تأثير الواجهات مزدوجة القشرة على كفاءة إستخدام الطاقة في الأبنية

" تطبيق إنموذج الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة على مبنى إداري إفتراضي في بغداد "

غادة محمد اسماعيل عبد الرزاق كمونة
مدرس دكتور
قسم هندسة العمارة
كلية الهندسة – جامعة بغداد
بغداد – العراق

الخلاصة: –

تُعد الواجهات مزدوجة القشرة إحدى الإستراتيجيات المهمة في التصميم المستدام بيئياً, لقدرتها على تقديم مستوىً عالي من الأداء, فضلاً عن توفير التهوية والإضاءة الطبيعية وبإسلوب منفعل يُسهِم في تحقيق كفاءة عالية في إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى. ونظراً لفاعلية الواجهات مزدوجة القشرة في رفع كفاءة الإستخدام الطاقوي داخل الأبنية وما يحمله هذا المفهوم من ترشيد إستهلاك الطاقة الكهربائية المعتمدة بالأساس على الوقود الأحفوري في البيئة العمرانية العراقية ذات المناخ الحار الجاف, تحدَّدت **المشكلة البحثية:** "عدم وجود تصور واضح حول آلية تطبيق الواجهات مزدوجة القشرة في الواقع العمراني العراقي المعاصر". وبناءاً على ذلك, جاء **هدف البحث:** "تطبيق الواجهات مزدوجة القشرة في البيئة العمرانية العراقية المعاصرة ذات المناخ الجار الجاف وبيان فاعليتها في تحقيق مفهوم كفاءة إستخدام الطاقة في المبنى". **ضم البحث جانبين, الأول: الجانب النظري**, والذي تناول الإطار المعرفي والمفاهيمي للواجهات مزدوجة القشرة, لا سيما في أبنية المناطق الحارة الجافة. **والثاني: الجانب التطبيقي**, والذي تناول تصميم مقترح لمبنى إداري إفتراضي متعدد الطوابق في بغداد وبحالتين: الإنموذج الأول, بواجهة جنوبية مفردة القشرة. والإنموذج الثاني, بواجهة جنوبية مزدوجة القشرة من النوع الرواقي. من ثم, تم قياس كفاءة إستخدام الطاقة في المبنى الإفتراضي بكلتا الحالتين بإعتماد برنامج حاسوبي للأداء البيئي. **وقد توصل البحث** الى فاعلية تطبيق الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة في أبنية مدينة بغداد لكفاءتها العالية في إستخدام الطاقة.

كلمات مفتاحية: الواجهات مزدوجة القشرة, كفاءة إستخدام الطاقة, الواجهة الرواقية, التجويف الهوائي, العمارة المستدامة بيئياً.

المقدمـــة:

تُعد الواجهات مزدوجة القشرة إحدى الإستراتيجيات المنفعلة (Passive) المهمة في التصميم المستدام بيئياً, لكونها تسهم في التقليل أو الحدُّ من إستهلاك الطاقة في فضاءات الأبنية, فهي تساعد على توفير بيئة مريحة لشاغلي المبنى, عن طريق حمايتهم من الكسب الحراري الشمسي العالي, كما تُوفِّر التهوية والإضاءة

الطبيعية, فضلاً عن حماية فضاءات المبنى من الضوضاء العالية, والرياح, والأتربة, والملوثات. من ثم, تتميز الواجهات مزدوجة القشرة بإمتلاكها القدرة على تقديم مستوىً عالي من الأداء والخدمات, مقارنةً بمثيلاتها من الواجهات مفردة القشرة, كما تحافظ على صحة الإنسان والبيئة الطبيعية, وبالنتيجة تحقق كفاءة إستخدام طاقوي عالي داخل فضاءات المبنى.

وبسبب تصدُّر قطاع البناء, قائمة التسبُّب بالمشكلات البيئية العالمية, بسبب إستهلاكه العالي للطاقة المُنتَج أغلبها من حرق الوقود الأحفوري الذي ينتج عن حرقه تلويثاً للبيئة الطبيعية, ولأن العراق من الدول ذات الإستهلاك العالي للوقود الأحفوري, أصبحت الحاجة مُلِّحة للتوجُه نحو تطبيق الإستراتيجيات التصميمية المختلفة للحدِّ من إستهلاك الطاقة داخل الأبنية, لا سيما المنفعلة منها, وبالتحديد تطبيق الواجهات مزدوجة القشرة في العمارة العراقية المعاصرة ذات المناخ الحار الجاف, بالأخص بعد تزايد الوعي البيئي بين الناس بشكلٍ كبير في السنوات الأخيرة حول ترشيد إستهلاك الطاقة في الأبنية, وما يعكسه هذا المفهوم من تحقيق كفاءة إستخدام الطاقة فيها.

أولاً/ الجانب النظري:

1. كفاءة إستخدام الطاقة في المبنى:

تُعد "كفاءة إستخدام الطاقة (Energy Efficiency)" من أكثر الوسائل فاعلية في الأبنية لإسهامها في حل العديد من المشكلات، والتي من بينها: الحدِّ من زيادة إستهلاك الطاقة داخل المبنى عن طريق تقليل إستخدامها, لا سيما في أوقات ذروة التحميل الكهربائي، فضلاً عن تقليل الطاقة اللازمة لإنشاء المبنى.

وتُعرَّف "كفاءة إستخدام الطاقة" في المبنى على أنها: "القدرة على تقديم نفس – أو أعلى – مستوىً من خدمات الطاقة داخل المبنى (مثل: توفير مديات عالية من الراحة الحرارية للشاغلين، والإنارة عالية الجودة، .. الخ) وبإسلوب يعمل على تقليل إستهلاك الطاقة والكلفة معاً" **[20, P. 63]**.

كما تُعرَّف "كفاءة إستخدام الطاقة" أيضاً على أنها: "مقدار الطاقة المطلوب لأداء وظيفة معينة, بحيث تتم عن طريق اما تقليل مدخلات الطاقة مع تأدية نفس المستوى من الخدمات, أو نفس الكمية من مدخلات الطاقة مع زيادة في مستوى الخدمات".

ويُعَد المبنى كفوءاً في إستخدام الطاقة, حينما يستخدم طاقة أقل لأغراض التدفئة والتبريد والتهوية والإنارة، من دون التأثير على راحة شاغليه. حيث يقوم المبنى الموفر للطاقة بخفض كلف الطاقة عن طريق التقليل أو حتى الحدِّ من إستهلاك الوقود الأحفوري وإنبعاثات غازات الدفيئة، كما يُوفِّر جودة أعلى في بيئته الداخلية أيضاً.

ويتم تحقيق بيئة داخلية أفضل طاقوياً عن طريق الجمع بين الكفاءة في إستخدام الطاقة, وإستخدام الطاقة المتجددة **[12, pp. 275, 279]**.

ولتحقيق وفورات في الطاقة المُستخدَمة في تشغيل المبنى, يتعين التكامل بين الأداء الفعلي لنظم المبنى مع الواجهات, وهو أمر بالغ الأهمية بسبب إعتماد نظم البناء الحالية على مصادر الطاقة غير المتجددة والتي تزيد من إنبعاثات غاز ثنائي أوكسيد الكربون، مما يؤدي الى إرتفاع التكاليف التشغيلية للمبنى. لذا, تركز جهود التصميم الحالية على إعادة دمج النظم المنفعلة (Passive Systems)[1] مع زيادة الإستفادة من النظم الفعّالة (Active Systems)[2] في المبنى.

(1) النظم المنفعلة (Passive Systems): الحلول التصميمية التي تستفيد من تدفقات الطاقة بوسائل الطبيعية (بدون مضخات ومراوح) للحفاظ على الراحة الحرارية للشاغلين داخل المبنى، وتُقلل من الحاجة الى التبريد والتدفئة التهوية الميكانيكية **[12, P. 39]**.

(2) النظم الفعّالة (Active Systems): الحلول التصميمية التي تَستخدِم الخيارات التكنولوجية لتوفير الراحة الحرارية للشاغلين داخل المبنى، كإستخدام الخلايا الكهروضوئية، أو غيرها من الوسائل التكنولوجية **[19, P. 51]**.

وتُعَد الواجهات, واحدة من أهم التقنيات لتوفير الطاقة في المبنى, لأنها من أهم مكونات غلافه البنائي، لذا يتعين تصميمها ومنذ البداية بشكلٍ صحيح للتكيُّف مع المناخ الموضعي لفضاءات المبنى، وبإسلوب يُحقِّق الإستخدام الكفوء للطاقة فيه, فضلاً عن تحقيق الراحة الحرارية لشاغليه **[4, P. 90]**. برغم صعوبة تحديد مؤشر واحد لكفاءة إستخدام الطاقة داخل فضاءات الأبنية, إلا أن تحقيقه عن طريق تصميم واجهات كفوءة طاقوياً, يجب تضمينه مجموعة من العناصر تقع ضمن ثلاث فئات, هي **[9, P. 56]**:

- إعادة استخدام النظم المنفعلة والهجينة (Hybrid Systems), فيما يخص الواجهات مزدوجة القشرة أو نظم التحكم الذكية.
- تطبيق مفاهيم الطاقة الصفرية (Zero Energy) في المبنى, عن طريق الإعتماد على الزيادة في الكتلة الحرارية للمبنى أو عزل الغلاف البنائي.
- دمج تكنولوجيا توليد الطاقة مع واجهات المبنى بإعتماد تقنيات الخلايا الكهروضوئية (PV), والخلايا الشمسية الحرارية, .. الخ.

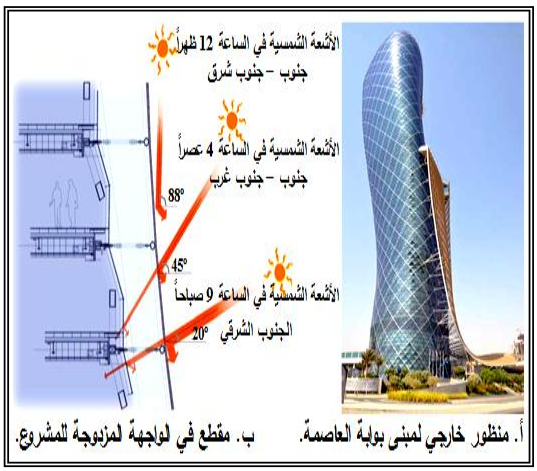
وغالباً ما تكون كُلف المبنى الكفوء في إستخدام الطاقة عالية في إنشائه, إلا أن كلفه تكون أقل دائماً عند التشغيل, لا سيما على المدى البعيد **[20, P. 63]**.

2. مفهوم الواجهة مزدوجة القشرة:

إزداد في الوقت الحالي, تطبيق الواجهات مزدوجة القشرة ((Double Skin Façade (DSF) في الأبنية لمجموعة واسعة من البيئات المناخية التي تقدم النقيضين الأكبر في ظروف التبريد والتدفئة, وكذلك الرطوبة, **شكل 1** **[6, P. 3]**.

وتُعرَّف الواجهة مزدوجة القشرة وفقاً لدراسة "*Double Skin Façades*" لـ (Harris Poirazis, 2006), على أنها: "زوج من الواجهات الزجاجية المفصولة بواسطة ممر هوائي (فجوة هوائية أو كمهوى عمودي) يترواح عرضه من (20 سم) الى عدة أمتار. وقد تمتد الواجهتين الزجاجية على كامل هيكل المبنى أو جزءاً منه. وتكون القشرة (الطبقة) الرئيسة في الواجهة المزدوجة من الزجاج, وتكون عادةً عازلة، وتعمل بمثابة جزء من الجدار الهيكلي التقليدي أو الجدار الستائري (Curtain Wall). في حين يتم توقيع القشرة الثانية الإضافية، إما أمام أو وراء طبقة الزجاج الرئيسة. وبتوقيع القشرتين يتم صنع المجال الهوائي (المهوى) بينهما. وتعمل الواجهة مزدوجة القشرة بمثابة عازلاً ضد درجات الحرارة القصوى والصوت في المقام الأول" **[17, P. 25]**.

بينما تُعرِّف دراسة "*Natural Ventilation in Buildings*" لـ (Tommy Kleiven, 2003), الواجهة مزدوجة القشرة على أنها: "نظام ينطوي على إضافة غلاف مزجج ثاني لواجهة المبنى، والذي يساعد على تحقيق أقصى قدر من ضوء النهار الطبيعي بدون حرارة إضافية داخل المبنى, فضلاً عن تحسين أداء الطاقة فيه. وتوفر الواجهة مزدوجة القشرة, التهوية الطبيعية لفضاءات المبنى عن طريق توظيف مسار مدخَل أو مَخرَج للهواء في أي من مبادئ التهوية الطبيعية الثلاث (التهوية من جانب واحد, والتهوية المتقاطعة, والتهوية بتأثير المدخنة (Stack Effect)[3])" **[14, P. 59]**.



