

تحديد الموضع المناسب والسماكة المثلى للمادة العازلة في الأبنية لمدن مختلفة في سورية

د. رامي جورج*
د. ظلال خلاص**
محمد ياسين***

(تاريخ الإيداع 5 / 6 / 2011. قُبِلَ للنشر في 18 / 8 / 2011)

□ ملخّص □

يهدف البحث إلى تحديد الموضع المناسب والسماكة المثلى للمادة العازلة المستخدمة في جدران وسقف النموذج المختار عند الشروط المناخية لمدينة سورية باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS. أظهر البحث أن المادة العازلة الأفضل في الدراسة والتي تحقق أقل كلفة كلية للنموذج المدروس عند أية سماكة هي الستريوبور. وأن الموضع المناسب لها هو على السطح الخارجي للجدار مقارنة بوضعها في الوسط أو على السطح الداخلي للجدار. حيث في مدينة اللاذقية يتراوح الفرق في نسبة التوفير في الحمل الحراري بين استخدام المادة العازلة على السطح الخارجي أو على السطح الداخلي من [%] 5.6 إلى [%] 8.5 بينما يتراوح الفرق بين استخدامها على السطح الخارجي أو في الوسط من [%] 1.5 إلى [%] 2.7 وذلك حسب سماكة المادة العازلة. تبين من البحث أن القيمة المثلى لسماكة المادة العازلة الستريوبور للنموذج المدروس في سورية تتراوح من 6[cm] إلى 9.5[cm] وهذا الاختلاف في السماكة المثلى للمادة العازلة يعود إلى الاختلاف في المعطيات المناخية الخارجية أي أن المدينة ذات الظروف المناخية الأسوأ تتطلب سماكة مثلى أكبر للمادة العازلة. كما وجد أنه في سورية وعند السماكة المثلى للمادة العازلة تتراوح نسبة التوفير في الكلفة الكلية للنموذج من [%] 33.48 إلى [%] 40.5 بينما تتراوح نسبة التوفير في الحمل الحراري الكلي لهذا النموذج من [%] 46.51 إلى [%] 53.99 وذلك حسب المدينة.

الكلمات المفتاحية: مواد عازلة، السماكة المثلى للمادة العازلة، التوفير في الطاقة، برنامج محاكاة TRNSYS.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

** مدرس في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

*** قائم بالأعمال في قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Determination of a suitable location and optimum thickness of insulation material in buildings for different cities in Syria

Dr. Rami George*
Dr. Talal Khalass**
Mohammed Yaseen***

(Received 5 / 6 / 2011. Accepted 18 / 8 / 2011)

□ ABSTRACT □

The objective of this investigation is to determine the suitable location and optimum thickness of insulation materials used in walls and ceiling of the modeled building using TRNSYS simulation program for the weather conditions of few cities in Syria.

This investigation showed that the best insulation material is cork and the suitable location is on the external surface. Where in Lattakia the difference in energy load saving between using insulation material on external and internal surface ranges from 5.6[%] to 8.5[%] and this difference ranges from 1.5[%] to 2.7[%] between external and middle location depending on insulation thickness.

This investigation showed that the optimum insulation thickness in Syria ranges from 8[cm] to 9.5[cm] This difference in optimum insulation thickness related to that the worst climate need more insulation thickness. Also showed that at the optimum insulation thickness the energy cost saving ranges from 33.48[%] to 40.5[%], whereas the energy load saving ranges from 46.51[%] to 53.99[%] depending on the city.

Keywords: Insulation material, Optimum Thickness of Insulation, Energy Saving, TRNSYS program.

* Assistant Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Lecturer, Physical Department, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria

*** Engineer, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن تغير المناخ وزيادة عدد السكان أدى إلى زيادة الأحمال الحرارية في الأبنية وبالتالي إلى الطلب المتزايد في استهلاك الطاقة. وبما أن الجدران الخارجية والسقف هي التي تفصل بين الوسط الخارجي والداخلي في الأبنية لذلك يعتبر استخدام المواد العازلة في مكونات البناء واحد من الاستخدامات الهامة من أجل تخفيض الأحمال الحرارية في الأبنية وتأمين الارتياح الحراري للقاطنين في الأبنية. وبالتالي التقليل من استطاعة التجهيزات الميكانيكية اللازمة. شهدت سورية في العقود الثلاثة الأخيرة نهضة عمرانية واسعة انتشرت خلالها الأبنية الحديثة بمختلف أنواعها، وقد ترافق ذلك مع زيادة ملحوظة في استهلاك الوقود والطاقة الكهربائية لأغراض التدفئة والتبريد. ويهدف تخفيض التناهي المتسارع للطلب على حوامل الطاقة، وحماية البيئة من التلوث الناتج عن انبعاثات غازات الدفيئة نتيجة لحرق الوقود الاحفوري، وتحقيق متطلبات الارتياح الحراري في الأبنية، بات من الضروري وضع تشريعات خاصة بالأبنية، تعمل على تطوير أساليب البناء وتحسين الخصائص الحرارية للعناصر الإنشائية والنوافذ والأبواب، والاستفادة من الطاقة النظيفة والمجانية للشمس [1].

