دراسة تجريبية عن تأثير إعادة أكساء سقوف الأبنية بمواد محلية، على درجة حرارة الحيز الداخلية

عاطف علي حسن – أستاذ مساعد / معهد التكنولوجيا – بغداد

الملخص :-

يهدف البحث الى دراسة السلوك الحراري للمبنى المشيد مسبقاً عند تغطية سقفه المعرض للبيئة بإحدى المواد المتوفرة محلياً (الطابوق الفرشي (سمك ٣٠ ملم)، الكاشي البلاستيكي (سمك ١.٥ ملم)، ألواح الفايبركلاس سمك ١.٥ملم والألواح المعدنية ذات السطح العاكس أو الاعتيادي بوجود وعدم وجود فجوة هوائية) لغرض تحديد أفضلها في تقليل تأثير البيئة على درجة حرارة الهواء في الحيز الداخلي عند مقارنتها بالسلوك الحراري للسقف الخرساني الاعتيادي. لذلك تم تشييد غرفة أبعادها (4.5 x 4.5 x 3) م ، تقع في الطابق الثالث من مبنى في مدينة بغداد (خط عرض ٣٣.٢ درجة شمالاً) واستخدام عازل حراري سمكه ٢٠٠ ملم لتغطية الجدران والأرضية من الداخل لتقليل تأثيرها الحراري، وتم تزويد الغرفة بمكيفة هواء جدارية سعتها (١.٠) طن تبريد لتوفير الظروف الحرارية القياسية فيها، وتم قياس درجات حرارة سطح السقف الخارجي بعد التغليف والداخلي المعرض للغرفة من الساعة ٥:٠٠ صباحاً الى ١١:٠٠ مساءاً (١٩ ساعة/يوم) وخلال أشهر الصيف (الشهر الخامس (ايار) – الشهر التاسع (أيلول)) .

توصل الباحث الى أن استخدام الألواح المعدنية الالمنيومية العاكسة مع العازل الحراري سيوفر طاقة كهربائية قدرها ٤٢% مما يستهلكه السقف الخرساني الاعتيادي من طاقة كهربائية لأغراض التكييف صيفاً ويليه التغليف بالكاشي البلاستيكي حيث يوفر ٣٩% ويليه التغليف بالطابوق الفرشي الذي يوفر نسبة طاقة قدرها ٣١% وان فرق التوفير عند استخدام الالواح المعدنية العاكسة وغير العاكسة ستكون حوالي (١٤–١٥)% ، ان الاختلاف في مقدار التوفير المتحقق عند استخدام العازل الحراري أو بوجود فجوة هوائية سيكون (١٩–٢٠)% .

الكلمـات الرئيسيـة : تقليل الطاقة الكهربائية المستهلكة داخل الأبنية، تغليف سقف المبنى بزيادة المقاومة الحرارية – ترشيد استهلاك الطاقة في الأبنية – تقليل تأثير السقف على الحمل التبريدي.

Experimental Study for Re – Covering Building Roofs and it's Effect on Space Inside Temperature

Atif Ali Hassan / Assist Prof. / Institute of Tecnology

Abstract :

The Heat Gain through concrete roof which is used in Iraqi building is reduced by increasing the value of thermal resistance of that roof this is done by addition of several materials to the external surface (roofing brick 30 mm thick, plastic tile 1.5 mm thick, light glass fiber, 1.5 mm thick with air gap 75 mm, Aluminum metal sheet ordinary & reflective with air gap or insulation 25 mm). The researcher was build (4.5 x 4.5 x 3) m sample room in 3rd floor in building at Baghdad city (33.2°N) with 200 mm thermal insulation for other room surfaces and A.U Air – conditioner of 1.0 ton refrigeration capacity is used to maintain the standard thermal comfort, the roof surfaces temperature were measured from 5:00 a.m to 11:00Pm (19 hr/ Day) during May to September. Finally, it was found that the Aluminum reflective metal sheet with insulation saved about 42V. from electrical energy which consumed in ordinary ceiling for cooling purpose, and followed that , used plastic tile with saved 39%, and flooring brick at 31% , and the difference saving between reflective and ordinary metal sheet is (14 – 15) % and also between used insulation or air gap is (19 – 20) % .

Main Words : Electrical energy reduction in Building – Building roof covering for increase the thermal resistance – ceiling effect reduction on cooling loads .

المقدمــة :

