International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 39 العدد
Part 1 المجلد
ISTJ

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

Received	2026/07/27	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/08/18	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/08/20	تم نشر الورقة العلمية في

القياسات الموقعية للأداء الحراري لمبنى سكني يقع في المناطق الحارة الجافة (طرابلس – ليبيا)

د. علي فتحي محمد البكوش[1]، أ. عبد السلام محمد الرشيدي

[1] قسم العمارة والتخطيط العمراني– كلية الهندسة – جامعة طرابلس – طرابلس، ليبيا
[2]كلية التقنية الهندسية – مسلاته، مسلاته، المدينة، ليبيا
eng.alrachidy@gmail.com

الملخص:

تستنزف المباني السكنية حديثة التشغيل في ليبيا كميات هائلة من الطاقة الكهربائية لتشغيل أنظمة التكييف الميكانيكي نتيجة لضعف أدائها الحراري الحر وتراجع جودة بيئتها الداخلية، مما يُتفق مع تصاعد معدلات الانبعاثات الكربونية وظاهرة الاحتباس الحراري. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم وتطوير الأداء الحراري لمبنى سكني قائم في ليبيا لخفض استهلاك الطاقة وتحقيق الراحة الحرارية المستدامة عبر استراتيجيات التصميم المناخي الحيوي (Bioclimatic Design). اعتمدت الدراسة على منهجية هجينة تجمع بين القياس الموقعي والتحليل الرقمي، حيث تمثلت الخطوة الأولى في المراقبة والرصد الحقلية التفصيلية لمعايير البيئة الداخلية للمبنى، تلاها إنشاء نموذج محاكاة حاسوبية باستخدام برنامج EnergyPlus (المدمج عبر واجهة DesignBuilder) لمعايرة النموذج وتطبيق مجموعة من استراتيجيات التدخل المعماري (تعديل التوجيه، تحسين الغلاف الحراري، وتطبيق تقنيات التظليل والتهوية الطبيعية). أظهرت نتائج المحاكاة أن تطبيق الاستراتيجيات المناخية الحيوية المقترحة أدى إلى تخفيض الاستهلاك الكلي لطاقة التكييف بنسبة [30 %]، مع خفض درجات الحرارة الداخلية القصوى بمقدار [4.2°C] خلال أشهر الصيف، وهو ما يحقق تحسناً في ساعات الراحة الحرارية المقبولة بنسبة [70%] دون الحاجة للتبريد الميكانيكي. تؤكد هذه النتائج أثر التحسينات

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

المعمارية في توجيه السياسات العمرانية نحو مبانٍ سكنية منخفضة الكربون في المناطق الحارة والجافة.

الكلمات المفتاحية: سوء الجودة الداخلية – توجيه المبنى – التحكم في طاقة المباني واستهلاكها – توفير الطاقة في المباني.

In-Situ Thermal Performance Measurements of a Residential Building in Hot-Arid Climates: Tripoli, Libya

Ali Fathi M El Bakkush [1], Abdussalam Mohammed Al-Rashidi[2]

1- Department of Architecture and Urban Planning - Faculty of Engineering - University of Tripoli - Tripoli, Libya
2- College of Engineering Technology - Msallata, Msallata, Libya.
eng.alrachidy@gmail.com

Abstract

Newly opened residential buildings in Libya consume enormous amounts of electricity to operate mechanical air conditioning systems due to their poor thermal performance and declining indoor environmental quality, which aligns with rising carbon emissions and the greenhouse effect. This study aims to evaluate and improve the thermal performance of an existing residential building in Libya to reduce energy consumption and achieve sustainable thermal comfort through bioclimatic design strategies. The study employed a hybrid methodology combining on-site measurement and digital analysis. The first step involved detailed field monitoring of the building's indoor environmental parameters, followed by the creation of a computer simulation model using EnergyPlus software (integrated via the DesignBuilder interface) to calibrate the model and implement a range of architectural intervention strategies (orientation modification, thermal envelope optimization, and the application of shading and natural ventilation techniques). The simulation results showed that implementing the proposed bioclimatic strategies led to a 30% reduction in overall air conditioning energy consumption. with a reduction in maximum

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

indoor temperatures of [4.2°C] during the summer months, resulting in a [70%] improvement in acceptable thermal comfort hours without the need for mechanical cooling. These results underscore the impact of architectural improvements in guiding urban planning policies towards low-carbon residential buildings in hot and arid regions.
Keywords: Poor indoor quality - Building orientation - Building energy control and consumption - Energy saving in buildings.

1. المقدمة

تُمثل المباني السكنية أحد أكبر القطاعات المستهلكة للطاقة والمسببة للانبعاثات الكربونية والتغير المناخي عالمياً، حيث يُعزى حوالي 50% من استخدام الطاقة العالمي إلى تشغيل والتحكم في البيئة الداخلية للمباني يعتمد بالأساس على الأنظمة الميكانيكية للتكييف والتبريد. وقد تفاقمت هذه الإشكالية جراء ابتعاد الممارسات المعمارية الحديثة عن النماذج التقليدية المحلية المستجيبة للمناخ، والاعتماد على تصاميم غير معزولة حرارياً تستهلك كميات هائلة من الطاقة في مرحلتي الإنشاء والتشغيل.

وتتجسد هذه الأزمة بوضوح شديد في القطاع السكني القائم في ليبيا؛ حيث أدى التحول العشوائي نحو مواد البناء الحديثة كالخرسانة المسلحة والطوب المفرغ غير المعزول والمساحات الزجاجية المباشرة دون مراعاة لظروف المناخ الحار والجاف أو الشبه جاف، إلى تدهور حاد في البيئة الحرارية الداخلية للمباني السكنية حديثة التشييد.

وقد ترتب على هذا الخلل البنيوي عجز المباني عن توفير الحدود المقبولة للراحة الحرارية طبيعياً، مما دفع السكان للاندفاع نحو الاعتماد الكلي على أجهزة التكيف الميكانيكي. وبدوره، فرض هذا السلوك الاستهلاكي أحمالاً كهربائية مفرطة على شبكة الإمداد الوطنية خلال فصل الصيف، مما أدى إلى ظاهرة طرح الأحمال والانقطاعات المتكررة للتيار الكهربائي، وأثر سلباً على الاستدامة الاقتصادية والبيئية (دونلي، 2010).

القياسات الموقعية للأداء الحراري لمبنى سكني يقع في المناطق الحارة الجافة (طرابلس – ليبيا)
http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

2. مشكلة الدراسة:

تكمن مشـــكلة الدراســـة في التوجه المتزايد للمباني الحديثة في المناطق الحارة والجافة نحو اســـتهلاك مفرط للطاقة والاعتماد الكلي على الأنظمة الميكانيكية لتحقيق الراحة الحرارية، متجاهلةً بذلك الحلول التصـــميمية المحلية والمناخية التي كانت تحقق كفاءة طاقية عالية. هذا الانفصـــال عن البيئة أدى إلى تفاقم انبعاثات الغازات الدفيئة وزيادة اســـتهلاك الوقود الأحفوري، مما يضـــع قطاع البناء أمام تحدي الموازنة بين متطلبات البناء الحديث ومعايير الاستدامة البيئية.

3. أهمية الدراسة:

- **معالجة الهدر في الطاقة:** تركز الدراســـة على قطاع البناء الذي يســـتهلك وحده 50%من موارد الطاقة العالمية، مما يجعل البحث في وسائل ترشيده ضرورة اقتصادية وبيئية ملحة.
- **سد الفجوة بين التقنية والأداء الحراري:** تكمن الأهمية في معالجة الفشل الحراري الناتج عن اســـتخدام تقنيات بناء حديثة غير ملائمة للمناخ، والتي أدت إلى زيادة الاعتماد على الحلول الميكانيكية المكلفة.
- **إعادة إحياء القيم التصميمية المحلية:** تسعى الدراسة إلى استخلاص الدروس من العمارة التقليدية التي حققت الراحة الحرارية قديماً بأقل استهلاك للطاقة، ودمج هذه الفلسفة ضمن قوالب معمارية حديثة.
- **دعم التخطيط العمراني الساحلي:** توفير مرجع علمي للمخططين والمعماريين حول كيفية التعامل مع إيكولوجيا المناطق الساحلية، بما يضمن توازن التصميم المعماري مع البيئة العمرانية المحيطة.
- **تحقيق الاستدامة الاقتصادية:** تساهم الدراسة في تقليل التكاليف التشغيلية للمباني على المدى الطويل من خلال خفض فواتير استهلاك الكهرباء والطاقة.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

4. أهداف الدراسة:

- **تحديد معايير إيكولوجيا التصـــميم:** اســـتنباط مجموعة من المعايير والأســـس التصـــميمية المســـتمدة من المفاهيم الإيكولوجية، والتي يمكن تطبيقها على المجمعات السكنية في البيئات الساحلية الحارة.
- **تقييم الأداء الحراري الحـالي:** تحليـل وقيـاس كفـاءة الأداء الحراري للمجمعـات السـكنية المعاصـرة (مثل مجمع لبدة السـكني)، وتحديد الفجوات التي تؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة.
- **خفض الاعتماد على الأنظمة الميكانيكية:** وضـــع اســـتراتيجيات لتصـــميم "أغلفة مبانٍ" ذكية قادرة على توفير الراحة الحرارية لشـــاغليها وتقليل الحاجة للتبريد والتدفئة الاصطناعية.
- **تحقيق التوازن بين المبنى والمناخ المحلي:** الوصول إلى صيغة تصميمية تضمن انســـجام المجمعات الســـكنية مع "الميكروكليمات" الســـاحلي، بما يقلل من الانبعاثات الكربونية الناتجة عن تشغيل المباني.
- **المقارنة والاســـتفادة من الحلول التقليدية:** دراســـة الآليات التي اعتمدتها العمارة التقليديـة في تحقيق التوازن البيئي، ومحـاولـة تطويرهـا تقنياً لتلائم متطلبـات الســـكن الحديث.
- **تقديم توصـيات لصـناع القرار والمصـممين:** صـياغة مقترحات عملية وإرشـادات تصميمية تساهم في تطوير السياسات العمرانية المحلية نحو بناء مجمعات سكنية أكثر استدامة وأقل استهلاكاً للموارد.
- تحسين جودة البيئة الداخلية :تهدف الدراسة إلى ضمان وصول المسكن إلى أقصى درجات الراحة الحرارية والفيزيولوجية التي تنعكس إيجاباً على صحة ورفاهية السكان.