وقد قام المركز الوطني لبحوث الطاقة في وزارة الكهرباء بالتعاون مع الجهات المعنية بإعداد "كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية". يهدف هذا الكود إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة وترشيد استهلاكها في الأبنية، وتحقيق متطلبات الارتياح الحراري للإقامة والعمل فيها طيلة فصول السنة. أجريت الكثير من الأبحاث في بلدان مختلفة بهدف ترشيد استهلاك الطاقة باستخدام المواد العازلة في مكونات البناء وتحديد السماكة المثلى للمادة العازلة. بعض هذه الأبحاث [2] و[3] و[4] و[5] و[6] و[7] و[8] وجدت أن السماكة المثلى للمادة العازلة في تركيا تتراوح قيمتها من 1[cm] إلى 25.9[cm] وهناك من وجد أن السماكة المثلى في الصين تتراوح ما بين 5.3[cm] و 23.6[cm] [9] وذلك حسب المدينة ونوع المادة العازلة ونوع الوقود المستخدم في التدفئة. وهناك أبحاث قامت بدراسة تأثير اتجاه الجدار على السماكة المثلى للمادة العازلة [10] و[11].

أهمية البحث وأهدافه:

يلعب التصميم الحراري الجيد للأبنية دوراً رئيساً في تخفيض الأحمال الحرارية لأنظمة التدفئة والتبريد، وبالتالي تخفيض استهلاك الطاقة، وتخفيض التكاليف التأسيسية لتلك الأنظمة. وعلى الرغم من ذلك ما زالت معظم الأبنية العامة والسكنية في سورية تشيد دون عزل حراري، لذلك تكمن أهمية البحث في إظهار أهمية استخدام المواد العازلة في مكونات البناء في تخفيض الأحمال الحرارية الكلية (تدفئة وتبريد) وبالتالي ترشيد استهلاك الطاقة التقليدية. يكمن الهدف من هذا البحث في تحديد الموضع المناسب والسماكة المثلى للمادة العازلة المستخدمة في الجدران والسقف لنموذج من الأبنية، وتحديد نسبة التوفير في الأحمال الحرارية الكلية (تدفئة وتبريد) عند السماكة المثلى وفق المعطيات المناخية لهذا النموذج لمدن مختلفة في سورية باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام برنامج المحاكاة TRNSYS [12] الذي يعتبر أكثر برامج المحاكاة استخداماً وشيوعاً لتقييم السلوك الحراري للأبنية حيث يأخذ بالحسبان تأثير متغيرات متعددة كالمعطيات المناخية وخواص مكونات البناء بما

فيها الخواص الفيزيائية الحرارية للمواد العازلة المستخدمة في هذا البحث. حيث يقوم البرنامج بإجراء محاكاة للسلوك الحراري للبناء خلال فترة زمنية محددة وفقاً للمتغيرات السابقة من أجل تحديد الموضع المناسب للمادة العازلة وكذلك السماكة المثلى لها وبالتالي تحديد نسبة التوفير في الحمل الحراري الكلي عند هذه القيم.

تم إجراء المحاكاة على غرفتين متشابهتين الأولى غير معزولة والثانية مزودة بمادة عازلة على الجدران والسقف أبعاد كل منهما [5×4×3]m وتحتوي كل منهما على نافذة أبعادها [1×2]m على الجدار الجنوبي كما تحتوي كل منهما على باب أبعاده [1×2]m على الجدار الشرقي، حيث يتكون الجدار من توريقة أسمنتية من الخارج والداخل سماكتها [1.5]cm ومن بلوك مفرغ سماكته [20]cm. (درجة الحرارة الداخلية التصميمية [24°C] صيفاً و[22°C] شتاءً).

