



تحسين كفاءة العزل الحراري لمباني المناطق الجبلية الليبية خلال فصل الشتاء بأقل تكلفة باستخدام
البوليسترين بسُمك 1.5 سم

Improving the Thermal Insulation Efficiency of Buildings in the Libyan Mountainous Regions
During Winter at the Lowest Cost Using 1.5 cm Thick Polystyrene

محمد مصباح الهرامة د سعيد احمد سعيد السيفاو موسي احمد قايد

قسم التقنية الكيميائية, كلية العلوم والتقنية جادو

Elharama.ali@cstj.edu.ly

الملخص

ان امكانية الحد من التسرب الحراري والمحافظة علي درجة الحرارة داخل المنازل في المنطقة الجبلية من ليبيا في فصل الشتاء باقل تكلفة, بالاعتبار انها منجزة يعد هدف لذي الورقة , وذلك بفرض 25 درجة مئوية داخل غرفة, وتنخفض حتي صفر مئوي خارجها في المنطقة الجبلية من ليبيا حيث يعاني السكان من قلة الامكانيات وقلة مصادر الطاقة , وركزت الدراسة علي استخدام اقل سمك للعازل (البوليسترين) لتقليل التكلفة مع عزل حراري جيد يفوق الخمسين بالمائة, حيث يعد البوليسترين (Polystyrene) من المواد العازلة الشائعة الاستخدام في البناء الحديث, وذلك بسبب انخفاض معامل التوصيل الحراري الخاص به. حيث يبلغ معامل التوصيل الحراري له حوالي $k = 0.03 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ وهذه القيمة المنخفضة تعني أن المادة تسمح بمرور كمية قليلة جداً من الحرارة, مما يجعلها مادة فعالة في العزل الحراري , عليه فهي تساعد على تقليل فقدان الطاقة الحرارية داخل المباني وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة , حيث اعتمدت الدراسة على القوانين الأساسية لانتقال الحرارة (التوصيل الحراري) إضافة إلى تطبيق مبادئ القانون الثاني للديناميكا الحرارية بصورة نظرية, توصلت الدراسة الي ان استخدام طبقة من البوليسترين بسُمك 1.5 سم في نطاق الدراسة يقلل التسرب الحراري بواقع 55% وذلك بالمقارنة مع عدم استخدام العازل, كما نتجت الدراسة الي ان التسرب الحراري عبر السقف اكبر مئة في الحائط حيث كان (2500 وات) كما اكدة الدراسة ان الفرق الحاصل في القدرة نتيجة استخدام العازل من عدمه هي (3500 وات) .

Abstract;

This study aims to investigate the possibility of reducing heat leakage and maintaining the indoor temperature of a house by assuming a temperature of 25°C inside a room and 0°C outside in the mountainous regions of Libya. The study focused on using the minimum possible insulation thickness in order to reduce cost while still achieving effective thermal insulation.

Polystyrene is considered one of the commonly used insulating materials in modern construction due to its low thermal conductivity. The thermal conductivity of polystyrene is approximately $k = 0.03 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. This low value means that





the material allows only a very small amount of heat to pass through it, making it an effective thermal insulating material. Therefore, it helps reduce heat energy loss inside buildings and improves energy efficiency.

The study relied on the fundamental laws of heat transfer (thermal conduction) in addition to applying the principles of the Second Law of Thermodynamics theoretically. The results of the study showed that using a 1.5 cm thick polystyrene insulation layer within the scope of the study reduces heat leakage by about 55% compared to the case without insulation.

The study also found that heat loss through the roof is greater than through the walls, reaching approximately 2500 W. Furthermore, the study confirmed that the difference in thermal power between the insulated and non-insulated cases is about 3500 W.