تتزايــد أعــداد الأبنيــة المشــيدة لمواكبــة التطور العمراني والاجتماعي ولو أن أغلبها يكون بعيداً عن مراعاة مبادئ ترشيد استهلاك الطاقة خلالهــا والســبب الرئيســي يعــود لغيــاب الــنظم والضوابط التي تلزم المصمم أو راغب الإنشاء على مراعاة تلك الضوابط خلال عملية التصميم، لذلك نشأت وستنشأ بالمستقبل أبنية لا تتعامل بذكاء مع الظــروف المناخيــة القاســية للعــراق، وتقــدر الإحصــاءات الحاليــة أن عــدد الوحــدات الســكنية المشيدة مسبقاً قد تجاوزت الثلاث ملايين في عموم العراق (المجموع الإحصائية ٢٠٠٩) وفي بغداد وحدها تجاوزت الثلاث أرباع المليون، وما يتأمل انشاءه مستقبلاً أكثر من هذا العدد، وبما أن أسلوب التسقيف المستخدم هو الخرسانة المسلحة (معامل انتقــال الحــرارة لهــا حــوال ٢.٨ واط / م^{٢} .م^{٥}) (الدوري وآخرون– ١٩٩٢) والذي يكاد أن يكون الاسلوب الوحيد المتبع في عموم العراق منذ عدة عقود. وبما أن الاستهلاك السنوي الفعلي للعائلة الواحدة من الطاقة الكهربائية يكون في حدود ٢٩٨٠٠ كيلو واط – ساعة ، وان ما يصرف منها لأغراض التكييف يكون في حدود ٧٠% (علي حسن ، لطيف – ٢٠٠٨)، لذلك فان الطاقة الكهربائيــة المســتهلكة لأغــراض تكييــف المبنــى سيكون في حدود ٢٠٨٦٠ كيلو واط – ساعة وان سقف المبنى يكون سبباً في زيادة حمل التكييف في حدود (٢٠ – ٥٠) % (علي حسن – ٢٠٠٩) وعليه فان ما يستهلك من طاقة لأغراض امتصاص الحرارة التي يؤثر بها السقف ستكون في حدود (٤٠٠٠ – ١٠٠٠٠) كيلو واط – ساعة. ويعتقد الباحث أن زيادة قيمة المقاومة الحرارية لسقف المبنى سيؤثر ايجاباً في تقليل تلك الطاقة، وإحدى السبل المتاحة لتحقيق ذلك هو استخدام عوازل حرارية بسمك (٧٠ – ١٠٠) ملم (Hasan – 1984) ولكن تطبيق هذا سيكون بسيطاً في حال كون المبنى قيد التشييد ولكن في حالة الأبنية المشيدة مسبقاً سيتطلب اعادة تشكيل مكونات سقف المبنى، لذلك يقترح الباحث تغليف سقف المبنى بمواد متوفرة محلياً ولا يتسبب استخدامها كلف عالية ، وفي الوقت نفسه لا يعيق وجود طبقة التغليف هذه استخدام السطح (اليومي الاعتيادي) من قبل شاغلي المبنى (حسن – ٢٠٠٩) ، وبذلك ستزداد قيمة المقاومة الحرارية ويقل تأثير السقف على نقل الحرارة خلاله وبذلك يتحقق تقليل الطاقة المستهلكة للمبنى بصورة عامة ويعود هذا بالفائدة على كلاً من العوائل الشاغلة للمبنى والحكومة المحلية.

الأبنية والبيئة:-

يقع العراق في المنطقة شبه المدارية الحارة الجافة والتي يغلب عليها المناخ الصحراوي، حيث يستمر فيها فصل الصيف لأكثر من سبعة أشهر، تسطع الشمس خلاله فترات طويلة (أكثر من (12) ساعة /اليوم) ، وتصل درجة الحرارة الظل إلى أكثر من 45° م) وبهذا تتعرض القشرة الخارجية للمبنى إلى موجات حرارية تتناسب شدتها مع تغير الوقت (وكما موضح في الشكل(1)) مسببة أحداث فروق كبيرة بين درجتي حرارة الهواء الملامس (الطبقة المتاخمة) للقشرة الخارجية والداخلية للمقطع الإنشائي للمبنى خلال ساعات اليوم الواحد، إضافة إلى المدى اليومي الكبير نسبياً لتغير درجات حرارة البيئة والذي يصل لأكثر من 20 مْ .(كامل شعبان– 1975). إن الكسب الحراري خلال القشرة الخارجية للمقطع الإنشائي للمبنى يتألف من مجموع كميات الحرارة المنتقلة في حاله الاستقرار (والذي ينشأ عن اختلاف درجتي حرارة الهواء داخل وخارج المبنى) والحالة غير المستقرة (الناتجة عن اختلاف كثافة الإشعاع الشمسي الساقط على أسطح المبنى) وتتعقد عملية انتقال الحرارة خلال السقف لامتلاكه سعة حرارية

(تعتمد قيمتها على كلاً من مقدار الموصلية الحرارية، الحرارة النوعية والكثافة لمكونات السقف). (Jones–87)، يجعلها تخزن جزءاً من الحرارة المتنقلة خلالها، حيث لا تظهر تقلبات درجة حرارة السطح الخارجي لمقطع السقف بصورة سريعة بتقلبات مماثلة لدرجة حرارة السطح الداخلي لمقطع السقف، إي إن المواد الإنشائية المؤلف منها مقطع السقف ستزيد من قيمة المقاومة الحرارية للسقف نفسه وبالتالي ستزيد من مقدار التأخير الزمني لانتقال الحرارة خلاله، إضافة إلى تخميد ترددها العالي، ولكن بالرغم من ذلك فان درجة حرارة القشرة الداخلية لسقف المبنى سترتفع بعد فتره (قد تطول) ومما يؤدي إلى رفع درجة حرارة هواء الحيز الداخلي للمبنى لمستوى أعلي مما مؤشر في مستويات الراحة الحرارية (المتناسبة مع طبيعة استخدام ذلك المبنى) مما يتطلب استخدام معدات التكييف على مدار ساعات اليوم الواحد لامتصاص هذه الأحمال الحرارية حال وصولها وتخفيض درجة حرارة هواء الحيز إلى ذلك المستوى المحدد مسبقاً، أي إن استهلاك الطاقة الكهربائية لأغراض تشغيل معدات التكييف يكون مرتبطا بكمية الحرارة المنتقلة خلال سقف المبنى، فتقليل تلك الحرارة سيقود إلى تقليل فترة تشغيل مكيفات الهواء وبالتالي تقليل كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لأغراض التكييف.