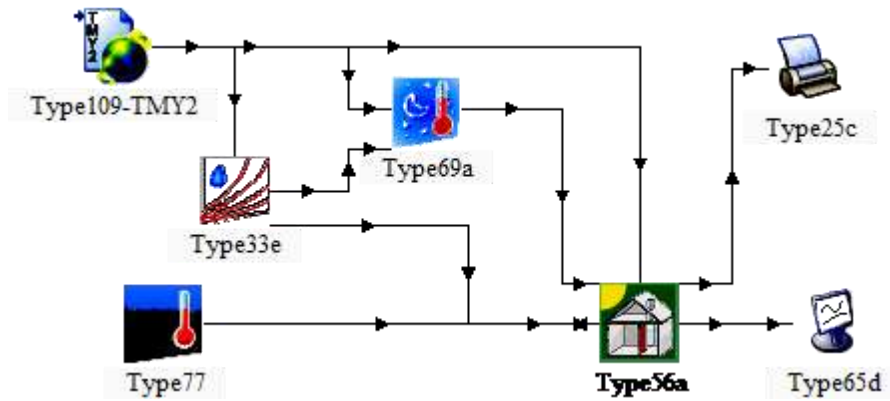
تم إجراء المحاكاة من أجل ثلاث مواد عازلة متوفرة في السوق المحلية خواصها الفيزيائية الحرارية موضحة في الجدول (1)، [13] و[14]. حيث تم استخدام مدة زمنية مقدارها 10 دقائق كخطوة للمحاكاة (يقوم البرنامج بالحسابات الحرارية كل 10 دقائق) للحصول على النتائج المطلوبة.

الجدول (1) الخواص الفيزيائية الحرارية للمواد العازلة المستخدمة في البحث

	ستريوبور	بوليستيرين	بيرلايت
عامل الايصالية	$\lambda = 0.04 [W/m^{\circ}C]$	$\lambda = 0.028 [W/m^{\circ}C]$	$\lambda = 0.09 [W/m^{\circ}C]$
السعة الحرارية	$C_p = 1.8 [kJ/kg^{\circ}C]$	$C_p = 1.47 [kJ/kg^{\circ}C]$	$C_p = 1.55 [kJ/kg^{\circ}C]$
الكثافة	$\rho = 13 [kg/m^3]$	$\rho = 15 [kg/m^3]$	$\rho = 340 [kg/m^3]$
الكلفة	$C_i = 1600 [s.p/m^3]$	$C_i = 6000 [s.p/m^3]$	$C_i = 5200 [s.p/m^3]$

يبين الشكل (1) مخططاً لمكونات النظام وفقاً لبرنامج المحاكاة TRNSYS الخاص بالبناء المدروس ورقم كل مكون وعملية ربط هذه المكونات مع بعضها البعض من أجل محاكاة السلوك الحراري للبناء. إن كل مكون هو عبارة عن برنامج جزئي يدعى عادة Type ويعرف كل Type برقم مميز يرمز إلى وظيفة المكون. إن المكون الرئيسي في نظام المحاكاة TRNSYS الخاص بالبناء هو Type56a ويرمز إلى البناء متعدد المناطق الحرارية (Multi-Zone building) ويتم فيه إنشاء البناء المدروس وإدخال أبعاد وخواص مكوناته والمكون Type69a يرمز لحساب درجة حرارة السماء والمكون Type33e يرمز لحساب الرطوبة النسبية والمكون Type25c يرمز للطابعة والمكون Type65d يرمز إلى الراسم لإظهار النتائج التي يتم الحصول عليها من البرنامج بعد إدخال الثوابت والمتغيرات المتعلقة بكل مكون.

تم الحصول على قيم الإشعاع الشمسي الساعي الساقط على سطح أفقي والمعطيات المناخية الساعية للمنطقة المدروسة باستخدام برنامج Meteonorm [15]. حيث يتم الحصول على ملف المعطيات المناخية الساعية بالتنسيق المعياري TMY والذي تتم قراءته من قبل برنامج TRNSYS باستخدام المكون (Type109-TMY2) الذي يقوم بحساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على جدران البناء.



الشكل (1) لوحة محاكاة البناء وفق برنامج TRNSYS

تتخضع الأحمال الحرارية للبناء مع زيادة سماكة المادة العازلة وبالتالي لا يمكن من خلال ذلك تحديد السماكة المثلى للمادة العازلة، لذلك لا بد من تحديد السماكة المثلى اعتماداً على الناحية الاقتصادية التي تتضمن حساب كلفة المادة العازلة وكلفة الوقود المستهلك من قبل نظام التدفئة والتبريد لتغطية الأحمال الحرارية.

يتم حساب كلفة المادة العازلة من العلاقة التالية:

$$C_{ins} = C_i \cdot V_{ins} \quad [s.p] \quad (1)$$

ويتم حساب كلفة الوقود المستهلك في تدفئة وتبريد البناء من العلاقة التالية [1]:

$$C_f = \frac{3600 N Q_h C_f}{1000 H_u \eta p_f} + \frac{1.25 N Q_c C_e}{3517} \quad [s.p] \quad (2)$$

وبالتالي تكون الكلفة الكلية:

$$C_t = C_{ins} + C_f \quad [s.p] \quad (3)$$

حيث:

C_i : كلفة المادة العازلة بوحدة الحجم $[s.p/m^3]$.

V_{ins} : حجم المادة العازلة المستخدمة $[m^3]$.

N : عمر المادة العازلة المفترض (10 سنوات).

