https://doi.org/10.33261/jaaru.2020.4.013 *Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences(2020)27.4:131–138*

Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences

مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الهندسية

كلية الهندسة - جامعة بغداد

جمعية كليات الهندسة اعضاء اتحاد الجامعات العربية

اعتماد الجدران الترومب كتقنية مستدامة بيئيًا لتحقيق كفاءة استخدام الطاقة في ابنية المناطق الحارة جافة

عبدالله عماد عليوي [1]* ، غادة محمد اسماعيل عبد الرزاق كمونة [2]

[1] *قسم هندسة العمارة،جامعة بغداد،بغداد،العراق،* arch.abd.emad.94@gmail.com

[2] *قسم هندسة العمارة،جامعة بغداد،بغداد،العراق،* g.kamoona@coeng.uobaghdad.edu.iq

* *الباحث الممثل:عبدالله عماد عليوي ،* arch.abd.emad.94@gmail.com

نشر في: 31 كانون الاول 2020

الخلاصة – تعد الجدران الترومب (Trombe walls) احدى التقنيات المستدامة لما تمتلكه من اهميه ودورها الفعال في الفضاءات الداخلية بواسطة الاستفادة من الطاقة الشمسية لضبط درجة حرارة الفضاءات الداخلية ومن ثم تحقيق الراحة الحرارية دون الحاجة الى استخدام اجهزة التبريد ليقلل بذلك من الطاقة المستخدمة ، يعد الجدار الترومب عنصر تصميمي مهم في المبنى وتقنية قديمة لا تزال تعمل كميزة فعالة للنظام الشمسي المنفعل ، في هذه الورقة ، تم تقديم ومناقشة التصاميم السابقة للجدران الترومب ومزاياها وقيود استخدامها في ابنية مناطق الحار الجافة أيضًا. علاوة على ذلك ، يتم عرض ومناقشة النقاط الرئيسة التي يجب مراعاتها في تصميم الجدار الترومب فعال من ناحية الاداء البيئي وفعال من حيث التكلفة والاهتمام بالجانب الاقتصادي مع التركيز بشكل خاص على استخدامه في البلدان الحارة التي تعاني من الارتفاع الكبير في درجات الحرارة صيفا وذلك لتوفير تيارات هوائية بارة في المساحات الداخلية للمباني كما تقلل هذه الجدران من الحاجة الى التدفئة والتبريد للمبنى اذ أنها تعد تقنية حيوية للهندسة المعمارية المستدامة تساهم بشكل فعال في البيئات الحارة الجافة مثل العراق. كما سيناقش البحث اهم انواع الجدار الترومب ، خصائص الجدار الترومب ، بما في ذلك تكوينات الجدار الترومب ، وتكنولوجيا الجدار الترومب.ومدى امكانية تحقيق مفهوم كفاءة استخدام الطاقة في العراق باستخدام الجدار الترومب.

الكلمات الرئيسية: – "الاستدامة , "الراحة الحرارية , "الطاقة الشمسية , "الجدار الترومب.

1. المقدمة:

منذ زمن بعيد ، استخدم البشر جدرانًا سميكة من الطين أو الحجر لاحتجاز الطاقة الشمسية أثناء النهار وإطلاقها ببطء وبشكل متساوٍ لتدفئة مبانيهم ليلاً. غالبًا ما تعمل المباني الموفرة للطاقة على تحسين هذه التقنية القديمة عن طريق دمج نظام الجدار الترومب ، المعروف أيضًا باسم نظام التخزين والتوصيل الحراري. فالطاقة الشمسية تلعب دورًا مهمًا للعديد من الأشخاص في مختلف مجالات الحياة. يمكن استخدام الطاقة الشمسية في المناطق النائية وغير المطورة لتلبية متطلبات المدارس والعيادات والمباني الأخرى [2]. يمكن لتقنيات الطاقة الشمسية المنفعلة أن تساهم في تقليل الطلب السنوي على الطاقة المستخدمة في التدفئة بنسبة تصل إلى 25٪ و غيرها من التقنيات مثل المداخن الشمسية،والأسطح الشمسية ، والجدران الترومب ، وغيرها من التقنيات المستخدمة في البناء , تساهم هذه التقنيات في الحد من التدهور البيئي وتعمل على تقليل انبعاثات الغازات التى تلعب دور كبير في ظاهرة الاحتباس الحراري [4]. تعمل الجدران الترومب ، والتي تُعرف أيضًا باسم الجدران التخزين وجدران التدفئة الشمسية (SHW) ، على تقليل استهلاك الطاقة في المبنى بنسبة تصل إلى 30٪. يعد الجدار الترومب ميزة معمارية خضراء مهمة تساعد في التهوية والتدفئة وتبريد المباني. [6]

سمي على اسم المخترع الفرنسي فيليكس ترومب في أواخر الخمسينيات من القرن الماضي ، ولا يزال الجدار الترومب سمة فعالة للتصميم الشمسي المنفعل ، وتعد الجدران التروبية إحدى الاستراتيجيات المستخدمة في المباني المستدامة ، نظرًا لقدرتها على توفير التهوية والإضاءة الطبيعية. الفكرة وراء إنشاء الجدران الترومب هي استخدام الطاقة الشمسية للتدفئة والتهوية ولتوفير الراحة الحرارية في المباني في المناطق الحارة. لهذه الاسباب يعد الجدار الترومب أحد العناصر الأكثر دراسة لهذا الغرض[11]. يمكن أن يكون استخدامه بديلاً فعالاً لتقليل استهلاك الطاقة في المناطق التي يكون فيها التسخين أكثر أهمية من التبريد. من أجل إثبات أهمية جدران في العمارة ، يجب تحديد مفهوم **الجدار الترومب.** فبشكل عام. يتم تعريفه على أنه إحدى ستراتيجيات التي يتم استخدامها في المباني المستدامة, بسبب قدرتها على توفير التهوية والإضاءة الطبيعية, تكمن الفكرة الكامنة وراء انشاء الجدران الترومب (Trombe walls) ، في استخدام الطاقة الشمسية للتدفئة، و التهوية ، و توفير الراحة الحرارية ، في المباني في المناطق المناخية المختلفة فضلاً عن كفاءتها العالية في توفير بيئة مريحة لشاغلي المبنى وبإسلوب منفعل يساعد على تحقيق كفاءة إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى

2. المشكلة البحثية وهدف البحث

عدم وجود تصور واضح حول آلية تطبيق الجدران الترومب كواجهة مستدامة لتحقيق كفاءة إستخدام الطاقة. وجود ثغرة معرفية حول عدم وجود بحوث ودراسات سابقة تناولت وبشمولية الجدران الترومب بمختلف انواعها وفاعليتها في تحقيق كفاءة إستخدام الطاقة في المناطق الحارة الجافة, لا سيما في البيئة العمرانية العراقية ذات المناخ الحار – الجاف, وما لها من تأثير كبير في التقليل من إستهلاك الطاقة.

بناءاً على المشكلة البحثية تحددت **اهمية واهداف البحث** بما يأتي :

1726-4081© 2020 The author(s). Published by Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences. This is an open access article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

تطبيق الجدران الترومب في البيئة العمرانية العراقية المعاصرة ذات المناخ الجار الجاف وبيان فاعليتها في تحقيق مفهوم كفاءة إستخدام الطاقة داخل فضاءات المبنى.تنطلق أهمية البحث من تطبيقه في البيئة العمرانية العراقية ذات المناخ الحار الجاف والذي يستوجب إستهلاك عالي للطاقة, لا سيما في فصل الصيف الذي يتميز بإرتفاع درجات الحرارة فيه, فضلاً عن طول مدته

3. منهجية البحث

سيتناول البحث دراسة الجدران الترومب المنفعلة, فضلاً عن ذكر اهم انواع الجدران الترومب،خصـــائصـــه،بما في ذلك تكوينات الجدارالترومب، وتكنولوجيا الجدار الترومب.ومدى امكانية تحقيق مفهوم كفاءة اســتخدام الطاقة في العراق باســتخدام الجدار الترومب وذلك لما تمتلكه من أثر فاعل في تقليل الأحمال الحرارية الواصلة الى فضاءات المبنى الداخلية. حيث تعد واجهة المبنى أحد العناصـر الهامة من غلاف المبنى والتي يتعين تصـميمها وبما ينسـجم مع توجيهها نحو أشـعة الشـمس بغرض حماية فضـاءات المبنى من الظروف المناخية والبيئية, علاوةً على تصميميها بإسلوب مستدام ينسجم مع المنطقة المناخية المحيطة بالمبنى.

4. عناصر ومكونات الجدار الترومب

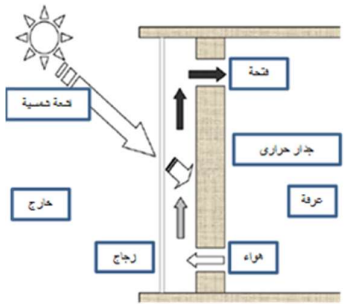
1) جدار حجري بسماكة(10 - 41 سم) مطلي بلون غامق يمتص الحرارة ويكون ذو لون أسود في اغلب الاحيان كما في شكل(1).

2) مغطى بزجاج معزول (زجاج مزدوج) أو زجاج منخفض الانبعاث (زجاج إلكتروني منخفض)كما في شكل (2). [5]

3) يتم وضع الزجاج على مسافة 2 - 5 سم بعيدًا عن جدار البناء لتوفير فجوة هوائية صغيرة.كما يجب أن يكون مواجهة للجنوب.

4) بالنسبة للمنازل الواقعة في الجانب الجنوبي من خط الاستواء ، يجب تثبيت الجدار الترومب باتجاه الشمال لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة والفعالية القصوى ، حيث أن هذا هو الجانب الذي سيتعرض لأشعة الشمس الأكثر.

5) زجاج نقل عالي يعزز المكاسب الشمسية للجدار. • الطبقة الزجاجية تمنع تسرب الحرارة المشعة من السطح الدافئ لجدار التخزين. • تحجز فجوة الهواء الحرارة التي يشعها الجدار ، مما يؤدي إلى مزيد من التسخين لسطح الجدار[12].



شكل 1:يوضح مكونات جدار ترومب,[5].

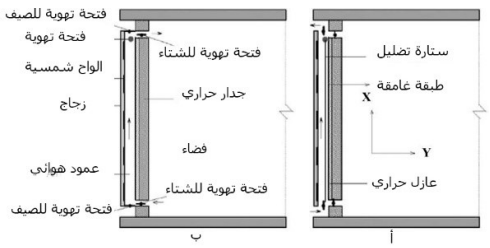
شكل 2:يوضح شكل جدار ترومب من الخارج,[5].

5. الية عمل الجدار الترومب

تسخن الشمس الجدار،مما يتسبب في ارتفاع الهواء الساخن في الفجوة الهوائية ومن ثم يتم توجيه الهواء الساخن إلى المبنى عن طريق فتحات التهوية في أعلى الجدار ، مما يؤدي إلى سحب الهواء البارد بشكل منفعل إلى الفتحات الموجودة في قاعدة الجدار ليتم تسخينه بدوره. اما في الليل ، تغلق المخمدات الجدران ، مما يمنع الشفط الحراري العكسي (أي الهواء البارد من التجويف والدخول إلى المبنى ليلاً) ، في حين يتم إطلاق الحرارة المخزنة في الجدران طوال الليل. في الصيف ، يتم تهوية الجدران ليلاً ، مما يسمح بالتبريد المنفعل .يعمل الجدار الترومب بشكل مختلف في الصيف عن الشتاء [5].

أ) الجدار الترومب في الصيف: يتم تظليل الجدار بواسطة البروزات ولا يتلقى أشعة الشمس بصورة مباشرة. عندما يكون الجدار الترومب مضلل ، سيبقى بارداً وستمتص عناصره الجوهرية الحرارة للحفاظ على برودة المكان. عناصر هذه الجدران مسؤولة عن الامتصاص التدريجي للحرارة ونقلها. تمنع المنطقة البارزة شمس الصيف من الوصول إلى الجدار الترومب. يمكن ان تعد مكونات الكتلة الحرارية كبطاريات حرارية [12].