<u>تفاصيل الجانب العملي :</u>

لغرض تحقيق هدف البحث في تقليل السريان الحراري خلال السقف الخرساني المسلح الشائع في التراكيب الإنشائية للأبنية في عموم العراق، تم دراسة السلوك الحراري للسقف وبوجود المادة المغلفة له لغرض تحديد أفضلها في تقليل تأثير البيئة على مقدار درجة حرارة هواء حيز المبنى، بثبوت المتغيرات التالية :

١. منطقة البحث/مدينة بغداد–خط عرض ٣٣.٢ درجة شمالاً (باعتبارها متوسط خطوط العرض المارة بالعراق).
٢. الغرفة التي استخدمت للدراسة التجريبية أبعادها (3 x 4.5 x 4.5) م ، تقع في الطابق الثالث من مبنى، لتأمين عدم تأثير الأبنية المحيطة على كثافة الطاقة الشمسية الواصلة لأسطح الغرفة.
٣. لغرض تقليل انتقال الحرارة من خلال جدران وأرضية الغرفة المعرضة للبيئة جهد الامكان، تم تغليفها من الداخل بمواد عازلة حرارياً (ستايربور) سمك ٢٠٠ ملم، فلذلك فان السريان الحراري المنتقل من خلال مساحة السقف الى حيز الغرفة هو الأكثر تأثيراً.
٤. مادة الانهاء الخارجية لسقف المبنى المحيط بالغرفة – البلاطات الخرسانية (الشتايكر) رصاصية اللون (40 x 800 x 800) ملم .
٥. لون مادة انهاء الجدران الداخلية للغرفة والسقف هو اللون الأبيض.
٦. تم الاعتمادات على البيانات المتوفرة في (الدوري – ١٩٩٢) لتقدير المعامل الاجمالي لانتقال الحرارة خلال مقطع السقف.
٧. تم الاعتماد على البيانات الموضحة (1973 – Rohsenow – Hartaeti) لتقدير معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال هواء بيئة الغرفة (h)، تم افتراض أن سطح الغرفة مربع ساخن متجه للأسفل، وعليه فان العلاقة التقريبية لحساب المعامل (h) بدلالة فرق درجات الحرارة Δt ستكون $h = 1.52 (\Delta t)^{1/3}$.

٨. الظروف القياسية المطلوب تثبيتها داخل غرفة الاختبار (٢٦.٥ °م بصلة جافة،٦٥ % رطوبة نسبية صيفاً) لكون أن درجة حرارة البيئة تكون في حدود (٥٠) °م (Arrora – 2007) .

٩. استخدام مكيفة هواء جدارية سعتها (١) طن تبريد لتوفير الظروف الحرارية القياسية داخل الغرفة، وربط مقياس الطاقة الكهربائية لتحديد مقدار استهلاكها اليومي.

١٠. استخدام مقياس الكتروني متعدد النقاط لتسجيل درجات الحرارة ومصنع من قبل شركة (Intelligent Auto Digital Thermometer by Victor Company) .

أما متغيرات البحث التي تم دراستها فهي استخدام مواد متوفرة في الأسواق المحلية توضع فوق البلاطات الخرسانية (مواد الانهاء الخارجية لسقف المبنى) وبحيث لا تعيق الاستخدام اليومي الاعتيادي لسقف المبنى وهذه المواد هي :

- الطابوق الفرشي سمك ٣٠ ملم
- الكاشي البلاستيكي سمك ١.٥ ملم
- ألواح الفايبر كلاس الخفيفة سمك ١.٥ملم، المتموج السطح ومقدار فجوة الهواء بينه وبين السطح ٥٠ملم
- الألواح المعدنية ذات السطح العاكس والاعتيادي وبوجوده فجوة هوائية أو عازل حراري ٢٥ ملم مع السطح .

وفي كل حالة مما ورد أعلاه ، يتم تسجيل درجات حرارة هواء البيئة (الظل) ودرجتي حرارة سطح السقف (الإنهاء الخارجي – المادة المغلقة) والإنهاء الداخلي (الجص) من الساعة ٠٦:٠٠ صباحاً ولغاية ١١:٠٠ مساءاً وللأيام ٢١ من كل شهر .

النتائج والمناقشة :

لتحقيق هدف البحث في تقليل تأثير سقف المبنى على كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة لأغراض التكييف صيفاً ، لا بد من تحديد السلوك الحراري لكل حالة من حالات التغليف التي أجريت للسطح. لقد تم توضيح السلوك الحراري اليومي للسقف الخرساني الاعتيادي (قبل التغليف) وخلال فترة الصيف من الشهر الخامس (آيار) ولغاية الشهر التاسع (أيلول) كما موضح في الشكل(٢) وكذلك تم توضيح على سبيل المثال السلوك الحراري اليومي للسقف الخرساني المغلف بألواح الفايبركلاس مع وجود فجوة هوائية وخلال أشهر الصيف وكما موضحة في الشكل(٣)، بينما بقية المواد التي تم تغليف السقف الخرساني بها قد رسمت السلوك الحراري لها للأشهر تموز، آب، أيلول.. وموضحة بالأشكال ٤، ٥، ٦ بينما الشكل (٧) يوضح تغير متوسط درجة الحرارة خلال أشهر الصيف. بينما الجدول(١) يوضح نتائج البحث وحساب نسبة التوفير المتحققة من كل مادة مقارنة بالسقف الاعتيادي.

وفي أدناه مناقشة متغيرات البحث :

A – مادة التغليف المستخدمة :

لا بد أن نشير الى أن مواد التغليف المستخدمة لم تكن في معظمها شائعة الاستخدام على السقوف المعرضة للبيئة، بل والبعض منها يستخدم لتغليف الواجهات ، حيث تم تطويع تلك المواد لجعلها تتناسب واستخدام السقوف.

