السلوك الحراري والإنشائي للكتل الخرسانية الخفيفة باستبدال الحصى النهري مع تحليل اقتصادي

عاطف علي حسن عماد راغب كاظم نعمان منذر
الجامعة التقنية الوسطى – معهد التكنولوجيا / بغداد

Thermal and constructional behavior of light concrete block using many crushed materials as aggregate with economic analysis

Atif A.H. Emad R. and Naman M.
Middle Technical University - Technology Institute

Abstract

The riverine aggregate have high mass density (2700Kg/m^3) and thermal conductivity (2.8W/m.c^0) this reflects the properties of the block concrete in order to decrease these properties , the riverine aggregate must be replaced by any materials have low density and thermal conductivity such as : scrap brick , lime stone , or black stone (pumice).
In this paper, block concrete samples (solid and hollow), with dimensions of (200x200x200mm) , were constructed mixing ratio of (4:2:1)by mass and water percentage of 0.5 were used . The thermal and constructional behavior of these blacks was investigated at Baghdad climate zone during one year at 21^{th} day of each month for 15 hr/day.
The test results showed that, using pumice racks as aggregate reduced the density by about 44% and increased the energy saving by about 34%. However, this enhancing in the properties was accompanied with reduction in the tensile and compression stresses of unloaded walls. Using limestone as aggregate gave 20% reduction in density with 5% increase in the energy saving 60% reduction in density and 40% increase in the energy saving were achieved when using gypsum block with fiber glass layers.
Key words: **Block concrete, replacement aggregate, wall heat transmission reduction, Pumica stone & limestone in concrete, building energy conservation.**

المستخلــص
لكون الحصى النهري يمتلك كثافة كتلية مرتفعة (2700) كغم/$م^3$ ومعامل توصيل حراري عالي (2.8 واط/م.م°) مما ينعكس على مقدار تلك الخواص في الكتل الخرسانية (الصلدة والمجوفة) التي يدخل في تركيبها والمستخدمة في البناء حالياً. لذلك تم الاستعاضة عنه بما يتوفر في الطبيعة من مواد ذات صفات كتلية وحرارية منخفضة (كسر الطابوق [مخلفات البناء] - الحجر الكلسي والحجر الأسود (البركاني [الخفاف]) مما ينعكس على تقليل تلك الخواص للكتل الخرسانية. لذلك تم إعداد نماذج للكتل الخرسانية الصلدة والمجوفة وبأبعاد (200x200x200) ملم وباستخدام نسبة خلط (4:2:1) ونسبة ماء 0.5 . تم اختبار النماذج حرارياً وإنشائياً ضمن الظروف المناخية لمدينة بغداد (خط عرض 33.2 درجة شمالاً) خلال عام كامل ولليوم (21) من كل شهر وبمعدل 15 ساعة/يوم .
وتبين من نتائج البحث أن استخدام الحجر الأسود (الخفاف) بدلاً من الحصى يقلل وزن الجدار بنسبة 44% ويزيد مقدار التوفير في الطاقة الى 34% ولكن مقدار مقاومة الشد والانضغاط تقل كثيراً إضافة الى ارتفاع الامتصاصية كثيراً، ومن الممكن استخدام الحجر الكلسي بديلاً عن الحصى النهري لأنه يقلل وزن الجدار بنسبة 20% ولكنه يوفر طاقة في حدود 5% . ومقاومة الشد والانضغاط تقل قليلاً واتضح من الدراسة أن استخدام الكتل الجبسية المجوفة والمسلحة بشبكة الفايبر كلاس يقلل وزن الجدار في حدود 60% ويكون التوفير في الطاقة في حدود 40% .
الكلمات المفتاحية : الكتلة الخرسانية – بدائل الحصى – تقليل انتقال الحرارة من الجدار – الحجر الكلسي و الحجر الأسود (الخفاف) في الخرسانة – ترشيد استهلاك الطاقة في الأبنية.

المقدمــة

ان المناخ السائد في عموم العراق، هو المناخ شبه الصحراوي، حيث يستمر فيه فصل الصيف أكثر من (7) أشهر، تسطع الشمس خلاله حوالي (14) ساعة/ يوم، وتصل درجة حرارة الهواء (في الظل) الى ما يقارب 50°م (قياسات الباحث)،

بينما تمتاز المنطقة بفصل شتاء قصير (ثلاثة أشهر) ولا تنخفض خلاله درجة حرارة البيئة أقل من 4-°م، والكتل البنائية التي تشكل الجدار تعمل على تخميد تردد الموجة الحرارية المؤثرة وتأخير مرورها ولكن بالرغم من ذلك، فان درجة حرارة القشرة الداخلية للجدار سترتفع بعد فترة تعتمد على الخواص الحرارية والكتلية لتلك المكونات(1) وبالتالي تؤثر في تغيير المستوى القياسي لحدود الراحة الحرارية داخل تلك الأبنية. ان الجدار التقليدي شائع الاستخدام ومنذ عدة عقود وفي عموم العراق هو البناء بالطابوق الفني سمك 240 ملم مع استخدام طبقتي إنهاء – خارجية (لبخ) الاكساء بالسمنت سمك 20 ملم، وداخلية بياض بالجص سمك 25 ملم والذي يمتلك بهذه الصيغة معامل انتقال حراري إجمالي قدره (1.514 واط/م^2.ك)، وزن الجدار (288 كغم/م^2)(2) وهو رقم كبير ومهما كانت نسبة تخميد تردد الموجة الحرارية المؤثرة، وعليه فان كمية الحرارة المتسربة خلاله الى داخل المبنى (صيفاً) ستكون كبيرة ومتوسط حمل التكييف المطلوب توفيره سيكون في الحدود (10.5) طن تبريد/متر مربع. وبما أن الاتجاهات الحديثة تشير الى تزايد استخدام الأبنية الهيكلية (الحديدية أو الخرسانية) ذات الجدران غير الساندة كنظام تشييد سريع، حيث يكون فيها الجدار مؤلف من الطابوق الفني سمك 120ملم مع وجود طبقتي الإنهاء يلبي متطلبات تلك الأبنية ومما زاد من مقدار معامل انتقال الحرارة للجدار ليصل (2.282) واط/م^2.ك مع تقليل واضح لوزن المقطع الى (144 كغم/م^2).(بافتراض أن الفراغات الموجودة في الطابوق ستملأ بالسمنت ولا تترك فارغة) وبذلك زادت كمية الحرارة المنتقلة خلاله الى المبنى وتقدر متوسط الحمل التبريدي المطلوب 11 طن تبريد لكل متر مربع ولمحدودية مواد التشييد الأخرى المتوفرة في السوق المحلية [الكتل الخرسانية الصلدة سمك 140ملم (معامل انتقال حراري اجمالي 3.35 واط/م^2.ك– وزن المقطع الإنشائي (322 كغم/م^2)، الكتل الخرسانية المجوفة سمك 200ملم (معامل انتقال حراري إجمالي 2.613 واط/م^2.ك ووزن مقطعه الإنشائي(288 كغم/م^2)، الثرمستون سمك 200 ملم (معامل انتقال حراري كلي 0.865 واط/م^2 ووزن مقطعه الإنشائي (152 كغم/م^2) (2) وتبعاً لبيانات الجهاز المركزي للإحصاء(3) والتي تشير الى ان عدد الوحدات السكنية المشيدة باستخدام الطابوق في عموم العراق تقدر بحوالي (79%) من إجمالي عدد الدور المشيدة في العام 2011 بينما ما يشيد باستخدام الكتل الخرسانية المجوفة تقدر بحوالي (18%)، وبما أن العراق مقبل على حملة إعمار ضخمة، فلهذا يتطلب ضرورة البحث دائما عن مواد بناء لا تعتمد الطين في مكوناتها بسبب كون التراب المطلوب لإنتاج الطابوق هو التربة الخالية أو قليلة الأملاح وأن زيادة إنتاجه سيتطلب الزحف باتجاه الأراضي الزراعية مما يؤدي الى تقليص مساحة الرقعة الزراعية (4)، لذلك برزت الحاجة الى إيجاد بدائل طبيعية تعتمدها الأنظمة الإنشائية في تشييد الأبنية الهيكلية، تمتاز كذلك بسرعة التنفيذ وأن لا تكون مرتبطة بالاستيراد أو بتوفير رؤوس الأموال القادرة على الاستثمار داخل العراق لتوفير بدائل لا تغير من واقع الأرض كثيراً وتلبي في الوقت نفسه متطلبات أسس ومعايير ترشيد الطاقة المستهلكة داخل الأبنية ومن الجهود المبذولة في هذا المجال استخدام الحجر الكلسي بشكل صندوق يوضع العازل الحراري داخله ويجمع موقعياً(5) أو باستخدام قطع خرسانية لتشكيل صندوق يوضع العازل الحراري داخله ويجمع موقعياً(6) وكذلك خلط التراب مع السمنت لإيجاد كتل اسمنتية خفيفة(7) أو اكساء جدار المبنى الأصلي بمواد عاكسة وعازلة لتقليل درجة حرارة الجدار(8) أو إكساء الجدران بخلايا فولتائية لتخفيف الحمل الحراري وتوليد الطاقة المجانية في الوقت نفسه(9) أو استخدام الجبس الناتج عن المخلفات الصناعية لانتاج كتل بنائية(10) او استخدام احجار الزيولايت بمفردها(11) او مع الألياف الزجاجية(12) لانتاج كتل خفيفة .