ب) الجدار الترومب في الشتاء: عندما تصطدم أشعة الشمس بالجدار ، يتم "شحن" الجدار لتدفئة المنزل عن طريق نقل حرارة الشمس إلى الداخل. ستزداد الكتلة الحرارية في الجدار الترومب تدريجيًا حيث تمتص الطاقة الحرارية ، ومن ثم تحررها ببطئ.وعندما تنخفض درجة حرارة الهواء المحيط في الليل ، ستمتد الكتلة الحرارية لإطلاق طاقتها الحرارية المخزنة مما سيساعد المبنى على البقاء دافئًا نسبيًا بعد غروب الشمس لفترة أطول من الوقت. بعد تحرير كل الحرارة ، سيكون جاهزًا مرة أخرى لامتصاص الحرارة في اليوم التالي.كما هو موضح في شكل(3).



شكل 3:يوضح عمل الجدار الترومب في فصل الصيف(ب) وفي فصل الشتاء(أ),[12].

6. اعتبارات رئيسة في تصميم الجدار الترومب

تقوم الجدران الترومب،و التي تعرف ايضا بـأسم جدران التخزين (Storage Walls)، بالتقليل من استهلاك الطاقة في المبنى الى (30%).يمتص السطح الخارجي للجدار الضخم الحرارة من الشمس التي تجري ببطء عبره إلى السطح الداخلي ويمر أخيرًا إلى الفضاءعن طريق الحمل الحراري. لزيادة إمكانية استخدام الجدران الترومب في المناخات الحارة ، يجب تعديل تصميم الجدارالترومب بحيث يمكن تشغيله في أوضاع مختلفة من أجل تقليل مكاسب الحرارة وتقليل الحرارة من الفضاءات الداخلية عن طريق عملية التهوية. للحصول على تصميم فعال من حيث التكلفة لجدار ترومب ، يجب مراعاة النقاط التالية: [1].

1) تحديد نوع النظام اذا كان مهوى او غير مهوى

2) استخدام المراوح: وجد أن الجدران ذات المروحة التي يتم التحكم فيها حرارياً تعمل على تحسين أداء الجدران الترومب بنسبة تصل إلى 8٪.

3) العزل: يعد العزل الحراري المناسب ضروريًا لزيادة معدل تهوية المبنى بجدران الترومب. حراريًا ، يجب عزل الجزء الداخلي من الجدران الترومب في الشتاء والصيف على حد سواء مما سيحسن كفاءة النظام.

4) مساحة جدار: نسبة مساحة الجدار الترومب إلى إجمالي مساحة الجدار كمعيار مهم في تقييم كفائته [10].

5) سمك الجدار: بشكل عام يساهم في فعالية الجدران الترومب ، ترتبط السماكة المثلى لجدار ترومب بخطوط العرض والمناخ وفقدان الحرارة.

6) المواد: النوع واللون ومواد الطلاء ، من بين المعايير المهمة التي يجب مراعاتها في تصميم الجدار الترومب لأنها تعزى إلى تخزين الحرارة والحمل الحراري والتوصيل ؛ وبالتالي يؤثر على كفاءة الجدار ويوضح جدول رقم(1) هذه المواصفات.

جدول 1:يوضح مواصفات الجدار الترومب, [10].

توجيه	نسبة مساحة الجدار	معامل تظليل النوافذ	ارتفاع الجدار (م)	سمك الجدار (م)	الموصلية الحرارية للجدار
جنوب	%0-50	0.90-0.95	3-3.5	0.25-0.30	1.75
عدد الزجاج	**الجدار والزجاج**	**الامتصاص الشمسي للجدار**	**انبعاث الزجاج**	**قيمة R للنافذة**	**مواصفات الجدار**
2-1	0.15-0.20	0.9	0.9	0.333	1932

7. ايجابيات وسلبيات الجدار الترومب

تُقدِم الجدران الترومب مستوىً عالي من الأداء والخدمات, مما يجعله يحقق العديد من المزايا, من أهمها : [5].

1) توفر هذه الجدران تدفئة مناسبة مقارنة بأنظمة التدفئة التقليدية الأخرى

2) يأخذ أو يستغل مساحة الجدار الموجودة. • يعمل بصورة منفعلة بالكامل في التصميم مع الحد الأدنى من الصيانة أو بدونها. • من السهل جدًا البناء حتى مع العمالة شبه الماهرة.

3) يمكن لجدران الترومب أن تخفض فواتير التدفئة بكميات كبيرة ويمكن أن تحسن متوسط الكفاءة الكهربائية بنسبة 30-15٪

4) هو الأنسب في المناطق التي لديها موارد جيدة للطاقة الشمسية ومتطلبات كبيرة للتدفئة الشتوية.

5) تنتج الجدران الترومب اختلافات كبيرة في درجات الحرارة في مواد المبنى. ومع ذلك ، تسبب جدران ترومب تباينًا طفيفًا في درجة الحرارة في المساحات الساخنة.

6) لا توفر الجدران الترومب الراحة الحرارية فقط في المساحات المتصلة بجدار الترومب. وانما توفر الراحة الحرارية في الأماكن المجاورة.

7) بالإضافة إلى كونها صديقة للبيئة ، يمكن لجدران الترومب تعزيز الراحة الحرارية وتوفير الطاقة حتى في المناطق القاحلة والصحراوية.

مع كل تصميم جديد ،هناك دائمًا بعض السلبيات جنبًا إلى جنب مع الايجابيات. فيما يلي سلبيات هذا النظام: [1-10].

1) قد يكون من المكلف تركيب الجدران الترومب. • يجب أن يتم تصميمه بعناية.

2)الحرارة الزائدة هي أيضًا مشكلة متكررة ومألوفة خلال أشهر الصيف الحارة ،ولكن يمكن تخفيف ذلك طالما أن جدار الكتلة الحرارية بسماكة مناسبة لامتصاص الحرارة الزائدة.