شكل 1: الواجهة مزدوجة القشرة في مبنى "بوابة العاصمة (Capital Gate)" الواقع في إمارة أبو ظبي–الإمارات العربية المتحدة [16, P. 221]

(3) تأثير المدخنة (Stack Effect): طريقة التبريد والتهوية المنفعلة في الأبنية ويقوم على مبدأ تدفق الهواء الناتج عن إرتفاع الهواء الدافئ نحو الأعلى، وتشكيل منطقة ضغط إيجابي أعلى المبنى مع تشكيل منطقة ضغط سلبي أسفل المبنى, والذي بالنتيجة يعمل على حثّ تسلل الهواء البارد الى فضاءات المبنى **[7, P. 74]**.

أما دراسة " *BESTFAÇADE: Best Practice for Double Skin Façades*" لـ (Richard Heimrath and et al., 2005), فتُعرِّف الواجهة مزدوجة القشرة بأنها: "واجهة مبنى مفردة القشرة (تقليدية), تمت مضاعفتها (للداخل أو للخارج) بواجهة ثانية, وبشكلٍ أساس بواجهة زجاجية. وتُسمى عادةً كل من هاتين الواجهتين بـ "القشرة Skin", ويقع بينهما تجويف مُهوَّى بعرض يتراوح ما بين (عدة سنتميترات الى عدة أمتار)" **[10, P. 7].**

بناءاً على ما تقدم, أمكن التوصل الى التعريف الإجرائي الآتي الذي سيعتمده البحث:

الواجهة مزدوجة القشرة عبارة عن: "نظام يحتوي على زوج من الواجهات المزججة (تضم الواجهة الرئيسة طبقة تزجيج واحدة صلبة, بينما تكون الواجهة الثانية الإضافية مزدوجة التزجيج), وتسمى كل من هاتين الواجهتين بـ (القشرة Skin), ويفصل بينهما ممر هوائي مُهوى (يسمح للهواء بالتحرك من خلاله) يُسمى بالتجويف (Cavity) أو الفضاء الوسيط, يتراوح عرضه مابين (20سم الى أكثر من 2م). وتُقلِل الواجهة مزدوجة القشرة من الأحمال الحرارية داخل فضاءات المبنى لأنها تعمل بمثابة عازلاً ضد درجات الحرارة القصوى, فضلاً عن الموازنة في تنظيم الإكتساب والفقدان الحراري, ومحاولة الوصول الى أعلى كفاءة إستخدامية للطاقة الضوئية. كما تُوفِر الواجهة المزدوجة, التهوية الطبيعية لفضاءات المبنى عن طريق تحقيق مسار للهواء (مدخَل أو مَخرَج) في أي من مبادئ التهوية الطبيعية الثلاث. بالنتيجة, تُحقِّق الواجهة مزدوجة القشرة كفاءة إستخدام طاقوي عالي داخل فضاءات المبنى" [الباحثة].

3. مكونات الواجهة مزدوجة القشرة:

لتوضيح آلية عمل الواجهة المزدوجة ينبغي أولاً توضيح الأجزاء التي تتألف منها,**شكل 2: [17, P. 26]**

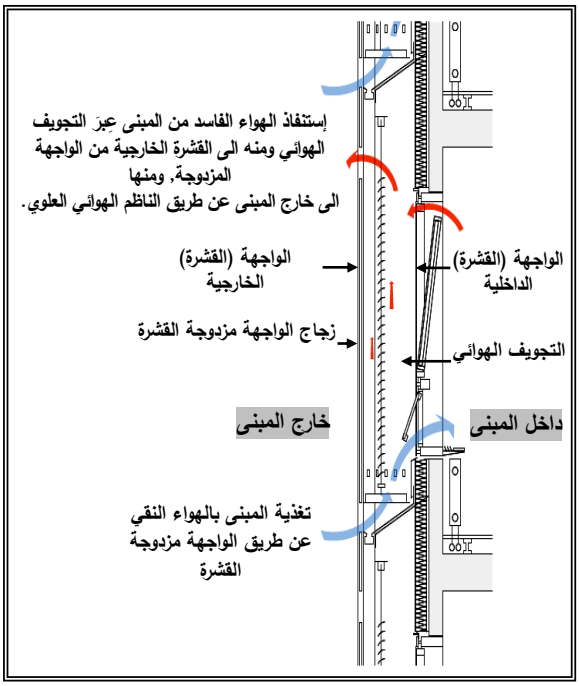
- **القشرة (الواجهة) الخارجية:** عادةً ما تكون مُنشأة من طبقة تزجيج واحدة صلبة, وبالإمكان أن تكون الواجهة الخارجية مزججة بالكامل.
- **القشرة (الواجهة) الداخلية:** عبارة عن وحدة عازلة مزدوجة التزجيج (والزجاج فيها واضح، والطلاء منخفض الإنبعاثية(Low-E Coating),والزجاج ذو تحكم بالأشعة الشمسية الداخلة لفضاءات المبنى) وغالباً ما تكون هذه الواجهة غير مزججة بالكامل.
- **التجويف الهوائي بين قشرتي الواجهة:** يمكن تهويته بشكل طبيعي, أو تُدعم تهويته بالمروحة, أو عن طريق التهوية الميكانيكية. ويختلف عرض التجويف الهوائي إعتماداً على الوظيفة, ويتراوح ما بين (20 سم الى أكثر من 2 م).
- **نوافذ القشرة (الواجهة) الداخلية:** يمكن فتحها بواسطة شاغلي المبنى, لتوفير التهوية الطبيعية لفضاءات المبنى المطلة عليها.
- **وسائل التظليل الشمسي:** يتم توقيع وسائل التظليل الشمسي تلقائية التحكم, داخل التجويف الهوائي للواجهة مزدوجة القشرة.
- **مشعات التدفئة (Heating Radiators):** يمكن تثبيتها قريباً من الواجهة.

وغالباً ما تُدمج معدات التشغيل الآلي (مثل: وسائل التظليل، والفتحات الآلية المُزوَدة بمحركات لفتحها وغلقها, أو المراوح) داخل التجويف الهوائي في الواجهة مزدوجة القشرة **[10, P. 31].**

ومن الملاحَظ, أن العديد من نظم التظليل مستمدة بالأساس من تقليد المشربيات[4] في واجهات أبنية المدن العربية التراثية, ويمكن عدّ هذا العنصر

(4) المشربيات: عبارة عن شاشة خشبية بتقسيمات شبكية الشكل تسمح بتدوير الهواء, ومنع الإشعاع الشمسي العالي من الدخول للمبنى, مع توفير الخصوصية البصرية عن الخارج **[6, P. 10].**

التقليدي بمثابة القشرة الثانية التي يمكن تمديدها لخلق نوع جديد من نظام الواجهة مزدوجة القشرة [6, P. 10].



شكل 2: مقطع في واجهة مزدوجة القشرة يوضح أهم مكوناتها [15, P. 5].

تُشير دراسة (*Context Based Design of Double Skin Facades*) لـ (Ajla Aksamija, 2009), **الى مجموعة من التوصيات التي تتعلق بتصميم الواجهات مزدوجة القشرة في المناخات الحارة الجافة, وهي [2, pp. 59, 64]:**

- **التجويف الهوائي:** ينبغي تقليل حجم التجويف الهوائي بغرض تقليل أحمال التبريد.
- **وسائل التظليل:** يُعد دمج وسائل التظليل داخل التجويف الهوائي, مهماً لتقليل الأحمال الحرارية العالية في المناطق الحارة الجافة، ويتعين توقيعها أقرب للقشرة الخارجية من الواجهة مزدوجة القشرة.
- **التزجيج:** إن لحجم النافذة وأنواع التزجيج تأثيراً كبيراً على إستهلاك الطاقة داخل فضاءات المبنى, فبتقليل حجم النافذة, مع إختيار الزجاج المنخفض الإنبعاثية أو الزجاج العازل, يتم تقليل كمية أحمال التبريد خلال أشهر الصيف الحارة.

4. آلية عمل الواجهات مزدوجة القشرة:

يتم تشييد الواجهات مزدوجة القشرة بسطح مزجج خارجي مفصول عن القشرة (الواجهة) الداخلية للمبنى بواسطة تجويف هوائي, الذي يعمل بدوره بمثابة عمود لإصطياد الهواء الساخن ليحيط به المبنى في فصل الشتاء، مع الحدّ من الإشعاع الشمسي المباشر على القشرة الداخلية. بينما في فصل الصيف, يرفع الطفو الحراري الطبيعي (Natural Thermal Buoyancy) الهواء الدافئ الذي ترسب بشكل طبقات في التجويف الهوائي, لتدوير الهواء ومن ثم تقليل درجات الحرارة القصوى بعد سحبه الى خارج المبنى في أعلى المهوى [8, P. 2].

وفيما يأتي آلية عمل الواجهة المزدوجة:

يجري الحصول على تأثير التهوية الطبيعية بإعتماد الواجهة مزدوجة القشرة بواسطة آلية عمل تتم عن طريق دوران الهواء داخل التجويف الهوائي. حيث تتولد فروقات في درجة الحرارة بين خارج المبنى والتجويف الهوائي أو بين داخل المبنى والتجويف الهوائي. وبالإمكان توليد هذا الفرق بشكل مصطنع عن طريق مستنفذات الهواء (Air Extractors) إذا كانت التهوية الطبيعية غير كافية [15, P. 5].

ويرتبط تجويف الواجهة مزدوجة القشرة مع الهواء الخارجي بحيث يمكن فتح نوافذ القشرة الداخلية (حتى في حالة المباني الشاهقة التي تخضع لضغوط الرياح) مما يساعد هذا على تبريد الكتلة الحرارية للمبنى خلال الليل, فضلاً عن تهويتها طبيعياً. أما في فصل الشتاء, يشكل التجويف الهوائي منطقة عازلة حرارياً, مما يقلل من فقدان الحرارة ويسمح بتحقيق مكاسب حرارية منفعلة من الإشعاع الشمسي من والى المبنى [16, P. 17]. ومن الممكن خلق هذا التيار بشكل مصطنع عن

طريق سحب الهواء بإستخدام المراوح أو الوسائل الميكانيكية إذا كانت التهوية الطبيعية غير كافية. وسيُحدِّد دوران الهواء داخل التجويف الهوائي كل من: التهوية, والسلوك الحراري, للواجهة مزدوجة القشرة، وبالنتيجة تأثيرهما على المبنى **[15, P. 5]**.

من جهة أخرى, عندما تكون أشعة الشمس عالية، يتعين على التجويف الهوائي في الواجهة المزدوجة توفير تهوية جيدة لمنع إرتفاع درجات الحرارة داخل المبنى. والمعايير الأساس هنا هي; عرض التجويف الهوائي, وحجم فتحات التهوية في الواجهة الخارجية. أما تغيير الهواء بين البيئة الخارجية المحيطة بالمبنى والتجويف الهوائي, فيعتمد على; ظروف ضغط الرياح المسلطة على القشرة الخارجية للواجهة المزدوجة، وتأثير المدخنة (Stack Effect),ومعامل التصريف (Discharge Coefficient) من الفتحات. وفيما يخص فتحات التجويف الهوائي, فأما تترك مفتوحة دائماً (النظم المنفعلة)، أو تُفتَح باليد أو بواسطة آلة (النظم الفعّالة) والتي تعد معقدة ومكلفة للغاية من حيث البناء والصيانة في الوقت الحاضر **[16, P. 17]**.

إجمالاً, تتأثر الطبقات الحرارية في التجويف الهوائي بواسطة عدة إستراتيجيات تصميمية ومناخية بما في ذلك; مستويات الإشعاع الشمسي، وتوجيه المبنى، وإستخدام وسائل التظليل الشمسي وألوانها، ونسب التعتيم لكل من جدار ونافذة الواجهة الداخلية، وعمق التجويف الهوائي، وأنواع الزجاج في قشرتي الواجهة المزدوجة, فضلاً عن تصميم المداخل والمخارج فيما يتعلق بإتجاه الرياح وسرعتها السائدة **[8, P. 2]**.

عموماً, يكمن الفرق الرئيس بين الواجهة مزدوجة القشرة,والزجاج المُحكَم المتعدد التزجيج (سواء تم دمج وسيلة التظليل في التجويف الذي يفصل بين الزجاج أو لا), في "التهوية المقصودة والمُسيطر عليها داخل التجويف الهوائي للواجهة مزدوجة القشرة, مقارنةً بالنوافذ مزدوجة التزجيج أو ثلاثية التزجيج" **[10, P. 7]**.

ويوضح **شكل 3**, مشروع "برج الدوحة" الإداري الواقع في مدينة الدوحة – قطر, ذات المناخ الصحراوي الحار وفقاً لتصنيف كوبين (Köppen) المناخي, والمصُمِّم بواسطة المعماري "جان نوڤيل (Jean Nouvel)", والمُنجَز عام 2012م. يبلغ إرتفاع المشروع (238م) ويضم (46 طابق), ويَستخدِم الواجهة مزدوجة القشرة النوع الرواقي, والتي تضم أربع عناصر من الألمنيوم "بشكل فراشة" في مقاييس مختلفة لإثارة التعقيد الهندسي للمشربية التقليدية, كما تقوم بحماية المبنى من أشعة الشمس العالية. ويعكس التباين في تعتيم شاشة الألمنيوم, الإختلاف في تجنب الطاقة الشمسية المطلوب على توجهات الواجهة المختلفة. أما القشرة الداخلية في الواجهة المزدوجة, فتتألف من زجاج عاكس يُكمِّل الحماية الشمسية. بالنتيجة, يُقلل نظام الواجهة المزدوجة في برج الدوحة من إجمالي أحمال التبريد, بحوالي (20%) **[6, pp. 13, 14]**.

