تأثير بعض المتغيرات في حرارة تميؤ الخرسانة

أ.د.خالد عبد العزيز زكريا زهراء محمد شاكر إبراهيم

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير بعض المتغيرات في حرارة التميؤ لنوعين من الخلطات الخرسانية، الأول خرسانة اعتيادية (M1) و الثاني (M2) خرسانة تحوي غبار السليكا بنسبة (15 %) كتعويض عن وزن الاسمنت، و ثلاثة أنواع من نسب الخلط الوزنية لكل خلطة (M1) و (M2) و هي (1:2:4, 1:1.5:3, 1:1:2) و بهطول ثابت لجميع الخلطات (75–100mm)، و طريقتان للمعالجة غمر بالماء و الأخرى تعريض للهواء (بدون رش بالماء)، أما الحرارة الداخلية للنماذج فقد تم قياسها على مدى (28) يوما، في أول يومين من المعالجة قيست الحرارة كل نصف ساعة ، ثم كل ثلاث ساعات لليوم الثالث و الرابع ، ثم كل ست ساعات إلى (28) يوما.أثبتت نتائج البحث أن حرارة التميؤ لليوم الأول أكثر من الحرارة الناتجة في اليوم الثاني، و هي متذبذبة خلال الساعات الثماني و الأربعين الأولى ، ثم بعد ذلك يقل التذبذب تدريجيا و تستقر الحرارة في الأعمار المتقدمة بشكل واضح، و كانت حرارة التميؤ لكافة الخلطات و الأعمار (عدا اليوم الأول) ترتفع في النماذج الخرسانية المعالجة في الهواء أكثر من تلك المعالجة قياسياً بغمرها بالماء و بنفس الشروط ، و بزيادة كمية محتوى الاسمنت تزداد حرارة التميؤ بالنسبة لخلطات (M1) و كذلك قللت إضافة السليكا درجة الحرارة الداخلية عن خلطات (M1) للخلطات غنية و متوسطة محتوى الاسمنت خلافا للخلطات ذات محتوى الاسمنت القليل.

Effect of Some Variables in Heat of Hydration in concrete

Prof. Dr. Kh. A. Zakaria Z. M. Sh. Ibrahim

University of Mosul - College of Engineering, - Civil Eng. Dept.

Abstract

In this research, the effects of some parameters on the heat of hydration for two concrete mixes have been studied. The mixes are with and without 15% micro silica as a cement weight replacement designated (M2) and (M1) respectively, and Three concrete mixes by weight namely, (1:2:4 , 1:1.5:3 , and 1:1:2) at uniform consistency that is a constant slump of (75-100 mm) for both(M1) and (M2), and Two curing methods, moist and air cured, While the internal temperature for the specimens was measured for (28) days : at the 1st two days at intervals of half an hour then at intervals of (3 hrs) for the 3rd and 4th day, while at intervals of (6 hrs) until (28) days. The results of the research proved that the heat of hydration was higher at the 1st day than that at the 2nd day, fluctuating during the 1st (48 hrs) . The fluctuation reduces gradually to a steady rate at later ages, While the heat of hydration for all mixes and at all ages (except the 1st day) was higher for air cured specimens than that moist cured for same condition, As the cement content increased the heat of hydration (for mixes M1) increased accordingly and also the addition of silica lowered the internal concrete temperature for M1 mixes (at high and moderate cement contents) in opposite of few cement contents.

أستلم: 22 - 2 - 2012 قبل: 6 - 5 - 2012

المقدمة :

يتطور تميؤ الاسمنت إذا توفرت معالجة مناسبة بحيث بيئة المعالجة رطبة و دافئة و بهذا تقل المسامية و تزداد كثافة الخرسانة خاصة في الأيام المبكرة لان للتميؤ علاقة بخصائص و متانة الخرسانة ، و إن التميؤ يتوقف ظاهريا عندما تكون الرطوبة النسبية ضمن القنوات الشعرية دون (80%) لذا توفير هذه النسبة يؤدي لإكمال تميؤ الاسمنت [1] ، و تؤثر في حرارة التميؤ العديد من العوامل منها :

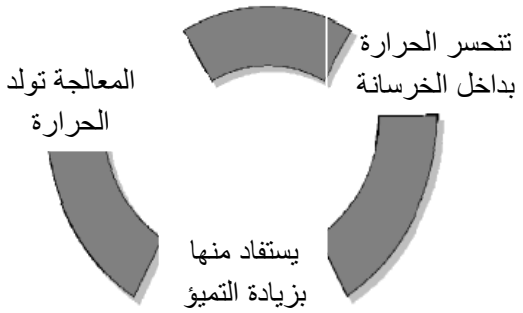
1. نسبة (الماء/الاسمنت).
2. نسبة (الركام /الاسمنت).
3. نوع الاسمنت.
4. حجم النموذج وشكله.
5. ظروف المعالجة.
6. عمر الخرسانة عند الفحص.

يفسر تميؤ الاسمنت الذي يحدث داخل الخرسانة على أنه تفاعل كيميائي مصحوب بحرارة (Exothermic) موضحاً في الخطوات الآتية:

1- المكونات الرئيسية لسمنت بورتلاند هي السليكا و الكالسيوم .
2- تدعى المعالجة (الجفاف) بالتميؤ أو الاماءة .
3- ما يحدث خلال التميؤ هو الآتي :-

Ca plus H-O-H (Water) ⟶ CaoH plus H + (released energy) طاقة

4- الطاقة المعطاة تولد الحرارة .
5- الطاقة = الحرارة ⟵ جزيئات متحركة بسرعة أكثر ⟵ احتمالية تصادم هذه الجزيئات (رد الفعل) ⟵ يتعجل التميؤ (يزداد سرعة) [2] . كما في المخطط المتمثل بالشكل (1) الآتي :



الشكل (1) : دورة معالجة الخرسانة [2].