3) الجدران الترومب ذات مقاومة حرارية منخفضة. خلال الليل أو فترات الغيوم لفترات طويلة ، يتم نقل تدفق الحرارة من الداخل إلى الخارج من المبنى.

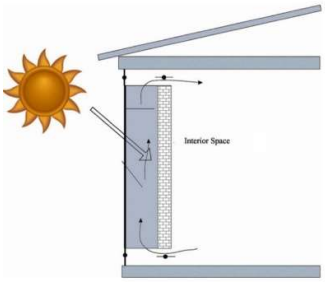
4) تعاني الجدران الترومب من ظاهرة السيفون الحرارية العكسية حيث تحدث هذه الظاهرة عندما يكون للجدار الكتلي درجة حرارة أقل من درجة حرارة الغرفة ، خاصة خلال الليل في موسم الشتاء

5) في الجدران الترومب يستمر نقل الحرارة دائمًا بشكل غير مؤكد. لا يمكن التنبؤ بكمية الحرارة المكتسبة بسبب التغيرات في كثافة الطاقة الشمسية

6) الجدران الترومب ليست جميلة بما فيه الكفاية ، والقيمة الجمالية للجدران مشكوك فيها.

8. انواع جدران الترومب

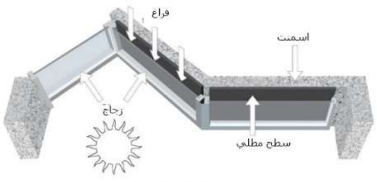
اولا/الجدار الترومب الكلاسيكي : عبارة عن الجدار الترومب البسيط حيث يفصل الزجاج ومساحة الهواء بين الجدار عن البيئة الخارجية . كان مخترع هذا النوع من الجدار الترومب هو إدوارد مورس ، وهو مهندس أمريكي حصل على براءة اختراع تصميمه في عام 1881. يعتمد تصميم الجدار الترومب الكلاسيكي على استخدام مواد ذات سعة تخزين عالية للحرارة[10]. وتشمل هذه المواد الطوب والخرسانة والحجر كما في شكل(5). تم تلوين السطح الخارجي للجدار باللون الأسود لزيادة معدل الامتصاص. علاوة على ذلك ، فإن سطح الجدار الترومب مزجج. ترك فجوة هوائية بين الزجاج والجدار. يمتص الجدار الإشعاع الشمسي المنتشر والمباشر خلال النهار وينقل الحرارة إلى الجزء الداخلي من جدار التخزين السميك عن طريق الحمل أو التوصيل ليلاً وتتراوح الفجوة بين الزجاج والجدار عادة من 3 سم إلى 6 سم. يتم إطلاق الحرارة المخزنة في الكتلة الحرارية تدريجيًا. يحدث انتقال الحرارة هذا عن طريق الإشعاع والحمل الحراري لزيادة الراحة الحرارية لشاغلي المبنى[14].



شكل 5:يوضح جدار ترومب الاكلاسيكي, [10].

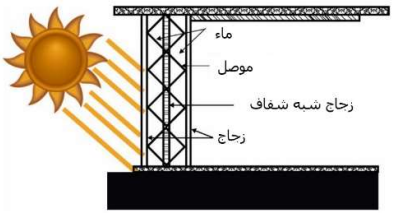
ثانيا/الجدار الترومب المتعرج:احد انواع الجدران الترومب تم تصميمه للحد من اكتساب الحرارة الزائدة والوهج في الأيام المشمسة. يحتوي الجدار على ثلاثة أقسام رئيسة حيث يشكل اثنان من الجدران جدارًا على شكل حرف(V)والثالث عبارة عن الجدار الترومب كلاسيكي. يوفر الجدار المواجه للجنوب الشرقي (V)حرارة في برد الصباح. بجانب الشكل(V)يوجد الجدار الترومب كلاسيكي يخزن الحرارة ليلا[9].هذا الإصدار من الجدار الترومب جديد إلى حد ما ويجب عمل المزيد من النماذج الأولية لضمان أن يكون بديل جيد لجدارالترومب الكلاسيكي. يشتمل التصميم المتعرج أيضًا على عبء خارجي لتجنب ارتفاع درجة الحرارة خلال أيام الصيف الحارة. ومن الامثلة علية مركز الزوار في(NREL) اذ تم بناء نموذج أولي لهذا النوع من الجدار الترومب مع مقاطع على شكل حرف(V) بالإضافة إلى ذلك ، تم

بناء مبنى سكني مساحته 1200 متر مربع والظاهر في شكل(6) بالقرب من آشفيل ، شمال كارولينا ، باستخدام نفس النظام[14].



شكل 6:يوضح الجدار الترومب المتعرج و مركز الزوار في(NREL), [14].

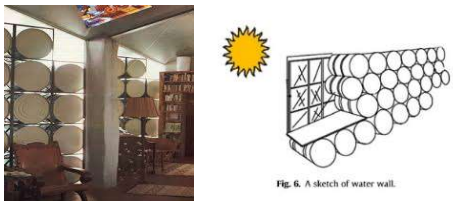
ثالثا/الجدار الشمسي(Solar transwall): هو نوع آخر من الجدار الترومب فهوعبارة عن جدار مائي شفاف معدل. يلعب الجدار دورًا جماليًا عن طريق توفير الوصول المرئي إلى داخل المبنى والظاهر في شكل(7). بالإضافة إلى ذلك ، يوفر مكسب حراري من الإشعاع الشمسي[9]. تم بناء هذا الجدار على إطار معدني يحتوي على حاوية مياه مبنية من جدران زجاجية ولوحة امتصاص شبه شفافة يتم وضعها بين الجدران. اللوح شبه الشفاف يمتص (5/4) الطاقة الشمسية وينقل بقية الطاقة الى الداخل. لذلك ، يستخدم هذا النوع من الجدران أنظمة الكسب المباشر وغير المباشر وهو مناسب للمواقع التي ترتفع فيها درجة حرارة النهار. نقل الحرارة بالحمل في الجدار العازل يقلل من كفاءة هذا النوع من الجدران. ومع ذلك ، فإن تثبيت الحواجز الشفافة يتغلب على هذا النقص. لزيادة لزوجة المياه ومنع الكائنات الحية الدقيقة من النمو في الماء ، يجب إضافة عوامل التبلور والموانع الحيوية إلى الماء[2].