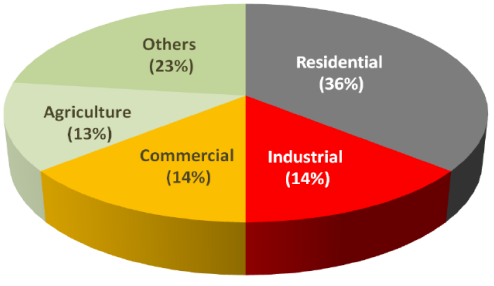
5. منهجية الدراسة:

تعتمد هذه الدراســـة على المنهج الوصـــفي التحليلي الذي يزاوج بين التأصـــيل النظري والتحليل الميداني، حيث يتم جمع البيانات الميدانية عبر الزيارات المباشـــرة والرفع المعماري للموقع، مع رصـــد العلاقة بين التشـــكيل الكتلي للمباني والمتغيرات المناخية المحلية كالرطوبة وحركة الرياح، وتدعم هذه البيانات أداة اســـتقصـــائية متمثلة في تقييم

مستويات الراحة الحرارية ومدى الاعتماد على التبريد الميكانيكي وتخضع كافة البيانات للتحليل المقارن لربط الواقع الميداني بالمعايير الإيكولوجية المثاليةومن ثم الاعتماد على برنامج الايكوتكت في رسم المدن ومن ثم وعه على **IES–VE** (*Integrated Environmental Solutions – Virtual Environment*) لاستخلاص النتائج

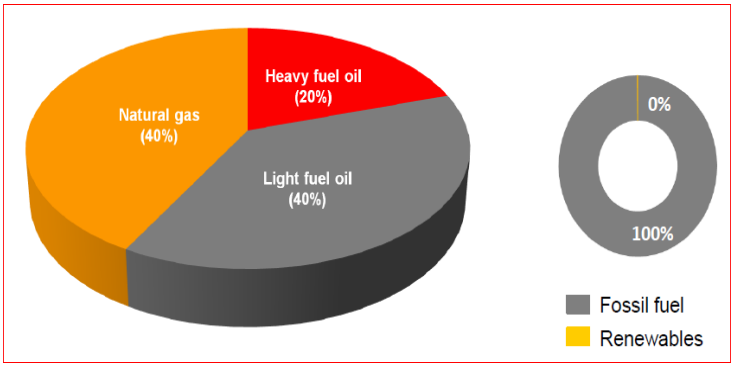
6. الإطار النظري:

يتوزع استهلاك الطاقة الكهربائية في ليبيا على أربع قطاعات رئيسية: القطاع الصناعي، والقطاع الزراعي، والقطاعين السكني والتجاري، كما هو موضح في(الشكل1).



الشكل 1: استهلاك الكهرباء حسب القطاع في ليبيا (الشركة العامة للكهرباء، 2025)

يستخدم 40% من إجمالي الطاقة الأولية في توليد الكهرباء (الشركة العامة للكهرباء، 2025)، ويظهر (الشكل 2) أن 100% من الوقود المستخدم لتوليد الطاقة هو وقود أحفوري، بنسبة 0% للطاقة المتجددة (الشركة العامة للكهرباء، 2025).



الشكل 2: توليد الكهرباء حسب نوع الوقود (الشركة العامة للكهرباء، 2025)

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

من المعترف به على نطاق واسع أن المباني السكنية والصناعية تستأثر بنسبة كبيرة من إجمالي اســـتهلاك الطاقة الموردة. علاوة على ذلك، تُســـتخدم هذه الطاقة في تبريد الفراغات، وتسخين المياه، والإضاءة، والأجهزة الكهربائية.

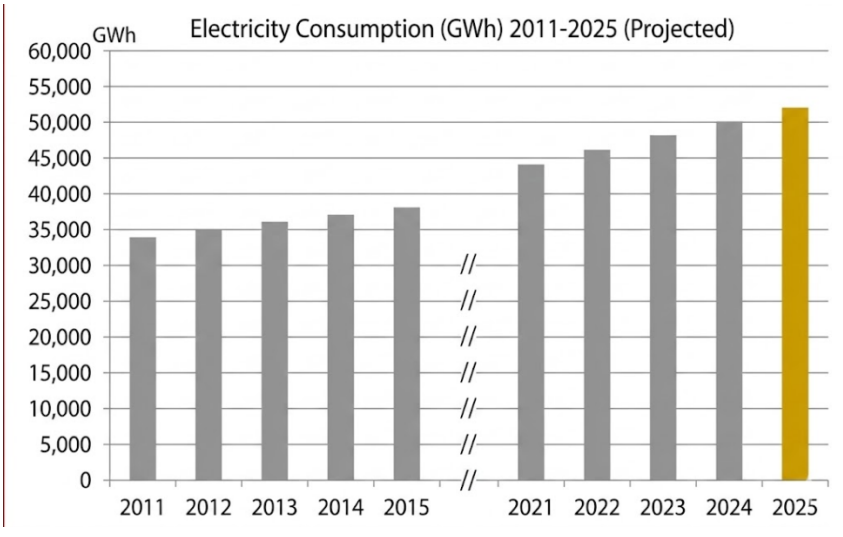
وعلى الرغم من أن ليبيا دولة منتجة للنفط، إلا أن هناك أزمة طاقة في ليبيا تعود للأسباب التالية:

–الاستخدام الواسع لمصادر الطاقة التقليدية مما يؤدي إلى استنزافها، بالإضافة إلى زيادة الاستهلاك السنوي للفرد من الطاقة الكهربائية.

– معظم استهلاك الطاقة يعتمد على مصادر غير متجددة، في حين لا يزال استخدام المصادر المتجددة في المراحل التأسيسية.

– عدم كفاءة توليد الكهرباء، الأمر الذي ســـيؤدي إلى اســـتنزاف احتياطيات النفط في المستقبل القريب.

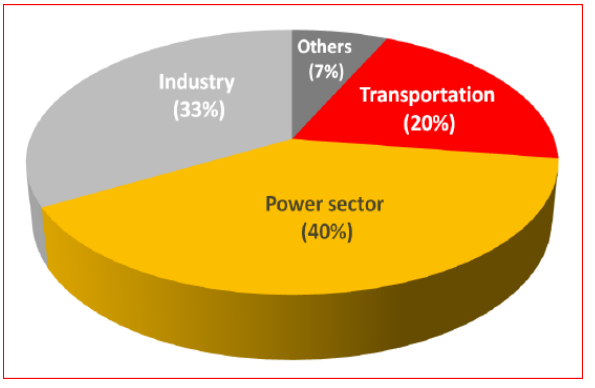
يشهد استهلاك الطاقة في ليبيا تزايداً عاماً بعد عام: يوضح الشكل 3 نمو توليد الكهرباء (2011–2025) (GECOL، 2025) حيث بلغ أكثر من 50% خلال عشر سنوات.



الشكل 3: نمو توليد الكهرباء في ليبيا (2011–2025) (الشركة العامة للكهرباء، 2025)

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

يبلغ إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ليبيا حوالي 60 مليون طن سنوياً (55% بسبب النفط و45% بسبب الغاز الطبيعي) (الشركة العامة للكهرباء، 2025)، كما هو موضح في الشكل 4.



الشكل 4: انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في ليبيا (الشركة العامة للكهرباء، 2025)

7. الإطار العملي:

تُعدّ المباني، بالإضـــافة إلى توفير المأوى وتلبية المتطلبات الجمالية، مطالبة بتوفير ظروف الراحة لشاغليها. خلال فصل الصيف، وخاصة في المناطق ذات المناخ الحار، تتعرض المباني لشـدة عالية من الإشـعاع الشـمسـي، مما قد يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة داخلها، وبالتالي حدوث حالة من عدم الراحة للمستخدمين وفي مثل هذه الظروف تصـبح عملية تبريد المبنى ذات أهمية كبيرة ويمكن أن تشـمل عمليات التبريد مجموعة متنوعة من الإجراءات، بدءًا من تقنيات التبريد الطبيعي البسيطة مثل التحكم في الكسب الشـمسـي، والتبريد التبخيري، والتهوية الطبيعية، وصـولًا إلى أنظمة التبريد الميكانيكية، أي أجهزة تكييف الهواء (Santamouris & Asimakopoulos، 1996).