مما تقدم ، يعتقد الباحثون بضرورة التفتيش عن بدائل للطابوق وإحدى تلك البدائل الكتل الخرسانية الصلدة بشرط تحسين أداءها الحراري ويتحقق هذا باستبدال الحصى النهري الذي يدخل في تركيبها لكونه السبب الرئيسي في زيادة الكثافة الكتلية للخرسانة وارتفاع معامل انتقالها الحراري حيث تكون كثافة الحصى النهري (2700) كغم/م^3 ومعامل التوصيل الحراري له (2.8) واط/م.م°. لذلك اقترح الباحثون استبداله بالحجر الكلسي (Limestone) ومخلفات الطابوق التي سبق ان درست من قبل عدة باحثين (14,13) (على سبيل المثال) ومقارنة النتائج مع استخدام الحجر الأسود البركاني الخفاف (Pumica) لإنتاج كتل بناء اسمنتية خفيفة الوزن.

مراحل تحقيق هدف البحث

لغرض تحقيق هدف البحث في تحسين الأداء الحراري للكتل الخرسانية التي تستخدم لتشييد الجدران غير الساندة في الأبنية الهيكلية وإيجاد بدائل طبيعية لمادة الحصى النهري الداخل في تركيبها . تم إعداد كتل بنائية أبعادها (150x150X150) ملم لأغراض الفحوصات الإنشائية واختيار نسبة الخلط (1:2:4) الطريقة الوزنية وتثبيت نسبة الماء الداخل في الخلطة (0.5) واختيار السمنت البورتلاندي الاعتيادي والمطابق للمواصفات العراقية1984 , بينما اعتمدت المواصفات البريطانية (B.S 882/1992) (15) عند خلط المكونات , تم استخدام رمل الأخيضر كركام ناعم وحصى النباعي كركام خشن , بعد عملية الغسل والتجفيف تمت فحوصات التدرج للتأكد من مطابقة الخلطة للمواصفات البريطانية المشار أليها وكما موضح في الجدول (2) بينما النماذج ذات الأبعاد (200x200x200) ملم اعتمدت لأغراض الفحوصات الحرارية .

اعتمدت النماذج التالية في البحث :

A- كتل خرسانية صلدة ومجوفة / استخدام كسر الطابوق (مخلفات الطابوق) بعد توفير التدرج القياسي لحجم قطع الطابوق كبديل للحصى النهري وزنياً .

B- كتل خرسانية صلدة ومجوفة / استخدام الحجر الكلسي الأحمر (Limstone) المتوفر بكثرة في المناطق الغربية والشمالية الغربية من العراق – بعد تكسير الحجر وإيجاد التدرج القياسي له واستخدامه بديل للحصى النهري وزنياً.

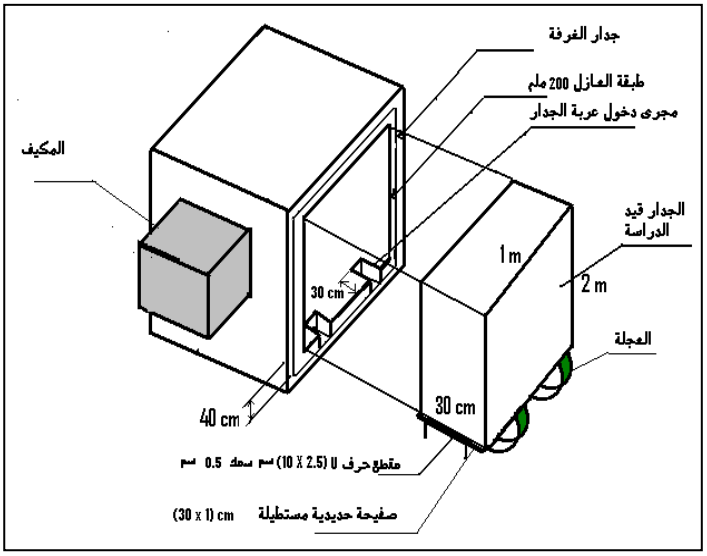
C- كتل خرسانية صلدة ومجوفة باستخدام الحجر الأسود البركاني (الخفاف) (Pumica) المتوفر بكثرة في شمال وشمال شرق العراق بعد تكسير الحجر للحصول على التدرج القياسي واستخدامه بديل عن الحصى النهري وزنياً .
D- كتل مصنعة من الجص (صلدة ومجوفة) مع استخدام شبكة من الفايبركلاس لزيادة قابليتها للانضغاط .
E- مقارنة النتائج مع الجدران المشيدة بالطابوق العادي.

وفيما يتعلق بالاختبارات الحرارية للكتل آنفة الذكر، تم تشييد غرفة أبعادها (2x1x1) م والجدار (2x1) م مواجه للشرق و مشيد من إحدى المواد آنفة الذكر (جدار الاختبار) بثبوت المتغيرات التالية :

1- **منطقة البحث** – مدينة بغداد – خط عرض 33.2 درجة شمالاً (متوسط خطوط العرض المارة في العراق).
2- **موقع غرفة الاختبار**: الطابق الثالث من مبنى يرتفع (6)م عن الأرض– لكي تكون الغرفة (جهد الإمكان) معرضة للبيئة طيلة ساعات النهار وعدم وجود عائق يمنع تأثير الأشعة الشمسية عليها.
3- **اتجاه الجدار قيد الدراسة** هو الشرق / والرياح السائدة صيفاً في مدينة بغداد شمال غرب (الرئيسية)، شمال (الثانوية) (2) لذلك لن يكون لها تأثير واضح على تغيير درجة حرارة سطح طبقة الإنهاء الخارجية للجدار (قيد الدراسة)، أما تأثير دخول هواء البيئة الى داخل غرفة الاختبار، فتم وضع الاحتياطات اللازمة لجعل الهواء ساكن داخل الغرفة (باستثناء حركة الهواء نتيجة عمل مكيفة الهواء).
4- **توجيه الجدار قيد الاختبار** نحو الشرق (لكون أن البحث لا يتعلق بتحديد أفضل توجيه، بل يتطلب دراسة السلوك الحراري لتحديد أفضلية مادة عن أخرى ولا ضرر من تثبيت التوجيه) والجدول (1) يوضح تأثير تغيير التوجيه على حمل التبريد لجدار من الطابوق (من قياسات الباحث/2010).

جدول (1): تأثير تغير توجيه الجدار على كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لاغراض التكييف

توجيه الجدار	درجة حرارة الظل Tsh	درجة حرارة السطح الخارجي للجدار To	درجة حرارة السطح الداخلي المواجه للغرفة Tr	فرق درجات الحرارة بين الجدار والحيز	السعة التبريدية بوحدات طن تبريد شهرياً	الطاقة الكهربائية المستهلكة بوحدات kw-hr شهرياً	النسبة المئوية لتغير الطاقة المستهلكة نسبة للاتجاه الشرق %
الشمال N	39.034	43.31	35.53	9.03	21.4	16.1	- 20.8
الشمال الشرقي NE		45.54	37.36	10.86	25.7	19.35	-4.8
الشرق E		46.2	37.9	11.4	27	20.33	__
الجنوب الشرقي SE		46.10	37.82	11.32	26.8	20.18	- 0.74
الجنوب S		45.84	37.6	11.1	26.3	19.8	- 2.61
الجنوب الغربي SW		47.02	38.5	12	28.4	21.4	+ 5.26
الغرب W		46.55	38.19	11.7	27.7	20.86	+ 2.61
الشمال الغربي NW		45.41	37.33	10.83	25.65	19.3	-5.02



شكل(1):تفاصيل غرفة الاختبار

5- لغرض تقليل انتقال الحرارة عبر المساحات الأخرى للغرفة، تم استخدام ألواح الستايربور (البولي ستايرين) سمك (200) ملم لتغليف سقف وأرضية وجوانب الغرفة لتحييد هذه المصادر جهد الامكان بحيث يكون انتقال الحرارة من جدار الواجهة (الجدار قيد الدراسة) هو المصدر المؤثر في تغيير مستوى الراحة الحرارية داخلها.

6- استخدام مكيفة هواء جدارية سعتها طن تبريد واحد لتوفير الظروف الحرارية المناسبة داخل الغرفة لا جراء القياسات المطلوبة.

7- مستوى الراحة الحرارية المطلوب توفيرها داخل الغرفة 26.7 م° بصلة جافة، 65% رطوبة نسبية صيفاً، بينما شتاءاً تكون 22 م° بصلة جافة 50% رطوبة نسبية لكون أن اشغال الحيز يكون أكثر من 40 دقيقة (درجة حرارة هواء البيئة صيفاً (الظل) تقارب 50 م°)(16) .

8- ان مادة الإنهاء الخارجية للأرض المحيطة بالنموذج هي البلاطات الخرسانية (الشتايكر) رصاصي اللون (40x800x800)ملم، ومادة الإنهاء الداخلية لجدران وسقف الغرفة هي الجص سمك 25 ملم. وبهذا لا يكون هناك تأثير لما ينعكس من أشعة الى جدار الاختبار مما يحيط به

9- الاعتماد على البيانات الموضحة في (17) لتقدير معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر(h) من الجدار الى حيز الغرفة :

$$h = 1.31\ (\Delta t)^{1/3}$$

حيث أن Δt هي فرق درجات الحرارة بين السطح الساخن (الجدار) ودرجة الحرارة القياسية داخل الغرفة. وعليه فان كمية الحرارة المنتقلة بالحمل نتيجة ارتفاع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الجدار المواجه للغرفة في حالة البناء بالكتل المقترحة (Q_{con}) هي :

$$Q_{con} = h.A.\Delta t$$

بينما كمية الحرارة المنتقلة الى الغرفة عند التشييد باستخدام الكتل الخرسانية التقليدية $\overline{Q_{con}}$، فان النسبة المئوية لتقليل كمية الحرارة نتيجة تغيير مواد البناء ستكون :

$$\Delta Q\% = \frac{\overline{Q_{con}} - Q_{con}}{\overline{Q_{con}}} \times 100$$

تم الاعتماد على دليل الجمعية الأمريكية لمهندسي التكييف والتبريد والتهوية(18) لتحديد فرق درجات الحرارة المكافئ لحمل التبريد للمقاطع الإنشائية التي تم دراستها عملياً.