Q_h : حمل التدفئة للبناء $[Wh]$.

C_f : كلفة اللتر من الوقود (المازوت) $[s.p]$.

H_u : القيمة الحرارية للوقود (المازوت) $[kJ/kg]$.

η : مردود حراق المازوت $[85\%]$.

p_f : كثافة الوقود (المازوت) $[kg/liter]$.

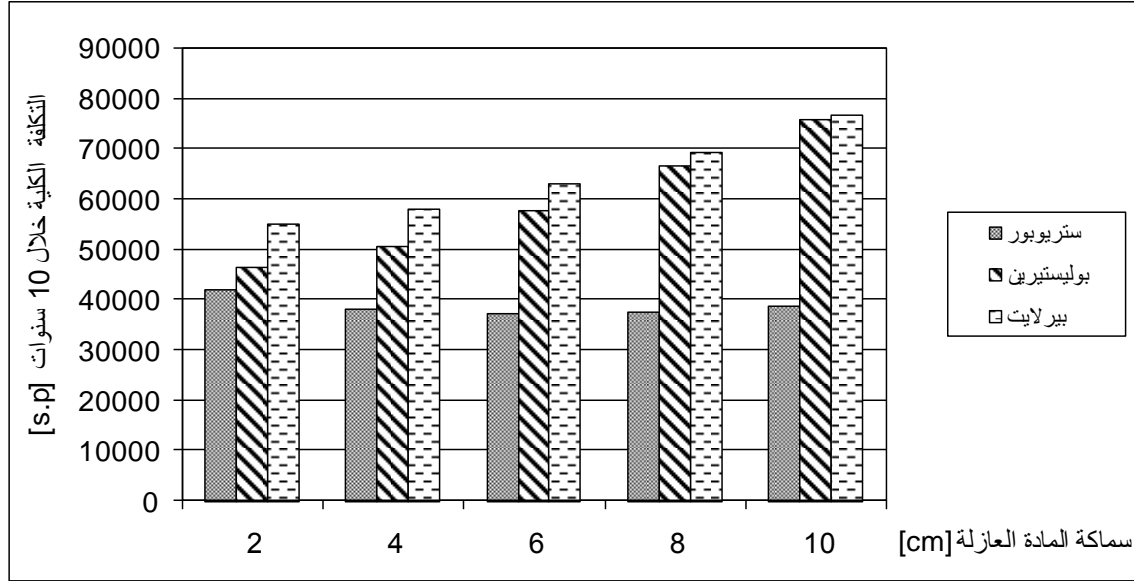
Q_c : حمل التبريد للبناء $[Wh]$.

C_e : كلفة الوقود (الكهرباء) $[s.p/kWh]$.

النتائج والمناقشة:

تأثير سماكة المادة العازلة ونوعها على الكلفة الكلية للنموذج المدروس

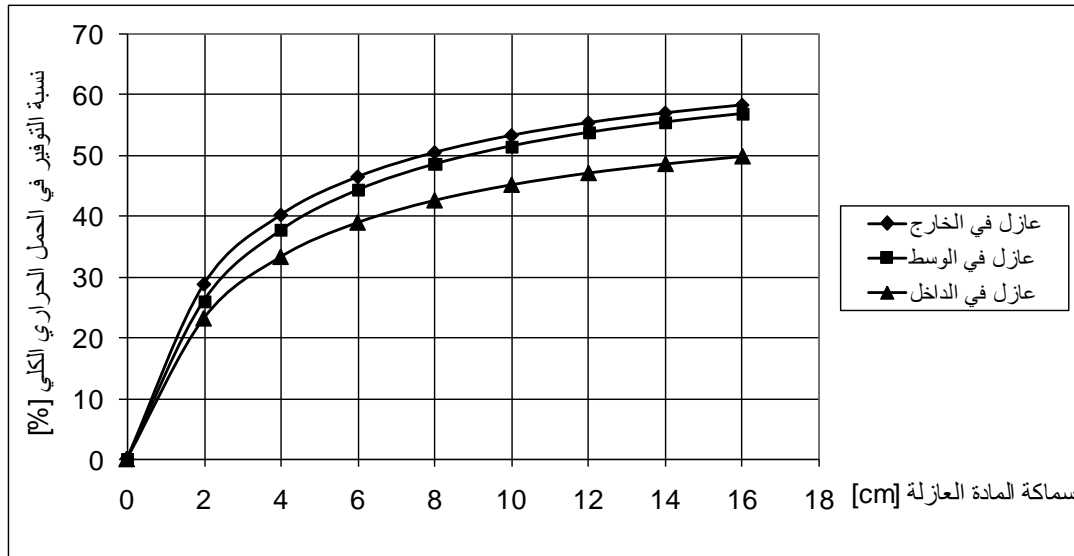
يبين الشكل (2) تأثير سماكة المادة العازلة ونوعها على الكلفة الكلية (مجموع كلفتي العزل والوقود) خلال عمر المادة العازلة (10 سنوات) في مدينة اللاذقية. لقد أجريت المحاكاة للحظية باستخدام برنامج TRNSYS على ثلاثة أنواع من المادة العازلة المبينة في الجدول (1) على جميع جدران وسقف الغرفة الثانية. نلاحظ من الشكل (3) أنه عند أية سماكة للمادة العازلة فإن الكلفة الكلية عند استخدام ستريوبور كمادة عازلة تكون دائماً أقل من المواد الأخرى وذات النتيجة تم الحصول عليها لبقية المدن (حلب ودمشق وحمص) وبالتالي نستنتج أن الستريوبور هي المادة العازلة الأفضل في بحثنا هذا.



