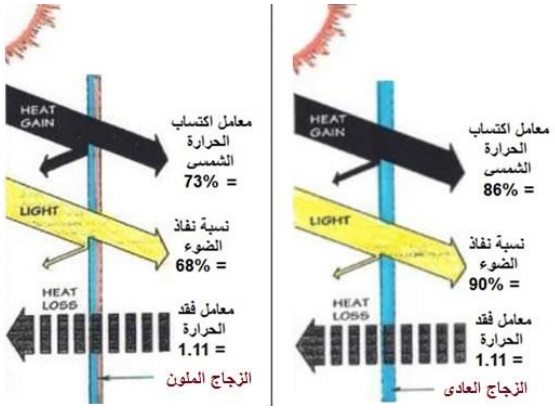
يؤثر عدد طبقات زجاج النافذة وتوجيهها على الانتقال الحرارى, ويقل معامل الانتقال الحرارى طبقا للتوجيه وعدد طبقات الزجاج والمسافة بينهما[24].

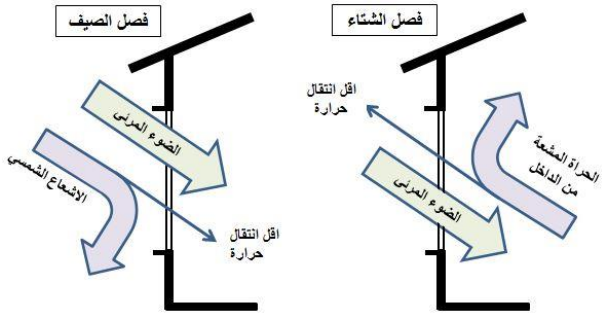
3.5.3. نوع مادة الزجاج وسمكه:

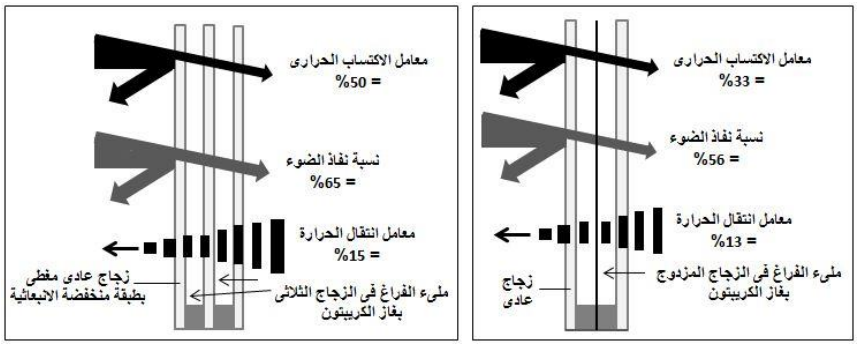
نجد أن المادة المصنعة منها الزجاج تؤثر على معدل دخول الاشعاع الشمسى إلى داخل المبنى بالإضافة إلى أن شفافية الزجاج وخواصه تلعب دور هام فى انتقاله خلال الزجاج حيث يشكل الزجاج العادى اكبر انتقال للاشعاع الشمسى داخل الفراغ[24].

يختلف نوع الزجاج باختلاف اللون والسمك والملمس وتعتبر اسطح الزجاج ذات اللون الداكن اقل نفاذا للاشعاع الشمسي مقارنة بالزجاج الشفاف العادى[18], ويوجد انواع مختلفة من الزجاج كما هو موضح بجدول (1).

جدول (1) انواع الزجاج المستخدمة فى الفتحات

نوع الزجاج	توصيفه
▪ الزجاج الشفاف العادى Clear Glass	يمتاز هذا الزجاج بتحقيق الإضاءة الطبيعية ورؤية الوسط الخارجى لكن تأثيره محدود على معدل انتقال الاشعاع الشمسى من خلاله, فنجد أنه عند استخدام زجاج عادى بسمك 3مم فإن الاشعاع الشمسى ينفذ بنسبة 90% إلى داخل الفراغ[2] كما هو موضح بشكل (7).  **شكل (7) سلوك الإشعاع الشمسى على الزجاج العادى[2].**
▪ الزجاج المصبوغ / الملون Tinted Glass	هو نوع من الزجاج يقوم بعمل موازنة بين الضوء المرئي والاكتساب الحرارى ويقلل نسبة نفاذ كلا من الضوء المرئي والاكتساب الحرارى وله لونان الرمادي والبرونزي. تم تصنيع الزجاج المصبوغ بهدف زيادة مستوى امتصاص الحرارة خلاله مع زيادة الإضاءة الطبيعية والرؤية الخارجية وفى نفس الوقت يعمل على تقليل اللمعان والابهار الضوئى, ولكن يوجد انواع منه باللون الازرق والاخضر تعمل على زيادة الإضاءة الطبيعية وفى نفس الوقت تقلل الاكتساب الحرارى[24]. يوضح شكل (8) أن معامل الاكتساب الحرارى الشمسي SHGC للزجاج العادى 86% مقابل 73% للزجاج المصبوغ.  **شكل (8) مقارنة بين الخصائص الضوئية للزجاج العادى والزجاج المصبوغ[24].**
▪ الزجاج المرقق او الزجاج المعالج حراريا Laminated Glass or Heat Treated Glass	يحتوى هذا الزجاج على عنصر الحديد الذى يضفى على الزجاج الوان متعددة تبدأ من الأخضر ذو اللون الازرق إلى البرونزى وذلك تبعا لنسبة الحديد[49]. يعمل هذا الزجاج على امتصاص الأشعة تحت الحمراء ثم يعيد اشعاعها مرة أخرى للخارج وبالتالي يمنع دخولها إلى داخل الحيز مما ينعكس على تقليل الاكتساب الحرارى بفعل الأشعة تحت الحمراء وبالتالى تحقيق الراحة الحرارية[52]. وغالبا ما يوضع هذا النوع من الزجاج كطبقة خارجية للشباك المزدوج مع مراعاة عدم استخدامه بمسطحات كبيرة على الواجهة لأنه معرض للكسر اكثر

	من الأنواع الأخرى بسبب الحرارة التى يمتصها, وتساعد مادة Poly Vinyl Butyral (PVB) التى تستخدم لتلوين الزجاج المرقق على تحسين خواصه[27]. يستخدم هذا الزجاج كزجاج عازل ويكثر استخدامه فى المبانى الإدارية حيث تتراوح نسبة الانتقالية الحرارية له ما بين 0,47 – 0,49 وات/م^2.درجة ويعتبر الزجاج ذو اللون الاخضر افضل نوع فى معامل التظليل الخاص بالزجاج[29].
▪ الزجاج منخفض الانبعاثية Low Emissivity Glass	هو نوع من الزجاج المعالج بطبقات معدنية تتسم بأنها منخفضة الانبعاثية للأشعة تحت الحمراء مما ينعكس على تقليل الاكتساب الحرارى من الخارج للداخل بنسبة 80% مقارنة بالزجاج العادى ويتم وضعه على السطح الخارجى فى المناخ الحار لمنع اكتساب الحرارة للداخل ويوضع فى المناخ البارد على السطح الداخلى لمنع انتقال الحرارة للخارج [20] كما يوضح شكل (9). ويصنف هذا الزجاج إلى نوعين نوع ناعم Soft ونوع صلب Hard ويشمل النوع الصلب اكسيد القصدير بينما النوع الناعم يشمل طبقات رفيعة من الفضة, ويمتاز النوع الناعم بانه يعكس الاشعة تحت الحمراء بصورة كبيرة مما يقلل من الاكتساب الحرارى مقارنة بالنوع الأخر[24]. يتواجد هذا النوع من الزجاج إما مفرد أو مزدوج على شكل طبقتين من الزجاج العادى سمك 3 مم أو 6 مم وبينهما فراغ يملىء بغاز خامل (ارجون – كريبتون – زينون - ....) ويعمل هذا الزجاج كعازل حرارى يؤدى إلى انخفاض الانبعاثية بين الفراغ الداخلى وخارج المبنى وتضاف الطبقة منخفضة الانبعاثية إلى الزجاج سواء المفرد أو المزدوج[20].  **شكل (9) مقارنة بين الانتقال الحرارى خلال الزجاج منخفض الانبعاثية فى فصل الصيف وفى فصل الشتاء[24].**
▪ الزجاج المتعدد الانعاكسات Multi – Reflective Glass	تستخدم الطبقات العاكسة على الزجاج العادى أو المصبوغ بألوان مختلفة مثل الفضى أو الذهبى أو البرونزى بهدف تقليل معامل الاكتساب الحرارى الشمسى من خلال انعكاس نسب عالية من الاشعة تحت الحمراء حسب سمك الزجاج ومواد تصنيعه حيث تعمل الطبقة العاكسة كمرآة لعكس الاشعاع الحرارى من الدخول للفراغ الداخلى فى المناطق الحارة مع المحافظة على انتقال الضوء المرئى إلى داخل الفراغ[24]. نتيجة للطفرة التقنية التى حدثت فى مجال تصنيع الشرائح الرقيقة Thin Film Technology ظهرت انواع زجاج ذات أغشية معدنية بمعامل نفاذ عالى للضوء المرئى المرغوب في دخوله إلى الحيز الداخلى ومعامل انعكاس كبير للاشعة تحت الحمراء الغير مرغوب فيها [36]. ويتم دمج اكثر من طبقة من الاغشية الرقيقة المعدنية مع الزجاج عند تصنيعه وبالتالى فإن هذا النوع من الزجاج يمتاز بأن كمية الحرارة المنتقلة خلاله تنعكس ثم ترتد للداخل ثم يعاد انعكاسها مرة أخرى خارج المبنى مما ينعكس على انخفاض الاشعة الشمسية النافذة للداخل بنسبة 85% بالمقارنة مع الزجاج العادى مما يساهم فى خفض الاكتساب الحرارى[36].