نشر الورقة: 2026-09-02

قبول الورقة: 2026-08-18

استلام الورقة: 2026-07-26

المقدمة

يُعد علم انتقال الحرارة أحد الفروع الأساسية في الفيزياء والهندسة الكيميائية، حيث يهتم بدراسة آليات انتقال الطاقة الحرارية بين الأجسام أو عبر المواد المختلفة نتيجة وجود فرق في درجات الحرارة. وتتم هذه العملية عبر ثلاثة أنماط رئيسية هي: التوصيل الحراري، والحمل الحراري، والإشعاع الحراري. وتكتسب دراسة انتقال الحرارة أهمية كبيرة في مجال تصميم المباني، إذ تساعد على فهم كيفية انتقال الحرارة عبر الجدران والأسقف والنوافذ، وبالتالي إيجاد حلول هندسية تقلل من فقدان الطاقة الحرارية وتحسن الكفاءة الحرارية للمنازل، في المناطق الجبلية من ليبيا حيث تتميز الظروف المناخية بانخفاض درجات الحرارة خلال فصل الشتاء مقارنة بالمناطق الساحلية، مما يؤدي إلى زيادة فقدان الحرارة من داخل المباني إلى الخارج عبر عناصر البناء المختلفة. ويؤثر هذا الفقد الحراري بشكل مباشر على الراحة الحرارية للسكان، كما يؤدي إلى زيادة استهلاك مصادر الطاقة المستخدمة في التدفئة. لذلك أصبح من الضروري دراسة ظاهرة انتقال الحرارة عبر جدران وأسقف المباني، خاصة في الغرف السكنية، بهدف تقليل التسرب الحراري والحفاظ على أكبر قدر ممكن من الطاقة الحرارية داخل المكان، وتكمن أهمية تطبيق مبادئ انتقال الحرارة في اختيار مواد البناء المناسبة التي تمتلك معاملات توصيل حراري منخفضة، إضافة إلى استخدام أنظمة العزل الحراري مثل البوليسترين أو غيره من المواد العازلة، والتي تعمل على تقليل معدل انتقال الحرارة عبر الجدران والأسقف. كما أن تصميم الجدران متعددة الطبقات يمثل أحد الحلول الفعالة للحد من الفقد الحراري، حيث تؤدي زيادة المقاومة الحرارية للجدار إلى تقليل التدفق الحراري بين داخل المبنى وخارجه فهذه الدراسة تساعد سكان تلك المناطق في حل مشكلة التسرب الحراري عبر الجدران واسقف بأقل تكلفة من حيث التعامل مع الواقع الموجود أي عدم تغير في البنية التحتية وكذلك اقل تكلفة ممكنة مع أكثر عزل حراري عبر استخدام طبقة من البوليسترين بسُمك 1.5



سم تقوم بمنع اترب الحراري يفوق الوضع الحالي بي 55% , عليّة فان الدراسة تغطي نقص حاصل في الدراسات النظرية السابقة للمحافظة علي كمية الحرارة في تلك المناطق من ليبيا .

اشكاله الدراسة :-

تنخفض درجات الحرارة خلال فصل الشتاء في المناطق الجبلية في ليبيا، حيث تصل إلى الصفر المئوي، مما يزيد من الحاجة إلى الحفاظ على الطاقة الحرارية داخل المباني، إلا أن هذه المباني لا تراعي استخدام العوازل الحرارية، إذ تعتمد على أسقف خرسانية وحائط تقليدي ذا مقاومة حرارية منخفضة، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة فقدان الحرارة وصعوبة الحفاظ على درجة حرارة داخلية مريحة ونتيجة لذلك، يزداد استهلاك الطاقة الحرارية للتدفئة، مما يرفع من التكاليف الاقتصادية، وقد ينعكس سلباً على صحة السكان بسبب التعرض للبرد...

عليه، تأتي هذه الدراسة بهدف معالجة هذه المشكلة من خلال اقتراح حلول فعالة تعتمد على تحسين العزل الحراري للمباني، مع التركيز على تحقيق أفضل أداء حراري ممكن بأقل تكلفة، بما يتناسب مع الظروف المحلية.

الاهداف :-

1. ايجاد اقل سمك للعازل الحراري بحيث نحصل علي عزل جيد مع اقل تكلفة .
2. حساب الفاقد في كمية الحرارة للحائط في نطاق الدراسة بدون استخدام العازل الحراري وذلك للمقارنة.
3. حساب الفاقد في كمية الحرارة بعد اضافة عازل البولسترين بسمك 1.5 سم الي الجدار وايجاد فرق و كفاءته العزل الحراري بين استخدام العازل من عدمه .
4. عزل حراري بدون الحاجة الي التغيير من الناحية الانشائية للمنازل وتعامل مع البناء كما هوا حيث تضاف طبقة البولسترين للجدار فقط.

