



College of Engineering

ISSN: 1813-162X (Print) ; 2312-7589 (Online)

Tikrit Journal of Engineering Sciences

available online at: <http://www.tj-es.com>

TJES
Tikrit Journal of
Engineering Sciences

Al-Doury MA, Hasan AA, Mohammed RK, Al-Jawad RH. **Thermal Conductivity of Building Materials in Iraq.** *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2021; **28**(4): 37- 49.

Madgeed A. Al-Doury ¹

[Atif Ali Hasan²](#)

Raheem Kadhim Mohammed ¹

[Riyadh H. Al-Jawad^{2*}](#)

¹Building Research Center/ Housing and Reconstructed/ Iraq

²Middle Technical University/ Iraq

Keywords:

Density, Effect pressure and moisture content, Hot Wire method, Humidity of Building Materials, Iraqi Building Materials, Thermal Conductivity.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 Sep. 2021
Accepted 22 Oct. 2021
Available online 10 Nov. 2021

Thermal Conductivity of Building Materials in Iraq

ABSTRACT

Thermophysical Properties of Building Materials are Considered to have high importance in predicting building thermal performance, calculating thermal loads inside building, and optimizing the use of a building and insulating materials. Due to the lack of measurements of local building materials properties, designers and air- conditioning engineers have no choice but to use the published foreign data, which probably leads to inaccurate predictions of thermal loads and may give a false thermal performance. At the same time, it leads to an over-designed capacity of air-conditioning systems that lead to increased energy consumption in the building. Thus, it is clear that it was important to conduct this research to evaluate the thermal conductivity and thermal resistance of Iraqi building materials. The number of the local building materials were listed, and specimens were collected from their sites, factories, and suppliers such as bricks, stones, concrete products, gypsum, etc. Those samples were dimensioned to the specific size required when a measurement was conducted by the Hot Wire method. All measurements were carried out at room temperature. The relationship between thermal conductivity, density, moisture content, and pressure for a number of materials was Studied. A comparison between the measurements of the Iraqi building materials and results published in the ASHRAE, CIBS Guide, Australian Specifications, and Jordanian Specifications was made. However, the availability of such data is important for the climatic design of buildings, thermal load calculations for air- conditioning, and choosing the insulating materials.

© 2021 TJES, College of Engineering, Tikrit University

DOI: <http://doi.org/10.25130/tjes.28.4.4>

* Corresponding author: E-mail: reead000000@yahoo.com Middle Technical University/ Iraq

الموصلية الحرارية للمواد البنائية في العراق

مجيد عبد الله الدوري مركز بحوث البناء/ وزارة الإسكان والتعمير / العراق
عاطف علي حسن الجامعة التقنية الوسطى/ العراق
رحيم كاظم مركز بحوث البناء/ وزارة الإسكان والتعمير / العراق
رياض الجواد الجامعة التقنية الوسطى/ العراق
الخلاصة

تعتبر الخواص الحرارية للمواد البنائية ذات أهمية كبيرة لمعرفة الأداء الحراري للأبنية وحسب أحوالها الحرارية. والاستخدام الأمثل للمواد البنائية ومواد العزل الحراري، ولعدم توفر مثل هذه البيانات للمواد البنائية المحلية يضطر المهندس المصمم أو مهندس التكيف إلى الاستعانة بالبيانات المنشورة عن بعض المؤسسات العلمية والتي يحتمل أن تقود إلى عدم الدقة المطلوبة في حساب الأحمال الحرارية مما يؤدي إلى زيادة في سعة أجهزة التكيف التي تزيد من استهلاك الطاقة في الأبنية. مما تقدم نتضح أهمية القيام بهذا البحث في تعيين الموصلية الحرارية للمواد البنائية في العراق. لقد تم حصر وتجميع نماذج من معظم المواد البنائية مثل الطابوق، الحجر، الخرسانة، الجص الخ وقد تم تهيئة أو تقطيع النماذج بقياسات خاصة حسب المواصفات المطلوبة لغرض القياس باستخدام جهاز يعتمد على طريقة السلك الساخن في إيجاد الموصلية الحرارية للمواد الصلبة.

لقد تم دراسة العلاقة بين الموصلية الحرارية وكل من الكثافة الظاهرية ومحتوى الرطوبة لعدد من النماذج، والمقارنة بين القياسات المختبرية للمواد البنائية العراقية وبين القياسات المنشورة في (ASHRAE Handbook, CIBS GIDE)، المواصفات الأسترالية وكذلك المقارنة مع قياسات محلية أخرى، وكان التباين مع النتائج القياسية في الحدود (2-7) % تبعاً لتغير الكثافة.

الكلمات الدالة: الكثافة، الضغط المؤثر ومحتوى الرطوبة، الموصلية الحرارية، رطوبة مواد البناء، طريقة السلك الساخن، مواد البناء العراقية.

المقدمة:

يقع العراق ضمن المنطقة شبه المدارية الشمالية والتي تتأثر بالمناخ شبه الصحراوي لأغلب مناطقه، (تمتاز بعدد أيام ذات سماء صافية 240 يوم / السنة الواحدة)، عدد ساعات سطوع الشمس صيفاً 9 ساعة / اليوم الواحد وبينما تصل درجة حرارة هواء البيئة / الظل 50م°، ومعدل الإشعاع الشمسي المؤثر صيفاً يكون 900 واط/م² [1].

لذلك تتعرض القشرة الخارجية للمبنى إلى موجات حرارية ضخمة تتسبب في تغيير مستويات الراحة الحرارية القياسية داخل تلك الأبنية، مما يتطلب استخدام وحدات تكييف هواء لإعادة السيطرة على درجة حرارة حيز المبنى. تقدر كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لأغراض التكييف السنوي ضمن الوحدات السكنية 70% من إجمالي الطاقة الكهربائية التي تستهلكها تلك الوحدة سنوياً [2]. ولغرض تقليل معدل الاستهلاك وترشيد الطاقة يتطلب تقليل كميات الطاقة الحرارية المنتقلة عبر قشرة المبنى من البيئة إلى حيز المبنى، [3]، واختلاف مواد البناء المتوفرة محلياً واختلاف خواصها الحرارية وكذلك تكلفة تجهيزها، يتطلب اختيار أمثلها، الأقل تسريباً للحرارة والاحف وزناً [4]. واختلاف طبيعة المواد الأولية الداخلة في صناعة تلك الكتل البنائية إضافة إلى اختلاف طرق التصنيع لا يتم اعتماد الخواص الحرارية لمواد البناء المثبتة في المراجع العالمية (ASHRAE) أو (CIBS) لأنها ستتسبب في تقدير غير صحيح للأحمال الحرارية في ذلك المبنى [5-7]، ان الكود العراقي المقترح لمواد البناء العازلة اعتمد على ما موجود في الاجندات العالمية لأغلب المواد المدرجة فيه. تمت عدة تجارب فردية لتحديد معامل التوصيل الحراري لبعض مواد البناء [8-10]، ولكنها لم تتوج بإصدار مرجع خاص للخواص الحرارية لمواد البناء المستخدمة محلياً، وكذلك فإن اختلاف طريقة القياس المستخدمة لتحديد معامل التوصيل الحراري سيؤدي إلى تباين النتائج [11-12] إضافة إلى وجود متغيرات عديدة حول طريقة اختيار النموذج، سمك وابعاد النموذج المطلوب تحديد خواصه الحرارية، درجة حرارة النموذج ورطوبته خلال زمن القياس [13-15]. ان تحديد معامل انتقال الحرارة الكلي لمقطع التشييد يؤثر على الحالة النفسية للعاملين ضمن المبنى نفسه [16].

تمت عدة دراسات لتقليل قيم معامل انتقال الحرارة بالتوصيل لأكثر مواد البناء استخداماً بالعراق الطابوق المفخور والكتل الخرسانية، تم استخدام مخلفات زراعية وصناعية ومزج عدة أنواع من التراب لتقليل تآكل الاراضي الصالحة للزراعة عند انتاج الطابوق [17-26]. ان الهدف من هذه الدراسة جمع مواد البناء والإنهاء المنتجة محلياً وقياس معامل التوصيل الحراري والكثافة الكتلية سيوفر دليل عمل يمكن استخدامه عند إنجاز الحسابات الخاصة بتقدير الأحمال الحرارية.

