

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

Received	2026/06/05	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/06/28	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/06/30	تم نشر الورقة العلمية في

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على أحمال التبريد

عبد المنصف عبد الله بوزيد كلية العلوم التقنية، درنة، ليبيا asadeenyaseen@gmail.com Orcid: 0009-0000-8482-1161	ربيع حسين شنيب مصطفى كلية العلوم التقنية، درنة، ليبيا rabaemustafamech@gmail.com Orcid: 0009-0006-6443-0319
مصطفى محمود عبد القادر محمود كلية التقنيات الهندسية، القبة، ليبيا Orcid: 0009-0007-9687-0412 mustafa@cteq.edu.ly	احمد عادل رشيد عبد الله كلية العلوم التقنية، درنة، ليبيا Orcid: 0009-0008-2726-3050 Ahmed.adil@omu.edu.ly

الملخص

تناولت هذه الدراسة تقييم تأثير نسبة مساحة النافذة إلى مساحة الجدار (10%، 20%، 30%، 40%، 50%) WWR، ونوع زجاج النافذة (عادي، رمادي، انعكاسي)، ونوع الطوب المستخدم لبناء الجدار (بلوك خرسانة خفيف، طوب حجر جيرى، طوب احمر، طوب عادي، طوب رملي خفيف) واتجاه الجدار (مواجه للشرق، مواجه للجنوب) على حمال التبريد لجدار غرفة تقع في مدينة درنة على ساحل حوض البحر الابيض المتوسط مع اهمال تأثير باقي الجدران والسقف باستخدام برنامج HAP. أظهرت النتائج وجود علاقة طردية عامة بين زيادة نسبة WWR وارتفاع أحمال التبريد، مع اختلاف درجة التأثير تبعاً لنوع الجدار والزجاج والاتجاه. وسجل الاتجاه الشرقي أحمال تبريد أعلى في معظم الحالات مقارنة بالاتجاه الجنوبي نتيجة شدة التعرض للإشعاع

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

الشمسي المباشر. كما تبين أن جدار الطوب الحجري الجيري يعطى أقل قيم لأحمال التبريد، في حين ان البلوك الخرساني والطوب العادي سجل أعلى القيم. وبينت الدراسة أن تأثير نوع الزجاج يكون محدودًا نسبيًا في الاتجاه الشرقي بسبب تقارب قيم معامل الانتقال الحراري، بينما يكون تأثيره أكثر وضوحاً في الاتجاه الجنوبي، خاصة عند نسب WWR المرتفعة. وتؤكد الدراسة أهمية التكامل بين نوع الجدار ونوع الزجاج ونسبة WWR واتجاه الجدار لتحقيق اقل حمل تبريد وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة في المباني الواقعة ضمن المناخات الحارة. تفيد هذه الدراسة الي تزويد مهندسين منظومات التكييف والمصممين المعماريين فرصة اختيار التكوين والاتجاه المثالي لجدار مبنى الغرفة لتحقيق اقل احمال تبريد وبيئة داخلية أكثر راحة واستدامة.

الكلمات المفتاحية: مساحة النافذة الي مساحة الجدار، نوع الجدار، نوع الزجاج، حمل التبريد، اتجاه الجدار، استهلاك الطاقة.

Evaluation of the Effects of Wall Orientation, Wall Type, Glazing Type, and Window-to-Wall Ratio on Cooling Loads

Rabae. H. Shannib. Mustafa
College of Technical sciences,
Derna- Libya
rabaemustafamech@gmail.com

Abd Almonsef A. Bouzied
College of Technical sciences,
Derna- Libya
Asadeenyaseen@gmail.com

Ahmed Adel Rasheed Abdullah
College of Technical sciences,
Derna- Libya
Ahmed.adil@omu.edu.ly

Mustafa M. Abdulgadir
College of Engineering
Technologies, Al Qubba – Libya
mustafa@cte.q.edu.ly

Abstract

This study investigated the impact of the window-to-wall ratio (WWR) (10%, 20%, 30%, 40%, and 50%), window glazing type (clear, gray, and reflective), wall construction material (lightweight concrete block, limestone brick, red brick, conventional brick, and lightweight sand brick), and wall orientation (east-facing and south-

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

facing) on the cooling load of a room wall located in Derna, a coastal city on the Mediterranean Sea. The influence of other walls and the roof was neglected in order to isolate the thermal performance of the studied wall. Simulations were conducted using the HAP software package. The results revealed a general positive correlation between increasing WWR and cooling load, although the magnitude of this effect varied according to wall type, glazing type, and orientation. In most cases, the east-facing wall exhibited higher cooling loads than the south-facing wall due to its greater exposure to direct solar radiation. Among the investigated wall materials, limestone brick demonstrated the lowest cooling load values, whereas concrete block and conventional brick walls recorded the highest values. The findings also indicated that the influence of glazing type was relatively limited for the east-facing orientation primarily due to the similarity in thermal transmittance characteristics among the glazing options. In contrast, the effect of glazing type became more pronounced for the south-facing orientation, particularly at higher WWR values. The study underscores the importance of optimizing the combined effects of wall material, glazing type, WWR, and wall orientation to minimize cooling loads and reduce building energy consumption in hot climates. The outcomes of this research provide HVAC engineers and architectural designers with valuable guidance for selecting the optimal wall configuration and orientation to achieve lower cooling loads, improved indoor thermal comfort, and enhanced building sustainability.

Keywords: Window-to-wall ratio, wall type, glass type, cooling load, wall orientation, energy consumption.

1. المقدمة

تُعد دراسة احمال التبريد للمباني من القضايا المهمة التي حظيت باهتمام واسع خلال العقود الماضية، حيث تتركز الأهداف الرئيسية لهذه الدراسات على تقليل استهلاك الطاقة، والحد من انبعاثات الكربون، وتعزيز تطوير مصادر الطاقة المستدامة. وقد ثبت أن استهلاك الطاقة في قطاع المباني يمثل نسبة كبيرة من إجمالي الطلب العالمي على الطاقة، الأمر الذي يستدعي تكثيف الأبحاث في هذا المجال. يعتمد الأداء الحراري

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

للمباني بدرجة كبيرة على خصائص الغلاف الخارجي للمبنى، بما في ذلك مساحة النوافذ، ومع تزايد الاعتماد على الواجهات الزجاجية في المباني الحديثة، خاصة في المدن النامية، وأصبحت هذه الواجهات تمثل سمة معمارية بارزة. ومع ذلك استخدام مساحات كبيرة من الزجاج في الواجهات يتطلب إجراء دراسات تحليلية معمقة لتجنب الارتفاع الكبير في استهلاك الطاقة لأغراض التبريد والتدفئة على مدار العام [1]. أجريت العديد من الدراسات المتعلقة بالأداء الحراري لعناصر المباني، لا سيما عناصر الجدران والأسقف. ومع ذلك، فإن تأثير نسبة مساحة النوافذ إلى مساحة الجدر (WWR) على السلوك الحراري لم يحظ إلا باهتمام محدود من قبل عدد قليل من الباحثين، حيث تم تحليل أنواع مختلفة من الجدران والنوافذ تحت ظروف مناخية متنوعة. وعلى الرغم من توفر العديد من الدراسات التي تناولت الأداء الحراري للجدران المحتوية على نوافذ، إلا أن أيًا منها لم يُبرز بشكل واضح تأثير مساحة النافذة على الأداء الحراري لمواد هيكل المبنى [2]. في دول منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، يؤدي الارتفاع الكبير في درجات الحرارة خلال فصل الصيف إلى زيادة استهلاك الطاقة الكهربائية لأنظمة التبريد والتكييف، حيث تصل درجات الحرارة إلى مستويات مرتفعة جدًا، خاصة خلال فصل الصيف، مما يدفع السكان إلى الاعتماد بشكل كبير على أنظمة التكييف لضبط درجات الحرارة الداخلية وتحقيق الراحة الحرارية والحد من المخاطر الصحية المرتبطة بالإجهاد الحراري. ومع ذلك هذا الاعتماد المكثف يؤدي إلى استهلاك نسبة كبيرة من الطاقة الكهربائية في المباني، وبالتالي زيادة التكاليف التشغيلية. علاوة على ذلك تعد ظاهرة جزيرة الحرارة الحضرية داخل المدن (Urban) Heat Island من العوامل البيئية المؤثرة على الأداء الحراري للمباني، حيث تؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة المحيطة في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية. وينعكس هذا الارتفاع على زيادة الكسب الحراري عبر عناصر الغلاف الخارجي، مما يؤدي إلى ارتفاع أحمال التبريد، خاصة في المباني ذات نسب النوافذ إلى الجدران (WWR) المرتفعة. كما يزداد تأثير اتجاه المبنى في هذه الحالة، حيث تصبح الواجهات المعرضة للإشعاع الشمسي أكثر عرضة لاكتساب الحرارة، وبصفة خاصة في الاتجاهين الجنوبي والغربي. وبالتالي، فإن دمج تأثير جزيرة الحرارة الحضرية في تحليل الأداء

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

الحراري يعد ضرورياً لتحقيق تصميم مستدام وتقليل استهلاك الطاقة في المباني. ويمثل التوجيه الاستراتيجي للمباني، بحيث يتوافق مع حركة الشمس خلال فصول السنة، حلاً فعالاً لمشكلة جزيرة الحرارة الحضرية (urban heat island) والاحتباس الحراري (global warming)، حيث يساهم في تعظيم الاستفادة من الإشعاع الشمسي خلال فصل الشتاء وتقليل الكسب الحراري في الصيف. ويؤدي ذلك إلى خفض الطلب على التبريد الميكانيكي، وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية. ويؤكد هذا النهج الشامل أن التوجيه الفعال لا يقتصر على كونه عنصراً تصميمياً معمارياً، بل يُعد استراتيجية أساسية لتحقيق الاستدامة العالمية ودعم أهداف التخطيط الحضاري [3]. ولتقييم تأثير نسبة مساحة النوافذ إلى الجدران (WWR) على استهلاك الطاقة في المباني، توصي معايير ASHRAE باعتماد النموذج الثلاثي العوامل (Three-term Model) لتقييم انتقال الطاقة عبر النوافذ، حيث يشمل هذا النموذج ثلاثة مكونات رئيسية: الانتقال المباشر للطاقة الشمسية عبر الزجاج، والطاقة الممتصة من قبل الزجاج وإشعاعها الداخلي، والانتقال الحراري عبر إطار النوافذ وحوافها. وتعتمد هذه المكونات بشكل مباشر على خصائص الزجاج الفيزيائية (مثل الزجاج الأحادي أو المزدوج الطلاء) بالإضافة إلى الظروف المناخية. ويتأثر الأداء الحراري للمبنى بشكل كبير بنسبة (WWR) وعلاقتها بعناصر الغلاف الخارجي الأخرى مثل الجدران والأسقف. كما تلعب اتجاهات المباني ومساحات النوافذ بها دوراً حاسماً في تحديد الكسب الحراري الشمسي ومستويات الإضاءة الطبيعية. وتُعد الجدران من أهم مكونات الغلاف الخارجي، حيث تؤثر بشكل مباشر على الراحة الحرارية. أن استخدام المواد متغيرة الطور (PCM) داخل الجدران تعمل كخزان حراري ديناميكي، تمتص الحرارة أثناء ارتفاع درجة الحرارة وتطلقها عند انخفاضها، مما يقلل من ذروة الأحمال الحرارية ويساهم في تقليل ساعات الانزعاج الحراري داخل المبنى [5]. تؤثر عناصر التصميم الحضري، مثل الشكل والتكوين الحضري، واستخدام الأراضي، والمناطق المفتوحة والمناظر الطبيعية، وتخطيط الطرق، وأنظمة النقل، بشكل كبير على الأداء الحراري للبيئة المبنية، وهو تأثير الشكل الحضري وهندسة المباني على الأداء الحراري الخارجي والداخلي، وثبت ذلك في العديد من الدراسات [6]. معظم الدراسات

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

ركزت على تقييم تأثير عامل واحد أو عاملين فقط على احمال التبريد. وقليل منها جمعت بين تأثير اتجاه الواجهة، ونوع الجدار، ونوع الزجاج، ونسبة WWR على احمال التبريد في دراسة واحدة. مالم تعالجه الدراسات السابقة هو تقديم دراسة مقارنة شاملة للعوامل المؤثرة على احمال التبريد تساعد المصممين على اختيار أفضل توليفة من هذه المتغيرات لتقليل استهلاك الطاقة. بالإضافة الي عدم توفر دراسات مماثلة على سواحل الشرق الليبي. الهدف من هذه الدراسة تقييم احمال التبريد الناتجة عن التفاعل المشترك بين متغيرات الغلاف الخارجي لمبنى يتكون من طابق ارضي. والمتمثلة في نوع الطوب المستخدم في بناء الجدار ونوع مادة زجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الي مساحة الجدار بالإضافة الي اتجاه الجدار (شرقي-جنوبي).