الدراسات السابقة :-

1- دراسة محاكاة انتقال الحرارة عبر الجدران في المباني السكنية :- أجرى الباحث (Kafel A. and . Mohammed) (2025) دراسة

بعنوان *(Simulation of Heat Gain by) (Conduction Through Walls for Residential*

Buildings). هدفت الدراسة إلى حساب كمية الحرارة المنتقلة عبر الجدران في المباني السكنية باستخدام المحاكاة العددية. اعتمد

الباحثون على قانون فورييه للتوصيل الحراري ونموذج حاسوبي لحساب انتقال الحرارة عبر الجدران متعددة الطبقات.

أظهرت النتائج أن اختلاف تركيب الجدار ومواد البناء يؤثر بشكل كبير على مقدار الكسب الحراري، حيث تمكن أحد أنواع الجدران

المدرسة من تقليل الكسب الحراري بنسبة 71% مقارنة بالأنواع الأخرى .



2- دراسة تأثير الغلاف الخارجي للمبنى على الاكتساب الحراري

في دراسة بعنوان تأثير الغلاف الخارجي للمبنى على الاكتساب الحراري في المناخ الحار الجاف (2016) تم تحليل انتقال الحرارة عبر الجدران والأسقف في المباني اعتمدت الدراسة على حساب معامل الانتقال الحراري الكلي (U-value) لعدة قطاعات من الجدران والأسقف.

أظهرت النتائج أن قيمة معامل الانتقال الحراري تختلف حسب نوع المواد وسمك الطبقات، حيث (بلغت قيمة معامل الانتقال الحراري لبعض الجدران $2.32 \text{ W/m}^2\text{K}$ بينما بلغ للأسقف) حوالي $1.92 \text{ W/m}^2\text{K}$ ، مما يدل على أن تصميم الجدار والسقف يؤثر مباشرة على كمية (الحرارة المنتقلة إلى داخل المبنى.

3- أجرى الباحث عبدالله الناعي (2018) دراسة تجريبية بعنوان *Experimental Investigation of Thermal Performance of Insulation in Buildings*. هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير العزل الحراري على انتقال الحرارة عبر الجدران، تم إجراء تجارب على أربع غرف اختبار باستخدام أنواع مختلفة من مواد العزل مثل البولسترين والطلاءات العازلة. وأظهرت النتائج أن استخدام مواد العزل الحراري يمكن أن يقلل انتقال الحرارة عبر الجدران بنسبة تصل إلى (35%)، كما يمكن أن يصل توفير في استهلاك الطاقة إلى حوالي (58%) عند استخدام أنظمة عزل متقدمة.

4- دراسة نمزجه انتقال الحرارة في غلاف المبنى

نموذجاً رياضياً ثنائي الأبعاد لدراسة انتقال الحرارة في غلاف المباني، والذي يشمل الجدران (2021) و (Berger) اقترح الباحثون والأسقف استخدمت الدراسة المحاكاة العددية لتحليل تأثير الظروف البيئية مثل الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح على انتقال حيث أظهرت النتائج أن النماذج ثنائية الأبعاد تعطي دقة أكبر في حساب انتقال الحرارة مقارنة بالنماذج أحادية البعد الحرارة المستخدمة عادة في حساب الأحمال الحرارية للمباني .

5- دراسة انتقال الحرارة في الأسقف المزدوجة. تناولت دراسة (Biwole) و (2013) انتقال الحرارة عبر الأسقف المزدوجة المهيأة طبيعياً. هدفت الدراسة إلى تقليل انتقال الحرارة إلى داخل المباني خلال فصل الصيف.

أظهرت النتائج أن استخدام سقف مزدوج مع فراغ هوائي يسمح بحدوث حمل حراري طبيعي يساهم في طرد الحرارة، مما يقلل من الحرارة المنتقلة إلى داخل المبنى ويحسن الراحة الحرارية في المناطق الحارة.