شكل 3: الواجهة مزدوجة القشرة في برج الدوحة – قطر [6, P. 13].

5. مزايا وسلبيات الواجهات مزدوجة القشرة:

تُوفِّر الواجهات مزدوجة القشرة العديد من المزايا, حيث تكون بمثابة منطقة عازلة حرارياً بين فضاءات المبنى الداخلية والبيئة الخارجية المحيطة به، وتساعد على الحدّ من فقدان الحرارة, كما تُوفِّر التهوية الطبيعية في الفضاء الواقع بين قشرتي الواجهة، مع تنشيط التأثيرات الحرارية المنفعلة على أفضل وجه عن طريق إستخلاص التهوية الطبيعية من المنطقة العازلة في الواجهة بواسطة فتح نوافذ القشرة الداخلية. حينها يُوفِّر تأثير المدخنة, التيارات الهوائية الحرارية, والذي يتحقق بصورة أكثر فاعلية في المباني عالية الإرتفاع, مقارنةً بالمباني الأقل إرتفاعاً. كما يساعد فتح نوافذ القشرة الداخلية على تقليل الفروقات في ضغط الرياح حول المبنى, مع تقليل مشكلات الأمن والسلامة الناجمة عن وجود نوافذ يمكن فتحها نحو الخارج **[13, P. 11]**.

علاوةً على ما تقدم, تحقق الواجهات مزدوجة القشرة مزايا أخرى, منها [17, pp. 22-23]:

- إمكانية التحكم في الطاقة الشمسية والسيطرة عليها, مما يساعد على الحدّ من إستخدام الطاقة عن طريق تقليل الطلب على التبريد الميكانيكي صيفاً, والتدفئة الميكانيكية شتاءاً. بالنتيجة, تقليل إجمالي ذروة أحمال التكييف الميكانيكي في المبنى.
- إستخدام ضوء النهار الطبيعي بدلاً من الإنارة الصناعية قدر الإمكان.
- تحسين الراحة البصرية عن طريق تجنب الوهج.
- تحسين جودة البيئة الداخلية بتحقيق مديات عالية من الراحة الحرارية لشاغلي المبنى.
- تحسين الأداء الصوتي لغلاف المبنى, لا سيما بالنسبة للأبنية الواقعة في المناطق ذات المناسيب الضوضائية العالية.
- تُحقِّق الواجهة مزدوجة القشرة جمالية عن طريق مساحات التزجيج التي تزيد من شفافيتها, مع إمكانية رفع فاعلية الإنارة الإصطناعية ليلاً.

وبرغم إمتلاك الواجهات مزدوجة القشرة لمجموعة المزايا أعلاه، إلا أنها في نفس الوقت، تمتلك جوانباً سلبية تتمثل بإرتفاع تكاليف إنشائها مقارنةً بالواجهات مفردة القشرة, حيث ما زالت نظم الواجهات مزدوجة القشرة تقتصر على التطبيقات التي تصل الى ميزانيات عالية, فبرغم وجود الخبرة العملية العالية في الوقت الحاضر من حيث تصميم وتصنيع وتركيب نظم الواجهات مزدوجة القشرة، إلا أن تكاليف رؤوس أموالها ما زالت لا تتماشى مع معظم الجدران الستائرية القياسية, فضلاً عن وجود "المزيد من المواد" دائماً في نظامها, والذي يعادل إرتفاع تكاليف المواد والتركيب. كما إن مضاعفة الواجهة, ينتج طاقة كامنة أعلى (Embodied Energy) في نظام غلاف المبنى **[6, P. 4]**.

من جهة أخرى, تَحمِل الواجهات مزدوجة القشرة كلفاً أعلى فيما يتعلق بالصيانة, والبناء, والتنظيف, والتشغيل, والفحص, وتقديم الخدمات, مقارنةً بالواجهات مفردة القشرة **[1, P. 86]**.

ومع ذلك, تكمن أهمية الواجهات المزدوجة, في الفوائد المحتملة لخفض الطاقة التشغيلية التي يقدمها النظام والتي تفوق تكاليف الكربون الإضافية من النظام نفسه، مع مرور الوقت **[6, P. 4]**.

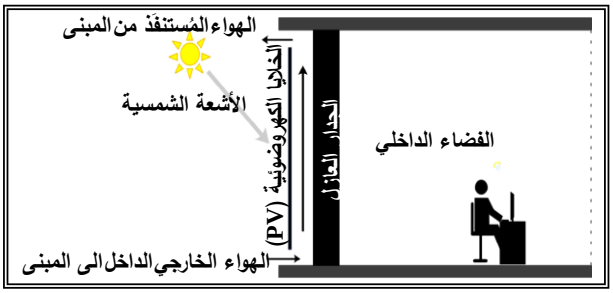
6. الواجهات المزدوجة والعمارة المستدامة بيئياً:

تُوفِّر الواجهة مزدوجة القشرة من حيث التصميم المستدام, إستراتيجيات عِدة لإستخدام والسيطرة على الكسب الحراري الشمسي، عن طريق تقليل الفروقات في درجات الحرارة بين داخل المبنى وخارجه, مع زيادة ضوء النهار الطبيعي **[5, P. 15]**.

كما تُوفِّر نظم الواجهات مزدوجة القشرة, التهوية الطبيعية في المبنى المستدام لتحسين

راحة شاغليه وتقليل كلف الطاقة التشغيلية في المواسم التي ترتفع فيها درجات الحرارة, وذلك عن طريق الإستراتيجيات التي تعوض عن مسار تدفق الهواء, وبالنتيجة تجنب آثار هبوب الرياح التي تنجم عن الفتحات الموجودة في غلاف المبنى. كما تعزز الواجهات المزدوجة من جودة الهواء في البيئة الداخلية للمبنى عن طريق تقليل الملوثات إذا جُهِزَت بصمامات محكمة الغلق للإستخدام خلال ساعات الذروة المرورية أو الظواهر الجوية, فضلاً عن تقليل الضوضاء داخل المبنى, لا سيما في المناطق الحضرية المكتظة [6, P. 9].

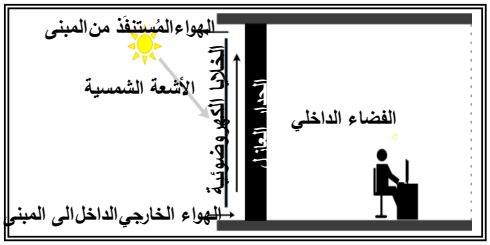
من جهة أخرى, هناك إمكانية في توسيع إستخدام الواجهة المزدوجة بجعلها حامية من الظروف المناخية والبيئية المعاكسة، لتصبح بمثابة "دائرة خضراء", حيث تخلق الواجهة مناخها الموضعي



شكل 4: مقطع في واجهة مزدوجة تضم خلايا كهروضوئية [20, P.716]

الخاص بها عن طريق إرفاق حدائق داخلية ومزروعات بإسلوب مشابه للفناء الداخلي. كما يمكن أن تكون الواجهة المزدوجة بمثابة "مزود بالطاقة (Energizer)" حيث تُدمج الخلايا الكهروضوئية فيها لخلق واجهة واعية بيئياً بإسلوب مستدام [9, P. 113].

وتجمع واجهات الخلايا الكهروضوئية بين التكنولوجيا الكهروضوئية والواجهات الخارجية، حيث تُدمَج وحدات الخلايا الكهروضوئية في نظام الواجهة مزدوجة القشرة عن طريق استبدال القشرة الزجاجية الخارجية من الواجهة المزدوجة. وبواسطة تنظيم الفتحات المثبتة على القشرتين الخارجية والداخلية، يمكن لنظام الواجهة المزدوجة الحصول على طرق تشغيل مختلفة لفصلي الصيف والشتاء، **شكل 4** [21, P. 716].

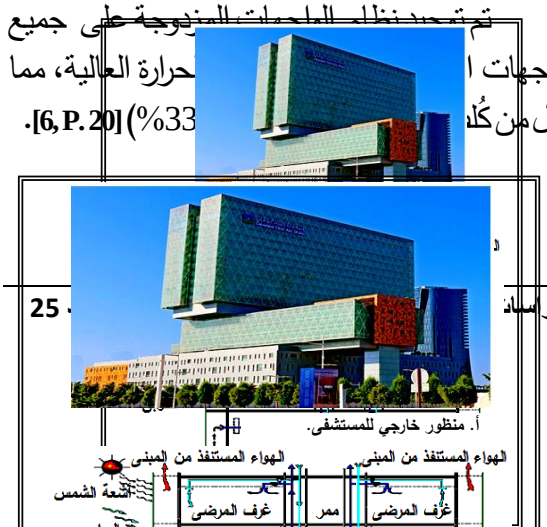


شكل 4: مقطع في واجهة مزدوجة تضم خلايا كهروضوئية

بالنتيجة, تُقدِّم الواجهات المزدوجة إستراتيجيات تصميمية عديدة تُعَد حلولاً للسيطرة المناخية والبيئية في المبنى المستدام والتي تُقلِل من الإستهلاك الكلي للطاقة داخل فضاءاته عن طريق تضمينها مفاهيم التصميم المنفعل وإستراتيجيات كفاءة إستخدام الطاقة [5, P. 15].

ويوضح **شكل 5**, "مستشفى كليفلاند (Cleveland Clinic)" الواقعة في إمارة أبو ظبي – الإمارات العربية المتحدة, ذات المناخ الصحراوي الحار وفقاً لتصنيف (Köppen), والتي أُنجِزَت عام 2015م, بسعة (360 غرفة). وتَستخدِم المستشفى نظام الواجهة مزدوجة القشرة نوع المتعدد الطوابق, حيث التجويف الهوائي مفتوحاً من الأسفل للأعلى خالقاً تأثير المدخنة وموفراً "التنفس" للمستشفى. حيث يُستنفَذ الهواء البارد المُستخدَم سابقاً (العادم) داخل المستشفى من طابق الخدمات الميكانيكية الواقع أسفل برج المستشفى الى التجويف الهوائي البالغ عرضه (1.5م), فيسخن ويرتفع بتأثير المدخنة الشمسية ويُستنفَذ من سقف المستشفى [11, pp. 81, 82].

تم تحديد نظام الواجهات المزدوجة على جميع واجهات ا حرارة العالية، مما قلّل من كُلف (33%) [6, P. 20].



7. آلية تصميم الواجهة مزدوجة القشرة:

بغرض تصميم الواجهة مزدوجة القشرة, يتعين حساب التجويف الهوائي الواقع بين قشرتيها, والذي يُعَد معقداً بسبب تفاعل العناصر المختلفة للواجهة مع بعضها البعض في التأثير على وظيفة التجويف الهوائي. وتعتمد حسابات ونمذجة التجويف الهوائي في الواجهة المزدوجة على مجموعة من الإعتبارات الأساس, هي:

1.7 حساب تدفق الهواء عبر الواجهة مزدوجة القشرة: وهي ضرورية لحساب درجات الحرارة على ارتفاعات مختلفة في التجويف الهوائي, ومهمة لتحديد كل من:

- تصميم الواجهة المزدوجة: نوع الواجهة, وهندسيتها.
- تزجيج الواجهة المزدوجة (مفرد أو مزدوج), مع تحديد نوع الزجاج المُستخدَم **[16, pp. 35-36]**.

ويُصنَّف أنواع التزجيج المُستخدَم في الواجهات مزدوجة القشرة في أبنية المناطق الحارة الجافة الى: الزجاج الملون, والزجاج العاكس, والزجاج الإنتقائي طيفياً (Spectrally Selective Glazing), والذي يُوفِّر مستويات عالية من التحكم في الطاقة الشمسية للحدِّ من المكاسب الحرارية وأحمال تكييف الهواء داخل فضاءات المبنى **[9, pp.70-72]**.

- وسائل التظليل: أنواعها, ووضعية توقيعها (خارجية أو داخلية أو وسيطة).
- إختيار نوع الزجاج, ووسائل التظليل, وبما يناسب كل نوع من الواجهات المزدوجة ولكل توجيه.
- إستراتيجية إختيار منظومة التكييف (HVAC): مصدر ووجهة الهواء داخل التجويف الهوائي, وطبيعة التهوية: طبيعية, أو ميكانيكية, أو هجينة (تدعيم التهوية الطبيعية بواسطة مرواح) **[16,P.36]**.

2.7 حساب درجة الحرارة على ارتفاعات مختلفة في الواجهة مزدوجة القشرة (الأداء الحراري): تخضع التهوية الطبيعية وتدفق الهواء في الواجهة المزدوجة, الى الفروقات في درجات الحرارة مع البيئة الخارجية, ولفعل الرياح الذي يسببه إختلاف الضغط **[10, P. 31]**.

