المنشآت النموذجية

الأستاذ الدكتور
قسم الهندسة
جا

نبيـــل خلـ
سابقا طالب ماجست
كلية الهندس

الخلاصة

يقدم البحث منشآت تبليط
ولظروف مرور متعددة ولم
العراق. لقد استخدم دليل الا
١٩٨٦ في تصميم هذه المقا
ثلاثة مجاميع تضم التربة الط
وسطى والتربة الجيدة إلى ال
سبعة أصناف حيث يمثل الص
السيارات والشوارع السكنية
ذات المرور الضعيف حيث
قياسيا مكافئا خلال الفترة التص
للمرور فانه يعود إلى الطرق
السريعة في العراق حيث يقاب
مكافئا خلال فترة تصميمية م

أن معايير المرونة الدينامي
ما تحت الأساس تم تعيينه من
بين معايير المرونة الديناميكي
المقابلة لها. وشبيها لذلك فأن
الأساس الحصوية الرملية المث
ثبات مارشال.

لقد أعتبر الفقدان في دليل
مناسبا لصنف المرور (VII
للطرق الرئيسية.

أما للطرق خفيفة المرور ف
دليل الخدمة الحالي مرضيا.

أن أقل سمك لكل من الطبق
الأساس فقد خضع إلى التحديد
للتصميم الإنشائي للتبليط لسنة
ووتسك ومعهد الإسفلت

Ministry of Higher Education and Scientific Research
Foundation of Technical Education

AL - Taqani Journal

Evaluated Scientific Journal

Published by:
Foundation of Technical Education
Baghdad - Iraq

Volume:17th 2004 Issue: 1

المنشآت النموذجية لل

الأستاذ الدكتور
قسم الهندسة الم
جام

نبيـــل خلـــي
سابقا طالب ماجستير
كلية الهندسة

الخلاصة

يقدم البحث منشآت تبليط
ولظروف مرور متعددة ولمو
العراق. لقد استخدم دليل الاشا
١٩٨٦ في تصميم هذه المقاط
ثلاثة مجاميع تضم التربة الض
وسطى والتربة الجيدة إلى المع
سبعة أصناف حيث يمثل الصن
السيارات والشوارع السكنية خ
ذات المرور الضعيف حيث يق
قياسيا مكافئا خلال الفترة التص
للمرور فأنه يعود إلى الطرق
السريعة في العراق حيث يقابله
مكافئا خلال فترة تصميمية مقد

أن معايير المرونة الديناميك
ما تحت الأساس تم تعيينه من
بين معايير المرونة الديناميكي ل
المقابلة لها. وشبيها لذلك فأن م
الأساس الحصوية الرملية المثبت
ثبات مارشال.

لقد أعتبر الفقدان في دليل ا
مناسبا لصنف المرور (I, VII
للطرق الرئيسية.

أما للطرق خفيفة المرور فق
دليل الخدمة الحالي مرضيا.

أن أقل سمك لكل من الطبقة
الأساس فقد خضع إلى التحديد
للتصميم الإنشائي للتبليط لسنة
ووتسك ومعهد الإسفلت

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION &
SCIENTIFIC RESEARCH FOUNDATION
OF TECHNICAL EDUCATION

(Tecnicsl Research Journal)

Vol.17 2004 NO.1

المنشآت النموذجي

الأستاذ الدك
قسم الهندس

نبيـــل
سابقا طالب ماج
كلية الهـ

الخلاصة

يقدم البحث منشآت ن
ولظروف مرور متعددة
العراق. لقد استخدم دليل
١٩٨٦ في تصميم هذه
ثلاثة مجاميع تضم التربـ
وسطى والتربة الجيدة إل
سبعة أصناف حيث يمثل
السيارات والشوارع الس
ذات المرور الضعيف ح
قياسيا مكافئا خلال الفتر
للمرور فأنه يعود إلى ال
السريعة في العراق حيث
مكافئا خلال فترة تصميـ
أن معايير المرونة الد
ما تحت الأساس تم تعيين
بين معايير المرونة الدينا
المقابلة لها. وشبيها لذلك
الأساس الحصوية الرملي
ثبات مارشال.
لقد أعتبر الفقدان في
مناسبا لصنف المرور (
للطرق الرئيسية.
أما للطرق خفيفة الم
دليل الخدمة الحالي مرض
أن أقل سمك لكل من
الأساس فقد خضع إلى ال
للتصميم الإنشائي للتبليط
ووتسك ومعهد الإسفلت

Editorial Board

Editor in chief
Dr . Mahmood S. Abdul-Hussain prof .
Co-Editor in chief
Dr.sajedah A. H . Khalil prof .
Editorial director
Dr. Adnan N. Abood Asst.prof.
Members
- Mr.Farid M. Abed prof
- Dr. Nabee E. Waheda Asst.prof
- Dr. Qayser S. AL – Habeeb Asst. prof
- Dr. Abbas A.H. Kuisa Asst. prof
- Dr. Seffa A.N. AL-Mohamad Asst. prof
- Dr. Sameer K.AL- Khateeb Asst. prof
- Mr.Safaa S. Omran Asst. prof
- Mr. Kamel S.Hassan Asst. prof
- Mr. Kareem H. Alwan Asst. prof

استخدام الأملاح والشمع كمواد خزن حرارية في حائط ترومب

د. جمال حميد وهيب(*)

ABSTRACT:

The use of Trombe wall to cut down winter heating costs in cold climates is currently a subject of great interest and the incentive for this kind of study is increasing rapidly.