الشكل (2) تأثير سماكة ونوع المادة العازلة على الكلفة الكلية للنموذج

تحديد الموضع المناسب للمادة العازلة

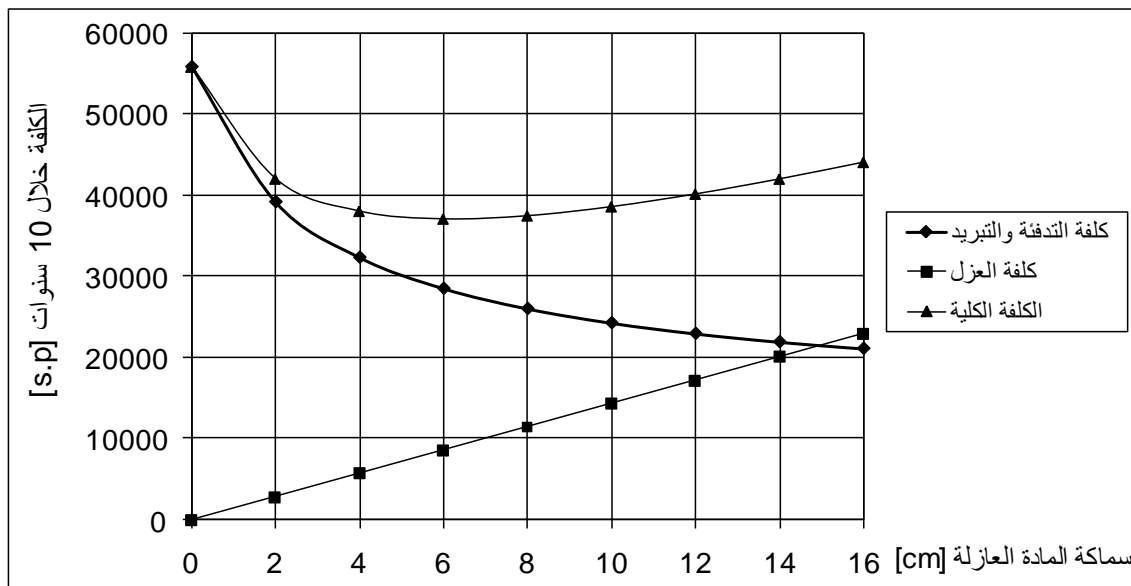
يبين الشكل (3) تأثير موضع المادة العازلة ستريوبور المستخدمة على الجدران والسقف على نسبة التوفير في الحمل الحراري الكلي (حاصل قسمة الفرق في الحمل الحراري الكلي بين الغرفتين غير المعزولة والمعزولة على الحمل الحراري الكلي للغرفة غير المعزولة) في مدينة اللاذقية. نلاحظ من الشكل أنه عند أية سماكة للمادة العازلة فإن أفضل موضع للمادة العازلة هو على السطح الخارجي للجدار مقارنة بالوضعين الآخرين في الوسط أو على السطح الداخلي للجدار وذات النتيجة تم الحصول عليها بالنسبة لبقية المدن (حلب ودمشق وحمص). حيث في مدينة اللاذقية يتراوح الفرق في نسبة التوفير في الحمل الحراري الكلي للنموذج بين استخدام المادة العازلة ستريوبور على السطح الخارجي أو على السطح الداخلي من [5.6%] إلى [8.5%] بينما يتراوح الفرق بين استخدام المادة العازلة على السطح الخارجي أو في الوسط من [1.5%] إلى [2.7%] وذلك حسب سماكة المادة العازلة.