خلاصة الدراسات السابقة

توضح الدراسات السابقة أن انتقال الحرارة عبر الجدران والأسقف يعتمد على عدة عوامل رئيسية أهمها، مواد البناء ومعامل



التوصيل الحراري لها وسمك طبقات الجدار أو السقف ووجود العزل الحراري. ايضاً الظروف المناخية الخارجية مثل الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، كما تشير معظم الدراسات إلى أن استخدام مواد عزل ذات موصلية حرارية منخفضة يمكن أن يقلل بشكل كبير من انتقال الحرارة ويحسن كفاءة الطاقة في المباني. وأشارت هذه الدراسة التي نحن بصددتها إلى الاهتمام بالواقع الموجود وتحسين عدم التسرب الحراري بأقل تكلفة وأكثر فاعلية ممكنة.

المنهجية النظرية

دلالات الرموز المستخدمة في الدراسة

الرمز	دلالة الرمز	الوحدة
R	المقاومة	
K_1	معامل التوصيل الحراري لطبقة الخارجية	$((W/m \cdot K))$
K_2	معامل التوصيل الحراري لطبقة الطوب الاسمنتي	$((W/m \cdot K))$
K_3	معامل التوصيل الحراري لطبقة الداخلية	$((W/m \cdot K))$
K_4	معامل التوصيل الحراري للبوليسترين 1.5 سم	$((W/m \cdot K))$
L_1	سمك طبقة الاسمنت الخارجية	m
L_2	سمك طبقة الطوب الاسمنتي	M
L_3	سمك طبقة الاسمنت الداخلية	M
L_4	سمك طبقة البوليسترين	M
R_1	المقاومة الحرارية الطبقة الخارجية	$(W/m^2 \cdot K)$
R_2	المقاومة الحرارية لطوب الاسمنت	$(W/m^2 \cdot K)$
R_3	المقاومة الحرارية لطبقة الاسمن الداخلية	$(W/m^2 \cdot K)$
الرمز	دلالة الرمز	الوحدة
R_{total}	المقاومة الحرارية الكلية	$(W/m^2 \cdot K)$
U	معامل انتقال الحرارة	$(W/m^2 \cdot K)$
R_{si}	الثابت الاوربي للإشعاع والحمل	
R_{so}	الثابت الاوربي للإشعاع والحمل	
ΔT	فرق درجة الحرارة	$^{\circ}C$
A	مساحة السطح	m^2



w	القدرة الحرارية للسقف	Q_{roof}
W	القدرة الحرارية الكلية	Q_{total}
W	القدرة الحرارية الكلية الجديدة	Q_{walls}
$(W/m^2 \cdot K)$	مقاومة العزل الحراري	$R_{INSULATION}$
$(W/m^2 \cdot K)$	معامل انتقال الحرارة الجديد	U_{new}
$(W/m^2 \cdot K)$	معامل انتقال الحرارة للسقف	U_{roof}
$(W/m^2 \cdot K)$	فقدان الحرارة عبر الجدار	U_{walls}
$(W/m^2 \cdot K)$	معامل انتقال الحرارة الجديد للحائط	$U_{wall.new}$
W	القدرة الحرارية الجديدة للحائط	$Q_{wall.new}$
W	القدرة الحرارية الجديدة للسقف	$Q_{roof.new}$
W	القدرة الحرارية الكلية الجديدة	$Q_{total.new}$