B – فترة اختيار السلوك الحراري :

تـم تسـجيل قـراءات درجـة الحـرارة علـى طرفي المقطع الإنشائي بعد وقبل التغليف المستخدم لفترة ١٩ ساعة/ يومياً وخلال فترة الصيف الممتد مـن الشـهر الخـامس (أيـار) ولغايـة الشـهر التاسـع (أيلول)، وإيجاد مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة التـي سـجلها المقياس الـذي تم ربطـه بمكيفـة الهـواء الجدارية خلال هذه الفترة.

C – أفضل مواد التغليف توفيراً للطاقة :

اتضـح مـن خـلال دراسـة السـلوك الحـراري اليـومي للمـواد المغلفـة للسـقف والتـي تـم دراسـتها ، وكما موضح خلاصة النتائج في الجدول (١) ، أن استخدام الالواح المعدنية ذات السطح العاكس مع وجود العازل الحراري قد حقق أعلى توفير، أي أن أعلـى نسـبة لتخفيض الطاقـة الكهربائيـة المسـتهلكة لأغراض التكييف صيفاً كانت عند تغليف السقف الخرساني بها وقد كانت نسبة التخفيض ٤٢% مما يسـتهلكه السـقف الخرسـاني الاعتيـادي للمبنـى مـن طاقة كهربائية صيفاً، بينما تخلف عنه وبفارق قليل التغليـف بالكاشـي البلاسـتيكي، حيـث حقـق نسـبة توفير قدرها ٣٩% بينما كانت بقية أساليب التغليف قـد حققـت ٣١% ، ٢٧% ، ٢٢% وهـي علـى التوالي التغليف بالطابوق الفرشي ، الألواح المعدنية ذات السـطح العـادي مـع وجـود العـازل الحـراري، والألواح المعدنية ذات السطح العاكس بوجود الفجوة الهوائية.

D – أخف وسيلة تغليف :

مـن خـلال قيـاس كثافـة المـواد المغلفـة للسقف مع حساب وزن الهيكل الحديدي أسفلها ان تطلب استخدامه، تبين أن الكاشي البلاستيكي أخف الوسائل المستخدمة، إضافة الى أنه الأرخص كلفة لعدم احتياجه الى هيكل حديدي بل يلصق مباشرة على سطح البلاطة الخرسانية، وكذلك فان التوفير المتحقـق لا يسـتهان بـه حيـث خفـض الطاقـة المستهلكة بنسبة ٣٩% بينما كان الطابوق الفرشي هـو الأثقـل وزنـاً ولكنـه لـيس الأعلـى تكلفـة (كمـا موضـح فـي الجدول (١)) حيث كـان الأعلـى كلفـة هو اسلوب التغليف باستخدام الألواح المعدنية.

E – تأثير السطح العاكس :

اتضـح مـن خـلال الشـكلين (٤ ، ٥) والجدول (١)، ان تأثير كون سطح اللوح المعدني المستخدم للتغليف عاكس أو غير عاكس. سيكون فـي حـدود (١٤ – ١٥) % ويعـود ذلـك الـى قابليـة السـطح العـاكس علـى عكـس كميـات أكبـر مـن الاشـعاع الشمسـي السـاقط عليـه أي تقليـل كميـات الحـرارة المنتقلـة خلالـه. (لكـون أن مـا يـنعكس مـن السـطح العـاكس للحـرارة يكـون فـي حـدود (٦٠ – ٨٠)% مما يسقط عليها من أشعة ، بينما الأسطح الاعتياديـة تعكـس الأشـعة فـي حـدود (٢٧ – ٤٥) % (الدوري وآخرون – ١٩٨٩) .

F – تأثير وجود فجوة الهواء أو العازل الحراري :

اتضح من دراسة السلوك الحراري للتغليف بـالألواح المعدنيـة و الموضـحة فـي الأشـكال (٤،٥) وكذلك ما تم توضيحه من نتائج بالجدول (١) ، أن وجود العازل بدلاً من فجوة الهواء سيوفر طاقة أكبر فـي حـدود (١٩ – ٢٠) % ممـا يسـتهلكه السـقف الاعتيادي وهذا يعود الى قابلية المادة العازلة على رفع المقاومة الحرارية للمقطع الإنشائي.

بالنهايـة، يمكـن للباحـث أن يثبـت مجموعـة مـن التوصيات اتضحت من خلال الدراسة تخدم مهندس التصاميم أو راغبي مراعاة ترشيد الطاقة في البيئة وهي :

١- ان أفضـل مـادة يمكـن اسـتخدامها هـي الألواح المعدنية ذات السطح العاكس مع وجود عازل حراري سمك ٢٥ ملم .
٢- يمكـن اسـتخدام الكاشـي البلاسـتيكي ، وبفارق قليل في نسبة ترشيد الطاقة، ولكنه الأخف وزناً والأرخص ثمناً .
٣- كلما كان سطح المادة التي تغلف السقف عاكسة للاشعاع كلما كان التوفير أعلى.

٤- استخدام مواد العزل الحراري بدلاً من الفجوة الهوائية أفضل ، لصعوبة توفير فجوة مغلفة، مما سيولد أحمال حرارية إضافية.

المصادر :-

١- Arora, S. Domkundwar (A Course in Refrigeration and Air – Conditioning) Dhanpat Rai & Sons – Delhi – 2007 .

٢- Hasn–Atif Ali (Optimum Insulation Thickness for Iraqi walls& roofs) Symposium of thermal insulation in hot climates– Scientific research Council – Iraq – 1984

٣- Jones–W.P.(Air–Conditioning Eng.) Edward Amold. London – 1987.