الشكل (3) تأثير موضع المادة العازلة ستريوبور على نسبة التوفير في الحمل الحراري الكلي للنموذج في مدينة اللاذقية

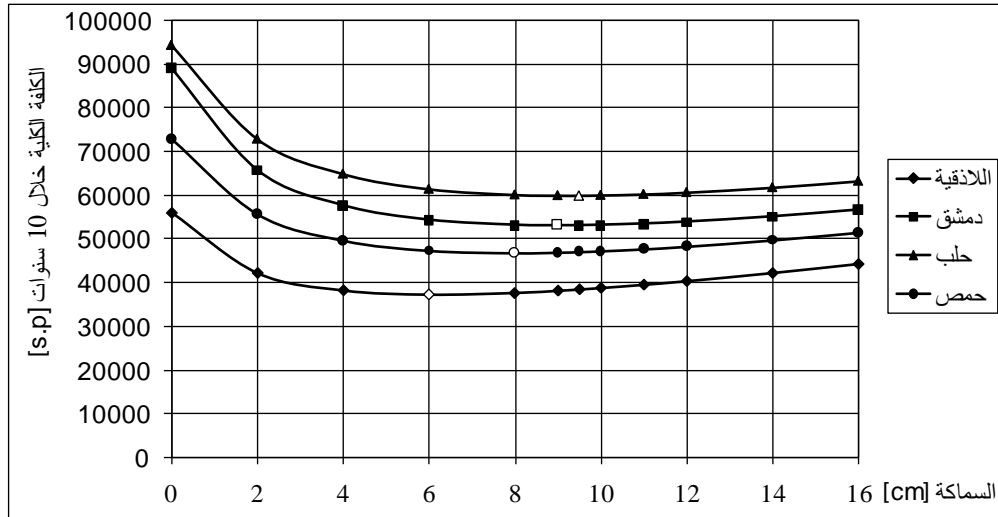
تحديد السماكة المثلى للمادة العازلة لمدن مختلفة في سورية

يبين الشكل (4) نتائج المحاكاة لغرفتين الأولى غير مزودة بمادة عازلة والثانية جدرانها وسقفها مزودة بالمادة العازلة ستريوبور لمدينة اللاذقية. يبين هذا الشكل تغير كل من كلفة العزل وكلفة الوقود والكلفة الكلية (مجموع كلفتي العزل والوقود) مع تغير سماكة المادة العازلة خلال عمر المادة العازلة (10 سنوات). نلاحظ من الشكل السابق أنه مع زيادة سماكة المادة العازلة تزداد كلفة العزل وتنخفض كلفة الوقود بينما الكلفة الكلية تنخفض مع زيادة سماكة المادة العازلة حتى قيمة معينة بعدها تزداد الكلفة الكلية مع زيادة سماكة المادة العازلة. تعتبر سماكة المادة العازلة عند أصغر قيمة للكلفة الكلية هي السماكة المثلى للمادة العازلة. لذلك نستنتج من الشكل (4) أن القيمة المثلى لسماكة المادة العازلة هي 6[cm] للنموذج المدروس في مدينة اللاذقية.



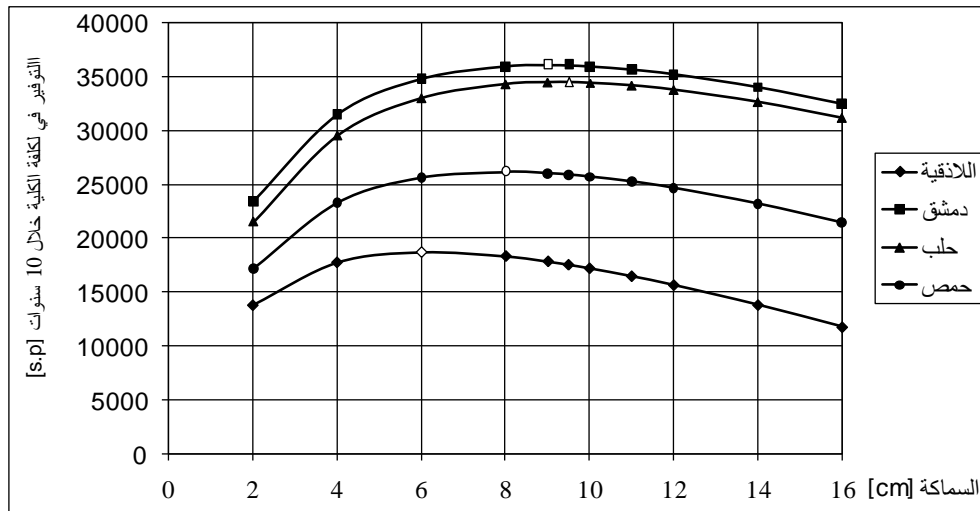
الشكل (4) تأثير سماكة المادة العازلة (ستريوبور) على الكلفة للنموذج في مدينة اللاذقية

يبين الشكل (5) تأثير سماكة المادة العازلة على الكلفة الكلية للنموذج المدروس خلال عمر المادة العازلة (10 سنوات) لمدن مختلفة في سورية حيث نستنتج من الشكل (5) أن السماكة المثلى للمادة العازلة (ستريوبور) هي 8[cm] للنموذج المدروس في مدينة حمص و 9[cm] لمدينة دمشق و 9.5[cm] لمدينة حلب وهذا الاختلاف في السماكة المثلى للمادة العازلة للمدن المختلفة في سورية يعود إلى الاختلاف في المعطيات المناخية الخارجية اللحظية أي أن المدينة ذات الظروف المناخية الأسوأ (ذات الأحمال الحرارية الأكبر) تتطلب سماكة مثلى أكبر للمادة العازلة.