In this research materials which change phase at certain temperatures were chosen for study, and in this case latent heat absorbed or liberated during this process will be accounted for.

The behavior of these materials under study was compared to usually studied concrete, brick, and rock materials in terms of heat capacity storage and optimum width.

These tests were performed for selected winter days of Baghdad city. Computer simulation was done using analytical unsteady state models, and results of Trombe wall were compared to those of conventional wall.

It was concluded that Trombe wall of PCM such as sodium hydrogen phosphate 12-hydrate is not only more suitable for heating purposes (because of its economy), but it can be used to overcome the cold weather of Baghdad during winter. The ratio of interest and economy of energy was about 40% in comparison with the rest of material above.

(*)المعهد الفني العسكري

المستخلص

يعد استخدام جدار ترومب لغرض التقليل من حمل التدفئة والتغلب على برودة أيام الشتاء في الأجواء الباردة من المواضيع المهمة في هذا البحث تم اختيار مواد تتغير في طورها عند درجات حرارة معينة لغرض دراستها، وحساب كمية الحرارة الكامنة الممتصة أو المنطلقة خلال هذه العملية، كما تم مقارنة أداء هذه المواد المدروسة مع مواد شائعة الاستخدام مثل الكونكريت، الطابوق، والحجر، من ناحية سعة الخزن الحراري والسمك الأمثل للجدار.

وتم إجراء هذه الفحوصات على أيام معينة من فصل الشتاء بمدينة بغداد، وكما تم إجراء محاكاة لنموذج رياضي باستعمال الحاسوب ذات حالة تغير مع الزمن (حالة غير مستقرة)، وتمت مقارنة نتائج جدار ترومب مع تلك الخاصة بالجدار التقليدي وأشارت نتائج البحث ان استخدام جدار ترومب ذات مواد متغيرة الطور مثل الملح المائي

$(Na_2HPO_4.12H_2O)$ Sodium hydrogen phosphate 12-hydrate

أو الشمع، مناسب جداً لعمليات التدفئة، ليس بسبب الاقتصاد في حجم الجدار فقط، وإنما لإمكانية استخدامه للتغلب على برودة الشتاء في مدينة بغداد. ان نسبة الفائدة والاقتصاد في الطاقة كانت حوالي 40% مقارنة مع بقية المواد أعلاه.

المقدمة

مما لا شك فيه ان الاهتمام الواضح في استخدامات الطاقة الشمسية لأغراض التدفئة والتبريد أصبح متزايداً في الآونة الأخيرة، حيث تندرج الدراسات والبحوث الموضوعة في المجالات التطبيقية لاستخدامات الطاقة الشمسية، إلى نوعين:

(أ) الاستخدام المباشر للطاقة الشمسية وتدعى (Active Solar)

وفي هذا النظام يتم استخدام طاقة الإشعاع الشمسي بشكل مباشر من المحيط الخارجي وباستخدام منظومات خاصة، تعمل كمنظومة للتحكم بالمناخ الداخلي للمبنى، لغرض التسخين أو التبريد، اعتماداً على ما يتوصل إليه التصميم بالأسلوب المباشر، ولكن هذه الأنظمة تتطلب فترات صيانة دائمة، وعمليات إعداد ونصب دقيقة، مما يتطلب فنيين ذوي خبرات ماهرة في هذا المجال، أما معدات أنظمة التبريد، فإنها أكثر تعقيداً من أنظمة التسخين من ناحية الإعداد والتشغيل.

(ب) الاستخدام الغير المباشرة للطاقة الشمسية وتدعى (Passive Solar)

وهنا يتم الاستفادة من طاقة الإشعاع الشمسي بشكل غير مباشر، وباستخدام أساليب لخزن الطاقة في كتل خزن حراري، وباستخدام النوافذ وبدون وجود أنظمة ميكانيكية.

