



دراسة توازن الطاقة والراحة الحرارية في الفضاء التعليمي الجامعي في بغداد – العراق

احمد عصام علي الكاظم

¹ قسم هندسة العمارة، جامعة بغداد، بغداد، العراق، a.i.alkadhim@coeng.uobaghdad.edu.iq

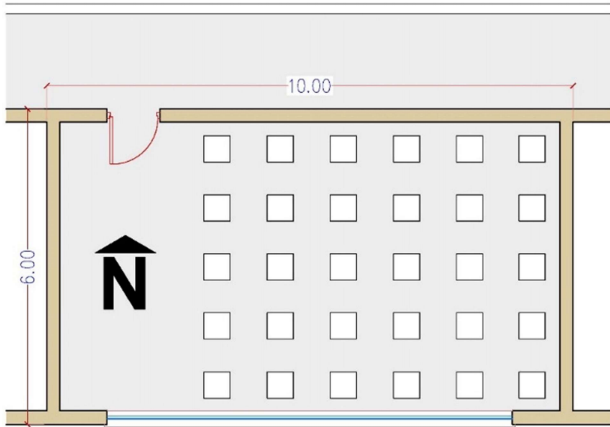
* الباحث الممثل: احمد عصام علي الكاظم ، a.i.alkadhim@coeng.uobaghdad.edu.iq

نشر في: 31 اذار 2025

الخلاصة – تهدف هذه الدراسة إلى تحليل توازن الطاقة وظروف الراحة الحرارية في الفضاء التعليمي الجامعي ببغداد، العراق، مع تقييم استراتيجيات التصميم التي تسهم في تحسين جودة البيئة الداخلية وتقليل استهلاك الطاقة. يعتمد البحث على حساب التوازن الحراري في الحالة الثابتة لفصل دراسي نموذجي تبلغ مساحته 60 متر مربع، تم تصميمه وفقاً للممارسات المعمارية السائدة في العراق والتي تعتمد على تبريد منفعل محدود وأنظمة تكيف هواء فعالة. وقد تم الحصول على بيانات المناخ من برنامج "ميتيونورم 7" والتحقق منها عبر سجلات الأرصاد الجوية المحلية، مما أتاح تسليط الضوء على الظروف المناخية القاسية في بغداد التي تتسم بإشعاع شمسي مكثف ودرجات حرارة مرتفعة. يتناول التحليل عوامل عدة تؤثر في الأداء الحراري، منها معدلات التهوية والاختراق الهوائي واكتساب الحرارة عبر النوافذ، في ظل تأثير محدود لخصائص النسيج البنائي. وأظهرت النتائج أن كثافة الأشغال وارتفاع معدلات التهوية غير المنضبطة يسهمان في تحقيق مكسب حراري صافي، مما يزيد من أحمال التبريد في الصيف، بينما يوفر ذلك فقداناً مفيداً للحرارة في الشتاء. وتبرز الدراسة أهمية دمج تدابير التصميم المنفعل مثل استخدام الظلال الخارجية القابلة للتعديل، وتحسين نسب النوافذ إلى الجدران، واعتماد تقنيات الزجاج المبتكرة لاستغلال الطاقة الشمسية بفعالية، مما يساهم في تعزيز ممارسات التصميم المستدام في المناخات الحارة والجافة.

الكلمات الرئيسية – "توازن الطاقة"، "الراحة الحرارية"، "التصميم المستدام"، "التصاميم المنفصلة"، "الإحمال الشمسية"، "العمارة العراقية".

1. المقدمة



الشكل 1: مساحة تدريس تبلغ مساحتها 60 م² في بغداد – العراق، باعتبارها جزءاً من مبنى تعليمي [6]

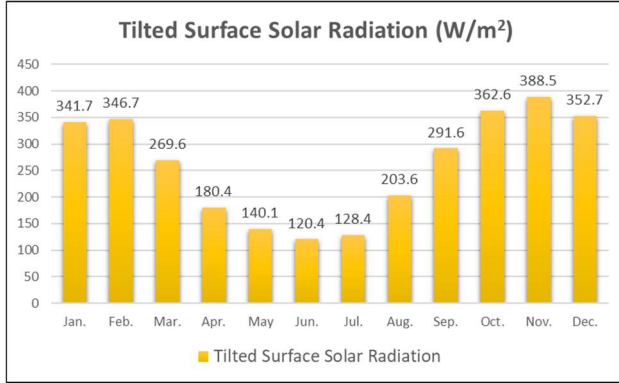
2. مناخ بغداد – العراق

يقع العراق في جنوب غرب آسيا بين خطي طول 38° 45' و 48° 45'، وخطي عرض 29° 5' و 37° 22'. ويتكون من أربع مناطق جغرافية رئيسية. أولاً، المرتفعات الشمالية لنهر دجلة والفرات الواقعة إلى الشمال الغربي من بغداد، وهي عبارة عن سهول حصوية ذات غطاء نباتي متفرق. ثانياً، المنطقة الشمالية الشرقية الجبلية التي تضم عدة أحواض نهريّة. ثالثاً، السهول الرسوبية ذات الارتفاع المنخفض التي تغطي الأجزاء الوسطى والجنوبية من البلاد. وأخيراً، الصحراء التي تمتد عبر المناطق الغربية