1.2. الدراسات السابقة

Samah K. Alghoul [1] واخرون قاموا بأجراء دراسة تناولت تأثير نسبة مساحة النافذة إلى مساحة الجدار (WWR) واتجاه النوافذ على الاستهلاك السنوي للطاقة الخاصة بالتبريد والتدفئة، وذلك باستخدام نوافذ زجاجية مزدوجة شفافة. وقد طبقت الدراسة على نموذج غرفة مكتب في طرابلس-ليبيا، حيث تم إجراء المحاكاة باستخدام برنامج Energy Plus من خلال واجهة Open Studio وأظهرت النتائج أن زيادة نسبة النوافذ إلى الجدران تؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في احمال التبريد، مقابل انخفاض في احمال التدفئة. كما بينت الدراسة أن إضافة نوافذ في الواجهة الجنوبية تسهم في زيادة كبيرة في احمال التبريد، مع انخفاض احمال التدفئة إلى مستويات شبه معدومة. Meral Özel و Cihan Oze [2] تناولوا دراسة تحليلية للأداء الحراري للجدران الخارجية للمباني وزجاج النوافذ، مع التركيز على تقييم تأثير نسبة المساحة الزجاجية على السلوك الحراري لمواد الجدران من حيث اكتساب الحرارة وفقدانها باستخدام أسلوب عددي. وقد أجريت الدراسة باتجاه الجنوب ضمن الظروف المناخية الصيفية والشتوية لمدينة إلازيغ في تركيا، وشملت أربعة أنواع مختلفة من مواد الجدران إلى جانب نوعين من الزجاج. وأظهرت النتائج أنه في حالة الجدران غير المعزولة يمكن زيادة مساحة الزجاج في الجدران المصنوعة من الخرسانة

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

المعالجة بالبخار دون تأثيرات سلبية كبيرة خلال فصلي الصيف والشتاء. في المقابل، عند استخدام العزل الحراري، يتراجع تأثير نوع مادة الجدار على نسبة المساحة الزجاجية بشكل ملحوظ. كما بينت الدراسة أن معدلات اكتساب وفقدان الحرارة في جدران الطوب والطوب المضغوط والخرسانة لم تتأثر بشكل يُذكر بزيادة مساحة الزجاج. [3] Ahmad وAbdallah واخرون اجروا دراسة باستخدام محاكاة ديناميكية زمنية (Transient System Simulation) لمقارنة تأثير توجيه المباني على حمل التبريد في ثلاث مناطق مختلفة من الشرق الأوسط وشمال إفريقيا ((MENA أظهرت النتائج أن المباني ذات التوجيه الغربي تسجل أعلى حمل تبريد (في الإمارات 1950.85 Ton/hr ، في الأردن 1566.14 Ton/hr ، وتونس 1653.69 Ton/hr)، على عكس التوجيه الشمالي الغربي الذي يتطلب أدنى حمل تبريد (في الإمارات 1405.57 Ton/hr، وفي الأردن 376.04 Ton/hr ، وفي تونس 521.04 Ton/hr). وقد بلغت نسبة التفاوت بين أقصى حمل تبريد في التوجيه الغربي وأدنى حمل في التوجيه الشمالي الغربي نحو 1.54% و 2.33% و 2.03% في الإمارات والأردن وتونس على التوالي، مما يشير إلى أن الأردن أكثر حساسية لتأثير التوجيه مقارنة بالإمارات وتونس. كما استخدمت الدراسة تحليل التباين (ANOVA) لتحليل الحساسية، حيث أظهرت النتائج أن التوجيه يساهم بشكل ملحوظ في تباين أحمال التبريد بنسبة 16.6% في الإمارات، و 10.8% في الأردن، و 15.85% في تونس. وتُعد هذه النتائج دليلاً إرشادياً مهماً لتصميم مباني عالية الكفاءة في استهلاك الطاقة ومدن مستقبلية مستدامة. [4] Jiayu Li واخرون تناولوا دراسة ست نسب مختلفة لمساحة النوافذ إلى الجدار، عند نسب (0% ، 20% ، 40% ، 60% ، 80% ، و 100% WWR) وللحفاظ على درجة حرارة الهواء الداخلي للمبنى أقل من 30°م ، فإن الطاقة الكهربائية المطلوبة للتبريد تبلغ على التوالي: 0 kW/h ، 19.6 kW/h ، 133.7 kW/h ، 273.1 kW/h ، 374.5 kW/h ، و 461.9 kW/h. [5] Asim Ahmad واخرون قاموا بدراسة تأثير تركيبات مختلفة للجدران والأسقف ونسبة مساحة النافذة إلى مساحة الجدار (WWR) على أحمال التبريد والتدفئة في المباني السكنية ضمن المنطقة المناخية المركبة في الهند. وقد تم تقييم احمال

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

التبريد لثلاثة أنواع من المباني باستخدام برنامج محاكاة Energy Plus و E Quest ، مع دمج نوعين من الجدران ونوعين من الأسقف عند النسب WWR (10%، 20%، 30%، و40%). أظهرت النتائج أن الحالة، التي تتميز بتوجه شمالي وتصميم مربع الشكل وعند نسبة WWR 10%، تحقق أدنى أحمال تبريد بين جميع التكوينات. M. Kamaruddin [7] استنتج ان للمبنى المواجه للجنوب تحقيق أدنى حمل تبريد ممكن، وهو 7.47 kW/h ، وهو أقل من المبنى المواجه للشرق والغرب 7.72 kW/h و 7.80 kW/h في الوقت نفسه. يمكن تفسير هذه النتائج بأن اتجاه المبنى له تأثير مهم على أحمال التبريد على المباني، وخاصة في المناخات الاستوائية. Hawar Tawfeeq [8] واخرون قاموا بدراسة نطاق تأثير نسبة WWR في تحسين كفاءة الطاقة في الشقق السكنية منخفضة الارتفاع بمدينة السليمانية بدولة العراق. استخدمت الدراسة منهجاً كمياً، حيث قامت بمحاكاة وتحليل استهلاك الطاقة لعينات مختارة وأظهره النتائج أن تحسين نسبة مساحة النافذة إلى مساحة الجدار يُمكن أن يُقلل بشكل ملحوظ من كثافة استخدام الطاقة في مختلف اتجاهات المباني.

1.3. أهمية الدراسة

تعتبر الجدران الخارجية للمبنى وما بها من نوافذ هي العنصر المتحاکم في تنظيم انتقال الحرارة بين البيئة الخارجية والداخلية، حيث تتحكم مكوناتها في معدلات الكسب والفقد الحراري من خلال آليات التوصيل والحمل والإشعاع وبالتالي على تقليل الأحمال الحرارية. في المقابل، تمثل نسبة مساحة النوافذ الزجاجية بأنواعها إلى مساحة الجدران بتركيبها ومكوناتها أبرز المتغيرات التصميمية المؤثرة في استهلاك الطاقة، إذ تؤدي الزيادة في هذه النسبة إلى تعزيز الإضاءة الطبيعية من جهة، لكنها في المقابل ترفع من الكسب الحراري الشمسي، خصوصاً في الواجهات المعرضة مباشرة للإشعاع. كما يلعب اتجاه المبنى دوراً تكاملياً مع هذه العوامل، حيث تختلف شدة الإشعاع الشمسي وزوايا سقوطه باختلاف الاتجاهات، ويُلاحظ أن الواجهتين الشرقية والجنوبية تتعرضان لكميات كبيرة من الإشعاع الشمسي خلال فترات زمنية مختلفة من اليوم، مما يزيد من تعقيد سلوك الأحمال الحرارية المرتبطة بهما.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

1.4. الهدف من الدراسة

تناولت هذه الدراسة تقييم تأثير نسبة مساحة النافذة إلى مساحة الجدار (10%، 20%، 30%، 40%، 50%) WWR، ونوع زجاج النافذة (عادي، رمادي، انعكاسي)، ونوع الطوب المستخدم لبناء الجدار (بلوك خرسانة خفيف، طوب حجر جيري، طوب احمر، طوب عادي، طوب رملي خفيف) واتجاه الجدار (مواجه للشرق، مواجه للجنوب) على حمال التبريد لجدار مبنى يتكون من طابق ارضي يقع في مدينة درنة - ليبيا يطل على ساحل حوض البحر الابيض المتوسط لشهر يوليو مع اهمال تأثير باقي الجدران والسقف باستخدام برنامج HAP. وذلك للتوصل الي قاعدة بيانات لبناء انظمة تكييف أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة بتصاميم معماري أكثر دقة لتوفير منطقة الراحة الحرارية للإنسان في الظروف المناخية المحلية.

2. منهجية البحث

2.1. برنامج المحاكاة المستخدم وخطوات عمله

تم استخدام برنامج HAP (Hourly Analysis Program) لشركة كاريير (Carrier) في هذه الدراسة لحساب أحمال التبريد. يُعد برنامج HAP أداة حاسوبية متخصصة في تصميم وتحليل أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) للمباني التجارية، ويُستخدم على نطاق واسع في الدراسات الهندسية وتقييمات كفاءة الطاقة. يعتمد البرنامج في حساب الأحمال الحرارية على طريقة دوال الانتقال الحراري (Transfer Function Method) المعتمدة من قبل ASHRAE، مما يتيح تمثيلاً دقيقاً لتأثير الخصائص الحرارية لمكونات الغلاف الخارجي للمبنى، مثل الجدران والنوافذ والمواد الإنشائية المختلفة. كما يقوم البرنامج بمحاكاة الأداء الحراري للمبنى على أساس ساعة بساعة طوال العام، الأمر الذي يسمح بتقدير استهلاك الطاقة السنوي بدقة عالية [11]

2.2. خطوات عمل البرنامج

يستعرض هذا القسم من الورقة الخطوات المستخدمة في برنامج HAP في تصميم وحساب احمال التبريد لأنواع المختلفة من الجدران والنوافذ ونسب تغير مساحة النافذة الي مساحة الجدار WWR (Window Wall Ratio) في الاتجاهين الشرقي والجنوبي.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

2.2.1 انشاء مشروع جديد

يبدأ عمل البرنامج بفتح البرنامج واختيار ملف جديد وادخال بيانات المشروع وموقع المبنى
ونوع الاستخدام وبيانات الطقس.