من ثم, تعتمد درجة حرارة الهواء داخل الواجهة مزدوجة القشرة بشكلٍ أساس على; كمية تدفق الهواء, والكسب الحراري **[16, P. 51]**.

3.7 حساب ضوء النهار الطبيعي عبر الواجهة مزدوجة القشرة: يتطلب الحدُّ من كمية الإضاءة الداخلة الى فضاءات المبنى نتيجة القشرة الخارجية, وإسلوب تسقيط الواجهة والتي تسبب عمق إضافي للفضاء, فضلاً عن المساحات الواسعة من الزجاج التي تسببت بتأثير تعويضي للإضاءة الطبيعية **[16, P. 56]**.

4.7 الأداء الطاقوي للواجهات مزدوجة القشرة: تُحسِّن الواجهات المزدوجة من كفاءة إستخدام الطاقة عن طريق الجمع بين نظمها (أنواعها) المختلفة أو بواسطة تغيير إعدادات النظام الواحد وفقاً لحالة معينة، مثل إضافة وسائل التظليل المتنوعة في التجويف الهوائي, مما سيقلل بالنتيجة من إستخدام الطاقة الكهربائية لأغراض التهوية, ويجعل الواجهة المزدوجة تعمل بكفاءة طاقوياً على مدار العام تقريباً **[10, P. 31]**.

ولتقييم كفاءة إستخدام الطاقة للواجهات مزدوجة القشرة، يجب دراسة عمليات الفقدان والكسب الحراري في المبنى، فضلاً عن مراعاة

التغيير في المحتوى الحراري للتجويف الهوائي, مع إجراء تحليل للطاقة لكامل المبنى بواسطة برامج حاسوبية للأداء البيئي [16, pp. 58-59].

تعقيباً على ما تقدم, يعتمد البحث في جانبه التطبيقي على برنامج (DesignBuilder) الحاسوبي للأداء البيئي بغرض تقييم كفاءة إستخدام الطاقة للواجهة مزدوجة القشرة النوع الرواقي في مناخ بغداد الحار الجاف.

8. تصنيف الواجهات مزدوجة القشرة:

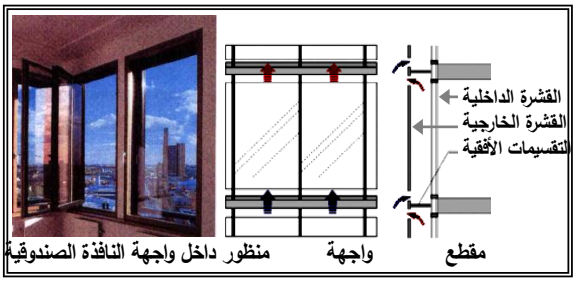
هناك العديد من الطرق لتصنيف الواجهات مزدوجة القشرة, لكن الأكثرها شيوعاً هو تصنيفها وفقاً لهندسيتها (عرض الفتحات, وإرتفاع وعرض التجويف الهوائي، .. الخ), بسبب إمتلاك هندسية الواجهة المزدوجة تأثيراً كبيراً وهاماً على خصائص وطبيعة الهواء داخل التجويف الهوائي.

وتُصنَّف أنواع الواجهات مزدوجة القشرة وفقاً لهندسيتها الى:

1.8 واجهة النافذة الصندوقية: شيدت واجهة النافذة الصندوقية (Boxed Window Façade) مع تقسيمات أفقية وعمودية بين الطوابق المختلفة في الواجهة والتي تُجزئها الى صناديق صغيرة ومستقلة, ويتطلب كل عنصر نافذة صندوقية مؤطرة, فتحاته الخاصة لتدوير الهواء **[17, P. 228].**

ويُعَد هذا النوع من الواجهات المزدوجة مثالاً كلاسيكياً للحماية البيئية المتعددة الطبقات لنافذة, فهو مزيج من النافذة المنخفضة الإنبعاثية مع فجوة هواء تفاعلية يمكن فتحها في الصيف لإستنفاذ الهواء الساخن من المبنى, أو تغلق في الشتاء لمنع الهواء الساخن من الخروج من المبنى, كما تعمل كعازل إضافي للتكوين الزجاجي, ومن ثم تُقلِل التباين الحراري وفقدان الحرارة من المبنى **[9, pp. 110, 111].**

يُحاط التجويف الهوائي في وحدات النافذة الصندوقية أفقياً وعمودياً. ويتم إستخدام التهوية الطبيعية في واجهة النافذة الصندوقية, **شكل 6** **[2, P. 54].**

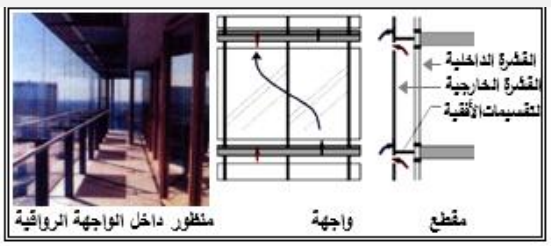


شكل 6: واجهة النافذة الصندوقية [9, P. 111], و [21, P.

2.8 الواجهة الرواقية: تمتد القشرة الثانية في الواجهة الرواقية (Corridor Façade) أفقياً بغرض الفصل بين طوابق المبنى, حيث تعتمد الواجهة الرواقية بالأساس على غلق التجويف الهوائي الواقع بين قشرتي الواجهة المزدوجة في كل طابق. وعادةً ما تقع مآخذ الهواء (فتحات سحب الهواء) قرب أرضية الطابق, بينما تقع مستنفذات الهواء (فتحات إستخراج الهواء) قرب سقف الطابق. ويمكن أن تعمل هذه الفضاءات المستمرة بمثابة ممرات للحركة أو كشُرفات **[9, pp. 110, 112].**

من ثم, يمكن أن يمتد التجويف الهوائي في الواجهة الرواقية عبر عدة طوابق بدون قيود عمودية. ويمكن إستخدام جميع وسائط التهوية الثلاثة في الواجهة الرواقية, **شكل 7** **[2, P. 54].**

ويتم إنشاء التقسيمات الأفقية في الواجهة الرواقية لتعزيز التهوية الطبيعية (تأثير المدخنة), وللمتطلبات الصوتية،والحماية من الحرائق **[17,P. 228].**

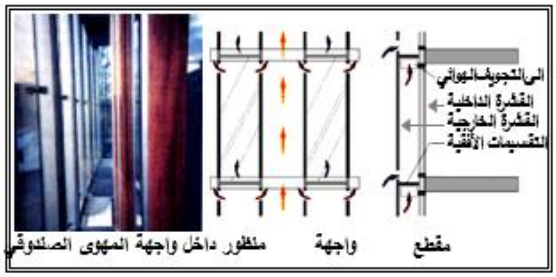


شكل 7: الواجهة الرواقية [9, P. 111], و[21, P. 712].

3.8 واجهة المهوى الصندوقي: تمتد واجهة المهوى الصندوقي (Shaft-Box Façade) أفقياً على عدد من طوابق المبنى مكونةً فواصل عمودية (مهاوي عمودية), للإستفادة وإستغلال الإرتفاع الحراري الناتج عن الهواء الداخل بواسطة الفتحات القليلة الموجودة في القشرة الخارجية من الواجهة المزدوجة **[17, P. 228]**.

وتمتلك واجهة المهوى الصندوقي خصائصاً حرارية فيزيائية تعتمد على مزيج من نظام النوافذ الصندوقية والمدخنة الشمسية (Solar Chimney)[5], حيث تتكون من طبقتين تزجيج يفصل بينهما فجوة هوائية تمتد على عدد من طوابق المبنى لخلق تأثير المدخنة, وترتبط النوافذ المؤطرة بهذا المهوى العمودي. لذا يُوجِّه تأثير المدخنة الهواء من النوافذ الصندوقية الى المهوى العمودي, وهكذا يتم إستنفاذ هذا الهواء بواسطة الهواء الساخن العمودي الذي يرتفع في المهوى العمودي **[9, pp. 110, 112]**.

وتُشبه واجهة المهوى الصندوقي, الواجهة الرواقية, لكنها تتصل بمهاوي عمودية لزيادة إستخدام تأثير المدخنة. وتَستخدِم واجهة المهوى الصندوقي, التهوية الطبيعية أو التهوية الهجينة, **شكل 8** **[2, P. 55]**.

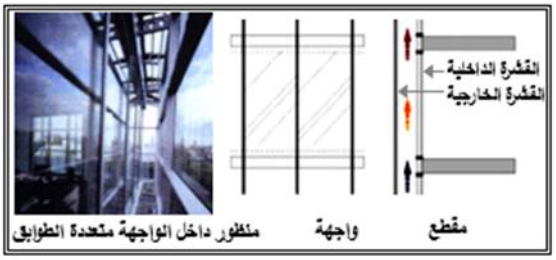


شكل 8: واجهة المهوى الصندوقي [9, P. 111], و [21, P. 712].

4.8 الواجهة متعددة الطوابق: يتم وضع نظم الجدران الخارجية الستائرية المزججة في الواجهة متعددة الطوابق (Multi-Storey Façade), أمام القشرة الداخلية من دون أي فصل أفقي أو عمودي (حيث يُترَك التجويف الهوائي بين القشرتين الداخلية والخارجية دون أي عائق) مما يتيح للهواء التنقل بحرية وبإستمرار بين هاتين القشرتين, ويتم تهوية الفضاء عن طريق فتحات كبيرة عند مستوى الأرضية والسقف **[17, P. 228]**.

وتعمل الواجهة متعددة الطوابق كمدخنة شمسية ومداخن حرارية عمودية بفعل قوة الطفو الحراري للهواء الساخن المرتفع نحو الأعلى. وتكون الواجهة متعددة الطوابق مناسِبة عند إرتفاع مستويات الضوضاء خارج المبنى، لأنها لا تتطلب مآخذ هواء أو مستنفذات هواء موزعة على إرتفاعها **[9, P. 112]**.

ويكون التجويف الهوائي في الواجهة متعددة الطوابق، مفتوحاً للأعلى وللأسفل مُشكِّلاً بذلك حجماً كبيراً. وتُستخدَم جميع وسائط التهوية الثلاث في الواجهة متعددة الطوابق، **شكل 9** **[2, P. 55]**.



شكل 9: الواجهة متعددة الطوابق [9, P. 111], و [21, P. 712].

إجمالاً، تؤثر هندسية الواجهة مزدوجة القشرة، ونوعها، بشكلٍ أساس على خصائص الهواء داخل التجويف الهوائي. من ثم، تَعتمِد وظيفة الواجهة المزدوجة، وإستراتيجية (HVAC)، بشكلٍ رئيس على: درجة الحرارة، والتدفق الهوائي, للهواء المنساب بين طبقات الزجاج للواجهة **[16, P. 167]**.

وفقاً لِما تقدم، توصل البحث الى مجموعة من المزايا والسلبيات لأنواع الواجهات مزدوجة القشرة والمصنفة وفقاً لهندسيتها، لا سيما فيما

(5) المدخنة الشمسية (Solar Chimney): نظام لحث التهوية الطبيعية في المبنى بإسلوب منفعل بإستخدام الطاقة الشمسية وتعمل بواسطة تأثير الطفو الحراري **[15, P. 4]**.

يتعلق بمدى ملاءمة تطبيقها في أبنية المناطق الحارة الجافة ومنها العراق, جدول 1.

جدول 1: مزايا وسلبيات أنواع الواجهات مزدوجة القشرة المصنفة وفقاً الى هندسيتها [الباحثة] .