وتعتبر عملية خزن الطاقة الشمسية كطاقة حرارة محسوسة (Sensible heat) ناتجة عن تغير في درجات الحرارة، أو بشكل حرارة كامنة (Latent heat) ناتجة عن تغيير الطور لمواد متغيرة الطور (PCM) وهي الأحرف الأولى للعبارة (Phase change material) وهي من أنسب الطرق لخزن وتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية، بأقل مقدار من الفقد الحاصل في الطاقة الشمسية بشكل حرارة محسوسة شائعة الاستخدام في هذه الأيام، فان خزن الطاقة الشمسية بشكل حرارة كامنة باستخدام مواد متغيرة الطور، ذات مميزات أفضل بكثير، حيث تكون الطاقة الحرارية المخزونة أعلى كثافة وذات تصرف حراري ثابت ومناسب. ولهذا الغرض، فان الاهتمام المتزايد في استخدام وتطوير هذه المواد، في أنظمة التسخين والتبريد باستخدام الطاقة الشمسية، أصبح مكثفاً في تطبيقات الطاقة الشمسية، حيث تتطلب هذه الاستخدامات عدة مواصفات، وأهمها: هو أن تكون المادة المتغيرة الطور ذات كمية حرارة كامنة عالية، بالإضافة إلى تغيرها من حالة إلى أخرى لفترات طويلة بدون فقدان خواصها.

ويعد نظام التسخين باستخدام (Trombe Wall) ذو مواد متغيرة الطور، هو أحد أنواع أنظمة التسخين أو التبريد لحيز معلوم باستخدام الأسلوب السلبي للطاقة الشمسية.

في هذا النوع من الجدران تجري عملية تحول من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة للمادة المتغيرة الطور، المحفوظة بداخله بشكل محكم خلال عملية الذوبان، نتيجة لتعرض الجدار إلى الحرارة الناتجة من سقوط الإشعاع الشمسي، وأثناء هذه العملية يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية مخزونة في المادة السائلة، ومن ثم تجري عملية تحول المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة أثناء عملية التجمد لغرض إطلاق الطاقة الحرارية المخزونة، عند عدم توفر الطاقة الشمسية.

ولغرض دراسة الخزن الحراري في هذه العملية في جدار ترومب، فانه يتم افتراض ان هذا الجدار بمثابة شريحة عمودية ذات سمك محدد، تحتوي على مادة متغيرة الطور، مخزونة بشكل كبسولة ذات مواصفات محددة، ومعرضة إلى الحرارة من أحد الأوجه، بشكل متغير مع الزمن.

من أوائل الباحثين الذين قاموا بوضع حلول تحليلية تتضمن انتقال الحرارة بالتوصيل في مادة متغيرة الطور هو الباحث Granz Neuman[1] حيث قام بدراسة انتقال الحرارة باتجاه واحد في حيز شبه نهائي الأبعاد (Semi-infinite)، واعتبر الباحث في بادئ الأمر، ان عملية تصلب السائل تحدث عند درجة حرارة منتظمة أعلى من قيمة درجة حرارة الذوبان للمادة وعند زمن $\theta > 0$، فان قيمة درجة الحرارة على الصفيحة الأفقية تنخفض إلى قيمة أقل من درجة حرارة الذوبان، وتمكن الباحث من حل العلاقات الرياضية بشكل تحليلي.

وقام الباحث Stein C.[2] بدراسة المجمعات الشمسية في عدة تصاميم لأنظمة خزن الطاقة الشمسية، وتم وضع ثلاثة نماذج عملية لهذه الأنظمة، وهما الجدران الشمسية ذات الهواء الساخن، وجدران الماء الساخن، وجدار ترومب ذو مواد متغيرة الطور، وتم قياس كمية الطاقة الحرارية

المنشآت النموذجية ل

الأستاذ الدكتور
قسم الهندسة ا
جا

نبيل خل
سابقا طالب ماجس
كلية الهندس

الخلاصة

يقدم البحث منشآت تبلي
ولظروف مرور متعددة و
العراق. لقد استخدم دليل ١
١٩٨٦ في تصميم هذه المق
ثلاثة مجاميع تضم التربة
وسطى والتربة الجيدة إلى
سبعة أصناف حيث يمثل ا
السيارات والشوارع السكني
ذات المرور الضعيف حيث
قياسيا مكافئا خلال الفترة
للمرور فأنه يعود إلى الطر
السريعة في العراق حيث
مكافئا خلال فترة تصميمية

أن معايير المرونة الدين
ما تحت الأساس تم تعيينه
بين معايير المرونة الدينامي
المقابلة لها. وشبيها لذلك ق
الأساس الحصوية الرملية
ثبات مارشال.

لقد أعتبر الفقدان في د
مناسبا لصنف المرور (II
للطرق الرئيسية.

أما للطرق خفيفة المر
دليل الخدمة الحالي مرضي

أن أقل سمك لكل من
الأساس فقد خضع إلى التح
للتصميم الإنشائي للتبليط
ووتسك ومعهد الإسفلت

المخزونة، وكفاءة المجمع الشمسي، خلال يوم كامل، وكانت نتائج الكفاءة كالتالي: , 70% , 85% 82% على الترتيب، وتم تطوير كمية الطاقة المثلى الواصلة إلى الجدار باستخدام نموذج محاكاة أعد لهذا الغرض، وذلك لغرض التوصيل إلى إمكانية اختيار السطح المناسب للخزن الحراري بأقل كلفة. وكان الهدف هو حماية الكسب الحراري الواصل للجدار من الفقدان في ساعات الليل، ولوحظ ان الكسب الحراري في جدار ترومب يتم المحافظة عليه لأكبر فترة ممكنة بقيمة عالية مقارنة مع غيره من الجدران.