٤- Rohsnow , Warren & Hartnett, James f. (Hand Book of Heat Transfer) Mc Graw – Hill book Company, N.Y. USA – 1973 .

٥- الجهاز المركزي للاحصاء ، المجموعة الاحصائية السنوية – ٢٠٠٩. وزارة التخطيط والتعاون الانمائي–العراق.

٦- الدوري – د. مجيد، حسن، عاطف علي وآخرون (معاملات انعكاس الطاقة الشمسية من أسطح مواد الانهاء المستخدمة في العراق) المؤتمر العلمي الخامس/مجلس البحث العلمي (الملقى) – العراق ١٩٨٩ .

٧- الدوري – د. مجيد، حسن، عاطف علي وآخرون (الصفات الحرارية لمواد البناء المحلية) المؤتمر العلمي الأول للطاقة / وزارة النفط – العراق ١٩٩٢ .

٨- حسن ، عاطف علي، (تقليل التسرب الحراري من السقوف الخرسانية للأبنية السكنية بتغير زاوية ميلها)/ المجلة العراقية للهندسة الميكانيكية وهندسة المواد/ كلية الهندسة/ جامعة بابل – ٢٠٠٩ .

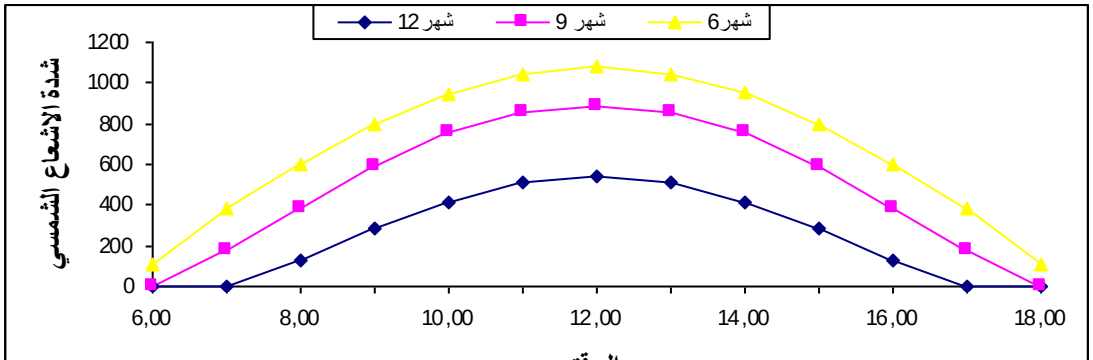
٩- علي حسن – عاطف ، لطيف – مثنى (تحليل مسارات الطاقة المستهلكة في القطاع السكني في العراق) المؤتمر العلمي الأول – الكلية التقنية – النجف – العراق/ ٢٠٠٨ .

١٠- علي حسن – عاطف (تقليل الطاقة الحرارية المتسربة من سقف خرساني سمك ١٥٠ ملم والمستخدم في سقوف الأبنية السكنية في العراق)/المؤتمر الهندسي السادس– جامعة بغداد– كلية الهندسة (٤-٧/٤/٢٠٠٩).

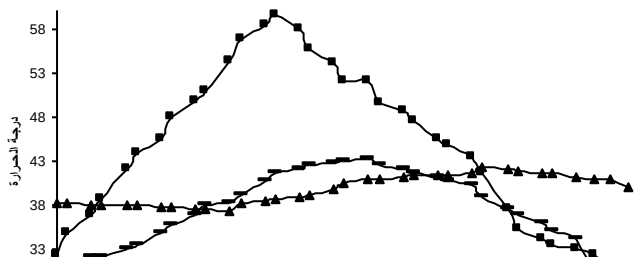
١١- كامل شعبان – عوني ، الجودي – مقداد (التحليل المناخي للعراق وأثره على العمارة) تقرير من منشورات مركز بحوث البناء – مجلس البحث العلمي (الملغي) العراق – ١٩٧٣.

جدول (١) مقدار حمل التكييف المطلوب والطاقة الكهربائية المستهلكة ونسبة التوفير في الطاقة المتحققة باختلاف نوعية التغليف

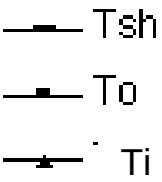
نوعية تغليف سطح المبنى	وزن التغليف المستخدم kg/m^2	كلفة تنفيذ الاكساء ١٠٠٠ دينار/م٢	Tsh متوسط درجة حرارة الهواء (الظل)	To – م متوسط درجة حرارة الجدار الخارجية	Ti – م متوسط درجة حرارة الجدار الداخلية	ΔTo-i فرق درجات الحرارة للجدار	ΔTr-i فرق درجات الحرارة للغرفة	مقدار حمل التبريد المطلوب (طن تبريد لكل موسم)	مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة لأغراض التكييف بوحدات kw-hr	النسبة المئوية لتخفيض حمل التكييف نتيجة التغليف
سطح عادي	–	–			٤١.٠٨	٣.١٨	١٤.٦	٢٤٩.٣	١٨٨.٤	–
الطابوق الفرشي	٤١	٢٠	٣٦.٥	٤٢.٢٥	٣٧.٧٥	٤.٥	١١.٠٥	١٧٣.٦	١٣١.٠	% ٣١
الواح معدنية مع عازل حراري	١٦	٦٠			٣٨.٠٥	٤.٢	١١.٥٥	١٨٣.٨٤	١٣٨	% ٢٧
ألواح معدنية مع فجوة هوائية	١٥	٦٥			٤٠.٣٠	١.٩٧	١٣.٨٠	٢٣١.٧	١٧٤.٠	% ٨
الواح معدنية عاكسة مع فجوة هوائية	١٥	٨٠			٣٩.٦٧	٢.٥٨	١٢.١٧	١٩٦.٨	١٤٨	% ٢٢
الواح معدنية عاكسة مع عازل حراري	١٦	٨٥			٣٦.١٦	٦.١	٩.٦٦	١٤٥.٧٣	١١٠	% ٤٢
كاشي بلاستك	٢.٤	١٥			٣٦.٥٠	٥.٧٥	١٠.٠	١٥٢.٤	١١٥	% ٣٩
الواح الفايبركلاس مع فجوة هوائية	١٢	٣٠			٣٩.٠	٣.٢٥	١٢.٥	٢٠٣.٨	١٥٤	% ١٨