ومن خلال توظيف تقنيات التبريد السـلبي في المباني الحديثة، يمكن للمصـمم في كثير من الأحيان الاســتغناء عن أنظمة التبريد الميكانيكية أو على الأقل تقليل حجمها وتكلفتها. وتتمثل الفكرتان الأساسيتان في أي تصميم يعتمد على التبريد السلبي في تقليل أو منع اكتساب الحرارة غير المرغوب فيها، وتوفير وسائل التبريد.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

وخلال فصل الصيف، يجب التعامل مع مصادر متعددة لاكتساب الحرارة، بما في ذلك الإشعاع الشمسي المباشر من الخارج، والتهوية، إضافةً إلى الأحمال الحرارية الداخلية الناتجة عن الإضاءة والمعدات المختلفة داخل المسكن.

وفيما يلي، سيتم تقديم مقدمة عن مناخ مدينة طرابلس، إلى جانب وصف لمبنى الدراسة (حالة الدراسة).

التحليل المناخي لمدينة طرابلس

تُصنَّف مدينة طرابلس ضمن مناخ حار جاف، وهو نوع من المناخات التي تنتشر عادة بين دائرتي عرض 20° و35°، وتتمثل المشكلة الرئيسية فيه في ارتفاع درجات الحرارة (فرط التسخين).

تتراوح درجات الحرارة المتوسطة في فصل الصيف حول 25 درجة مئوية، وقد تصل إلى حد أقصى يبلغ 45 درجة مئوية. وفي المقابل، يمكن للسماء الصافية ليلًا أن تؤدي إلى انخفاض كبير في درجات الحرارة، حيث قد تصل إلى نحو −10 درجات مئوية.

علاوة على ذلك، يقع المبنى محل الدراسة في مدينة طرابلس، والتي تبعد مسافة 21 كيلومترًا فقط شمال المنطقة التي سُجلت فيها أعلى درجة حرارة للهواء على الإطلاق، والتي بلغت 58درجة مئوية (Hocine & Sharples, 2010). ويوضح الجدول رقم (1) قراءات الظروف الجوية المتوسطة السنوية، والتي تشمل هطول الأمطار، ومتوسط درجة الحرارة العظمى اليومية، ومتوسط درجة الحرارة الصغرى.

جدول 1: متوسط الظروف الجوية السنوية في مدينة طرابلس

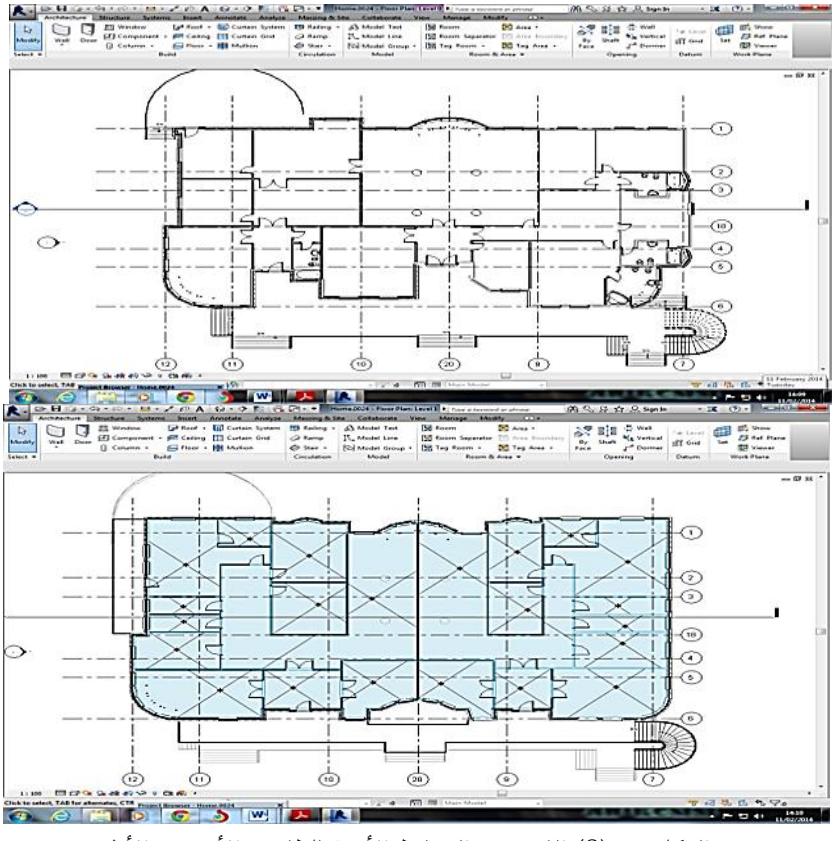
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Record high °C	28	33	38	41	43	44	46	44	45	41	36	31
Average high °C	16	17	19	22	24	27	29	30	29	27	23	18
Average low °C	8	9	11	14	16	19	22	22	22	18	14	9
Record low °C	1	3	4	6	6	10	16	17	15	10	6	1
mm	81	46	28	10	5	0	0	0	10	41	66	94

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

7.1.دراسة الحالة (المبنى محل الدراسة:)

يتميز المبنى السكني المختار للدراسة بمسقط أفقي مستطيل الشكل، وقد تم تشييده في عام 1999. يتكون المبنى من طابقين بارتفاع إجمالي قدره 8 أمتار، ويبلغ الارتفاع الصافي للسقف 3.5 متر. يرتفع الطابق الأرضي بمقدار متر واحد عن مستوى الشارع، كما يحيط بالسطح سترة (ذروة) بارتفاع متر واحد.

تبلغ مساحة الطابق الأول حوالي 700 متر مربع وهو يضم شقتين، تتكون كل منهما من غرفتي نوم، وغرفتي معيشة، وحمامين، ومطبخ. أما الطابق الثاني فينقسم بدوره إلى شقتين أيضاً، تضم كل واحدة منهما ثلاث غرف نوم، وغرفتي معيشة، ومطبخاً وثلاثة حمامات. ويُصنف المبنى كمسكن متعدد الأسر، كما هو موضح في الشكل رقم (8) الذي يبين المساقط الأفقية للطابقين الأرضي والأول.

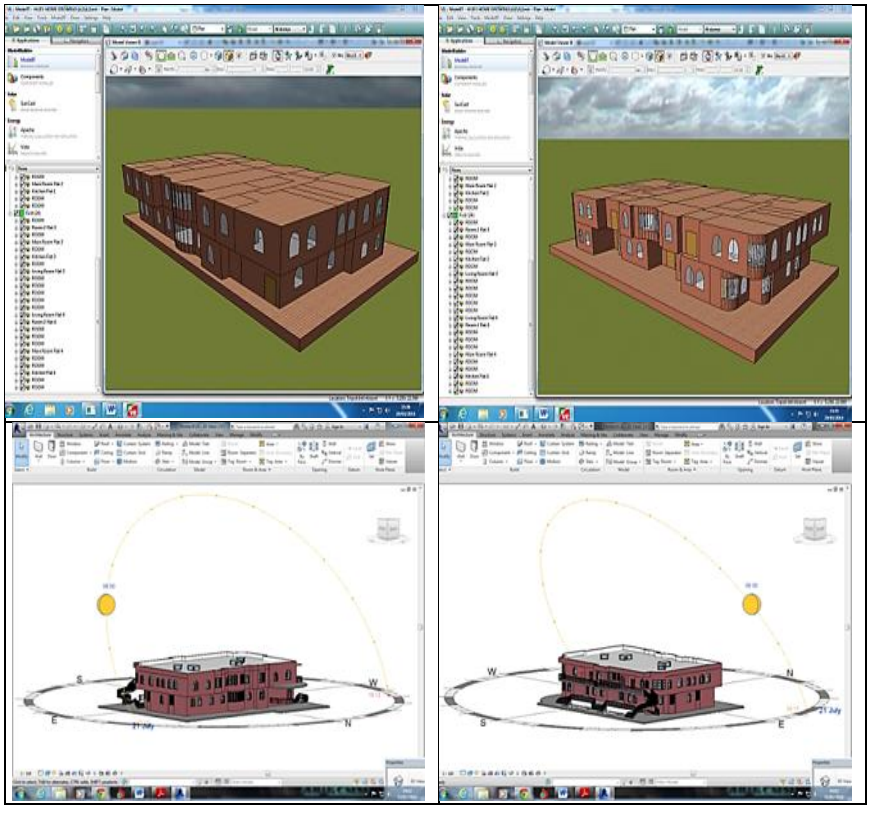


الشكل رقم (8) الذي يبين المساقط الأفقية للطابقين الأرضي والأول.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

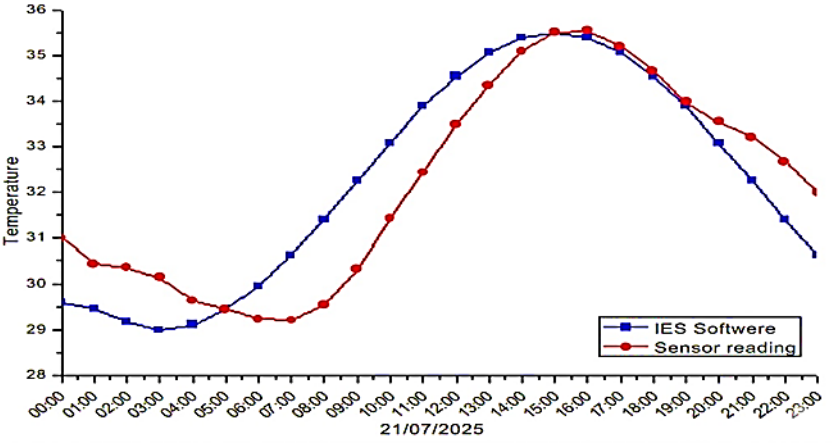
7.2.التحليل والنتائج:

أُجريت دراسة ميدانية تضمنت قياسات لدرجات الحرارة، والرطوبة، واستهلاك الكهرباء، حيث تم جمع نتائج الدراسة وتحليلها. وعلاوة على ذلك، تم بناء نموذج محاكاة حاسوبي باســـتخدام برنامج(IES) ، وهو نموذج محاكاة ديناميكي بالكامل للبحث في التأثيرات المحتملة للتغيرات التي قد تطرأ على المبنى، كما هو موضـح في الشـكل رقم (9). وقد تم التحقق من صـحة النموذج (Validation) من خلال المقارنة بين القياسات الميدانية ونتائج المحاكاة خلال الفترة الحارة. وأظهر نموذج المعايرة (Calibration) أن الفرق بينهما كان أقل من درجتين مئويتين، كما هو موضح في الشكل رقم (10)، مما يؤكد أن المحاكاة تتبع نفس اتجاهات النتائج المقاســـة، وبالتالي فهي تُعد نموذجاً موثوقاً للاعتماد عليه في ظل المناخ الحار لمدينة طرابلس.