ويستهدف هذا البحث، عرض إمكانية التوصل إلى التصميم النظري الأمثل، لجدار ترومب يحتوي على مواد متغيرة الطور، عند أعظم طاقة حرارية مخزونة خلال يوم كامل، لغرض التدقيق مع إجراء مقارنة للحالة باستخدام النماذج الرياضية التحليلية، ومن ثم التوصل إلى مدى نجاح استخدام جدار ترومب، في الظروف المناخية لمدينة بغداد، حيث تجري هذه الدراسة النظرية على جدار ذي أبعاد محددة. وقد تم إعداد برنامج بالحاسب الآلي لهذا النموذج الرياضي التحليلي، وباستخدام ظروف مناخية لأيام شتوية مختلفة لمدينة بغداد.

ولغرض مقارنة أداء جدار الترومب، من ناحية التصميم الأمثل، فقد تم إجراء اختبار نظري لنوعين من المواد المتغيرة الطور، في الجدار، وهي أملاح مائية
Sodium hydrogen phosphate 12-hydrate ($Na_2HPO_4.12H_2O$)
وشمع (Paraffin 5913)، ومن ثم تمت مقارنة النتائج مع مواد أخرى حرارية شائعة الاستخدام.

الأنموذج الرياضي

في الأشكال (1-2) إلى (4-2) يمثل أنموذج من جدار ترومب يحتوي مواد متغيرة الطور (PCM) تعبى مواد متغيرة الطور داخل كبسولات من مادة النحاس وتحكم في نهايتها بمادة ألمنيوم الرقيق بسمك 0-5mm أما بنسبته لطول وقطر الكبسولة وضح في المعادلة التالية[6]

$$0.75 < (L/d) < 2$$

حيث ترتب المواد المتغيرة الطور داخل الجدار، أما على عرض الجدار أو سمك الجدار يجب أن تكون الكبسولات ضمن حدود تمنع حدوث تيارات الحمل الطبيعية الغير مستقرة أثناء ارتفاع درجات الحرارة وانصهار المادة. وظيفة هذا الجدار هو امتصاص المادة داخل الكبسولة الطاقة المنبعثة من الشمس فتتحول تدريجياً من الحالة الصلبة إلى السائلة بعد وصول درجة حرارتها إلى T_m أو أكثر أثناء فترة النهار وتخزن الطاقة فيها وتكون انتقال الحرارة في البداية بالتوصيل ولكن عندما يتغير طوره يجب الأخذ بنظر الاعتبار تأثير انتقال الحرارة بالحمل الحر في المعادلات أما عند غياب الشمس وانخفاض درجة حرارة المحيط تبدأ المادة بفقد مخزونه من الطاقة ويعاد إلى الحالة الصلبة وتكرر هذه الظاهرة يومياً.

أما توزيع درجات الحرارة داخل المادة (PCM) في الكبسولة تم حسابها بواسطة طريقة نيومان (Neumann Method) والتي تستخدم في هذه الدراسة وتتلخص بما يلي:

لحساب توزيع درجات الحرارة في جدار يحتوي على مادة (PCM) يتم تشبيه الجدار بجدار متناهي الأبعاد (Semi-infinite slab) يفترض بأن المادة عند درجة حرارة ابتدائية Ti في زمن $t \le o$ وبشكل مفاجئ عند زمن $t > o$ انخفضت درجة حرارة السطح إلى T(o) عند x = o وهي أقل من T_m وهي درجة حرارة الذوبان مع فرض ان التغير في المواصفات الفيزياوية للطورين لا تعتمد على درجات الحرارة. اعتمد معادلة (Fourier) لانتقال الحرارة على توزيع درجات الحرارة في الطورين[3].

$$\frac{\partial T_s}{\partial t}=\alpha_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial^2 x} \qquad o < x < S(t)$$

.....(2-1)

$$\frac{\partial T_\lambda}{\partial t}=\alpha_\lambda \frac{\partial^2 T_\lambda}{\partial^2 x} \qquad x > S(t)$$

.....(2-2)

الظروف المحيطة بالجسم والحالة الابتدائية لحل هاتين المعادلتين كما يلي:

$$T_s(x,o)=T_\lambda(x,o)=T_i \qquad for \quad t \le o$$

.....(2-3)

$$T_s(o,t)=T(o) \qquad for \quad x=o,\ t>o$$

.....(2-4)

$$T_s(s,t)=T_\lambda(s,t)=T_m \qquad for \quad x=s(t)$$

.....(2-5)

$$T_\lambda(x,1)\to T_i \qquad as \qquad x \to \infty$$

.....(2-6)

أما انتقال الحرارة عند سطح بيني للصلب والسائل (Heat transfer at the solid-liquid interface) الذي يفصل الحالة الصلبة مع الحالة السائلة

وعادة تنتقل الطاقة الممتصة أو المنطلقة من محيط النظام بطريقة الحمل أو التوصيل وهذا السطح يكون متحركاً اعتماداً على درجات الحرارة داخل الكبسولة مع الزمن.