نوع الواجهة مزدوجة القشرة وفقاً لهندسيتها	المزايـــا والسلبيـــات
أولاً/ واجهة النافذة الصندوقية (Boxed Window Façade):	
المزايـا	• تقترب واجهة النافذة الصندوقية من النوافذ مزدوجة التزجيج, غير أن تطبيقها يُحقق كفاءة إستخدام طاقوي أعلى.
السلبيات	• تزيد الفواصل الأفقية والعمودية الكثيرة في واجهة النافذة الصندوقية من كُلف الإنشاء والصيانة. • توجد بعض الصعوبات في صيانة وتنظيف واجهة النافذة الصندوقية بسبب إمتلاك كل نافذة فتحاتها الخاصة لتدوير الهواء, فضلاً عن زيادة الوقت المطلوب للصيانة والتنظيف. • إستخدام التهوية الطبيعية فقط في واجهة النافذة الصندوقية.
ثانياً/ الواجهة الرواقية (Corridor Façade):	
المزايـا	• تُعزز الواجهة الرواقية من كفاءة إستخدام الطاقة في المبنى, لا سيما لأغراض التبريد والتهوية بسبب الفصل الأفقي بين الطوابق, ومن ثم أهمية تطبيقها في المناطق الحارة الجافة. • يساعد وجود مآخذ الهواء قرب أرضية الطابق وتوقيع مستنفذات الهواء قرب سقف الطابق في الواجهة الرواقية, على تفعيل تأثير المدخنة, ومن ثم تعزيز التهوية الطبيعية. بالنتيجة, تقليل الأحمال الحرارية الناتجة عن تبريد وتهوية فضاءات المبنى. • إمكانية إستخدام وسائط التهوية الثلاث في الواجهة الرواقية, مما يساعد على تدعيم التهوية الطبيعية, وبالنتيجة تقليل الأحمال الحرارية المصروفة لأغراض التبريد والتهوية, لاسيما في أبنية المناطق الحارة الجافة. • يساعد وجود الأروقة الأفقية بكل طابق في الواجهة الرواقية, على تسهيل عمليات الصيانة والتنظيف لإمكانية السير عليها, فضلاً عن تقليل المدة المطلوبة لهذا الغرض. • تساعد التقسيمات الأفقية في الواجهة الرواقية على السيطرة على التبريد والتهوية الطبيعية, والحد من الأتربة ولكل طابق بشكلٍ منفصل, فضلاً عن تحقيق متطلبات العزل الصوتي, والحماية من الحرائق. • إمكانية توظيف التجويف الهوائي بكل طابق بمثابة شرفة, وبالنتيجة توفير مساحة إضافية لكل طابق.
السلبيات	• يكون تأثير المدخنة (Stack Effect) في الواجهة الرواقية أقل, مقارنة بواجهات المهوى الصندوقي.
ثالثاً/ واجهة المهوى الصندوقي (Shaft-Box Façade):	
المزايـا	• يزيد تأثير المدخنة العالي في واجهة المهوى الصندوقي من التهوية الطبيعية. بالنتيجة, تقليل أحمال التبريد والتهوية المصروفة داخل فضاءات المبنى, ومن ثم تحقيق كفاءة إستخدام الطاقة فيه. • تساعد الفواصل العمودية في واجهة المهوى الصندوقي على الإستفادة من الإرتفاع الحراري الناتج عن الهواء الداخل عن طريق الفتحات القليلة المطلوبة للقشرة الخارجية من الواجهة المزدوجة. • تَستخدِم واجهة المهوى الصندوقي نوعين من التهوية: التهوية الطبيعية أو التهوية الهجينة.
السلبيات	• صعوبة إجراء عمليات الصيانة والتنظيف, بسبب إمتداد التجويف الهوائي عمودياً على طوابق المبنى, والحاجة الى أدرج أو رافعات صغيرة لمساعدة العاملين على الوصول الى نوافذ القشرتين في الطوابق العليا, فضلاً عن زيادة الوقت المصروف لهذا الغرض. • يُشكِل إستخدام تأثير المدخنة العالي في الواجهة, سلبية في حال كانت التهوية الطبيعية خارج المبنى غير مرغوب فيها لا سيما في الأوقات الباردة من السنة, أو في أوقات العواصف الترابية في المناطق الحارة الجافة.
رابعاً/ الواجهة متعددة الطوابق (Multi-Storey Façade):	
المزايـا	• يُشجِّع التجويف الهوائي الكبير في الواجهة, على تنقل الهواء بحرية وبإستمرار بين قشرتي الواجهة. • ملاءمة الواجهة متعددة الطوابق للأبنية الواقعة في مناطق ذات مناسيب ضوضائية مرتفعة. • إمكانية إستخدام وسائط التهوية الثلاثة في الواجهة متعددة الطوابق.
السلبيات	• صعوبة إجراء عمليات الصيانة والتنظيف, بسبب التجويف الهوائي الكبير, لأنه يحتاج الى أدرج أو رافعات صغيرة لمساعدة العاملين على الوصول الى نوافذ القشرتين في الطوابق العليا, فضلاً عن زيادة الوقت المصروف لهذا الغرض. • يُشكِل تأثير المدخنة الكبير في الواجهة متعددة الطوابق, عائقاً في الأوقات الباردة من السنة, لا سيما

أن تهوية التجويف الهوائي تتم عن طريق فتحات كبيرة تُوقَع عند مستوى الأرضية والسقف.	

بناءاً على ما تقدم, سيجري تطبيق الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة على مبنى إداري إفتراضي مقترح في مدينة بغداد – العراق, وذلك في الجانب

ثانياً/ الجانب التطبيقي:

بوصفه جهداً مُكمِّلاً للبحوث والدراسات السابقة التي تناولت تحقيق مفهوم كفاءة إستخدام الطاقة في الأبنية, لا سيما أبنية المناطق الحارة الجافة, وبغرض تحقيق هدف البحث, تم تدعيم الدراسة النظرية بجانب تطبيقي عن طريق إعتماد برنامج (DesignBuilder) الحاسوبي للأداء البيئي ذي الإصدار (2.4.2.026), لبيان كفاءة استخدام الطاقة داخل فضاءات إنموذج تصميمي لمبنى إداري متعدد الطوابق في مدينة بغداد مُقترَح بواسطة الباحثة كإنموذج إفتراضي عن الأبنية في البيئة المناخية العراقية ذات المناخ الحار الجاف.

تم تصميم المبنى بإنموذجين, وأجريت الحسابات وفقاً لذلك على مرحلتين:

<u>الإنموذج الأول (Building 1)</u>: يتم قياس كفاءة إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى الإفتراضي (في المرحلة الأولى), عن طريق حساب إجمالي أحمال الطاقة المصروفة لأغراض التبريد صيفاً, والتدفئة شتاءاً, بعد حساب الأحمال الحرارية المُسلطة على غلافه البنائي بواجهة جنوبية مفردة القشرة.

<u>الإنموذج الثاني (Building 2)</u>: يتم قياس كفاءة استخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى الإفتراضي (في المرحلة الثانية), عن طريق حساب إجمالي أحمال الطاقة المصروفة لأغراض التبريد صيفاً, والتدفئة شتاءاً, بعد حساب الأحمال الحرارية المسلطة على غلافه البنائي وبإستبدال واجهته الجنوبية[5] بأخرى مزدوجة القشرة من النوع الرواقي.

التطبيقي من البحث, بسبب كثرة المزايا التي تتمتع بها وقلة السلبيات التي تمتلكها, مقارنةً ببقية أنواع الواجهات المزدوجة الأخرى والمُصنَفة وفقاً لهندسيتها.

بالنتيجة, يتم مقارنة نتائج حسابات البرنامج (DesignBuilder) بغرض بيان فرق الكفاءة بين الواجهتين في إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى الإفتراضي, وبما يصب في هدف البحث.

9. إنموذجي المبنى الإفتراضي المقترح:

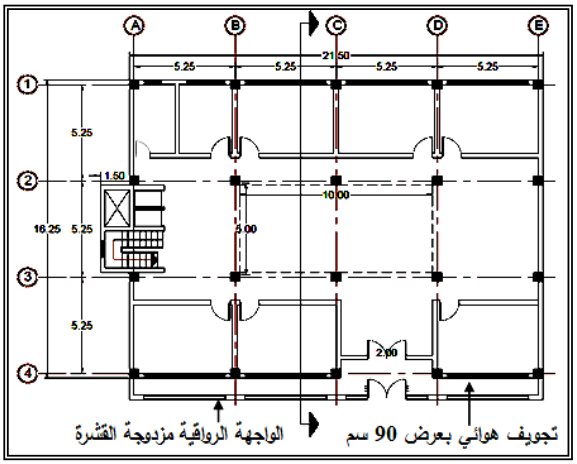
تم إقتراح إنموذج تصميمي لمبنى إدراري إفتراضي بواسطة الباحثة في مدينة بغداد (خط عرض 33.20° شمالاً, و 44.26° شرقاً) ذات المناخ الحار الجاف, بأبعاد (16.25×21.5) م للمخطط الأفقي, وبإرتفاع إجمالي (16م) بواقع (4 طوابق), والجدران من الطابوق مع أعمدة كونكريتية بأبعاد (30×30) سم للعمود الواحد. كما صُمِّمَت جميع واجهات المبنى الإفتراضي في الإنموذج الأول, مفردة القشرة (تقليدية) في المرحلة الأولى.

يضم المبنى الإفتراضي بداخله فناءاً مركزياً (Atrium) بأبعاد (10×5) م يغطي سقفه كُوات (Skylights) هرمية الشكل بنوافذ فائقة (Super Windows) مزدوجة التزجيج مليئة بالأرگون (Argon) والفجوة بين طبقتي الزجاج (12ملم), وتم إختيار الإنموذج الملائم من النوافذ الفائقة لمدينة بغداد والذي يسمح بدخول كثير من الضوء مع قليل من الحرارة, حيث تتيح تركيبة الزجاج هذه لأشعة الموجات القصيرة بالدخول الى فضاءات المبنى, بينما تمنع أشعة الموجات الطويلة من الدخول أو الخروج. بالنتيجة, تمتلك هذه النوافذ أثراً كبيراً في تحقيق كفاءة إستخدام طاقوي عالي داخل فضاءات المبنى الإفتراضي لدورها الفعّال في التقليل من إجمالي الحرارة المكتسبة. كما يُقلِل الأرگون من كمية الحرارة النافذة عِبر الفجوة مع تحسين قيمة المقاومة الحرارية (R-value) للزجاج بنسبة (5-20)%.

(5) تم التركيز على إستبدال الواجهة الجنوبية مفردة القشرة في المبنى الإفتراضي بأخرى رواقية مزدوجة القشرة, لأنها تتحمل كميات كبيرة من الأعباء الحرارية سنوياً والتي تصل الى حوالي (50%) من إجمالي العبء الحراري المسلط على كامل غلاف المبنى [الباحثة وفقاً لنتائج البرنامج (DesignBuilder)].

وتكون نوافذ الكُوات السقفية ثابتة من جهة الجنوب, وقابلة للغلق والفتح الكترونياً من جهة الشمال وبحسب حاجة المبنى للتهوية بغرض تفعيل التهوية الطبيعية بواسطة تأثير المدخنة, مع التحكم بكمية الأشعة الشمسية والإضاءة الطبيعية الداخلة للمبنى. كما يضم المبنى (Core) بداخله مصعدين ودرج.

تم إستبدال الواجهة الجنوبية مفردة القشرة في الإنموذج الأول, بواجهة مزدوجة القشرة من النوع الرواقي في الإنموذج الثاني وذلك في المرحلة الثانية, يبلغ عرض التجويف الهوائي فيها (90سم), ويكون التزجيج في القشرة الخارجية "الرئيسة" مفرداً, وفي القشرة الثانية "الداخلية" مزدوجاً, والزجاج من النوع الإنتقائي طيفياً (Spectrally Selective Glazing), والنوافذ فائقة مزدوجة التزجيج مليئة بالأرگون, والفجوة بين طبقتي الزجاج (12ملم), شكل 10.



شكل 10: المخطط الأفقي للمبنى الإفتراضي بعد إضافة الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة [الباحثة].

10. قياس كفاءة إستخدام الطاقة في المبنى:

تم قياس كفاءة إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى الإفتراضي عن طريق حساب إجمالي أحمال الطاقة الكهربائية المصروفة لأغراض التبريد في فصل الصيف, والتدفئة في فصل الشتاء, وبمرحلتين: الأولى, بواجهة جنوبية مفردة القشرة للمبنى الإفتراضي. والثانية, بواجهة جنوبية مزدوجة القشرة من النوع الرواقي للمبنى الإفتراضي. من ثم, تمت مقارنة النتائج في كلتا الحالتين لبيان كفاءة إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى الإفتراضي.

11. إستراتيجية العمل ضمن البرنامج الحاسبي:

يقوم البرنامج (DesignBuilder) بحساب إجمالي أحمال الطاقة المصروفة لأغراض التكييف (التبريد والتدفئة) والتهوية عن طريق منصة برنامج محاكاة أحمال الطاقة (EnergyPlus) المدمج بداخله, حيث يعمل الأخير بواسطة محاكاة طاقة المبنى بأكمله, فضلاً عن محاكاة البيانات وحسابها من أجل الوصول الى تصميم نموذجي لإستهلاك الطاقة – لأغراض التبريد والتدفئة والتهوية.

ويستند البرنامج (EnergyPlus) على منهجية تعتمد على تعريف فضاءات المبنى بوصفها أنطقة حرارية (Thermal Zones). والمنطقة (Zone) مفهوم حراري وليس هندسي, فهي عبارة عن حجم من الهواء في درجة حرارة موحدة, فضلاً عن جميع الحرارة المنقولة والحرارة المخزونة في السطوح المحاذية أو داخل هذا الحجم الهوائي.

ويتعامل البرنامج (EnergyPlus) في حساباته مع أسطح الغلاف البنائي (الواجهات, والسقوف, والنوافذ والأبواب) على أنها أسطح ناقلة للحرارة, في حين يتعامل مع الأسطح الداخلية للمبنى على أنها أسطح خازنة للحرارة.

ويوفر البرنامج (EnergyPlus) ملخص قياسي وتقارير مفصلة لمخرجات الأحمال الحرارية, مع اختيار الوقت المقرر من السنوي الى الفرعي ولكل ساعة، مع بيان مصادر الطاقة الموظفة في المبنى.