10- لغرض تقدير الأحمال التبريدية تم قياس درجات الحرارة على جانبي جدار الاختبار باستخدام مقاييس الكترونية مصنعة من قبل شركة (Intelligent Auto Digital Thermo - meter by Victor Company)

11- اعتماد المصدر(19) لتقدير حسابات الكلفة الكلية والتي تحسب من العلاقة التالية:-

الكلفة الكلية المطلوبة = الكلفة الاولية اللازمة لتشييد الجدار + الكلفة التشغيلية (الثانوية) ..... (1)

الكلفة الاولية اللازمة لتشييد الجدار = كلفة إنشاء الجدار+ كلفة شراء منظومة تكييف الهواء + كلفة صيانة مكيفة الهواء + كلفة نصب وتشغيل مكيفة الهواء+ كلفة الاشراف الهندسي

الكلفة التشغيلية (الثانوية) = كلفة استهلاك وحدة الطاقة المستهلكة نتيجة عمل مكيفة الهواء + كلفة صيانة مكيفة الهواء + كلفة اندثار مكيفة الهواء + كلفة صيانة الجدار + كلفة اندثار الجدار .

والمتغيرات المفروضة بالاعتماد على نفس المصدر فهي :-

- كلف نصب وتشغيل مكيفة الهواء 5% من كلفة شراء وحدة تكييف الهواء
- كلفة صيانة الجدار سنوياً 3% من كلف تشييد الجدار
- كلفة صيانة وحدة تكييف الهواء سنوياً 5% من كلفة شراء الوحدة .
- كلفة الاندثار السنوي للجدار 4% من كلفة تشييد الجدار.
- كلفة الاندثار السنوي لوحدة تكييف الهواء 10% من كلفة شراء الوحدة .
- العمر الافتراضي للمبنى 25 سنة.
- العمر الافتراضي لوحدة تكييف الهواء 10 سنة.
- افتراض إن سعر وحدة تكييف الهواء بعد انتهاء فترة استخدامها (10) سنة هي صفر دينار عراقي
- كلفة شراء وحدة تكييف الهواء 350 دولار لمنظومة تكييف ذات سعة(1) طن اعتماداً على ما متوفر في الأسواق العراقية
- كلفة شراء وحدة الطاقة الكهربائية 30 دينار لكل(كيلو واط – ساعة)
- اعتماد الاسعار المعمول بها في مدينة بغداد عام 2011. فيما يخص اسعار مواد البناء واجور العمل .

بالإمكان حساب الكلف الكلية لتشييد الجدار من دون افتراض وجود مكيفات هواء في المبنى وبالتالي تم استبعاد كلف الشراء والنصب من الكلفة الأولية وكذلك استبعاد كلف صيانة واندثار الجهاز من الكلف التشغيلية , وعليه فأن معادلة حساب الكلف الكلية ستأخذ الصورة التالية :

الكلفة الكلية = كلفة أنشاء الجدار (بضمنها كلف الأشراف الهندسي) + كلفة صيانة الجدار + كلفة اندثار الجدار + كلفة استهلاك الطاقة الكهربائية ..... (2)

12- أن كمية الطاقة الكهربائية التي يستهلكها مكيف الهواء للتخلص من الأحمال الحرارية يتم قراءتها مباشرة بمقياس الطاقة والمصنع من قبل نفس الشركة ، أما النسبة المئوية للطاقة الكهربائية الموفرة عند استخدام اسلوب التشييد فيحسب من العلاقة التالية :

$$\%100\ x\ \frac{\text{استهلاك الطاقة في الحالة العادية} - \text{استهلاك الطاقة للمادة البنائية الأخرى}}{\text{استهلاك الطاقة في الحالة العادية}}$$

تم قياس درجات الحرارة على جانبي مادتي الإنهاء الخارجية (المواجهة للبيئة) (T_o) والداخلية (المواجهة للغرفة) (T_i) وكذلك درجة حرارة هواء البيئة (الظل)(T_{sh}) خلال يوم واحد (اليوم الـ21)/شهر .

النتائج والمناقشــة

لغرض تحقيق هدف البحث في إيجاد بدائل لنظام التشييد الذي يعتمد الطابوق أساس له، تم استخدام الكتل الخرسانية ومحاولة تحسين أداءها الحراري والإنشائي بما يتناسب والأجواء الحارة باستبدال الحصى النهري الداخل في انشائها بما متوفر من أحجار في المنطقة ونتائج دراسة فحوصات التدرج موضحة بالجدول(2) بينما نتائج الفحص المختبري الإنشائي للنماذج موضح في الجدول (3) و الجدول (4) يوضح المتوسط اليومي لدرجة الحرارة لاختلاف الجدران , بينما السلوك الحراري الساعي موضح بالأشكال(2-6) ، والجدول(5) يوضح النتائج الحرارية للنماذج , ونتائج الدراسات الاقتصادية موضحة في الجدولين (7,6) .

وفي أدناه مناقشة متغيرات البحث :

- **فترة اختبار النماذج**

تم قياس دراسة السلوك الحراري اليومي للنماذج المقترحة لليوم الـ (21) من أشهر العام/2011 لمعرفة تصرف هذه النماذج خلال ارتفاع درجة حرارة البيئة أو انخفاضها ، يعني تصرف النماذج عند انتقال الحرارة منها الى البيئة أو بالعكس

- **وزن النماذج قيد الدراسة**

من إحدى أوليات البحث – تقليل الكتلة الساكنة للجدار غير الساند- ويتضح من الجدول(3) ان كثافة الكتل الخرسانية الصلدة/ خلطة مرجعية كانت 2350 كغم/م^3 ، بينما استبدال الحصى النهري (الركام الخشن) بالحجر الأسود (الخفاف) قد خفض كثافة الكتل الى1320 كغم/م^3 والنسبة المئوية لتقليل الكثافة كانت في حدود 44% ،بينما استخدام الحجر الكلسي الأحمر قد خفض كثافة النموذج الى 1900 كغم/م^3 وكانت النسبة المئوية لتقليل الكثافة في حدود 20% وكثافة الكتل عند استخدام كسر الطابوق بديل عن الحصى كانت 1700 كغم/م^3 و النسبة المئوية لتقليل الكثافة كانت في حدود 28% بينما استخدام الكتل الجبسية التي تم تقويتها بشبكة الألياف الفايبر كلاس (لسهولة المناولة وزيادة مقاومتها للانضغاط) أصبحت كثافتها 980 كغم/م^3 والنسبة المئوية لتقليل الكثافة في حدود 59% .

- **الخواص الفيزيائية للكتل**

يتضح من الجدول (3) ان الكتل الخرسانية الصلدة/ الخلطة المرجعية تمتلك مقاومة انضغاط 24.2 نيوتن/ملم^2 وامتصاصها للماء حوالي 1.2% ومعدل مقاومة الشد 2.18 نيوتن/ملم^2 بينما معيار الكسر كان 3.75 نيوتن/ملم^2. وعند استبدال الحصى النهري/ الركام الخشن بالحجر الأسود/ الخفاف فان مقاومة الانضغاط للكتل الخرسانية الجديدة سينخفض الى 6.38 نيوتن/ملم^2 أي أن النسبة المئوية لتقليل مقاومة الانضغاط كانت في حدود 74% . بينما زادت من قابلية امتصاصها للماء الى 35% وكذلك انخفض معدل مقاومة الشد بنسبة 67% ومعيار الكسر بنسبة 60% بينما استبدال الحصى النهري/ الركام الخشن بالحجر الكلسي الأحمر قد خفض مقاومة الانضغاط وكانت النسبة المئوية للتخفيض عن الخلطة المرجعية في حدود 54% بينما زادت الامتصاصية الى 1.3% والنسبة المئوية لتخفيض معدل مقاومة الشد وكذلك معيار الكسر (نسبة للخلطة المرجعية) قد انخفضت الى 47% ، 40% على التوالي. بينما استبدال الحصى النهري/ الركام الخشن بكسر الطابوق/ المخلفات الإنشائية أدى

الى تخفيض قيم مقاومة الانضغاط والشد ومعيار الكسر بحيث أن النسبة المئوية للتخفيض مقارنة بالخلطة المرجعية كانت في حدود 83% ، 79% ، 75% على التوالي وزادت الامتصاصية الى 23% بينما استخدام الكتل الجبسية المسلحة بشبكة الفايبر كلاس زادت من مقاومة الانضغاط والشد ومعيار الكسر عند مقارنتها بالكتل الجبسية الاعتيادية، بينما انخفضت تلك الخواص عند مقارنتها بالكتل الخرسانية وكانت نسبة التخفيض في حدود 60% ، 38% ، 33% على التوالي .

يتضح مما تم حسابه أعلاه ان استخدام الحجر الكلسي الأحمر بديل عن الحصى النهري يأتي في مقدمة البدائل والجبس المسلح بشبكة الفايبر كلاس واستخدام الحجر الأسود (الخفاف) يأتي ثالثاً. بينما استخدام كسر الطابوق والكتل الجبسية الاعتيادية قد فشلت في تجارب فحص الانضغاط .

أما قابلية الحجر الأسود (الخفاف) على أمتصاص الماء فتكون عالية وكما موضح في الجدول (2) . ويمكن الأستفادة من هذه الخاصية في تقليل كمية الماء الداخلة عند خلط مكونات الخرسانة وكذلك يتم الأستفادة من هذه الخاصية في تقليل فترة غمر الخرسانة بالماء خلال مرحلة التصلب .