الفرضيات :-

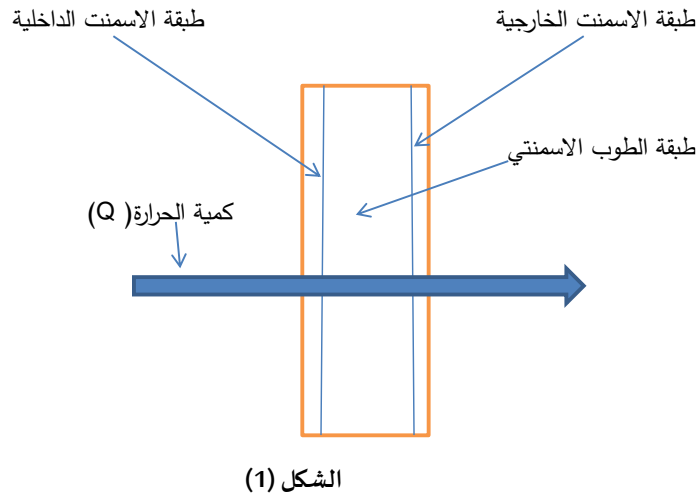
ملاحظات	قيمتها ووحدتها	الفرضية
سمك الطبقة بالمتر	0.02 m	لياسة داخلية
سمك الطبقة بالمتر	0.20 m	طوب اسمنتي
سمك الطبقة بالمتر	0.02 m	لياسة خارجية
سمك الطبقة بالمتر	m 0.1	طبقة الخرسانة
باعتبار الفرش	صفر	اهمال التسرب الحراري عبر الارضية
باعتبار تسرب بسيط واختلاف التصاميم	صفر	اهمال التسرب الحراري للباب والنافذة
الاكثر شيوعا	m 5	طول الغرفة
الاكثر شيوعا	m 4	عرض الغرفة
الاكثر شيوعا	m 3	ارتفاع الغرفة
اصعب درجة يمكن التعامل معها في الجبل	$0C^0$	درجة الحرارة الخارجية
درجة الراحة	$25C^0$	درجة الحرارة الداخلية

المواد والطريقة (Materials and Methods) :-

حساب القدرة الحرارية المطلوبة للمحافظة علي درجة حرارة الغرفة المستهدفة التي ابعادها 5 م طول , و 4 م عرض , و 3 م الارتفاع , وسقف خرساني مسلح بسُمك 10 سم, حيث تم اهمال التسرب الحراري عبر النوافذ والباب والارضية واعتماد ثابت انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع كما تم استخدام قوانين انتقال الحرارة وقانون فوريير الجديد .

حسابات المساحة . مساحة الجدران 45 متر مربع مساحة السقف 20 متر مربع .

ايجاد معاملات الانتقال الحراري (U-Value) للجدار (لياسة ثم طوب اسمنتي ثم لياسة حيث سمك الطبقات علي التوالي 2 سم , ثم 20 سم , ثم 2 سم من هنا نوجد المقاومة الحرارية الكلية للجدار شكل (1) .



$$R = \frac{L}{K}$$

$$R_{TOTAL} = R_1 + R_2 + R_3$$

الطبقة	سمك الطبقة بالمتر	معامل التوصيل الحراري (W/m·K) (K)
لياسة داخلية	0.02	0.87
طوب اسمنتي	0.20 m	1.10
لياسة خارجية	0.02 m	0.87

الطبقة الاولى لياسة داخلية



$$R = \frac{0.02}{0.87} = 0.023 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$R = \frac{0.20}{1.10} = 0.182 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$R = \frac{0.02}{0.87} = 0.023 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

المقاومة الكلية للجدار

$$R_{TOTAL} = 0.228 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

RSI AND RSO (0.13)(0.04) نضيف الثابت الاوروبي للشعاع والحمل للمباني

$$R_{TOTAL} = 0.398 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

حساب (U) الحقيقي للجدار :-

$$U = \frac{1}{R_{TOTAL}} = 2.51 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

الرمز	القيمة	الوحدة
K_1	0.87	$(\text{W/m} \cdot \text{K})$
K_2	1.10	$(\text{W/m} \cdot \text{K})$
K_3	0.87	$(\text{W/m} \cdot \text{K})$
R_1	0.023	$(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$
R_2	0.182	$(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$
R_3	0.023	$(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$
(R) المقاومة بدون اسطح	0.228	$(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$
(R) الكلي مع السطح	0.398	$(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$
(U)	2.51	$(\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$
RSI	0.13	ثابت
RSO	0.04	ثابت

حساب معدل انتقال الحرارة لسقف





$$U = \frac{1}{R_{TOTAL}} = \frac{1}{0.199} = 5.0 (W/m^2 \cdot K)$$

الوحدة	القيمة	الخرسانة
$((W/m \cdot K)$	0.7	(K)
$(W/m^2 \cdot K)$	0.059	(R)
$(W/m^2 \cdot K)$	0.199	R_{TOTAL}
$(W/m^2 \cdot K)$	5	U
$^{\circ}C$	25	ΔT
m^2	54	A