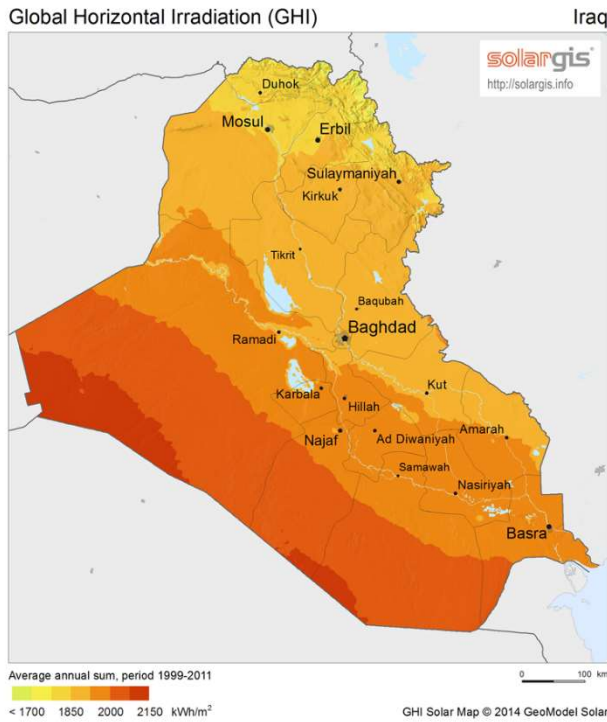
قضى الطلاب معظم وقتهم في المساحات التعليمية مثل الفصول الدراسية، وقاعات التدريس، والمدرجات. وعليه، من الضروري توفير بيئة تعليمية صحية تتمتع بجودة هواء داخلي جيدة، وإضاءة مناسبة، بالإضافة إلى تحقيق راحة حرارية ملائمة. إذ إن عدم توافر ظروف الراحة الحرارية المرضية أو الإضاءة الكافية قد يؤثر سلباً على أداء الطلاب وتجربتهم التعليمية [22]. علاوة على ذلك، فإن تقليل استهلاك الطاقة في المرافق التعليمية من خلال تحسين مواصفات غلاف المبنى أو تبني استراتيجيات التصميم المنفعل يسهم في الجهود العالمية للحد من انبعاثات الكربون [1].

يهدف هذا البحث إلى دراسة استهلاك الطاقة ومستويات الراحة الحرارية في المساحات التعليمية داخل الجامعات. يركز البحث على مساحة تدريس تبلغ مساحتها 60 م² في بغداد – العراق، باعتبارها جزءاً من مبنى تعليمي الشكل [1] تبلغ أبعاد هذه الفضاء 10 م للواجهة الأمامية × 6 م عمقاً، وارتفاع 3.25 م. تبلغ كثافة الإشغال شخص واحد لكل 2 م² [16]. أما معامل العزل الحراري لملابس الطلاب فهو clo 0.6 خلال فصل الصيف، و clo 1 خلال فصل الشتاء، في حين تم تحديد معدل الأيض عند 1.3 met و 1.4 met لفصلي الصيف والشتاء على التوالي [8] [10].

تم توليد بيانات الطقس المستخدمة في هذا البحث باستخدام برنامج Meteororm 7. بالإضافة إلى ذلك، تم الاعتماد على مصادر بيانات أخرى للتحقق من دقة البيانات المولدة، حيث تمت مقارنة بيانات الإشعاع الشمسي الشكل [4] مع نتائج دراسات سابقة [7] وبيانات Solar GIS الشكل [5]، في حين تمت مقارنة بيانات درجات الحرارة مع بيانات الهيئة العراقية للأرصاد الجوية (2023) للفترة الممتدة بين عامي 2014 و 2023. [12].



الشكل 4: لإشعاع الشمسي على الأسطح المائلة باستخدام Design Consultant 6 و Meteororm 7 [6]

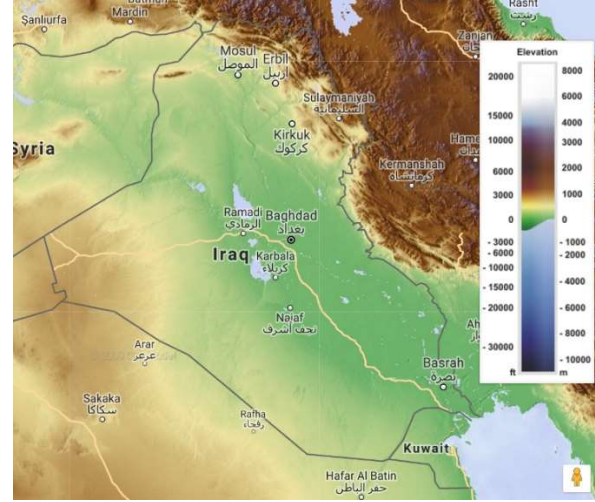


الشكل 5: خريطة الإشعاع الشمسي الأفقي العالمي - العراق [21]

3. طريقة حساب التوازن الحراري

في هذا الجزء من البحث، يتم استخدام معادلة التوازن الحراري وفقاً لـ (CIBSE) [8] لتحليل توازن الطاقة ومستويات الراحة الحرارية داخل مساحة التدريس في حالة الاستقرار الحراري، حيث تم إهمال تأثير الكتلة الحرارية للهيكال الإنشائي للمبنى. تمثل هذه الفضاء نموذجاً عاماً للفضاءات التعليمية الجامعية الشائعة في قطاع البناء في العراق.

والجنوبية الغربية، وتشكل 31% من إجمالي مساحة العراق [13] الشكل [2]. [21].