الشكل (5) تأثير سماكة المادة العازلة (ستريوبور) على الكلفة الكلية لمدن مختلفة في سورية

أما الشكل (6) يبين تأثير سماكة المادة العازلة ستريوبور على التوفير في الكلفة الكلية (الفرق بين الكلفة الكلية للنموذج غير المعزول والكلفة الكلية للنموذج المعزول) خلال 10 سنوات لمدن مختلفة في سورية حيث نستنتج من الشكل (6) أنه عند السماكة المثلى للمادة العازلة (ستريوبور) لكل مدينة نحصل على القيمة العظمى للتوفير في الكلفة الكلية لذلك لا بد من استخدام السماكة المثلى للمادة العازلة في الأبنية.



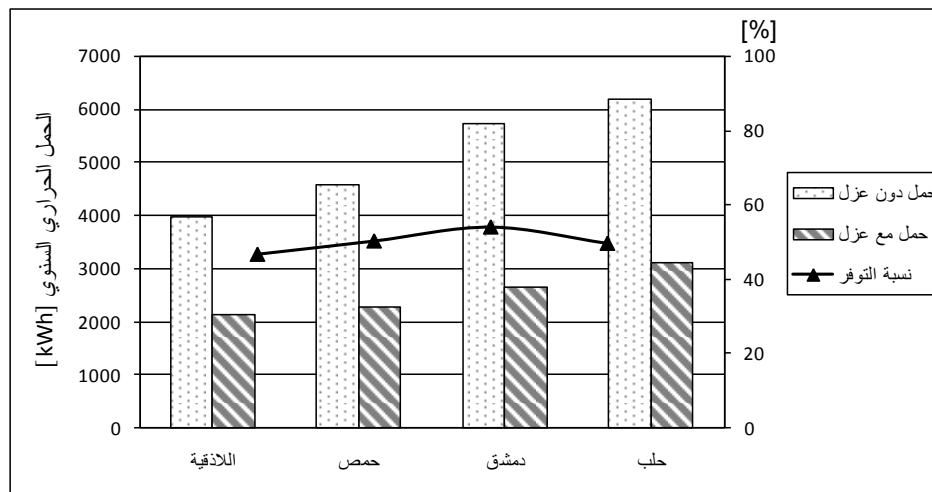
الشكل (6) تأثير سماكة المادة العازلة (ستريوبور) على التوفير في الكلفة الكلية للنموذج المدروس لمدن مختلفة في سورية

يبين الجدول (2) قيم السماكة المثلى والكلفة الكلية ونسبة التوفير في الكلفة الكلية (الفرق في الكلفة الكلية للنموذج غير المعزول والنموذج المعزول مقسوماً على الكلفة الكلية للنموذج غير المعزول) التي تم الحصول عليها بإجراء المحاكاة عند استخدام المادة العازلة ستريوبور خلال 10 سنوات لمدن مختلفة في سورية. فقد وجدنا أن السماكة المثلى للمادة العازلة تتراوح من 6[cm] إلى 9.5[cm] ونسبة التوفير في الكلفة الكلية تتراوح من [%] 33.48 إلى [%] 40.5 وذلك حسب المدينة.

الجدول (2) السماكة المثلى للمادة العازلة ستريوبور والكلفة الكلية ونسبة التوفير في الكلفة للنموذج المدروس لمدن مختلفة في سورية

نسبة التوفير في الكلفة الكلية [%]	الكلفة الكلية [s.p]	السماكة المثلى [cm]	
33.48	37235.4	6	اللاذقية
35.86	46771.2	8	حمص
40.5	53060.9	9	دمشق
36.52	59976.2	9.5	حلب

الحمل الحراري الكلي للنموذج ونسبة التوفير عند السماكة المثلى للمادة العازلة في مدن مختلفة في سورية
يبين الشكل (7) نتيجة المحاكاة باستخدام برنامج TRNSYS لغرفتين الأولى غير معزولة والثانية معزولة بمادة ستريوبور على السطح الخارجي للجدران والسقف لدراسة تأثير الموقع الجغرافي على الحمل الحراري الكلي (تدفئة وتبريد) وعلى نسبة التوفير في هذا الحمل عند السماكة المثلى لكل موقع. نلاحظ من الشكل أن نسبة التوفير في الحمل الحراري الكلي للنموذج في مدينة اللاذقية [%] 46.51 بينما نسبة التوفير للنموذج نفسه لمدينة دمشق هي [%] 53.99 أما في حمص حوالي [%] 50.15 في حين تكون هذه النسبة لمدينة حلب حوالي [%] 49.51.