1. قياس الموصلية الحرارية:

أن قياس الموصلية الحرارية للمادة يعتمد بصورة أساسية على استخدام الحرارة في تسخين المادة ويتم بطريقتين رئيسيتين:

1. انتقال الحرارة بالحالة المستقرة (steady state method)
 2. انتقال الحرارة بالحالة غير المستقرة (unsteady state method)
- أن كلا الطريقتين المذكورتين تحتاج إلى استخدام معادلات رياضية تستخدم فيها أبعاد النموذج والحرارة المسلطة عليه، ولكن اختيار أي من هاتين الطريقتين يعتمد على طبيعة المواد المراد قياسها، حجم النموذج توفر الأجهزة، والوقت المخصص للفحص وغيرها من عوامل أخرى. وقد تم استخدام طريقة السلك الساخن (Hot-Wire Method) في قياس الموصلية الحرارية للمواد والتي تعتمد على الحلة غير المستقرة في انتقال الحرارة (Unsteady State Method) [27-29].

2. الأسس النظرية:

أن طريقة السلك الساخن تعتمد على العلاقة بين التغير في درجة حرارة السلك مع الزمن والموصلية الحرارية للمواد المراد قياسها. فعند مرور التيار الكهربائي بالسلك الموجود بين نموذجين من المادة المطلوب قياس مصليتها الحرارية، تتولد حرارة في السلك بمعدل مقداره (q) في وحدة الزمن وهذه الحرارة تتناسب مع حاصل ضرب مقاومة السلك الكهربائية ومربع التيار كما في العلاقة التالية [30]:

$$q = I^2 R \quad \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن I = التيار الكهربائي بالأمبير (A).

R = مقاومة السلك أوم/متر (Ω/m).

وعند قياس درجة حرارة السلك مع الوقت يمكن رسم الخط البياني من العلاقة بين الحرارة ولو غاريم الزمن حيث نحصل على منحني يمثل انحدار الجزء المستقيم في العلاقة (q/4K) بذلك يمكن إيجاد الموصلية الحرارية (K) عند معرفة معدل الحرارة المتولدة في السلك (q). موضحة في المعادلة التالية [30]:

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{q}{4\pi k} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad \dots \dots \dots (2)$$

حيث أن k = الموصلية الحرارية (واط.م. كلفن).

q = معدل الحرارة المتولدة في السلك (واط.م).

t₁, t₂ = الوقت عند بداية ونهاية فتح التيار الكهربائي (دقيقة).

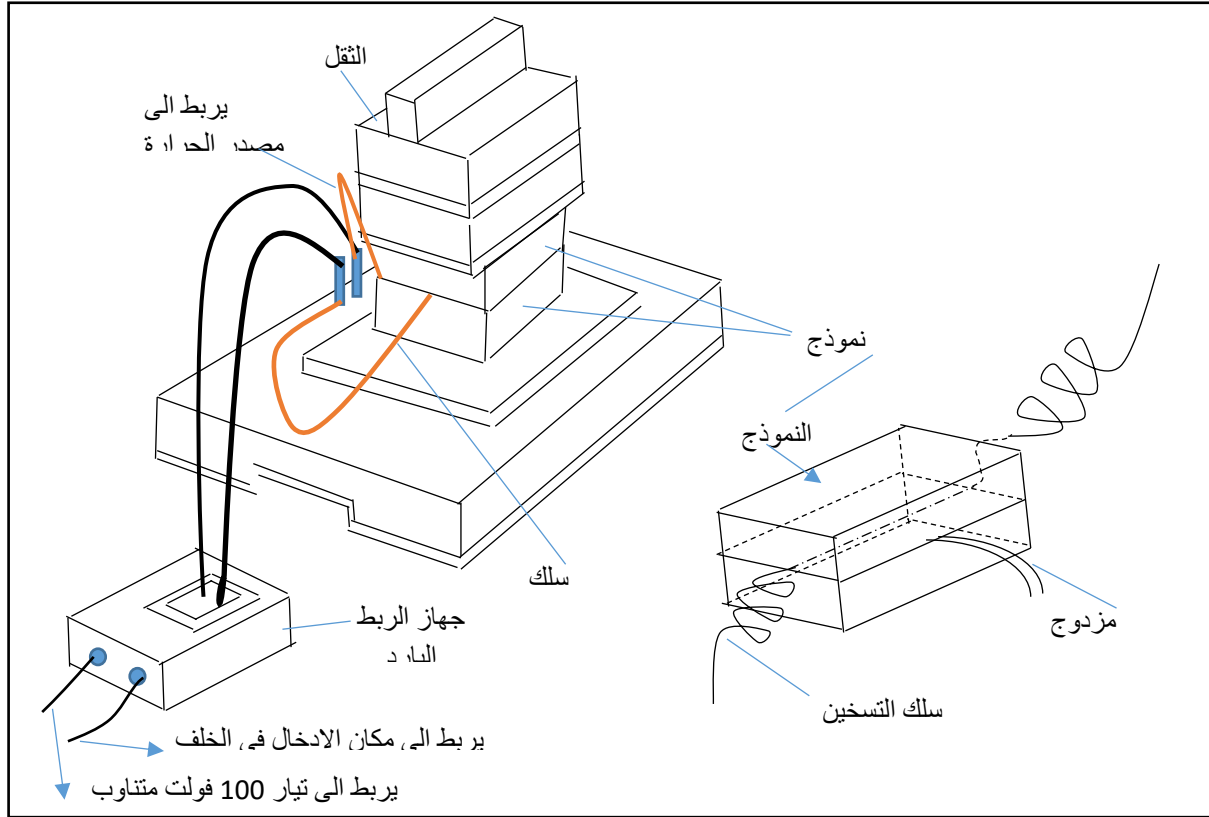
θ₁, θ₂ = درجات حرارة السلك (م°) في الزمن t₁, t₂.

$$k = \frac{q}{4\pi} * \frac{2.303 \log t_2/t_1}{\Delta \theta} \quad \dots \dots \dots (3)$$

لمن من المواد المتوفرة بحجم كبير مثل الحجر والرخام بموجب المواصفات المطلوبة لاستخدام الجهاز وتم مراعاة بعض الشروط المهمة الواجب توفرها في النموذج كأن تكون ذات سطوح ملساء وعدم وجود خدوش أو فراغات تساعد على تسرب الحرارة، وقد تم استخدام مرهم السلكون لملئ الفراغ على جانب السلك أو عمل حفرة في منتصف سطح أحد النموذجين (المنطبقين على بعضهما) لغرض احتواء المزدوج الحراري (المثبت على السلك الساخن) والحصول على انطباق تام على السلك. كما روعي تجانس كثافة النموذج وتجانس درجة حرارته مع درجة حرارة المختبر والتأكد من عدم وجود

حيث أن $\ln t_2/t_1 = 2.303 \log t_2/t_1$ حيث أن $t_2/t_1 = 2.303 \log t_2/t_1$
3. المواد البنائية المحلية المستخدمة:

لقد تم دراسة توزيع مواقع الانتاج لغرض تجميع نماذج من المواد البنائية المستخدمة محلياً (سابقاً وحالياً) من مختلف محافظات العراق بصورة عشوائية مثل الحجر والرخام من المحافظات الشمالية والطابوق من المحافظات الوسطى والجنوبية ومواد أخرى من مصادر مختلفة. كما تم تحضير نماذج مختبرية لبعض المواد مثل الخرسانة غير المسلحة ومونة السموت والجص والقيير وغيرها. وتم تهيئة نماذج بقياس (50×100×200)



شكل 1. تفاصيل توصيلات جهاز القياس المستخدم.

بالأبعاد الخاصة والموضحة سابقاً. وتربط الأسلاك بصيغة محددة كما يوضحها "الشكل 1"، بحيث يكون سلك التسخين المصنوع من النيكل والكروم Nichrome wire بين النموذجين المعدن للقياس في الوسط وباتجاه الطول ويكون المزدوج الحراري المصنع من الكروم والألمنيوم Chrome – Aluminum wire مرتبط في منتصف سلك التسخين حيث يكون في منتصف النموذج طويلاً ومتعامداً على السلك باتجاه العرض وبشكل سلكاً المزدوج فيما بينهما زاوية حادة تقدر بـ (30°) باتجاه خارج النموذج حيث يتوازيان بعد ذلك لغرض تجنب أي تلامس بينهما، (ويكون موقع المزدوج الحراري في منتصف سطح النموذج).