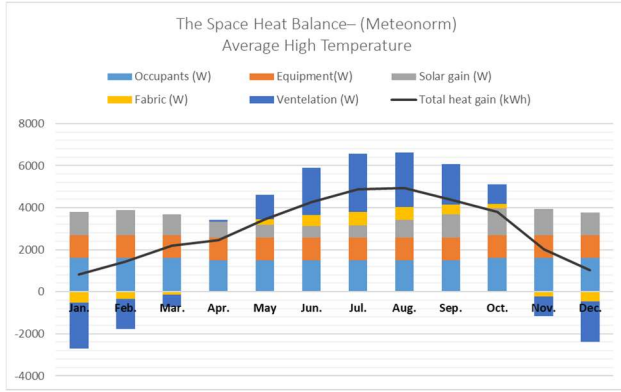
الشكل 2: جغرافيا العراق [21]

تميز المناخ القاري في العراق عمومًا بأنه شديد الجفاف ومرتفع الحرارة، مع تعرض متكرر للإشعاع الشمسي [13]. تتعرض بغداد لحوالي 3000 ساعة من الإشعاع الشمسي سنويًا، مع تباين في شدة الإشعاع يتراوح بين 416 واط/م² في شهر كانون الثاني و833 واط/م² في شهر حزيران [14]. يتميز المناخ في بغداد بأنه صحراوي، حيث يكون الصيف جافًا وحارًا، وتتراوح درجات الحرارة فيه بين 43° و50° مئوية مع نسبة رطوبة نسبية تبلغ 16%، في حين يكون الشتاء باردًا إلى معتدل، مع درجات حرارة تتراوح بين 1° و8° مئوية ونسبة رطوبة نسبية تصل إلى 82% [10] [14].

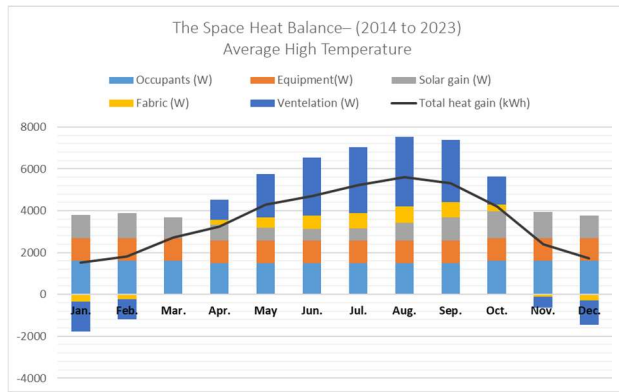
وفقًا لتصنيف Köppen المناخي، يُقسم العراق إلى ثلاث مناطق مناخية رئيسية: المنطقة الصحراوية شبه الاستوائية (BWh) في الأجزاء الجنوبية والوسطى، ومنطقة السهوب شبه الاستوائية (BSH) في المرتفعات الواقعة شمال بغداد، بالإضافة إلى المنطقة ذات الصيف الجاف والمناخ شبه الاستوائي (Csa) في المنطقة الجبلية الشمالية الشكل [3] [13].



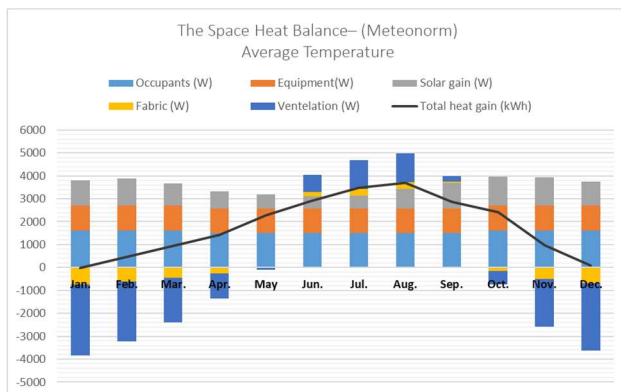
الشكل 3: تصنيف Köppen المناخي، يُقسم العراق إلى ثلاث مناطق مناخية رئيسية [14]



الشكل 7: توازن الحرارة للفضاء – متوسط (Meteonorm) درجات الحرارة العليا باستخدام 7 Meteonorm Design و [6] Consultant 6



الشكل 8: توازن الحرارة للفضاء – متوسط درجات الحرارة العليا (2023-2014) وفقاً لبيانات الهيئة العراقية للأرصاء الجوية (2023) [6] [12]

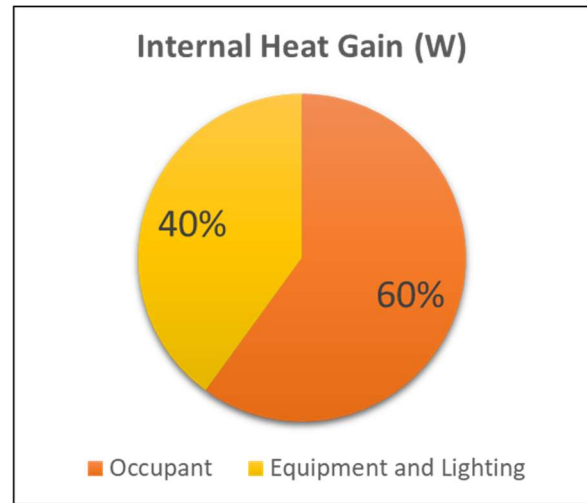


الشكل 9: توازن الحرارة للفضاء – متوسط (Meteonorm) درجات الحرارة باستخدام 7 Meteonorm Design و [6] Consultant 6

يتكون غلاف المبنى من جدار من الطوب بسُمك 0.24 م مع طبقة داخلية من الجبس بسُمك 0.02 م، بالإضافة إلى عازل حراري من البوليسترين بسُمك 0.05 م، وتشطيب خارجي من الحجر الجيري بسُمك 0.05 م، مما يمنحه قيمة انتقال حراري (U-value) تبلغ 0.38 W/(m².K). أما سقف المبنى المسطح الخرساني، فتبلغ قيمته الانتقالية الحرارية 0.5 W/(m².K)، ويتكون من طبقة عزل بوليسترين بسُمك 0.05 م، وطبقة تربة بسُمك 0.1 م، وطبقة رمل بسُمك 0.03 م، وبلاط خرساني خارجي بسُمك 0.02 م، مع طبقة جبس داخلية بسُمك 0.02 م [10].