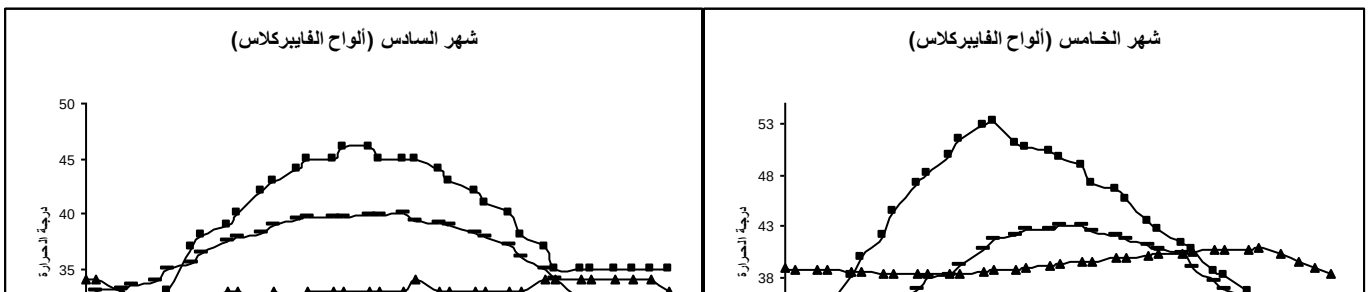


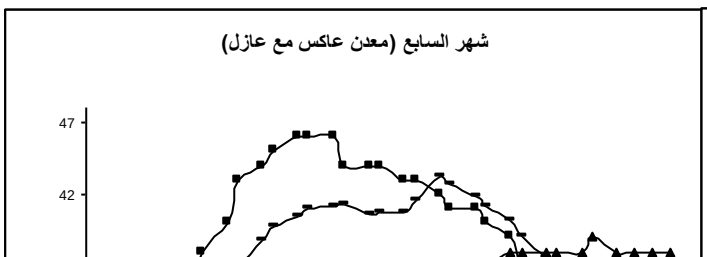
شهر الخـامس (عــادي)

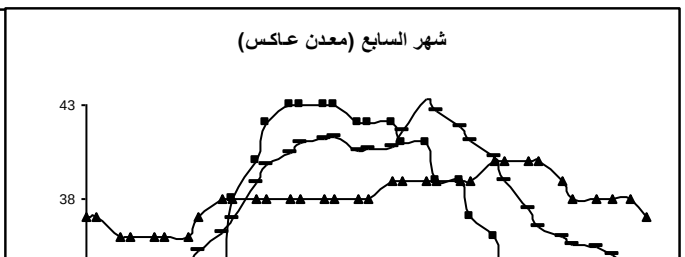


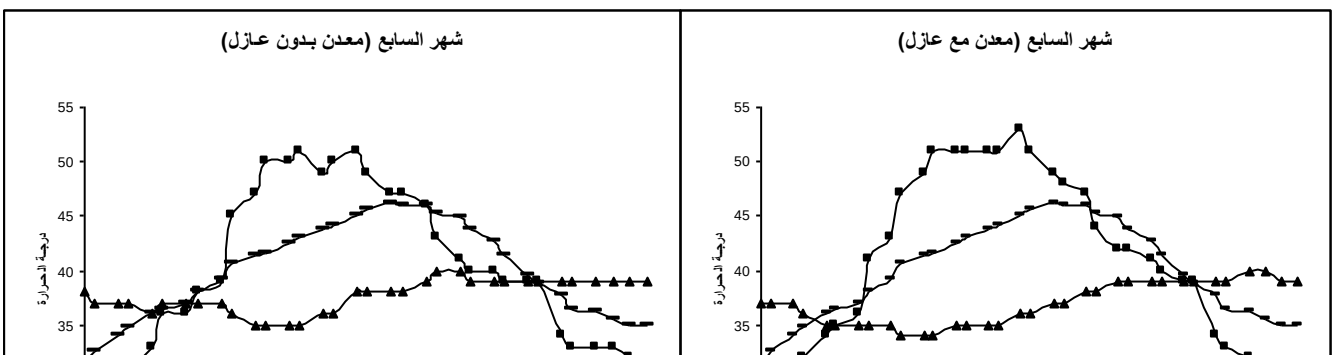
شهر السادس (العــادي)