2.2.2 ادخال بيانات الطقس

وفيه يتم اختيار ملف الطقس المناسب من قاعدة بيانات البرنامج او ادخله يدوياً ويتضمن
(درجة الحرارة الخارجية، الرطوبة النسبية، الاشعاع الشمسي، وسرعة الرياح) وهذه البيانات
لها تأثير مباشر على نتائج حمل التبريد والتدفئة.

2.2.3 تعريف خصائص المبنى

يتم ادخال عناصر الغلاف الخارجي للمبنى وتشمل المدخلات ادخال نوع الجدار وتشمل
(سمك الجدار، معامل انتقال الحرارة U-value، وكثافة المواد) ونوع السقف وتشمل (نوع
السقف، العزل الحراري، السمك) ونوع الارضيات ويشمل (نوع الأرضية، اتصالها بالترربة
او الهواء الخارجي).

2.2.4 تعريف النوافذ والزجاج

يتم ادخال (نوع الزجاج وسمك الزجاج ومعامل التظليل ومعامل انتقال الحرارة ونسبة
مساحة النافذة الي الجدار WWR).

2.2.5 تحديد اتجاه الواجهات

في هذه الفقرة يتم تحديد اتجاه كل جدار ويشمل (شمالي، جنوبي، شرقي، غربي) الذي
بدوره يؤثر على كمية الاشعاع الشمسي وبالتالي على حمل التبريد.

2.2.6 ادخال بيانات الفراغات

يتم ادخال بيانات الفراغات كل غرفة او فراغ وتشمل (الابعاد، الارتفاع، عدد الأشخاص،
الإضاءة، الأجهزة الكهربائية، معدلات التهوية).

2.2.7 تشغيل الحسابات واستخراج النتائج والتقارير

يقوم البرنامج بحساب حمل التبريد الكلي وحمل التدفئة والاحمال المحسوسة والكامنة
واحمال كل عنصر من عناصر المبنى. كما يمكن استخراج جداول الاحمال والرسومات

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

البيانية وتقارير الطاقة ومقارنة البدائل المختلفة. شكل (1) يوضح قائمة عرض التقارير
للبرنامج.

System Design Reports

٤٣

Report Options and Selection			
Reports	Table	Graph	Time Specifications
System Sizing Summary	<input type="checkbox"/>	--	-- --
Zone Sizing Summary	<input type="checkbox"/>	--	-- --
Ventilation Sizing Summary	<input type="checkbox"/>	--	-- --
System Load Summary	<input type="checkbox"/>	--	-- --
Zone Load Summary	<input type="checkbox"/>	--	-- --
Space Load Summary	<input checked="" type="checkbox"/>	--	<input checked="" type="checkbox"/> Peak -- --
Hourly Air System Loads	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-- --
Hourly Zone Loads	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-- --
System Psychrometrics	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	-- --

Restore Defaults Print... Preview... Cancel Help

الشكل (1) يوضح قائمة عرض التقارير للبرنامج [11]

2.3 مدخلات البرنامج

2.3.1 مدخلات موقع المبنى والطقس

تم اختيار مبنى يقع في مدينة درنة في دولة ليبيا يطل على ساحل حوض البحر الابيض المتوسط كموقع للدراسة، يقع عند خط عرض 32.8° شمالاً وخط طول 22.6° شرقاً، وعلى ارتفاع يقارب 15m فوق مستوى سطح البحر. تم ادخال ملف الطقس عن سنة 2021 من موقع energyplus.net/weather عن شهر يوليو بدرجة حرارة قصوى $34.5^{\circ}C$ مع درجة حرارة هواء رطب متزامنة قدرها $23^{\circ}C$ وبمدى حراري يومي يصل إلى $9^{\circ}C$. باعتبار بمعامل صفاء غلاف جوي بقيمة 1.00 ، ومتوسط انعكاسية سطح الأرض بقيمة 0.20 ، إضافة إلى موصلية حرارية للتربة مقدارها $1.385 W/m . C^{\circ}$.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

2.3.2 مدخلات خصائص المبنى

في هذا العمل تم دراسة حالتين لجدار مبنى من طابق ارضي مساحته $28.7m^2$ حيث تتمثل الحالة الأولى المبنى به جانب او جدار به نافذه يطل او يوجه الاتجاه الشرقي والحالة الثانية لمبنى به جانب او جدار به نافذه يطل او يواجه الاتجاه الجنوبي مع اهمال تأثير الاحمال الحرارية للسقف والارضية و باقي جدران الغرفة باستخدام خمس انواع من تراكيب الجدار بسلك طوب 200mm وطبقة مونه إسمنتية بسلك 12mm وهم (طوب عادي- طوب احمر - طوب رملي خفيف - طوب الحجر الجيري - بلوك خرساني خفيف) لكل نوع جدار جدول (1) يوضح الخصائص الحرارية والفيزيائية لتراكيب جدار المبنى. لثلاث انواع من الزجاج الأحادي الطبقة وهي زجاج عادي، رمادي وانعكاسي جدول (2) يوضح الخواص الاشعاعية الشمسية والحرارية لأنواع الزجاج المستخدم. مع تتغير نسبة مساحته النافذة الي مساحة الجدار بنسب (10% و 20% و 30% و 40% و 50%) WWR لكل نوع جدار ونوع زجاج جدول (3) يوضح قيم مساحة الجدار ومساحة النافذة عند النسب المحددة.

جدول (1) يوضح الخصائص الحرارية والفيزيائية للتراكيب المكونة للجدران.

نوع تركيبة الجدار	السلك m	الحرارة النوعية kJ/kg.k	الكثافة kg/m ³	معامل انتقال الحرارة الكلي W/m ² .k	المقاومة الحرارية m ² .k/W	الوزن kg/m ²
المونة الاسمنتية الداخلية والخارجية (stucco)	0.012	0.84	1858.1	-	0.12064	0.0
بلوك خرسانة خفيفة الوزن (LW Concrete Block)	0.200	0.84	608.7	1.775	0.35018	121.7
طوب الحجر الجيري (Limestone Brick)	0.200	0.88	2300	0.506	1.76108	460
الطوب الأحمر (Red Brick)	0.200	0.84	1800	2.027	0.2800	360

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

الوزن kg/m^2	المقاومة الحرارية $m^2 \cdot k/W$	معامل انتقال الحرارة الكلي $W/m^2 \cdot k$	الكثافة kg/m^3	الحرارة النوعية $kJ/kg \cdot k$	السمك m	نوع تركيبة الجدار
384.4	0.27514	2.047	1922.2	0.84	0.200	الطوب العادي (Common Brick)
300	0.5500	1.310	1500	0.84	0.200	طوب رملي خفيف (Light Sand Brick)

جدول (2) يوضح الخواص الإشعاعية الشمسية والحرارية لأنواع الزجاج المستخدمة

معامل التظليل الكلي	معامل انتقال الحرارة الكلي $W/(m^2 \cdot ^\circ K)$	الامتصاصية Absorptivity	الانعكاسية Reflectivity	النفاذية Transmissivity	نوع الزجاج
0.991	6.302	0.081	0.078	0.841	زجاج عادي 3mm Clear
0.817	6.302	0.304	0.065	0.631	زجاج رمادي 3mm Gray
0.630	6.195	0.184	0.315	0.501	زجاج انعكاسي 6mm Reflective

الجدول (3) يوضح قيم مساحة الجدار ومساحة النافذة عند النسب المحددة.

مساحة الجدار الكلية (مساحة الجدار المصمت + مساحة النافذة) m^2	مساحة النافذة m^2	مساحة الجدار المصمت m^2	نسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار WWR
28.7	2.87	25.83	%10
28.7	5.74	22.96	%20
28.7	8.61	20.09	%30
28.7	11.42	17.28	%40
28.7	14.26	14.44	%50

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

3. العلاقات المستخدمة

تم حساب الحمل الحراري للجدران باستخدام ASHRAE (الجمعية الأمريكية لمهندسي
التدفئة والتبريد وتكييف الهواء) [9].

حمل التبريد للجدار:

تم حساب حمل التبريد وفقاً للعلاقة [10]

$$Q_c = UA(CLTD) \dots \dots \dots 1 \quad \text{أ. علاقة حساب حمل التبريد للجدار}$$

$$Q_c = \text{حمل التبريد } W$$

$$A = \text{مساحة الجدار } m^2$$

$$U = \text{معامل } W/(m^2 - ^\circ K) \text{ الحرارة انتقال معامل}$$

$$CLTD = \text{فرق درجة حرارة حمل التبريد } C^\circ$$

ب. علاقة حساب حمل التبريد للجدار مع تصحيح فرق درجات الحرارة

$$Q_c = UA(CLTD)corr \dots \dots \dots 2$$

$$A = \text{مساحة الجدار } m^2$$

$$(CLTD)corr = \text{فرق درجة حرارة حمل التبريد المصححة } C^\circ$$

ت. علاقة تصحيح فرق درجات الحرارة

$$(CLTD)corr = [CLTD + LM] \times K + (25.5 - T_i) + (T_o - 29.4)$$

$$LM = \text{درجة حرارة الشهر عند خط العرض المحدد}$$

$$K = \text{معامل التصحيح اللون}$$

$$T_i = \text{درجة الحرارة في الداخل } C^\circ$$

$$T_o = \text{درجة الحرارة في الخارج } C^\circ$$

الحمل الحراري عبر الزجاج [10]

ث. علاقة حساب الحمل الحراري الشمسي عبر الزجاج

$$Q_{solar} = A_{glass} \times SHGF \times SC \times CLFC = \dots \dots \dots 3$$

$$Q_{solar} = \text{الحمل الحراري الشمسي } W$$

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

$A_{glass} =$ مساحة الزجاج m^2

$SHGF =$ معامل الكسب الشمسي W/m^2

$SC =$ معامل التظليل يعتمد على نوع الزجاج

$CLFC =$ معامل تأخير الحمل

ج. علاقة الحمل الحراري بالتوصيل عبر الزجاج

$$Q_{cond} = U_{glass} \times A_{glass} \times \Delta T = \dots \dots \dots 4$$

$Q_{cond} =$ الحمل بالتوصيل عبر الزجاج W

$U_{glass} =$ معامل انتقال الحرارة للزجاج $(W/m^2 \cdot C^\circ)$

$\Delta T =$ فرق درجات الحرارة C°

د. علاقة حساب نسبة فرق حمل التبريد

$$\text{نسبة فرق حمل التبريد} = \frac{\text{حمل التبريد لجدار بواجهه شرقية- حمل التبريد لجدار بواجهه جنوبية}}{\text{حمل التبريد لجدار بواجهه جنوبية}} \dots \dots \dots \%$$

4. النتائج والمناقشة

4.1. النتائج

تعرض الجداول (4) و(5) نتائج المقارنة بين أحمال التبريد الناتجة عن تأثير اتجاه الجدار (شرقي، جنوبي) وتغير نوع الجدار (بلوك خرسانة خفيف، طوب حجر جيري، طوب احمر، طوب عادي، طوب رملي خفيف)، ونوع الزجاج (عادي، رمادي، انعكاسي) عند نسب مساحة نافذه الي مساحة جدار (10%، 20%، 30%، 40%، 50% WWR).

الجدول (4) احمال التبريد لجدار بنافاذة زجاجية مواجه للشرق عند نسب WWR المختلفة.