تحتوي الواجهة الجنوبية التي يبلغ طولها 10 م على نوافذ زجاجية مزدوجة شفافة مع إطار يشغل 10% من الفضاء، وتبلغ قيمتها الانتقالية الحرارية 2.8 W/(m².K) [9] تمثل هذه النوافذ 30% من إجمالي مساحة الواجهة، إذ يُوصى بأن تكون زاوية التوجيه الأمثل في بغداد بين 45° جنوب شرق و 45° جنوب غرب [10] [16].

تبلغ إجمالي المكاسب الحرارية الداخلية 2700 واط الشكل [6]، مع معدلات التهوية يبلغ 10 ل/ثانية لكل شخص، أو 5.5 تغييرات هواء في الساعة (ACH) [8].

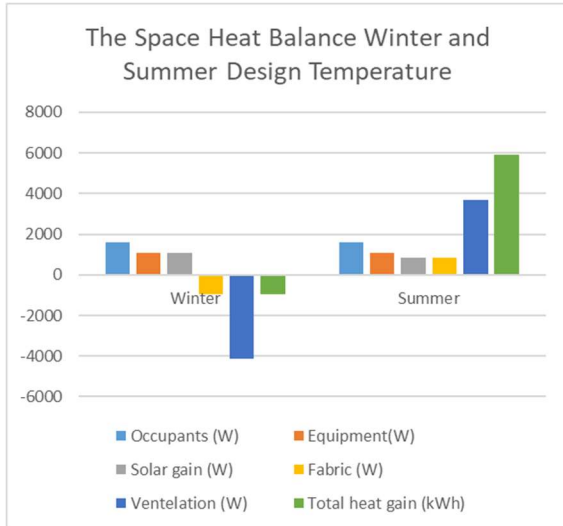


الشكل 6 المكاسب الحرارية الداخلية [6]

تم استخدام طريقة الراحة الحرارية التكميلية لـ Nicol و Humphreys لتحديد درجة الحرارة الداخلية للفضاء، وذلك بعد مقارنتها بطريقة احتساب درجات الحرارة العالمية (CIBSE) [8]، حيث تبين أنها مناسبة للمناخ الحار في العراق.

تم إجراء حسابات التوازن الحراري لفترة سنة كاملة وفقاً لسبعة سيناريوهات لدرجات الحرارة الخارجية كم موضح في الأشكال [7] إلى [13]. تم اختبار الفضاء بناءً على المتوسط العام، والمتوسط العالي، والمتوسط المنخفض لدرجات الحرارة، وذلك باستخدام كل من بيانات 7 Meteonorm والمتوسطات المناخية للعراق لآعوام 2014 إلى 2023 وفقاً لبيانات الهيئة العراقية للأرصاء الجوية [12].

بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء اختبار إضافي بناءً على درجات الحرارة التصميمية المقترحة في الكود العراقي للعزل الحراري، حيث تم تحديد 47° مئوية للصيف و 1° مئوية للشتاء، مع درجات حرارة الراحة الحرارية المحددة بـ 26° مئوية للصيف و 21° مئوية للشتاء [10].



الشكل 13: توازن الحرارة للفضاء – متوسط درجات الحرارة (2023-2014) وفقاً لبيانات الهيئة العراقية للأرصدة الجوية
[12] [6] (2023)

4. مناقشة النتائج

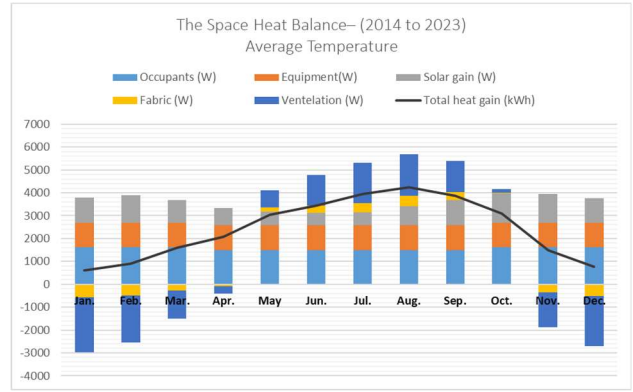
للحفاظ على جودة الهواء الداخلي عند مستويات صحية. ومع ذلك، وبسبب المناخ الحار في العراق، تُظهر حسابات التوازن الحراري أن الفضاء يحقق مكاسب حرارية صافية طوال العام وفقاً لسيناريو هو متوسط درجات الحرارة ومتوسط درجات الحرارة العليا، بينما يعاني من فقدان حراري خلال أشهر ديسمبر، ويناير، وفبراير عند تطبيق سيناريو متوسط درجات الحرارة المنخفضة.

يُعد معدل التهوية والاختراق الهوائي العامل الأساسي الذي يؤثر على توازن الطاقة والراحة الحرارية في الفضاء، يليه تأثير النوافذ من خلال المكاسب الشمسية وأدائها الحراري. ونتيجة لذلك، فإن أحمال التبريد تهيمن على الطلب الطاق للفضاء، مما يشير إلى أهمية ضبط التهوية وتقليل تأثير الكسب الحراري الشمسي.