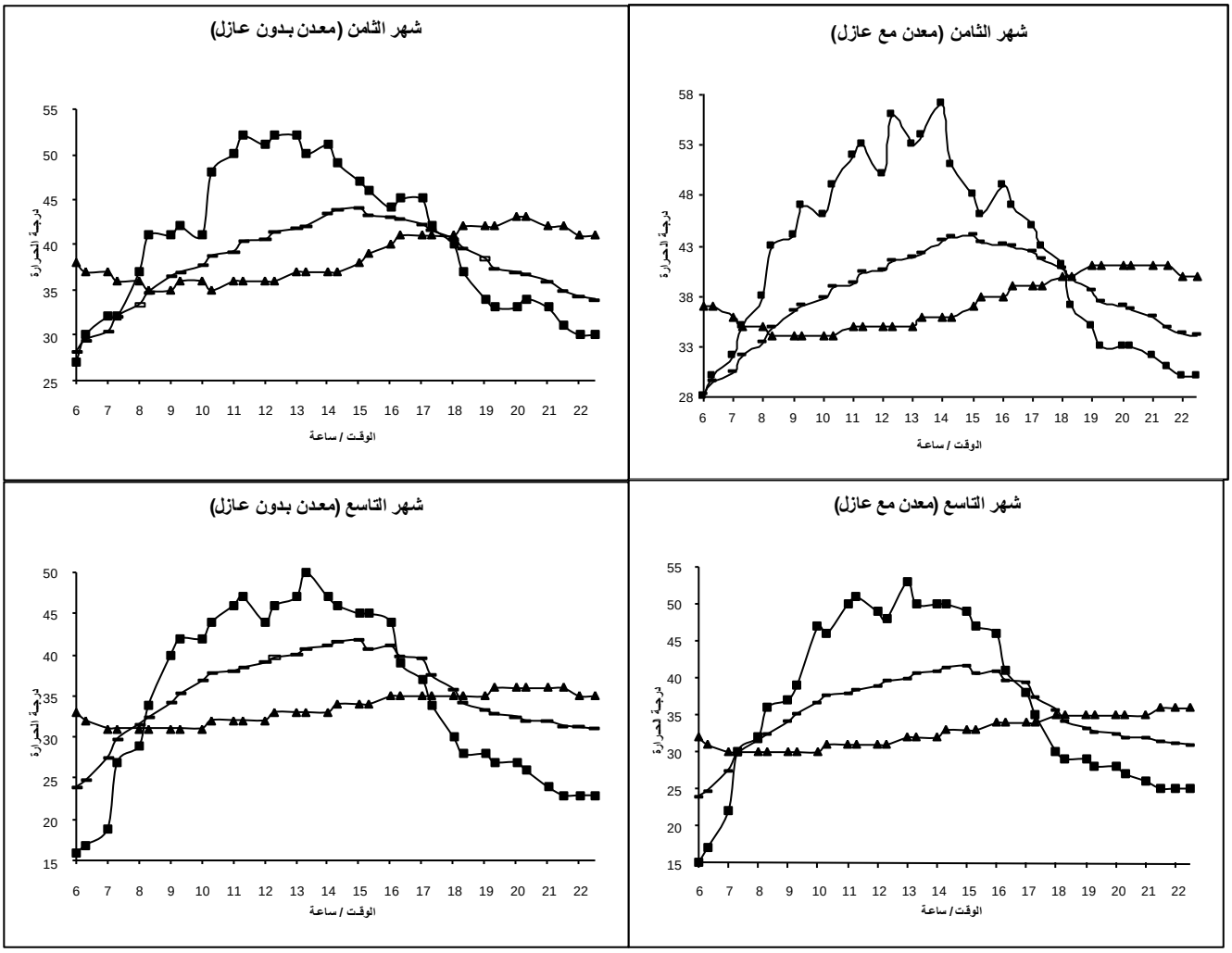

Tsh
To
Ti


شهر الخامس (ألواح الفايبركلاس)
شهر السادس (ألواح الفايبركلاس)