حمل التبريد للجدار بالاتجاه الشرقي W					نوع النواخذ	نوع الجدار
WWR						
50%	40%	30%	20%	10%		
1111	1009	909	736	698	زجاج عادي	

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

					3mm clear glass	بلوك خرسانة
1111	1009	909	805	700	زجاج رمادي 3mm gray glass	خفيفة الوزن 200 mm
1097	998	900	800	698	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	LW concrete block
893	748	606	417	310	زجاج عادي 3mm clear glass	طوب الحجر الجيري
893	748	606	459	310	زجاج رمادي 3mm gray glass	200mm Limestone Brick
879	737	597	454	308	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	Brick
1166	1075	986	820	800	زجاج عادي 3mm clear glass	الطوب احمر 200mm
1166	1075	986	893	800	زجاج رمادي 3mm gray glass	Red Brick
1152	1064	977	888	798	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	
1169	1079	990	824	805	زجاج عادي 3mm clear glass	طوب العادي Common
1169	1079	990	898	805	زجاج رمادي 3mm gray glass	brick 200mm
1155	1068	981	893	803	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	
1041	925	812	635	575	زجاج عادي 3mm clear glass	طوب رملي خفيف
1041	925	812	694	575	زجاج رمادي	200mm

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

					3mm gray glass	light Sand
1027	914	803	689	573	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	brick

الجدول (5) احمال التبريد لجدار بنافاذة زجاجية مواجه للجنوب عند نسب WWR المختلفة.

حمل التبريد للجدار بالاتجاه الجنوبي W					نوع النوافذ	نوع الجدار
WWR						
50%	40%	30%	20%	10%		
875	872	937	814	787	زجاج عادي 3mm clear glass	بلوك خرسانة خفيف الوزن 200mm
967	957	976	882	687	زجاج رمادي 3mm gray glass	LW concrete block
1100	1056	967	877	685	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	طوب حجري جيري 200mm Limestone Brick
519	447	494	403	284	زجاج عادي 3mm clear glass	طوب احمر 200mm Red Brick
519	522	595	435	284	زجاج رمادي 3mm gray glass	
776	727	586	430	282	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	
776	1075	936	764	652	زجاج عادي 3mm clear glass	
899	864	938	764	652	زجاج رمادي 3mm gray glass	
1062	1023	929	833	650	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	
772	859	932	762	652	زجاج عادي 3mm clear glass	طوب عادي 200mm

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

894	859	936	835	652	زجاج رمادي 3mm gray glass	Common brick
1059	1021	927	803	650	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	
634	682	731	576	461	زجاج عادي 3mm clear glass	طوب رملي 200mm
746	682	931	635	461	زجاج رمادي 3mm gray glass	light Sand brick
915	870	751	588	459	زجاج انعكاسي 6mm reflective glass	

4.2 المناقشة

4.2.1. تأثير زيادة نسبة WWR على حمل التبريد.

بصفة عامة تظهر النتائج زيادة حمل التبريد للجدار مع زيادة WWR في الاتجاهين الشرقي والجنوبي وهو ما يعكس الزيادة المستمرة في الكسب الحراري الشمسي عبر الاسطح الزجاجية مع اتساع مساحتها.

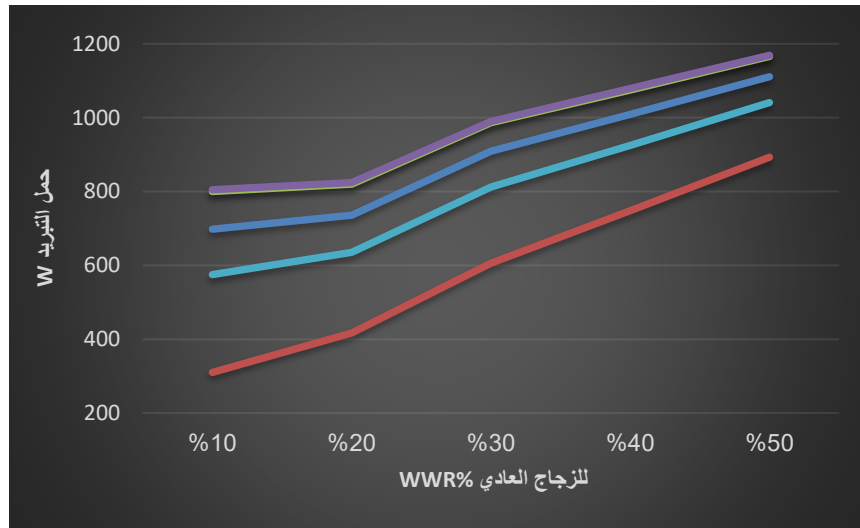
4.2.1.1 تأثير زيادة نسبة WWR على حمل التبريد لجدار يواجه الاتجاه الشرقي.

تظهر نتائج الدراسة المتعلقة بتأثير زيادة نسبة مساحة النافذة إلى مساحة الجدار (WWR) على حمل التبريد في الاتجاه الشرقي سلوكًا حراريًا شبه خطي، يتأثر بوضوح بكل من نسبة WWR، ونوع الزجاج المستخدم، والخصائص الحرارية لمواد الجدران. وبصفة عامة، يلاحظ وجود علاقة طردية بين زيادة نسبة WWR وارتفاع حمل التبريد في جميع أنواع الجدران محل الدراسة، وهو ما يعكس الزيادة المستمرة في الكسب الحراري الشمسي عبر الأسطح الزجاجية مع اتساع مساحتها. وقد سُجلت أقل قيمة لحمل التبريد (308W) عند نسبة WWR مقدارها 10% باستخدام الزجاج الانعكاسي مع جدار الطوب الحجري الجيري، في حين بلغت أعلى قيمة (1169W) عند نسبة 50% باستخدام كل من الزجاج العادي والرمادي مع جدار الطوب العادي. ويعكس هذا التباين الكبير الدور الحاسم لكل من نوع الجدار ونوع الزجاج في تحديد الأداء الحراري، خاصة عند النسب

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

المرتفعة من الفتحات. ومن حيث حساسية الجدران لتغير نسبة WWR ، يتبين أن جدار الطوب الحجري الجيري يُظهر أقل معدل تغير في حمل التبريد عبر جميع أنواع الزجاج، مما يدل على استقراره الحراري العالي. ويليه في الترتيب الطوب الرملي، ثم البلوك الخرساني خفيف الوزن، ثم الطوب الأحمر، في حين يسجل الطوب العادي أعلى معدلات التغير، الأمر الذي يشير إلى تأثيره الكبير بزيادة المساحات الزجاجية وضعف أدائه الحراري النسبي. وتوضح الأشكال (2) و(3) و(4) هذا السلوك بشكل بياني، حيث تبين تأثير زيادة نسبة WWR لكل نوع من الزجاج على حمل التبريد لمختلف أنواع الجدران في الاتجاه الشرقي، مع إبراز الفروقات في معدلات الزيادة بين الأنظمة الإنشائية المختلفة.

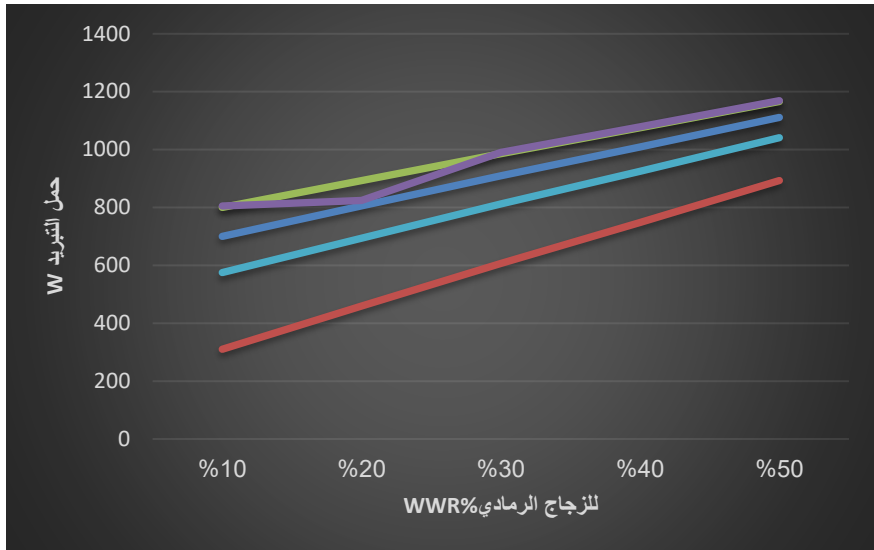


طوب رملي طوب عادي طوب احمر طوب جيرى بلوك خرستة

شكل (2) تأثير تغير نسبة WWR للزجاج العادي على حمل التبريد للجدران في الاتجاه الشرقي.

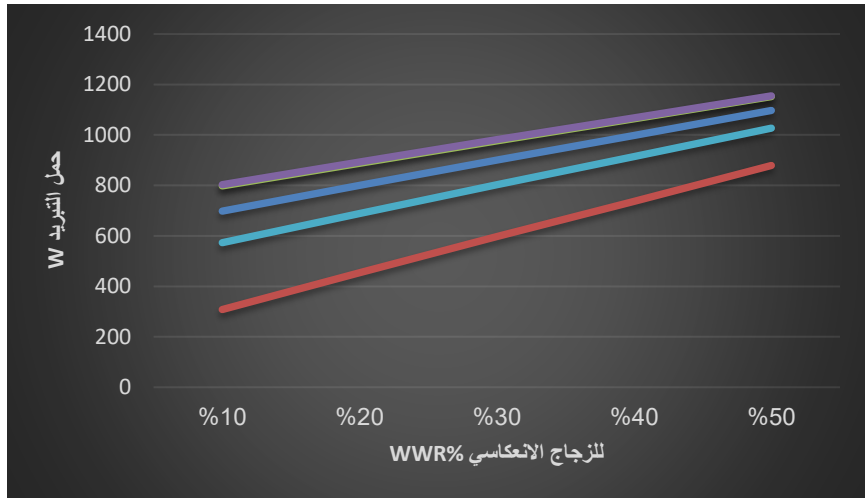
تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



طوب رملي طوب عادي طوب احمر طوب جيرى بلوك خرساتة

شكل (3) تأثير تغيير نسبة WWR للزجاج الرمادي على حمل التبريد للجدران في الاتجاه الشرقي.



طوب رملي طوب عادي طوب احمر طوب جيرى بلوك خرساتة

شكل (4) تأثير تغيير نسبة WWR للزجاج الانعكاسي على حمل التبريد للجدران في الاتجاه الشرقي.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

ويمكن تفسير الانخفاض الملحوظ في قيم حمل التبريد لجدار طوب الحجر الجيري بخصائصه الفيزيائية والحرارية المتميزة، والمتمثلة في كثافته العالية، ومقاومته الحرارية المرتفعة، وانخفاض معامل انتقال الحرارة الكلي (U-value)، كما هو موضح في جدول (1). وتساهم هذه الخصائص في تقليل انتقال الحرارة عبر الجدار وتأخير تدفقها إلى الداخل، مما يؤدي إلى تحسين الأداء الحراري وتقليل الأحمال التبريدية، خاصة في الظروف المناخية الحارة. وعليه، تؤكد النتائج أن اختيار مادة الجدار يلعب دوراً أساسياً في التحكم في استجابة المبنى لزيادة نسبة WWR، وأن التكامل بين خصائص الجدار ونوع الزجاج يعد عاملاً حاسماً لتحقيق كفاءة حرارية أفضل في التصميم المعماري وانظمة التكييف.

4.2.1.2 تأثير زيادة نسبة WWR على حمل التبريد بالاتجاه الجنوبي.