الشكل رقم (9) نموذج محاكاة ديناميكي

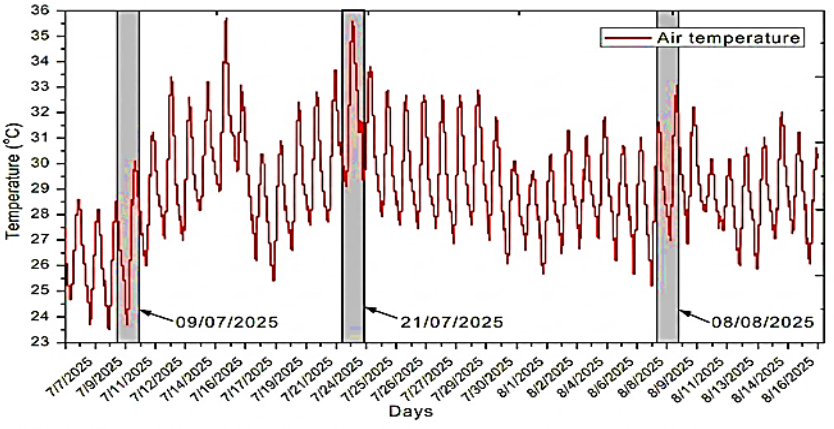
القياسات الموقعية للأداء الحراري لمبنى سكني يقع في المناطق الحارة الجافة (طرابلس – ليبيا)
http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35



الشكل 10: التحقق من صحة البيانات بين برنامج IES وقراءات الحساسات.

7.3. نتائج العمل الميداني:

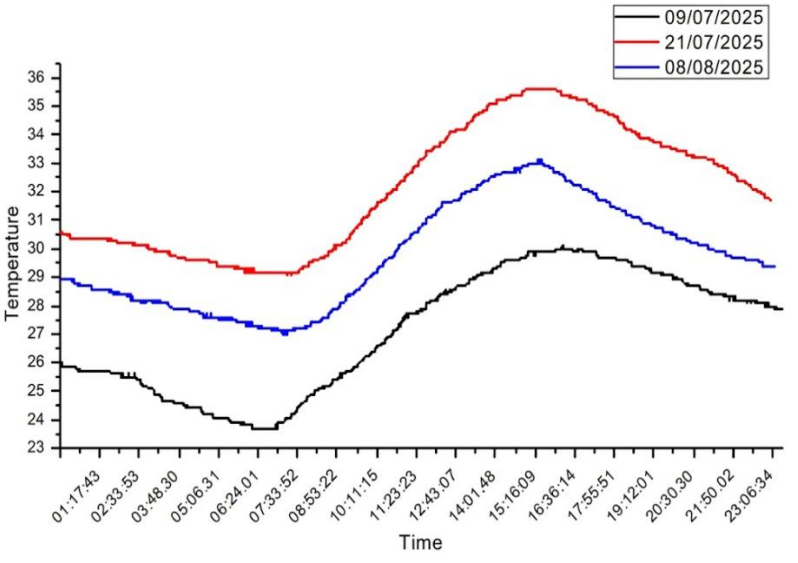
يوضح الشكل رقم (11) درجات حرارة الهواء الخارجي على مدار 45 يوماً متواصلة، حيث يظهر بوضوح وجود يومين بلغت فيهما الحرارة ذروتها(Peak days) ؛ ويتخلل هذين اليومين انخفاض حاد في درجات الحرارة، فيما يتراوح متوسط درجات الحرارة في بقية الأيام بين 27 و33 درجة مئوية. وقد تم اختيار ثلاثة أيام محددة لدراستها بالتفصيل: اليوم الأول يمثل يوم الذروة (2025/07/21)، واليوم الثاني يمثل يوماً ذو درجة حرارة منخفضة (2025/07/09)، وأخيراً يوم ذو درجة حرارة متوسطة (2025/08/08).



الشكل 11: درجات حرارة الهواء الخارجي طوال فترة الـ 45 يوماً للدراسة.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

أما درجات حرارة الهواء الخارجي للأيام الثلاثة المختارة شكل 12.

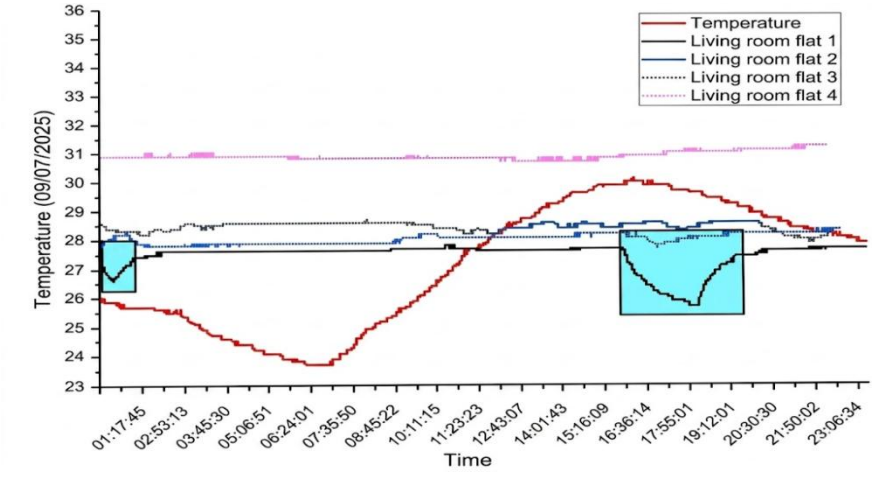


الشكل 12: درجات حرارة الهواء الخارجي للأيام الثلاثة المختارة.

نتائج تحليل درجات الحرارة ليوم 9 يوليو يوضـــح الشـــكل رقم (13) درجات الحرارة الخارجية ودرجات الحرارة داخل الغرف الرئيسية في يوم 9 يوليو، عندما تراوحت درجات الحرارة الخـارجيـة بين 24 و30 درجـة مئويـة. ويُلاحظ أن الغرف الواقعـة في الطـابق الأرضـي (الشـقتان رقم 1 و2) تتميز بدرجات حرارة مسـتقرة إلى حد كبير، في حين أن الغرفة الواقعة في الجهة الغربية بالشـــقة رقم (2) تزيد حرارتها بمقدار درجة واحدة تقريباً عن الغرفة الواقعة في الجهة الشرقية بالشقة رقم (1).

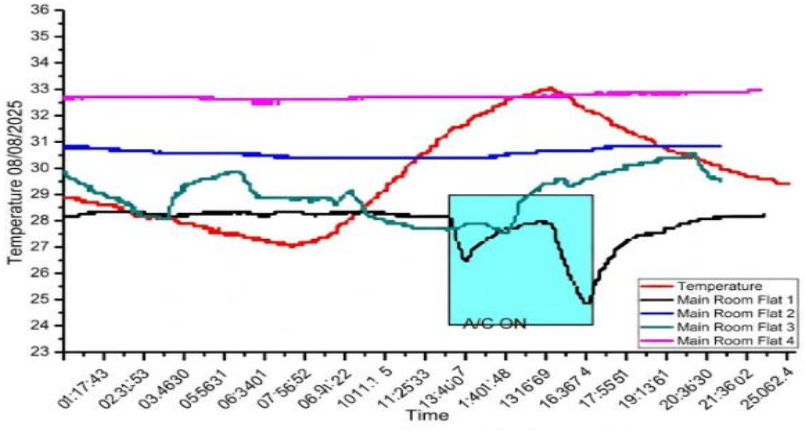
علاوة على ذلك، يظهر في الشـقة رقم (3) أن درجة حرارة الغرفة تنخفض مع انخفاض الحرارة الخارجية في الصـباح الباكر، وترتفع مع ارتفاعها؛ وعند وصـول الحرارة إلى 27 درجة مئوية، يتم تشغيل جهاز تكييف الهواء ويبدأ في التبريد، وبمجرد إيقافه تعاود درجة الحرارة الارتفاع مرة أخرى. أما بالنســـبة للغرفة الموجودة في الشـــقة رقم (4) (والتي لا يتوفر بها تكييف)، فإن درجة حرارتها مســـتقرة عند حوالي 31 درجة مئوية، وهي أعلى من درجة الحرارة الخارجية، مع العلم أنها تقع في الطابق الثاني وفي الجهة الغربية من المبنى.