1- فقد الحرارة عبر الجدران

$$Q_{walls} = U \times A \times \Delta T$$

$$Q_{walls} = 2.51 \times 54 \times 25 = 3388 \text{ W}$$

4-

فقدان الحرارة عبر السقف

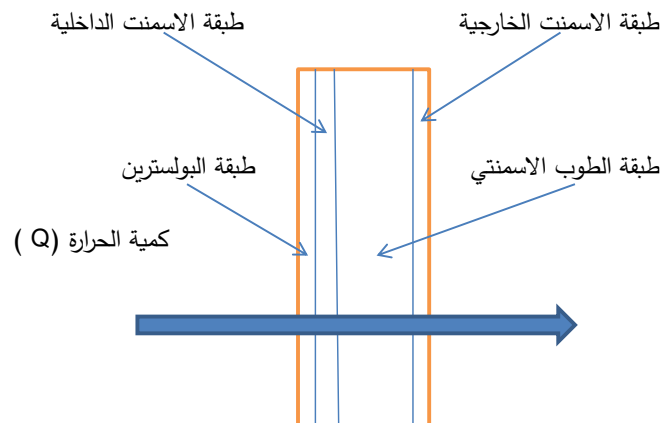
$$Q_{roof} = 5 \times 20 \times 25 = 2500 \text{ w}$$

القدرة الحرارية الكلية المطلوبة

$$Q_{total} = 3388 + 2500 = 5888 \text{ w} \approx 5900 \text{ w}$$

أي ما يعادل (6 kw).

ثانياً :- اضافة عازل البوليسترين (EPS) بسُمك 1.5 سم





الاسم	القيمة	الوحدة
سمك طبقة البوليسترين	0.015	m
(K) معامل التوصيل الحراري	0.035	$w/m.k$

حساب مقاومة العازل :-

$$= \frac{L}{K} R_{INSULATION}$$

$$= \frac{0.015}{0.035} = 0.43 m^2.k/w$$

المقاومة لسقف بدون عازل كانت المقاومة

$$R_{total} = 0.199$$

المقاومة بعد إضافة العازل :-

$$R = R_{OLD} + R_{INSULATION}$$

$$R_{new} = 0.629 (W/m^2.K)$$

حساب U الجديدة للسقف بعد إضافة العازل :-

$$U = \frac{1}{R_{new}} = \frac{1}{0.629}$$

$$(W/m^2.K) U_{new} = 1.59$$

الحالة	(U) لسقف	الوحدة
بدون عازل	5	$(W/m^2.K)$
مع 1.5 سم عازل	1.59	$(W/m^2.K)$

القدرة الحرارية الجديدة عبر السقف :-

$$المساحة = 20 m^2$$





فرق درجة الحرارة $\Delta T = c^0 25$

$$Q_{roof.new} = 1.59 \times 20 \times 25 = 795w$$

القدرة الكلية للغرفة بعد العزل :-

$$Q_{walls} = 3388w$$

$$Q_{total.new} = 3388 + 795 = 4183w$$

الجدران بعد إضافة العازل :-

$$R_{wall.new} = 0.398 + 0.43 = 0.828$$

معامل انتقال الحرارة للجدران (U) يصبح :-

$$(W/m^2 \cdot K) U_{wall.new} = \frac{1}{0.828} = 1.21$$

القدرة عبر الجدران :-

$$Q_{wall.new} = 1.21 \times 54 \times 25 = 1634 W$$

(U) للسقف بعد العازل :-

$$Q_{roof.new} = 1.59 \times 20 \times 25 = 795w$$

نستطيع القول ان القدرة الكلية بعد اضافة 1.5 سم عزل للجدران والسقف هي :-

$$Q_{total.new} = 1634 + 795 = 2429 w$$

النتيجة في جدول :-

الحالة	القدرة	الوحدة
بدون عزل حراري	5900	W
عزل السقف فقط	4200	W
عزل الجدران والسقف	2400	W