فان المعادلة التي تمثل هذه الظاهرة من الناحية الفيزياوية غير خطية (non-linear equation) استناداً إلى سلسلة من التجارب أجريت أولاً عند ثبوت فيض حراري (Constant heat flux) ثانياً عند ثبوت درجة الحرارة على سطح الكبسولة.

الموازنة الحرارية بين طرفي السطح البيني تعبر بالمعادلة التالية

$$\rho_s \Delta H_f \frac{ds}{dt} = k_2 \left.\frac{\partial T_s}{\partial x}\right|_{x=s} - k_\lambda \left.\frac{\partial T_\lambda}{\partial x}\right|_{x=s} \quad .....(2-7)$$

أما توزيع درجة الحرارة في الطور الصلب[3]

$$\frac{T_s(x,t)-T_m}{T(o,t)-T_m} = 1 - \frac{erf\left(x/2\sqrt{\alpha_s t}\right)}{erf\left(\lambda y/2\sqrt{\alpha_s}\right)} \quad .....(2-8)$$

أما توزيع درجة الحرارة في الطور السائل[3]

$$\frac{T_s(x,t)-T_m}{T(o,t)-T_m} = 1 - \frac{erfc\left(x/2\sqrt{\alpha_s t}\right)}{erfc\left(\lambda y/2\sqrt{\alpha_s}\right)} \quad .....(2-9)$$

$$\gamma = \frac{\rho_s}{\rho_l}$$

أما λ عبارة عن ثابت يحسب من المعادلة التالية عند تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة وهي تعتمد على المواصفات الفيزياوية للمادة وحدود درجات الحرارة التي توضع فيها المادة[3].

$$\frac{\lambda}{2\gamma st_\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_\lambda}{\pi}} = \frac{\exp\left[-\left(\frac{\lambda}{\gamma}\right)^2 4\alpha_\lambda\right]}{erf\left(\frac{\lambda}{\gamma}/\sqrt{4\alpha_\lambda}\right)} + \sqrt{\frac{\alpha_s}{\pi}}\left(\frac{\rho_s c_s}{\rho_\lambda c_\lambda}\right)\left(\frac{T_i - T_m}{T_w - T_m}\right)\frac{\exp\left(-\lambda^2/4\alpha_s\right)}{erfc\left(\lambda/\sqrt{4\alpha_s}\right)} \quad .....(2-10)$$

أما موقع السطح البيني يحسب في المعادلة[3]

$$S=\left(\frac{\lambda}{\gamma}\right)\sqrt{t}$$

.....(2-11)

أما إذا كانت المادة من الحالة السائلة وتتحول إلى الحالة الصلبة يحسب λ كما يلي:

$$\frac{\lambda\gamma}{2St_s}=\sqrt{\frac{\alpha_s}{\pi}}=\frac{\exp(-\lambda\gamma)^2 4\alpha_s}{erf\left(\lambda\gamma/\sqrt{4\alpha_s}\right)}+\sqrt{\frac{\alpha_\lambda}{\pi}}\left(\frac{\rho_\lambda c_\lambda}{\rho_s c_s}\right)\left(\frac{T_i-T_m}{T_w-T_m}\right)\frac{\exp\left(-\lambda^2/4\alpha_\lambda\right)}{erfc\left(\lambda/\sqrt{4\alpha_\lambda}\right)}$$

.....(2-12)

موقع السطح البيني في هذه الحالة يحسب بالشكل التالي

$$S(t)=\lambda\sqrt{t}$$

.....(2-13)

في المعادلتين (11-.2) و (12-2) يحسب قيمة λ يأخذ طرائق التحليلات الهندسية وهي طريقة (Bi-section).

أما الرمز (erf) (Error function) وهذه الكمية في معظم المصادر تعطى على شكل جداول تبدأ بـ (1) وتنتهي بـ (2) ولكن لتبسيط إدخال هذا الجدول إلى الحاسوب قسم المدى المذكور إلى أربعة أقسام ولكل قسم منه معادلة خاصة وهذه القيم تقريبية[4].

أما (erfc) عبارة (Complimentary error function) ويحسب من المعادلة التالية

$$erfc=1-ref\ (x)$$

أما وسائط الخزن الحرارية الصلبة الشائعة الاستخدام مثل (الطابوق، الكونكريت الخفيف والثقيل والحجر) تم حسابها بالاعتماد على المصدر[5] لأغراض إجراء المقارنة مع المواد المتغيرة الطور موضوع بحثنا.