ويتعين تحديد موقع المبنى الإفتراضي, والمعلومات المناخية الخاصة بالموقع والتي تتوفر ضمن ملفات الطقس الموجودة داخل منصة البرنامج (DesignBuilder), فضلاً عن وجود معايير ومواصفات المواد الإنشائية للمبنى المزمع إختباره. أو يقوم المُستخدِم بإدخال هذه المعلومات, وكما هو الحال مع بيانات الطقس لمدينة بغداد (المُستحصلة قيمها

من الهيئة العامة للأنواء الجوية العراقية) والتي قامت الباحثة بإدخالها بإعتماد المدة من 1 آذار 2016 ولغاية 31 تشرين الأول 2016 عن فصل الصيف, والمدة من 1 تشرين الثاني وشهر كانون الأول 2016, ولغاية 28 شباط 2017 عن فصل الشتاء, فضلاً عن إدخال معايير ومواصفات المواد الإنشائية للمبنى الإفتراضي.

بعد إدخال بيانات الطقس الخاصة بمدينة بغداد, تم رسم المبنى الإفتراضي داخل منصة البرنامج (DesignBuilder) بإسم (Building 1). ثم تم إدخال بيانات مواد الهيكل الإنشائي للمبنى بواجهة جنوبية مفردة القشرة. ثم رُسِم المبنى ثانيةً بإسم (Building2) وبواجهة جنوبية مزدوجة القشرة من النوع الرواقي (مع طبقة تزجيج مفردة للقشرة الرئيسة, وطبقة تزجيج مزدوجة للقشرة الثانية ونوع الزجاج إنتقائي طيفياً).

ويتعين مراعاة مجموعة من الإعتبارات (والتي سترد لاحقاً) لنمذجة الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة عند إستخدام البرنامج (DesignBuilder).

ويوضح جدول 2, المواصفات والمعايير للمواد الإنشائية المُستخدمة في المبنى الإفتراضي والتي تم إدخالها بواسطة الباحثة في البرنامج الحاسبي.

جدول 2: مواصفات ومعايير المواد الإنشائية المُستخدمة في المبنى الإفتراضي والتي تم إدخالها في البرنامج الحاسبي.
المصدر: تنظيم الباحثة إستناداً الى (دليل العزل الحراري, اللجنة الإستشارية للطاقة–اللجنة الفرعية للعزل الحراري, بغداد, 1986).

المادة البنائية	المواد الإنشائية المضافة	المعامل الإجمالي لإنتقال الحرارة (U-value) للمواد (واط/ م^2. كلڤن)
جدار طابوق 240 ملم.	20 بياض بالجص	1.936
نوافذ مفردة التزجيج بإطارات معدنية إستُخدِمَت للواجهة مفردة القشرة.	4 ملم فاصل حراري	5.0
نوافذ فائقة مزدوجة التزجيج بإطارات معدنية (زجاج منخفض الإنبعاثية صافي εn=0.2 مملوء بالأرگون) إستخدم للقشرة الثانية من الواجهة الرواقية, فضلاً عن إستخدامه لتزجيج الكوات السقفية (الثابتة والمتحركة).	4 ملم فاصل حراري, والفجوة بين ألواح الزجاج 12 ملم.	1.64
سقف كونكريتي (سُمك الصبة 15 سم).	العازل (40 رمل + 25 ألواح فلين + 30 قير + 20جص).	0.687
المادة البنائية	**التوصيف**	**قِيم الموصلية الحرارية (k-value) للمواد (واط/ م. كلڤن)**
جدار الطابوق	الكثافة (1760 كغم/ م^3)	0.807
الكونكريت	الكثافة (2400 كغم/ م^3)	1.442
الإسفلت المُستخدَم في التسقيف.	الكثافة (2240 كغم/ م^3)	1.226
ألواح الفلين	الكثافة (144 كغم/ م^3)	0.042
ألواح ليفية (Fiber Board)	الكثافة (264 كغم/ م^3)	0.052
ألواح الزجاج	الكثافة (2512 كغم/ م^3)	1.053
المادة البنائية	**قيم الإمتصاصية للمادة البنائية**	**قِيم الإنبعاثية للمادة البنائية**
الطابوق	0.65	0.9
الكونكريت	0.65	0.9
الطلاء الأبيض	0.3	0.9

المادة البنائية	قِيم معامل الكسب الحراري الشمسي للزجاج (Solar Heat Gain Coefficient)
زجاج مفرد التزجيج صافي	0.86
زجاج مزدوج التزجيج صافي من النوع الإنتقائي طيفياً (12 ملم مجال ملئ بالأرگون).	0.64

ملاحظة: المواصفات والمعايير الأخرى إعتمدت من مقياس (ASHRAE Standard 62.1) إصدار عام 2010 الخاص بمعايير جودة الهواء في الفضاءات الداخلية للمبنى [3].

12. الإعتبارات الواجب مراعاتها في حسابات الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة:

هناك مجموعة من الاعتبارات الهامة تمت مراعاتها لإجراء حسابات نمذجة الواجهة

الرواقية مزدوجة القشرة في المبنى الإفتراضي عند استخدام البرنامج (DesignBuilder), هي:

1. يجب تعيين نوع المنطقة على علامة تبويب الفعالية "3-Cavity at zone level" في منطقة التجويف الهوائي للواجهة المزدوجة, وهذا سيسبب التغييرات الآتية التي يتعين إجراؤها على الإنموذج الثاني (Building 2):
   - تعيين منطقة "التجويف الهوائي" بوصفها منطقة غير مشغولة بواسطة تحميل فعالية <None>، في قوالب البيانات ومعدات التكييف (HVAC).
   - تعيين "خوارزمية الحمل الحراري الداخلي للتجويف الهوائي" لأغراض تصميم التبريد، وتصميم التدفئة, وحسابات المحاكاة الحرارية للتجويف الهوائي, بشكل صحيح.
   - تعيين "خوارزمية التوزيع الشمسي الكاملة في الفضاءات الداخلية والخارجية" لأغراض تصميم التبريد, والمحاكاة الحرارية, لأنها تسمح للإشعاع الشمسي بالتنقل بدقة عِبر الزجاج الداخلي.
2. يتم تعريف نظام تحكم بسيط للتهوية في منطقة التجويف الهوائي لتوفير (10 ac/h) من الهواء الخارجي في التجويف عندما تكون درجة حرارة الهواء في التجويف أكبر من (24°C). وهذا يساعد على ضمان عدم تسخين التجويف الهوائي، والحدّ من أحمال التبريد في الفضاءات المشغولة.
3. يتطلب الإنموذج (Building 2) وبسبب إحتواء واجهته مزدوجة القشرة على تجويف هوائي, توفير خَيارات التوزيع الشمسي كاملةً للزجاج في قشرتي الواجهة الرواقية المزدوجة (الداخلية والخارجية) للسماح بتمرير الإشعاع الشمسي من خلال زجاج نوافذ القشرة الخارجية, ومن ثم من خلال زجاج نوافذ القشرة الداخلية.

13. قياس كفاءة إستخدام الطاقة في المبنى الإفتراضي عن طريق حساب أحمال التبريد:

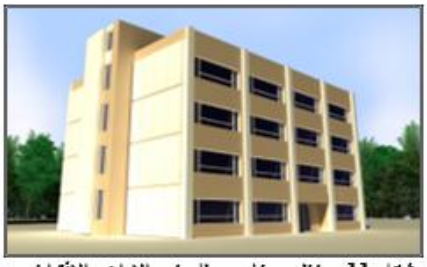
تقوم منصة البرنامج (EnergyPlus) بإجراء عمليات حساب تصميم التبريد من أجل تحديد قدرة وحجم معدات التبريد الميكانيكية المطلوبة لمواجهة ظروف الطقس الحارة صيفاً في مناخ مدينة بغداد. حيث تم إدخال بيانات الطقس اليومية ولكل ساعة الى ملف حسابات التبريد, مع إعتماد درجات الحرارة الخارجية الدورية (الحالة المستقرة) لمدينة بغداد والمحسوبة بإستخدام الحدّ الأقصى والحدّ الأدنى, مع حساب الكسب الحراري الشمسي عبر النوافذ, فضلاً عن إعتماد سرعة الرياح وإتجاهها لإستخدامها في حسابات التهوية الطبيعية داخل فضاءات المبنى. ثم يقوم البرنامج (EnergyPlus) بنمذجة النظم الحرارية داخل فضاءات المبنى مع ديناميكة سريعة وسرعة في المحاكاة الحرارية للوصول الى نتائج دقيقة عن طريق إجراء الحسابات كل ساعة عِبر خطوات الوقت (المُحدَّدة بواسطة الباحثة) لإجراء التفاعل بين الأنطقة الحرارية التي تمتلك درجات حرارة مختلفة ولكل منطقة داخل المبنى وضمن كل طابق, مع البيئة المحيطة بإعتماد التوصيل الحراري والحِمل الحراري لجميع ساعات اليوم, مع خطوات زمنية متنوعة تلقائياً لأغراض التفاعل بين الأنطقة الحرارية ونظم التكييف في المبنى. ويحسب البرنامج (EnergyPlus) الطاقة المطلوبة للمحافظة على كل منطقة (Zone) في درجة حرارة محددة لكل ساعة من اليوم, من ثم يُنفذ التوازن الحراري لكل منطقة.

وتستمر المحاكاة حتى تتقارب درجات الحرارة الى تدفقات الحرارة (Heat Flows) في كل منطقة. وفي حالة عدم حدوث التقارب، تستمر المحاكاة لأقصى عدد من الأيام وعلى النحو المُحدَد في خَيارات الحساب والمثبتة بواسطة الباحثة.

وتَحسِب المحاكاة الحرارية; درجات الحرارة وتدفقات الحرارة لكل نصف ساعة ولكل منطقة، لتحديد

قدرات التبريد المطلوبة للمحافظة على نقاط ضبط درجة حرارة التبريد في كل منطقة. ويتم إجراء عملية ضرب: (الحدُّ الأقصى لحِمل التبريد في كل منطقة × عامل الأمان (Safety Factor) 1.3 بشكل إفتراضي) لإعطاء قدرة تصميم التبريد. ويُستخدَم عامل الأمان (Safety Factor) لمضاعفة أحمال التبريد المحسوبة في كل منطقة لإعطاء الحدُّ الأقصى من سعة معدات التبريد الموصى بها. كما يحسب التبريد الإضافي الذي قد يكون مطلوباً لتبريد المبنى في مدة قصيرة قبل الوصول للبرودة المقبولة, ويعطي الأمان فيما يخص المحافظة على ظروف الراحة الحرارية داخل فضاءات المبنى. بناءاً على ذلك, يتم تحديد إجمالي أحمال الطاقة المصروفة لأغراض التبريد والمطلوبة للمحافظة على درجات برودة مقبولة ضمن كل طابق, والتي بدورها تُحدِد كفاءة إستخدام الطاقة في فضاءات المبنى الإفتراضي.

وقد أُجريت هذه الحسابات للمبنى الإداري الإفتراضي بواجهته الجنوبية مفردة القشرة (Building 1), الأشكال: 11 و12 و13. ثم أعيدت الحسابات مرة أخرى بعد إستبدالها بواجهة رواقية مزدوجة القشرة (Building 2), الأشكال: 14 و15 و16, و17 مع مراعاة مجموعة الإعتبارات الخاصة بالواجهة الرواقية المزدوجة في الفقرة السابقة.

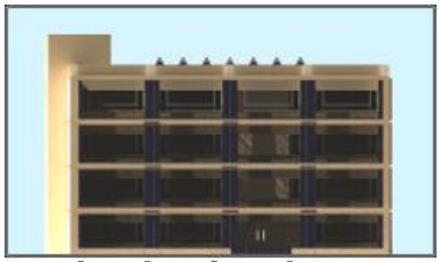


شكل 11: منظور خارجي للمبنى الإداري الإفتراضي من جهة الواجهة الجنوبية مفردة القشرة [الباحثة].

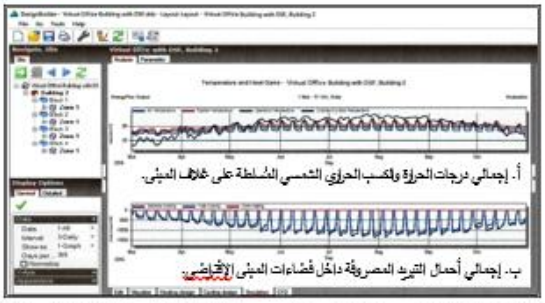
شكل 12: الواجهة الجنوبية مفردة القشرة للمبنى الإداري الإفتراضي [الباحثة].

شكل 13: أ. إجمالي درجات الحرارة والكسب الحراري الشمسي المُسلطة على غلاف المبنى الإفتراضي في فصل الصيف.
ب. إجمالي أحمال التبريد المصروفة داخل فضاءات المبنى الإفتراضي بواجهته الجنوبية مفردة القشرة خلال الصيف [الباحثة].