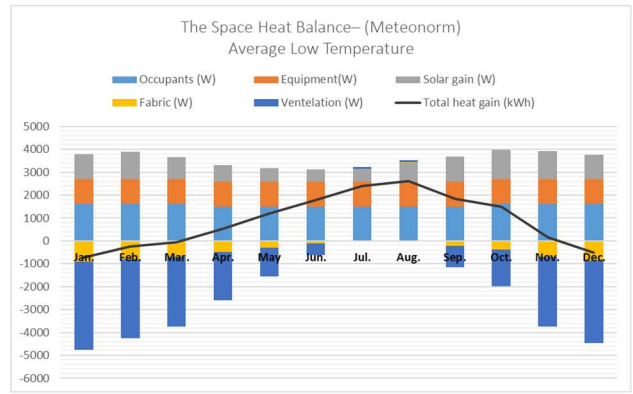
في فصل الشتاء، تسهم خسائر الحرارة الناتجة عن التهوية والاختراق الهوائي في معادلة المكاسب الحرارية الداخلية والشمسية، مما يحافظ على التوازن الحراري للمساحة. أما في فصل الصيف، فتتحول التهوية إلى المصدر الرئيسي لاكتساب الحرارة، مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة الداخلية وزيادة كبيرة في أحمال التبريد.

من ناحية أخرى، وبسبب توجيه الواجهة الجنوبية، فإن أقصى كسب شمسي عبر النوافذ يحدث خلال فصل الشتاء، بينما ينخفض إلى أدنى مستوياته خلال ذروة الصيف. لذلك، يمكن التحكم في الكسب الشمسي لاستخدامه كوسيلة للتدفئة المنفصلة خلال الشتاء، مع تقليل تأثيره خلال الصيف، بالإضافة إلى تحسين التحكم في الإضاءة الطبيعية. من ناحية أخرى، فإن الأداء الحراري لغلاف المبنى له تأثير محدود على توازن الطاقة الحرارية في الحالة المستقرة للمبنى.

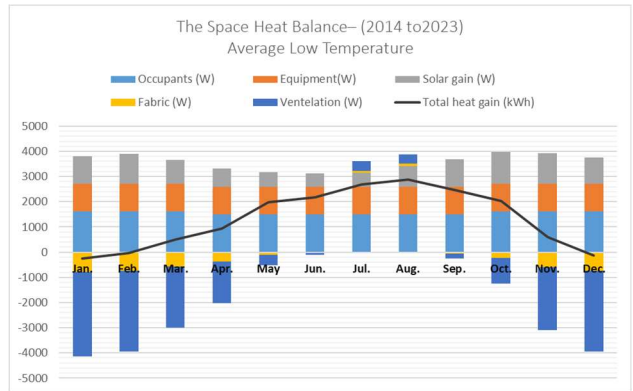
تتوافق النتائج المستخلصة من الحسابات مع دراسات سابقة حول الراحة الحرارية في المساحات التعليمية بالجامعات المصرية، حيث أظهرت أن التهوية غير المضبوطة ومعدلات الاختراق الهوائي المرتفعة، إلى جانب الكسب الشمسي العالي، تؤدي إلى ظروف حرارية غير مرضية داخل الفصول الدراسية [19] [22]. بالإضافة إلى ذلك، تشير إحدى الدراسات إلى أن الإناث اللاتي يرتدين الحجاب الإسلامي يتأثرن بدرجة أكبر بالظروف الحرارية غير المريحة خلال الصيف بسبب ارتفاع معامل العزل الحراري للملابس إلى 0.8 clo [1].



الشكل 10: توازن الحرارة للفضاء – متوسط درجات الحرارة (2023-2014) وفقاً لبيانات الهيئة العراقية للأرصدة الجوية
[12] [6] (2023)



الشكل 11: توازن الحرارة للفضاء – متوسط درجات الحرارة الدنيا باستخدام Design و Meteonorm 7
[6] Consultant 6



الشكل 12: توازن الحرارة للفضاء – متوسط درجات الحرارة (2023-2014) وفقاً لبيانات الهيئة العراقية للأرصدة الجوية
[12] [6] (2023)

5. الممارسات المعمارية التقليدية والحديثة

إحدى الحلول الأخرى هي استخدام زجاج مزدوج منخفض الانعكاسية مع طلاء ملون وفجوة هوائية، مما يوفر أداءً حراريًا محسّنًا ويحد من مستوى الإضاءة الداخلية [8] [9].

كما يُعد تعديل نسبة مساحة النوافذ إلى الجدران نهجًا آخر يُستخدم لتحقيق التوازن الأمثل بين تأثير النوافذ على استهلاك الطاقة والراحة الحرارية للمبنى. ومع ذلك، ينبغي تحقيق الحد الأدنى من متطلبات الإضاءة الطبيعية. من الممكن تقليل نسبة مساحة النوافذ إلى 20% إذا كان عمق الفضاء أقل من 8 أمتار، ولكن ذلك قد يؤثر سلبًا على قدرة شاغلي الفضاء على التواصل مع البيئة الخارجية [8] [20].

6. أفضل الممارسات وأحدث الحلول في التصميم البيئي

يتم دمج استراتيجيات التبريد المنفعل والتهوية الطبيعية مع أنظمة ميكانيكية عالية الكفاءة في حرم جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KAUST) في المملكة العربية السعودية، والذي يُعد أكبر مشروع حاصل على شهادة LEED البلاتينية في العالم. يهدف هذا النهج إلى تقليل استهلاك الطاقة وتحقيق راحة حرارية مثلى.