	ويوجد وحدات مزدوجة مكونة من لوحين من الزجاج متعدد الانعكاسات بينهما فراغ هوائى ويتم تثبيتهما معا مع وجود فواصل من المطاط لكى تمنع الزجاج من الكسر عند تمدده نتيجة ارتفاع درجة حرارته[36]. ولوحظ أنه عند وضع شريحة من البلاستيك فى منتصف وحدة الزجاج المزدوج العادى وتكون مطلية بطبقة منخفضة الانبعاثية افضل من الناحية الحرارية عن وحدة الزجاج الثلاثى العادى والمطلى بطبقتين منخفضة الانبعاثية احداهما على اللوح الداخلى والأخرى على اللوح الخارجى مع ملىء الفراغات فى الحالتين بغاز الكريبتون العازل للحرارة. ووجد أن طبقة البلاستيك عملت على تحسين خواص الزجاج وجعلت معامل الاكتساب الحرارى الشمسى لوحدة الزجاج المزدوج 33% مقابل 50% للزجاج الثلاثى كما يوضح شكل (10)[20].  **شكل (10) الاكتساب الحرارى فى وحدة الزجاج المزدوج المزود بشريحة بلاستيكية (033%) مقابل الاكتساب الحرارى لوحدة الزجاج الثلاثي (50%)[2].**
▪ الزجاج الضوئي Photo Cromic Glass	يمتاز هذا النوع من الزجاج بتغيير خواصه الفيزيائية الحرارية تبعا لتغير مستوى شدة الاشعاع الشمسى الساقط عليه بسبب وجود مادة جيلاتينية بين طبقات الزجاج وهى التى تغير من خصائصه الضوئية, فعند سقوط اشعة الشمس عليه فى فصل الصيف يصبح لون الزجاج معتم وعند غياب اشعة الشمس فى فصل الشتاء يتحول لون الزجاج إلى اللون الشفاف وبالتالى فهو مناسب فى الاستخدام لواجهات المبانى الإدارية طوال السنة[28]. تم تحسين التركيبة الكريستالية للزجاج بإدخال معادن معينة عند التصنيع تعمل كمنظم حرارى لدخول اشعة الشمس من خلال الزجاج مما ينعكس على التحكم فى الاكتساب الحرارى داخل الفراغ الداخلى[28]. من الاشكال المنتشرة تجاريا لهذا النوع من الزجاج ما يسمي بالزجاج المعالج بالسيراميك Glass Mica Composite ويتواجد هذا الزجاج بالوان متعددة فاتحة فقط بدءا من الاخضر بدرجاته حتى الأبيض وتصل التوصيلية الحرارية له من 0.93 بالنسبة للون الأخضر مقابل 1,4 للون الاوف وايت مما ينعكس على تقليل الاكتساب الحرارى[20]. ويوجد نوع أخر من الزجاج الضوئى وهو الزجاج المحفور Frited Glass حيث يتم حفر الزجاج باشكال هندسية مستقيمة أو دائرية ويتم تلوينه بالوان مختلفة ومتداخلة لتضفى شكل جمالى للزجاج وكذلك لتحسن خواصه الفيزيائية الحرارية[20]. نجد أن استخدام تقنية الزجاج الضوئي تؤدى إلى تكيف زجاج النوافذ اوتوماتيكيا للمؤثرات الخارجية من خلال تغير لون النوافذ أو نسبة شفافيته مما يعمل على عكس اشعة الشمس وتقليل نسبة دخول الاشعة تحت الحمراء بنسبة تصل إلى 80% مما ينعكس على خفض كمية الحرارة التى تنتقل خلال الزجاج إلى الفراغ الداخلى[31].

4. العوامل التى تؤثر على النفاذ الحرارى خلال فتحات المباني:

تعتبر الفتحات مصدراً رئيسياً لنفاذ الحرارة إلى داخل المبنى لذا وجب دراسة المعالجات الخاصة بالفتحات والتي يمكن أن تستخدم لتقليل الاكتساب الحرارى داخل الفراغات:

1.4. استخدام الكاسرات الشمسية:

يمكن تعريف الكاسرات على أنها حواجز مجسمة ثلاثية الابعاد تعمل على تقليل تأثير الأشعة الشمسية الساقطة مباشرة على المبنى من خلال توفير الظل ويجب وضعها بحيث لا تنعكس اشعة الشمس الساقطة عليها على أى جزء من اجزاء المبنى[13] ويوجد عدة انواع منها:

(أ) الكاسرات الشمسية الثابتة:

وهى اقل تكلفة واطول عمراً واكثر مقاومة للظروف الجوية الخارجية عند مقارنتها بالكاسرات المتحركة ولكنها اقل كفاءة منها, ويوجد منها ثلاثة انواع:

* الكاسرات الأفقية: وهى أربعة انواع إما كاسرة أفقية متصلة أو مكونة من أسلحة أو مزودة بأسلحة عمودية أو عمودية موازية للفتحة, وتستخدم لتظليل النوافذ على الواجهات الجنوبية حيث أنها تمنع دخول أشعة الشمس خلال فصل الصيف حيث أن زاوية ارتفاع الشمس تكون كبيرة خلال هذه الفترة[14].
* الكاسرات الرأسية: تستخدم بفاعلية فى تظليل النوافذ على الواجهات الشرقية والغربية [14].
* الكاسرات المركبة: تستخدم فى الواجهات الجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية[14].

(ب) الكاسرات الشمسية المتحركة:

تمتاز بمرونتها فى الاستخدام عند مقارنتها بالكاسرات الثابتة بالإضافة إلى إمكانية التحكم فى أبعادها واتجاهاتها حسب زوايا سقوط الاشعة الشمسية.

وأصبحت وسائل التظليل الخارجية التى يتم التحكم بها بواسطة الكمبيوتر لها دور كبير فى تقليل الاكتساب الحرارى بنسبة تصل إلى 65% فى فصل الصيف بالنسبة للواجهات الجنوبية ونسبة 80% بالنسبة للواجهات الشرقية والغربية, وتعتمد كفاءة هذه الأنظمة على مدى نفاذية المادة المصنوعة منها ويلزم ترك مسافة بين المظلة وواجهة المبنى للسماح بمرور الهواء[10]. يعتبر هذا النمط من التحكم وادارة الواجهة امام الفتحة مدخلا لخفض أحمال التبريد بنسبة حوالى 20% فى المباني الإدارية[4].