القياسات الموقعية للأداء الحراري لمبنى سكني يقع في المناطق الحارة الجافة (طرابلس – ليبيا)
http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

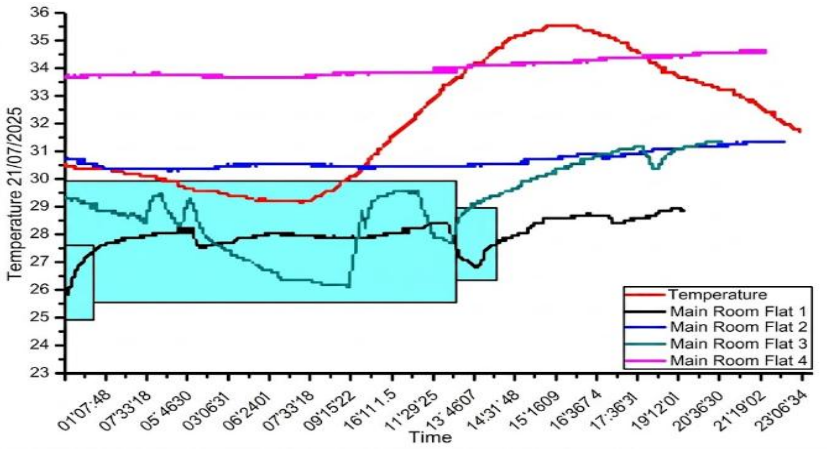


الشكل 13: درجات حرارة الغرف الرئيسية بتاريخ 2025/07/09.

نتائج تحليل درجات الحرارة ليومي 21 يوليو و8 أغسطس بالتركيز على يومي 21 يوليو و8 أغسطس، يلاحظ أن الغرفة الواقعة في الشقة رقم (4) سجلت درجات حرارة أعلى من بقية الغرف كالمعتاد، بمتوسط يتراوح بين 33 إلى 34 درجة مئوية. وفي المقابل، استقرت درجة الحرارة في الشقة رقم (2) عند حوالي 31 درجة مئوية. وعلاوة على ذلك، يظهر في الشكل رقم (14) بوضوح تذبذب درجات الحرارة في الشقتين رقم (1) و(3) صعوداً وهبوطاً، وهو ما يعزى إلى عملية تشغيل وإيقاف أجهزة تكييف الهواء.

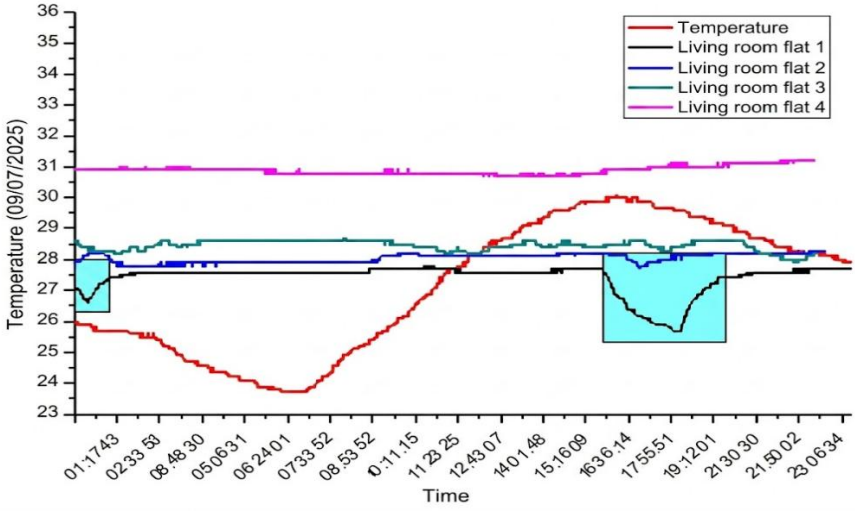


القياسات الموقعية للأداء الحراري لمبنى سكني يقع في المناطق الحارة الجافة (طرابلس – ليبيا)
http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35



الشكل 14: درجات حرارة الغرف الرئيسية في: أ) 21 يوليو، ب) 8 أغسطس.

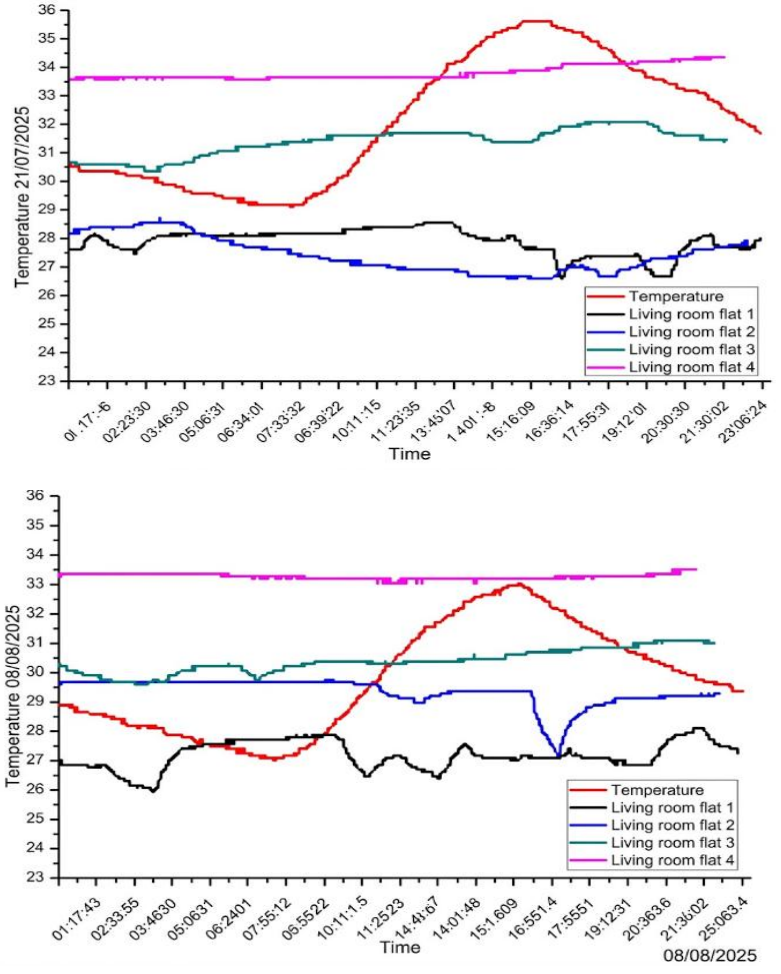
تحليل درجات حرارة غرف المعيشة ليوم 9 يوليو يوضح الشكل رقم (15) أن درجات حرارة غرف المعيشة في يوم 9 يوليو للشقق رقم (1، 2، 3) تراوحت في المتوسط بين 27 و29 درجة مئوية؛ باستثناء غرفة المعيشة في الشقة رقم (1)، حيث انخفضت درجة حرارتها بمقدار درجتين خلال فترة ذروة الحرارة في وقت متأخر من بعد الظهيرة. وفي المقابل، سجلت غرفة المعيشة في الشقة رقم (4) درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الخارجية، حيث استقرت عند حوالي 31 درجة مئوية.



الشكل 15: درجات حرارة غرف المعيشة بتاريخ 9 يوليو.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

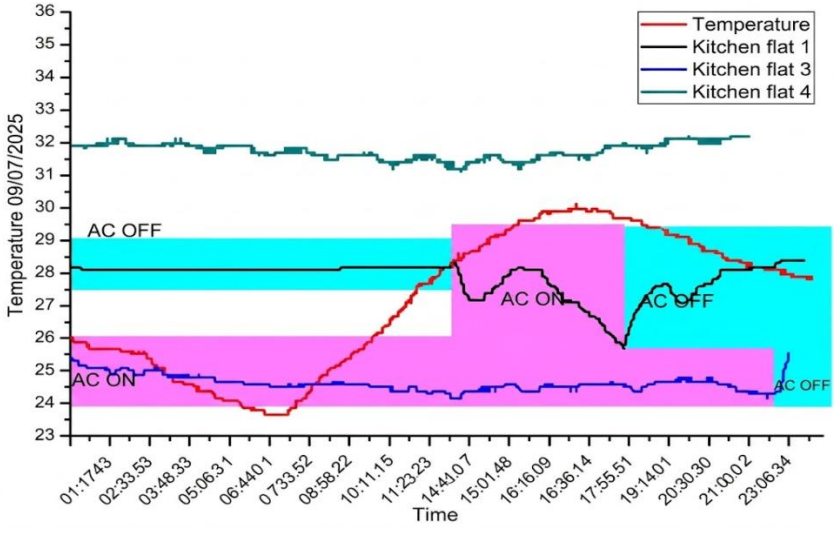
تحليل درجات حرارة غرف المعيشة ليومي 21 يوليو و8 أغسطس يوضح الشكل رقم (16) درجات حرارة غرف المعيشة ليومي 21 يوليو و8 أغسطس؛ حيث يظهر بوضوح عدم استقرار درجات الحرارة في غرف المعيشة بالشقتين رقم (1) و(2)، بغض النظر عما إذا كانت الغرفة مشغولة أم لا. ومن ناحية أخرى، تبين أن درجة الحرارة في غرفة المعيشة بالشقة رقم (3) كانت مستقرة، وكذلك الحال في غرفة المعيشة بالشقة رقم (4)، رغم أنها سجلت أعلى مستويات حرارية.



الشكل 16: درجات حرارة غرف المعيشة بتاريخ 21 يوليو و8 أغسطس.