تظهر نتائج زيادة نسبة WWR على حمل التبريد بالاتجاه الجنوبي سلوكاً حرارياً غير خطي يتأثر بشكل واضح بكل من نسبة مساحة النافذة إلى مساحة الجدار (WWR)، ونوع الزجاج، ونوع طوب الجدار. بشكل عام، يزداد حمل التبريد تدريجياً مع زيادة نسبة WWR من 10% إلى 30% في جميع الحالات، وهو ما يُعزى إلى ارتفاع الكسب الحراري الشمسي عبر الزجاج، نتيجة للتعرض للإشعاع شمسي مباشر لفترات طويلة. وتمثل نسبة WWR 30% نقطة حرجة حيث تسجل معظم القيم العظمى أو القريبة من العظمى، كما يظهر بوضوح في الجدران مثل الطوب الأحمر والعادي. يلاحظ من الجدول (5) والاشكال (5) و (6) و (7) بصفة عامة في حالة الجدار المواجه للاتجاه الجنوبي يعطى طوب الحجر الجيري اقل حمل تبريد عند جميع النسب مقارنةً بالجدران الأخرى لجميع أنواع الزجاج المستخدم. ويأتي يليه في الترتيب الطوب الرملي ثم الطوب العادي ثم الطوب الأحمر ثم البلوك الخرساني للزجاج الرمادي والانعكاسي. في حين ان الطوب الخرساني مع الزجاج العادي سجل اعلى قيم حمل تبريد عند النسب من 10% الي 30% ومن 47% الي 50% WWR ومن نسبة 30% الي 47% سجل الطوب الأحمر اعلى قيم. بعد هذه النسبة 30% WWR، يتباين السلوك الحراري حسب نوع الزجاج؛ حيث

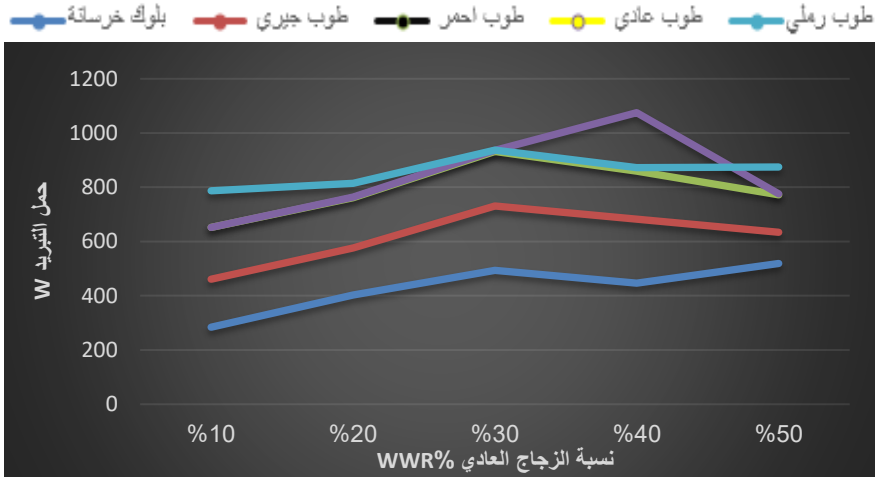
تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

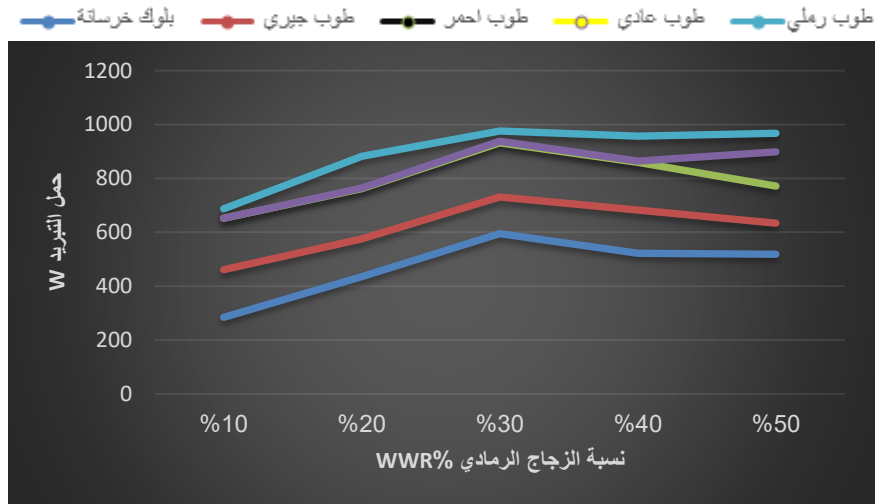
يُلاحظ في حالة الزجاج العادي حدوث انخفاض أو استقرار نسبي في حمل التبريد عند نسب 40% و 50%، كما في الطوب الرملي والعادي، وهو ما يمكن تفسيره بتشبع الكسب الحراري الشمسي وتزايد تأثير التظليل الذاتي للواجهة. في المقابل، يُظهر الزجاج الرمادي سلوكًا أكثر استقرارًا، مع استمرار الزيادة في بعض الحالات نتيجة تقليل شدة الإشعاع، مما يجعل تأثير مساحة الزجاج أكثر وضوحًا. أما الزجاج الانعكاسي، فيُظهر اتجاهًا مغايرًا يتمثل في استمرار زيادة حمل التبريد مع ارتفاع WWR ، خاصة عند النسب الكبيرة، كما هو واضح في البلوك الخرساني والطوب الأحمر، مما يشير إلى أن تأثير الانعكاس لا يكون كافيًا للحد من الكسب الحراري في الواجهات الجنوبية عند المساحات الكبيرة، وقد يرتبط ذلك بزيادة الإشعاع المنتشر أو إعادة الإشعاع الحراري. من جهة أخرى، يؤكد الجدول (5) أن نوع الجدار يلعب دورًا حاسمًا في تحديد مستوى حمل التبريد، حيث يسجل الطوب الجيري أدنى القيم في جميع الحالات، مما يعكس كفاءته العالية في العزل والتخزين الحراري، بينما يسجل البلوك الخرساني خفيف الوزن أعلى القيم نتيجة ضعف مقاومته الحرارية. وتظهر الجدران الأخرى، مثل الطوب الأحمر والعادي والرملي، سلوكًا متوسطًا مع حساسية ملحوظة لتغير نسبة WWR ونوع الزجاج. بناءً على ذلك، يمكن الاستنتاج أن الأداء الحراري الأمثل في الاتجاه الجنوبي يتحقق عند نسب WWR متوسطة (حوالي 20%–30%)، مع استخدام جدران ذات كتلة حرارية عالية، وزجاج قادر على تقليل الكسب الشمسي دون التسبب في تأثيرات عكسية عند المساحات الكبيرة، وهو ما يؤكد أهمية التكامل بين عناصر الغلاف الخارجي في تصميم المباني بالمناخات الحارة.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



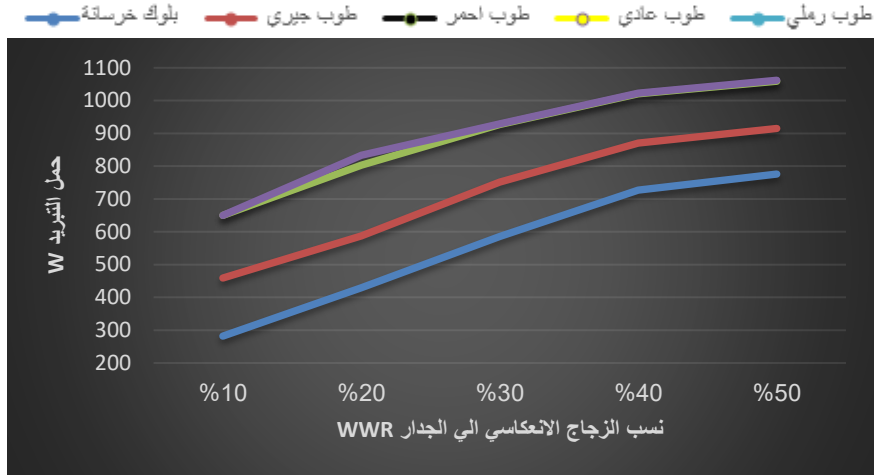
شكل (5) تأثير تغيير نسبة WWR للزجاج العادي على حمل التبريد للجدران في الاتجاه الجنوبي.



شكل (6) تأثير تغيير نسبة WWR للزجاج الرمادي على حمل التبريد للجدران في الاتجاه الجنوبي.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



شكل (7) تأثير تغيير نسبة الزجاج الانعكاسي على حمل التبريد للجدران في الاتجاه الجنوبي.

3.2.2. تأثير نوع زجاج النافذة على حمل التبريد لنفس الجدار.

تظهر النتائج تقارب قيم حمل التبريد لأنواع الزجاج المستخدمة لنفس الجدار بالاتجاه الشرقي وتباينها في الاتجاه الجنوبي.

3.2.2.1. تأثير نوع زجاج النافذة على حمل التبريد لنفس الجدار بالاتجاه الشرقي.

تُظهر نتائج الدراسة أن قيم حمل التبريد لجدار بأطالته الشرقي للجدران محل التحليل تتسم بدرجة عالية من التقارب عند مقارنة أنواع الزجاج المختلفة (العادي، الرمادي، والانعكاسي) عند نفس نسبة مساحة النافذة إلى الجدار. (WWR) ويتضح من الأشكال (8) و(9) و(10) و(11) و(12) أن الفروق بين هذه الأنواع تظل محدودة في نطاق نسبة WWR من 10% الي 50%، مع ملاحظة احتفاظ الزجاج الانعكاسي—ذو السمك الأكبر (6mm) بقيم أقل نسبياً لحمل التبريد مقارنة بالزجاجين العادي والرمادي (3mm)، وذلك بشكل شبه منتظم عبر مختلف النسب. يمكن تفسير هذا التقارب في القيم استناداً إلى تقارب معاملات الانتقال الحراري الكلي (U) للأنواع الثلاثة من الزجاج المستخدمة، كما هو مبين في جدول (2). فبما أن قيم U متقاربة، فإن الجزء المرتبط بانتقال الحرارة بالتوصيل عبر الزجاج يظل شبه ثابت بين الحالات المختلفة، مما يعني أن مساهمة

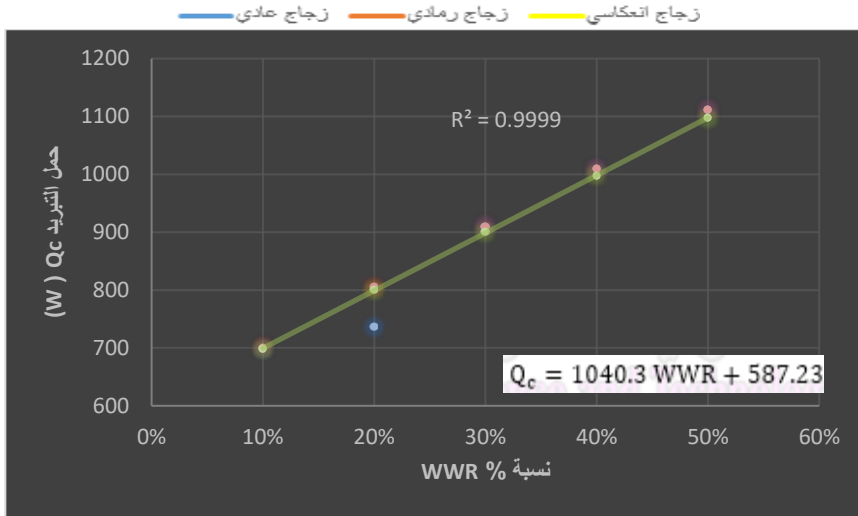
تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