ويوضح شكل (11) وشكل (12) استخدام الكاسرات الأفقية والرأسية فى مبانى محلية بجمهورية مصر العربية.

شكل (11) استخدام الكاسرات الافقية في مبنى HP بالقرية الذكية بمصر[19].

شكل (12) استخدام الكاسرات الرأسية فى مبنى وزارة الصناعة والتجارة[10].

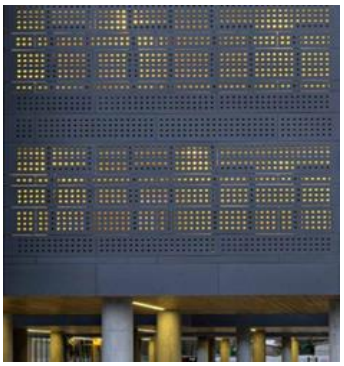
2.4. استخدام رفوف الضوء Light Shelves:

وهى عبارة عن مرآة تقوم بعكس أشعة الشمس ويمكن وضعها خارج المبنى على الواجهات لتقليل الاكتساب الحرارى وتوجيه الاضاءة الطبيعية إلى الفراغات الداخلية, ويوضح شكل (13) الرفوف الضوئية الخارجية[10].

شكل (13) استخدام الرفوف الضوئية الخارجية[10].

3.4. استخدام الشرائح المعدنية:

هى عبارة عن شرائح دقيقة السمك توضع على الزجاج بزوايا خاصة تبعاً للمساحات المطلوبة وتستخدم الشرائح المعدنية على زجاج النوافذ الخارجية للمبنى لمنع دخول اشعة الشمس الغير مرغوبة والحد من الابهار مما ينعكس على تقليل الاكتساب الحرارى داخل الفراغات[8] كما هو موضح بشكل (14).



شكل (14) استخدام الشرائح المعدنية المثقبة في الواجهات[41].

4.4. استخدام نظم العزل الديناميكية:

تستخدم نظم العزل الديناميكية ذات التصميم الملائم للنافذة لتقليل الاكتساب الحرارى وتوفير اكثر من 80% من الطاقة المستهلكة في تبريد الفراغات في فصل الصيف وتتكون هذه النظم من الستائر الخارجية والستائر الداخلية والغوالق الدوارة. ويتم التحكم فى هذه النظم طبقا للتغيرات الحرارية الخارجية وذلك لتغيير قيم معدل الكسب الحرارى من الشمس ومردوده على قيمة الاكتساب الحرارى داخل الفراغات[6], ويوضح شكل (15) الستائر المعدنية الخارجية المثبتة على احد المبانى من الخارج.

شكل (15) الستائر المعدنية الخارجية المثبتة على احد المبانى من الخارج.

5.4. البروز:

يستخدم البروز فى تشكيل النوافذ والكتل للخارج بالشكل المناسب لتحقيق التظليل والتخفيف من تأثير الاشعاع الشمسى الساقط مباشرة عليها, ويوضح شكل (16) أحد المبانى الادارية بمدينة دالاس Dallas City Hall للمعمارى I.M.Pei حيث بدأ المبنى كالهرم المقلوب من خلال استغلال قدرة الخرسانة المسلحة على البروز فى الهواء واعتبر التظليل بالكتل البارزة التى تم تنفيذها فى المبنى أحد المعالجات البيئية الناجحة فى تقليل أشعة الشمس الساقطة ومردودها على تقليل الاكتساب الحرارى داخل المبنى[1].

شكل (16) استخدام البروز فى تشكيل النوافذ والكتل للخارج فى مبنى ادارى بمدينة دالاس[1].

6.4. استخدام الكوليسترا:

تصنع الكوليسترا من مواد مثل الخشب أو الحديد أو الألومنيوم وتكون ذات فاعلية فى عدم وصول اشعة الشمس مباشرة إلى داخل الفراغات فى المبنى وبالتالى يجب أن تصنع من مادة ذات مقاومة لكلا من حرارة أشعة الشمس والحرارة المتجمعة من أثر سقوط اشعة الشمس على الكوليسترا والمخزنة فى الفراغ الواقع بين الكوليسترا وبين المبنى. هذا بالإضافة إلى دور الكوليسترا فى التقليل من الإبهار الضوئى والتحكم فى الرؤية والخصوصية[19].

ومن المبانى الادارية التى استخدمت الكوليسترا بنك مسقط فى عمان للمعماريان Atkins , MACE حيث يعكس تصميم المبنى الطراز العربى كما فى شكل (17) حيث تم تغطية اجزاء من زجاج المبنى بكوليسترا زخرفية تسمح بمرور الضوء وتحقيق الظل للمساعدة فى تبريد المبنى وتم استخدام الزجاج الملون منخفض الانبعاثية وعاكس للشمس[21,25].

شكل (17) استخدام الكوليسترا فى بنك مسقط بعمان[25].

وتم اقتباس فكرة الكوليسترا من المشربية والتى تعتبر من العناصر المعمارية الهامة المستخدمة كأحد معالجات الفتحات المعمارية فى العصر الإسلامي لتقليل تأثير الاشعة الشمسية على النوافذ, وهى عبارة عن شبكة منخلية من الخشب ذات مقاطع دائرية تفصل بينها مسافات محددة ومنتظمة وتكون ذات شكل هندسي زخرفي دقيق وبالغ التعقيد كما هو موضح بشكل (18). وتوفر المشربية التهوية الجيدة بدون التعرض للارتفاع الشديد فى درجة الحرارة سواء عن طريق الاشعاع أو التوصيل لأن الخشب المصنوع منه المشربية موصل ردئ للحرارة ولا يسخن كثيرا بتأثير أشعة الشمس وبالتالي لا يشع حرارة للهواء المحيط[14] وبالتالي فالمشربية تسمح بدخول الهواء ولا تسمح بدخول الاشعة الشمسية إلى الفراغ الداخلى. هذا بالإضافة إلى أن عناصر المشربية من القطع الخشبية التى تلقى الظلال فوق بعضها وعند مرور الهواء فوق هذه الظلال تقل درجة حرارة الهواء. ويؤدى تدرج فتحات المشربية يؤدى إلى التغير فى كمية الإضاءة النافذة وبالتالي منع حدوث الزغللة وتحقيق راحة العين[9].

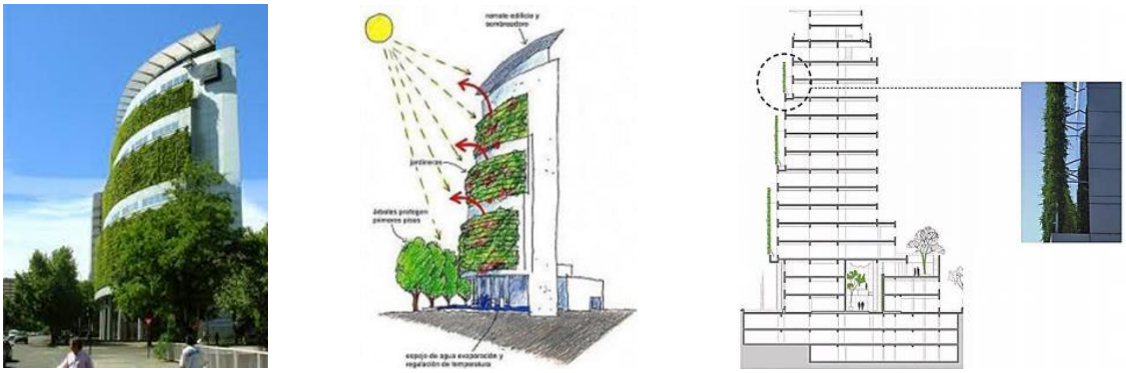
شكل (18) معالجة الفتحات بالمشربيات[20].