- **امكانية تشييد الجدران**

الجدول(3) يوضح نتائج قياسات الكثافة والانضغاط والشد للكتل البنائية الخرسانية المستبعد منها الحصى (الركام الخشن) والمعوض عنه بإحدى الأحجار (الحجر الكلسي، الأسود (الخفاف)، كسر الطابوق/ مخلفات البناء). وعند المقارنة مع المواصفات (15)(ASTM) التي اشترطت بالكتل البنائية الساندة ان تكون كثافتها الكتلية 1848 كغم/م^3 ولا تقل مقاومتها للانضغاط عن 17 نيوتن/ملم^2 . بينما الكتل التي تستخدم لتشييد الجدران غير الساندة اشترطت ان تكون كثافتها في الحدود (800–1440) كغم/م^3 وحدود تغير مقاومتها للانضغاط -17) (7 نيوتن/ملم^2. أي ان الكتل البنائية التي تم الاستغناء فيها عن الحصى (قيد الاختبار) لا يمكن استخدامها لتشييد الجدران الساندة ، بل هي كتل تستخدم للجدران غير الساندة لكون خواصها تقع ضمن حدود المواصفات (باستثناء الكتل التي يدخل فيها كسر الطابوق و الكتل المصنعة من الجص العادي) .

جدول (2) : حدود تدرج الركام الخشن والناعم المستخدمة في الخلطات الإنشائية في البحث

الركـــــام الخشـــن / النباعي				الركـــــام الناعـــم / رمل الأخيضر			
قطر فتحة المنخل mm	النسبة المئوية للمتراكم في المنخل %	النسبة المئوية للمواد المارة خلال المنخل		قطر فتحة المنخل mm	النسبة المئوية المتراكمة في المنخل %	النسبة المئوية للمواد المارة خلال المنخل	
		قياسات البحث	المواصفات BS:882/1992			قياسات البحث	المواصفات BS:882/1992
37	0	100	100	-	-	-	-
20	0	100	100	-	-	-	-
9.5	22	*(78-70)	*(85-50)	10	0	100	100
4.75	66	*(10-6)	(10-0)	5	5	95	(100-89)
				2.36	12.85	82.15	(100-60)
				1.18	15.85	66.3	(100-30)
				0.6	21.73	44.55	(100-15)
				0.3	29.95	14.6	(70-5)
				0.15	11.05	3.55	(15-0)

جدول (3) : خواص الفحوصات الإنشائية للنماذج

نماذج الدراسة		مقدار الهطول mm	الكثافة الكلية kg/m^3	مقاومة الانضغاط *N/mm^2	الامتصاصية %	معدل مقاومة الشد N/mm^2	معدل معيار الكسر N/mm^2
الخلطة المرجعية		13	2350	24.205	1.2	2.18	3.75
الخلطة باستبدال الركام الخشن باحدى المواد	الحجر الأسود الخفاف	16	1320	8.36	35	0.79	1.5
	الحجر الأحمر	11	1900	11.12	1.3	1.15	2.26
	كسر الطابوق	15	1700	4.043	23.26	0.45	0.93
الجـص	العادي		1200	5.2	-	1.05	2.42
	التقوية بشبكة فايبر كلاس		980	9.4	-	1.35	2.51

* تم الفحص لعينات بعمر 28 يوم

- **السلوك الحراري للكتل البنائيـة**

تم دراسة نوعين من الكتل الإنشائية الصلدة والمجوفة – ولجميع البدائل المقترحة والأشكال (2,3,4,5,6) توضح السلوك الحراري الساعي لليوم الـ (21) من أشهر العام 2011. بينما الجدول(4) يوضح متوسط درجات حرارة الهواء (الظل) وكذلك درجتي حرارة سطح الجدار المواجه للبيئة T_o، والمواجه للغرفة T_i بينما متوسط درجة الحرارة لإجمالي الأشهر الباردة والساخنة يوضحها الجدول(5).

نلاحظ ان درجة حرارة السطح الخارجي للكتل المجوفة تكون أعلى مما تكون عليه للكتل الصلدة باستثناء الكتل الجبسية والكتل الخرسانية التي تستخدم الحجر الأسود (الخفاف) والسبب يعود الى أن زيادة المقاومة الحرارية للكتلة سيسمح بتمرير الحرارة خلاله بصورة سريعة وبذلك تنخفض درجة حرارة سطحه الخارجي وعند وجود فجوة هوائية داخله فإنها تمتاز بمقاومة حرارية عالية تعرقل مسار الحرارة هذه ولكن في حالة الجبس والحجر الأسود نجد أن الصفات الحرارية لها أقل لذلك يعمل الهواء الموجود في الفجوة على سحب الحرارة ونتيجة لذلك تنخفض درجة حرارة السطح الخارجي، بينما صيفاً ترتفع درجة حرارة البيئة كثيرا لذلك ستكون الموجة الحرارية المؤثرة على الجدار أكبر وعليه سيكون الدور الأكبر للفجوة الهوائية في عرقلة هذا المسار وباستثناء الكتل الجبسية لانخفاض معامل التوصيل الحراري لها كثيراً.

- **التأخير الحراري للكتل البنائية**

اتضح من دراسة السلوك الحراري اليومي وعلى مدار العام للكتل البنائية (قيد الدراسة) وكما موضح في الأشكال(6-2) . أن الكتل الخرسانية التي استبدل فيها الحصى النهري بمادة كسر الحجر الأسود (الخفاف) وكذلك الكتل الجبسية المسلحة بشبكة الفايبر كلاس قد سجلت أعلى زمن تأخير حراري للموجة الحرارية المؤثرة عليها فكانت (9.5) ساعة للكتل الصلدة، (11) ساعة للكتل المجوفة بينما مقدار التخميد الحراري (أي فرق درجات الحراري الأعلى قيمة للموجة المؤثرة والأعلى قيمة للموجة المنتقلة خلال المادة البنائية) كانت للكتل الجبسية (14) م° بينما للكتل الخرسانية التي استبدل فيها الحصى النهري بحجر الخفاف قد سجلت (10) م° . أما الكتل الخرسانية التي استبدل فيها الحصى النهري بكسر الطابوق فقد سجلت تأخير حراري قدره (9)ساعة للكتل الصلدة ، (10) ساعة للكتل المجوفة. بينما كان عند الكتل الخرسانية التي استخدمت كسر الحجر الكلسي (الحلان) (8) ساعة للكتل الصلدة ، (9) ساعة للكتل المجوفة بينما كانت (7) ساعة للكتل الخرسانية الاعتيادية الصلدة ، (8) ساعة للكتل الخرسانية الاعتيادية المجوفة. وكان عندها مقدار التخميد الحراري الأدنى (8) م° .

- **التوفير في استهلاك الطاقــة**

تم تسجيل كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من قبل مكيفة الهواء لتوفير المستوى القياسي لدرجة الحرارة داخل الحيز خلال أيام القياس في الأشهر الباردة والحارة ، حيث تم اعتماد التبريد والتدفئة باستخدام الطاقة الكهربائية (ان هذا الاسلوب غير معتمد لتدفئة المساكن لعدد من العوائل العراقية، ولكنه اعتمد لأغراض المقارنة فقط). يتضح من الجدول(5) ان الكتل الخرسانية الصلدة المشيد منها الجدار قد سجلت أعلى حمل حراري أو تبريدي ويليه الكتل الخرسانية المجوفة والطابوق الفني (لكون أن الفجوات الموجودة فيه قد ملئت بمادة السمنت بدلاً من الهواء بحكم طبيعة نظام التشييد). وسجلت الكتل الجبسية الحمل الأدنى وتلتها الكتل الخرسانية التي تستخدم الحجر الأسود وكسر الطابوق وكذلك التي تستخدم الحجر الكلسي الأحمر.

بينما التوفير الأعلى المتحقق في استهلاك الطاقة الكهربائية لأغراض التكييف يكون عند استخدام الكتل الصلدة الجبسية حيث وفرت سنوياً بما يعادل 40.3% مما يستهلكه الجدار المشيد بالكتل الخرسانية المجوفة الاعتيادية (التقليدية) ويليه الكتل الخرسانية ذات الحجر الأسود حيث وفرت ما يعادل 34.1% بينما الكتل المجوفة التي استخدمت كسر الطابوق قد وفرت طاقة في حدود 8% وان نسب التوفير المتحقق عند استخدام الحجر الكلسي في صناعة الكتل الخرسانية تتقارب مع نسب التوفير عند التشييد باستخدام الطابوق الفني. أما استخدام الكتل الصلدة للتشييد فنجد أن الكتل الجبسية هي الأفضل وتليها الكتل الخرسانية التي استخدمت الحجر الأسود والكتل الخرسانية التي استخدمت الحجر الكلسي وكما موضح في الجدول(5).

- **اقتصادية الكتل الإنشائية**

لغرض المقارنة الاقتصادية بين الكتل البنائية قيد الدراسة، تم افتراض انشاء جدار أبعاده (3x4)م مشيد من إحدى تلك المواد مع وجود طبقتي إنهاء خارجية/ الاكساء بمونة السمنت والرمل (اللبخ) سمك (20) ملم وطبقة انهاء داخلية/ الاكساء بالجص سمك (25) ملم. وتم حساب تفاصيل الكلف الأولية والثانوية وصولاً لتحديد الأدنى كلفة كلية وكما موضح في الجدول (6) تفاصيل حساب الكلف.