الدراسات السابقة :

درس الباحثان (Bentz and Stutzman) [3] عام (2006) م متغيرات عديدة عن كل من التميؤ و المعالجة و بنية (Microstructure) عجينة الاسمنت باستخدام عدة طرائق ؛ منها طريقة (Scanning electron microscopy) حيث يستخدم فيها المجهر الالكتروني لتحديد البنية و طريقة (Low temperature calorimetry) و للتحقق من تطور تميؤ عجينة الاسمنت استخدم الاسمنت البورتلاندي في عجينة الاسمنت التي اجري الفحص عليها ، و استخدم نوعان من نسبة الماء إلى الاسمنت الأولى w/c = 0.35 و الثانية w/c = 0.435 ، أما المعالجة فكانت بثلاث طرائق ؛ الإشباع (Saturated) بالماء ، و الختم (Sealed) بتغطية النموذج، الإشباع / الختم حيث أول 7 أيام ختم ثم إشباع ، جميع المعالجات كانت بدرجة حرارة 20 °C بغرفة معزولة، و قد ظهر أن المعالجة لها تأثير في كل من التميؤ و البنية للمنشأ، و أن طريقة (Low temperature calorimetry) بينت وضوح فعالية تطور مسام المنشأ في تميؤ عجينة الاسمنت .هذه المسام تتأثر بوساطة w/c، و شروط المعالجة، و تبعاً لذلك سيؤثر في النفاذية، مقاومة الانجماد و الذوبان و المتانة العامة النهائية للخرسانة.

البرنامج العملي :

1. **المواد المستخدمة :**

a. **الإسمنت :** الإسمنت المستخدم هو إسمنت عراقي محلي الصنع منتج في معمل إسمنت بادوش في محافظة نينوى بموجب المواصفة العراقية القياسية (IQS, No.5, 1984) [4]، و الموضحة خصائصه الكيميائية و الفيزيائية في الجدولين (1) و (2) على التوالي.

الجدول (1) : خصائص الاسمنت المستخدم .

الخصائص الكيميائية

اكاسيد عناصر الاسمنت	MgO	SO_3	CaO	Fe_2O_3	SiO_2	Al_2O_3
النسبة المئوية (%)	3.20	2.26	62.72	4.88	23. 20	3.43
حدود المواصفة	لا يزيد عن 6%	لا يزيد عن 2.3%				
المركبات الرئيسية	C_4AF		C_3A	C_2S	C_3S	
النسبة المئوية (%)	14.85		0.82	34.39	42.58	
حدود المواصفة			لا يزيد عن 5%			

الجدول (2) : خصائص الاسمنت المستخدم .

الخصائص الفيزيائية

الخصائص	النعومة	وقت التماسك		مقاومة الانضغاط (MPa)	
		الابتدائي (دقيقة)	النهائي (دقيقة)	3 أيام	7 أيام
نتيجة الفحص	4%	120	300	18.4	26.8
حدود المواصفة	نسبة المتبقي على منخل رقم (170) لا تزيد عن 10%	لا تقل عن 45 دقيقة	لا تزيد عن 600 دقيقة	لا تقل عن (16 MPa)	لا تقل عن (24 MPa)

الماء : استخدم ماء الشرب الاعتيادي لمدينة الموصل في الخلطة الخرسانية، إذ إن جميع المواصفات تشير إلى أن ماء الخلط يجب أن يكون صالحاً للشرب وخالياً من الشوائب .

b. **الركام الناعم (الرمل):** الرمل المستخدم هو رمل نهري (River Sand) من منطقة الكنهش في محافظة نينوى ، كما تبين أنَّه من نوع الرمل الخشن بمعامل نعومة (3.075) ، كما يوضح الجدول (3) نتائج التحليل المنخلي له ، و ظهر أنه ضمن الحد العام للمواصفة البريطانية (BS 882:1992) [5] .

c. **الركام الخشن(الحصى):** الحصى المستخدم هو حصى نهري ذو شكل مدور (Rounded Aggregate) بمقاس أقصى (M.A.S=20mm) ، أُجري التحليل المنخلي له بحيث يكون مطابقا للمواصفة البريطانية (BS 882:1992) [5] . و الجدول (4) يوضح نتائج التحليل المنخلي

الجدول(3) : نتائج التحليل المنخلي للرمل المستخدم مع النسب المارة القياسية للمواصفة البريطانية (B.S 882:1992) .

مقاس المنخل (mm)	النسبة المئوية المارة				
	النسب المارة للرمل المستخدم	الحدود الكلية للمواصفة	حدود مناطق التدرج		
			خشن C	متوسط M	ناعم F
5.00	100	100-89	-	-	-
2.36	73	100-60	100-60	100-65	100-80
1.18	58	100-30	90-30	100-45	100-70
0.60	43	100-15	54-15	80-25	100-55
0.30	15	70-5	40-5	48-5	70-5
0.15	3.5	15-0	-	-	-

الجدول(4) : التحليل المنخلي للحصى المستخدم مع النسب المارة القياسية للمواصفة البريطانية (BS 882:1992) .