7.4 استخدام المسطحات الخضراء على الواجهات:

هى عبارة عن مسطحات يتم زراعتها رأسيا على واجهات المبنى الخارجية بهدف تقليل الاكتساب الحرارى من الشمس بالإضافة إلى تنقية الهواء من الغبار والملوثات. المسطحات الخضراء لها دور فى التحكم فى الأداء الحرارى للمبنى فى المناخ الحار حيث تؤدى إلى انخفاض درجة الحرارة الداخلية ما بين 3 – 10 درجات مئوية

وما يتبعها من انخفاض احمال التكييف بنسبة 15%[9]. وتبين أن الطاقة الحرارية التى تمر خلال حائط اخضر تكون اقل بنسبة 30% من نظيرتها التى تمر خلال حائط خرسانى وبالتالى وتعمل على تقليل درجة الحرارة الخارجية بجوار الغلاف الخارجى من 2 – 2,5 درجة مئوية, واثبتت الدراسات أن الحوائط الخضراء تعمل على تقليل انتقال الحرارة بمعدل 0,24 كيلووات ساعة/م[9].

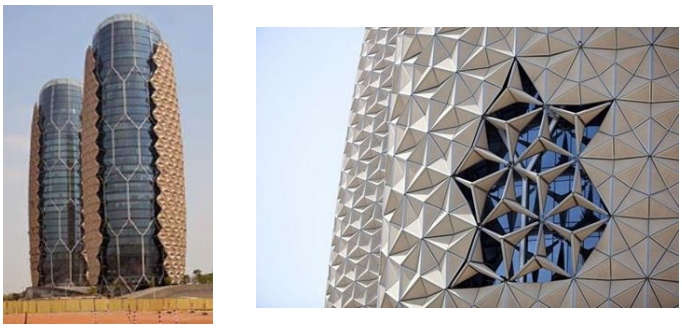
ومن المبانى الإدارية التى طبقت استخدام الغطاء الأخضر امام الفتحات فى الواجهة مبنى Consorcio Santiago Building فى Santiago بدولة شيلى ذات المناخ الاستوائى الحار, حيث تمتد المسطحات الخضراء رأسيا على الواجهة الغربية فى ثلاث اماكن على بعد 1,40 م من الواجهة كما هو موضح بشكل (19) ولعبت المسطحات الخضراء دورا كبيرا فى تقليل نفاذ الاشعاع الشمسي إلى الداخل بنسبة 60% وتبين أن الطوابق الموجود بها مسطحات خضراء على واجهاتها توفر فى استهلاك الطاقة نسبة 35% زيادة عن الطوابق الأخرى, والمبنى بصفة عامة يوفر فى استهلاك الطاقة بنسبة 48% عند مقارنته بمباني مماثله له[45].



شكل (19) اماكن تواجد المسطحات الخضراء فى مبنى Consorcio santiago [42].

8.4. استخدام الستائر الديناميكية الذكية:

تساعد أنظمة التظليل الخارجية الذكية التى تتفاعل مع اتجاه اشعة الشمس والإضاءة الطبيعية على تقليل حدة الاشعاع الشمسى الداخل للفراغ من خلال استخدام الألياف الزجاجية مما ينعكس ايضا على تقليل الاكتساب الحرارى داخل الفراغات. ومن الأمثلة على ذلك أبراج مبنى مجلس أبو ظبي بالامارت من تصميم فريق عمل إيداس حيث صممت الأبراج بستار ديناميكي حساس للشمس يقلل من الاكتساب الحراري لها. ويتكون كل برج من 1049 عنصر تظليل متحرك ليتفاعل مع كل من اشعة الشمس ودرجة الحرارة ودرجة الإضاءة فى واجهات كل برج[46]. وتم وضع هذه الستائر الديناميكية على بعد مترين خارج المبنى، وتحتوي الستائر على عدد كبير من المثلثات التي تم تغليفها بألياف زجاجية تم برمجتها طبقا لحركة الشمس للحد من نفاذ حرارتها داخل البرج كما فى شكل (20) مما يقلل من حاجة البرج للتكييف والاضاءة الصناعية بأكثر من 50%[47] وتقليل نفاذ أشعة الشمس للداخل بنسبة اكثر من 50%[35] وبالتالى تقليل احمال الطاقة فى البرج بنسبة 20% مع تحقيق نسبة تظليل ما بين 80% - 90%[34].

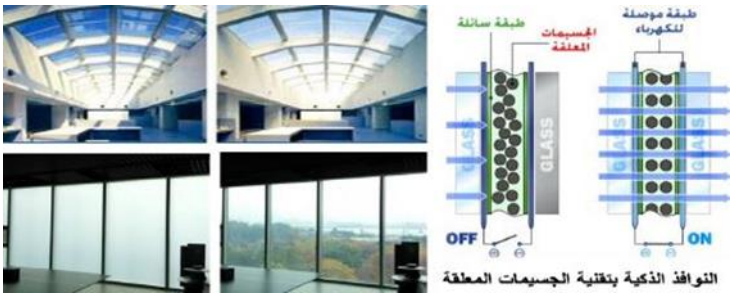


شكل (20) مبنى مجلس أبو ظبي للاستثمار واستخدام الستائر الديناميكية على الواجهات[46].

9.4. استخدام النوافذ الذكية:

تعتمد فكرتها على التحكم فى مرور كلا من الضوء والحرارة من خلال النوافذ الذكية بالاعتماد على مجموعة من الظواهر الفيزيائية (تغيير لون الضوء – البصريات الحرارية – شاشة الجسيمات المعلقة – البلورات السائلة – تغيير اللون بالكهرباء) ويتم ذلك من خلال إستخدام جسيمات دقيقة يتم التحكم فيها بواسطة فرق جهد مسلط عليها

وتقوم الجسيمات بامتصاص الضوء ولذا تسمي هذه الطريقة بالجسيمات المعلقة, ويوضح شكل (21) أنه عند زيادة فرق الجهد تتحرك هذه الجسيمات عشوائياً ولا تسمح للزجاج بمرور الضوء خلاله وعندما يقل فرق الجهد فتتحرك الجسيمات بانتظام وتسمح للزجاج بمرور الضوء[31].



شكل (21) استخدام النوافذ الذكية فى الواجهات والاسقف[31].

5. دراسة فتحات واجهات مبانى إدارية محل الدراسة:

تم عمل دراسة لفتحات مبانى إدارية على المستوى العالمى والاقليمي استخدمت معالجات تصميمية لتحقيق الراحة الحرارية وتم اختيار هذه المبانى لتنوع الفكر المعمارى لها وتنوع المعالجات التصميمية للفتحات بالإضافة إلى أن هذه المبانى ذات مناخ حار جاف وتشمل مبنى Council House 2 (ch2) باستراليا ومبنى Doha Tower بقطر ومبنى Siemens Headquarter بالامارات.

1.5. العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى خلال فتحات تلك المبانى:

فى هذا الجزء سيتم دراسة العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى خلال فتحات المبانى محل الدراسة كما هو موضح بجداول (2 , 3 , 4).

1) <u>مبنى Council House 2 (CH2) باستراليا:</u>

الوصف المعمارى للمبنى:

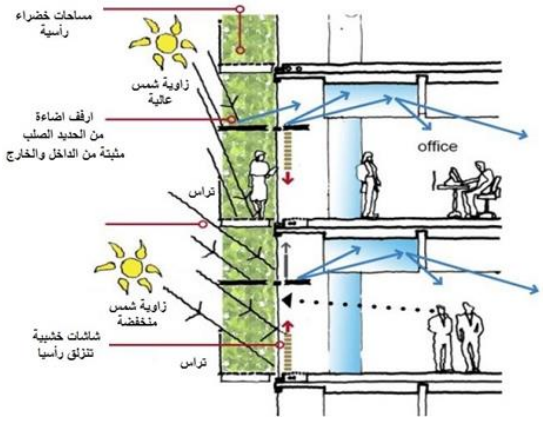
يقع المبنى فى مدينة ملبورن باستراليا وتم انشاؤه عام 2006 وهو من تصميم المهندس المعمارى ميك بيرس بالتعاون مع أخرين بهدف ايجاد مبنى ادارى يتسع لـ 550 شخص ويكون علامة مميزة للمبانى الادارية فى المدينة. وقد تم تصميمه على شكل مستطيل ويتكون من 10 طوابق بمساحة 12530 م^2 وزادت انتاجية المستخدمين بنسبة 10,9% لما يحققه من راحة حرارية لهم[30].