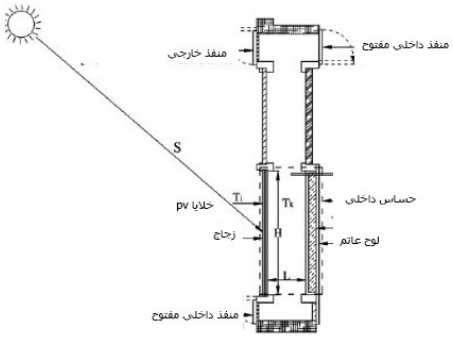
شكل 7:يوضح جدار ترومب الشمسي, [2].

رابعا/ الجدار الترومب السائل:يشبه جدار الترومب الكلاسيكي ، ومع ذلك ، تمتلئ الفجوة بين الجدار الترومب والجزء الزجاجي بسائل منخفض الكثافة يتميز بامتصاص عالي والظاهر في شكل (8). يتم تحريك الهواء إلى المبنى والذي يتم تسخينه بواسطة السائل الساخن عن طريق مروحة. يوجد مرشحان في أعلى وأسفل السائل مما يمنع دخول الجزيئات المميعة إلى الغرفة. أظهرت الأبحاث أن الجدار المميع أكثر كفاءة بكثير من الجدار الترومب الكلاسيكي. هذا الاختلاف ، مع ذلك ، أكثر تكلفة لبناء [14] .

خامسا/الجدار الترومب ذو الخلايا الشمسية:اختراع جديد هو جدار(PV-Trombe)، حيث يتكون الجانب الأمامي من التزجيج من ألواح كهروضوئية تعمل في نفس الوقت على تحويل الإشعاع الشمسي إلى حرارة والظاهر في شكل (9).يعد حائط PV-Trombe نهجًا جماليًا لتصميم الجدران الترومب. [7].لا يحتوي هذا الجدار على البساطة في الجدار الترومب العادي ، حيث يغطى الزجاج بجدار كتلة سوداء ، ويمكن للخلايا الشمسية الزرقاء الداكنة أن تضيف جمالًا إلى المبنى وتزيد من جاذبية المبنى. مع الجدار(PV-Trombe)، يتم سحب مبرد الغرفة من فتحة التهوية السفلية ، ويمتص الحرارة ، ويصبح ساخنًا ويتحرك داخل الغرفة قبل الخروج من فتحة التهوية العلوية[9].إن امتصاص الحرارة الكهروضوئية يزيد من كفاءة الألواح الكهروضوئية لأن اللوحات تعمل بشكل أفضل عندما تكون باردة. يستخدم جدار لوحة(PV)، مما يعوق اختراق الأشعة الشمسية في الفضاء بين الجدران والزجاج. لذلك ، يتم تقليل كفاءة الجدار الترومب من حيث كسب الحرارة. ومع ذلك ، فإن هذا النوع من جدران ترومب يولد الكهرباء ، والتي تعتبر مفيدة[7].

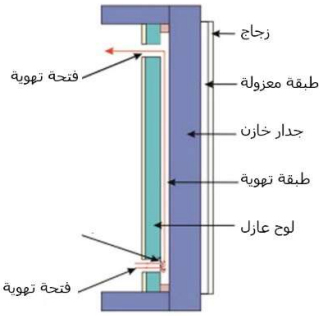


شكل 8:يوضح الجدار الترومب السائل, [14].



شكل 9:يوضح الجدار الترومب الكهروضوئي, [7].

سادسا/الجدار الترومب المركب :المعروف أيضًا بجدار ترومب ميشيل ، هو نوع آخر من الجدار الترومب ، والذي يتكون من عدة طبقات مختلفة. تتضمن هذه الطبقات غطاء شفافًا ، وجدار تسخين شامل ، وتجويف مغلق ، وتجويف هواء مهوى ولوحة عازلة. تتميز بمنع: (1) فقدان الحرارة خلال أيام الشتاء الغائمة (2) مدخلات حرارية غير مرغوب فيها أثناء الطقس الحار[9]. يعمل الجدار الترومب المركب على النحو التالي. تقوم الطبقة الأولى ، الشفافة ، بإرسال غالبية الحزم الشمسية المكتسبة. ونتيجة لذلك ، يمتص جدار التخزين جزءًا من الطاقة الشمسية المكتسبة ويسخن. يقوم جدار الكتلة بتخزين ونقل جزء من الطاقة الممتصة إلى داخل المبنى ، حيث تنتقل هذه الطاقة إلى الغرفة عن طريق الحمل الحراري عبر القناة المهواة والظاهر في شكل(10). بالإضافة إلى ذلك ، يتم نقل جزء صغير من الطاقة عن طريق التوصيل من الجدار إلى الغرفة [15]. يمكن للمستخدمين التحكم في معدل التسخين عن طريق التحكم في الهواء داخل القناة المهواة. (2) مقاومة الجدار الترومب المركب للحرارة عالية للغاية لأن الجدران وقناة التهوية معزولة[13].أحد سلبيات الجدار الترومب المركب هو أن الجدار يتطلب آلية لمنع الدوران الحراري المنتشر ، والذي يحدث عندما يصبح جدار التخزين أكثر برودة من الهواء المحيط بالفضاء الداخلي للمبنى. قارن شين وآخرون ، جدار ترومب الكلاسيكي مع جدار ترومب المركب باستخدام برنامج(TRNSYS) أظهرت النتائج أن الجدران الترومب المخترعة تعمل بشكل أكثر فعالية بنسبة 10-20٪ في المناخات القاسية ، مثل مناخ بوسطن[10].



شكل 10:يوضح اجزاء الجدار الترومب المركب, [10].