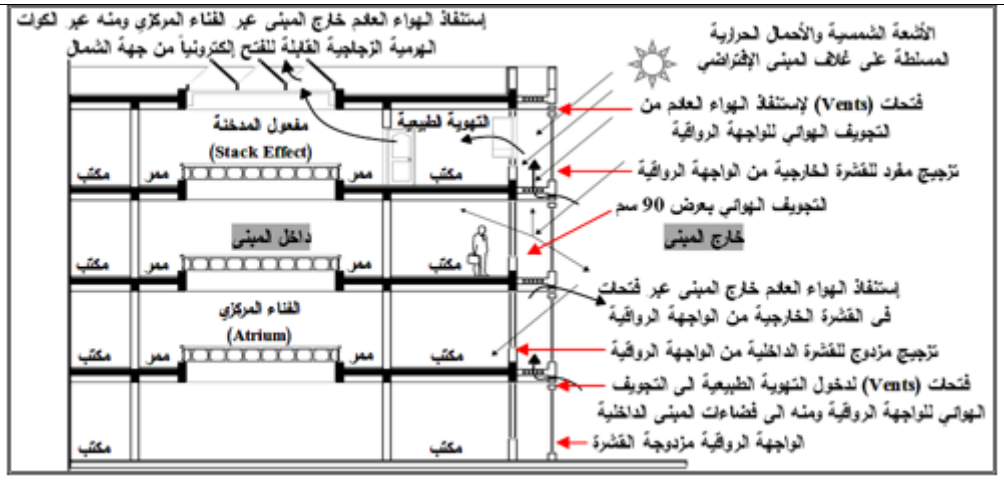
شكل 14: منظور خارجي للمبنى الإداري الإفتراضي بواجهة جنوبية رواقية مزدوجة القشرة [الباحثة].



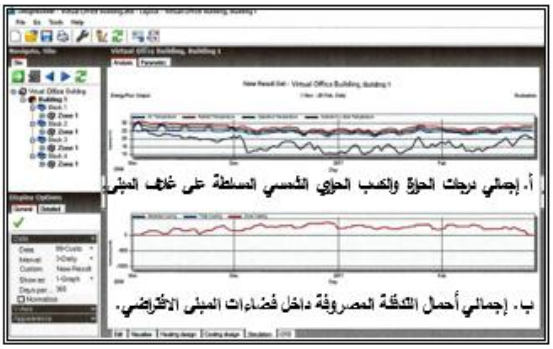
شكل 15: الواجهة الجنوبية الرواقية مزدوجة القشرة للمبنى الإداري الإفتراضي [الباحثة].



شكل 14: أ. إجمالي درجات الحرارة والكسب الحراري الشمسي المُسلطة على غلاف المبنى الإفتراضي في فصل الصيف.
ب. إجمالي أحمال التبريد المصروفة داخل فضاءات المبنى الإفتراضي بواجهته الجنوبية الرواقية مزدوجة القشرة خلال الصيف [الباحثة].



شكل 17: مقطع طولي في المبنى الإداري الإفتراضي بعد إضافة الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة من جهة الجنوب [الباحثة].



شكل 18: أ. إجمالي درجات الحرارة والكسب الحراري الشمسي المُسلطة على المبنى الإفتراضي (بواجهة جنوبية مفردة القشرة), مع إجمالي أحمال التدفئة المصروفة داخل فضاءاته في الشتاء [الباحثة]

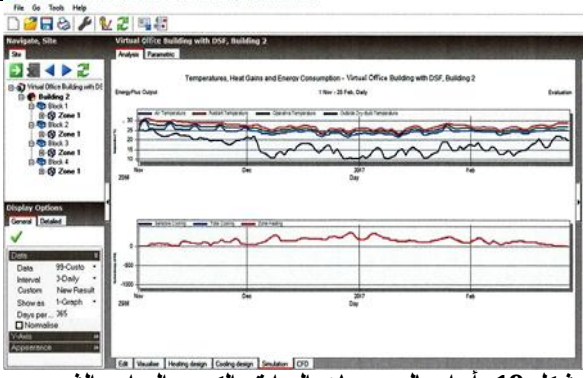
14. قياس كفاءة إستخدام الطاقة في المبنى الإفتراضي عن طريق حساب أحمال التدفئة:

تقوم منصة البرنامج (EnergyPlus) بإجراء عمليات حساب تصميم التدفئة (وكما هو الحال في عمليات حساب تصميم التبريد الواردة آنفاً) من أجل تحديد قدرة وحجم معدات التدفئة الميكانيكية المطلوبة لمواجهة ظروف الطقس الباردة شتاءاً في مناخ مدينة بغداد, لكن مع مراعاة الآتي:

- إدخال بيانات الطقس اليومية ولكل ساعة الى ملف حسابات التدفئة, مع إعتماد درجات الحرارة الخارجية الدورية (الحالة المستقرة) لمدينة بغداد.
- إستبعاد حسابات الكسب الحراري الشمسي عِبر النوافذ, وبيانات التهوية الطبيعية داخل المبنى.
- يتم تدفئة المناطق الدافئة بإستمرار لتحقيق درجة الحرارة المطلوبة للتدفئة, بغرض تعيين نقطة إستخدام نظام التدفئة بالحِمل الحراري.
- حساب فقدان الحرارة الإجمالي الموزع بين: التزجيج والجدران والأرضيات والسقوف (أي الحرارة المفقودة عن طريق النوافذ والأبواب والتجاويف الى فضاءات أخرى مبردة محاذية).
- إجراء عملية ضرب: (الحرارة الإجمالية المفقودة في كل منطقة × عامل الأمان 1.5 بشكل إفتراضي) لإعطاء قدرة تصميم التدفئة الموصى بها.
-

بناءاً على ما تقدم, يتم تحديد إجمالي أحمال الطاقة المصروفة لأغراض التدفئة والمطلوبة للمحافظة على درجات تدفئة مقبولة ضمن فضاءات المبنى ولكل الطوابق, والتي بدورها تُحدِد كفاءة إستخدام الطاقة في فضاءات المبنى الإفتراضي.

وقد أُجريت هذه الحسابات للمبنى الإفتراضي بواجهته الجنوبية مفردة القشرة, الشكل 18.

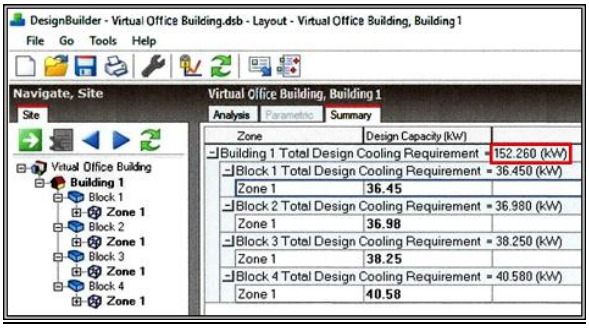


شكل 19: أ. إجمالي درجات الحرارة والكسب الحراري الشمسي المُسلطة على المبنى الإفتراضي (بواجهة جنوبية رواقية مزدوجة القشرة), مع إجمالي أحمال التدفئة المصروفة داخل فضاءاته في الشتاء [الباحثة].

ثم أعيدت الحسابات مرة أخرى بعد إستبدالها بواجهة رواقية مزدوجة القشرة, الشكل 19, مع مراعاة الإعتبارات الخاصة بالواجهة الرواقية (الواردة آنفاً).

15. تقييم كفاءة إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى الإفتراضي بواجهتيه مفردة القشرة والرواقية مزدوجة القشرة:

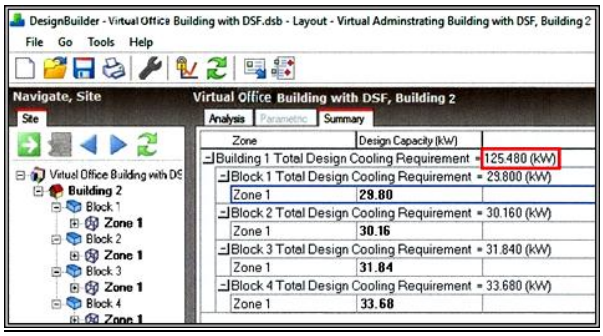
بعد إجراء عمليات المقارنة بين قيم ونسب أحمال التبريد المصروفة في فضاءات المبنى الإفتراضي ولكل طابق عن طريق حساب إجمالي أحمال التبريد المطلوبة لكامل المبنى بواجهته الجنوبية مفردة القشرة والبالغة (152.260 kW),



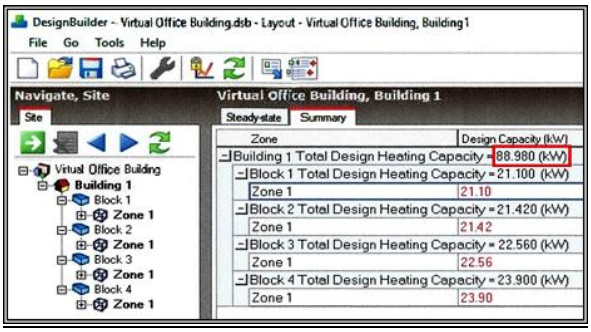
شكل 20: إجمالي أحمال الطاقة المصروفة لأغراض التبريد صيفاً في فضاءات المبنى الافتراضي (بواجهة جنوبية مفردة القشرة)[الباحثة]

شكل 20, ومقارنتها مع إجمالي أحمال التبريد المطلوبة لكامل المبنى بواجهته الجنوبية الرواقية مزدوجة القشرة والبالغة (125.480 kW), شكل 21, تم إثبات كفاءة الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة طاقوياً في تقليل أحمال التبريد المصروفة صيفاً.

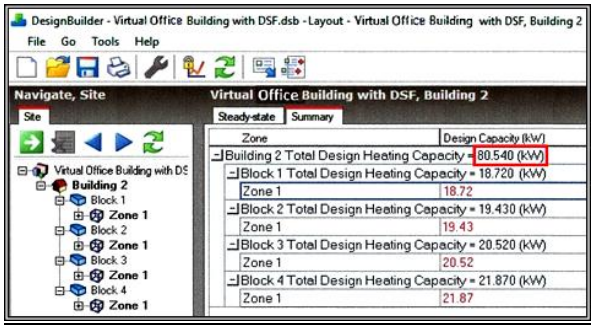
كما أجريت عمليات المقارنة بين قيم ونسب أحمال التدفئة المصروفة في فضاءات المبنى ولكل طابق عن طريق حساب إجمالي أحمال التدفئة المطلوبة لكامل المبنى بواجهته الجنوبية مفردة القشرة والبالغة (88.980 kW), شكل 22, ومقارنتها مع إجمالي أحمال التدفئة المطلوبة لكامل المبنى بواجهته الجنوبية الرواقية مزدوجة القشرة والبالغة (80.540 kW), شكل 23, تم إثبات كفاءة الواجهة الرواقية المزدوجة القشرة طاقوياً في تقليل أحمال التدفئة المصروفة شتاءاً. مع ملاحظة إرتفاع كفاءة الواجهة الرواقية طاقوياً بتقليل أحمال التبريد المصروفة في فصل الصيف, مقارنةً مع تقليل أحمال التدفئة المصروفة في فصل الشتاء, لا سيما على المدى البعيد, شكل 24.



شكل 21: إجمالي أحمال الطاقة المصروفة لأغراض التبريد صيفاً في فضاءات المبنى الافتراضي (بواجهة جنوبية رواقية مزدوجة)[الباحثة].



شكل 22: إجمالي أحمال الطاقة المصروفة لأغراض التدفئة شتاءاً في فضاءات المبنى الافتراضي (بواجهة جنوبية مفردة القشرة)[الباحثة]



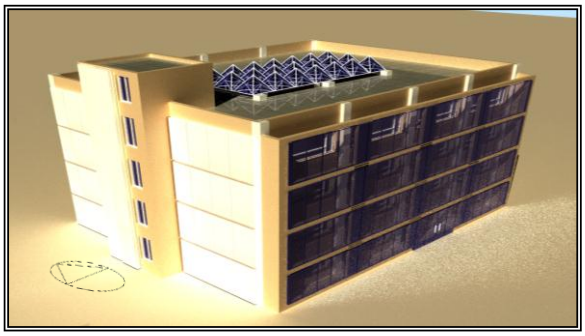
شكل23: إجمالي أحمال الطاقة المصروفة (بواجهة جنوبية رواقية مزدوجة) في فضاءات المبنى الافتراضي لأغراض التدفئة شتاءاً [الباحثة].