تم تصميم مباني الحرم الجامعي بتخطيط متقارب على شكل أصابع متداخلة، مع أفنية مظلة ونظام رشاشات مائية لتقليل تأثير الكسب الحراري الشمسي. بالإضافة إلى ذلك، تم توجيه الحرم الجامعي لاستغلال الرياح المحلية السائدة القادمة من البحر الأحمر المجاور، مع تقليل التعرض الشمسي من جهتي الشرق والغرب، مما يعزز من كفاءة الطاقة في المباني الشكل [16] [3] [5].



الشكل 16: حرم جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية - السعودية



الشكل 17: أبراج الشمس جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية

تُعد أساليب التبريد المنفعل، مثل استخدام برج الرياح (الملقف) والأفنية الداخلية، جزءًا أصيلًا من العمارة التقليدية العراقية [4]. ومع ذلك، فإن الطريقة الرئيسية الحالية لتلبية احتياجات التبريد في المباني التعليمية تعتمد على أنظمة التكييف النشطة، مثل وحدة مناولة الهواء (AHU) المزودة بملف تبريد جاف، بالإضافة إلى وحدة مناولة الهواء المزودة بملف تبريد جاف مع ملف تبريد أولي للهواء النقي [11].

استوتحت تصاميم حرم جامعتي بغداد والمستنصرية من العمارة التقليدية العراقية، حيث تم تجميع المباني معًا لتوفير الظل، وتشكيل الأفنية الداخلية، مما يقلل من الكسب الحراري الشمسي للمباني [15].

لرغم من أن مباني حرم جامعتي بغداد والمستنصرية تعتمد على أنظمة التكييف المركزي مع إمداد هواء نقي مسبق التبريد، إلا أن التعقيد الكبير والتكاليف المرتفعة للصيانة دفعتنا إلى التخلي عن هذه الأنظمة. وبدلاً من ذلك، وكما هو الحال في معظم المباني الحديثة في العراق، تم استبدالها بـ أنظمة التكييف المنفصلة (Split-Unit AC) التي لا توفر إمدادًا مباشرًا بالهواء النقي.

نتيجة لذلك، أصبحت النوافذ القابلة للفتح والاختراق الهوائي المصدر الأساسي لتهوية المساحات التعليمية. وعلى الرغم من التأثير المنفعل للتهوية غير المضبوطة والاختراق الهوائي على استهلاك الطاقة والراحة الحرارية، إلا أن الإرشادات والمعايير المحلية لا تتضمن أي متطلبات تنظيمية واضحة لهذه الجوانب. وبسبب غياب هذه اللوائح، لا تتوفر بيانات دقيقة عن معدلات الاختراق الهوائي الشائعة في المباني العراقية.

توفر الممارسات الحالية في العراق عددًا من التقنيات والمفاهيم للتحكم في الكسب الحراري الشمسي ومستويات الإضاءة من خلال النوافذ. تُعد الأجهزة الظليلة الخارجية الطريقة الأكثر شيوعًا لتقليل الكسب الحراري الشمسي والوهج غير المرغوب فيه. على سبيل المثال، يتم في جامعة بغداد استخدام تراكيب تجمع بين المظلات الأفقية والرأسية لتقليل أشعة الشمس المباشرة على النوافذ، في حين يتم في جامعة المستنصرية استخدام شاشات طوب رأسية للحد من الإشعاع الشمسي الكلي الأشكال [7] و [13].



الشكل 14: جامعة بغداد [6]



الشكل 15: الجامعة المستنصرية

نظراً لمكاسبها الشمسية الكبيرة وقيمها الحرارية العالية، بينما تساهم باقي عناصر النسيج البنائي بدور أقل في التوازن الحراري الإجمالي. وعلاوة على ذلك، تكشف مراجعة أفضل الممارسات والحلول المبتكرة عن عدة استراتيجيات لمعالجة قضايا التهوية المفرطة والارتفاع المفرط لمكاسب الطاقة الشمسية. يمكن لتقنيات التهوية الطبيعية المنفصلة، مثل دمج أبراج الشمس أو صاندي الرياح مع التبريد بالتبخير لتوفير الهواء النقي، أن تقلل من الاعتماد على التهوية الميكانيكية المستمرة حتى في الظروف غير المواتية. كما أن تطبيق استراتيجيات التهوية والتبريد الليلي يعزز بشكل ملحوظ الأداء الحراري وكفاءة استهلاك الطاقة خلال فترات الحمل التبريدي القصوى. ويسهم اعتماد أنظمة التظليل الخارجية، مثل الشفطات أو المظلات القابلة للتعديل، إلى جانب استخدام الزجاج عالي الأداء، في تحسين الراحة الحرارية والإضاءة الطبيعية من خلال التحكم في استغلال المكاسب الشمسية في فصل الشتاء وتقليل تأثيرها المفرط في الصيف.