سابعا/ جدار هجين شمسي(Solar hybrid wall): هو نوع هجين من جدران ترومب يشبه جدار ترومب القياسي. ومع ذلك ، يستخدم الجدار ستارة عازلة حرارية خارجية خلال الصيف لتجنب أي مكسب شمسي مباشر. علاوة على ذلك ، يتم استخدام نوع خاص من السيراميك في الجدار الداخلي المعروف باسم السيراميك المسامي ، والذي يمتص كمية كبيرة من الماء. في الطقس الحار ، يتم ترطيب السيراميك بواسطة فوهة ماء مثبتة على السطح فوق الفجوة بين الزجاج والجدار ، مما يؤدي إلى عمل الفجوة كغرفة تبريد بسبب ظاهرة التبريد التبخيري[10].

9. الجدار الترومب وتحقيق مفهوك كفاءة استخدام الطاقة

مثل أي عنصر بناء آخر ، فإن الجدارالترومب هو مسألة تكاليف وفوائد ، تمثل النفقات الإضافية للعميل (التكلفة ، ومقدار تقليل استهلاك الطاقة فاستنادًا إلى دراسة تجريبية أجريت على منزل من ثلاثة طوابق مع قبو ذو الجدار الترومب في (أندورا) ، يمكن لجدار الترومب أن يوفر ما يقرب من 20٪ من الطلب على تدفئة المنزل[9]. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن لجدار الترومب أن ينتج فوائد اقتصادية كبيرة طويلة المدى لأصحابها.تم اجراء تجربة حيث تم دمج جدران الترومب في غلاف مركز الزوار الذي تم الانتهاء منه مؤخرًا في حديقة Zion الوطنية. اذ تم تم رصد وتحليل أداء الطاقة على مدى عامين. تضمن التحليل استخدامات كهربائية نهائية مقيسة ، وصور حرارية لتحديد أداء الجدار الترومب[10]. اظهرت النتائج ان الجدار الترومب يوفر تسخينًا شمسيًا منفعلا دون إدخال الضوء حيث توفر جدران ترومب تدفئة كبيرة. في مركز الزوار والظاهر في شكل(11) ، اذ تم توفير 20 ٪ من التدفئة السنوية بواسطة الجدار الترومب[10].

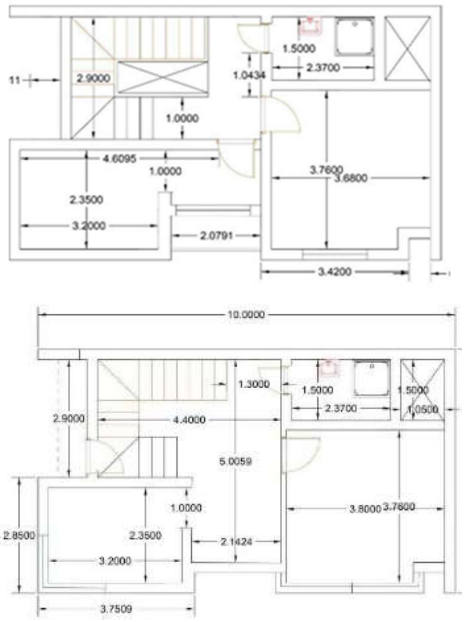
شكل11:يوضح مركز زوار,[9]

بناء على مما تقدم يمكن التوصل ان الجدران الترومب هو سمة معمارية خضراء مهمة يمكن الاستفادة منها وتطبيقها فغي مناخ العراق الحار الجاف مع الاخذ بنظر الاعتبار المعايير التي تلائم البيئة العراقية عند القيام بعملية التصميم والتنفيذ. تنعكس فوائد استخدام هذا النظام في المقام الأول في توفير الطاقة اللازمة لتسخين وتبريد المساحة . يمكن تطبيق هذا النظام في ظروف مناخية مختلفة ، ولكن الأكثر ملاءمة هي المناطق ذات التقلبات في درجات الحرارة العالية خلال النهار والليل وأكبر عيوب تطبيق هذا النظام هي درجة الكفاءة اعتمادًا على الظروف المناخية الخارجية.

10. حالة دراسية

تم أخذ منزل نموذجي في بغداد في منطقة حطين المواجهة للجنوب كحالة دراسية حالة والظاهر في شكل (12) والمصمم باستخدام برنامج (autocad)والمنفذ قبل الباحث و لإظهار إمكانات جدران ترامب الكهروضوئية تم عمل نموذج افتراضي باستخدام برنامج(3d max) وتم حساب الحرارة والطاقة باستخدام برنامج(TRNSYS).وذلك لتقليل اكتساب الحرارة وزيادة توليد الطاقة الكهربائية. لتمكينها من التكيف عن طريق إضافة أجزاء وتقنيات جديدة لم تكن متوفرة عندما تم بناؤها في الأصل.

الحالة المعمارية: يتكون المنزل من مساحة 60 متر مربع ، وطابقين ، ويطل المنزل على شارع عام ، وموقع المنزل زاوية وله واجهتان ، واحدة مواجهة للجنوب ، وتحتوي على شرفة مواجهة للخارج. بناء المنزل حديث ، مطلي بالحجارة والأصباغ ، وله نوافذ زجاجية كبيرة.



شكل12:مخطط منزل في منطقة حطين (مصدر: الباحث)

11. تطبيق جوانب الجدار الترومب الكهروضوئي على منزل في منطقة حطين في بغداد

وضع البحث العديد من المؤشرات المهمة المستخلصة من محاور الإطار النظري الرئيسية والتي عكست إمكانية تطبيق الجدران الترامب الكهروضوئية وتحقيق جوانبها في كفاءة الطاقة وفق مجموعة من التطبيقات والمعالجات المعمارية والفنية وما يمكن تطبيقه على المستوى المحلي. تم اعتماد النموذج المعماري لمنزل سكني في بغداد والذي تم عمل النموذج الافتراضي له باستخدام برنامج(3d max) والظاهر في شكل(13) وواقع الحال في شكل(14)،وما هي إمكانية الخروج بمعايير فكرية عامة يمكن اعتمادها كمعايير تجسد أهمية تطبيق الجدران الترومب وتقنياته كمؤثر في البناء التصميم.