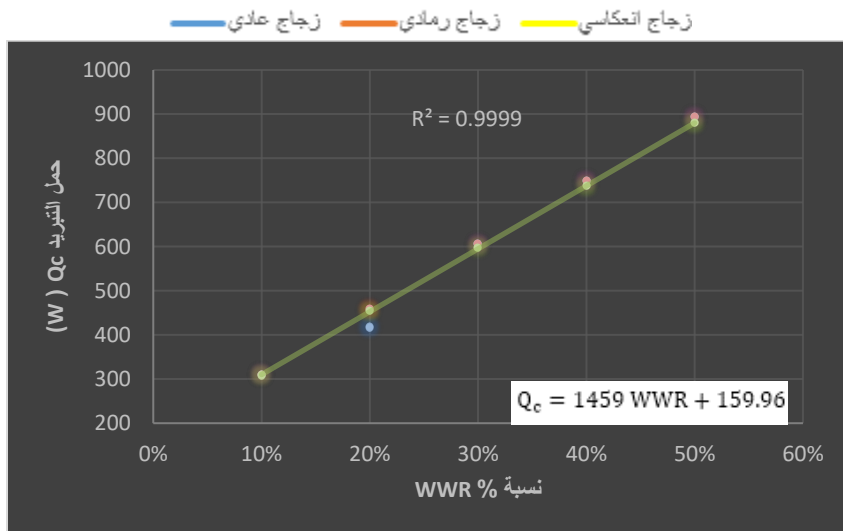
التوصيل في حمل التبريد لا تُحدث فروقاً جوهرياً بين أنواع الزجاج. وبناءً عليه، فإن الاختلافات المحدودة المرصودة تُعزى بدرجة أكبر إلى الفروقات في الخصائص الإشعاعية (مثل الانعكاسية والامتصاصية والنفاذية الشمسية)، والتي تمنح الزجاج الانعكاسي قدرة أفضل نسبياً على تقليل الكسب الشمسي، خاصة عند التعرض المباشر للإشعاع. علاوة على ذلك، تتضمن الأشكال (8) و(9) و(10) و(11) و(12) رسم بياني تمثل معادلات تنبؤيه (Models Regression) تم حسابها لكل نوع من الجدران، بهدف توصيف العلاقة بين WWR وحمل التبريد ضمن النطاق المدروس. وتُظهر هذه المعادلات قيم ارتباط عالية جداً $r = 0.998$ في تمثيل السلوك العام للبيانات، حيث تتيح تقدير حمل التبريد عند أي قيمة ضمن نطاق من 10% الي 50% دون الحاجة إلى محاكاة إضافية. ويُلاحظ أن ميل منحنى التنبؤ يختلف باختلاف نوع الجدار، بما يعكس حساسية كل نظام إنشائي للتغير في نسبة WWR. ففي حالة الجدار الحجري الجيري، يظهر منحنى التنبؤ بميل أكبر نسبياً، مع حفاظه في الوقت ذاته على أدنى قيم لحمل التبريد عبر جميع نسب WWR، وهو ما يعكس كفاءة هذا الجدار من حيث الكتلة الحرارية وقدرته على تخزين وتأخير انتقال الحرارة. في المقابل، يسجل جدار الطوب العادي أقل ميل في معادلة التنبؤ، إلا أنه يُظهر أعلى قيم لحمل التبريد عند جميع النسب، مما يدل على ضعف أدائه الحراري النسبي مقارنة بباقي الأنواع. ويشير ذلك إلى أن قيمة الميل لا ترتبط فقط بمقدار الحمل، بل بدرجة استجابة الحمل للتغير في WWR، في حين يبقى المستوى المطلق للحمل مرتبطاً بخصائص الجدار الحرارية. وبوجه عام، تؤكد هذه النتائج أن تأثير نوع الزجاج على حمل التبريد لنفس الجدار بالاتجاه الشرقي يظل محدوداً نسبياً عند ثبات سمك وقيم(U)، وأن الاختلافات الرئيسية في الأداء الحراري تعود بدرجة أكبر إلى خصائص الجدران نفسها. كما تبرز أهمية استخدام النماذج التنبؤية كأداة فعّالة لدعم قرارات التصميم، خاصة عند تقييم تأثير نسب WWR ضمن مراحل التصميم المبكرة في المباني الواقعة في المناخات الحارة.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



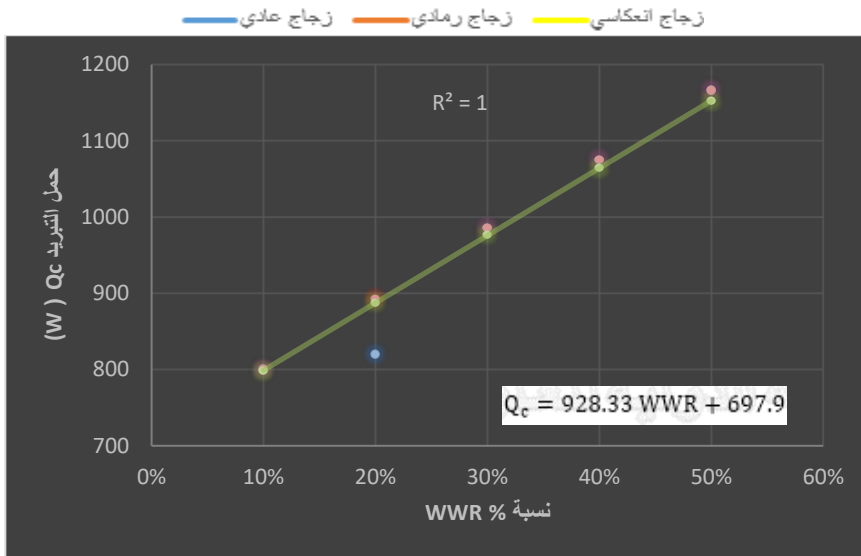
الشكل (8) تأثير تغيير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار بلوك خرسانة.



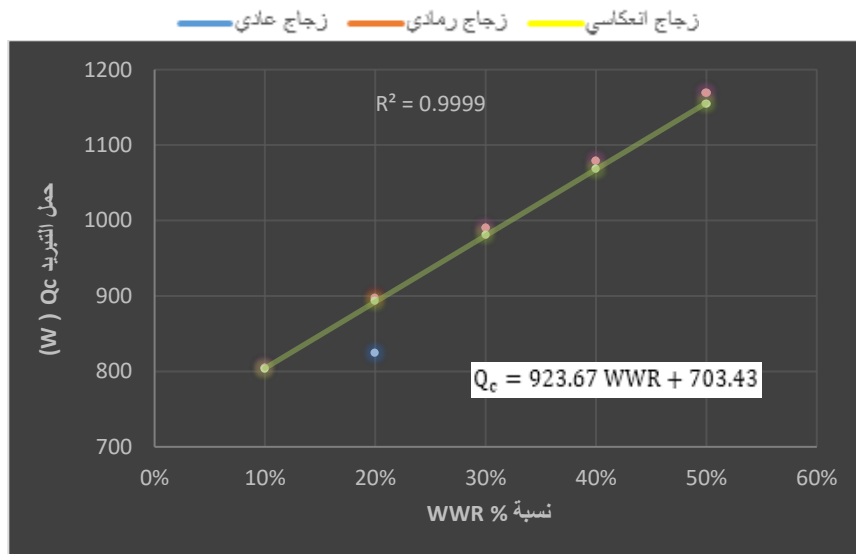
الشكل (9) تأثير تغيير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار الحجر الجيري.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



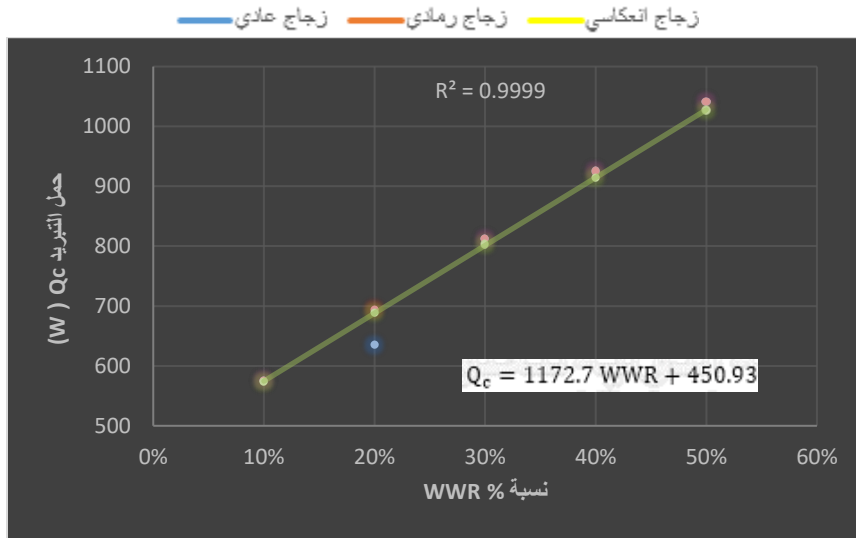
الشكل (10) تأثير تغير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار الطوب الاحمر.



الشكل (11) تأثير تغير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار طوب العادي.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



الشكل (12) تأثير تغير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار طوب رملي خفيف.

3.2.2.2. تأثير نوع زجاج النافذة على حمل التبريد لنفس الجدار بالاتجاه الجنوبي.
توضح الأشكال من 13 الي 17 السلوك الحراري لأحمال التبريد لنفس الجدار في الاتجاه الجنوبي مع تغير نوع الزجاج ونسبة مساحة النوافذ إلى الجدار (WWR) ، حيث يظهر تباين واضح يعكس الطبيعة غير الخطية للعلاقة بين هذه المتغيرات. فكما يبين الشكل (13)، في حالة جدار البلوك الخرساني خفيف الوزن، تسجل أقل قيم حمل التبريد عند النسب المنخفضة (10%-15%) باستخدام الزجاج الرمادي والانعكاسي، نتيجة انخفاض نفاذية الإشعاع الشمسي، إلا أن هذا السلوك يتغير مع زيادة WWR ، حيث يصبح الزجاج العادي هو الأقل حملاً عند النسب الأكبر (15%-50%). في المقابل، تتقارب أعلى القيم بين الزجاج الرمادي والانعكاسي حتى نسبة 30%، ثم ينفرد الزجاج الانعكاسي بتسجيل أعلى القيم عند النسب الأعلى، مما يشير إلى محدودية كفاءته في تقليل الكسب الحراري عند المساحات الزجاجية الكبيرة. وبالانتقال إلى جدار الطوب الجيري، يوضح الشكل (14) أن الزجاج العادي يحقق أقل قيم حمل التبريد عند جميع نسب WWR ، وهو ما يعكس تأثير الكتلة الحرارية العالية للجدار في تقليل انتقال الحرارة. كما تتقارب

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

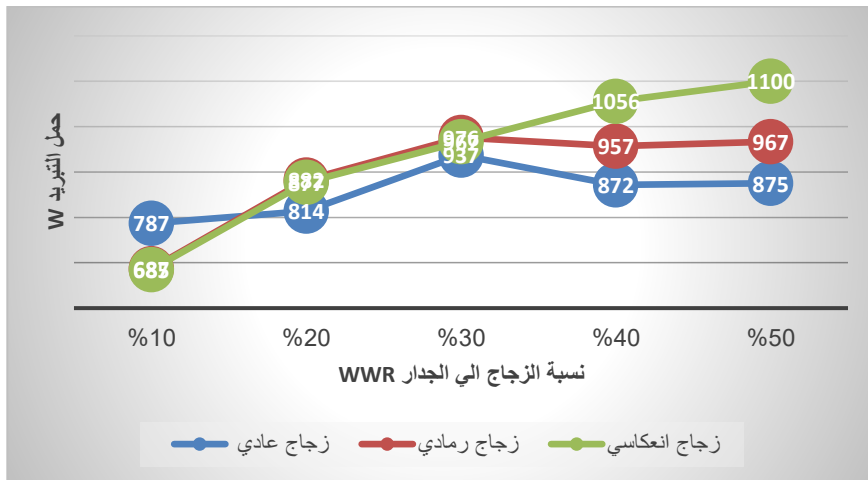
<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