8. التوصيات

استناداً إلى نتائج هذه الدراسة، يُقترح عدد من التوصيات لتعزيز الأداء الحراري وكفاءة الطاقة في المساحات التعليمية ذات الكثافة العالية في المناخات الحارة والجافة مثل بغداد. أولاً، ينبغي على المصممين والمهندسين إعطاء الأولوية لدمج استراتيجيات التصميم المنفصل، مثل أنظمة التظليل الخارجية القابلة للتعديل وتحسين نسب النوافذ إلى الجدران، للتقليل من مكاسب الطاقة الشمسية المفرطة مع الحفاظ على مستوى كافٍ من الإضاءة الطبيعية. ثانياً، يعد تبني حلول الزجاج المبتكرة ذات الأداء الحراري العالي – مثل الطلاءات منخفضة الانبعاث والواجهات ذات الطبقتين – أمراً أساسياً لتقليل النقل الحراري غير المرغوب فيه. ثالثاً، يجب تنفيذ تقنيات التهوية الطبيعية المنفصلة، بما في ذلك استخدام صاندي الرياح وأبراج الشمس والتهوية الليلية، لتقليل الاعتماد على أنظمة التبريد الميكانيكية. رابعاً، يُعتبر تحسين خصائص عزل النسيج البنائي خطوة حاسمة للحد من انتقال الحرارة وتعزيز الأداء الطاقوي الشامل. كما يُستحسن الاستعانة بأدوات المحاكاة المتقدمة خلال مرحلة التصميم لضبط استراتيجيات الراحة الحرارية واستهلاك الطاقة بدقة. وأخيراً، تُوصى بإجراء المزيد من الدراسات لتقييم التأثير طويل الأمد لسلوك المستخدمين على الظروف الحرارية الداخلية واستكشاف دمج مصادر الطاقة المتجددة، مما يساهم في تحقيق تصاميم مبانٍ تعليمية أكثر استدامة ومرونة.

المصادر

- [1] Abdallah, A. S. H. 2015. Analysis of Thermal Comfort and Energy Consumption in Long Time Large Educational Halls (Studios), Assiut University, Egypt. *Procedia Engineering* 121, pp. 1674-1681.
- [2] Abdul Mujeebu, M. and Alshamrani, O. S. 2016. Prospects of energy conservation and management in buildings – The Saudi Arabian scenario versus global trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58, pp. 1647-1663.
- [3] AIA. 2010. KAUST, AIA Topten [Online]. Available at: [http://www.aiatopten.org/node/113 [Accessed: 25-10-2016].
- [4] Al-Azzawi, S. 1996. Seasonal impact of climate on the pattern of urban family life. *Renewable Energy* 8(1), pp. 283-288.
- [5] Al-Hemiddi, N. A. and Al-Saud, M. K. A. 2001. The effect of a ventilated interior courtyard on the thermal performance of a house in a hot– arid region. *Renewable Energy* 24(3), pp. 581-595.
- [6] Al-Kadhim, A. I. 2025. The author

يستخدم حرم جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KAUST) برجين شمسيين مزدوجي الغلاف، حيث يعمل الزجاج الداخلي عالي الامتصاصية على تسخين الهواء الداخلي لتحفيز التهوية الطبيعية داخل الممرات والمساحات المشتركة. تُعزز هذه التقنية، إلى جانب نظام رشاشات المياه في الأبنية، التبريد التبخيري، مما يسمح بتهوية 20% من مساحة الحرم الجامعي بشكل طبيعي بدرجات حرارة مريحة خلال 75% من العام الشكل [17] [3].

أما بالنسبة للمساحات المتبقية من الحرم الجامعي، فتوفر أنظمة التهوية الميكانيكية التبريد الليلي بالحمل الحراري والتهوية الطبيعية من خلال أنظمة هواء خارجي مخصصة تعتمد على الطلب، إضافة إلى أنظمة مراقبة ثاني أكسيد الكربون في المساحات ذات الكثافة العالية من الإشغال، مما يساهم في ضبط جودة الهواء الداخلي وكفاءة التهوية. كما يدمج التصميم تقنيات تبريد عالية الكفاءة، مثل ألواح التبريد المبردة بالماء (Chilled Beams)، وعجلات استرداد الحرارة (Heat Recovery Wheel)، والتعوية بالإزاحة (Displacement Ventilation) لتقليل الطلب على التبريد والتهوية (ibid).

تساهم التخطيطات المعمارية الضحلة للمباني ذات الشكل الإصبعي في توفير مستويات كافية من الإضاءة الطبيعية داخل المساحات الداخلية. وفي الوقت ذاته، تعمل الأبنية المظلمة وأنظمة التظليل الخارجي، مثل المظلات الأفقية، واللوفرث الثابتة والمتحركة، والأنظمة الميكانيكية للتظليل، على تقليل الكسب الحراري الشمسي دون التأثير على مستويات الإضاءة الطبيعية [3].

في سياق آخر، يُعد الغلاف المزدوج للواجهات الزجاجية (Double Skin Façade) من التقنيات الحديثة التي تُستخدم لتحسين الأداء الحراري لغلاف المبنى وتوفير مستويات راحة حرارية محسنة. يتكون هذا النظام من طبقتين من الزجاج المفرد مع فجوة محكمة الإغلاق تقل عن 1 متر بينهما، مما يسمح بتهوية طبيعية من خلال الوسائل المنفصلة والنشطة.

تتوفر اليوم مجموعة من أنواع الزجاج المتطورة التي تساهم في تحسين كفاءة المباني الحرارية، ومنها:

الزجاج العاكس القابل للتغيير: (Switchable Reflective Glazing) يُعد مناسباً للمباني ذات الطلب المرتفع على التبريد، حيث تتغير خصائصه الضوئية استجابةً للإشعاع الشمسي باستخدام تقنية الجهد المباشر (Electrochromic DC Voltage). يوفر أداءً أفضل من أنظمة التظليل الخارجية التقليدية، حيث يحقق توفيراً في الطاقة بنسبة 54% مقارنةً بالزجاج الشفاف. ومع ذلك، فإن التكلفة العالية، ووقت التحويل البطيء، والوهج تُعد من التحديات الرئيسية لهذا النوع من الزجاج [2] [18].