مقاس المنخل (mm)	%الحدود القياسية المارة	%النسبة المارة للحصى المستخدم
20	**100-90**	**95**
14	**80-40**	**60**
10	**60-30**	**45**
5	**10-0**	**5**

d. المواد المضافة : استخدم غبار السليكا (Silica fume) كمادة مضافة للخلطة الخرسانية تعويضاً عن الاسمنت بنسبة 15% من وزن الاسمنت ، لكن بسبب النعومة المتناهية لهذه المادة تزداد الحاجة إلى الماء ، لذلك يتم إضافة الملدنات التي تقلل نسبة ماء الخلط لإعطاء قابلية تشغيل مناسبة للخرسانة الطرية ؛ لان عملية مزج الخرسانة تكون صعبة لكن لغرض دراسة تأثير هذه المادة في تفاعلات التميؤ و مقارنتها بالخرسانة الاعتيادية (لا تحوي غبار السليكا و استخدم الماء لغرض مزج الخرسانة) تم إضافة الماء بدون ملدنات مع المحافظة على هطول ثابت لجميع الخلطات الخرسانية المستخدمة في هذا البحث . و الجدولان (5) و (6) يوضحان الخصائص الكيميائية و الفيزيائية على التوالي لغبار السليكا المستخدم ، و تبيّن أن غبار السليكا المستخدم ضمن المواصفة الأمريكية ASTM C1240-03a [6].

الجدول (5) : خصائص غب الخصائص الفيزيائية غبار السليكا المستخدم .

اكاسيد عناصر غبار السليكا	**MgO**	**SO_3**	**CaO**	**Fe_2O_3**	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Na_2O**
النسبة المئوية (%)	0.10	0.22	1.21	1.10	95.95	0.02	0.00
حدود المواصفة		لا يزيد عن 4			لا ينقص عن 85		

الجدول (6) : خصائص غبار السليكا المستخدم .

الخصائص الكيميائية

الخصائص	المساحة السطحية (m^2/Kg)	النسبة المتبقية على منخل 45μm (No. 325)
نتيجة الفحص	20000	7
حدود المواصفة	min. 15000	max. % 10

e. **الجبس (Gypsum) :** استخدمت مادة الجبس لغرض تغطية وجه الصب للنماذج الاسطوانية. استخدمت هذه المادة بسبب سرعة تصلبها عند خلطها مع الماء ، و لان مقاومة انضغاط هذه المادة أكثر من مقاومة انضغاط الخرسانة المتصلبة بحيث تفشل الخرسانة في أثناء الفحص قبل فشل الغطاء .

f.

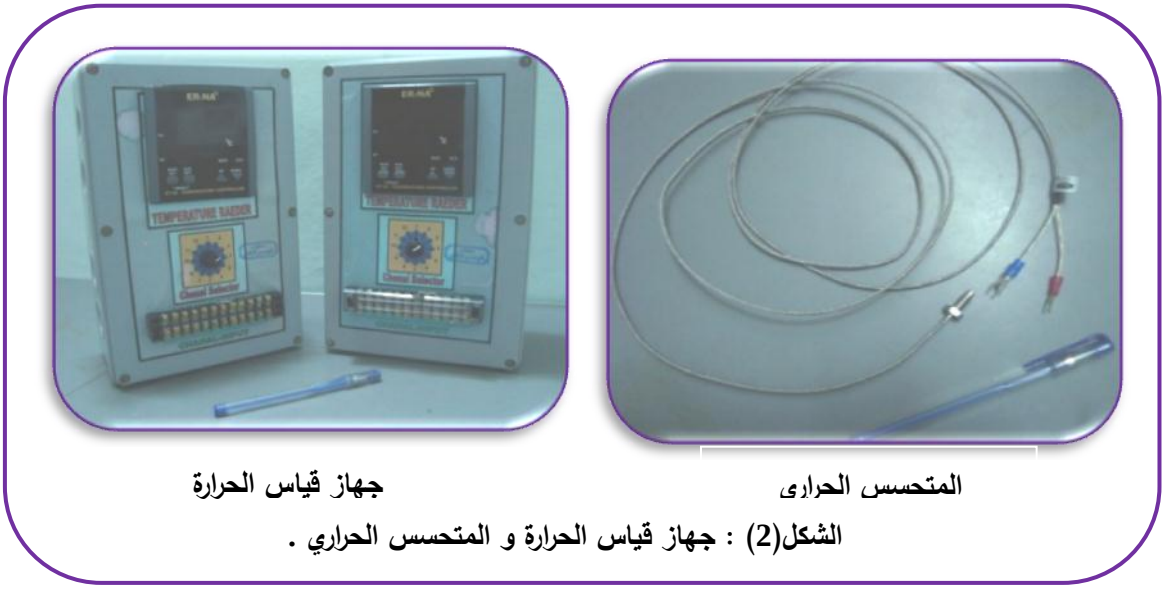
2. المتغيرات المعتمدة في البحث :

استخدم نوعان من الخلطة الخرسانية ، الأولى هي خرسانة اعتيادية (M_1) ، و الثانية (M_2) خرسانة تحوي غبار السليكا بنسبة 15% من وزن الاسمنت ، و استخدم ثلاثة أنواع من نسب الخلط للخلطتين (M2 , M1) بحيث تتدرج بمحتوى الاسمنت ، وهي (1:1:2/0.37 , 1:1.5:3/0.42 , 1:2:4/0.52) بالنسبة للخلطة (M1) و (1:1:2/0.51 , 1:1.5:3/0.57 , 1:2:4/0.63) بالنسبة للخلطة (M2) أي بمحتوى سمنت (325, 400 , 515 Kg/m^3) لكلتا الخلطتين على التوالي و بهطول ثابت (75 – 100 mm).و نوعان من المعالجة ، بالماء بدرجة حرارة (21±3 ℃) و المعالجة بالتعريض للهواء (بدون رش بالماء) بدرجة حرارة (22±3 ℃) .