أعلى القيم بين الزجاج الرمادي والانعكاسي حتى نسبة 30%، بينما يسجل الزجاج الانعكاسي أعلى القيم عند النسب الأكبر (30%-50%)، مما يدل على زيادة تأثير الإشعاع المنتشر وإعادة الإشعاع داخل الفراغ. أما في حالة جدار الطوب الأحمر، كما يظهر في الشكل (15)، فيلاحظ أن أقل قيم حمل التبريد تكون متقاربة بين الزجاج العادي والرمادي عند النسب المنخفضة (10%-30%)، ثم يفرد الزجاج العادي بتحقيق أقل القيم عند النسب المتوسطة والعالية حتى حوالي 47%. في حين تتوزع القيم العليا بين الزجاج الانعكاسي عند النسب المنخفضة، والزجاج العادي عند النسب المتوسطة، قبل أن يعود الزجاج الانعكاسي ليسجل أعلى القيم عند النسب الكبيرة (42%-50%)، وهو ما يعكس تفاعلاً معقداً بين خصائص الإشعاع وخواص الجدار. وفيما يتعلق بجدار الطوب العادي، يوضح الشكل (16) أن أقل القيم تتحقق باستخدام الزجاج العادي حتى نسبة 30%، ثم تتقارب مع الزجاج الرمادي حتى 40%، قبل أن يعود الزجاج العادي لتسجيل أقل القيم عند النسب الأعلى. بينما تسجل أعلى القيم للزجاج العادي عند النسب المنخفضة، وللزجاج الانعكاسي عند النسب المرتفعة، مما يشير إلى تغير تأثير نوع الزجاج مع زيادة مساحة الفتحات. أما جدار الطوب الرملي، فيُظهر الشكل (17) تقارباً في أقل القيم بين الزجاج العادي والانعكاسي حتى نسبة 30%، ثم يتفوق الزجاج العادي عند النسب الأعلى، مع نقطة تقارب عند 40%. في المقابل، تسجل أعلى القيم للزجاج الرمادي حتى حوالي 35%، ثم للزجاج الانعكاسي عند النسب الأكبر، مما يعكس تغير آليات انتقال الحرارة مع زيادة WWR وبوجه عام، تؤكد هذه النتائج كما هو موضح في الأشكال (13) و(14) و(15) و(16) و(17) أن كفاءة أنواع الزجاج تختلف باختلاف نسبة WWR، حيث يكون الزجاج الرمادي والانعكاسي أكثر فاعلية عند النسب الصغيرة نتيجة تقليل الكسب الشمسي المباشر، بينما يتراجع أداءهما عند النسب الكبيرة بسبب تأثيرات مثل تشبع الكسب الحراري، وزيادة الإشعاع المنتشر، وإعادة الإشعاع داخل الفراغ. في المقابل، يُظهر الزجاج العادي أداءً أكثر استقراراً عند النسب المتوسطة والعالية في العديد من الحالات، خاصة عند دمجها مع جدران ذات كتلة حرارية مرتفعة. وبالتالي، فإن

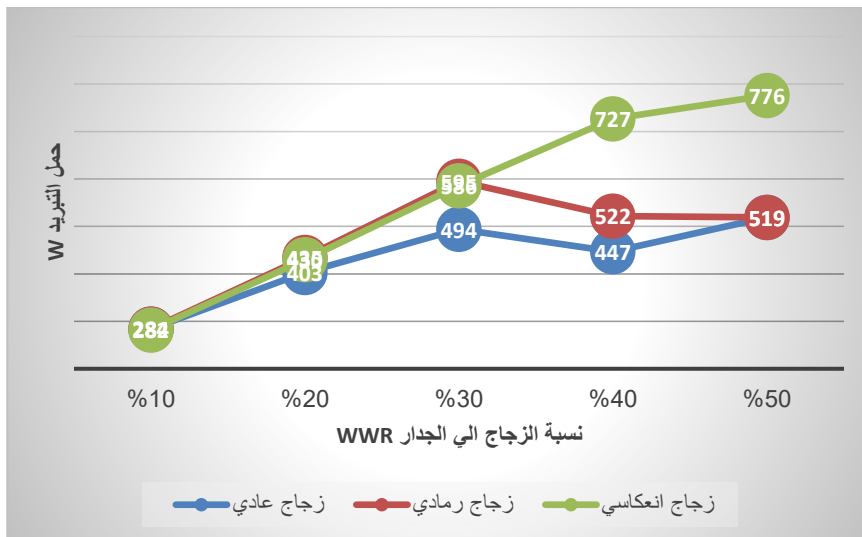
تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

اختيار نوع الزجاج الأمثل يجب أن يتم في إطار تكاملي مع نسبة WWR ونوع الجدار،
لتحقيق أفضل أداء حراري في الواجهات الجنوبية ضمن المناخات الحارة.



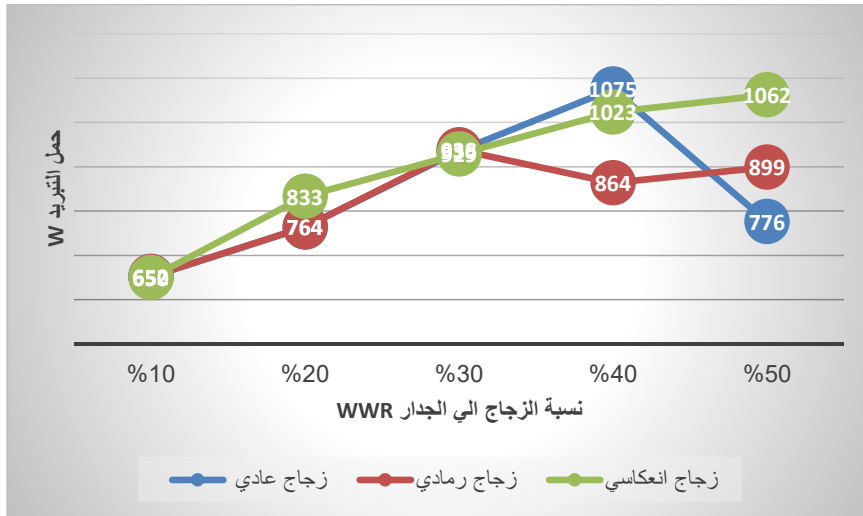
الشكل (13) تأثير تغير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار بلوك خرسانة.



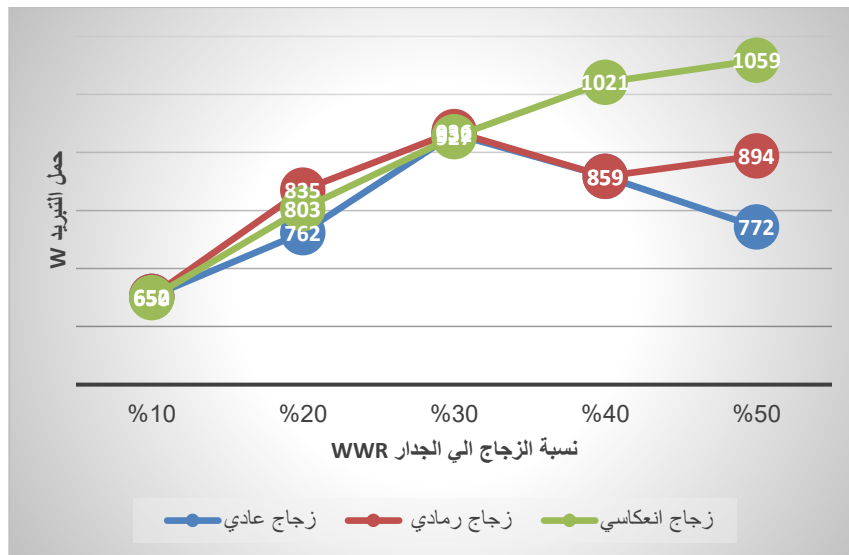
الشكل (14) تأثير تغير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار الحجر الجيري.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



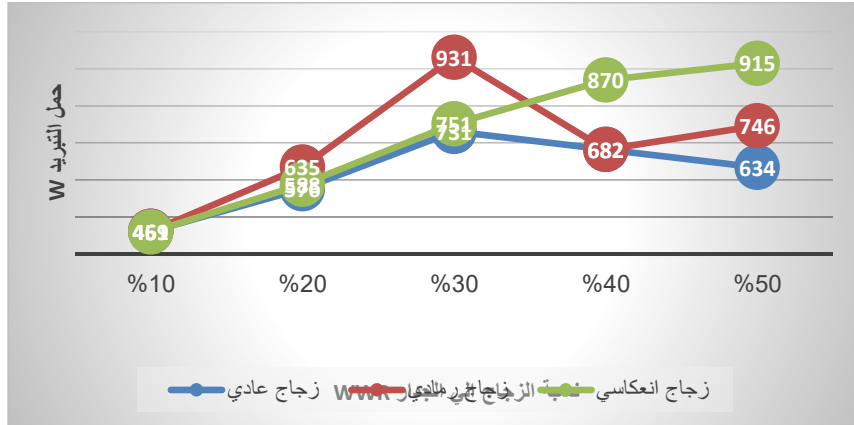
الشكل (15) تأثير تغير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار الطوب الاحمر.



الشكل (16) تأثير تغير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار الطوب العادي.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



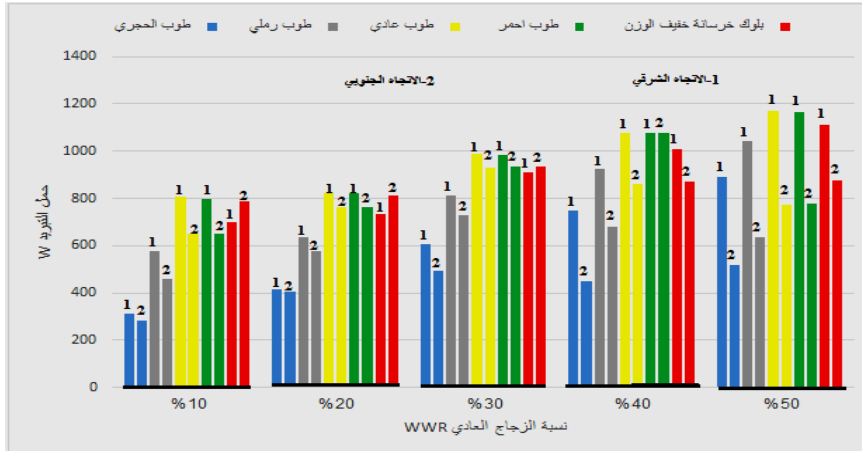
الشكل (17) تأثير تغيير نوع ونسبة الزجاج WWR على حمل التبريد لجدار الطوب الرملي.

3.2.3 مقارنة بين احمال التبريد للجدار المواجه للاتجاه الشرقي والجدار المواجه للاتجاه الجنوبي.

بشكل عام احمال التبريد لجميع انواع الجدران ونسب والزجاج عند اغلبية نسب WWR دائما اعلى بالنسبة للجدار المواجه للاتجاه الشرقي مقارنة بالاتجاه الجنوبي، باستثناء عند النسب 10% و20% و30% في حالة الجدار الخرساني حيث يكون حمل التبريد اعلى في الاتجاه الجنوبي مقارنة بالاتجاه الشرقي شكل (18). وذلك نتيجة لتعرض الجدار المباشر والمكثف للإشعاع الشمسي في الاتجاه الشرقي. أما في حالة الجدار المواجه للاتجاه الجنوبي، فهي أقل حدة مقارنة بالاتجاه الشرقي، ويُعزى ذلك إلى زاوية سقوط الإشعاع الشمسي التي تقلل من شدة النفاذ المباشر.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>



الشكل (18) مقارنة حمل التبريد لجميع أنواع الجدران بين الاتجاهين الشرقي والجنوبي عند نسب WWR للزجاج العادي.