ويعتبر المبنى محل الدراسة اول مبنى ادارى يحقق الحد الأقصى فى تصنيف Six Green Star المعتمد من قبل مجلس المباني الخضراء فى استراليا شكل (22)[30].

شكل (22) مبنى Council House 2 (CH2) باستراليا[30].

جدول (2) العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى خلال فتحات مبنى CH2.

العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى	Council House 2 (CH2)
مساحة النافذة	النوافذ فى الادوار السفلية تكون اكبر من الادوار العلوية لأنها تتعرض لإشعاع شمسي أقل[35].

موقع الفتحات وتوجيهها	تقع النوافذ فى المبنى بطريقة تحقق اقصى استفادة من الإضاءة الطبيعية. المعالجات الخاصة بالنوافذ الموجودة على الواجهات الشمالية والجنوبية تعمل على منع الاكتساب الحرارى داخل المبنى فى الصيف ومنع الفقد الحرارى من داخل المبنى خلال فصل الشتاء.
شكل الفتحة وجوانب فتحة النافذة	يوجد اطار مفلطح من الخشب المعاد تدويره متصل بالنافذة ليقلل من حدة الانتقال من الاضاءة الخارجية الشديدة إلى الفراغ الداخلى ذو الإضاءة الخافتة. وتم اختيار الخشب لأنه من المواد ذات التوصيلية الحرارية المنخفضة وبالتالى يعمل على تقليل الاكتساب الحرارى داخل المبنى فى فصل الصيف بعكس الألومنيوم الذى يستخدم فى مبانى حديثة[35].
نوع مادة الفتحات	يتمتع الزجاج بنفاذية عالية لأشعة الشمس وتختلف النسبة المئوية لنفاذها إلى الفراغ الداخلى طبقا لثلاثة عوامل: • زاوية سقوط الأشعة الشمسية: عندما تكون زاوية الشمس عالية تستخدم ارفف إضاءة Lightning Shelves مصنوعة من الحديد الصلب وتكون مثبتة من الداخل والخارج على الواجهة الشمالية لتمنع دخول ضوء الشمس وبالتالى تقلل من الاكتساب الحرارى كما تعكس اكبر إضاءة طبيعية تجاه السقف مما يقلل الحاجة إلى استخدام الإضاءة الصناعية. وعندما تكون زاوية الشمس منخفضة تستخدم شاشات خشبية Timber Screens يتم التحكم فيها يدويا لتنزلق رأسيا لتمنع ضوء الشمس المباشر من الدخول مع المحافظة على الرؤية الخارجية[32] كما فى شكل (23).  **شكل (23) استخدام ارفف الإضاءة والشاشات الخشبية حسب زاوية الشمس الساقطة[50].** • عدد طبقات الزجاج: تم استخدام زجاج مزدوج على الواجهة الجنوبية لمنع الاكتساب الحرارى داخل الفراغات[32]. • نوع مادة الزجاج: تم استخدام زجاج مزدوج متكيف Adjustable يعمل على تخزين حرارة الشمس فى فصل الشتاء لتحقيق بيئة دافئة داخل الحديقة خلف الزجاج وفى فصل الصيف يتم فتح النوافذ لتحقيق اقصى تهوية[32]. ويحقق الزجاج المستخدم نفاذ ضوء مرئي بنسبة اعلى من 50% ونفاذ شمسي بنسبة أقل من 35%[32].

2) مبنى Doha Tower بقطر:

الوصف المعمارى للمبنى:

يقع المبنى فى الخليج الغربى بالدوحة عاصمة قطر وجاء تصميمه ككتلة اسطوانية بقطر 45 م وتم انشاؤه عام 2012 من تصميم المهندس المعمارى الفرنسى Jean Novel ويتكون من 46 طابق فوق الارض وثلاثة طوابق تحت سطح الأرض بارتفاع 238 م وبمساحة إجمالية 110000 م^2 وينتهى المبنى بقبة دائرية كما فى شكل (24). يحتوى المبنى بالاضافة إلى الحيزات المكتبية على حديقة يتم من خلالها الدخول إلى البرج من خلال بهو واسع مغطى بمظلة زجاجية تحيط بالبرج وبفضل التصميم الاسطوانى للمبنى يتمتع كل طابق بمناظر بانورامية بزاوية 360 درجة حول المبنى [25,49], وتبين أن نظام التظليل المستخدم فى المبنى يقلل من احمال الطاقة بنسبة 20%[33]. ويقدم المبنى هوية محلية من خلال استخدامه للمشربية بكامل مساحة المبنى من الخارج وبالتالى اختلافه عن المبانى المحيطة.

شكل (24) مبنى Doha Tower بقطر[25] .

جدول (3) العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى خلال فتحات مبنى Doha Tower .

العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى	مبنى Doha Tower بالدوحة
مساحة النافذة	تشغل النوافذ بالمبنى كامل السطح الظاهرى للمبنى الاسطوانى.
موقع الفتحات وتوجيهها	تقع النوافذ بكامل ارتفاع المبنى خلف طبقة الكوليسترا التى تتكون من اربع طبقات من الالومنيوم بابعاد مختلفة من حيث الضيق والاتساع طبقا لحركة الشمس مما يعمل على تنظيم دخول الضوء مع السماح بالتهوية الطبيعية [38].
شكل الفتحة وجوانب فتحة النافذة	يوجد زجاج عاكس على امتداد سطح المبنى الاسطوانى وبكامل مساحة الواجهة.
نوع مادة الفتحات	عدد طبقات الزجاج للنافذة: يوجد فراغ داخلى بين طبقة الكوليسترا الخارجية وطبقة الزجاج الداخلية باتساع 2 م ويستخدم هذا الفراغ لاعمال الصيانة كما يعمل على حركة الهواء الدافىء إلى اعلى وبالتالى تبريد سطح الزجاج[44] كما فى شكل (25). نوع مادة الزجاج المستخدم: الزجاج المستخدم فى الطبقة الداخلية هو زجاج عاكس يعمل على تقليل الاكتساب الحرارى[44]. **شكل (25) الواجهة المزدوجة لمبنى Doha Tower [33].**

3) مبنى Siemens Headquarter بالامارات

الوصف المعمارى للمبنى:

يقع المبنى فى مدينة مصدر بأبو ظبى بالإمارات تم انشاؤه عام 2013 من تصميم المعمارى البريطانى Sheppard Robson بمساحة 22.800 م^2 ويوفر تصميم المبنى اقصى قدر من المرونة فى تصميمه للمكاتب[3] حيث يوجد منطقة مكاتب مزججة بالكامل فى الطابق الأرضى, ويعتبر المبنى محل الدراسة من اكثر المبانى فى الشرق الاوسط تطبيقا للتصميم المستدام واول مبنى فى ابو ظبى يحصل على شهادة الريادة فى الطاقة والتصميم البيئى LEED من الفئة البلاتينية[12] كما بشكل (26).

شكل (26) مبنى Siemens Headquarter بالامارات[3].

جدول (4) العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى خلال فتحات مبنى Siemens Headquarter.

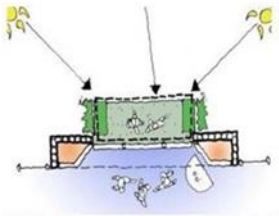
العوامل التى تؤثر فى النفاذ الحرارى	مبنى Siemens Headquarter بالامارات
مساحة النافذة	يعتمد المبنى على تقليل مساحة النوافذ لتقليل الاكتساب الحرارى.
موقع الفتحات وتوجيهها	تم اختيار موقع النوافذ جيدًا بحيث توفر أقصى قدر من المشاهدات الخارجية والحفاظ على اعلى مستويات ضوء النهار غير المباشر مع تقليل الاكتساب الحرارى[37].
شكل الفتحة وجوانب فتحة النافذة	الفتحات ذات اطار من الألومنيوم[37].
نسبة مساحة النوافذ للحوائط	تشغل نسبة الزجاج فى واجهات المبنى 35% بالنسبة إلى الحوائط مما يحقق توازن جيد بين تقليل الاكتساب الحرارى والحفاظ على ضوء النهار والرؤية الخارجية[37].
نوع مادة الفتحات	تم استخدام الزجاج المزدوج من النوع المصبوغ الخفيف Light Tinted Glass مع اطار من الالومنيوم لتقليل الاكتساب الحرارى داخل المبنى مع تحقيق نسبة نفاذ للضوء المرئى بنسبة 50% وحيث أن الزجاج يمكن تظليله بالكامل فلم يتم الاهتمام بمعامل الاكتساب الحرارى للزجاج ولم يتم استخدام اى نوع من الغازات الخاملة فى الفراغ بين طبقتى الزجاج خوفا من تسربه ويقتصر استخدام الفراغ على اعمال الصيانة فقط[37].