الزجاج الهوائي: (Aerogel Glazing) يتميز بأنه أخف وزناً بنسبة 20% مقارنةً بالزجاج التقليدي، وقوته تعادل 200 ضعف، في حين تتراوح كثافته بين 1-150 كجم/م³. بفضل أدائه الحراري العالي وقدرته على تشتيت الضوء، فإنه يُعد خياراً مثالياً للإضاءة العلوية (Skylighting).

الزجاج المفرغ: (Vacuum Glazing) يعتمد على إنشاء فراغ بين طبقتي الزجاج لمنع انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل، مما يحسن من كفاءة العزل الحراري. ومع ذلك، تواجه هذه التقنية تحدي الحفاظ على الفراغ لفترات زمنية طويلة [18].

تشير هذه الحلول إلى التوجه نحو تصميم مستدام ومتقدم يعتمد على استراتيجيات التهوية الطبيعية، والتبريد المنفصل، واستخدام الزجاج الذكي، مما يساهم في تحقيق كفاءة طاقة محسنة وراحة حرارية مستدامة في المباني التعليمية والمناخات الحارة.

7. الاستنتاجات

تشير حسابات التوازن الحراري إلى أن معدلات التهوية والاختراق تُشكل العامل الأكثر تأثيراً على الأداء الحراري وكفاءة الطاقة في المساحات التعليمية الجامعية ذات الكثافة العالية. وتُعد النوافذ العامل الثاني في التأثير

- [15] Neufert, E. 2012. Architects data. 4th ed. / edited by Bousmaha Baiche and Nicholas Walliman. ed. Oxford: Oxford: Wiley-Blackwell.
- [16] Pacheco, R. et al. 2012. Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(6), pp. 3559-3573.
- [17] Pacheco, R. et al. 2012. Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(6), pp. 3559-3573.
- [18] Sadineni, S. B. et al. 2011. Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8), pp. 3617-3631.
- [19] Samaan, M. M. et al. 2016. Using simulation tools for optimizing cooling loads and daylighting levels in Egyptian campus buildings. *HBRC Journal*.
- [20] SLL. 2012. The SLL Code for Lighting 222 Balham High Road, London SW12 9BS: The Society of Light and Lighting
- [21] Solargis. 2014. Solargis: iMaps. [Online]. Available at:
[http://solargis.info/imaps/#t=GeoModel:t_yr_avg&c=33.160547,37.5238&z=6]
- [22] Zomorodian, Z. S. et al. 2016. Thermal comfort in educational buildings: A review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59, pp. 895-906.
- [7] Al-Riahi, M. et al. 2003. Measurements of net radiation and its components in semi-arid climate of Baghdad. *Energy Conversion and Management* 44(4), pp. 509-525.
- [8] CIBSE a. 2015. Environmental design: CIBSE guide A. 8th ed. ed. London: London: Chartered Institution of Building Services, Engineers.
- [9] CIBSE b. 2012. Energy efficiency in buildings: CIBSE guide F. Third edition. ed. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
- [10] Building Directorate 2013. Iraqi Code of Thermal Insulation I.B.C. 501[from its Arabic origin, م.ب.ع 501]. Baghdad: Building Directorate
- [11] Homod, R. Z. 2014. Assessment regarding energy saving and decoupling for different AHU (air handling unit) and control strategies in the hot-humid climatic region of Iraq. *Energy* 74, pp. 762-774.
- [12] Iraqi Meteorological Organization 2023. Meteorological report of the years 2014 to 2023.
- [13] Kazem, A. A. et al. 2014. Dust effect on photovoltaic utilization in Iraq: Review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37, pp. 734-749.
- [14] Kazem, H. A. and Chaichan, M. T. 2012. Status and future prospects of renewable energy in Iraq. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(8), pp. 6007-6012.

The Investigation of the Energy Balance and Comfort of a University Teaching Space in Baghdad - Iraq

Ahmed Isam Ali Al-Kadhim

¹Department of Architecture Engineering, University of Baghdad, Baghdad, Iraq a.i.alkadhim@coeng.uobaghdad.edu.iq

*Corresponding author, Ahmed Isam Ali Al-Kadhim, a.i.alkadhim@coeng.uobaghdad.edu.iq

Published online: 31 March 2025

Abstract This study investigates the energy balance and thermal comfort conditions of a university teaching space in Baghdad, Iraq, with the objective of evaluating design strategies aimed at enhancing indoor environmental quality while minimizing energy consumption. Utilizing a steady-state heat balance methodology, the research analyzes a representative 60m² classroom constructed in accordance with prevailing Iraqi architectural practices, characterized by limited passive cooling measures and a predominant reliance on active air-conditioning systems. Climate data obtained from Meteonorm 7, corroborated by local meteorological records, provide insights into the extreme environmental conditions of Baghdad, which are marked by intense solar radiation and elevated ambient temperatures. The analysis focuses on key determinants of thermal performance, including ventilation and infiltration rates, solar heat gains through fenestration, and the relatively minor influence of building envelope thermal properties. Findings indicate that high occupant density and uncontrolled ventilation substantially contribute to net heat gains, exacerbating cooling loads during summer months while facilitating beneficial heat dissipation in winter. The study underscores the necessity of integrating passive design interventions, such as adjustable external shading, optimized window-to-wall ratios, and advanced glazing technologies, to effectively regulate solar gains and enhance thermal performance. By offering a comprehensive evaluation of adaptive design strategies, this research contributes to the advancement of sustainable architectural practices in hot-arid climates, providing valuable insights into the optimization of energy efficiency and occupant comfort in educational environments.

Keywords—" Energy Balance", " Thermal Comfort", " Sustainable Design", " Passive Design", " Solar Gains", " Iraqi Architecture"