بينت نتائج الدراسة الاقتصادية (حساب الكلف الأولية لتشييد الجدار والكلف التشغيلية الثانوية) وكما موضحة في الجدول (6) ان استبدال الحصى النهري بكسر الطابوق / مخلفات البناء له أفضلية وتم تقليل الكلف الكلية السنوية بحدود 4% مما تتطلبه الكتل الخرسانية الاعتيادية. بينما تأتي ثانياً الكتل الخرسانية باستبدال الحصى النهري بالحجر الأسود (الخفاف) وبنسبة 0.2% بينما تزداد الكلف الكلية عند استخدام الكتل الخرسانية الصلدة ومهما كانت نوعية الأحجار المستخدة بدلاً من الحصى النهري أي أن الكتل الخرسانية التقليدية كانت أقل كلفة. والسبب يعود الى تكاليف تكسير ونقل

الأحجار الى موضع العمل وكذلك الكلف الإضافية لتكسير الأحجار وصولاً للتدرج الحجمي المطلوب. لذلك زادت الكلف الكلية، ولكن الكتل الجبسية حققت توفير معقول فكانت في حدود 35% للكتل المجوفة و 28% للكتل الصلدة أقل مما يتحقق عند استخدام الكتل الخرسانية التقليدية / الاعتيادي بينما استخدام الطابوق سمك (120) ملم قد خفض الكلفة الكلية بمقدار 0.7% . ولكن هناك وجه آخر لتقليل الكلف حيث لم يتم حسابه وهو تقليل وزن الجدار أصلاً أي تقليل أبعاد الهيكل الإنشائي للمبنى أصلاً وكذلك لأسس المبنى، لأن استخدام الحجر الأسود في صناعة الكتل الخرسانية يقلل وزن الجدار في حدود 45% عن وزنه عند استخدام الكتل الخرسانية الاعتيادية وعند إضافة هذا التوفير الى حسابات التوفير السابقة، نعتقد ان التوفير الكلي عند استخدام الحجر الأسود (الخفاف) ستكون اكبر مقدار.

لكون أن بعض الأبنية لا تستخدم مكيفات هواء أو لا يعرف أن المبنى المشيد سيستخدم مكيف هواء من عدمه لذلك يتطلب أنجاز التقييم الاقتصادي بدون أدخال كلف شراء ونصب وصيانة و اندثار جهاز التكييف , الجدول (7) يوضح تفاصيل الكلف الأولية والتشغيلية وكذلك تسلسل الكلفة الكلية من الاقل الى الأكبر , حيث يتضح منه أن الكلفة الكلية للجدار المشيد باستخدام الكتل الجبسية المجوفة والتي تم تقويتها بشبكة من الفايبر كلاس هي الأرخص وتليها الكتل الجبسية الصلدة ومن ثم الكتل الخرسانية التي تستخدم الحجر الأسود وبنسب تخفيض كما موضح في الجدول قياساً الى الكتل الخرسانية المجوفة (الاعتيادية)

مما تقدم يمكننا تثبيت الاستنتاجات التالية :

1- ان الكتل الخرسانية التي تستخدم الحجر الأسود أو الحجر الكلسي بدلاً من الحصى النهري تستخدم بكفاءة في حالة استخدامه لتشييد الجدران غير الساندة وحسب المعايير الدولية.
2- ينصح باستخدام الكتل الجبسية المجوفة والمسلحة بشبكة الفايبر كلاس (لتسهيل المناولة) لكونها قد خفضت الوزن الساكن للجدار كثيراً اضافة الى أن كمية الطاقة الكهربائية الموفرة عند استخدامها تكون قريبة من 40 % مما يستهلكه الجدار العادي , لذلك اعتبرت المادة البنائية الأفضل ويفضل استخدامها بعد معالجة امتصاصها العالي للرطوبة , ونقترح ان يكون البناء باستخدامها أعلى من مستوى الأرض في حدود 70 سم لتجاوز تأثير انتقال الرطوبة من الأرض.
3- ننصح باستخدام الكتل الخرسانية التي تستخدم الحجر الاسود / الخفاف (بدل الحصى النهري) في تشييد الجدران الغير الساندة (عند تعذر تجاوز الرطوبة) لنجاحها في الاختبارات الإنشائية والحرارية . وقد حققت تخفيض في الوزن الساكن للجدار بنسبة 44 % عن ما يكون عليه الوزن في حالة التشييد باستخدام الكتل الخرسانية المجوفة الاعتيادية (وسينعكس هذا على تقليل المقاطع الإنشائية للأعمدة , الجسور , السقوف , الاسس). وفي الوقت نفسه قد وفرت طاقة تعادل 34% مما يستهلكه الجدار الاعتيادي ولكن مقدار مقاومة الانضغاط والشد قد انخفضت كثيراً ويمكن الاستفادة من امتصاصها للماء في تقليل كمية الماء خلال عملية التشكيل , رغم أن تكلفة تشييد الجدار بهذه المادة قد خفضت الكلف الكلية بنسب 5% وهو توفير قليل .
4- يمكن استخدام الكتل الخرسانية التي تم استبدال الحصى النهري بالحجر الكلسي كاختيار ثالث , لكونه حقق تقليل في وزن الجدار الساكن بنسبة 20% بينما نسبة التوفير في الطاقة الكهربائية كانت في حدود 5% ولكن مقاومة الانضغاط والشد قد انخفضت قليلاً مقارنة بالخلطة المرجعية رغم أن تكلفة أنشاء الجدار بهذه المادة قد ارتفعت
5- يفضل عدم استخدام الكتل البنائية التي تم بها استبدال الحصى النهري بكسر الطابوق للفشل الواضح له في اختبارات الضغط .

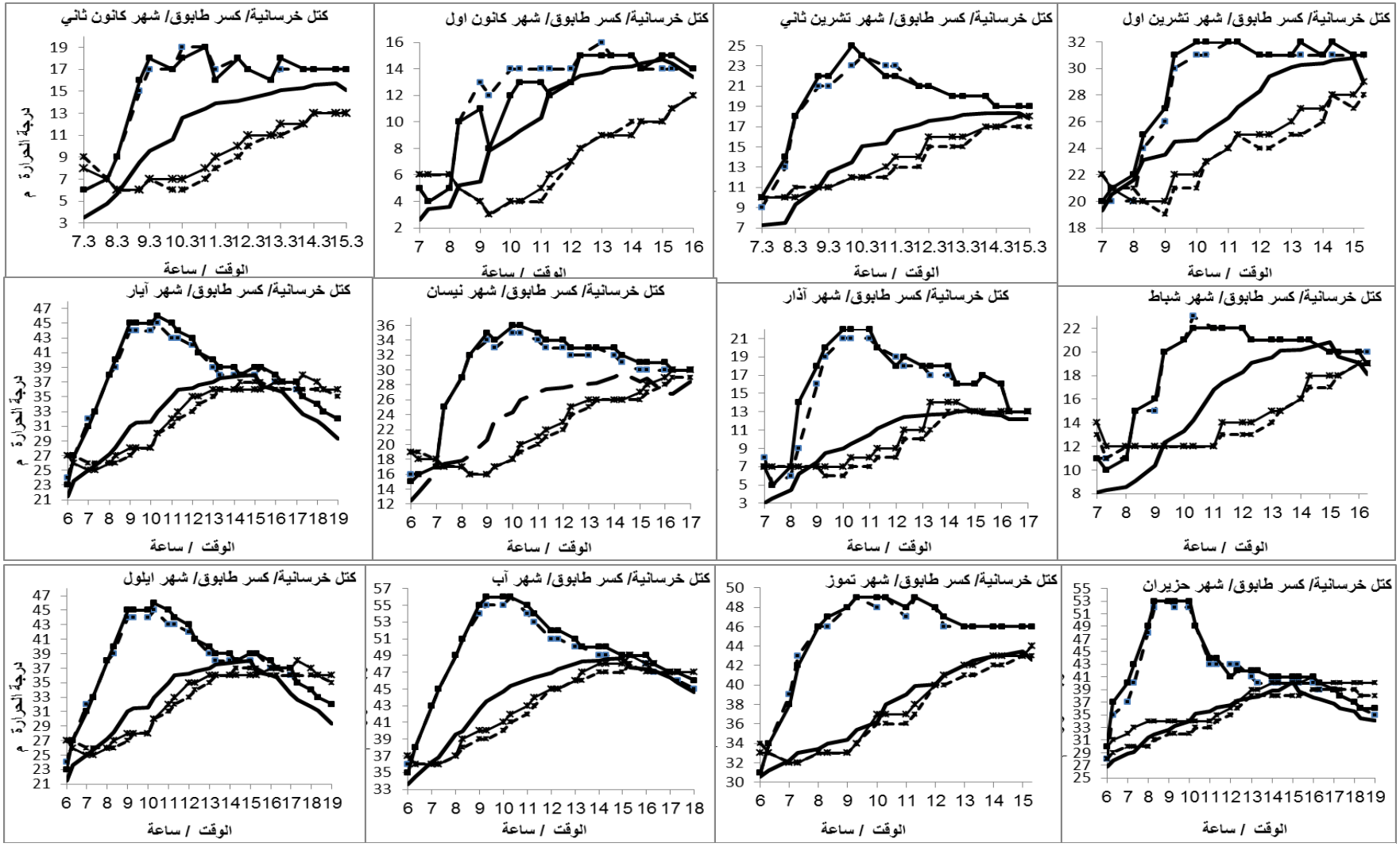
جدول (4) : المتوسط اليومي لدرجتي حرارة سطح الجدار المواجه للبيئة والمواجه للغرفة باختلاف الشهر ومادة الإنشاء