النتائج والمناقشة

ويمكن ملاحظة تغير كمية الخزن الحراري مع تغير سمك الجدار باستخدام مواد خزن مختلفة، في جدار ترومب تقليدي، جدار ترومب من (PCM) في الشكل (1-4) وهنا يكون منحني الخزن الحراري الخاص بمادة (PCM)، متزايد بشكل مستمر ولكن ليس بطريقة منتظمة إلى أن يصل إلى سمك محدد يمثل السمك الأمثل، ويبدأ المنحني بعد هذا السمك بالانخفاض تدريجياً، وذلك بسبب انخفاض كمية الحرارة اللازمة لإذابة مادة (PCM)، وخزن الطاقة الحرارية بداخلها بشكل حرارة كامنة، مقارنة مع سمك الجدار، مما يؤدي إلى جعل أداء الخزن الحراري، محدوداً وغير كاف، وقبل الوصول إلى السمك الأمثل، فأن عملية الخزن الحراري في مادة (PCM)، ستكون بشكل حرارة كامنة ومحسوسة، ولكن تكون الحرارة الكامنة، أعلى بكثير من كمية الحرارة المحسوسة، أما عند سمك أعلى من قيمة السمك الأمثل حيث تكون عملية الخزن الحراري في مادة (PCM) أيضاً بشكل حرارة محسوسة وكامنة، ولكن تكون كمية الحرارة المحسوسة، أعلى بكثير من كمية الحرارة الكامنة، وبهذا يصبح الخزن الحراري بشكل حرارة محسوسة عالية، ونظراً لأن كمية الحرارة المحسوسة تتوقف على قيمة الحرارة النوعية للمادة، وتزداد بزيادتها، وبما ان قيمة الحرارة النوعية للملح والشمع أعلى من مواد الخزن الحراري بشكل حرارة محسوسة، فان مقدار الانخفاض في كمية الخزن الحراري، سيظل أعلى من بقية المواد، مما يعني ارتفاع كفاءة الخزن الحراري في مواد (PCM) عن المواد الأخرى، حتى بعد زيادة سمك الجدار عن السمك الأمثل، وخصوصاً الملح مقارنة مع الكونكريت الثقيل، والشمع مقارنة مع الكونكريت الخفيف أو الحجر.

ان هذا التعرج الواضح في شكل منحني الخزن الحراري في مواد (PCM) ، عند زيادة سمك الجدار، ناتج عن وجود طورين مختلفين من مادة (PCM) في كل مرحلة، وهذين الطورين عند درجتي حرارة مختلفتين، ونتيجة لهذا الفرق في توزيع درجات الحرارة في داخل الجدار، خصوصاً عند الحيز السائل والحيز الصلب، فان عملية الزيادة في الخزن الحراري، ستكون بشكل قفزات مفاجئة، وليس بشكل مستمر كما هو الحال في منحنيات مواد الخزن الحراري بشكل حرارة محسوسة، حيث يكون الخزن الحراري خلال طور واحد، وهو الطور الصلب، وعليه فان عملية الزيادة أو النقصان في كمية الحرارة المخزونة ستكون منتظمة ومستقرة، ونتيجة لذلك يكون شكل المنحني متجانساً.

في الشكل (4.2) يمثل الخزن الحراري في جدار ترومب من (PCM)، وجدار ترومب تقليدي لكل مادة خزن حراري عند السمك الأمثل، ويلاحظ ان كميات الخزن الحراري للمواد متغيرة الطور مثل الملح أعلى بكثير من كميات الخزن الحراري لمواد ذات خزن حراري بشكل حرارة محسوسة، وقد تصل هذه الزيادة مقارنة مع أعظم خزن حراري لمادة الكونكريت الثقيل بحدود 30%، حيث يصل السمك الأمثل لمادة الكونكريت الثقيل بحدود 50cm، ويعطي خزن حراري مقداره (22950 kj/m^2)، وتصل نسبة الفرق بين السمك الأمثل لجدار مادة الكونكريت الثقيل، عند السمك الأمثل لجدار

الملح (16cm) بحدود 68%، أما نسبة الفرق بين السمك الأمثل لمادة الكونكريت الثقيل عن السمك الأمثل للشمع (13cm) بحدود 75%، وهي نسب عالية، ويترتب عليها خسائر أكثر في الكلفة وفي الأداء، وهنا تظهر بوضوح الكفاءة العالية لجدار ترومب من (PCM) وخصوصاً باستخدام الأملاح.

الاستنتاجات والتوصيات

1- استخدام المواد المتغيرة الطور، وخصوصاً الملح المائي المشار إليه خلال الدراسة في جدار ترومب يعطي كمية خزن حراري عالية جداً أعلى من الشمع.

2- عدم صلاحية استخدام الكونكريت الخفيف في جدار ترومب، بسبب قلة الخزن الحراري فيه.