شكل 13:تفاصيل المنزل المصمم من قبل الباحث باستخدام برنامج 3d max(المصدر: بواسطة الباحث)

شكل 14:تفاصيل المنزل المصمم من قبل الباحث (المصدر: بواسطة الباحث)

12. مخرجات تطبيق الجدار الترومب في العمارة

1) المنظور الاقتصادي: يعد الجدار الترومب مسألة تكاليف وفوائد مثل أي عنصر بناء آخر. بناءً على دراسة تجريبية ، يمكن أن يوفر الجدار الترومب ما يقرب من 20 ٪ من الطلب على التدفئة في المنزل ، لذلك يمكن لجدار الترومب أن ينتج فوائد اقتصادية طويلة الأجل لأصحاب المبنى.

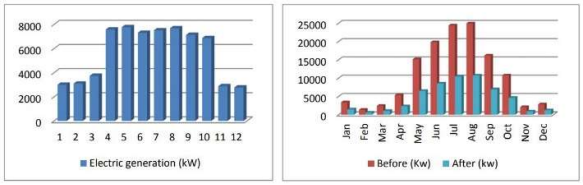
2) الاستدامة: تعد الجدران الترومب تقنية معمارية مستدامة للتدفئة والتهوية ، والميزة الرئيسية لجدار الترومب هي أنه غالبًا ما يتم بناؤها بسهولة من مواد متوفرة محليًا ، وموثوقة للغاية وتكاليف إصلاح وصيانة وتشغيل أقل.

3) كفاءة استخدام الطاقة: يمكن أن يؤدي استخدام الجدار الترومب في المبنى إلى تقليل استهلاك الطاقة للمبنى بنسبة تصل إلى 30٪ بالإضافة إلى كونها صديقة للبيئة ، في حين أن تقنيات الطاقة الشمسية المنفعلة يمكن أن تقلل من الطلب على التدفئة حتى 25%.

13. التحليل

بعد استعراض عدة أنواع من الجدران الترومب وذكر أهم العناصر والمعايير التي تعتمد عليها ، وأهم التقنيات المستخدمة فيها ودورها في تحقيق كفاءة الطاقة ، سوف يستكشف هذا القسم المدى الذي يمكن أن يصل إليه هذا الجدار الذي تم اعتماده كمعيار فعال في مبنى في بغداد وكيفية تحقيق اهم مجموعة من المخرجات المعمارية الجمالية والوظيفية وغيرها. يوضح الجدول رقم (2) المتغيرات والقيم والبنود التي ستكون آلية القياس المعتمدة لتحقيق هذه المخرجات وتحقيق مفهوم كفاءة الطاقة والنتائج المرجوة من استخدام هذه الجدران في مثل هذا النوع من المباني. محاكاة حاسوبية وتجربة لقياس درجة حرارة الحيز الداخلي للمنزل باستخدام برنامج(TRNSYS). تم تجهيز المنزل بنوافذ مواجهة للجنوب ولوحة كهروضوئية بعرض 0.83 متر وارتفاع 2.6 متر مثبتة على جدار ترومبي والظاهر في شكل(15) ونتائج التحليل في شكل(16).

شكل 15:نماذج محاكاة منزل حطين المعدلة (مصدر:بواسطة الباحث)



شكل 16:مقارنة استخدام نظام الجدار الترومب الكهروضوئي مقابل دراسة الحالة المرجعية لاستهلاك الطاقة السنوي (المصدر: بواسطة الباحث)

جدول 2: القيم الممكنة للإطار النظري (حسب الباحث)

	نتائج جدار ترومب الكهروضوئي			مخرجات جدار ترومب	جدار ترومب	مكونات المنزل
	الطاقة	البيئة	الاقتصاد			
1	○		○	تزيد الألواح الكهروضوئية فوق الزجاج من الأداء الحراري بنسبة تصل إلى 17٪	خلايا شمسية	جدران
2		○		يقلل درجة الحرارة الداخلية بمقدار 2.47 درجة مئوية في الطقس الحار	زجاج	شرفة
3	○		○	كفاءة طاقة ازدادت 30%	دكتات الهواء	نافذة
4	○	○		سيطرة على مناخ داخلي	الستارة المنطوية	ابواب

14. الاستنتاجات والتوصيات

14.1 الاستنتاجات

كان لاستخدام الجدار الترومب الكهروضوئي فوائد كبيرة عكست نتائج إيجابية من حيث الكفاءة الاقتصادية والطاقة وتقليل الإشعاع الشمسي الذي يدخل الفضاء الداخلي للمبنى ، حيث يهدف إلى إنتاج طاقة كهربائية بالإضافة إلى العزل الحراري للمساحة.من أكثر النتائج المدهشة تأثير استخدام جدار ترومب على المبنى.

النتائج الاقتصادية: لعب الجدار الترومب في هذه الدراسة دورًا اقتصاديًا مهمًا ، حيث ترتبط تطبيقات الجدار الترومب بشكل عام والكهروضوئية بشكل خاص بالجانب الاقتصادي. حيث ساهمت في تقليل استهلاك الطاقة للمبنى وبالتالي المساهمة في تحقيق مفهوم كفاءة الطاقة وكذلك التحكم في الطاقة الحرارية التي تدخل الحيز داخل المبنى. كل هذه القدرات لها جانب اقتصادي إيجابي على المدى الطويل ، وبالتالي يكون لها دور في تعزيز فكرة الاستدامة في البيئة المحلية.فقبل الشروع في أي عملية لبناء أي عنصر من عناصر المبنى ، تعتبر التكلفة والفوائد ذات أهمية قصوى ويجب أخذها في الاعتبار في مراحل التصميم الأولية واختيار نوع الجدار المناسب. تعتمد اقتصاديات جدار ترومب أيضًا على الظروف المناخية ، وتكلفة المواد ، وتكلفة العمالة ، ونوع البناء،وما إلى ذلك. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن اعتبار الفوائد الاقتصادية لجدار الترومب على أنها تساهم في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وخلق تدفق الهواء في المنطقة المجاورة.