الشهر	متوسط درجة حرارة الظل		الكتل الخرسانية باستبدال الحصى بـ						كتل جبسية		كتل خرسانية اعتيادية		الطابوق العادي
			كسر الطابوق		الحجر الكلسي		الحجر الأسود		الجص		الاعتيادية		
			الصلد	المجوف	الصلد	المجوف	الصلد	المجوف	الصلد	المجوف	الصلد	المجوف	
تشرين اول	26.68	t_o	28.09	28.955	28.46	28.87	28.92	28.28	29.96	29.14	28.55	28.72	29.364
		t_i	24.182	25.050	24.73	24.59	25.773	24.32	24.32	24.50	24.32	24.68	23.955
تشرين ثاني	14.812	t_o	18.412	19.706	18.765	19.236	19.530	19.06	21.53	20.24	19.65	20.24	21.177
		t_i	13.412	14.177	14.118	13.824	13.647	13.412	13.353	13.059	13.418	13.765	13.590
كانون الأول	10.232	t_o	12.158	12.95	12.632	12.737	13.316	12.369	14.790	13.0	12.421	11.790	13.264
		t_i	7.737	8.369	8.106	8.211	8.369	7.790	7.421	7.211	7.0	7.053	7.053
كانون الثاني	11.92	t_o	14.941	16.0	15.118	15.59	16.06	15.236	17.765	15.706	15.412	15.471	17.53
		t_i	9.765	10.38	9.941	9.236	9.295	9.118	8.706	8.883	9.0	9.412	9.177
شباط	15.7	t_o	18.6	18.90	19.15	19.05	19.30	18.90	20.30	19.50	18.90	18.80	19.1
		t_i	15	15.10	14.90	14.55	14.80	14.45	14.00	14.10	14.50	14.50	14.1
آذار	10.09	t_o	17.334	18.238	16.905	17.238	16.667	16.953	18.191	16.858	13.524	15.524	16.810
		t_i	10.0	10.620	10.524	10.381	10.048	10.096	14.143	9.572	9.478	10.096	9.760
نيسان	25.25	t_o	29.609	30.218	29.348	29.653	22.261	27.131	29.783	28.566	26.696	27.131	30.1
		t_i	20.658	22.392	22.653	21.913	21.609	21.522	20.653	21.131	20.392	20.957	22.0
آيار	32.47	t_o	37.52	38.08	37.1	36.741	37.0	36.63	38.30	36.5	35.9	34.9	35.9
		t_i	28.9	32.56	31.2	31.89	31.4	30.93	30.2	30.7	30.0	30.8	34.6
حزيران	34.9	t_o	41.44	42.5	42.41	43.04	42.04	43.04	44.5	43.8	42.7	43.6	45.5
		t_i	34.97	36.7	37.60	37.75	37.6	38.04	37.08	38.2	37.41	38.7	37.8
تموز	37.8	t_o	45.0	45.05	42.8	44.5	43.9	44.0	46.2	44.3	44.1	44.0	45.0
		t_i	34.1	37.3	37.9	37.4	37.6	37.3	35.7	37.5	37.4	37.6	37.1
آب	44.3	t_o	48.8	49.3	48.5	49	48.4	48.3	50	46.3	48.2	47.8	48.0
		t_i	42.3	43.4	43.7	42.8	42.8	42.5	41.9	42	44.3	42.6	44.0
أيلول	32.467	t_o	37.52	38.08	37.1	36.741	37.0	36.63	38.30	36.5	35.9	34.9	35.9
		t_i	28.9	32.56	31.2	31.89	31.4	30.93	30.2	30.7	30.0	30.8	34.6

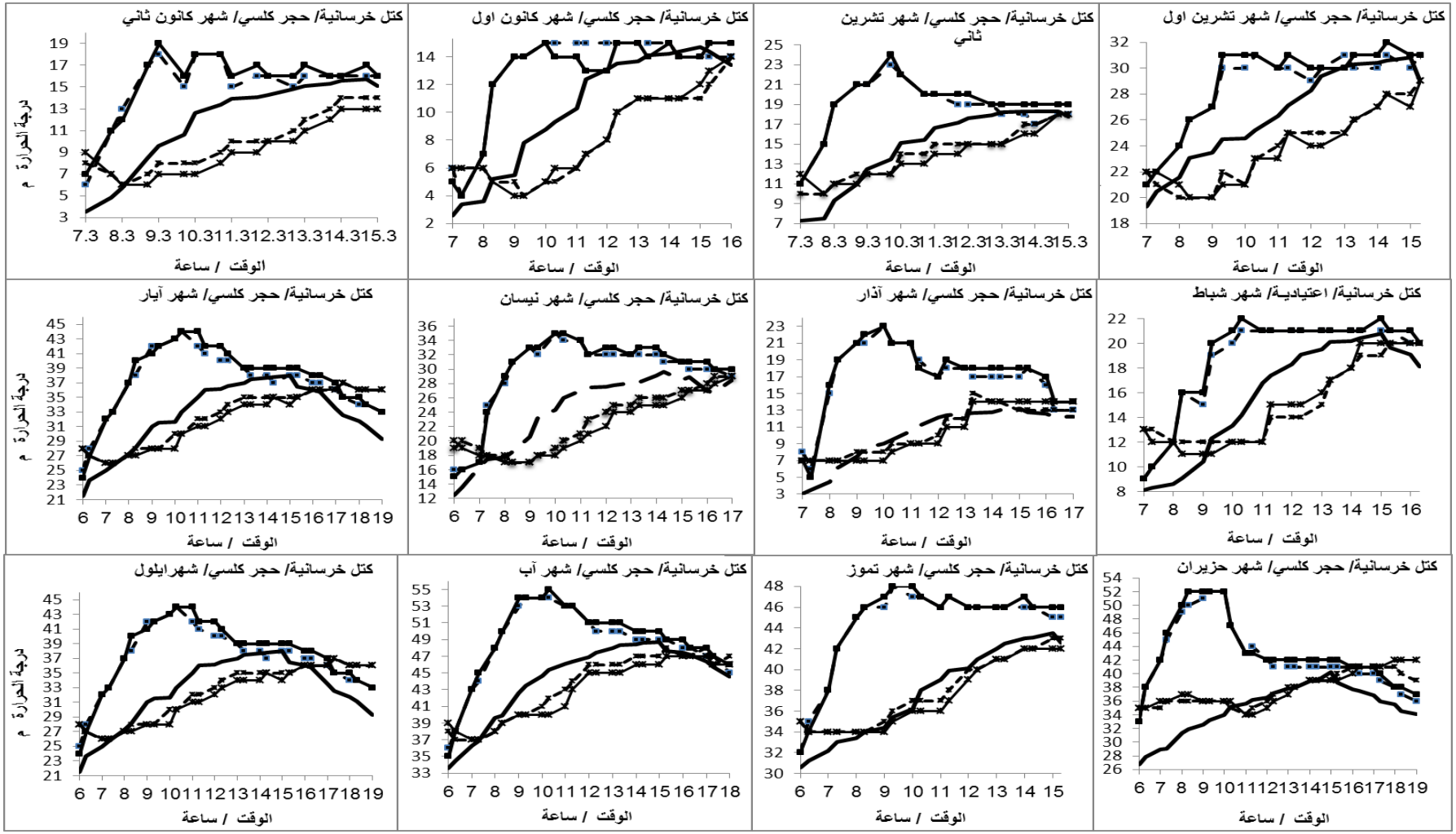
t_o : درجة حرارة الجدار المواجه للبيئة م° t_i : درجة حرارة الجدار المواجه للغرفة م°

جدول (5) : كميات الحرارة المنتقلة خلال الجدران قيد الدراسة ونسبة توفيرها للطاقة

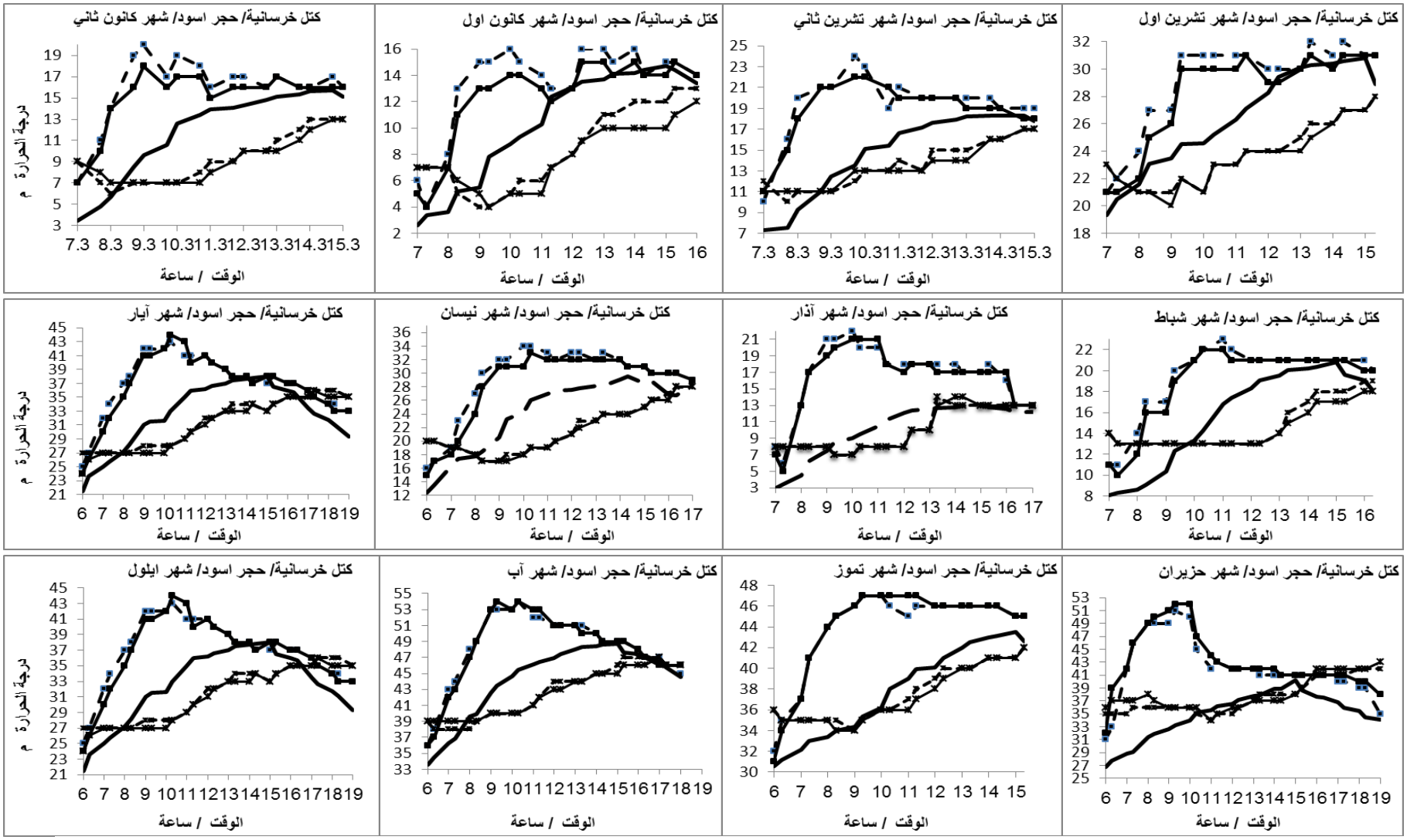
طبيعة الجدار			متوسط درجة حرارة الجدار شتاءاً م°		متوسط درجة حرارة الجدار صيفاً م°		فرق درجات الحرارة بين الجدار والغرفة م°		الحمل الحراري والتبريدي للغرفة بوحدات kW		الطاقة الكهربائية المستهلكة لمكيفة الهواء kw-hr			النسبة المئوية لتغير حمل التكييف %		
			الخارجي	الداخلي	الخارجي	الداخلي	شتاءاً	صيفاً	شتاءاً	صيفاً	شتاءاً	صيفاً	سنوياً	شتاءاً	صيفاً	سنوياً
الكتل الخرسانية باستبدال الحصى ٣٠	طابوق	صلد	16.3	11.2	42.1	36.5	11.2	9.8	49.5	70.1	16.7	23.53	40.23	+3.12	2.7	0.42
		مجوف	17.2	11.8	42.7	36.2	10.2	9.5	43.5	67.2	14.68	22.55	37.24	2.4	6.7	7.83
	حجر حلان	صلد	16.6	11.65	41.5	36.5	10.4	9.8	44.6	70.0	15.05	23.5	38.55	7.1	2.8	4.6
		مجوف	16.8	11.3	42.4	36.5	10.7	9.8	46.5	70	15.1	23.1	38.2	3.2	2.8	5.4
	حجر أسود	صلد	17	11.3	41.8	36.4	9.7	8.7	40.7	59.0	13.74	19.8	33.54	15.2	18	17
		مجوف	16.5	11	42.2	36.4	9.0	6.7	36.8	42.3	12.4	14.2	26.62	23.4	41.3	34.1
كتل جبسية		صلد	18.5	11.6	44	35.2	8.0	8.0	31.5	53.5	10.63	17.96	28.6	28.2	26.4	29.2
		مجوف	17.1	10.6	42.6	36.5	7.9	6.5	31.1	40.6	10.5	13.63	24.12	35.5	44	40.3
كتل خرسانية عادية		صلد	16	10.8	42	37	11.2	10.3	49.3	75	16.64	25.17	41.81	+2.7	+4.2	+3.5
		مجوف	16.4	11	42.1	36.7	11	10	48	72	16.20	24.16	40.40			
الطابوق العادي		صلد	17.6	10.8	45	37.1	11.2	10.4	49.3	76	14.75	+23.43	38.2	+2.7	+5.6	5.5