الفرق الحاصل في القدرة يمكن حسابة كما يلي :-

$$5900 w - 2400 w = 3500 w$$

بواقع 55%

النتائج

أظهرت النتائج ان استخدام البوليسترين بسُمك 1.5 سم يعد من الحلول الفعالة (نضرياً) التي توادي الي انخفاض معدل انتقال الحرارة او فقد الحرارة بالمقارنة مع عدم استخدامه حيث انه يمنع التسرب الحراري بنسبة تصل الي 55% مما يجعل هذا الخيار لسُمك والبوليسترين خيارا اقتصاديا مناسباً لظروف المناطق الجبلية الليبية , كما أظهرت النتائج ان التسرب الأكبر للحرارة كان من خرسانة السقف باعتبار معامل التوصيل الحراري لها كان صغير مع كبر المساحة , ان استخدام البوليسترين بسُمك 1.5 سم كعازل حراري داخلي علي شكل الواح طريقة جيدة للعزل الحراري الخاص بمناطق غرب ليبيا و تحديدا السلسلة الجبلية حيث يوقف استخدام هذا العازل التسرب الحراري جزئياً بالمقارنة مع انخفاض تكلفته , وذلك حسب درجة الحرارة المقاسة (عند صفر مئوي خارج الغرفة و 25 مئوي داخل الغرفة) ونوع الجداران المستخدمة . باعتبار ان فرق درجات الحرارة بين داخل الجدار وخارجة قليل مما يعزز من استخدام البوليسترين) لتقليل التكلفة وزيادة الكفاءة ايضاً استخدام العازل داخل الجدار بدل من خارجة يوفر استخدام المواد الخاصة بالحماية من العوامل الجوية , ووضحت الدراسة التسرب الواضح لكمية الحرارة من داخل الجدار الي خارجة من دون استخدام العازل الحراري (البوليسترين) والتي كان معامل انتقال الحرارة فيها ($5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), كما اثبتت الدراسة ان استخدام العازل يمنع التسرب الحراري , وبالتالي يقلل من الاستخدام لطاقة بشكل عام لاسيما الطاقة الكهربائية .

المناقشة

تُظهر النتائج أن معامل التوصيل الحراري للمواد المكوّنة للجدار يلعب دوراً أساسياً ومباشراً في تحديد مقدار انتقال الحرارة عبر الجدران والأسقف . فكلما انخفض معامل التوصيل الحراري للمادة زادت قدرتها على مقاومة انتقال الحرارة , وبالتالي انخفض معدل الفقد الحراري من داخل الغرفة إلى الخارج , وقد بيّنت الدراسة أن إضافة طبقة من عازل البوليسترين بسُمك (1.5 سم) إلى الجدار أدت إلى زيادة المقاومة الحرارية الكلية للجدار , وهو ما انعكس بشكل واضح في انخفاض معدل التدفق الحراري عبر الحائط المدروس . ويرجع ذلك إلى أن مادة البوليسترين تمتاز بمعامل توصيل حراري منخفض نسبياً , مما يجعلها من أكثر المواد استخداماً في تطبيقات العزل الحراري في المباني الحديثة , كما أظهرت النتائج أن السقف يُعد من أكثر عناصر المبنى عرضة لفقدان الحرارة , وذلك بسبب طبيعة الخرسانة المسلحة ومعامل التوصيل الحراري المرتفع نسبياً لها , إضافة إلى سُمك السقف المدروس (10 سم) . (إلا أن إضافة



طبقة من عازل البولسترين إلى الأسقف ساهمت في تقليل انتقال الحرارة بشكل ملحوظ، مما أدى إلى تحسين الأداء الحراري للغرفة وتقليل الفقد الحراري الكلي. وقد اعتمدت الدراسة في تحليل انتقال الحرارة على القوانين الأساسية لانتقال الحرارة بالتوصيل، وعلى وجه الخصوص قانون فورييه للتوصيل الحراري الذي يصف العلاقة بين معدل انتقال الحرارة وفرق درجات الحرارة ومعامل التوصيل الحراري وسماعة المادة. وقد أظهر تطبيق هذا القانون بصورة نظرية إمكانية تقدير كمية الفقد الحراري بدقة مقبولة، مما يبرز أهمية استخدام النماذج الرياضية في تقييم الأداء الحراري لعناصر المباني.