3. النماذج و طريقة الفحص :

استخدم نوع واحد من القوالب اسطواني الشكل قياسي بأبعاد (300×150 mm) ، و تم صب نموذجين لكل نوع من المتغيرات لكل نسبة من الخلطات الخرسانية الثلاث المشار إليها سابقا و أُخذ معدلهما.

عندما تصب الاسطوانة الخرسانية يتم غرس المتحسس الحراري بداخل الاسطوانة و الطرف الثاني يربط بجهاز قارئ للحرارة (Temperature reader) ، و الشكل (2) يبين المتحسس ، و الجهاز . و يتم تسجيل الحرارة أول يومين من عمر الأنموذج كل نصف ساعة حسب تعليمات المواصفة ASTM C 1074 [7] ثم تتباعد فترة القياس من ثلاث ساعات في اليوم الثالث و الرابع إلى ست ساعات لبقية الأيام إلى 28 يوماً.



المتحسس الحراري جهاز قياس الحرارة

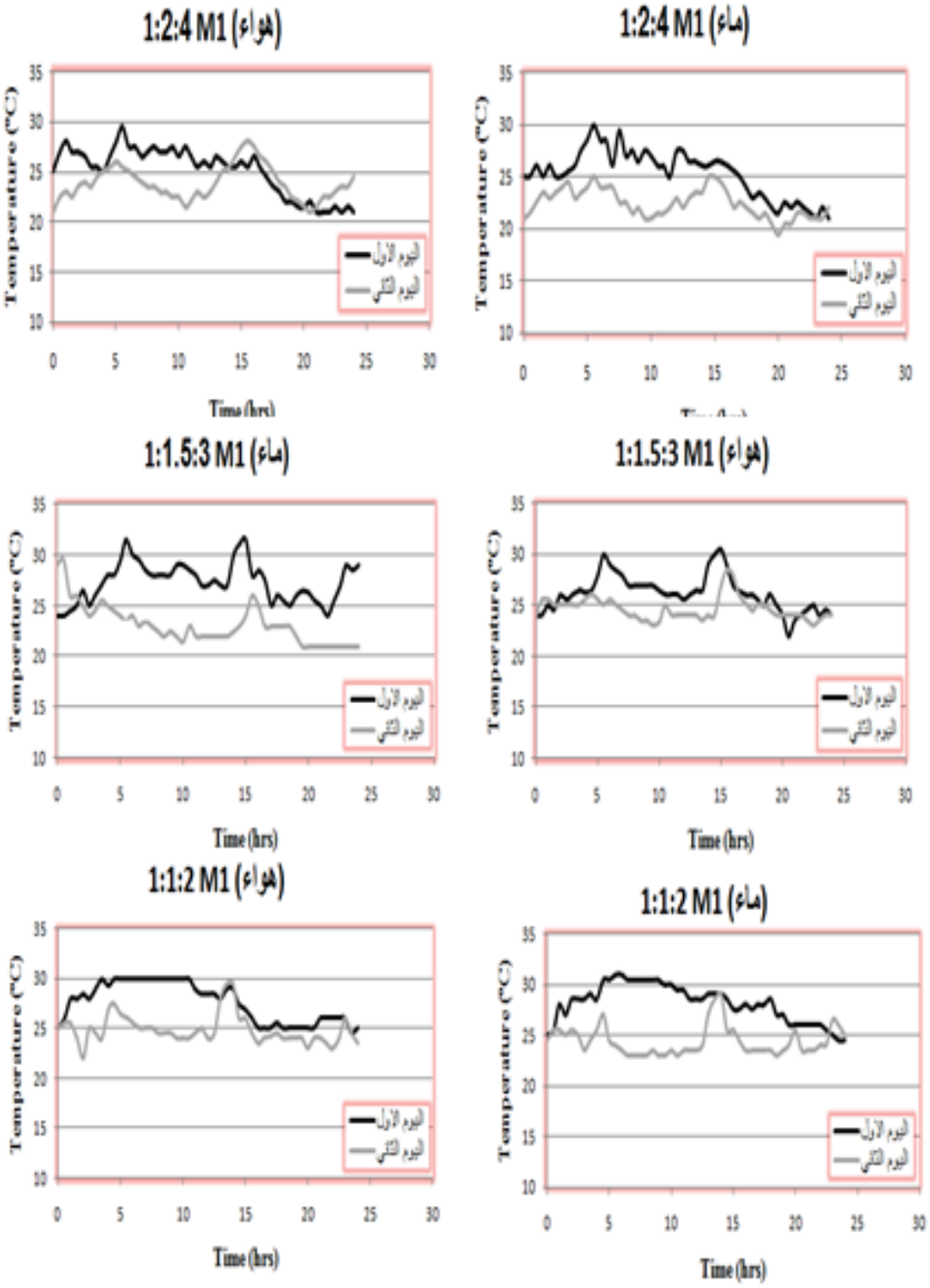
الشكل(2) : جهاز قياس الحرارة و المتحسس الحراري .