تحليل درجات حرارة المطابخ ليوم 9 يوليو: تعد المطابخ آخر الفراغات المدروسة في هذا البحث، وهي لا تقل أهمية عن بقية عناصر الشقة نظراً لتواجد ربة البيت فيها معظم الوقت. يوضح الشكل رقم (17) درجات حرارة المطابخ في يوم 9 يوليو لجميع الشقق؛ حيث يظهر بوضوح أن المطبخ في الشقة رقم (1,3) كان مستقراً عند درجة حرارة تزيد قليلاً عن 28 درجة مئوية حتى منتصف النهار، وبالرغم من ارتفاع درجة الحرارة الخارجية، إلا أن حرارة المطبخ انخفضت نتيجة تشغيل جهاز تكييف الهواء.

أما بالنسبة لمطبخ الشقة رقم (2,4)، وكما لوحظ سابقاً، فقد استقرت درجة الحرارة عند حوالي 32 درجة مئوية، وهي أعلى من درجة الحرارة خارج المبنى؛ ويلاحظ هنا أيضاً أن درجة الحرارة كانت مزاحة طورياً (Out of phase) عن الحرارة الخارجية بمقدار 5 ساعات تقريباً نتيجة للتأخير الزمني.



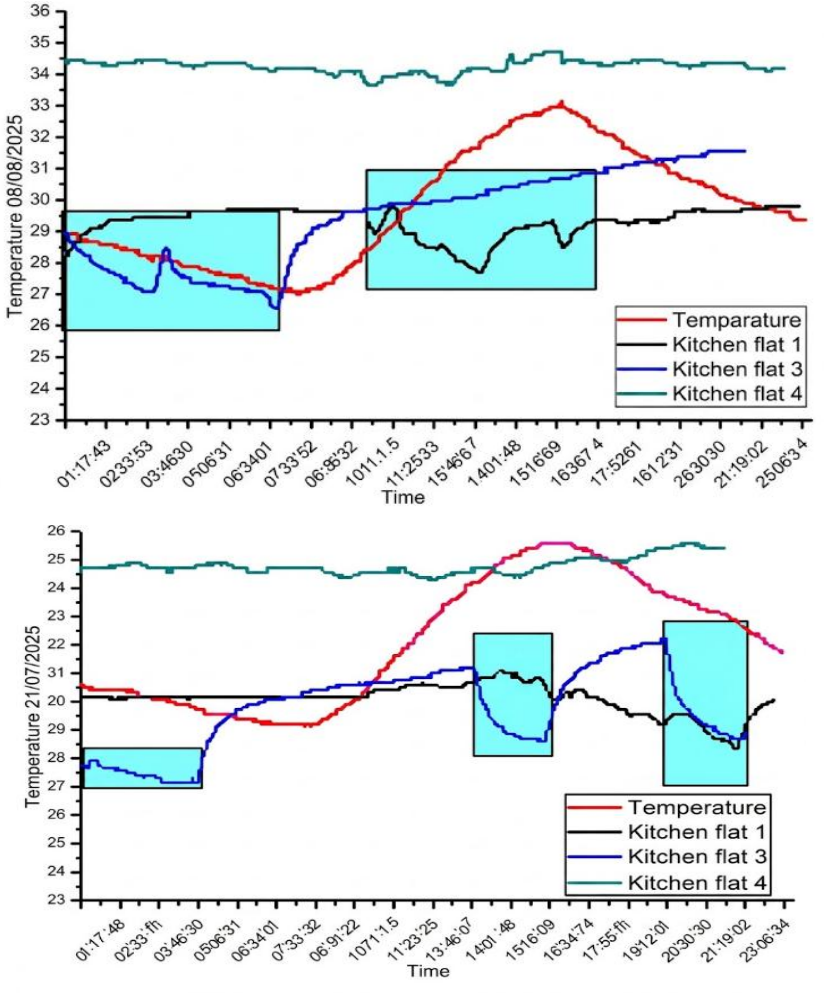
الشكل 17: درجات حرارة المطابخ بتاريخ 9 يوليو.

تحليل دور تكييف الهواء في درجات حرارة المطابخ (21 يوليو و8 أغسطس): يوضح الشكل رقم (18) الدور الجوهري الذي يلعبه تكييف الهواء في تغيير درجات الحرارة داخل المطبخ، كما يوضح كيفية عودة درجات الحرارة لمستوياتها المرتفعة بمجرد إيقاف تشغيله. ففي يوم 21 يوليو، استمر تشغيل نظام التكييف في مطبخ الشقة رقم (3) حتى الساعة الرابعة صباحاً؛ ومع ذلك، فور إيقاف تشغيله، ارتفعت درجة الحرارة بمقدار 3

القياسات الموقعية للأداء الحراري لمبنى سكني يقع في المناطق الحارة الجافة (طرابلس – ليبيا)
http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

درجات مئوية تقريباً، واستمرت في الارتفاع تدريجياً حتى وصلت إلى 31 درجة مئوية. وعند إعادة تشغيل التكييف، انخفضت الحرارة لتصل إلى حوالي 28.5 درجة مئوية، في حين كانت درجة الحرارة الخارجية قد سجلت ذروتها عند 35.5 درجة مئوية.

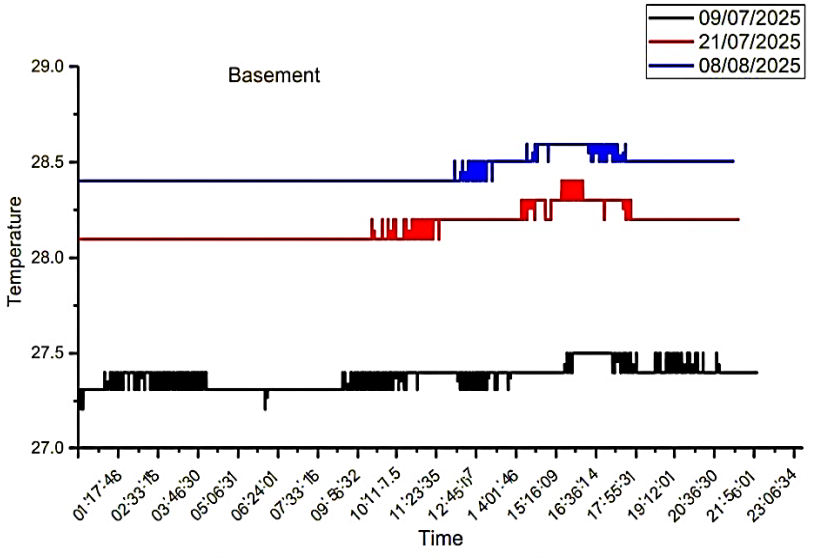
علاوة على ذلك، يلاحظ أنه عند إيقاف التكييف مرة أخرى، عاودت الحرارة الارتفاع لتصل إلى 32 درجة مئوية، ثم انخفضت مجدداً إلى 28.5 درجة مئوية بعد تشغيله. وتنطبق ملاحظات مماثلة على البيانات المسجلة في يوم 8 أغسطس.



الشكل 18: درجات حرارة المطبخ بتاريخ 21 يوليو و8 أغسطس.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

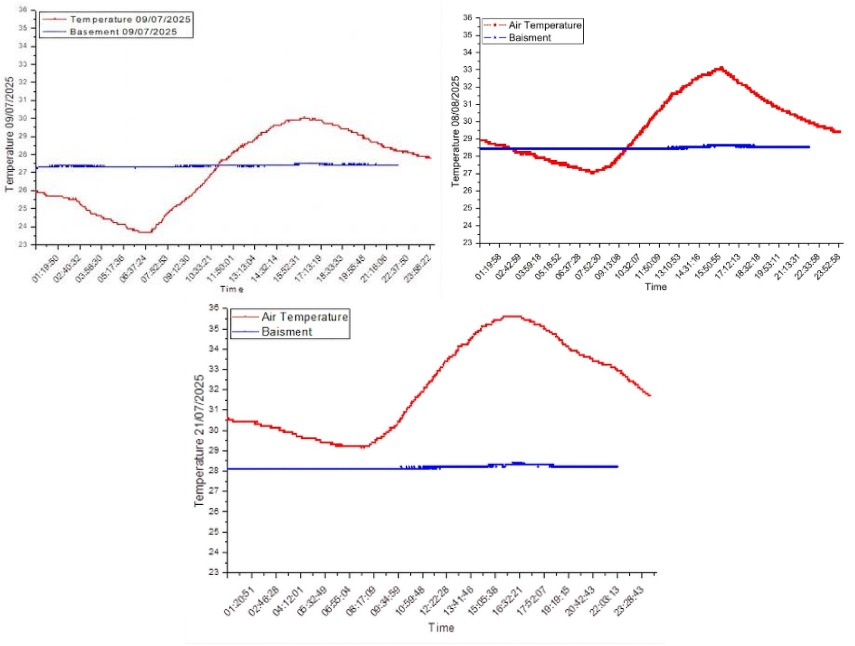
تحليل الأداء الحراري للقبو فتتمثل الملاحظة الهامة الأخرى في أن درجة حرارة القبو لا تتأثر كثيراً بتقلبات درجات الحرارة الخارجية. وبالنظر بدقة إلى الأيام الثلاثة المدروسة، نجد أنه بغض النظر عن ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة الخارجية، فإن التغير في درجة حرارة القبو ظل محدوداً في نطاق درجة مئوية واحدة تقريباً، كما هو موضح في الشكل رقم (19).



الشكل 19: درجات حرارة القبو بتاريخ 9 و21 يوليو و8 أغسطس.