بصفة عامة غالبية نسب الفرق ذات الإشارة الموجبة بين حمل التبريد للجدار المواجه للاتجاه الشرقي والجدار المواجه للاتجاه الجنوبي الجدول (6 و 7 و 8) لجميع أنواع الجدران وأنواع الزجاج عند جميع النسب WWR تعني ان حمل التبريد في الاتجاه الشرقي أكبر من نظيره في الاتجاه الجنوبي. ويلاحظ من جميع الجداول ان الجدار المواجه للاتجاه الجنوبي يعطى اقل حمل تبريد عند جميع نسب WWR لجميع أنواع الزجاج. والنسب ذات الإشارة السالبة تعطى اقل حمل تبريد في الاتجاه الشرقي. من الجدول (6) يوضح قيم سالبة لنسبة الفرق وهي في حالة البلوك الخرساني للزجاج العادي عند نسب WWR 10%، 20%، 30% والجدول (7) عند 20%، 30% والجدول (8) عند نسب 20%، 30%، 40%، 50% والطوب الرملي للزجاج الرمادي عند نسبة 30%. تمكن هذه الجداول مهندسين التبريد والتكييف مع مهندسين التصميم المعماري من وجود فرصة خيارات عديدة من الجدران ونسبة WWR ونوع الزجاج والاتجاه التي تعطي اقل احمال تبريد على حسب ظروف موقع المبنى والتصميم الذي يختاروها.

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

جدول (6) نسب فرق حمل التبريد للجدار بين الاتجاه الشرقي والجنوبي للزجاج العادي.

نسبة WWR للزجاج العادي					نوع الجدار
50%	40%	30%	20%	10%	
نسبة الفرق في حمل التبريد للجدار بين الاتجاه الشرقي والجنوبي					
26.9 % من 875W	15.7% من 872W	-2.9% من 937W	-9.5% من 814W	-11.3% من 787W	بلوك خرسانة
72.06% من 519W	67.33% من 447W	22.67% من 494W	3.47% من 403W	9.15 % من 284W	حجر جيرى
50% من 776W	0% من 1075W	5.32% من 936W	7.32% من 764W	22.69% من 652W	طوب احمر
51.42% من 772W	25.6% من 859W	6.22% من 932W	8.13% من 835W	23.4% من 652W	طوب عادي
64.19% من 634W	35.63% من 682W	11.08% من 731W	10.24% من 576W	24.7% من 461W	طوب رملي

جدول (7) نسب فرق حمل التبريد للجدار بين الاتجاه الشرقي والجنوبي للزجاج الرمادي.

نسبة WWR للزجاج الرمادي					نوع الجدار
50%	40%	30%	20%	10%	
نسبة الفرق في حمل التبريد للجدار بين الاتجاه الشرقي والجنوبي					
14.8 % من 967W	5.4% من 957W	-6.8% من 976W	-8.7% من 882W	1.89% من 687W	بلوك خرسانة
72.06% من 519W	43.2% من 522W	1.84% من 595W	5.51% من 435W	9.15 % من 284W	حجر جيرى
29.6% من 899W	24.4% من 864W	5.11% من 938W	16.88% من 764W	22.69% من 652W	طوب احمر
30.76% من 894W	25.6% من 859W	5.7% من 936W	7.5% من 835W	23.4% من 652W	طوب عادي
39.54% من 746W	35.63% من 682W	-12.78% من 931W	9.29% من 635W	24.7% من 461W	طوب رملي

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

جدول (8) نسب فرق حمل التبريد للجدار بين الاتجاه الشرقي والجنوبي للزجاج الانعكاسي.

نسبة WWR للزجاج الانعكاسي					نوع الجدار
50%	40%	30%	20%	10%	
نسبة الفرق في حمل التبريد للجدار بين الاتجاه الشرقي والجنوبي					
-0.27 % من 1100W	-5.4% من 1056W	-6.9% من 967W	-8.7% من 877W	1.89% من 685W	بلوك خرسانة
13.27% من 776W	1.37% من 727W	1.87% من 586W	5.58% من 430W	9.21 % من 282W	حجر جيرى
8.47% من 1062W	4.0% من 1023W	5.16% من 929W	6.60% من 833W	22.76% من 650W	طوب احمر
9.0% من 1059W	4.6% من 1021W	5.8% من 927W	11.2% من 803W	23.5% من 650W	طوب عادي
12.24% من 915W	5.05% من 870W	6.92% من 751W	17.17% من 588W	24.8% من 459W	طوب رملي

الخلاصة

اظهرت نتائج الدراسة ان حمل التبريد للجدار يتأثر بشكل مباشر بكل من الاتجاه الذي يوجهه الجدار (شرقي، جنوبي) ونسبة مساحة النافذة الي الجدار WWR ونوع زجاج النافذة ونوع الطوب المستخدم لبناء الجدار. حيث أظهرت النتائج أن زيادة نسبة WWR تؤدي عمومًا إلى ارتفاع حمل التبريد نتيجة زيادة الكسب الحراري الشمسي عبر الأسطح الزجاجية. كذلك حمل التبريد لأغلب الحالات يكون أكبر بالنسبة للجدار المواجه للاتجاه الشرقي مقارنة بذلك المواجه للاتجاه الجنوبي بسبب شدة الإشعاع الشمسي المباشر خلال ساعات الصباح. والاتجاه الجنوبي يظهر سلوكًا حراريًا أكثر استقرارًا نسبيًا نتيجة اختلاف زاوية سقوط الإشعاع وتأثيرات التظليل الذاتي عند النسب المرتفعة من WWR. فيما يتعلق بنوع الجدار اظهرت النتائج ان الجدران ذات الكتلة الحرارية العالية، وعلى وجه الخصوص جدار الطوب الحجر الجيري، أقل قيم لأحمال التبريد في معظم الحالات المدروسة، ويرجع ذلك إلى ارتفاع مقاومتها الحرارية وقدرتها على تخزين وتأخير انتقال الحرارة إلى الداخل. في حين ان البلوك الخرساني خفيف الوزن والطوب العادي، سجل

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

قيماً أعلى لأحمال التبريد. كما بينت الدراسة ان لنوع الزجاج تأثير محدود نسبياً على قيم
احمال التبريد عند جميع نسب WWR للجدران الموجهة للاتجاه الشرقي، بينما ظهر تأثير
نوع الزجاج بصورة واضحة في الاتجاه الجنوبي خاصة عند النسب المرتفعة من WWR.
اظهرت الدراسة على ان حمل التبريد المثالي لا يعتمد على عنصر واحد فقط، بل على
التفاعل المشترك بين جميع مكونات الجدار (طوب، زجاج، نسبة مساحة نافذه الي مساحة
الجدار) واتجاه الجدار. نظراً لمحدودية تأثير نوع الزجاج على حمل التبريد في الاتجاه
الشرقي تم حساب معادلات تنبؤية حسب نوع الجدار تستخدم لتنبؤ بقيم احمال التبريد
للجدران المتجه شرقاً في حدود نطاق نسب WWR المحددة في الدراسة. وبناءً على ما
سبق، يفضل اختيار نسب WWR متوسطة تتراوح تقريباً بين 20% و30% في المباني
الواقعة ضمن المناخات الحارة، مع استخدام جدران ذات كتلة حرارية مرتفعة (حجر جيري)
وزجاج قادر على الحد من الكسب الشمسي دون التسبب في تأثيرات حرارية عكسية عند
المساحات الكبيرة (زجاج الانعكاسي)، لما لذلك من دور مهم في خفض أحمال التبريد
وتحسين كفاءة الطاقة وتحقيق بيئة داخلية أكثر راحة واستدامة.

التوصيات

- 1- اجراء نفس الدراسة على الاتجاه الغربي والشمالي.
- 2- اجراء نفس الدراسة على أنواع أخرى من الطوب.
- 3- اجراء نفس الدراسة على أنواع أخرى من زجاج النوافذ.
- 4- اجراء نفس الدراسة بنفس المواد والمكونات على مبنى متعدد الطوابق لدراسة تأثير
الارتفاع على حمل التبريد.

المراجع

- [1] Samah K. Alghoul, Hassan G. Rijabo, Mohamed E. Mashena, "Energy Consumption in Buildings: A Correlation for the Influence of Window to Wall Ratio and Window Orientation in Tripoli, Libya "Journal of Building Engineering, Volume 11, May 2017, Pages 82-

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

- 86.<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710217301894?via%3Dihub>
- [2] Meral Ozell, Cihan Ozel "Effect of window-to-wall-area ratio on thermal performance of building wall materials in Elazığ, Turkey" PLoS ONE, Volume 15, 1 SEP 2020, Issue 9
<https://pdfs.semanticscholar.org/5b3d/358d42b53d1056321aee53024726b72d7897.pdf>
- [3] Ahmad Abdalla, MD Islam, Isam Janajreh " Influence of building orientation on cooling load: A comparative study "International Journal of Thermofluids, 27 (2025) 101244.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202725001910>
- [4] Jiayu Li, Bohong Zheng, Komi Bernard Bedra, Zhe Li, and Xiao Chen "Evaluating the Effect of Window-to-Wall Ratios on Cooling-Energy Demand on a Typical Summer Int. J. Environ. Res. Public Health, Volume 18, 9 August2021, 8411.
<https://www.mdpi.com/1660-4601/18/16/8411>
- [5] Asim Ahmad, Om Prakash, L.S.Brar, Kashif Irshad,S.M. Mozammil Hasnain, Prabhu Paramasivam,Abinet Gosaye Ayanie "Effect of Wall, Roof, and Window-to-Wall Ratio on the Cooling and Heating Load of a Building in India" Energy Science & Engineering, Volume13, Issue3, March 2025, Pages 1255-1279.
<https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ese3.2066>.
- [6] S. Shareef, The impact of urban morphology and building's height diversity on energy consumption at urban scale. The case study of Dubai, Build. Environ. 107675 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107675> [Online]. Available.
- [7] M. Kamaruddin, Investigation of the impact of building orientation on cooling loads in an office building in the tropical climate, J. Sci., Technol. Virtual Culture 1 (1) (2021) 35–43.
<https://journal.itera.ac.id/index.php/jstvc/article/view/546>.
- [8] H. Tawfeeq, A. Muhammed and A Qaradaghi" Optimising Window-to-Wall Ratio for Enhanced Energy Efficiency and

تقييم تأثير اتجاه ونوع الجدار وزجاج النافذة ونسبة مساحة النافذة الى مساحة الجدار على
أحمال التبريد

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-rd63>

- Building Intelligence in Hot Summer Mediterranean Climates" Sustainability 2024, 16(17), 7342.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/16/17/7342>.
- [9] ASHRAE, ASHRAE Handbook—Fundamentals, Atlanta, GA, USA: ASHRAE, 2021.
<https://www.slideshare.net/slideshow/2021-ashrae-handbook-fundamentals-i-ppdf/259702490>.
- [10] R. C. Resources, "F17 SI: Residential Cooling and Heating Load Calculations," in ASHRAE handbook fundamentals, 2017, p. F17. <https://www.ashrae.org/advertising/handbook-advertising/fundamentals/residential-cooling-and-heating-load-calculations>.
- [11] <https://carrier-hourly-analysisprogram.software.informer.com>