تم ترتيب نتائج الفحوصات والقياسات التي إجرائها الباحث، لمواد البناء والإنهاء التي تتوفر محلياً (الكثافة الكتلية، معامل التوصيل الحراري والمقاومة الحرارية) في "جدول 1" والتي يسهل استخدامها من قبل مهندسي تصاميم منظومات التكييف بصورة خاصة والمهندسين عند محاولة تحديد المادة البنائية الاكفاً، بينما "الجدول 2" يوضح المقارنات التي إجرائها الباحث مع المواصفات الحرارية لبعض مواد البناء المدرجة في الأدلة التصميمية ونتائج بعض الباحثين.

تيارات هوائية داخل المختبر مما يساعد على الحصول على نتائج ذات نسبة خطأ قليلة.

4. طريقة القياس:

تم استخدام جهاز السلك الساخن (Tc-31)، ويمكن الاستدلال على قيمة الموصلية الحرارية (K)، للمادة بصورة مباشرة من خلال شاشة رقمية، وكذلك يمكن للباحث من تتبع التغير في درجة الحرارة خلال فترة القياس. يتم استخدام نموذج للمادة البنائية المطلوب تحديد موصليتها الحرارية

يستغرق القياس فترة (20 – 30) دقيقة للحصول على التوازن الحراري للمادة واستقرار التيار الكهربائي حيث يحتاج الجهاز بعد ذلك إلى (200) ثانية لغرض قياس الموصلية الحرارية للنموذج. وقد تم تغيير الجهاز بصورة دورية باستخدام نماذج عيارية من الزجاج ومطاط السليكون.

5. نتائج الدراسة:

جدول 1

. الخواص الحرارية للمواد البنائية في العراق.

R (m ² .K/W)	C (W/m ² . K)	K (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	X (m)	المادة
0.444				0.24	
0.222	-----	0.54	1460	0.12	الطابوق الصلب
0.13				0.07	
0.73	1.37			0.24	
0.36	2.78	-----	1200	0.12	الطابوق المتقب
0.196				0.24	
0.098	-----	1.23	1830	0.12	الطابوق الجبري*
0.057				0.07	
2.82				0.6	
1.127	-----	0.21	760	0.24	الثرمستون
0.563				0.12	
0.354				0.4	
0.177	-----	1.13	1680	0.2	حجر الحلان
0.044				0.05	
0.72	1.4	-----	1440	0.2	كتل خرسانية مجوفة
0.29	3.45	-----	1400	0.24	كتل طابوق جيري مجوف*
0.492				0.3	
0.246	-----	0.61	1560	0.15	طابوق الطين (اللبن)
0.01				0.15	
0.013	-----	1.56	2030	0.2	الكاشي العادي
0.017				0.25	
0.004	-----	0.46	1640	0.002	كاشي بلاستيكي
0.047	-----	0.85	2240	0.04	بلاط خرسانية للتسطيح
0.01	-----	0.06	1500	0.006	الواح اسبستية
0.103	-----	0.49	1350	0.05	الطابوق الفرشي
0.831				0.025	
1.661	-----	0.03	-----	0.05	الستايروبور
2.33				0.7	
3.32				0.1	
0.008	-----	2.39	2350	0.02	الرخام الصناعي*
0.013				0.003	
0.027	-----	0.25	1060	0.006	خشب الفاير
0.04				0.01	
0.026				0.015	
0.035	-----	0.57	1200	0.02	جص فني
0.044				0.025	
0.042				0.015	
0.056	-----	0.36	980	0.02	جص عادي
0.07				0.025	
0.038	-----	0.52	1700	0.02	طابوق سيراميك (كربلاني)
0.009	-----	0.35	1400	0.003	ماربلكس*
0.008	-----	2.53	2700	0.02	رخام صلاح الدين
0.008	-----	2.5	2700	0.02	رخام قلعة دزة
0.008	-----	2.4	2650	0.02	رخام سيد صادق
0.25				0.03	
0.033	-----	1.22	1900	0.04	حجر سينو
0.041				0.05	(الموصل)

R (m ² .K /W)	C (W/m ² . K)	K (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	X (m)	المادة
0.015				0.03	
0.021	-----	1.96	2400	0.04	حجر سنجار ابيض
0.026				0.05	
0.022				0.02	
0.027	-----	0.93	2230	0.025	كاشي موزائيك
0.032				0.03	
0.043				0.04	
0.005	-----	1.08	2450	0.006	الزجاج
0.003				0.004	
0.034				0.05	
0.068	-----	1.49	2300	0.1	خرسانة 4:2:1
0.101				0.15	
0.135				0.2	
-----	-----	2.89	2700	-----	الحصى/مقلع النباعي
0.055	-----	1.09	1270	0.06	طابوق اسمنتي
0.092				0.1	
0.012				0.015	
0.017	-----	1.2	2070	0.02	مونة السمنت والرمل
0.021				0.025	1:1
0.025				0.03	
0.014				0.015	
0.019	-----	1.08	2050	0.02	مونة السمنت والرمل
0.023				0.025	2:1
0.028				0.03	
0.015				0.015	
0.02	-----	0.99	2020	0.02	مونة السمنت والرمل
0.025				0.025	3:1
0.031				0.03	
0.016				0.015	
0.021	-----	0.96	2000	0.02	مونة السمنت والرمل
0.026				0.025	4:1
0.047				0.03	
0.02				0.015	
0.027	-----	0.75	1980	0.02	مونة السمنت والرمل
0.033				0.025	5:1
0.04				0.03	
0.207				0.05	
0.413	-----	0.24	1690	0.1	الرمل النهري
0.62				0.15	
0.152				0.05	
0.304	-----	0.33	2110	0.1	رمل كربلاء
0.456				0.15	
0.202				0.05	
0.403	-----	0.25	1450	0.1	ترية التهوير
0.605				0.15	
0.021				0.005	
0.042	-----	0.24	1070	0.01	قير التسطیح 20/30
0.062				0.015	
0.084				0.02	
0.006				0.002	
0.011	-----	0.35	1400	0.004	اللباد
0.152				0.025	ألواح البردي
0.303	-----	0.17	510	0.05	المضغوط*

R (m ² .K /W)	C (W/m ² . K)	K (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	X (m)	المادة
0.455				0.075	
0.606				0.1	
0.162				0.025	
0.325				0.05	
0.487	----	0.15	490	0.075	ألواح البردي المضغوط*
0.649				0.1	
0.221				0.025	
0.443				0.05	
0.664	----	0.11	400	0.075	ألواح البردي المضغوط*
0.885				0.1	

• مواد لا تستخدم حالياً في البناء

6. تحليل النتائج والمناقشة:

والأجنبية يمثل ظاهرة مقبولة تؤكد وجود الاختلاف الطبيعي والصناعية بين هذه المواد.

كما ويوضح "الجدول 2" مقارنة مع نتائج محلية لمحاولات جرت من قبل بعض الباحثين فمثلاً نجد أن النتائج التي توصل إليها الطائي [8] تشير إلى بعض التقارب مع نتائج البحث فيما يخص الطابوق والثرمستون مع وجود اختلاف واضح بالنسبة للخرسانة التي لم تذكر معلومات تفصيلية عن خواصها ونسب مكوناتها. أما النتائج التي توصل إليها السعيد [9] الذي استخدم الطريقة غير المستقرة بجهاز مصنوع لأغراض البحث فأنها تشير إلى وجود بعض التفاوت البسيط الذي يمكن أن يعزى إلى الاختلاف في كثافة المواد كعامل رئيسي وإلى ظروف أخرى منها دقة القياس وطبيعة المواد وعدد النماذج وغيرها. أما بخصوص النتائج التي حصل عليها ناصر [10] باستخدام جهاز مماثل لما استخدم في هذا البحث فأنها تشير إلى وجود تفاوت بسيط بالنسبة للثرمستون أما بقية المواد خاصة الطابوق والخرسانة فقد أظهرت تفاوتاً كبيراً يمكن أن يعزى إلى عدد من الأسباب منها ما ذكر أعلاه خاصة بالنسبة للخرسانة التي من المحتمل أن تكون قياساتها بطريقة السلك الساخن غير صحيحة لنفس السبب المذكور سابقاً. كما يلاحظ وجود تفاوت بين قياسات الباحث نفسه فيما يخص الطابوق المثقب والطابوق الصلب عندما تكون الموصلية الحرارية للطابوق المثقب أعلى منها في الطابوق الصلب ولكن بكثافة أقل وهذا عكس ما هو معروف عن العلاقة التي تشير إلى زيادة الموصلية الحرارية بزيادة الكثافة. بالإضافة لذلك فإنه لا يمكن قياس الموصلية الحرارية للطابوق المثقب أو أي مادة مجوفة مباشرة لأنها تعتبر مادة غير متجانسة، بل يمكن حساب الموصلية الحرارية لها

Conductance

بعد تدقيق نتائج القياسات لوحظ أن الموصلية الحرارية للخرسانة (2.78) واط/م. كلفن وهي قيمة مرتفعة جداً. تم تهيئة نموذج من الحصى (الجلود) بمفرده، وقياسه بجهاز السلك الساخن، وكانت قيمة الموصلية الحرارية له (2.89) واط / م. كلفن، وتمت المقارنة كذلك بين مادة مونة السموت والرمل ذات النسب الوزنية للمكونات (2:1) والخرسانة المشكلة من السموت والرمل والحصى ذات النسب الوزنية (4:2:1)، فتم تسجيل الموصلية الحرارية 1.08، 2.78 واط/م. كلفن (على التوالي) حيث يتضح ان سبب ارتفاع قيم الموصلية الحرارية يعود لوجود الحصى داخل مكونات الخرسانة وتوزيعه الغير متجانس ضمن النموذج المعد، علماً بان العراق يستخدم هذا النوع من الحجر الصلب في تشكيل الخرسانة. لذلك اجريه عدة دراسات لتقليل تلك القيمة [31، 32]. وعند المقارنة بين قيمة الموصلية الحرارية للخرسانة التي توصل إليها الباحث وتلك المنشورة في الأدلة المرجعية العالمية، كما موضح في الجدول 2 كانت الزيادة في حدود 80%، ولذلك تم إعادة قياس الموصلية الحرارية للخرسانة مع عدد آخر من المواد مثل الطابوق والرخام والثرمستون بطريقة أخرى وهي طريقة الصفيحة الساخنة وقد تم الحصول على نتائج أكثر واقعية خاصة فيما يخص الخرسانة (1.49) واط/م. كلفن أما بقية المواد فلم تظهر فروقات مهمة عن تلك التي أجريت بطريقة السلك الساخن.

أن هذا الفرق الواضح في مقدار الموصلية الحرارية للخرسانة يعود إلى طبيعة تكوين الخرسانة، لكونها مادة غير متجانسة، تتكون من خليط من عدد من المواد بنسب وزنية مختلفة مما يؤدي إلى اختلاف حجمها، مما تجعل من عملية التسخين بواسطة السلك غير منتظمة بالإضافة إلى عوامل أخرى تخص التكوين المعدني والكيميائي للمواد الداخلة في الخليط. لذلك تم اعتماد قيمة الموصلية الحرارية للخرسانة المقاسة بطريقة الصفيحة الساخنة. بينما تم اعتماد القيم المقاسة للمواد الأخرى بطريقة السلك الساخن المعتمدة في هذا البحث وكما مثبتة في "الجدول 1".

لقد تم مقارنة النتائج لعدد من المواد البنائية مع قيم لمواد مماثلة منشورة في الـ [33] CIBS Guide، [34] IHVE Guide، [35] ASHRAE Handbook [35]، المواصفات الأسترالية [36] وكذلك مع قيم لمواد بنائية اردنية [37] وقد تم اعتماد الكثافة الظاهرية للمواد كمتيار لغرض المقارنة بين النتائج المحلية والعالمية وكما موضح في جدول رقم (2) الذي يشير إلى وجود بعض الفروقات القليلة التي قد تعزى إلى طبيعة تكوين هذه المواد ومكوناتها المعدنية والكيميائية وطرق تصنيفها وظروف القياس والأجهزة المستخدمة [11-15]. لذلك فإن وجود مثل هذه الفروقات بين المواد العراقية

جدول 2.

مقارنة بين قياسات الموصلية الحرارية الخاصة بالبحث وبين قياسات أخرى محلية وعالمية.

قياسات أخرى				القياسات المنشورة										القياسات الخاصة بالبحث		المادة
[8] محمد الطائي		[9] لطفي السعيد		[10] عبد السلام ناصر		[36] الأسترالية		[37] الأردنية		[35] ASHRAE		[34:33] CIBC/IHVE		ρ	K	
ρ	K	ρ	K	ρ	K	ρ	K	ρ	K	ρ	K	ρ	K			ρ
1500	0.58	1537	0.61	1800	0.66	--	--	1850	0.8	1970	0.72	1500	0.59	1450	0.54	طابوق صلد
--	--	--	--	1550	0.7	--	--	1640	0.62	--	--	1200	0.38	1200	0.36	طابوق مثقب
--	--	--	--	--	--	--	--	1800	0.95	1650	1.8	2180	1.53	1830	1.23	طابوق جيرى
800	0.27	685	0.17	680	0.24	--	--	--	--	--	0.18	800	0.23	760	0.21	ثرمستون
--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.75	1490	0.53	1400	0.51	1520	1.2	كتل خرسانية
2300	2.03	--	--	2250	0.2	2400	1.43	2200	1.65	2310	1.5	2500	2.2	2300	1.49	خرسانة صلدة 4:2:1
--	--	2216	0.82	1950	1.6	1570	0.65	1900	1.2	1858	0.72	1570	0.54	2000	1.14	مونة اسمنت 3:1
--	--	1326	0.41	1400	0.49	880	0.16	--	0.36	801	0.16	1300	0.46	980	0.36	جص
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2700	2.52	2700	2.5	الرخام
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1.8	2100	1.1	2230	2.02	كاشي موزانيك
--	--	--	--	--	--	1200	0.22	--	0.3	1922	0.58	1500	0.36	1500	0.6	الواح الاسيست
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.04	2500	0.03	25	0.03	الستايروبو
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1050	0.51	1640	0.46	كاشي بلاستيكي
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	2100	1.15	2240	2.16	بلاطات خرسانية
--	--	--	--	--	--	1100	0.3	--	--	--	--	1200	0.3	1050	0.25	خشب مضغوط (الفايبر)
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1600	0.43	1070	0.24	القيبر

التغير الحاصل في كثافة الطابوق التي تتراوح بين (1100-1550 كغم/م³)، يمكن أن يعزى هذا التغير إلى عوامل عديدة منها طرق تهينة وتجفيف اللين البدائية، وأن اختلاف درجات الحرارة الحرق غير المسيطر عليها والتي تتم باستخدام الوقود السائل مما تسبب في إنتاج طابوق محروق بدرجات حرارة مختلفة ذي كثافات واللوان مختلفة نتيجة لتحويل المعادن الموجودة في التربة أثناء الحرق [36]. كما إن احتمال اختلاف كمية ونوعية المعادن في الترب الموجودة في المحافظات وبالتالي اختلاف المعادن المترسبة أو المتحولة في الطابوق نتيجة الحرق يؤدي إلى إنتاج طابوق بخواص حرارية/فيزيائية مختلفة.

بصورة عامة فإنه من الصعب المقارنة بين نتائج تعود إلى جهات متعددة تمت تحت ظروف مختلفة مثل ظروف القياس وطبيعة المواد ونوع ودقة الأجهزة المستخدمة وغيرها من العوامل.

أما فيما يخص الطابوق الذي يمثل مادة بنائية مهمة في العراق، ونظراً لتعدد أماكن تصنيعه فقد تم جمع نماذج من ثماني محافظات وبنوعية الصلد والمتقّب، كما تم جمع نماذج من أربعة مواقع من محافظة بغداد وذلك لتباعد هذه المواقع واحتمال اختلاف التربة فيها مما يؤثر على الخواص الحرارية فيها.

يلاحظ في "جدول 3" أن التغير الحاصل في قيم الموصلية الحرارية يكون في الحدود (0.45-0.68 واط/م. كلفن) والذي يتطابق مع

جدول 3.

تغير قيم الموصلية الحرارية للطابوق الصلد بتغير الكثافة الظاهرية.

ت	المعمل	الكثافة الظاهرية (كغم/م ³)	الموصلية الحرارية (واط/م. كلفن)
1	بغداد	1450	0.531
2	المعامل	1100	0.456
3	واسط	1460	0.472
4	ميسان	1541	0.575
5	صلاح الدين	1490	0.587
6	القادسية	1550	0.68

تركيبية المواد الأولية الداخلة في صناعة الطابوق في مواقع (كركوك وصلاح الدين وديالى) ودرجة الحرق ومرآتها والفترات الزمنية لها.

يلاحظ من "الجدول 4" الخاص بالموصفات الحرارية للطابوق المثقّب عدم وجود علاقة واضحة بين تغير الكثافة وما ينعكس على تغير قيم معامل الموصلية الحرارية والسبب يرجع بتقديرنا إلى

جدول 4.

تغير قيم الموصلية الحرارية المثقّب للطابوق بتغير الكثافة الظاهرية.

ت	المعمل	الكثافة الظاهرية (كغم/م ³)	الموصلية الحرارية (واط/م. كلفن)
1	بغداد	1149	0.33
2	بابل	1198	0.29
3	واسط	1193	0.312
4	ديالى	1170	0.295
5	ديالى	1300	0.321
6	صلاح الدين	1285	0.336
7	كركوك	1280	0.343
8	القادسية	1182	0.321
9	القادسية	1217	0.35
	سماوة	1252	0.385

أن عملية قياس الموصلية الحرارية للمواد البنائية المجوفة لا يمكن أن تتم مباشرة في المختبر لأنها تعتبر مادة صلبة غير متجانسة. لذلك فقد تم اعتماد الأسلوب الموحد (Combined method) كما ورد في CIBS Gide [33] لحساب المقاومة الحرارية (R) وذلك بقياس الموصلية الحرارية للأجزاء الصلبة للنموذج ثم حساب المقاومة الحرارية لها كذلك حساب المقاومة الحرارية للفجوات الهوائية الموجودة في

ومن الجدير بالذكر ان نشير إلى الفرق الواضح الحاصل بين قيم الموصلية الحرارية (K) (Thermal Conductivity) لكل من مادتي الطابوق والكتل الخرسانية الصلدة والموصلية الحرارية (C) (Conductance) لكل من الطابوق والكتل الخرسانية المجوفة وذلك لوجود الفجوات الهوائية.

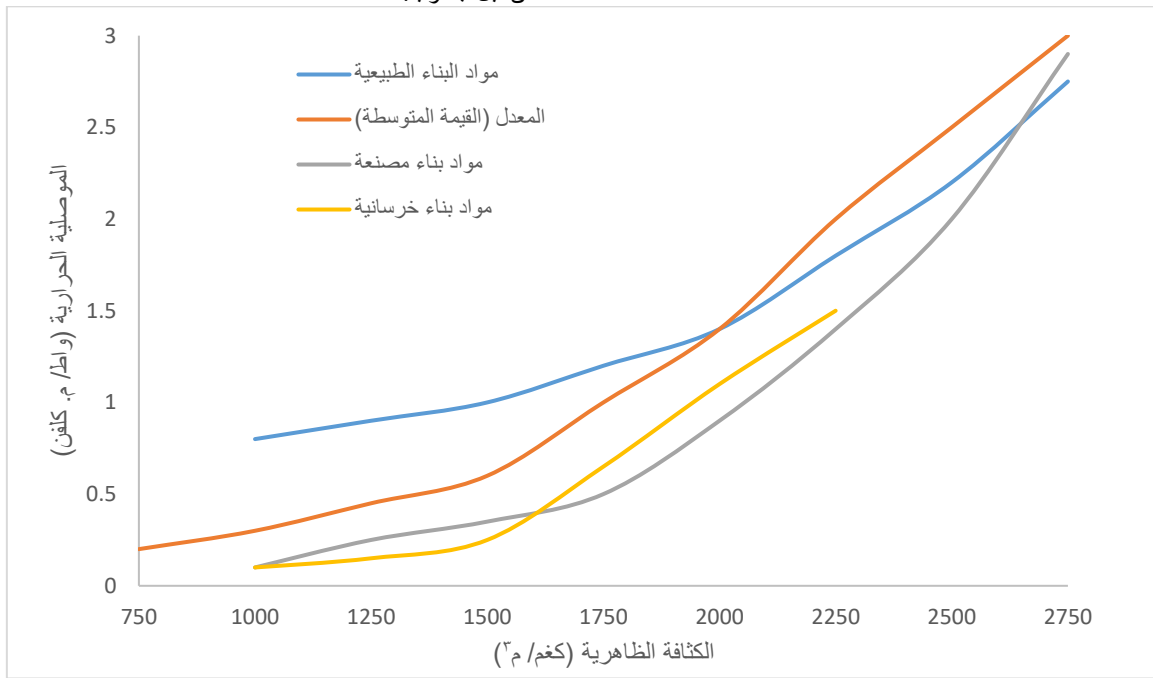
ويوضح "الجدول 1" المواد البنائية ذات الأصل الصخري الطبيعي مثل الرخام والحجر ذات موصلية حرارية تتغير تبعاً لتغير الكثافة والصلابة (جزينات هذه المواد مترابطة بعضها مع بعض فلذلك نجد أن المسار الذي ستسلمه الحرارة المؤثرة سيكون أقصر وبذلك تزداد كمية الحرارة المنتقلة) أما الطابوق الطيني المحروق فإنه يكون أكثر مسامية من المواد الصخرية وأن كثافته تتغير تبعاً لطريقة الصنع ودرجة حرارة الحرق. ولذلك فإن الموصلية الحرارية للطابوق هي أقل من قيمتها للحجر ولمقارنة التغير في الموصلية الحرارية للمواد تبعاً لتغير كثافتها نجد أن العلاقة طردية كما في "الشكل 2". كما أن العلاقة بين الموصلية الحرارية للمواد البنائية (مصنحة إلى 1% محتوى رطوبة) والكثافة قد تم مقارنتها مع العلاقة المماثلة لجاكوب [40] كما في "الشكل 3" والتي تشير إلى وجود فرق بسيط يمكن أن يعزى إلى العدد الكبير من القياسات التي اعتمدها الباحث والتي تمثل مواد بنائية ذات كثافة موصلية حرارية عاليتين، وإلى عدد القياسات التي ربما هي أكثر عدداً من تلك المستخدمة من قبل جاكوب.

النموذج، وتمثل المقاومة الكلية للنموذج مجموع مقاومات الأجزاء الصلدة والفجوات الهوائية الموجودة فيه. من ذلك ظهر الفرق المشار إليه وكما ورد في "الجدول 1".

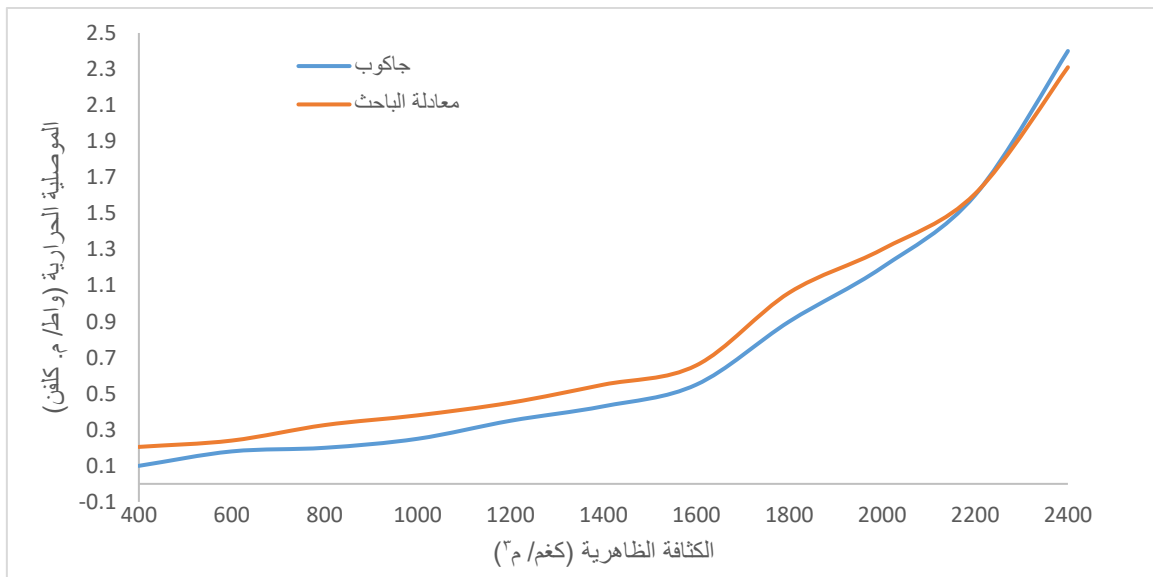
ونوضح فيما يلي تأثير بعض العوامل المهمة المؤثرة في قيمة الموصلية الحرارية للمواد البنائية:

1.6. الكثافة:

تعتبر الكثافة إحدى العوامل المؤثرة في قيمة الموصلية الحرارية للمادة وغالباً ما تستخدم في معرفة هذه القيمة. إن الموصلية الحرارية تتغير بتغير كثافة المادة التي تتغير مع تغير المسامية وذلك لزيادة كمية الهواء بين الأجزاء وفي المسامات وتبعاً لذلك تقل قيمة الموصلية الحرارية. من ناحية أخرى، فإن أي اختلاف بقيمة الموصلية الحرارية للمواد ذات الكثافات المتساوية يرجع لسبب الاختلاف بالتركيب التثاني للمادة وتداخل أجزائها وتركيب المسامات والفراغات الهوائية فيها [39].

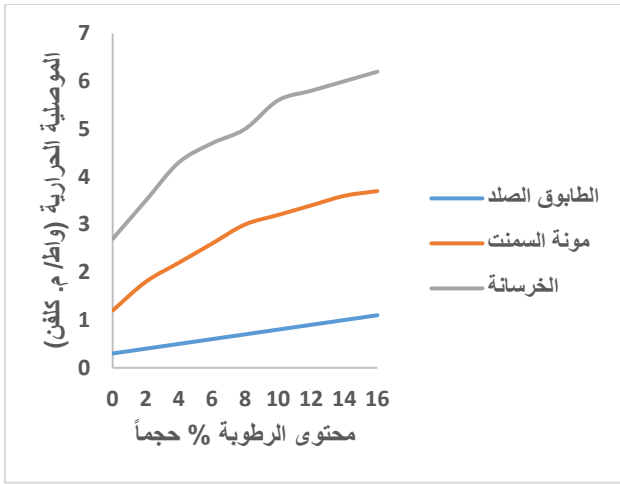


الشكل 2. العلاقة بين الكثافة الظاهرية والموصلية الحرارية للمواد البنائية عند محتوى الرطوبة (0.15-0.2) % حجماً



الشكل 3. العلاقة بين الكثافة الظاهرية والموصلية الحرارية للمواد البنائية عند محتوى الرطوبة 1% حجم.

مصادر الماء مثل البحار والبحيرات والأنهار، سرعة الرياح، وطبيعة المواد نفسها وخواصها الفيزيائية. وقد كان تأثير محتوى الرطوبة على الموصلية الحرارية للمواد البنائية موضوع بحث العديد من العاملين في هذا المجال مثل (Jacob) [40]، (Campbell) [41]، (Masoum) [42] الذين اثبتوا أن الزيادة في محتوى الرطوبة يزيد من قابلية المادة على التوصيل الحراري، و"الشكل 4" يوضح هذه العلاقة لعدد من المواد البنائية المحلية التي تشير إلى زيادة الموصلية الحرارية بزيادة محتوى الرطوبة إلى حد تبدأ معه بالاقتراب التدريجي من الخط المستقيم. وهذا يؤكد بأن حفظ البناء بدرجة عالية من الجفاف ومنع تسرب الرطوبة يقلل من انتقال الحرارة خلاله بصورة عامة تعتبر القياسات المختبرية للمواد البنائية في حالتها الجافة في ظروف المختبر هي الأكثر اعتماداً في تحليل النتائج الخاصة بقياس استخدام الموصلية الحرارية.



الشكل 4. تأثير تغيير المحتوى الرطوبي للمادة على موصليتها الحرارية.

وقد تم إيجاد معادلة الخط البياني لهذه العلاقة بواسطة الحاسب باستخدام برامج احصائية مخصصة لهذا الغرض، والتي من الممكن استخدامها لإيجاد الموصلية الحرارية لأية مادة بعد معرفة كثافتها. من العلاقة المذكورة نلاحظ أن مقدار الزيادة الحاصلة في المتغير الأول تكون نسبياً أكبر من تلك الحاصلة في المتغير الثاني وهذه العلاقة تشير إلى أن التقليل من كثافة المادة البنائية ينتج مواد ذات خواص عزل جيدة تساعد على التقليل من الاستخدام الكبير للمواد العازلة.

$$K = 0.184 + 0.177(\rho/1000) \dots \dots \dots (4)$$

حيث أن K = الموصلية الحرارية (واط.م/كلفن).

ρ = الكثافة الظاهرية (كغم/م³).

2.6. محتوى الرطوبة:

أن كمية الماء الموجودة داخل المواد البنائية تختلف باختلاف عوامل كثيرة مثل الرطوبة النسبية التي تعتمد على الأمطار، والقرب من كما أن محتوى الرطوبة يعتمد على الرطوبة النسبية في جو المختبر أو الغرفة وتحدد قيمته تبعاً لنوع المادة ومكوناتها. ويقدر محتوى الرطوبة للمادة وهي في ظروف المختبر بـ (0.2-0.5) % حجماً للمواد المحروقة مثل الطابوق و (2.5-3.0) % حجماً للمواد الأخرى غير العضوية [43].

أن الكثير من الباحثين مثل لوبدين (Loudon) [44]، ارنولد (Arnold) [45]، وغيرهم اعتمدوا نسبة معينة من الرطوبة (1%) حجماً كنسبة معيارية تحسب على أساسها الموصلية الحرارية والتي بموجبها يمكن تحليل ومقارنة النتائج للعديد من المواد باستخدام معامل الرطوبة المستخرجة من الرسم البياني لجاكوب (Jacob) [40] المدرجة قيمته في "الجدول 5" الذي يوضح العلاقة بين معامل الرطوبة ومحتوى الرطوبة كنسبة مئوية حجماً.

جدول 5

معاملات الرطوبة (جاكوب 1949).

محتوى الرطوبة	معامل الرطوبة
25	2.75
20	2.55
15	2.35
10	2.1
5	1.75
2.5	1.55
1	1.3

ذات الفراغات الكروية عنها في المادة ذات الجزيئات الكروية [46] وهذا يعني أن الموصلية الحرارية تتوقف على مقدار التلامس بين جزيئات المادة. لذلك نجد أن قيمة الموصلية الحرارية للطابوق تزداد عند حرقه في درجات حرارة عالية لتناقص الفراغات الهوائية التي تختفي عند الوصول إلى حالة التحجر في درجة الحرارة أكثر من (1100 °م). ولتفسير ظاهرة زيادة قيمة الموصلية الحرارية بزيادة الرطوبة

ثلاث حقائق هي:

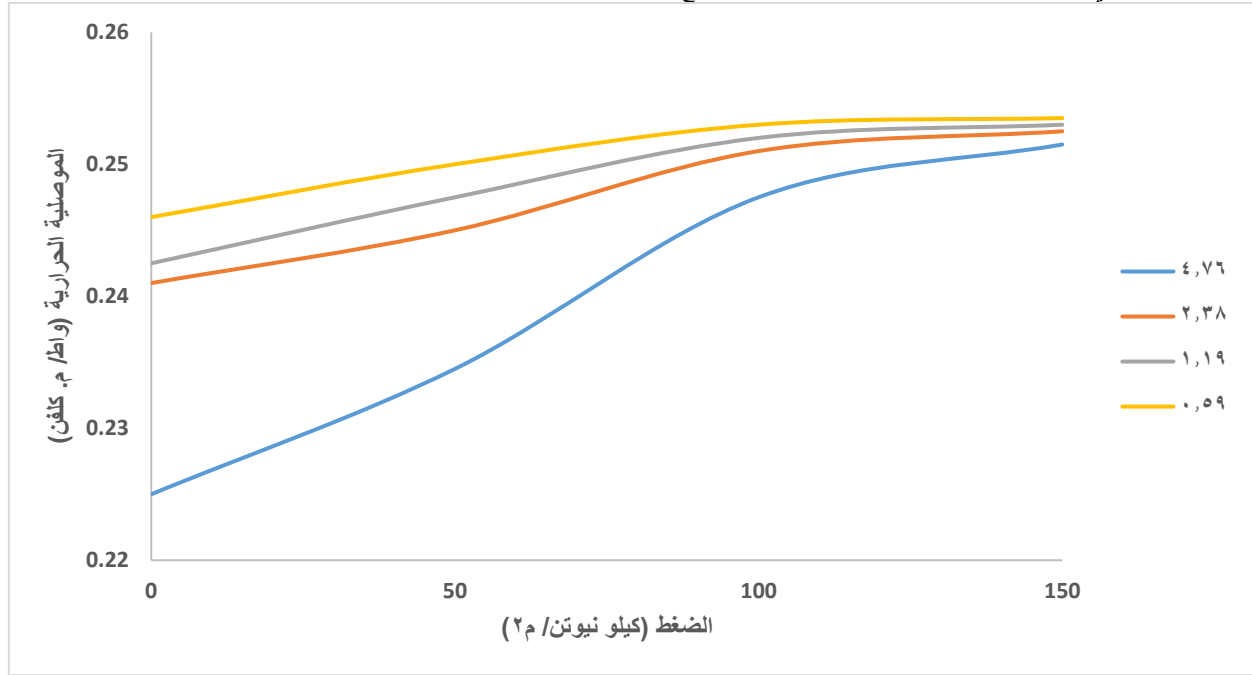
1. أن استبدال الهواء داخل المسامات بالماء يزيد من قيمة الموصلية الحرارية لأن الموصلية الحرارية للماء يقدر بـ (25) مرة أكثر من الهواء.
2. أن وجود الماء بين أجزاء المادة الصلبة يشكل جسوراً حرارية لربط الأجزاء مما يساعد على انتقال الحرارة.

أن المواد البنائية لها القابلية على امتصاص الماء بدرجات متفاوتة تعتمد على عوامل عديدة منها نوع المادة وظروف الخزن، التصنيع أو الاستخدام. لذلك فإن قيمة الموصلية الحرارية للمواد في الحالة الجافة لا تكون واقعية أو حقيقية لأن وضع المادة بعد الاستخدام في البناء يختلف عن وضعها في المختبر ومن هذا المنطلق توصل الباحثون إلى استخدام نسبة معيارية لمحتوى الرطوبة تصحح بموجبها قيمة الموصلية الحرارية مثل النسبة المنشورة في دليل المؤسسة الهندسية للتدفئة والتهوية الإنكليزية 1970 IHVE Guide [34] والتي هي (1% حجماً للطابوق و(3% حجماً للكونكريت عندما يكون محفوظاً من الظروف الجوية الخارجية ونسبة (5%) لكل من هما عندما يكون البناء معرض للأمطار والرياح.

أن مسامية المادة وكذلك شكل وحجم الفراغات الهوائية فيها يؤثران على قيمة الموصلية الحرارية أي إن هذه القيمة تختلف في المادة

الناتج عن عدم انبساط النماذج. وفي هذا الخصوص وجد أن قيمة الموصلية الحرارية لبعض المواد تزداد بزيادة الضغط المسلط على النموذج وقد تصل إلى أقصى قيمة لها بضغط قدره (5000 كيلو نيوتن/م²) [47]. وهذا يكفي للإجابة على التساؤل الوارد بخصوص أهمية انبساط النموذج خلال عملية القياس وتأثيرها على قيمة الموصلية الحرارية.

ولتوضيح تأثير الضغط على الموصلية الحرارية تم اخذ التربة كنموذج لذلك حيث أن الضغط المسلط على التربة يقلل من الفجوات الهوائية وبالتالي يزيد من موصليتها للحرارة. وفي الوقت نفسه فإن تأثير الضغط المسلط على التربة له علاقة بحجوم جزيئاتها حيث تزداد الكثافة بزيادة الضغط عندما تكون الجزيئات صغيرة الحجم كما في "الشكل 5" الذي يوضح الضغط المسلط على التربة وتدرج جزيئاتها موصليتها للحرارة.



شكل 5. تأثير تغير كلاً من حجم حبيبات التربة والضغط المسلط على النموذج على موصليتها الحرارية.

تهدف إلى إعادة قياس هذه المواد الخرسانية بمختلف أنواعها وينسب خلط مختلفة واستخدام مواد ركامية محلية مختلفة يعتبر مهماً في الوقت الحاضر.

4. تعتبر الكثافة من الخواص الفيزيائية المهمة للمادة وتبرز أهميتها في تأثيرها على الموصلية الحرارية وبعض العوامل الحرارية الأخرى مثل السعة الحرارية ويظهر من نتائج البحث أن هناك علاقة طردية بين الكثافة والموصلية الحرارية للمواد عدا بعض المواد نتيجة لاختلاف في تركيب الجزيئي أو التركيب الخلوي والمسامي لها. وبصورة عامة تشكل الكثافة مؤشر واضح على قيمة الموصلية الحرارية للمادة.

5. لوحظ أن المحتوى المائي للمواد البنائية ذو تأثير كبير على الموصلية الحرارية حيث تزداد قيمتها بزيادة محتوى الرطوبة. لذلك فإن قياس الموصلية الحرارية مختبرياً يتطلب إبقاء المواد في المختبر لفترة قبل القياس لغرض الوصول إلى حالة التوازن الحراري وتعتبر نسبة الرطوبة إلى ما يمثّلها في جو المختبر. أو يتم قياس جميع النماذج بعد التجفيف بدرجة حرارة (110 °م) لمدة 24 ساعة لكي يتمكن الباحث من إجراء التحاليل أو المقارنة بصورة صحيحة. وأن دراسة تأثير الرطوبة على الخواص الحرارية للمواد العضوية والملاصوية والمواد العازلة سريعة التأثير بالرطوبة يعد عملاً مهماً في هذا الحال.

6. يستنتج من القياسات التي أجريت بطريقة السلك الساخن أن الضغط الإضافي المسلط على النموذج أثناء القياس يزيد من انبساط النموذجين على سلك التسخين وبالتالي يزيد من دقة النتائج كما تم ملاحظة العلاقة الطردية بين مقدار الضغط المسلط على التربة ومقدار موصليتها الحرارية، ويعود ذلك إلى أن زيادة الضغط

3. عند تسخين المادة يحصل تبخر بالماء الموجود بداخلها مما يزيد من انتقال الحرارة وقد وجد بأن قابلية العزل الحراري للهواء المحصور بالمسامات يتلاشى بدرجة (60 °م) بسبب تحول الماء إلى بخار [43].

3.6. الضغط:

أن أهمية الضغط تبرز عند استخدام طريقة السلك الساخن في قياس الموصلية الحرارية وأن زيادة الاثقال بالرغم من أنها تزيد من انبساط سطحي النموذجين لكنها في نفس الوقت قد تزيد من احتمال تلف السلك أو المزودج الحراري المرتبط به.

لقد تم استخدام ضغط قدره (50 كيلو نيوتن/م²) في جميع القياسات التي أجريت على المواد المحلية وذلك بموجب المواصفات الخاصة باستخدام الجهاز لغرض توفير انبساط تام بين سطحي النموذجين للتقليل من الخطأ الذي قد يحمل من جراء تسرب الحرارة خلال الفراغ

7. الاستنتاجات:

7. مما تقدم، يمكن تثبيت عدة استنتاجات والتي هي:-

1. توصل الباحث بصورة أساسية إلى تعيين قيم الموصلية الحرارية للكثافة الظاهرية والمقاومة الحرارية للمواد البنائية المحلية حيث تم ترتيب هذه القيم في جداول لغرض استخدامها من قبل المهندسين في مجالان التصاميم البنائية والعزل الحراري والتكيف للأبنية بدل من النتائج المنشورة الخاصة بمواد بنائية غير مستخدمة في عمل مواصفات حرارية تستخدم في إيجاد دليل للعزل الحراري أو لبرامج للحفاظ على الطاقة في الأبنية العراقية.

2. تشير نتائج الموصلية الحرارية للمواد البنائية المحلية إلى وجود بعض الفروقات مع القيم المنشورة الخاصة بالمواد البنائية في أماكن أخرى من العالم وهذه الحالة تعتبر طبيعية نتيجة لاختلاف طبيعة وخواص المواد البنائية الفيزيائية والكيميائية والمعدنية كما لوحظ الاختلاف الحاصل في كثافة الكونكريت يعكس التغيرات الخاصة بقيم الموصلية الحرارية وذلك لاختلاف نسب وحجم المواد المستخدمة من الركام. ويتضح أن زيادة نسب خلط مكونات الكونكريت تقلل من قيمة الكثافة وبذلك تقل قيمة الموصلية الحرارية، وكان التباين بين نتائج الدراسة والدراسات المحلية الأخرى في الحدود (2-7) % تبعاً لتغير الكثافة.

3. تمثل نتائج البحث أول محاولة بهذه الشمولية في مجال قياس الموصلية الحرارية لشمولها عدد كبير من المواد البنائية المحلية ونظراً لوجود عدد من المواد اللاعضوية والمواد العازلة والتي لم يتم تحديد قيمة موصليتها للحرارة في هذا البحث لأسباب تتعلق بالوقت، وتوفر الأجهزة لذلك فإن التوجه لأجراء بحوث إضافية

and Environmental Engineering 2017; **39** (6):123-128.

- [15] Kapnob A., Karpov D. The Active Method of Control the Thermal Conductivity of Building Materials and Products. *Bulletin of Belgorod state Technological University Named After VG Shukhov* 2019; **4**(7):57-62.
- [16] Dell Isola F.R., D Ambrosio A. Experimental Analysis of Thermal Conductivity for Building Materials Depending on Moisture Content. *International Journal of Thermo Physics* 2012; **33** (8-9): 1674- 1685.
- [17] Bezjak M. Measurement Uncertainty Associated with the Thermal Conductivity of Building Materials. 2004.
- [18] Ihaddadene N., Ihaddadene R. Study of the Thermal Conductivity of a Clay Based Building Materials. Conference of IAPE19. 2019. Oxford, UK: P. 1720-1728.
- [19] Hadji F., Ihaddadene N., et al. Thermal Conductivity of two Kinds of Earthen Building Materials Formerly Used in Algeria. *Journal of Building Engineering* 2020; **32**: 101823.
- [20] Qatta H. I. Improvement of the Mechanical and Thermal Properties of Clay Bricks By Using Local Materials in Iraq. *Engineering and technology journal* 2012; **30**(19):3308-3327.
- [21] Ashour T., Korjenic A. Thermal Conductivity of Unfired earth Bricks Reinforced by Agricultural Waste With cement and Gypsum. *Energy and Building* 2015; **104**: 139-145.
- [22] Kadury J.I. Thermal Insulation of Building Materials. *Diyala Journal of Engineering Science* 2010; **3**(1): 28-44.
- [23] Yasar E., Erdogan Y. Strength and Thermal Conductivity in Light Weight Building. *Bulletin of Engineering Gology and the Environment* 2008; **67**(4): 513-519.
- [24] Hassan A.A., kadhim M.J., The Improving of the solid block concrete thermal behavior by using the powder particles of Eucalyptus camaldulensis bark. IOP Conference Series: Materials science and Engineering. 2019; **518**:022044. Baghdad, Iraq. Institute of Technology: p. 28-37.
- [25] Hasan A.A., Aljawad R. H., et al. Sunflowers seed peel powder particles and concrete building materials performance. *Journal of Engineering Science and Technology* 2021; **16** (3): 2776 - 2794.
- [26] Hasan A.A., Maula B.H., Aljawad R.H., et al. Reducing energy consumption by using feathers as chicken residues in soiled concrete materials. *Journal of mechanical engineering research and development* 2021; **44**(3): 231-241.
- [27] Davis W., Downe A. The Hot Wire Test -A Critical Review and Comparison with the BS 1902 Panel Test. *Trans. Journal of the British Ceramic Society* 1980; **79**(2): 44-52.
- [28] Davis W., Moore F. et al. The Hot Wire Method for Determination of Thermal Conductivity: Castables and Modifications to the Standard Method. *Trans. Journal of the British Ceramic Society* 1980; **79**(2): 156-166.
- ستؤدي إلى تقارب جزيئات التربة بعضها مع بعض وبذلك تقل أو تختفي الفجوات بينها التي كان يشغلها الهواء (أي طرد الهواء) لذلك سترتفع مقدار الموصلية الحرارية ولنفس السبب تكون العلاقة عكسية بين حجوم جزيئات التربة ومقدار الموصلية الحرارية للتربة، مع ثبوت قيمة الضغط المسلط على النموذج.
- 8. المصادر:**
- [1] Central Statistical Organization. Annual Statistical Abstract (2018- 2019). Ministry of Planning. Iraq. 2020: pp. 1-45.
- [2] Hasan A.A., Latif M. Analysis of energy consumption in Baghdad Residence Sector. First Scientific Conference. 2008. Mar. Najee, Iraq. Technical College: p. 18-28.
- [3] Najim K.B., External Load Bearing Walls Configuration of residential Building in Iraq and Their Thermal Performance and Dynamic Thermal Behavior, *Energy and Building* 2014; **84**: 169-181.
- [4] Al- Yasiri, et al. Comparative Study of Building Envelope Cooling Loads in Al - Amarah City. *Journal of Engineering Technology Science* 2019; **51**(5): 632-648.
- [5] Hasan A.A., Ali F. Thermal Behavior for Double Shell Thermostone Wall, *Journal of Al-Rafidain University Collage for Science* 2018; **43**: 106-125.
- [6] Gorshko A.S., Sokolov N.A. Inconsistency in Russian and International Standards in the Determination of the Design Values of Thermal Conductivity of Building Materials and Products, *Magazine of Civil Engineering* 2013; **7**: 70-80.
- [7] Stefanidou M., Assault M.J. et al. Thermal Conductivity of Materials Employed in the Preservation of Traditional Structures. *International Journal of Thermophysics* 2018; **31**(4): 844-851.
- [8] Al-Taie M.H., Al- Ravi S.A. Manufacture of Light Bricks from Local Materials. Second Scientific Conference. 1975. Baghdad, Iraq. Scientific Research Foundation: p. 220-240.
- [9] Al-Saidi L.F. Thermal Properties of Some Building Materials, MS. Thesis. University of Baghdad; Building, Iraq: 1979.
- [10] Naser A. H. Experimental Study of Local Environment condition Effect on Heat Transfer Through Wall and Roof, MS. Thesis, University of Technology; Baghdad, Iraq: 1986.
- [11] Baldineli G., Bianchi F. et al. Thermal Conductivity Measurement of Insulating Innovative Building Materials by Hot Plate and Heat Flow Meter Devices: A Round Robin Test. *International Journal of Thermo Sciences*. 2019; **139**: 25-35.
- [12] Flori M., Puton V. Using the Heat Flow Plate Method for Determining Thermal Conductivity of Building Materials. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2018; **163**(1): p. 1-12.
- [13] Yu H.P., Liu Y. X., et al. Influence of Thermal Conductivity of Building Materials on Human Physiology. 2007.
- [14] Sun L., Feng C. et al, Influence of Temperature and Moisture Content on the Thermal Conductivity of Building Materials. *Journal of Civil, Architectural*

- Report No.95/84, Building Research Center. Baghdad, Iraq. 1984: pp. 1-35.
- [39] Nottage H. B., The Thermal Properties of Building Materials Used in Heat Flow Calculations, *A.S.H.V.E. Research Bulletin* 1947; **53** (2); 156-167.
- [40] Jacob M. Heat transfer, Chapman and Hill. London UK. 1949.
- [41] Campbell - Allen D., Thorne C.P. The Thermal Conductivity of Concrete. *Magazine of concrete Research* 1963; **15**(43): 160- 170.
- [42] Al-Mason A. M., Baban N.A. Thermal Conductivity and Its Applications for Construction. Third scientific Conference, 1979. Basrah, Iraq. University of Basrah: p. 240-260.
- [43] Van Gunst E., Van Zuilen D. The Influence of Moisture Content on the Thermal Conductivity of Building Materials. *Building Research Congress* 1951: 94-97.
- [44] Loudon A.G. U-Values in the 1970 Guide, *I.H.V.E. Journal* 1968: 167-174.
- [45] Arnold P.J. The Thermal Conductivity of Masonry Materials. *I.H.V. E. Journal* 1969; **37**: 101-108.
- [46] Radu A, Thermal conductivity of Moist Materials. *Building International* 1971: 214-216.
- [47] Anderson P., Backstorm G. Thermal conductivity of Solids Under Pressure by the Transient Hot Wire Method. *Review Science Instrument* 1976: **47**(2): 205-209.
- [29] Oven R., Cleve F. Method of Measuring the thermal conductivity. *Trans. Journal of The British Ceramic Society* 1966; **65**(10): 559-584.
- [30] Jones, W.P, "Air-conditioning Eng.", Edward Arnold, London, 1987.
- [31] Jomaa M. M., Kamil B. T., Baghabra O. S. Mechanical and Structural Properties of a Lightweight Concrete with Different Types of Recycling Coarse Aggregate. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2019; **26**(1): 33-40.
- [32] Hussein H. H., Saeed O. S. Effect of Additive of Expanded Polystyrene and Perlite on Some Mechanical Properties and Thermal Conductivity for Mass Concrete. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2016; **23**(1): 78 -86.
- [33] CIBS Guide (A- environmental design), Thermal Properties of Building Structures. The Institution of Building Services. 2015. UK.
- [34] IHVE Guide, Book A, The Institution of Heating and Ventilation Engineers. 1970. UK.
- [35] ASHRAE Handbook, Fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 2017. USA.
- [36] Australian Standard, AS 2627, Part 1. 2017. Australia.
- [37] Al- Ete, Fared A. Thermal insulation of building: properties and Comparative. Development of clay Bricks Conference 1984. Baghdad. Iraq. Scientific Research Foundation: p. 87-95.
- [38] Al-Kass R., Al-Ramadhani K. Effect of Firing Temperature on the Properties of Clay Bricks.