التحليل المقارن بين الحرارة الخارجية وحرارة القبو ولمزيد من التوضيح، يستعرض الشكل رقم (20) العلاقة بين درجة الحرارة الخارجية ودرجة حرارة القبو خلال الأيام الثلاثة المدروسة.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

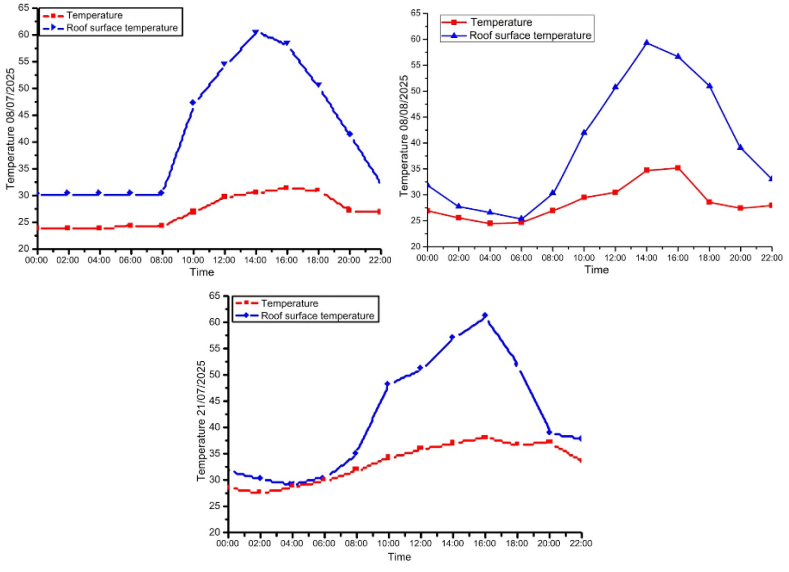


الشكل 20: درجات حرارة القبو بتاريخ 9 و21 يوليو و8 أغسطس.

تحليل الأداء الحراري لسطح المبنى حيث تعد عملية امتصاص الإشعاع الشمسي من قبل سطح المبنى أحد الأسباب الرئيسية لظاهرة الاحتباس الحراري داخل الفراغات، كما هو موضح في الشكل رقم (21). ففي منتصف النهار، تصل درجة حرارة سطح السقف إلى 65 درجة مئوية، ويصل الفارق بين درجات حرارة الليل والنهار إلى 30 درجة مئوية.

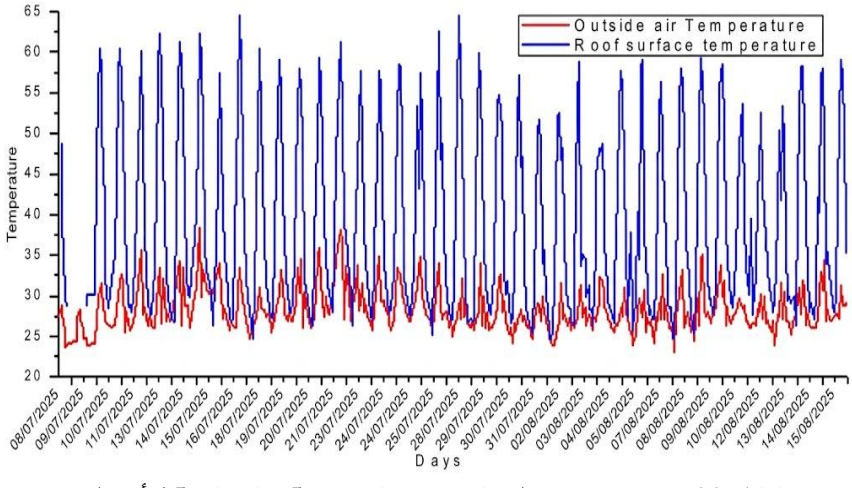
ومن الجدير بالذكر أنه في يوم 9 يوليو، استقرت درجة الحرارة الخارجية وحرارة السطح حتى الساعة الثامنة صباحاً؛ وبعد ذلك بدأت الحرارة الخارجية في الارتفاع تدريجياً لتصل إلى ذروتها في تمام الساعة الرابعة مساءً قبل أن تبدأ في الانخفاض. وفي المقابل، قفزت درجة حرارة سطح السقف لتصل إلى 62 درجة مئوية خلال 6 ساعات فقط، وهو ما يزيد بمقدار 32 درجة مئوية عن درجة الحرارة الخارجية. وقد تكرر هذا المشهد في اليومين الآخرين، أي في 21 يوليو و8 أغسطس.

القياسات الموقعية للأداء الحراري لمبنى سكني يقع في المناطق الحارة الجافة (طرابلس – ليبيا)
http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35



الشكل 21: درجات حرارة سطح السقف بتاريخ 9 و21 يوليو و8 أغسطس.

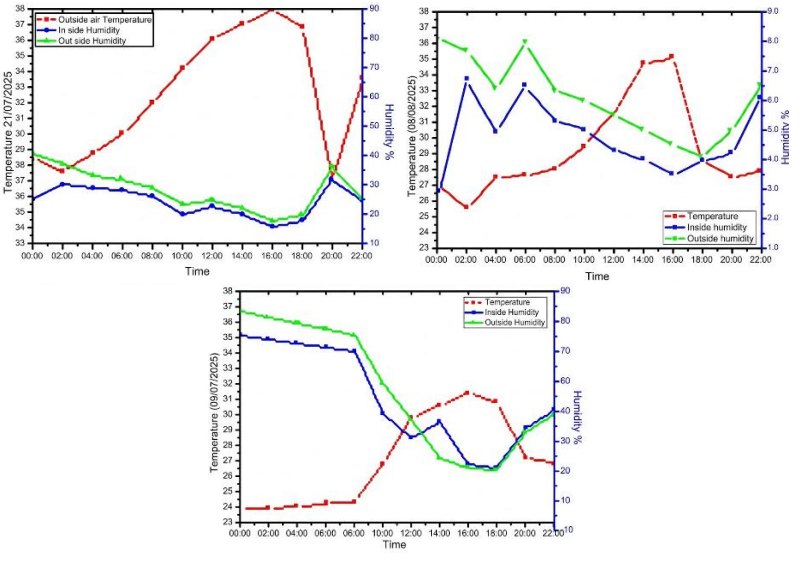
التحليل الشامل لأداء السطح الحراري (فترة الـ 45 يوماً) ولرؤية الصورة الكاملة لأداء السطح بمزيد من الوضوح، ولبيان الفارق الشاسع بين درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة السطح، يستعرض الشكل رقم (22) هذه العلاقة بشكل جلي طوال فترة الدراسة التي استمرت 45 يوماً.



الشكل 22: درجات حرارة سطح السقف في الفترة من 5 يوليو إلى 15 أغسطس.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

يتناول الجزء الآخر من هذه الدراسة تحليل الرطوبة النسبية وعلاقتها بدرجات الحرارة واستقصاء مستويات الرطوبة داخل المبنى وخارجه، وعلاقتها بدرجة الحرارة. يوضح الشكل رقم (23) البيانات الخاصة بالأيام الثلاثة المدروسة؛ حيث تظهر بوضوح وجود علاقة قوية بين مستويات الرطوبة في الداخل والخارج، إذ غالباً ما تكون الرطوبة الداخلية أقل من الخارجية بنسبة 10% تقريباً. علاوة على ذلك، توجد علاقة عكسية واضحة بين الرطوبة ودرجة الحرارة.

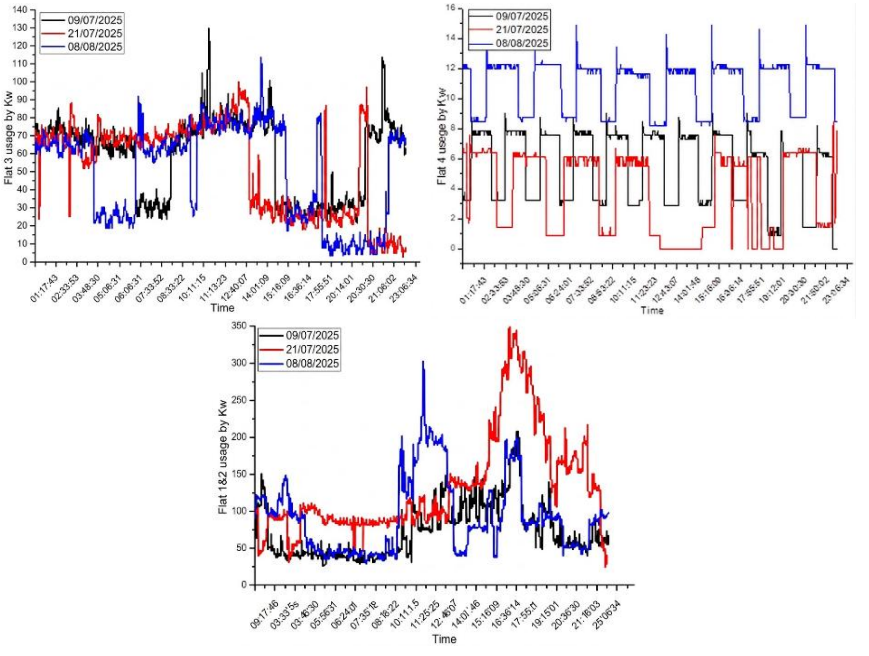


الشكل 23: العلاقة بين الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة خلال الأيام الثلاثة المدروسة.