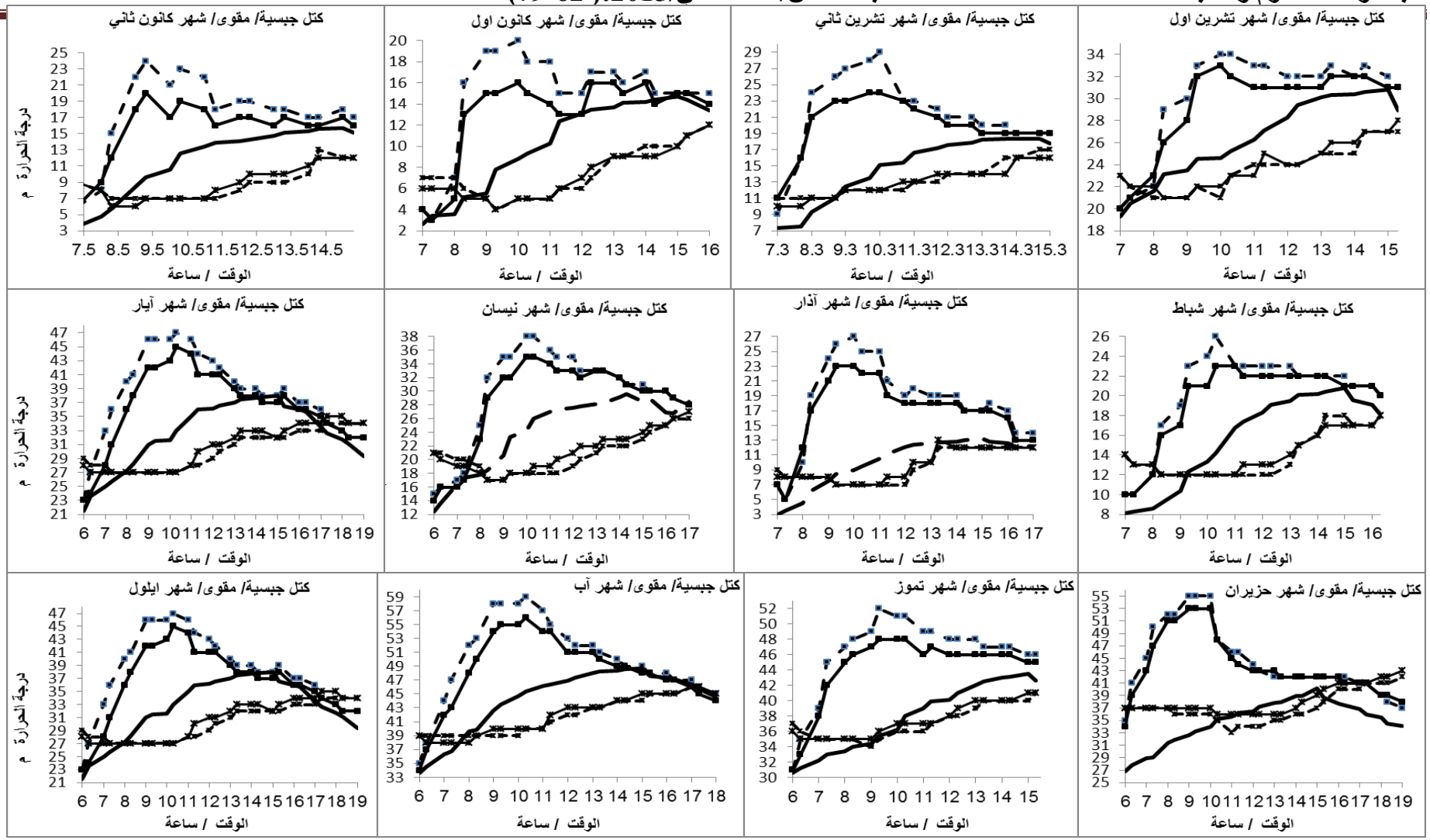
شكل (2) : السلوك الحراري الساعي للكتل الخرسانية الصلدة والمجوفة عند استبدال الحصى النهري بمادة كسر الطابوق ولأشهر السنة



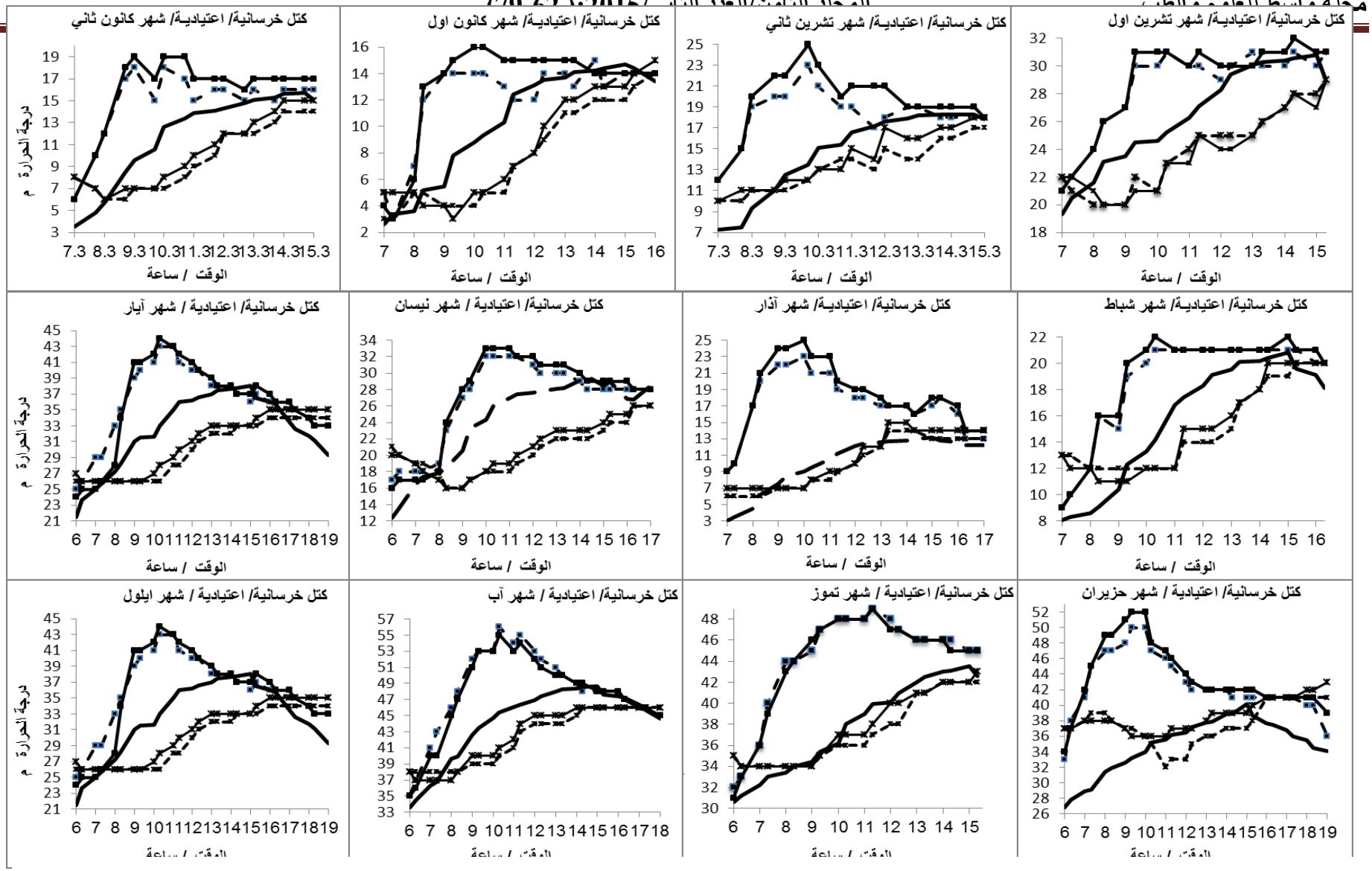
شكل (3) : السلوك الحراري الساعي للكتل الخرسانية الصلدة والمجوفة عند استبدال الحصى النهري بمادة الحجر الكلسي ولأشهر السنة