النتائج البيئية: الجدران الترومب لها تأثير بيئي كبير بواسطة تقليل استهلاك الطاقة وبالتالي تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري ، والذي بدوره يساهم في الحد من التلوث البيئي وتقليل نفايات الطاقة والموارد الطبيعية. ولتقليل اكتساب الإشعاع الشمسي الذي لا يصلح للمساحة ويؤثرعلى الراحة الحرارية بالإضافة إلى زيادة الضوء الطبيعي وتقليل فقد الطاقة.

نتائج كفاءة الطاقة: أظهرت النتائج أن الجدار الترومب يوفر تدفئة شمسية منفعلة دون إدخال أو تقليل الضوء في المبنى. تم توفير 20٪ من التدفئة بواسطة جدار(pv_ Trombe) ، بناءً على نتائج الدراسات الدقيقة في مناخ واتجاه ومساحة المبنى.وخلصت الدراسة إلى أنه يمكن توفير 37٪ من التكلفة الإجمالية باستخدام هذا النظام.

14.2 التوصيات

يساهم الجدار الترومب في توفر تسخينًا شمسيًا منفعلا دون إدخال الضوء والوهج في مساحات المبنى. يتم توفير التدفئة السنوية عن طريق جدار ترومب ، وعادة ما يتم تلبية أحمال التدفئة بعد الظهر والمساء بواسطة الجدار الترومب.تنتج الجدران الترومب فرقًا كبيرًا وتنوعًا في درجة الحرارة في مواد البناء على الرغم من أنها تحدث تغييرًا بسيطًا مع درجة الحرارة في المناطق الساخنة. تشير الدراسات التونسية إلى أن الجدران الترومب ستؤثر على راحة شاغلي المبنى ، حيث توفر الراحة الحرارية فقط مع المناطق المتصلة بجدران الترومب ، كما أنها توفر الراحة الحرارية في الأماكن المجاورة لها. يمكن أن تقلل جدران ترومب من استهلاك الطاقة في المبنى للمبنى بنسبة 30٪ وتقليل الرطوبة في المنطقة الداخلية في المناطق الرطبة. بالإضافة إلى كونها صديقة للطبيعة ، يمكن لجدران ترومب أن تعزز الراحة الحرارية وتوفر الطاقة حتى في المناطق القاحلة والصحراوية.

المصادر

[1] Ali M, Othman, Adnan I. O. Zaid. Utilization of the Trombe Wall in Hot Climate Regions: Jordan as a Case Study 2016.

[2] Al-Karaghouli A, Kazmerski LL. Optimization and life-cycle cost of health clinic PV system for a rural area in southern Iraq using HOMER software. Solar Energy 2010

[3] Al-Karaghouli A, Kazmerski. Optimization and life-cycle cost of health clinic PV system for a rural area in southern Iraq using HOMER software 2010.

[4] Chan H-Y, Riffat SB, Zhu J. Review of passive solar heating and cooling technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010

[5] Fakhreddine Abbassi, Narjes Dimassi, Leila Dehmani. Energetic study of a Trombe wall system under different Tunisian building configurations, Energy and Buildings 2014.

[6] Hordeski MF. New technologies for energy efficiency New York. The Fairmont Press; 2011.

[7] Jerzy Szyszka1, Janusz Kogut2, Izabela Skrzypczak. Selective Internal Heat Distribution in Modified Trombe Wall 2017.

[8] Kundakci Koyunbaba B, Yilmaz Z. The comparison of Trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels. Renewable Energy 2012

[9] Llovera J, Potau X, Medrano M, Cabeza. Design and performance of energy-efficient solar residential house in Andorra 2010.

[10] Omidreza Saadatiann, K. Sopian, C.H. Lim, Nilofar Asim, M.Y. Sulaiman. Trombe walls: A review of opportunities and challenges in researchand development 2012.

[11] Paul Torcellini and Shanti Pless. Trombe Walls in Low-energy Buildings: Practical Experiences. National Renewable Energy Laboratory 2004.

[12] Piyush Sharma, Sakshi Gupta. Passive Solar Technique Using Trombe Wall- A Sustainable Approach 2012

[13] Ryan D, Burek SAM. Experimental study of the influence of collector height on the steady state performance of a passive solar air heater 2010

[14] Sokol. Off the wall: Trombe walls at a visitor's center bask in the sunshine 2008.

[15] Zalewski L, Joulin A, Lassue Sp, Dutil Y, Rousse. Experimental study of small-scale solar wall integrating phase change material 2012

Adoption of the Trombe Walls as an Environmentally Sustainable Technology To Achieve The Concept Of Energy Efficiency In Hot_ Arid Regions

Abdullah Emad Aliwi[1*], Ghada Mohammed Ismael Abdul Razzaq Kamoona[2]

[1]*Department of Architecture,University of Baghdad, Baghdad, Iraq, arch.abd.emad.94@gmail.com*

[2]*Department of Architecture,University of Baghdad, Baghdad, Iraq, g.kamoona@coeng.uobaghdad.edu.iq*

**Corresponding author: Abdallah Emad Aliwi, arch.abd.emad.94@gmail.com*

Published online: 31 December 2020

Abstract— Trombe walls are one of the sustainable technologies because of their importance and effective rol in interior spaces by making use of solar energy to control the temperature of the interior spaces and thus achieve thermal comfort without the need to use cooling devices to reduce the energy used, the Trombe wall is an important element in solar design Passive. To save heat in indoor spaces, the main advantage of trombe walls is that they can be constructed virtually from locally available materials. These walls also reduce the need for heating and cooling the building. It is even considered a vital technology for sustainable architecture that effectively contributes to hot-arid environments like Iraq. The research will discuss the most important types of Trombe Walls, the characteristics of Trombe Walls, including the Trombe Wall formations, and the Trombe Wall technology, and the feasibility of realizing the concept of energy efficiency in Iraq using the trombe wall.

Keywords— sustainability, thermal comfort, solar energy, trombe wall.