النتائج و مناقشتها :

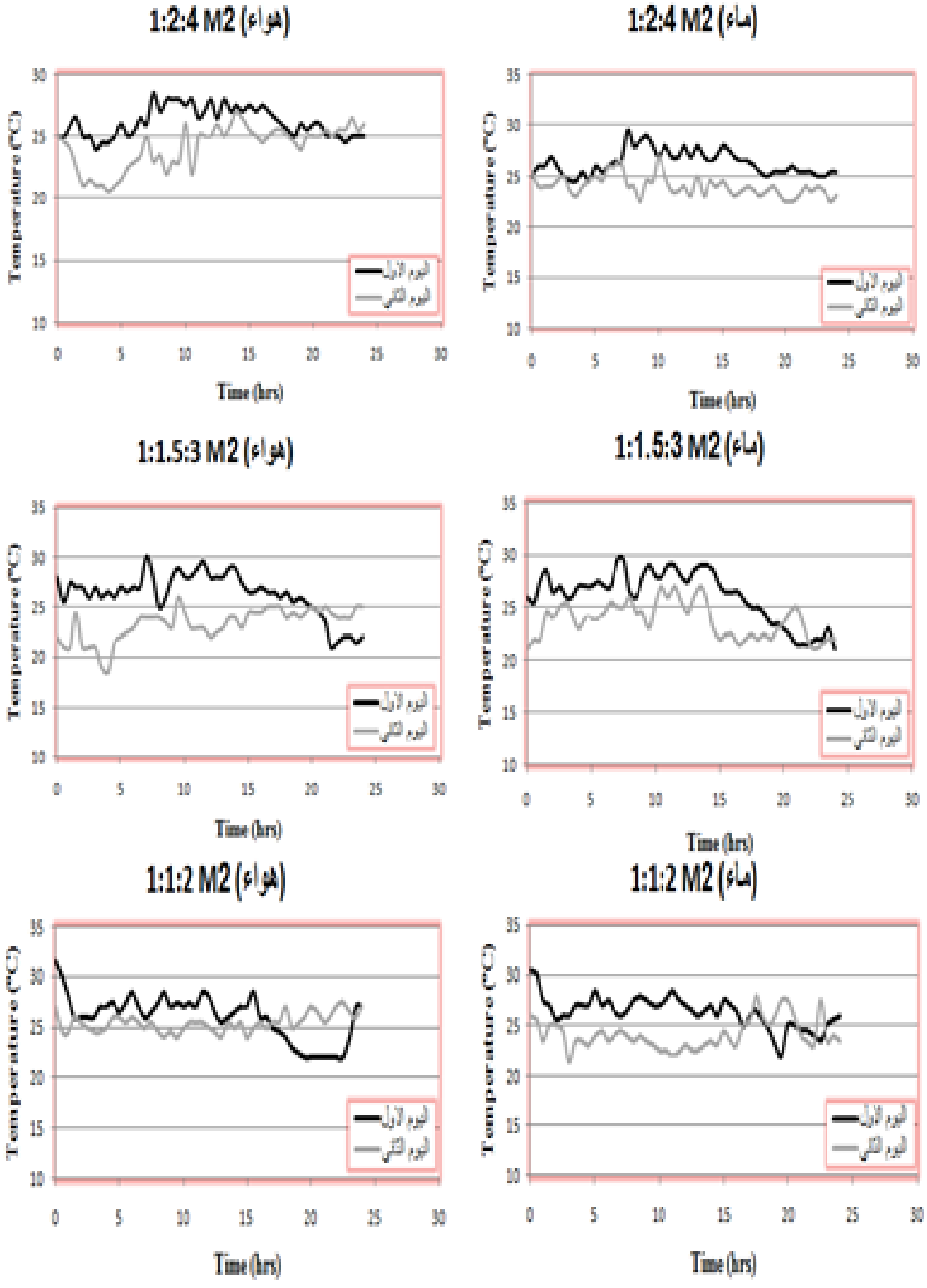
1 : تأثير عمر النماذج في حرارة التميؤ للنماذج الخرسانية :

عمر النموذج مؤشر مهم لحرارة التميؤ ، حيث أوضح الشكلين (3) و (4) علاقة (الحرارة-الوقت) لليوم الأول و الثاني ، أن حرارة التميؤ لليوم الأول أكثر من الحرارة الناتجة في اليوم الثاني ، ففي الخلطة (1:1:2M1 معالجة ماء) كان معدل درجة الحرارة في اليوم الأول (28.2℃) ثم انخفضت في اليوم الثاني لتصبح (24.4℃) ؛ و ذلك لان تفاعلات التميؤ في اليوم الأول أشد من اليوم الثاني ، و بزيادة هذا التفاعل تكون الحرارة الناتجة أكثر . كذلك من هذه العلاقة وجد بأن حرارة التميؤ تكون متذبذبة خلال (48 ساعة الأولى) و ربما يعود السبب إلى عدم اكتمال التميؤ ، حيث إن الفجوات لم يصل إليها الماء بعد ، لذا وقت وصول الماء لها تبدأ بالتميؤ ، ثم بعد ذلك يقل التذبذب تدريجيا و

تستقر القراءة في الأعمار المتقدمة بشكل واضح ، ففي الخلطة المذكورة آنفاً تستقر قراءة الحرارة الداخلية تقريبا بين درجة حرارة (°C 23 - 21.1) ؛ لان تفاعلات التميؤ تنتهي ، حيث يظهر هذا واضحا من خلال ملاحظة علاقات (الحرارة-الوقت) القادمة



الشكل (3): علاقة (الحرارة– الوقت) لكل نوع من الخلطات الاعتيادية المدروسة.