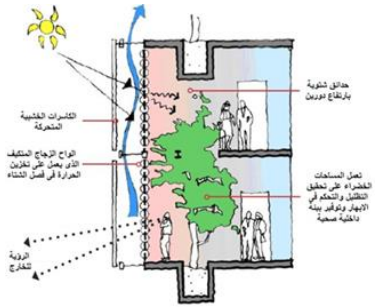
2.5. المعالجات التصميمية للفتحات الخارجية لمبانى ادارية للتقليل من الاكتساب الحرارى:

هذا الجزء يقدم دراسة تحليلية للمعالجات الخارجية لفتحات الثلاث مبانى الإدارية محل الدراسة للحد من الاكتساب الحرارى كما فى جداول (5 , 6 , 7).

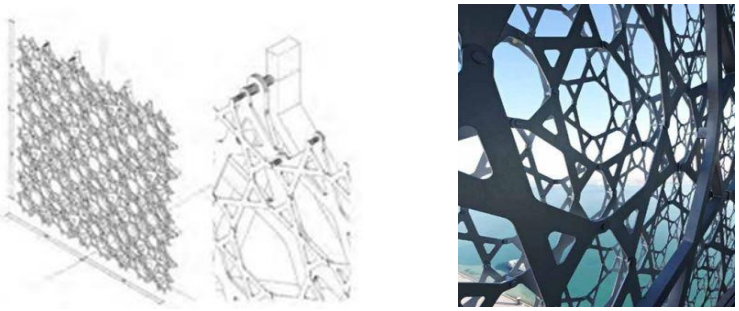
جدول (5) دراسة المعالجات التصميمية للفتحات الخارجية للحد من الاكتساب الحرارى فى مبنى Council House 2 (CH2) باستراليا.

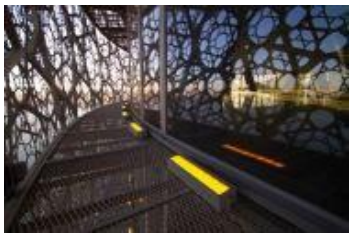
المعالجات التصميمية للفتحات الخارجية	مبنى Council House 2 (CH2)
استخدام الكاسرات	تم تغطية الواجهة الغربية الزجاجية بالكامل بنظام تظليل خارجى ذكى يتكون من

الشمسية	كاسرات خشبية متحركة رأسيا عبارة عن شرائح من الخشب المعاد تدويره بنسبة 100% والتى تظل مفتوحة للسماح بدخول اكبر ضوء شمسي عندما يكون شعاع الشمس غير ساقط مباشرة على الواجهة وتغلق تماما عندما يكون شعاع الشمس ساقط مباشرة, وتعمل هذه المنظومة عن طريق دوران هذه الكاسرات بشكل عمودى حيث يتم التحكم فى حركتها هيدروليكيا (باستخدام زيت من الخضروات) بطريقة اوتوماتيكية من خلال برنامج حاسب يتتبع وضع الشمس فى السماء ويتم توليد القدرة الكهربية لتشغيل الكاسرات من خلايا شمسية موجودة على سطح المبنى[32]. وتحقق منظومة الكاسرات المتحركة الموجودة على الواجهة الغربية 95% من التظليل خلال النهار[32] شكل (27). **شكل (27) أنظمة التظليل المستخدمة فى مبنى CH2[50].**
استخدام رفوف الضوء	تستخدم ارفف إضاءة Lightning Shelves عندما تكون زاوية الشمس عالية وهى مصنوعة من الحديد الصلب وتكون مثبتة من الداخل والخارج على الواجهة الشمالية لتمنع دخول ضوء الشمس وبالتالى تقلل الاكتساب الحرارى كما تعكس اكبر إضاءة طبيعية تجاه السقف مما يقلل الحاجة إلى استخدام الإضاءة الصناعية[50].
استخدام المسطحات الخضراء	• تم استخدام صناديق نباتات خضراء على شرق وغرب كل تراس موجود فى الواجهة الشمالية لمنع دخول الاشعاع الشمسى المباشر للفراغ الداخلى وكذلك التحكم فى الابهار الضوئى مما ينعكس على تحقيق مناخ مثالى للفراغات المكتبية[32] كما فى شكل (28). • فى الواجهة الغربية توجد حدائق شتوية بارتفاع دورين خلف الواجهة لتسهل حركة الهواء وتحقيق التظليل والتحكم فى الابهار الضوئى وتوفير بيئة داخلية صحية للمستخدمين مع تحقيق اتصال بين الطوابق[32] كما هو موضح بشكل (29).  صناديق النباتات الخضراء الموجودة على شرق وغرب كل تراس فى الواجهة الشمالية **شكل (28) المسطحات الخضراء الموجودة على شرق وغرب كل تراس[50].**

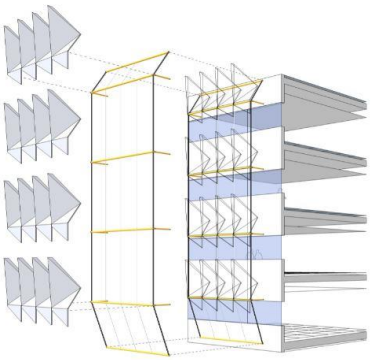
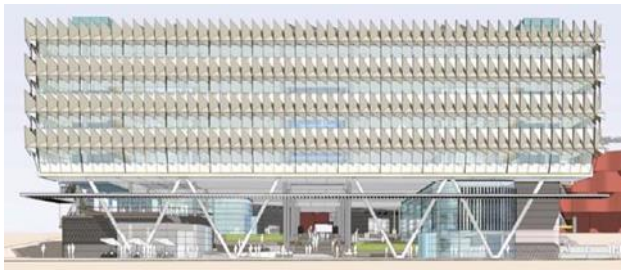
	**شكل (29) الحدائق الشتوية بارتفاع دورين الموجودة فى الواجهة الغربية[50].**

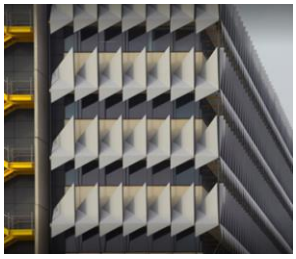
جدول (6) دراسة المعالجات التصميمية للفتحات الخارجية للحد من الاكتساب الحرارى فى مبنى Doha Tower بقطر.