وتجدر الإشارة إلى أن هذه الدراسة لم تأخذ في الاعتبار انتقال الحرارة عبر الأرضيات، وذلك لأن أرضيات المنازل غالباً ما تكون مغطاة بمواد مثل السجاد أو الإسفنج أو غيرها من مواد التآيثر، والتي تعمل بشكل غير مباشر كعوازل حرارية إضافية تقلل من انتقال الحرارة عبر الأرضية. كما أن العديد من الدراسات السابقة تشير إلى أن تأثير الفقد الحراري عبر الأرضيات يكون أقل مقارنة بالجدران والأسقف في بعض الحالات، خاصة في المباني السكنية.

الخلاصة

تُظهر نتائج الدراسة أن معامل التوصيل الحراري للمواد يلعب دوراً أساسياً في تحديد مقدار انتقال الحرارة عبر الجدران والأسقف، فكلما انخفض هذا المعامل زادت قدرة المادة على مقاومة انتقال الحرارة وانخفض الفقد الحراري، وقد بيّنت النتائج أن إضافة طبقة من عازل البولسترين بسمك 1.5 سم إلى الجدران والأسقف أدت إلى زيادة المقاومة الحرارية الكلية وتقليل معدل التدفق الحراري بشكل ملحوظ، كما تبين أن السقف يعد من أكثر عناصر المبنى فقداً للحرارة بسبب الخصائص الحرارية للخرسانة المسلحة، وقد اعتمد التحليل على قانون فورييه للتوصيل الحراري لتقدير الفقد الحراري، مع إهمال انتقال الحرارة عبر الأرضيات لكونها غالباً مغطاة بمواد تقلل من هذا الانتقال.

التوصيات

- 1- يوصى باستخدام المواد ذات معامل التوصيل الحراري المنخفض في بناء الجدران والأسقف، لما لها من دور مهم في تقليل انتقال الحرارة والمحافظة على درجة الحرارة داخل المباني.
- 2 - يوصى بإضافة طبقات عزل حراري مثل البولسترين إلى الجدران والأسقف، حيث أظهرت النتائج أن إضافة طبقة بسمك 1.5 سم (ساهمت في زيادة المقاومة الحرارية وتقليل الفقد الحراري بشكل واضح).
- 3 - الاهتمام بعزل الأسقف بشكل خاص، نظراً لكونها من أكثر أجزاء المبنى عرضة لفقدان الحرارة بسبب ارتفاع معامل التوصيل الحراري للخرسانة المسلحة.





4 - يوصى بالاعتماد على النماذج الرياضية وقوانين انتقال الحرارة في تصميم المباني، مثل قانون فورييه، لما توفره من تقدير علمي دقيق لمعدلات الفقد الحراري.

5 - إجراء دراسات مستقبلية تأخذ في الاعتبار انتقال الحرارة عبر الأرضيات والنوافذ والأبواب، للحصول على تقييم أكثر شمولاً للأداء الحراري للمباني.

6 - تشجيع استخدام تقنيات العزل الحراري الحديثة في المباني السكنية، لما لها من دور في تقليل استهلاك الطاقة المستخدمة في التدفئة أو التبريد وتحسين كفاءة الطاقة في المباني.

المراجع العربية

1. أ. عامر، (2022). *أسس انتقال الحرارة والكتلة*. دار المسيرة للنشر والتوزيع.
2. أ. أجبالج، (2022). *انتقال الحرارة*. دار نشر الكتب العلمية.
3. أ. الكامل، (2023). *انتقال الحرارة*. دار الصفاء للنشر.
4. أ. شعلان. (2023). *أسس انتقال الحرارة والكتلة*. دار الفكر العربي.

Foreign References

1. Brambila, A. (2014). *Thermal Insulation Handbook for the Oil, Gas, and Petrochemical Industries*.
2. Hens, H. S. L. C. (2012). *Building Physics: Heat, Air and Moisture*.
3. Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer*.
4. Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.
5. Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2007). *Introduction to Heat Transfer*.
6. International Organization for Standardization (ISO). (2017). *ISO 6946: Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal Transmittance*.
7. Papanicolaou, G. C. (2013). *Thermal Insulation: Materials and Systems*.