3- قيمة كل من الحرارة الكامنة للمادة ودرجة حرارة الذوبان، تؤثران بشكل مباشر في عملية الخزن الحراري في المواد المتغيرة الطور (PCM) مما يؤدي إلى زيادة عملية الخزن الحراري في المادة المتغيرة الطور.

4- ان عملية تصميم جدار ترومب، للتوصل إلى السمك الأمثل للخزن الحراري الأعظم، تعتمد على نوع مادة الخزن الحراري المستخدمة، وكمية الحرارة المسلطة على الجدار.

5- أما جدار ترومب من الشمع فعلى الرغم من قلة سمك الجدار المستخدم في الخزن الحراري، إلا ان الكونكريت الثقيل له القابلية على الخزن الحراري أعلى منه، ولكن بسمك جداري أكبر، وبهذا تكون أفضلية استخدام مواد الخزن الحراري السابقة في جدار ترومب، وفق ظروف أجواء مدينة بغداد في فصل الشتاء كالآتي: الملح المائي، الكونكريت الثقيل، الشمع.

ولغرض تطوير نتائج البحث، ولتوخي نتائج أفضل في الحسابات فإننا نوصي بدراسة تأثير انتقال الحرارة بالحمل والتوصيل معاً، في المواد المتغيرة الطور، وتأثيرهما على عملية الخزن الحراري في جدار ترومب، ومن ثم تأثيرها على التصميم الأمثل لجدار ترومب.

قائمة الرموز LIST OF SYMBOLS

الرمـز	المعنـى	الوحـدة
C	الحرارة النوعية	kj/kg.°c
d	قطر الكبسولة	m
H	الحرارة الكامنة	kj/kg
K	الموصلية الحرارية	w/m.c°
L	طول الكبسولة	m
S	سمك الطبقة الصلبة	m
S (t)	سمك الطبقة السائلة	m
T	درجة الحرارة	°C
T_A	درجة حرارة الهواء الخارجي	C°
T_r	درجة حرارة الغرفة	C°
t	الزمـــن	s
X	سمك الجدار	m
λ	السائـل	
m	الذوبـان	
w	جـدار	
O	خـارج	
π	3.149 ثابت	
St	رقم ستيفن	
α	الانتشارية الحرارية	m^2/s
γ	نسبة الكثافة	
λ	ثابـت	
ρ	الكثافـة	kg/m^3

المنشآت النمو

الأستاذ ا
قسم الهند

نبيـل
سابقا طالب
كلية

الخلاصة

يقدم البحث منشآ
ولظروف مرور متعد
العراق. لقد استخدم د
١٩٨٦ في تصميم هذ
ثلاثة مجاميع تضم الت
وسطى والتربة الجيدة
سبعة أصناف حيث يم
السيارات والشوارع ا
ذات المرور الضعيف
قياسيا مكافئا خلال الف
للمرور فأنه يعود إلى
السريعة في العراق ح
مكافئا خلال فترة تصم
أن معايير المرونة
ما تحت الأساس تم تع
بين معايير المرونة الدي
المقابلة لها. وشبيها لذ
الأساس الحصوية الرم
ثبات مارشال.
لقد أعتبر الفقدان ف
مناسبا لصنف المرور
للطرق الرئيسية.
أما للطرق خفيفة ا
دليل الخدمة الحالي مر
أن أقل سمك لكل م
الأساس فقد خضع إلى
للتصميم الإنشائي للتبلي
ووتسك ومعهد الإسفلت

المصـــادر

1- Benson D.K., Christensen, C.B., and Burrows, R.W., "New phase-change Thermal Energy Storage Materials for Building" Solar Energy Research Inst. Golden Co., Rep. No. SER 1/Tp-225-272, 1985.

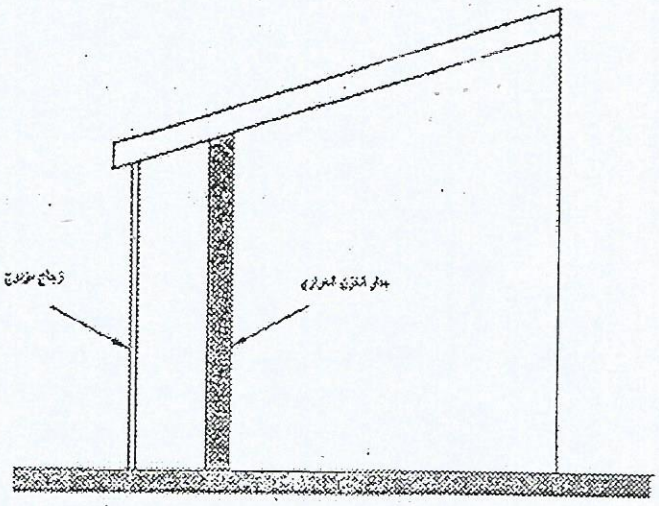
2- Stein, C., "Retrofitable Solar Heating Systems", General Energy Technologies Rep No. NMERD1-2-71-4665, Aug. 1993.