المعالجات التصميمية للفتحات الخارجية	مبنى Doha Tower بقطر
استخدام نظم العزل الديناميكية	يوجد ستائر شمسية تقع خلف الحائط الداخلى ويتم التحكم بها من داخل الفراغات المكتبية للتحكم فى معدل الكسب الحرارى من الشمس[33].
استخدام الكوليسترا	تم تغطية المبنى بكوليسترا حديثة تتكون من اربع طبقات من الالومنيوم بابعاد مختلفة من حيث الضيق والاتساع طبقا لحركة الشمس ويمكن أن تتحرك هذه الطبقات بشكل فردى لتغيير نمطها مما يعمل على تنظيم دخول الضوء مع السماح بالتهوية الطبيعية وتختلف كثافة هذه الطبقات وفقا لاتجاه الواجهة حيث بلغت درجة تعتيمها (إظلامها) فى الواجهات الشمالية والجنوبية والشرقية والغربية 25% , 40% , 60% , 60% على الترتيب, وانعكس ذلك على قلة احمال التبريد بنسبة 20%, ويرجع الاختلاف فى الكثافة ليس فقط من اجل تحقيق الناحية الجمالية ولكن لتقليل انتقال الشمس للداخل[44]. وبالتالى تلعب الكوليسترا دور كبير فى تقليل الاكتساب الحرارى ومردودها على انخفاض درجة الحرارة الداخلية كما فى شكل (30). يحقق المبنى شكل جمالى من خلال انعكس الظلال الناتجة من طبقات الكوليسترا داخل المبنى والإضاءة الصادرة من الخلايا الكهروضوئية المتغيرة اللون (مرة باللون الأصفر ومرة باللون الأبيض) الموجودة بين طبقة الزجاج وطبقة الكوليسترا الخارجية كما فى شكل (31)[33] .  **شكل (30) طبقات الكوليسترا المتحركة المثبتة بمبنى Doha Tower بقطر[33].**

	 **شكل (31) الإضاءة الصادرة من الخلايا الكهروضوئية المتغيرة اللون الموجودة بين طبقة الزجاج وطبقة الكوليسترا الخارجية[33].**

جدول (7) دراسة المعالجات التصميمية للفتحات الخارجية للحد من الاكتساب الحرارى فى مبنى Siemens Headquarter بالامارات.

المعالجات التصميمية للفتحات الخارجية	مبنى Siemens Headquarter بالامارات
استخدام الكاسرات الشمسية	تم تغطية الواجهة بنظام تظليل خارجي من كاسرات ثابتة من الألمنيوم مما يقلل من الاكتساب الحرارى مع زيادة ضوء النهار داخل المبنى كما هو موضح بشكل (32). أنظمة التظليل خفيفة الوزن ومن مادة ذات انعكاسية عالية ولونها فاتح لتعظيم نفاذ الضوء الغير مباشر مما ينعكس على تقليل الاكتساب الحرارى والوصول إلى ما يقرب من 100% تظليل لجميع المساحات الزجاجية[37]. تعتبر الواجهة الشمالية الغربية هى اكثر الواجهات المطلوب تظليلها نظرا لانخفاض زاوية سقوط اشعة الشمس عليها[37] شكل (33). تم اختيار أنظمة تظليل ثابتة بدلا من المتحركة لتقليل التكلفة عند الإنشاء وتكلفة الصيانة على مدار عمر المبنى وأنظمة التظليل المستخدمة ليست متطابقة فى جميع الواجهات ولكن تختلف حسب التوجيه تبعا لاتجاه الاشعاع الشمسى[37] شكل (34).  **شكل (32) أنظمة التظليل الثابتة على واجهة المبنى الادارى لشركة سيمنز[51].**  **شكل (33) أنظمة التظليل الثابتة على الواجهة الشمالية الغربية للمبنى الادارى لشركة سيمينز[37].**



شكل (34) اختلاف توجيه أنظمة التظليل حسب اتجاه الاشعاع الشمسي[51].

6. الاستنتاجات:

1) تم استخدام الكوليسترا كأحد المعالجات التصميمية المستخدمة فى برج الدوحة بقطر لتحقيق نسب تعتيم للواجهات الشمالية والجنوبية والشرقية والغربية 25% , 40% , 60% , 60% على الترتيب وانعكس ذلك على تقليل احمال التبريد بنسبة 20%.
2) تم اتباع تقنية الستائر الديناميكية الذكية فى ابراج مبنى مجلس ابو ظبى بالامارات لتقليل نفاذ اشعة الشمس للداخل بنسبة أكثر من 50% مما ينعكس تقليل الاكتساب الحرارى داخلى المبنى.
3) اظهرت دراسة المبانى محل الدراسة عن طريق التحليل المقارن استخدام العديد من التقنيات البيئية الحديثة فى الفتحات الخارجية بالرغم من اختلاف المصمم والتصميم والموقع والعوامل المؤثرة على كل مبنى لاختلاف الشكل والحجم إلا أنها اشتركت فى تحقيق ما يلى:
   - الحد من الاكتساب الحرارى داخل الفرغات
   - تحقيق الإضاءة الطبيعية للفراغات الداخلية.
   - الحد من استهلاك الطاقة فى المبانى.
4) اتضح من تحليل عدد اثنين من المبانى التى تم ذكرها فى البحث (فى عدد 2 مبنى) أن استخدام المسطحات الخضراء الرأسية تعمل على تقليل نفاذ الاشعاع الشمسي إلى الداخل, وفى احد هذه المبانى قل نفاذ الاشعاع الشمسى بنسبة 60% نتيجة لاستخدام هذه المسطحات (فى مبنى Consorcio santiag).
5) تحقق نظم التظليل باستخدام الكاسرات الشمسية فى عدد 2 مبنى من المبانى محل الدراسة 95% من التظليل خلال النهار فى مبنى Council House 2 مقابل 100% فى مبنى Siemens Headquarter , وبالتالى الوصول بالفراغات الداخلية للمبانى إلى بيئة مبنية تحقق الراحة الحرارية.
6) امكانية تقليل الاكتساب الحرارى عن طريق الاستخدام الامثل والمتنوع للمعالجات المناخية تبعا لطبيعة كل مبنى والظروف المناخية المحيطة به.

المراجع:

المراجع باللغة العربية:

1) احمد سعدى الشنطى, "التصميم المعمارى كمدخل لتحقيق الأمن والأمان في المبانى الإدارية (المبانى الإدرية في مدينة غزة حالة إدارية)", رسالة ماجيستير قسم الهندسة المعمارية, الجامعة الإسلامية, غزة, 2014.
2) احمد محمد فكرى, عباس محمد الزعفراني, "الزجاج ذو النفاذية الاختيارية للإشعاع الشمسي مدخل للتصميم البيئي للفتحات الخارجية فى المباني", مؤتمر قسم الهندسة المعمارية, جامعة القاهرة , 2006.
3) آرام عبد العزيز السنى, "أثر التصميم المناخى على تحقيق الراحة الحرارية للمستخدمين دراسة حالة بعض المبانى الإدارية بمدينة الخرطوم", رسالة ماجيستير, جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا, كلية الدراسات العليا, 2019.
4) أسماء مجدى محمد فاضل, "العمارة الذكية وانعكاسها التكنولوجى على التصميم دراسة حالة المبانى الإدارية, رسالة ماجيستير, جامعة القاهرة, كلية الهندسة, 2011.
5) آلاء رفيق سالم مكي, "آليات تطبيق متطلبات العمارة الذكية على المبانى الإدارية (مبنى هيئة التقاعد الفلسطينية حالة دراسية), رسالة ماجيستير, الجامعة الهندسية بغزة, كلية الهندسة, 2017.
6) حازم عز الدين العطيفى, "دليل تصميمى لرفع كفاءة استهلاك الطاقة في المبانى العالية", رسالة ماجيستير, جامعة أسيوط, كلية الهندسة, 2015.

7) حسين صبرى الشنوانى, آخرون, "دراسة تحليلية لتأثير تطبيق سمات المبانى الذكية على بيئة المبانى الإدارية ومعدل استهلاك الطاقة داخلها", مجلة القطاع الهندسى لجامعة الازهر, 2019.
8) خالد يوسف محمد, "دراسة الإضاءة الطبيعية داخل الفراغات التعليمية (مبانى جامعة اسيوط كدراسة حالة)", رسالة ماجيستير, جامعة أسيوط, كلية الهندسة, 2009.
9) دينا أحمد محمد حسين, "تقييم الأداء الحرارى داخل فراغات المبانى التعليمية الجامعية بصعيد مصر (دراسة حالة: مبنى كليتى الزراعة والتربية بجامعة سوهاج الجديدة), رسالة ماجيستير, جامعة أسيوط, كلية الهندسة, 2020.
10) رانيا جمال الدين أحمد, "تطبيق أسس ومبادىء العمارة الخضراء كأحد الحلول العملية لتناول مفهوم العمارة الرأسية مع ذكر خاص للاتجاه الرأسى في تنسيق المواقع", رسالة ماجيستير, جامعة القاهرة, كلية الهندسة, 2010.
11) رضا محمود حمادة, " التقنيات البيئية الحديثة بواجهات المبانى وترشيدها للطاقة المستهلكة فى تحقيق الراحة الحرارية", مجلة العلوم الهنسية, جامعة أسيوط , عدد 48, رقم 6, 2020.
12) سنان محمد طليع, "استخدام التقنيات الذكية فى المبانى المستدامة الشكل الخارجى لمبانى منطقة الخليج العربى كحالة دراسية", مجلة الرافدين الهندسية, عدد 24, رقم 2, 2019.
13) سوزان عبد الحسن ابراهيم, "اثر الكاسرات الستائرية الخضراء في تحسين البيئة الداخلية للمبانى في العراق", المؤتمر الثانى للطاقة المستدامة والمتجددة, جمعية المهندسين العراقية, نوفمبر, 2016.
14) شفق العوضى الوكيل, محمد عبد الله سراج, "المناخ وعمارة المناطق الحارة", دار المعرفة, 2016.
15) عبد المنطلب محمد على, "المناخ وعمارة الصحراء", اكتوبر 2001.
16) محمد دفع الله احمد قاسم, "تأثير الغلاف الخارجى للمبنى على الاكتساب الحرارى للمبانى في المناخ الحار الجاف – دراسة حالة مبنى الجزيرة – مدينة ودمنى", رسالة ماجيستير, جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا, كلية الدراسات العليا, 2015.
17) محمد سعد عطوة, اسماعيل محى الدين, منى محمود الحجر, "اثر استخدام مواد وتقنيات النانو فى الغلاف الخارجى على جودة البيئة الداخلية فى المبانى", المجلة الدولية فى العمارة والهندسة والتكنولوجيا,
18) محمد عبد الفتاح العيسوى, "تأثير تصميم الغلاف الخارجى للمبنى على الإكتساب الحرارى والراحة الحرارية للمستخدمين", رسالة ماجيستير, جامعة القاهرة, كلية الهندسة, 2003.
19) مجدى محمد قاسم, "تأثير التكنولوجيا على تصميم الغلاف الخارجى لمبانى البيئة الصحراوية", المجلة الدولية في العمارة والهندسة والتكنولوجيا, كلية الهندسة, جامعة الأزهر, 2018.
20) منى عوض ابو العينين الوزير, "دور الواجهات في تحقيق الراحة الحرارية داخل المبانى الإدارية بمصر", رسالة دكتوراة, جامعة الاسكندرية, كلية الفنون الجميلة, 2011.
21) مها السيد محمد رمضان, "القيم الوظيفية والجمالية للفتحات المعمارية ودورها فى اثراء الفراغ الداخلى", مجلة العمارة والفنون, عدد 10, الجزء الثانى.
22) هدير ماجد محمد عبد الحافظ, "تأثير استخدام التظليل الديناميكى على الأداء الحرارى داخل المبانى الإدارية في مصر", مجلة جامعة الأزهر الهندسية,
23) هدير بدوى عبد الغنى, ايهاب محمود عقبة, محمد عبد الفتاح أحمد, "رفع كفاءة استهلاك الطاقة في تصميم نوافذ مبنى الخدمات الطلابية بجامعة الفيوم", مجلة كلية الهندسة, جامعة الفيوم, المجلد 3, العدد 1, يناير 2020.

المراجع باللغة الانجليزية:

24) Ali Tahouri, "Evaluation of windows and energy performance case study: colored building", Master thesis, Eastern Mediterranean University, Faculty of Architecture, 2015.
25) Alshaiymaa Mohamed Saeed, Eatezaz Abdelrahman "Elements of architectural information as a vital demand in environmental design", Journal of architecture arts and humanities, Vol. 6, Issue 27, 2021.

26) Balpreet Singh Madan, , Shubhangi Saxena, "Islamic Architectural Heritage: Mashrabiya, from Tradition to innovation", Journal of architectural designing, Vol. 3, Issue 1, 2021.
27) Bulow Hube, Helena, "Energy-Efficient Window Systems - Effects on Energy Use and Daylight in Buildings", PHD thesis, Lund Institute of Technology, Lund University, 2001.
28) Comoango Andrea, "Intelligent glass facades: Material, practice, design", Birkhäuser Basel, Switzerland, 2006.
29) Dnial Schodek & others, "Smart materials and technologies", Harvard University, Elsevier Ltd, 2nd edition, 2006.
30) Fahad Alotaibi, "The role of the kienatic envelopes to improve energy performance in buildings", Journal of architectural engineering technology, Vol. 4, Issue 3, 2015.
31) Foad Faizi, Marzieh Noorani and Mohammadjavad Mahdavinejad, "Propose a kind of optimal Intelligent window in tropical region with an ability to reduce the input light and heat and having enough visibility to outside", International conference on intelligent building and management, Singapore, 2011.
32) Hala Mohamed Ali, "Passive Cooling Techniques for Enhancing the Building Sustainability Development", Master THESIS, Ain Shams University, Faculty of Engineering, 2009.
33) Hiba Alothman, "An evaluation and critical study of mashrabiya in contemporary architecture", Master thesis, Near Easte University, 2017.
34) Kaviya Lakshmi Ayyappan, R. Meena Kumari, "A review on the application of kinetic architecture in building facades", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume 05, Issue 08, Aug 2018.
35) Khaled dewidar, "The role of intelligent facades in energy conservation", Journal of Architectural/Planning Research and Studies, Vol. 5. Issue 1, 2012.
36) Lee Eleanor S., Et al., "Active load management with advanced window wall systems: Research and industry prespectives", American council for an energy-Efficient economy, 2002.
37) Michel Abisaab, Et al., "High performance buildings in hot arid regions – A case study for the siemens building in masder city", Journal of architecture and planning, Vol. 26, No. 2, 2014.
38) Mohammed arif kamal, "Technogical interventions in building façade system: energy efficiency and environmental sustainability", Architectural research, Vol. 10, Issue 2, 2020.
39) Nayera Refaat Abd-Allah, "Assessment of energy status for office buildings using the world standards of energy star systems", Master Thesis, Egypt Japan university of science and technology, 2015.
40) Osama M. Abo Eleinen, Naglaa A. Megahed, Rana M. El-Reialy, "High-performance façade: design method and technologies", Port said Engineering research journal, Vol. 21, No. 2, 2017.
41) Patrick Zamarian, "Swisspearl Architecture #24 Perforated", wisspearl_Magazine_24_E (1).pdf

42) Payam Bahrami, "Green walls in High-rise buildings", council on tall buildings and urban habitat, 2014.
43) Peter St. Clair, "The climate of tall buildings: An investigation of building height in bioclimatic design", dwin Mellen Press, New York, 2010.
44) Reem Abdelkader, "The evolving transformation of mashrabiya as a traditional middle eastern architecture element, "International Journal of civil & environmental Engineering, Vol . 17,No. 1, 2017.
45) Samira Khazraie, "An analytical approach to vertical green systems in high rise buildings", Eastern Mediterranean University, Institute of Graduate Studies and Research, Master thesis, 2017.
46) Shady attia, "Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE", QScience connect, 2017.
47) Shahd Abu Sirryeh, "Masrabiya Between Beauty and Function", Echoing Sustainability in MENA, 2021, https://www.ecomena.org/mashrabiya-ar/
48) Shereen khashaba, Moemen Affify, " The development of office buildings design in Cairo and its influence on the external envelope based on a longitudinal analysis", International journal of sustainable building technology and urban development, Vol. 9, Issue 4, 2018.
49) Shubham K Nerkar, Himanshu Padhya, " Sustainable vertical growth: case study of skyscraper", International journal of research in engineering and science, Vol. 9, Issue 2, 2021.

مواقع الانترنت:

50) "CH2 How it works", https://www.melbourne.vic.gov.au/SiteCollectionDocuments/ch2-how-it-works.pdf, viewed 10-7-2021.
51) https://www.archdaily.com/539213/siemens-hq-in-masdar-city-sheppard-robson, viewed 20-6-2021.
52) https://stargrup.com.tr/wp-content/uploads/2019/02/Trosifol-PVB-Data-Sheet.pdf, viewed 8-7-2021.