الشكل (4): علاقة (الحرارة- الوقت) لكل نوع من الخلطات المدروسة الحاوية غبار السليكا بنسبة (15%) من وزن الاسمنت

2 : تأثير طريقة معالجة النماذج في حرارة التميؤ للنماذج الخرسانية :

من خلال الشكل (5) يتبين أن حرارة التميؤ لكافة الخلطات و الأعمار (عدا اليوم الأول عندما تكون النماذج داخل القالب) ترتفع في النماذج الخرسانية المعالجة في الهواء أكثر من تلك المعالجة قياسياً بغمرها بالماء و لنفس الشروط ، ففي خلطة (1:1.5:3M1 معالجة ماء) كانت الحرارة الداخلية للخرسانة لليوم الأول (27.4℃) و كانت لليوم الثاني (23.0℃) ثم استقرت بين (℃ 22.0 - 21.0) ، بينما كانت الحرارة الداخلية للخرسانة لليوم الأول (26.2℃) بالنسبة إلى الخلطة (1:1.5:3M1 معالجة هواء) و كانت في اليوم الثاني (24.6℃) ثم استقرت بين (℃ 23.7 - 22.5) ، و ذلك بسبب السيطرة على حركة الرطوبة من الخرسانة و

إليها ، و كذلك السيطرة على حرارة التميؤ عند المعالجة بالماء خلافا للمعالجة بالهواء [8] ، وأن نقصان درجة الحرارة عند المعالجة بالماء يبدو أكثر وضوحا في الخلطات قليلة و معتدلة الاسمنت لان حرارة تميؤها اقل بالنسبة للخلطات الغنية بالاسمنت.

3 : تأثير تغير محتوى الاسمنت في حرارة التميؤ للنماذج الخرسانية :

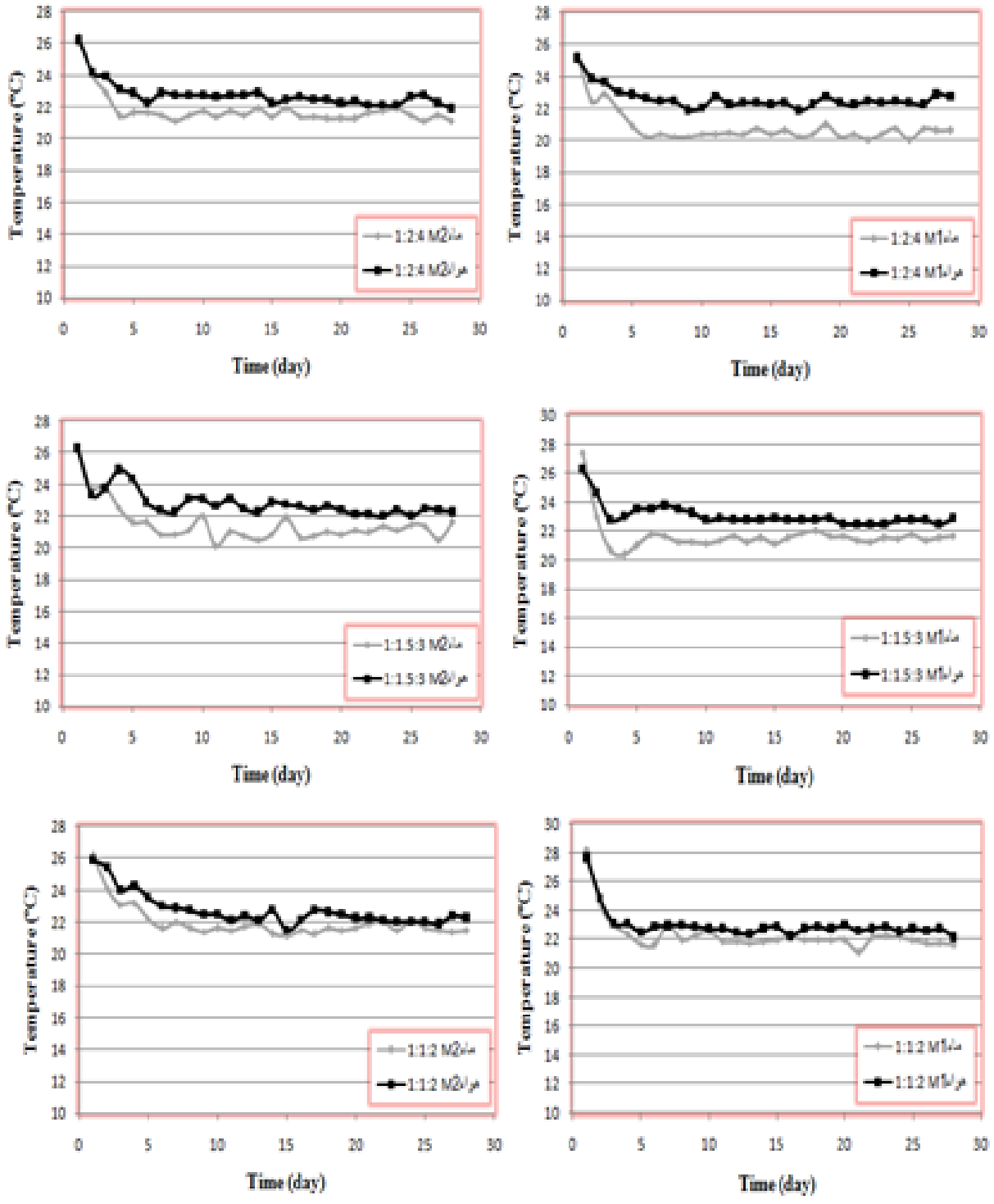
من الشكل (5) ممكن ملاحظة أن بزيادة محتوى الاسمنت تزداد حرارة التميؤ بالنسبة للخرسانة الاعتيادية و هذا يظهر واضحا خاصة في الأيام الأولى ففي الخلطة (1:2:4M1 معالجة ماء) يكون معدل الحرارة الداخلية للخرسانة لليوم الأول مساوية لِـ (℃ 25.3) ثم تنخفض في اليوم الثاني لتصبح (℃ 22.5) و هكذا إلى أن تستقر تقريبا بين درجة حرارة (℃ 21.0 - 20.0) إلى نهاية (28 يوم) أما الخلطة (1:1.5:3 M1 معالجة ماء) يكون معدل الحرارة الداخلية للخرسانة لليوم الأول مساوية لِـ (℃ 27.4) ثم تنخفض في اليوم الثاني لتصبح (℃ 23.0) و هكذا إلى أن تستقر تقريبا بين درجة حرارة (℃ 22.0 - 21.0) . أما الخلطة (1:1:2 M1 معالجة ماء) فان معدل الحرارة الداخلية للخرسانة لليوم الأول مساوية لِـ (℃ 28.2) ثم تنخفض في اليوم الثاني لتصبح (℃ 24.4) و هكذا إلى أن تستقر تقريبا بين درجة حرارة (℃ 23.0 - 21.1) ؛ و ذلك لأن زيادة محتوى الاسمنت تؤدي إلى زيادة تفاعلات التميؤ ، لذا تزداد الحرارة ثم تستقر مع نقصان هذه التفاعلات إلى أن تنتهي .