الشكل (7) الحمل الحراري الكلي ونسبة التوفير عند السماكة المثلى للمادة العازلة (ستريوبور) للنموذج المدروس في مدن مختلفة في سورية

الاستنتاجات والتوصيات:

- بعد إجراء المحاكاة على غرفتين الأولى غير معزولة والثانية معزولة لتحديد الموضع المناسب والسماكة المثلى للمادة العازلة باستخدام برنامج المحاكاة TRNSYS نستنتج ما يلي:
1. إن المادة العازلة الأفضل في بحثنا وتحقق أقل كلفة كلية عند أية سماكة للمادة العازلة هي الستريوبور.
 2. أفضل موضع للمادة العازلة هو على السطح الخارجي للجدار مقارنة بالوضعين الآخرين في الوسط أو على السطح الداخلي للجدار. حيث وجدنا أنه في مدينة اللاذقية يتراوح الفرق في نسبة التوفير في الحمل الحراري الكلي للنموذج المدروس بين استخدام المادة العازلة على السطح الخارجي أو على السطح الداخلي من [%] 5.6 إلى [%] 8.5 بينما يتراوح الفرق بين استخدام المادة العازلة على السطح الخارجي أو في الوسط من [%] 1.5 إلى [%] 2.7 وذلك حسب سماكة المادة العازلة.
 3. القيمة المثلى لسماكة المادة العازلة (ستريوبور) هي [cm] 6 للنموذج في مدينة اللاذقية و [cm] 8 لنموذج مدينة حمص و [cm] 9 لنموذج مدينة دمشق و [cm] 9.5 لنموذج مدينة حلب، وهذا الاختلاف يعود إلى الاختلاف في المعطيات المناخية الخارجية أي أن المدينة ذات الظروف المناخية الأسوأ تتطلب سماكة مثلى أكبر للمادة العازلة.
 4. عند استخدام السماكة المثلى للمادة العازلة (ستريوبور) لكل مدينة وجدنا أن نسبة التوفير في الكلفة الكلية للنموذج المدروس في سورية هي بين [%] 33.48 و [%] 40.5 بينما نسبة التوفير في الحمل الحراري الكلي لهذا النموذج تتراوح من [%] 46.51 إلى [%] 53.99 وذلك حسب المدينة.
 5. متابعة البحث في دراسة تأثير بعض الخواص الفيزيائية الحرارية للمواد العازلة على نسبة التوفير لإيجاد مواد عازلة جديدة ذات خواص جيدة وتحقق نسبة توفير عالية.

المراجع:

1. كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية، وزارة الكهرباء، 2006، 121.
2. BOLATTURK, A. *Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey*. Applied Thermal Engineering, Vol. 26, 2006, 1301-1309.
3. SISMAN, N., KAHYA, E., ARAS, N., ARAS, H. *Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey's different degree-day regions*. Energy Policy, Vol. 35, 2007, 5151-5155.
4. UCAR, A., BALO, F. *Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls*. Renewable Energy, Vol. 35, 2010, 88-94.
5. COMAKLI, K., YUKSEL, B. *Optimum insulation thickness of the external wall for energy saving*. Applied Thermal Engineering, Vol. 23, 2003, 473-479.
6. DOMBAYCI, A. O., GOLCU, M., PANCAR, Y. *Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources*. Applied Energy, Vol. 83, 2006, 921-928.
7. DOMBAYCI, A. O. *The environment impact of optimum insulation thickness for external walls of building*. Building and Environment, Vol. 42, 2007, 3855-3859.
8. UCAR, A., BALO, F. *Effect of fuel type on the optimum thickness insulation material for the four different climatic regions of Turkey*. Applied Energy, Vol. 86, 2009, 730-736.
9. YU, J., YANG, C., TIAN, L., LIAO, D. *A study of optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China*. Applied Energy, Vol. 86, 2009, 2520-2529.
10. DAOUAS, N. *A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads*. Applied Energy, Vol. 88, 2011, 156-164.
11. OZEL, M. *Effect of wall orientation on the optimum insulation thickness by using a dynamic method*. Applied Energy, Vol. 88, 2011, 2429-2435.
12. KLEIN, S. A. et al., *TRNSYS – a transient simulation program, version 16.1, User Manual*. University of Wisconsin-Madison, USA. 2006.
13. www.baalbaki.com.
14. www.wassouf.com.
15. *Meteonorm, 4.00, Global Meteorological Database for Solar Energy Applied Meteorology*. Nov 1999.