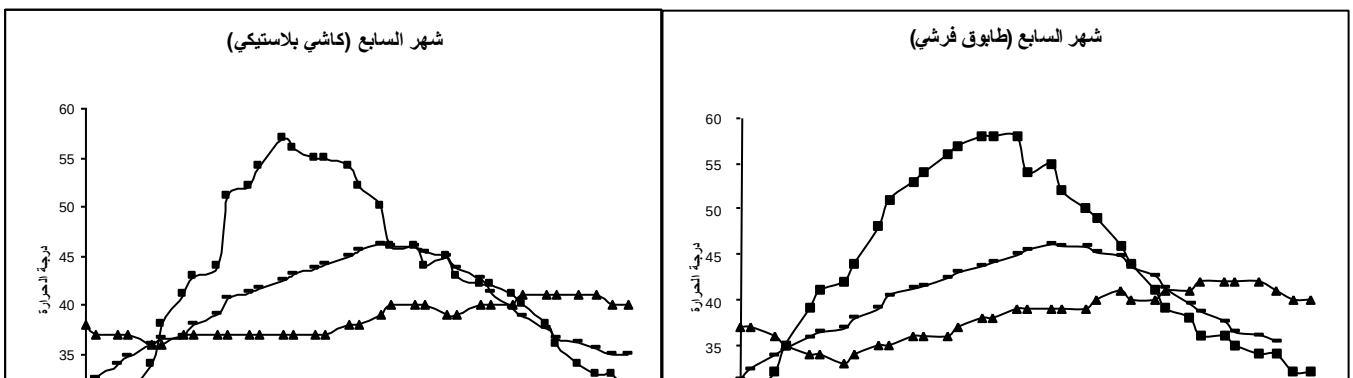

شهر السابع (معدن عاكس مع عازل)
47
42

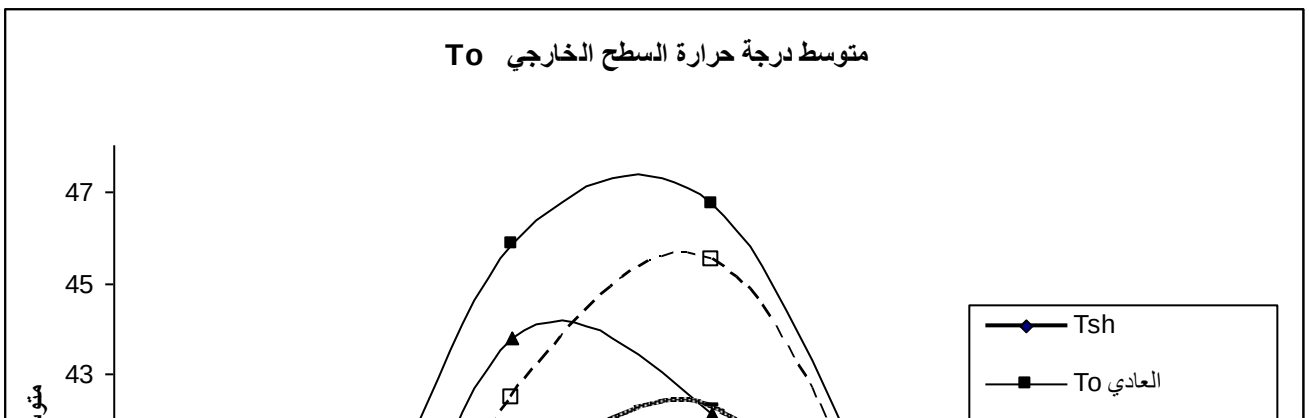

شهر السابع (معدن عاكس)
43
38

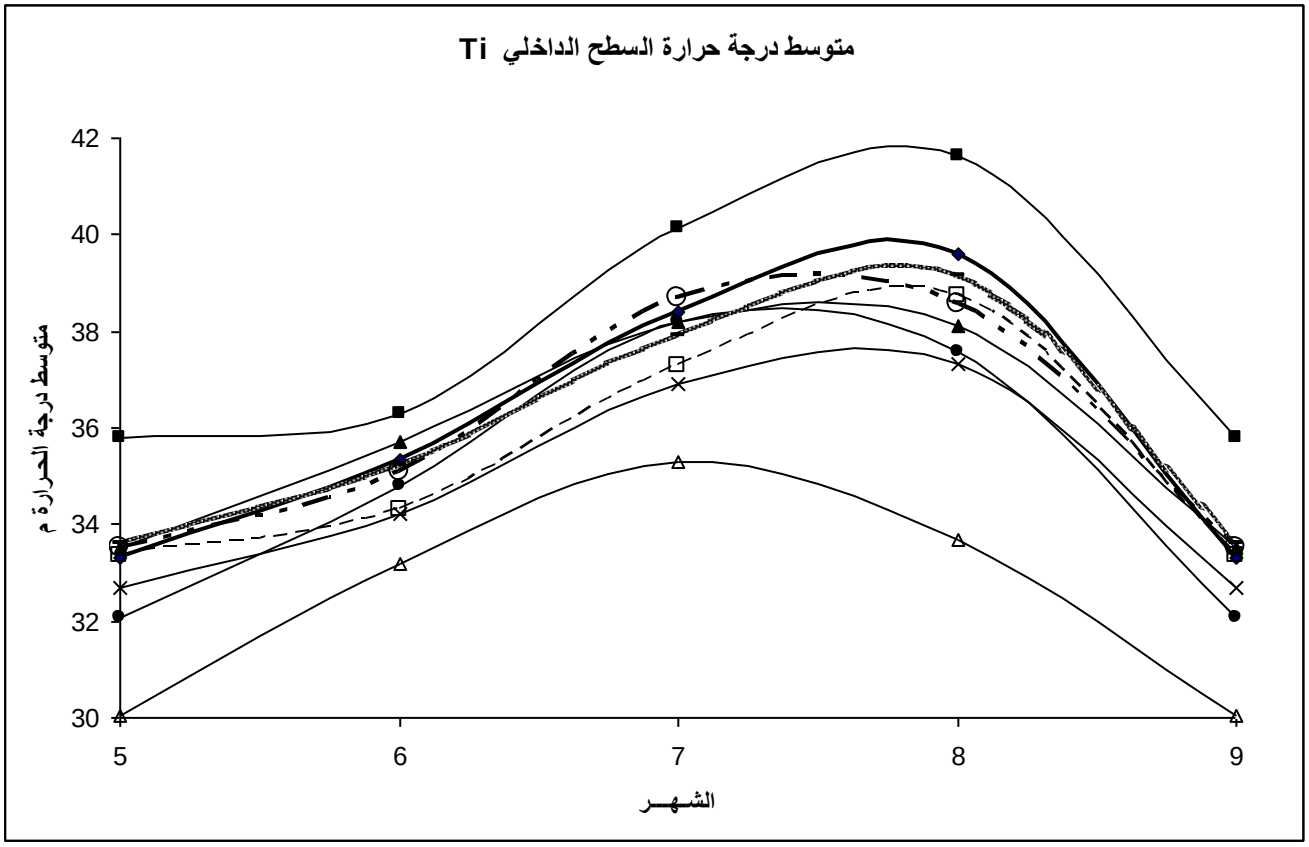

شهر السابع (معدن مع عازل)
شهر السابع (معدن بدون عازل)
درجة الحرارة
55
50
45
40
35



شكل (٥) السلوك الحراري للسقف الخرساني المغطى بالألواح المعدنية ذات السطح الاعتيادي بوجود عازل حراري وعدم وجوده بتغير ساعات اليوم الواحد خلال فترة الصيف




متوسط درجة حرارة السطح الخارجي To
47
45
43
Tsh
To العادي



شكل (٧) متوسط درجة حرارة السطح الخارجي والداخلي للسقف باختلاف اسلوب التغطية