كذلك يُلاحظ من الشكل (6) انه في الخلطات ذات محتوى سمنت قليل أو معتدل فرقاً في درجة الحرارة بين المعالجتين تكون أكثر مما في الخلطات الغنية بالاسمنت ، حيث من المتوقع أن تكون السيطرة على عملية التميؤ أكثر فاعلية في الخلطات ذات محتوى الاسمنت المعتدل أو القليل ، مما يؤدي إلى وضوح الفروقات.

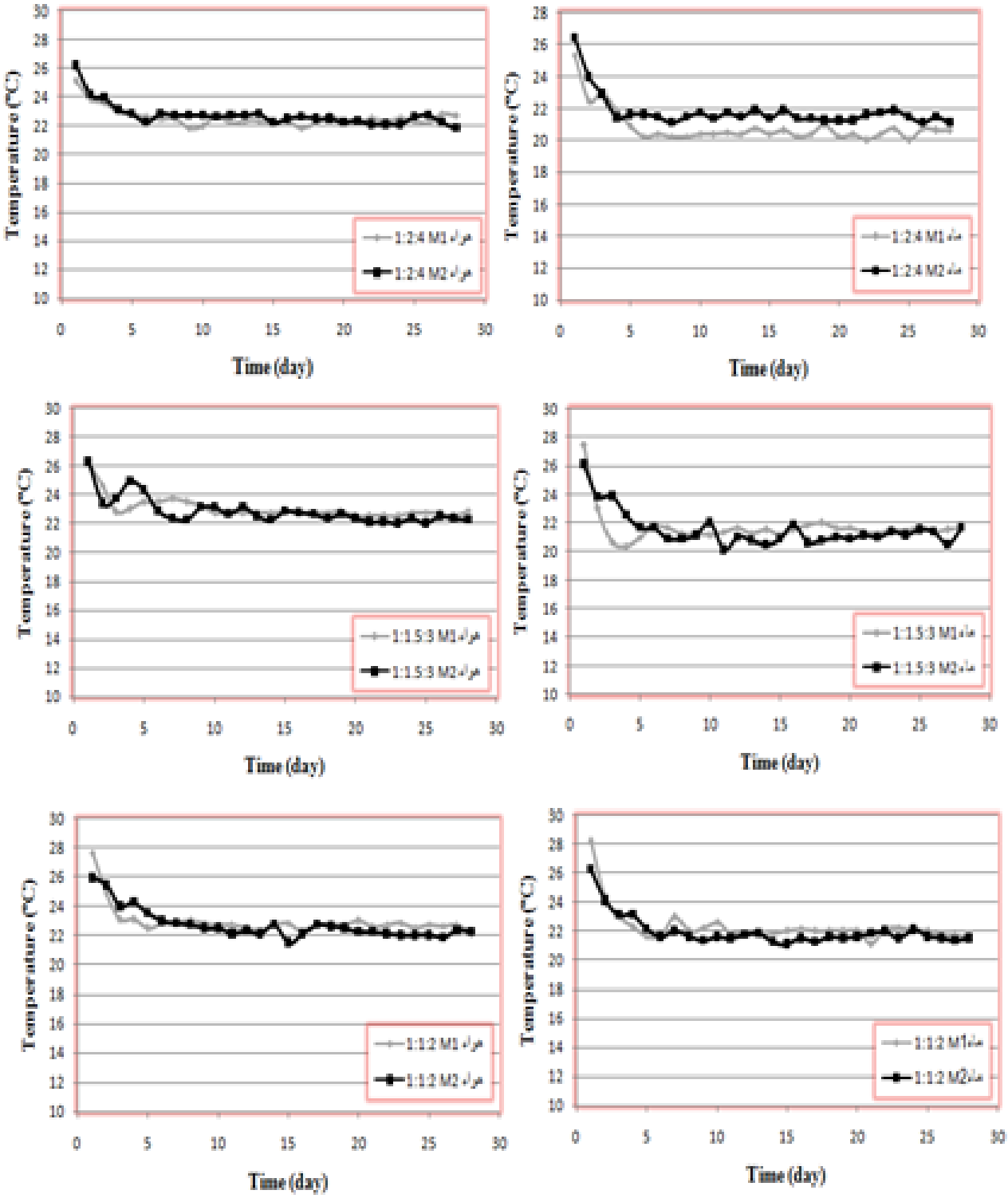
4 : تأثير وجود السليكا في حرارة التميؤ للنماذج الخرسانية :