16. إستنتاجات الجانب النظري:

- تساعد الواجهات مزدوجة القشرة على تحقيق مفهوم كفاءة إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى, فضلاً عن توفيرها التهوية الطبيعية, والإضاءة الطبيعية, والراحة الحرارية, مع تقليل أو حتى الحدّ من الضوضاء.
- تلعب الواجهات مزدوجة القشرة دوراً أساس في تقليل الأحمال الحرارية المصروفة لأغراض تبريد وتدفئة فضاءات المبنى, لكونها جزءاً أساس من غلاف المبنى المسؤول عن عمليات السيطرة الحرارية الخارجة والداخلة من والى المبنى.
- تُعَد الواجهات مزدوجة القشرة إحدى إستراتيجيات التصميم المستدام بيئياً وبإسلوب منفعل, إذ تلعب دوراً أساس في تقليل الأحمال الحرارية المصروفة لأغراض التكييف (التبريد والتدفئة) والتهوية داخل فضاءات المبنى.
- من أهم الإعتبارات الواجب مراعاتها في تصميم الواجهات مزدوجة القشرة هو إختيار النوع المناسب منها فيما يتعلق بتحديد أحجام الفتحات, ونوع التزجيج, وأبعاد التجويف الهوائي بين قشرتي الواجهة المزدوجة, فضلاً عن طبيعة التدفق الهوائي (إستراتيجية التهوية), ويتم تحديد كل ذلك وفقاً لظروف البيئة المناخية المحلية المحيطة بموقع المبنى.
- تُعَد الواجهات الرواقية مزدوجة القشرة الأفضل في تحقيق كفاءة إستخدام طاقوي عالي داخل فضاءات المبنى, مقارنةً ببقية أنواع الواجهات المزدوجة الأخرى والمصنفة وفقاً لهندسيتها, بسبب ميزاتها الكثيرة وقلة سلبياتها, فضلاً عن ما أثبته الجانب التطبيقي من البحث.
- أثبتت الواجهات مزدوجة القشرة فاعليتها من الناحية الإقتصادية, لا سيما على المدى البعيد, نظراً لما تحققه من ترشيد إستهلاك عالي للطاقة. بالنتيجة، تُحقّق كفاءة إستخدام طاقوي عالي داخل فضاءات المبنى.
- يتعين تصميم الواجهات مزدوجة القشرة في أبنية المناطق الحارة الجافة ومنها العراق, بإسلوب يساعد على تحقيق كفاءة إستخدام عالي للطاقة داخل فضاءات المبنى, لا سيما التركيز على الإستراتيجيات التصميمية التي تُقلل من أحمال التبريد في فصل الصيف, بسبب طول مدة الصيف في المناطق الحارة الجافة, وإرتفاع درجات الحرارة فيه, فضلاً عن طول مدة النهار والتعرض لساعات تشميس طويلة.
- تُعَد الواجهات مزدوجة القشرة إحدى الركائز الأساس لتحقيق بيئة حرارية مُثلى وجودة

عالية داخل فضاءات المبنى, لِما لها من تأثير على الصيغ المُنظِمة لعمليات التحكم والسيطرة الحرارية, وتوفير التهوية والإضاءة الطبيعية, والرطوبة النسبية الملائمة, والعزل الصوتي المناسب, وتقليل الأتربة والملوثات, داخل فضاءات المبنى. بالنتيجة, توفير مديات عالية من الراحة الحرارية للشاغلين.

- يُعَد تطبيق الواجهات مزدوجة القشرة في البيئة العمرانية العراقية مهماً في الوقت الحاضر, لإعادة وضع العمارة العراقية المعاصرة على الطريق الصحيح والمستدام بيئياً, بالأخص بعد أن طرأت عليها واجهات غريبة لا تنتمي لواقعها البيئي.
- تساعد الواجهات مزدوجة القشرة على الحدّ من الأثر البيئي, فضلاً عن المحافظة على صحة الإنسان, لكونها إحدى إستراتيجيات التصميم المستدام بيئياً.
- تضفي الواجهات مزدوجة القشرة جمالية على الأبنية بسبب شفافيتها، كما تعطي للمبنى سمة المعاصرة.



شكل 24: منظور خارجي للمبنى الإداري الإفتراضي الكفوء طاقوياً بواجهته الجنوبية الرواقية مزدوجة القشرة [الباحثة].

17. إستنتاجات الجانب التطبيقي:

- أثبتت الواجهات مزدوجة القشرة فاعليتها في بغداد ذات المناخ الحار الجاف, ومن ثم فاعليتها في أبنية المناطق الحارة الجافة, لكونها مُصمَّمة بإسلوب يساعد على تحقيق كفاءة إستخدام طاقوي عالي داخل فضاءات المبنى, لا سيما تقليل أحمال التبريد في فصل الصيف. وهو ما أثبتته عمليات المحاكاة الحرارية (المحسوبة بواسطة البرنامج (EnergyPlus) المدعوم ضمن البرنامج (DesignBuilder)) لأحمال التبريد والتدفئة المصروفة داخل فضاءات المبنى الإداري الإفتراضي بعد إستبدال واجهته الجنوبية مفردة القشرة, بواجهة رواقية مزدوجة القشرة.
- عن طريق حساب إجمالي الأحمال الحرارية المسلطة على غلاف المبنى الإداري الإفتراضي بواجهته مفردة القشرة, وحساب إجمالي الأحمال الحرارية المسلطة عليه بإستبدال واجهته التقليدية بأخرى رواقية مزدوجة القشرة, ومقارنة سلوك الإنتقال الحراري لغلاف المبنى في الحالتين, ومن ثم حساب الفرق في كمية الطاقة المصروفة لأغراض التبريد والتهوية في كلتا الحالتين أيضاً, أثبتت الواجهة الرواقية المزدوجة كفاءتها الطاقوية في تقليل كمية الهدر الحاصل بإستهلاك الطاقة المصروفة لأغراض التبريد والتدفئة في فضاءات المبنى, لا سيما على المدى البعيد.
- أهمية تقليل حجم التجويف الهوائي ضمن الواجهة الرواقية المزدوجة (والذي تم إنتخابه في الجانب العملي بعرض 90 سم وإرتفاع 3.5 م – في كل طابق) وذلك بغرض تقليل أحمال التبريد والتدفئة المصروفة داخل فضاءات المبنى, وبالشكل الذي يسمح بصيانته وتنظيفه بسهولة.
- أثبت الزجاج الإنتقائي طيفياً (Spectrally Selective Glazing) الذي تم إنتخابه في تزجيج طبقتي الواجهة الرواقية في المبنى الإداري الإفتراضي في بغداد, فاعليته وكفاءته المناخية في أبنية المناطق الحارة

الجافة, نظراً لِما يحققه من أقل كسب حراري داخل فضاءات المبنى مع توفير الإضاءة النهارية الطبيعية.

- إن إجراء عمليات قياس كفاءة إستخدام الطاقة لمبنى إفتراضي يضم واجهة مزدوجة القشرة بواسطة المحاكاة الحرارية عن طريق إستخدام برامج الحاسوب البيئية وعمليات التحليل المقارن, من شأنها توفير بيانات ومعلومات هامة تساعد على تحليل وبيان أداء الواجهة مزدوجة القشرة, وأثبات فاعليتها العالية في كفاءة إستخدام الطاقة.
- أثبتت الواجهة الرواقية مزدوجة القشرة, كفاءتها العالية طاقوياً في فصل الصيف بتقليل أحمال التبريد المصروفة, مقارنة بكفاءتها الطاقوية في تقليل أحمال التدفئة المصروفة في فصل الشتاء.
- ساعد وجود الفناء المركزي (Atrium) في المبنى الإفتراضي على زيادة تفعيل تأثير المدخنة (Stack Effect), ومن ثم زيادة تبريد وتهوية فضاءات المبنى.

18. المصادر:

1. Ahmed, Mostafa M. S. & et al., January 2016. *Double Skin Façade: The State of Art on Building Energy Efficiency*, Journal of Clean Energy Technologies, Vol. 4, No. 1, Malaysia, P. 86.
2. Aksamija, Ajla, 2009. *Context Based Design of Double Skin Facades*, Climatic Considerations during the Design Process, Perkins + Will Research Journal, VOL 01.01, USA, pp. 54, 55, 59, 64.
3. ASHRAE STANDARD, 2010. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, ANSI/ ASHRAE Addendum q to ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., ISSN 1041-2336, USA.
4. Bauer, Michael & et al., 2010. *Green Building: Guidebook for Sustainable Architecture*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
5. Boake, Terri & et al., 2003. *Understanding the General Principles of the Double Skin Façade System*, School of Architecture, University of Waterloo, Canada, P. 15.
6. Boake, Terri Meyer, 2014. *Hot Climate Double Façades: Avoiding Solar Gain*, Hot Double Façades, TECTONICS Journal: Vol. 14, Canada, pp. 3,4,9,10,13,14,15,20, 22.
7. Building and Construction Authority, 2010. *Building Planning and Massing*, Green Building Platinum Series, Published by the Centre for Sustainable Buildings and Construction, Singapore, P. 74.
8. Hamza, Neveen & Abohela, Islam, 2012. *Non-Uniform Double Skin Façade Cavities: An Exploratory Study on Cavity Heat Stratification and Daylight Levels Indoors*, School of Architecture, Planning and Landscape, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, UK, P. 2.
9. Hamza, Neveen, 2004. *The Performance of Double Skin Façades in Office Building Refurbishment in Hot Arid Areas*, PhD. Thesis, University of Newcastle upon Tyne, School of Architecture, Planning&Landscape, UK, pp. 56, 70-72, 110, 111-112, 113.
10. Heimrath, Richard & et al., 2005. *BESTFAÇADE: Best Practice for Double Skin Façades*, WP 1 Report "State of the Art", Sweden, pp. 7, 31.
11. Hodges, Patrena & et al., 2009. *Liberty Property Trust: Green Audit*, pp. 81, 82. Time of Visiting Website; 8:15pm, 22 March 2017. Available at: http://blogs.cornell.edu/iwsp/files/2013/09/Liberty-Property-Trust-n4s2qj.pdf
12. Hong, Wen & et al., 2007. *Building Energy Efficiency: Why Green Buildings are Key to Asia's Future*, Asia Business Council Book, China, pp. 39, 275, 279.
13. Kang, Bhujon & Lutz-Carillo, Sky, 2009. *Indirect/ Passive Air-Flow Systems*, Center for Sustainable Development, School of Architecture – The University of Texas at Tustin, USA, P. 11.
14. Kleiven, Tommy, 2003. *Natural Ventilation in Buildings*, Thesis Requirements for the Degree of Doctor of Engineering at Norwegian University of Science & Technology–Faculty

Design, Lund University, Lund Institute of Technology, Sweden, pp. 22-23, 25, 26, 228.

18. Takasolutions, 2015. Cleveland Clinic: Abu Dhabi, UAE. Time of Visiting Website at; 6:15 pm, 17 April 2017. Available at: http://takasolutions.com/project/cleveland-clinic-abu-dhabi/

19. UNEP, 2007. *Buildings and Climate Change:Status,ChallengesandOpportunities*, United Nations Environment Programme, ISBN: 978-92-807-2795-1, UK, P. 51.

20. UNEP, 2007. *UNEP Handbook for Drafting Laws on Energy Efficiency and Renewable Energy Resources*, United NationsEnvironmentProgramme,UK, P.63.

21. Zhang, Tiantian & et al., 2016. *The Application of Air Layers in Building Envelopes: A Review*, Applied Energy 165 (2016) 707-734, ELSEVIER Ltd, United Kingdome, pp. 712, 716.

of Architecture & Fine Art, Department of Architectural Design, Norway, P. 59.

15. Noé21, June 2012. *Cooling Without Air Conditioners: Study on Alternatives*, Noé21: the French Acronym for New Economic Orientation for the 21st Century, Independent NGO Specialized in Solutions to Climate Change, Switzerland, pp. 4, 5.

16. Poirazis, Harris, 2004. *Double Skin Façades for Office Buildings*, Copyright Department of Construction & Architecture, Division of Energy & Building Design. Lund University, Lund Institute of Technology, Lund, Report EBD-R--04/3, Sweden, pp. 17, 35-36, 51, 56, 58-59.

17. Poirazis, Harris, 2006. *Double Skin Façades*, A Report of IEA SHC Task 34 ECBCS Annex 43, Copyright by Harris Poirazis and Department of Architecture and Built Environment, Division of Energy & Building

The Effect of Double Skin Façades on the Energy Efficency Use in Buildings

"Application the Model of Double Skin Corridor Façade on the Virtual Office Building in Baghdad"

Ghada M.Ismael Abdul-Razzaq Kamoona
Instructor Doctor
Engineering College – Baghdad University
Iraq

Abstract:

The Double Skin Façades are one of the most important strategies in environmentally sustainable design, because of its ability to providing a high level of performance, as well as providing natural ventilation and lighting in a passive manner which contributes to achieving high efficiency of energy use within building spaces. Due to the effectiveness of the Double Skin Façades in raising the efficiency of energy use in buildings and with what this concept holds of rationalization of the electricity power consumption, which mainly based on fossil fuels in the Iraqi urban environment with its hot and arid climate, **the Research Problem determdines as:** "The lack of apparent perception about the mechanism of applying the Double Skin Façades in the contemporary Iraqi urban reality". Based on this, **the Objective of the Research is:** "Application the Double Skin Façades in the contemporary Iraqi urban environment with its hot arid climate, and demonstrate its effectiveness in achieving the concept of energy efficiency in the building". **The research included two parts. First: Theoretical Part,** which deals with the cognitive and conceptual framework of Double Skin Façades, especially in buildings of hot arid regions. **Second: Practical Part,** which deals with design a virtual model of multistorey office building in Baghdad in two cases. First one, with a single skin southern façade, and the second one, with Double Skin Corridor Façade, then calculates the energy efficiency in two cases by using computer software for environmental performance. **The research found** the efficiency of application the Double Skin Corridor Façade in the buildings of Baghdad city because of its high efficiency in energy use.

Keyword: Double Skin Façades, Energy Efficiency, Corridor Façade, Air Cavity, Environmentally Sustainable Architecture.