وبتحليل استهلاك الطاقة الكهربائية وأداء أنظمة التبريد فيتناول الجزء الأخير من هذه الدراسة معدلات استهلاك الكهرباء في المبنى؛ وبشكل عام، يلاحظ استقرار الاستهلاك في الشقتين (1) و(2) حتى الساعة التاسعة صباحاً، ليبدأ بعدها في الارتفاع ليصل إلى أكثر من ضعف الاستهلاك المعتاد نتيجة ارتفاع درجات الحرارة الخارجية التي تستلزم تشغيل أنظمة تكييف الهواء. وتجدر الإشارة إلى وجود 8 وحدات تكييف في الشقة رقم (1) و7 وحدات في الشقة رقم (2)، حيث تستهلك كل وحدة تبريد حوالي 6359 واط/ساعة، وقد يصل إجمالي الاستهلاك إلى 200 كيلوواط، كما هو موضح في الشكل رقم (24).

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

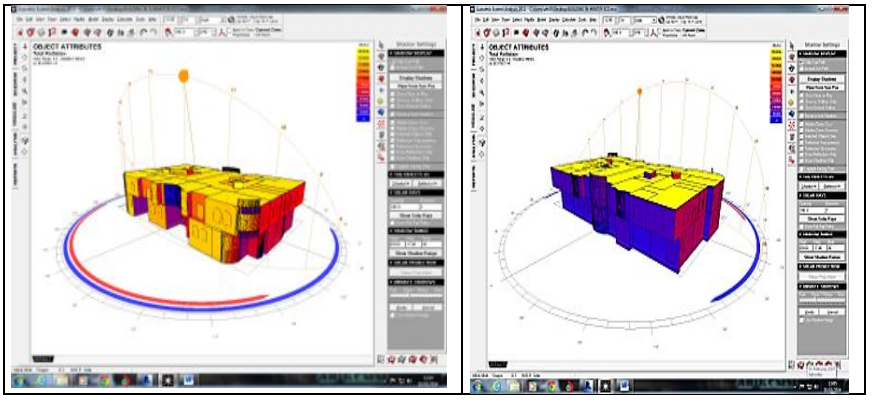
أما في الشقة رقم (3)، فيتركز معظم استهلاك أجهزة التكييف في وقت متأخر من الليل ويستمر حتى الساعة الثانية ظهراً تقريباً؛ ويعزى ذلك غالباً إلى انتقال كميات هائلة من الحرارة عبر السقف والواجهة الشرقية. وفي المقابل، سجلت الشقة رقم (4) استهلاكاً أقل نظراً لقلة استخدام أجهزة التكييف، ويظهر بوضوح وجود فارق جوهري في معدلات الاستهلاك بين الشقق (1، 2، 3) وبين الشقة رقم (4).



الشكل 24: معدلات استهلاك الطاقة الكهربائية للشقق (1 و2) والشقة (3) والشقة (4)، بتاريخ 9 و21 يوليو و8 أغسطس.

مطابقة نتائج المحاكاة (IES Model) مع القياسات الميدانية حيث لضمان دقة نموذج المحاكاة ومطابقته للنتائج التي تم قياسها فعلياً، أظهرت نتائج برنامج IES-VE توافقاً تاماً مع البيانات الميدانية، كما هو موضح في الشكل رقم (25). حيث سجل سطح السقف أعلى درجة حرارة بين جميع أسطح المبنى، يليه في المرتبة الثانية الواجهة الجنوبية، بينما جاءت الواجهتان الشرقية والغربية في المرتبة الثالثة من حيث التأثر بالارتفاع الحراري.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35



الشكل 25: نتائج درجات حرارة الأسطح باستخدام برنامج.IES-VE

8. الاستنتاجات:

ركز هذا الجزء من الدراسة على تحليل الأداء الحراري للمبنى، معتمداً بشكل أساسي على رصد درجات الحرارة الداخلية والخارجية، وتتبع أنماط تشغيل أنظمة تكييف الهواء. ومن أجل الوصول إلى فهم شامل لمتطلبات الراحة الحرارية (Thermal Comfort) عالية الجودة، تم تحديد أربعة جوانب تحليلية محورية:

- يستنتَج من هذه الدراسة أهمية التحسينات المعمارية كأداة فعالة لتمكين السياسات العمرانية من دعم الانتقال نحو المباني السكنية منخفضة الكربون في المناطق ذات المناخ الحار والجاف
- الاعتماد المباشر والكامل على التبريد الميكانيكي يمنع المبنى من التكيف حرارياً، فيتحول كل ارتفاع في الحرارة الخارجية فوراً إلى زيادة في الاستهلاك الكهربائي وتكاليف التشغيل
- يزداد استهلاك الطاقة الكهربائية في المبنى بشكل طردي كلما ارتفعت درجات الحرارة الخارجية، نتيجة الاعتماد الكلي على التبريد الميكانيكي لمعادلة الاكتساب الحراري.
- يُظهر التحليل وجود تباين حراري ملحوظ بين الفراغات الوظيفية الداخلية والغلاف الخارجي للمبنى، مما يعكس تفاوت الأداء الحراري لعناصر الغلاف ومدى تأثره بالظروف المحيطة والأحمال الداخلية الرطوبة النسبية لها تأثير على جودة البيئة الداخلية في المناخ الساحلي.

- يعكس معدل استهلاك الطاقة الكهربائية كفاءة الأداء البيئي للمبنى إذ تترجم التكاليف الطاقة العالية للتبريد الميكانيكي ضعف قدرة الغلاف المعماري على تحقيق التوازن الحراري السلبي لدرجات حرارة الأسطح تلعب دورا في تقييم كفاءة غلاف المبنى في مواجهة الإشعاع الشمسي المباشر.
- تأثير السقف على الطوابق العليا حيث تعاني الشقق الواقعة في الطابق العلوي من أعلى معدلات اكتساب حراري؛ ويرجع ذلك إلى أن سطح السقف هو الماص الأكبر للإشعاع الشمسي في المبنى بأكمله.
- تأثير الإزاحة الزمنية حيث لوحظ تفاوت في نمط استخدام أجهزة التكييف؛ حيث تعتمد الشقق في الطابق الأرضي على التبريد خلال ساعات النهار، بينما يزداد استهلاك الشقق في الطابق الأول (العلوي) خلال ساعات الليل. ويعزى ذلك إلى ظاهرة الإزاحة الزمنية في انتقال الحرارة عبر الهيكل الإنشائي المشبع بالإشعاع الشمسي نهاراً.
- الاستقرار الحراري للقبو: لا تتأثر درجة حرارة القبو بشكل ملموس بتقلبات الحرارة الخارجية؛ حيث وُجد أنه مهما بلغ ارتفاع أو انخفاض الحرارة في الخارج، فإن التذبذب في حرارة القبو يظل محدوداً في نطاق درجة مئوية واحدة تقريباً. ويعود ذلك إلى كون الفراغ محمياً بشكل كبير من الاكتسابات الشمسية المباشرة بفضل اتصاله بالكتلة الأرضية.

9. التوصيات:

1- تركيب عزل حراري مرتفع الكثافة للأسقف: استخدام طبقات عزل سميكة في الطابق العلوي لتقليل امتصاص الإشعاع الشمسي المباشر.

2- اعتماد الطلاءات والمواد الانعكاسية: استخدام ألوان فاتحة ودهانات عاكسة للحرارة على السطح والواجهات لتقليل الاكتساب الحراري.

3- تطبيق تقنية التهوية الليلية المتقاطعة: فتح نوافذ ومسارات الهواء ليلاً لتفريغ الحرارة المخزنة في الجدران والأسقف قبل تشغيل التكييف.

4- توفير كاسرات وشاشات تظليل خارجية: تركيب وسائل تظليل للفتحات والواجهات الأكثر تعرضاً للشمس لمنع دخول الحرارة للفراغات الداخلية.

http://www.doi.org/10.62341/istj-vol39-1-ay35

5-استغلال الاستقرار الحراري للقبو: توظيف الفراغات تحت الأرضية للأنشطة والخدمات اليومية لتقليل الحاجة إلى التبريد الميكانيكي.

6- تركيب نوافذ مزدوجة الزجاج: استخدام الزجاج المزدوج في الفتحات الخارجية للحد من تسرب الحرارة وضبط مستويات الرطوبة داخل المبنى.

7- اختيار مواد بناء ذات سعة حرارية متوازنة: انتقاء مكونات الغلاف الخارجي بما يتناسب مع ظاهرة التأخير الزمني لنقل الحرارة حسب أوقات استخدام الفراغ.

8- استخدام أنظمة تحكم ذكية في التكييف: برمجة أجهزة التبريد وفقاً لجدول الإشغال الزمني والتفاوت الحراري بين الطوابق لترشيد الكهرباء.

9- تطبيق تقنيات التبريد عبر التربة: الاستفادة من الاتصال بالكتلة الأرضية لتبريد الهواء الداخلي المار للمبنى بطرق طبيعية وسلبية.

المراجع:

BIDA, A. (2013). Regional Center for Renewable Energy and Energy Efficiency. Promoting Renewable Energy and Energy Efficiency in Libya REAOL / World Bank. Tripoli: Regional Centre for Renewable Energy and Energy Efficiency (RCREEE.(

GECOL, L. G. (2025). Statistics 2025. Retrieved 03 01, 2025, from Libya General electricity company of Libya (GECOL): http://www.gecol.ly/resources/documents/reports/static_2012.pdf

Hocine, B., & Sharples, S. (2010). Environment, Technology and Sustainability (Vol. 2). (J. Zunde, Ed.) Routledge, UK: Taylor & Francis

Mortensen, N. (2010). THE NATURALLY AIR CONDITIONED HOUSE. sharing sustainable solutions.

Santamouris, M., & Asimakopoulos, D. (1996). Passive cooling of buildings. Michigan: James & James.