شكل (4) : السلوك الحراري الساعي للكتل الخرسانية الصلدة والمجوفة عند استبدال الحصى النهري بمادة الحجر الأسود ولأشهر السنة



شكل (5) : السلوك الحراري الساعي للكتل الجبسية الصلدة والمجوفة والمسلحة بشبكة الفايبر كلاس ولأشهر السنة



شكل (6) : السلوك الحراري الساعي للكتل الخرسانية الصلدة والمجوفة ولأشهر السنة

جدول (6) : التحليل الاقتصادي لجدار مشيد من الكتل البنائية (قيد الدراسة)

جدار مشيد باستخدام		الكلف الأولية ID/year				الكلف التشغيلية السنوية ID/year					الكلف الكلية (B+A)	النسبة المئوية للتخفيض %100
		الكلفة السنوية لتشييد الجدار	الكلفة السنوية لشراء أجهزة التكييف	كلفة نصب أجهزة تكييف الهواء	الكلفة السنوية الأولية A	كلفة الصيانة السنوية		كلف الاندثار السنوية		الكلفة السنوية لاستهلاك الطاقة	مجموع الكلف السنوية الكلية B	
						للجدار	لأجهزة التكييف	للجدار	لأجهزة التكييف			
كتل خرسانية اعتيادية	مجوفة	8000	48000	2400	58400	6000	2400	48000	8000	36360	100760	159160	
	صلدة	10000	49000	2450	60450	7500	2450	49000	10000	37360	106580	167030	+4.94
كتل خرسانية تستخدم الحجر الأسود (الخفاف)	مجوفة	21000	37000	1850	59850	15750	1850	37000	21000	23958	99558	159408	-0.16
	صلدة	24000	41000	2050	67050	18000	2050	41000	24000	30188	115238	182288	+14.53
كتل خرسانية تستخدم الحجر الكلسي(الحلان)	مجوفة	17000	45000	2250	64250	12750	2250	45000	17000	34380	111380	175630	+10.355
	صلدة	19000	47000	2350	68350	14250	2350	47000	19000	34695	11729	185645	+16.64
كتل خرسانية تستخدم كسر الطابوق	مجوفة	12000	41000	2250	55200	9000	2200	41000	12000	3378	97718	152918	-3.92
	صلدة	13000	49000	2450	64450	9750	2450	49000	13000	36208	110408	174858	+9.86
كتل جبسية مسلحة بشبكة الفايبر كلاس	مجوفة	6500	31000	1550	39050	4875	1550	31000	6500	21708	65633	104683	-34.23
	صلدة	8000	32000	1600	41600	6000	1600	32000	8000	25740	73340	114940	-27.78
طابوق فني	مثقب	11000	49100	2455	62550	8250	2455	49100	13000	34380	95485	158035	-0.71

جدول (7) : التحليل الاقتصادي لجدار مشيد من الكتل البنائية (قيد الدراسة) لم يؤخذ بنظر الاعتبار تكلفة وجود مكيفة هواء في المبنى

جدار مشيد باستخدام		الكلف الأولية ID/year			الكلف التشغيلية السنوية ID/year					الكلف الكلية (B+A)	تسلسل الكلفة الكلية من الادنى الى الاعلى	التوفير المتحقق %
		الكلفة السنوية لتشييد الجدار والاشراف	تسلسل تكلفة انشاء الجدار من الادنى الى الاعلى	الكلفة السنوية الأولية A	كلفة الصيانة السنوية	كلف الاندثار السنوية	الكلفة السنوية لاستهلاك الطاقة	مجموع الكلف السنوية الكلية B	تسلسل الكلف التشغيلية من الادنى الى الاعلى			
كتل خرسانية اعتيادية	مجوفة	8000	2	8000	6000	48000	36360	90360	7	98360	6	*
	صلدة	10000	3	10000	7500	49000	37360	94130	9	104130	7	*
كتل خرسانية تستخدم الحجر الأسود (الخفاف)	مجوفة	21000	9	21000	15750	37000	23958	76708	3	97708	5	0.7
	صلدة	24000	10	24000	18000	41000	30188	89188	6	113188	10	*
كتل خرسانية تستخدم الحجر الكلسي(الحلان)	مجوفة	17000	7	17000	12750	45000	34380	92130	8	109130	9	*
	صلدة	19000	8	19000	14250	47000	34695	95945	11	114945	11	*
كتل خرسانية تستخدم كسر الطابوق	مجوفة	12000	5	12000	9000	41000	3378	83518	5	95518	4	2.9
	صلدة	13000	6	13000	9750	49000	36208	94958	10	107958	8	*
كتل جبسية مسلحة بشبكة الفايبر كلاس	مجوفة	6500	1	6500	4875	31000	21708	57583	1	64083	1	40
	صلدة	8000	2	8000	6000	32000	25740	63740	2	71740	2	27.1
طابوق فني	مثقب	11000	4	11000	8250	49100	34380	80030	4	91030	3	7.5

*** لم تحقق هذه الجدران أي تخفيض في الكلفة الكلية**

المصـــادر

1- **Jones, W.P. (1987)** Air–Conditioning Eng. Edward Amold, London,

2- **حسن، عاطف علي (2012)** السلوك الحراري للجدران المحلية المنفذة حالياً وتلك المقترحة. مجلة الأنبار للعلوم الهندسية . (5): - كلية الهندسة / جامعة الأنبار – العراق.

3- **الجهاز المركزي للإحصاء – المجموعة الإحصائية السنوية(2011)** . وزارة التخطيط والتعاون الإنمائي/العراق.

4- **العزي – د. محمد أيوب (1986)**. المشاكل المتعلقة بصناعة مواد البناء – تقرير من منشورات مركز بحوث البناء مجلس البحث العلمي – العراق.

5- **حسن، عاطف علي (2010)** .استخدام حجر الحلان لإنتاج جدران غير ساندة مسبقة التصنيع بديلة عن الطابوق سمك 120 ملم مع دراسة مقارنة للعوازل الحرارية. مجلة كلية المأمون. 16.كلية المأمون الجامعة/العراق

6- **حسن، عاطف علي (2012).** دراسة السلوك الحراري للجدران الخرسانية الملائمة للمناخ الحار وبديلة عن الطابوق. مقبول للنشر في المجلة العراقية للهندسة المدنية – 2012 . كلية الهندسة/جامعة الأنبار/العراق.

7- **حسون، الصفار – نبيل لطيف، عبد الله، عادل شاكر (2010)** . البديل عن الحرق في صناعة الطابوق. المؤتمر العلمي الأول لكلية هندسة المواد/ جامعة بابل (28-29)/12/2010

8- **Tarrad- A. H., Salah – A.& Ali – W. A. (2009)** .Experimental and theoretical study to minimize the cooling load by using a new alternative in space located in Baghdad city. Journal of engineering and development,13(3):109-127

9- **Zhu – L. , Hurt – R., Correa – D.,& Boehm – R.(2009)** .Comprehensive energy and economic analyses on a zero energy house versus a conventional house. energy, 34(9).

10- **Garg M.,Jain N(2010)**.Waste gypsum from intermediate dye industries for production of building materials. Construction and building materials,.24(9):1632-1637

11- **Sokolova – S. N. , Vereshagin – V. I. (2010)** . Light weight granular material from Zeolite rocks with different additives. Construction and building] materials, 24(4):625-629

12- **Vollando – S., Vereshchagin – V. (2012)** .Cellular glass ceramic materials on the basis of Zeolitic rock. Construction and building materials,36 :940-946

13- **Abdoca M. M.(1980)** . Investigation the use of crushed limestone rock aggregate in concrete. M. Sc. Thesis, university of Baghdad, .

14- **Mazin T. H. , Mohammad A. K. and Ali H. A.(1990)** .Crushed bricks as aggregate ir constructional concrete., Al – Taqani Journal for eng. Researches, foundation of technical education,(6):

15- . **ASTM,C567/C567M-H 1992 .**Standard Test method for determining density of structural Light Weight concrete .

16- **Arora, S. Domkundwar (2007).** A Course in Refregeration & Air –Conditioning Dhanput Rai & Sons – Delhi.

17- **Rohsenow – Warren m., Hartnett – James P.** Handbook of Heat transfer

18- **ASHRAE . (1997)** . Handbook of fundamentals , American Society of Heating , Refrigeration, & Air – Conditioning Eng.

19- **De Garmo, E.Paul & Canada, John R.(1975)** .Engineering economy. fifth edition Macmillan publishing Co., New-York-U.S.A.