أوضحت النتائج من خلال الشكل (6) أن إضافة السليكا أدت إلى نقصان درجة الحرارة الداخلية للخلطات الغنية بالاسمنت أي (1:1:2) و (1:1.5:3) سواءً كانت المعالجة بالماء أم الهواء ، و على العكس في الخلطة ذات محتوى الاسمنت القليل بالنسبة للخلطة (1:2:4) ، فان إضافة السليكا أدت إلى زيادة درجة الحرارة الداخلية للخرسانة ، و سبب ذلك قد يعزى إلى أمرين :-

1. إنّ مادة غبار السليكا مادة ناعمة جدا و ذات مساحة سطحية (15000- 30000 m^2/Kg) .
2. إنها مادة فعالة جدا بسبب التركيب الكيميائي لها ، حيث يتكون من (85%<) Sio_2 و هذا المركب عند اتحاده مع مركبات الكالسيوم يؤدي إلى تكوين C_2S التي تساعد على تقليل حرارة التميؤ خاصة في الخلطات الغنية بالاسمنت .



الشكل (5): تأثير طريقة المعالجة في حرارة تميؤ الخرسانة لكل نوع من الخلطات المدروسة .



الشكل (6): تأثير وجود السليكا بنسبة (15%) من وزن الاسمنت في حرارة تميؤ الخرسانة لكل نوع من الخلطات المدروسة

الاستنتاجات :

1- أدت إضافة السليكا إلى نقصان درجة الحرارة الداخلية من خلطات (M1) التي تكون غنية و متوسطة محتوى الاسمنت لجميع الأعمار سواءً كانت المعالجة بالماء أم الهواء ، و على العكس في الخلطات ذات محتوى الاسمنت القليل فقد أدت إلى زيادة درجة الحرارة الداخلية للخرسانة.

2- تزداد حرارة التميؤ بزيادة محتوى الاسمنت بالنسبة لخلطات (M1) . وهذا يظهر واضحا خاصة في الأيام الأولى ، ففي الخلطات (1:2:4,1:1.5:3,1:1:2) تكون حرارة التميؤ عند المعالجة بالماء لليوم الأول (25.3,27.4,28.2°C) على التوالي.

3- إن حرارة التميؤ لليوم الأول أكثر من الحرارة الناتجة في اليوم الثاني، و هي متذبذبة خلال (48 ساعة الأولى) ، ثم بعد ذلك يقل التذبذب تدريجيا و تستقر القراءة في الأعمار المتقدمة بشكل واضح ، ففي الخلطة (1:1:2M1 معالجة ماء) كان معدل درجة الحرارة في اليوم الأول (28.2°C) ثم انخفض في اليوم الثاني ليصبح (24.4°C) ثم تستقر قراءة الحرارة الداخلية تقريبا بين درجة حرارة (23.0°C - 21.1).

4- ترتفع حرارة التميؤ لكافة الخلطات و الأعمار(عدا اليوم الأول) في النماذج الخرسانية المعالجة في الهواء أكثر من تلك المعالجة قياسياً بغمرها بالماء و لنفس الشروط ، ففي خلطة (1:1.5:3M1 معالجة ماء) تكون الحرارة الداخلية للخرسانة (27.4,23.0°C) لليومين (1,2) على التوالي ، ثم باقي الأعمار تتراوح بين (21.0-22.0°C) ، و حرارة نفس الخلطة المعالجة في الهواء هي (26.2,24.6°C) لليومين (1,2) على التوالي ثم تستقر بين (22.5-23.7 °C).

المصادر :

[1] Safiuddin, M., Raman, S. N., and Zain, M. F., **"*Effect of Different Curing Methods on the Properties of Microsilica Concrete*"**, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, No.1(2), 2007, pp. 87–95.

[2] **"*Concrete Maturity Harnessing The Rate of Strength Change of your concrete*"**, Wisconsin Concrete Pavement Associational, February, 2010.

[3] Bentz, D. P., and Stutzman, P. E., **"*Curing, Hydration, and Microstructure of Cement Paste*"**, ACI Material Journal, V. 103, No. 5, September-October, 2006, pp.348-356.

[4] المواصفات القياسية العراقية (رقم 5)، (1984)، **"*خصائص الإسمنت البورتلاندي الاعتيادي*"**، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، العراق، 1984.

[5] (BS.882-1992), **" *Aggregates from Natural Source for Concrete*"**, British Standard Institution, 1992.

[6] ASTM, C 1240-03a , **"*Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*"** , 2003.

[7] ASTM, C 1074-98 , **"*Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method*"**, 1998.

[8] Neville, A. M., Brooks, J. J., **"*concrete Technology*"**, Longman Scientific & Technical, Fourth and Final Edition, 2000.

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل