

دراسة مختبرية لحساب الموصلية الحرارية لمونة ذات أنواع مختلفة من السمنت المتوفر في الأسواق المحلية

كمال جلال توفيق^٣

إحسان فاضل عباس^٢

قيس فاضل حسن^١

قبول النشر: ٢٠١٢/١٠/١٧

تاريخ الاستلام: ٢٠١٢/٢/٢٢

الخلاصة (Abstract)

تم في هذه الدراسة عمل اختبارات الموصلية الحرارية على واحد وعشرين نموذج لسبعة أنواع من مونة الخرسانة الاعتيادية المحتوية على أنواع مختلفة من السمنت الموجود في الأسواق المحلية لمدينة كركوك وبنفس الظروف القياسية. وقد تم حساب كمية انتقال الحرارة ضمن النماذج بالاعتماد على قانون فورير للتوصيل الحراري. وعند مقارنة النتائج العملية مع القيم النظرية المعتمدة في المصادر لحساب الأحمال الحرارية خلال الجدران الخرسانية تبين بأن نتائج الموصلية الحرارية لجميع النماذج أعطت توافقاً جيداً مع القيم النظرية. حيث أعطت نتائج فحص النموذج السابع والخاص بسمنت معمل السليمانية أقل قيمة موصلية حرارية والتي كانت $(1.162 \text{ W/m}\cdot\text{C})$ ، وأعلى قيمة موصلية حرارية كانت للنموذج الرابع الخاص بسمنت معمل شارغ/إيران والتي كانت $(1.55 \text{ W/m}\cdot\text{C})$ والنموذج الثالث الخاص بسمنت معمل بازيان/العراق والتي كانت $(1.02 \text{ W/m}\cdot\text{C})$. أما نتائج الموصلية الحرارية لباقي النماذج فقد كانت ضمن المدى المعتمد نظرياً. كما كان أقل مقدار انتقال حرارة ضمن المادة هو للنموذج السابع الخاص بسمنت معمل السليمانية، بينما أعلى مقدار لانتقال الحرارة كان للنموذج الرابع الخاص بسمنت معمل شارغ/إيران.

Experimental Study of Thermal Conductivity for Different Types of Cement Paste in Iraqi Markets

Qais F. Hassan

Ehssan F. Abbass

Kammal J. Taufek

Abstract

In this study practical tests for thermal conductivity are done on twenty one specimens for seven types of cement mortar contains different types of cement available in local markets for Kirkuk city in the same standard conditions. Heat flow amounts within the specimens are calculated using Fourier law for conduction. Comparison between practical results and theoretical values depended in references for calculating thermal loads in concrete walls gave good agreement. Test results for specimen No. (7) for cement of Al-Sulaimanya company gave minimum value for thermal conductivity, which was $(1.162 \text{ W/m}\cdot\text{C})$, and maximum value was for specimen No. (4) for Iranian

¹ مدرس في الكلية التقنية / كركوك
² مدرس في الكلية التقنية / كركوك
³ مدرس في الكلية التقنية / كركوك

cement, which was (1.55 W/m.oC) and for specimen No. (3) for cement of Bazian company, which was (1.52 W/m.oC). Results of thermal conductivity for all the other specimens were within the depended theoretical value. Minimum heat flow within the material was for specimen No. (7) for cement of Al-Sulaimanya company, while maximum value was for specimen No. (4) for Iranian cement.

Key words: thermal conductivity test, cement, mortar, heat flow, Fourier law for conduction.

١- المقدمة (Introduction)

تعتبر الخرسانة التي لها موصلية حرارية واطئة ذات فائدة كبيرة للعزل الحراري في المباني^(١) مما يؤثر على مقدار استهلاك الطاقة الكهربائية اللازمة لتدفئة وتبريد الأبنية، حيث تقدر نسبة الطاقة الكهربائية المستهلكة في الصيف لتبريد المباني حوالي (٦٦%) من كامل الطاقة الكهربائية، كما تقدر الحرارة التي تخترق الجدران والسقوف في أيام الصيف بنسبة (٦٠-٧٠%) من الحرارة المراد تقليلها بأجهزة التبريد أما الباقي فيأتي عن طريق النوافذ وفتحات التهوية^(٢) يتأثر مقدار الموصلية الحرارية للخرسانة بشكل أساسي بخصائص المكونات الأولية للخرسانة (سمنت، رمل، حصى) حيث تزداد قيمة الموصلية الحرارية بزيادة نسبة السمنت المستخدم في الخلطة^(٣). كما يتأثر مقدار الموصلية الحرارية بالتكوين الكيميائي للخرسانة^(٤)، وبما أن السمنت يمثل المكون الكيميائي الرئيس في الخرسانة لذا فإن نوع السمنت وخصائصه يؤثران بشكل مباشر في تكوين الخرسانة الكيميائي^(٥). لقد درس العديد من الباحثين تأثير تغيير نسب ومكونات الخرسانة على مقدار الموصلية الحرارية، فقد درس الباحثان^(٦) تأثير تغيير نوع الحصى وتأثير إضافة مادة غبار السيليكا على مقدار الموصلية الحرارية للخرسانة، حيث استنتجا بأن إضافة مادة غبار السيليكا يقلل من مقدار الموصلية الحرارية نسبة تصل إلى (٤٣.٥%). كما درسا أيضاً تأثير نسبة السمنت المضافة للخلطة وكمية الهطول للخرسانة الطازجة على مقدار الموصلية الحرارية للخرسانة المتصلدة، حيث استنتجا بأن الموصلية الحرارية تزداد بزيادة نسبة السمنت المضاف ويتذبذب تأثير هطول الخرسانة على هذه الموصلية. ونظراً لقلة البحوث المنشورة لعلاقة الموصلية الحرارية بالمكونات الكيميائية للخرسانة والمونة الاسمنتية في الأجواء المحلية لذا كان من الضروري دراسة تأثير الأنواع المختلفة من السمنت البورتلاندي الموجودة في الأسواق المحلية على مقدار الموصلية الحرارية للمونة وخاصة أن بعض هذه الأنواع هي مستوردة ومن مناشئ مختلفة وتلائم بدرجات متفاوتة للاستخدام في الأجواء العراقية التي تصل فيها درجة الحرارة في الصيف إلى أكثر من (٥٠م) وفي الشتاء إلى أقل من (١٠م تحت الصفر) وبرتوية نسبية تصل إلى أكثر من (٩٥%) مما يعطي اهتماماً بمحاولة تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية اللازمة لتبريد وتدفئة الأبنية وذلك عن طريق المونة التي تحتوي على السمنت المناسب لاستخدامه في هذه الأجواء.

٢- العمل المختبري

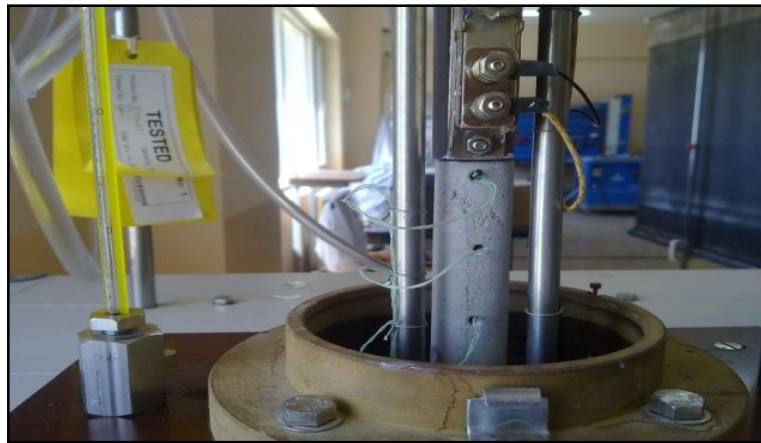
تم إتباع برنامج مختبري لقياس الموصلية الحرارية لواحد وعشرين نموذج مونة إسمنتية لسبعة أنواع مختلفة من السمنت البورتلاندي المتوفر في الأسواق المحلية في مدينة كركوك، وقد استخدم في هذه الدراسة

جهاز قياس الموصلية الحرارية الموجود في الكلية التقنية/كركوك والمبين في الصورة رقم (١) والصورة رقم (٢). حيث تم تصميم هذا الجهاز لتحديد مقدار الموصلية الحرارية للمواد بقسميها الموصلة للحرارة والعوازل وبقطر عينة لا يتجاوز ٢٥ ملم، حيث أن الجهاز يحتوي على مكبس ذاتي لتثبيت العينة بإحكام ومزود من الأعلى بمسخن كهربائي لتسخين العينة من سطحها العلوي كما يتم السيطرة على قدرة المسخن عن طريق دائرة السيطرة الالكترونية الموجودة في الجهاز، أما أسفل المكبس فعبارة عن خزان صغير يحتوي على مدخل ومخرج للماء الذي يزود بشكل منتظم من خزان خارجي ويتم السيطرة على كمية جريان الماء من خلال صمام يدوي مرقم، كما يحتوي الجهاز على غطاء عازل لتغليف العينة قبل بدأ تشغيل الجهاز وذلك لضمان التحكم بانتقال الحراري بالاتجاه المحوري فقط من الأعلى إلى الأسفل. يحتوي الجهاز على محرارين زئبقيين مثبتين في منطقة دخول وخروج الماء من الخزان الداخلي في الجهاز بالإضافة إلى أربعة متحسسات حرارية من نوع NiCr/NiAl تنقل إشارات كهربائية إلى دائرة الكترونية لتحويل هذه الإشارات إلى قراءات لدرجات الحرارة من خلال شاشة رقمية. بعد تهيئة الجهاز للاختبار يتم اختيار قدرة المسخن من خلال منظم الفولتية ويراعى عدم تعريض الجهاز إلى حرارة عالية، ومن الأنسب أن تكون درجة حرارة المتحسس الأعلى بحدود (٨٠-١١٠)°م^(٧)، يتم بعدها إطفاء المسخن وتترك العينة إلى أن تصل إلى الحالة الاستقرارية، وخلال هذه الفترة تدون القراءات المطلوبة ويتم تطبيق المعادلات، التي سيتم شرحها لاحقاً، لإيجاد قيمة معامل الموصلية الحرارية للمادة لكل نموذج مونة تم فحصه في هذه الدراسة. وقد كانت خطوات البرنامج المختبري كما يلي:

(١) تم تهيئة المواد وصب واحد وعشرون نموذج اسطواني الشكل لمونة السمنت والرمل بنسبة خلط وزنية مقدارها (١ سمنت: ١.٥ رمل: ٠.٤٥ ماء) وبأبعاد (قطر ٢٥ ملم وارتفاع ١٠٢ ملم) كما مبينة في الصورة رقم (٣)، ولسبعة أنواع مختلفة من السمنت البورتلاندي الموجودة في الأسواق المحلية في مدينة كركوك وهي (سمنت معمل كركوك/العراق، سمنت معمل بادوش/العراق، سمنت معمل بازيان/العراق، سمنت معمل شارغ/إيران، سمنت معمل أصلان/تركيا، سمنت معمل طاسلوجة/العراق، وسمنت معمل السليمانية/العراق) باعتبار ثلاثة نماذج مونة لكل نوع سمنت وكما مبين في الصورة رقم (٤). وقد استخدم الركام الناعم المار من منخل قياس ٤.٧٥ ملم والمستخرج من مقالع قضاء دافوق في كركوك، والذي تم تجفيفه قبل استخدامه، وقد تبين أن تدرجه يقع ضمن الحدود العليا والدنيا للمواصفات العراقية رقم ١٩٨٤/٤٥ (المجموعة ٢)^(٨)، كما مبين في الجدول رقم (١)، وبوزن نوعي مقداره (٢.٦). ويبين الجدول رقم (٢) رموز نماذج المونة المستخدمة في هذه الدراسة.



صورة رقم (١) توضح جهاز قياس الموصلية الحرارية المستخدم في هذه الدراسة



صورة رقم (٢) توضح نموذج مونة أسمنتية موضوع في جهاز قياس الموصلية

(٢) بعد صب النماذج لأنواع السمنت السبعة في القوالب المهيأة لهذا الغرض والتي تم تزييتها مسبقاً، تم إخراج النماذج من قوالبها بعد ٢٤ ساعة لتوضع داخل حوض الماء المخصص للمعالجة لمدة ٢٨ يوم لتكون مهيأة بعدها لاختبار الموصلية الحرارية.

(٣) تم تهيئة النماذج للاختبار وذلك عن طريق قشط سطحها العلوي والسفلي وجعلها مستويين تماماً لضمان التماس الكامل مع السطح المسخن من جهة والسطح البارد من جهة أخرى، كما تم تثقيب جميع العينات حسب المواقع المبينة في الشكل رقم (١) عن طريق جهاز كهربائي ثاقب (electric drill) وذلك لتثبيت المتحسسات الحرارية الأربعة (Thermocouples) لكل نموذج مونة.

- (٤) تم تنشيف النماذج من خلال تعرضها لحرارة مقدرها ٤٠ درجة مئوية داخل فرن كهربائي لمدة ساعتين^(٧) وبعدها تم وزن العينات باستخدام ميزان حساس بدقة (٠.٠٠١ غم) ومن ثم حساب معدل كثافة المونة لكل نوع سمنت وكما مبين في الجدول رقم (٢).
- (٥) تم تهيئة جهاز قياس الموصلية الحرارية تمهيداً لإجراء الاختبارات وحسب محددات الاختبار المبينة في الجدول رقم (٣).



صورة رقم (٣) توضح بعض القوالب ونماذج المونة المستخدمة



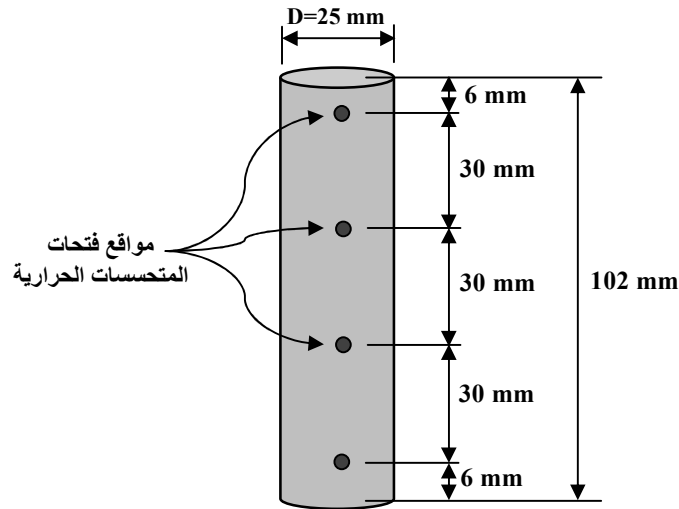
صورة رقم (٤) توضح نماذج المونة الثلاثة لكل نوع من أنواع السمنت السبعة

- (٦) تم تثبيت عينة الاختبار في مكانها داخل جهاز قياس الموصلية بين المسخن وخزان الماء وبإحكام وذلك عن طريق المقبض الميكانيكي الموجود في الجهاز، وكما موضح في الصورة رقم (١) والصورة رقم (٢) سابقاً، وتم تثبيت المتحسسات الحرارية في أماكنها وحسب التسلسل المطلوب ضمن إرشادات الشركة المصنعة للجهاز^(٧).

(٧) تم ملء الخزان السفلي في الجهاز بالماء وإفراغ الأنابيب البلاستيكية من الهواء وذلك لضمان الجريان الصحيح للماء بدون فقاعات هوائية، كما تم اختيار كمية جريان ثابتة للماء وحسب المحددات المبينة في الجدول رقم (٣).

(٨) قبل البدء بالاختبار تم تدوين درجات الحرارة للمتحسسات الأربعة ودرجة حرارة دخول وخروج الماء، وكما مبين في الشكل رقم (٢)، ومن ثم تم تشغيل جهاز قياس التوصيلية وتدوين درجات الحرارة للمتحسسات الأربعة لكل ٥ دقائق ولجميع النماذج.

(٩) تم تشغيل المسخن واختيار فرق جهد ثابت مقداره (٥٥) فولت ولفترة ٢٠ دقيقة ومن ثم تم إطفاء المسخن لتستمر عملية أخذ القراءات لحد زمن ٧٠ دقيقة.



شكل رقم (١) يوضح أبعاد النماذج ومواقع الفتحات للمتحسسات الحرارية

جدول رقم (١) يوضح تدرج الركام الناعم المستخدم وحدود المواصفة العراقية (٨)

المار من المنخل (%)		قياس فتحات المنخل (mm)	رقم المنخل
المواصفة العراقية ^(٨)	% الركام الناعم		
90-100	90.56	٤.٧٥	١
75-100	74.69	٢.٣٦	٢
55-90	60.44	١.١٨	٣
35-59	43.47	٠.٦	٤
8-30	13.72	٠.٣	٥
0-10	1.98	٠.١٥	٦
٠	0	المتبقي في قاع المناخل	٧

جدول رقم (٢) يوضح رموز وكثافة نماذج المونة المستخدمة في هذه الدراسة

الرمز	نوع السممت المستخدم	عدد النماذج	معدل الوزن قبل فحص الموصلية (grams)	معدل كثافة المونة (kg/m ³)
١	سممت معمل كركوك/العراق	٣	97.48	1947
٢	سممت معمل بادوش/العراق	٣	97.04	1938
٣	سممت معمل بازبان/العراق	٣	101.94	2036
٤	سممت معمل شارع/اليران	٣	102.64	2050
٥	سممت معمل أصلان/تركيا	٣	101.29	2023
٦	سممت معمل طاسلوحة/العراق	٣	100.99	2017
٧	سممت معمل السلجانية/العراق	٣	96.48	1927

جدول رقم (٣) يبين محددات الاختبار للعينات^(10,9)

مقدار المحدد	وصف المحدد
1.43x10 ⁻⁴ kg/s	معدل التدفق الكتلي للماء
4.91x10 ⁻⁴ m ²	مساحة المقطع لعينة المونة
0.102 m	طول العينة
30.5 °C	درجة حرارة الماء الداخل
100 °C	تحديد درجة حرارة المسخن
70 minutes	زمن اختبار العينة
4186 J/kg.°C	الحرارة النوعية للماء

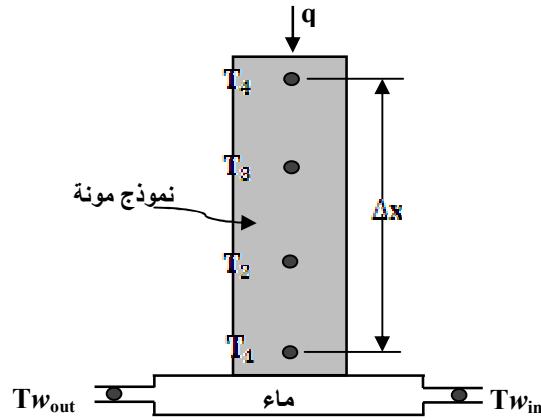
٣- الأنموذج الرياضي

تم حساب قيمة الموصلية الحرارية لعينات المونة بالاعتماد على الموازنة الحرارية بين انتقال الحرارة بالتوصيل من خلال العينة وانتقال الحرارة بالحمل للماء، وكما موضح في الشكل رقم (٢)، حيث أن الحرارة تنتقل من خلال العينة باتجاه واحد (الاتجاه المحوري) وذلك لان العينة عند الفحص تكون مغلقة بغطاء عازل للحرارة وعاكس للداخل. وبالإشارة إلى معاني الرموز الموضحة في الجدول رقم (٤) يكون حساب كمية الحرارة المنقلة بالتوصيل من خلال العينة بالاعتماد على قانون فورير للتوصيل الحراري (Fourier Law for Conduction) كالآتي:⁽¹¹⁾

$$q = -kA \frac{dT}{dx} (1)$$

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} (2)$$

وبعد إجراء التكامل للمعادلة رقم (١) تصبح:



شكل رقم (٢) يوضح مخطط لمواقع قراءات الحرارة في المتحسسات

جدول رقم (٤) يبين معاني ووحدات الرموز المستخدمة

الوحدة	المعنى	الرمز
m ²	مساحة المقطع للعينة	A
W/m.°C	الموصلية الحرارية للمونة	k
°C	فرق درجات الحرارة نسبة للمسافة Δx	ΔT
°C	درجة حرارة الماء	T _w
m	المسافة على طول العينة بين T1 و T4	Δx
kg/s	معدل التدفق الكتلي للماء	\dot{m}
m ³ /s	معدل التدفق الحجمي للماء	\dot{v}
J/kg.°C	الحرارة النوعية للماء	c _p
kg/m ³	كثافة الماء	ρ
W	الحرارة المكتسبة من قبل الماء	q _w
W	الحرارة المسطحة	q
	معدل القيمة	

أما مقدار الحرارة المكتسبة من قبل الماء فيحسب عن طريق المعادلة الآتية:

$$q_w = \dot{m}c_p (T_{w_{out}} - T_{w_{in}}) \quad (3)$$

وبتساوي المعادلتين (٢) و (٣) نحصل على:

$$kA \frac{\Delta T}{\Delta x} = \dot{m}c_p (T_{w_{out}} - T_{w_{in}}) \quad (4)$$

$$k = \frac{\dot{m} c_p \Delta x (\Delta T_w)}{A \Delta T} \quad (5)$$

حيث أن:

$$\dot{m} = \frac{\dot{v}}{\rho} \quad (6)$$

٤- مناقشة النتائج

في هذه الدراسة تم حساب قيمة الموصلية الحرارية لسبعة أنواع مختلفة من المونة المصنعة بأنواع مختلفة من السمنت الموجود في الأسواق المحلية في مدينة كركوك. وقد تم إجراء اختبارات الموصلية الحرارية على ثلاثة نماذج مونة لكل نوع من الأنواع السبعة من السمنت المستخدم وذلك عن طريق جهاز قياس الموصلية الموجود في مختبر انتقال الحرارة في الكلية التقنية/كركوك، والمبين في الصورة رقم (٥). وقد أعطت النتائج المختبرية توافقاً جيداً مع النتائج النظرية، حيث كانت قيمة الموصلية الحرارية لمعظم النماذج ضمن المدى [1.4-1.38] وهو المعتمد نظرياً في حساب الأحمال الحرارية للمباني لكثافة خرسانة مقدارها (١٩٠٠-٢٣٠٠) كغم/م^٣ (11,10,9).



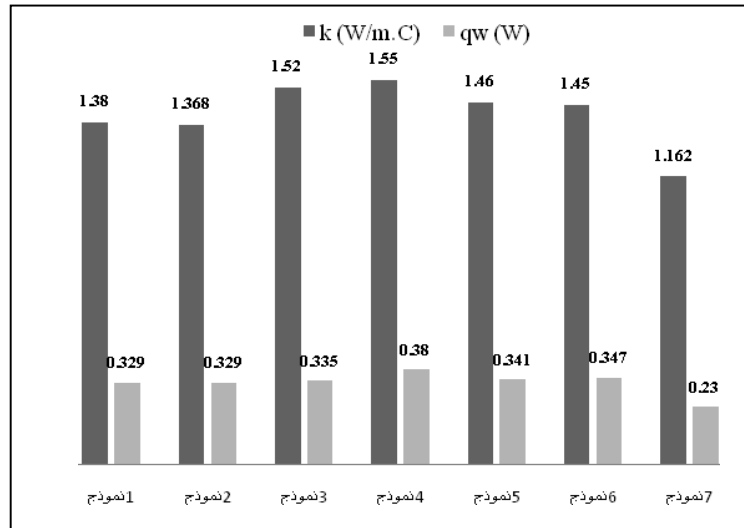
صورة رقم (٥) توضح قراءة لجهاز الموصلية الحرارية

عند ملاحظة النتائج المختبرية المبينة في الجدول رقم (٥) نجد أن أعلى معدل قيمة للموصلية الحرارية كانت لنموذج المونة رقم (٤) الخاص بسمنت معمل شارغ/إيران حيث أعطت اختبارات نماذج هذا النوع معدل موصلية حرارية مقداره (١.٥٥ W/m.°C) وهي أكبر من القيمة النظرية المعتمدة في المصادر والتي تتراوح بين [1.4-1.38] (11,10,9)، والتي معدلها (١.٣٩)، بزيادة مقدارها (١١.٥%)، يليه في ذلك النموذج رقم (٣) الخاص بسمنت معمل بازيان حيث أعطت اختبارات نماذج هذا النوع معدل موصلية مقداره (١.٥٢ W/m.°C) وبزيادة مقدارها

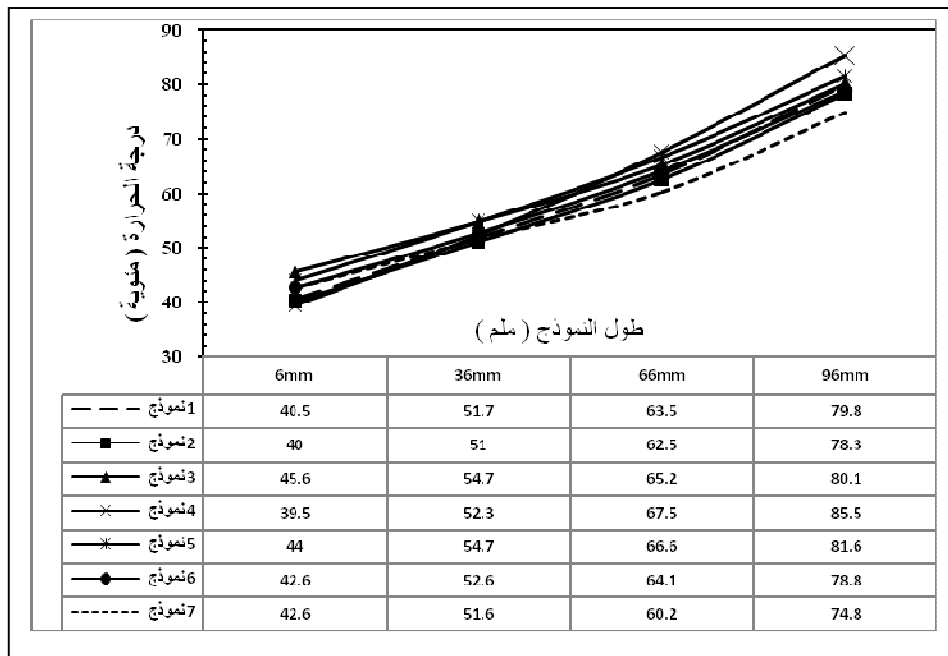
(9.4%) نسبة إلى معدل القيمة المعتمدة نظرياً (1.39)، كما أن اختبارات الموصلية الحرارية لهذين النموذجين يعطيان قيمة خارج المدى المعتمد نظرياً للموصلية الحرارية. وقد أعطت اختبارات الموصلية الحرارية للنماذج رقم (٦،٥،٢،١) والخاصة بسمنت (معمل كركوك، معمل بادوش، معمل أصلان/تركيا، معمل طاسلوجة) قيمة للموصلية الحرارية تقريباً ضمن المدى المعتمد نظرياً لحساب الحمل الحراري، حيث كان مقدار هذه القيم هي $(W/m \cdot ^\circ C)$ (1.38، 1.368، 1.52، 1.55، 1.46، 1.45، 1.162) وعلى التوالي. أما اختبار الموصلية الحرارية للنموذج رقم (٧) الخاص بسمنت معمل السليمانية فقد أعطى أقل قيمة موصلية حرارية ومقدارها $(1.162 W/m \cdot ^\circ C)$ والتي هي أقل من المدى والمعدل المعتمد نظرياً بنسبة (16.4%)، وهذا يبين أن استخدام سمنت معمل السليمانية يعطي موصلية حرارية أقل من باقي الأنواع المستخدمة في هذه الدراسة وكما مبين في الجدول رقم (٥). وقد اختلف مقدار انتقال الحرارة (q_w) من نموذج إلى آخر، حيث أن أقل مقدار لـ (q_w) حدث عند النموذج السابع الخاص بمعمل سمنت السليمانية وأعلى مقدار لـ (q_w) حدث عند النموذج الرابع الخاص بسمنت معمل شارع/إيران. من جانب آخر عند مقارنة معدل توزيع درجات الحرارة على طول كل نموذج من النماذج السبعة عند زمن ٧٠ دقيقة، وكما مبين في الشكل رقم (٤)، يلاحظ أن منحنى التوزيع الخاص بالنموذج الرابع، والخاص بسمنت معمل شارع/إيران، يعطي تحديداً أقل من منحنيات النماذج الأخرى أي أنه قريب من العلاقة الخطية وهذا يدل على أنه بعد فترة زمنية قليلة سوف يصل إلى الحالة الإستقرارية بينما منحنى توزيع درجات الحرارة للنموذج السابع، والخاص بسمنت معمل السليمانية/العراق، يختلف عن جميع المنحنيات الأخرى من حيث الانحناء فإنه أكثر تحديداً وهذا يدل على أنه يحتاج إلى زمن أكبر من الزمن الذي تحتاجه النماذج الأخرى للوصول إلى الحالة الإستقرارية وبهذا تكون لصفة الموصلية الحرارية للمادة عامل مهم في وصولها إلى الحالة المستقرة للتوصيل الحراري.

جدول رقم (٥) يبين معدل النتائج المخبرية لنماذج المونة المستخدمة في هذه الدراسة

رمز النموذج	نوع السمنت	$\Delta T_w (^\circ C)$	$q_w (W)$	$\Delta T (^\circ C)$	\bar{k} (practical) $(W/m \cdot ^\circ C)$	\bar{k} (theoretical) $(W/m \cdot ^\circ C)$	% difference $(= \frac{k_{practical} - k_{theoretical}}{k_{theoretical}} \times 100)$
١	سمنت معمل كركوك/العراق	0.55	0.329	43.70	1.38	1.39	-0.7
٢	سمنت معمل بادوش/العراق	0.55	0.329	44.06	1.368		-1.6
٣	سمنت معمل بازيان/العراق	0.56	0.335	40.36	1.52		9.4
٤	سمنت معمل شارع/إيران	0.54	0.323	50.80	1.55		11.5
٥	سمنت معمل أصلان/تركيا	0.57	0.341	42.80	1.46		5.0
٦	سمنت معمل طاسلوجة/العراق	0.58	0.347	43.80	1.45		4.3
٧	سمنت معمل السليمانية/العراق	0.38	0.23	41.00	1.162		-16.4



شكل (٣) يوضح قيمة الموصلية الحرارية ومقدار الحرارة المكتسبة من قبل الماء لجميع النماذج



شكل (٤) يوضح توزيع درجات الحرارة على طول النماذج عند الزمن ٧٠ دقيقة

٥- الاستنتاجات والتوصيات :

تم في هذه الدراسة إيجاد قيم الموصلية الحرارية المختبرية لواحد وعشرين نموذج مونة وزعت هذه النماذج بالتساوي على سبعة أنواع مختلفة من السمنت البورتلاندي المتوفر في الأسواق المحلية في مدينة كركوك. وقد أعطى البرنامج العملي المتبع في هذه الدراسة نتائج متوافقة مع القيم النظرية المعتمدة في المصادر لحساب الحمل الحراري للأبنية. أعطت اختبارات الموصلية الحرارية للنموذج السابع (سمنت معمل السليمانية) قيمة موصلية حرارية أقل من باقي النماذج الأخرى، وهذا يدل على أن هذا النوع من السمنت جيد من ناحية استخدامه في ترشيد الطاقة الكهربائية المستهلكة لمتطلبات تكييف المباني. أما لباقي النماذج (عدا النموذجين ٣ و ٤ والخاصين بسمنت معمل بازيان/العراق وسمنت معمل شارغ/إيران) فقد كانت قيم الموصلية الحرارية المختبرية ضمن المدى المعتمد نظرياً. كما أن أقل مقدار لانتقال الحرارة من خلال النماذج إلى الماء كان للنموذج السابع (سمنت معمل السليمانية) وأعلى مقدار لانتقال الحرارة كان للنموذج الرابع (سمنت معمل شارغ/إيران).

٦- المصادر:

- 1-Y. Xu, and D. D. L. Chung, "Improving Silica Fume by using Silane", Cement and Concrete Research, 30, 2000, p. 1305.
- 2- اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا، "ملاحق قطرية وإقليمية لمؤشرات التنمية المستدامة لقطاعات مختارة في منطقة الاسكوا (ESCWA) / قطاع الطاقة"، نيويورك، الأمم المتحدة، ٢١ كانون الأول ٢٠٠٥.
- 3- H. Uysal, R. Demirboga, R. Sahin, and R. Gul, "The Effect of Different Cement Dosages, Slumps, and Pumice Aggregate Ratios on the Thermal Conductivity and Density of Concrete", Cement and Concrete Research, 34, 2004, pp. 845-848.
- 4- K. S. Wang, C. J. Tseng, I. J. Chiou, and M. H. Shih, "The Thermal Conductivity Mechanism of Sewage Sludge Ash Lightweight Materials", Cement and Concrete Research, 35, 2005, pp. 803-809.
- 5- J. M. Scanlon, and J. E. McDonald, Thermal Properties: Concrete and Concrete Making, ASTM Sp. Tech. Publ., Vol. 169C, 2000, pp. 299-339.
- 6- R. Demirboga, and R. Gul, "The Effects of Expanded Perlite Aggregate, Silica Fume, and Fly Ash on Thermal Conductivity of Lightweight Concrete", Cement and Concrete Research, 33, 2003, pp. 723-727.
- 7- Thermal Conductivity Apparatus من شركة Cusson's Technology: كتلوك جهاز قياس الموصلية الحرارية
- 8- المواصفات العراقية رقم (٤٥)، ركام المصادر الطبيعية المستعمل في الخرسانة والبناء، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، بغداد، ١٩٨٤.
- 9- A. Vedats ,S. Ahmet, and K. H. Shu, Introduction to Heat Transfer, Prentice Hall,upper sassdle Riverer, NJ0745B, p. 586.
- 10- Cncropevd, Dewitt, Bergman, Laving, Wiley,Fundamental of Heat and Mass Transfer, Sixth edition, p.939.
- 11- P. Holman,Heat Transfer, McGraw-Hill series in mechanical engineering, ١٠th edition,2011, p. 653.