3- Hale, N.W., J.R., and R. Viskanta, "Solid-liquid phase-change Heat Transfer and Interface Motion in Materials Colded or Heated from above or below", J. Heat mass transfer Vol.23, PP.283-292, 1980.

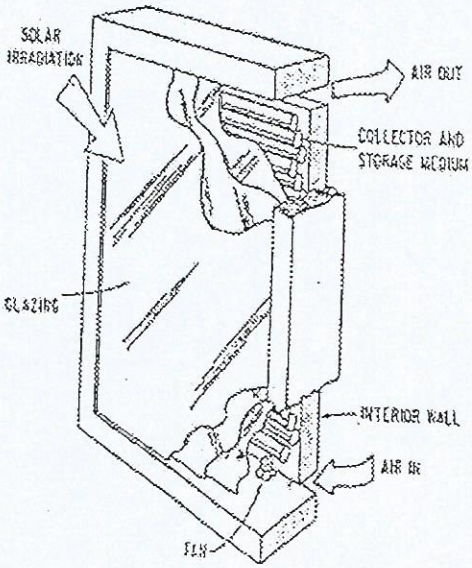
4- لمعان حبري مجلى الحميدي، "استخدام الأملاح كمواد خزن حراري في حائط ترومب"، اطروحة ماجستير، قسم المكائن والمعدات، الجامعة التكنولوجية، 1997.

5-جمال حميد وهيب، دكتور عبد الجبار نعمة، "حلقة وسط الخزن الحراري الصلبة المستخدم في نظام التدفئة السلبي"،بحث منشور في مجلة التقني في العدد 72/2000.

6- Holman, J.P., "Heat Transfer, Fourth Edition, International Students Edition, M.C. Grow Hill, Kogakusha, Ltd., 1976.



شكل (2-1) جدار ترومب بدون فتحات تهوية (Unvented Type Trombe wall)



شكل (2-2) مخطط توضيحي لجدار يحتوي على مواد متغيرة الطور (PCM).

المنشآت النموذج

الأستاذ الد
قسم الهند

نبيـــل
سابقا طالب م
كلية ا

الخلاصة

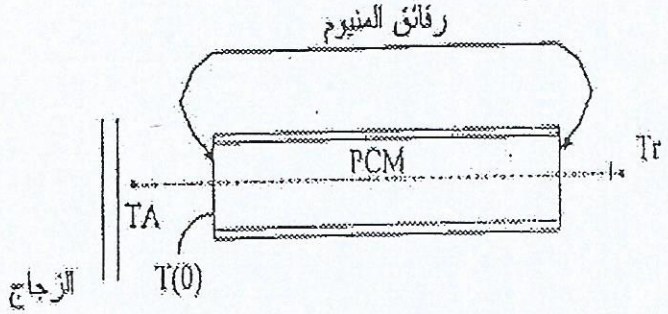
يقدم البحث منشآت
ولظروف مرور متعدد
العراق. لقد استخدم دل
١٩٨٦ في تصميم هذ
ثلاثة مجاميع تضم التر
وسطى والتربة الجيدة
سبعة أصناف حيث يم
السيارات والشوارع ال
ذات المرور الضعيف
قياسيا مكافئا خلال الفت
للمرور فأنه يعود إلى
السريعة في العراق حي
مكافئا خلال فترة تصم

أن معايير المرونة
ما تحت الأساس تم تع
بين معايير المرونة الد
المقابلة لها. وشبيها لذل
الأساس الحصوية الرم
ثبات مارشال.

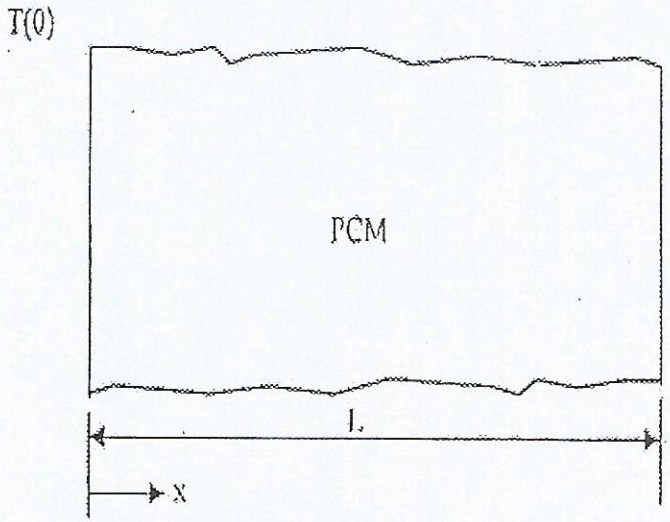
لقد أعتبر الفقدان ف
مناسبا لصنف المرور
للطرق الرئيسية.

أما للطرق خفيفة ا
دليل الخدمة الحالي مر

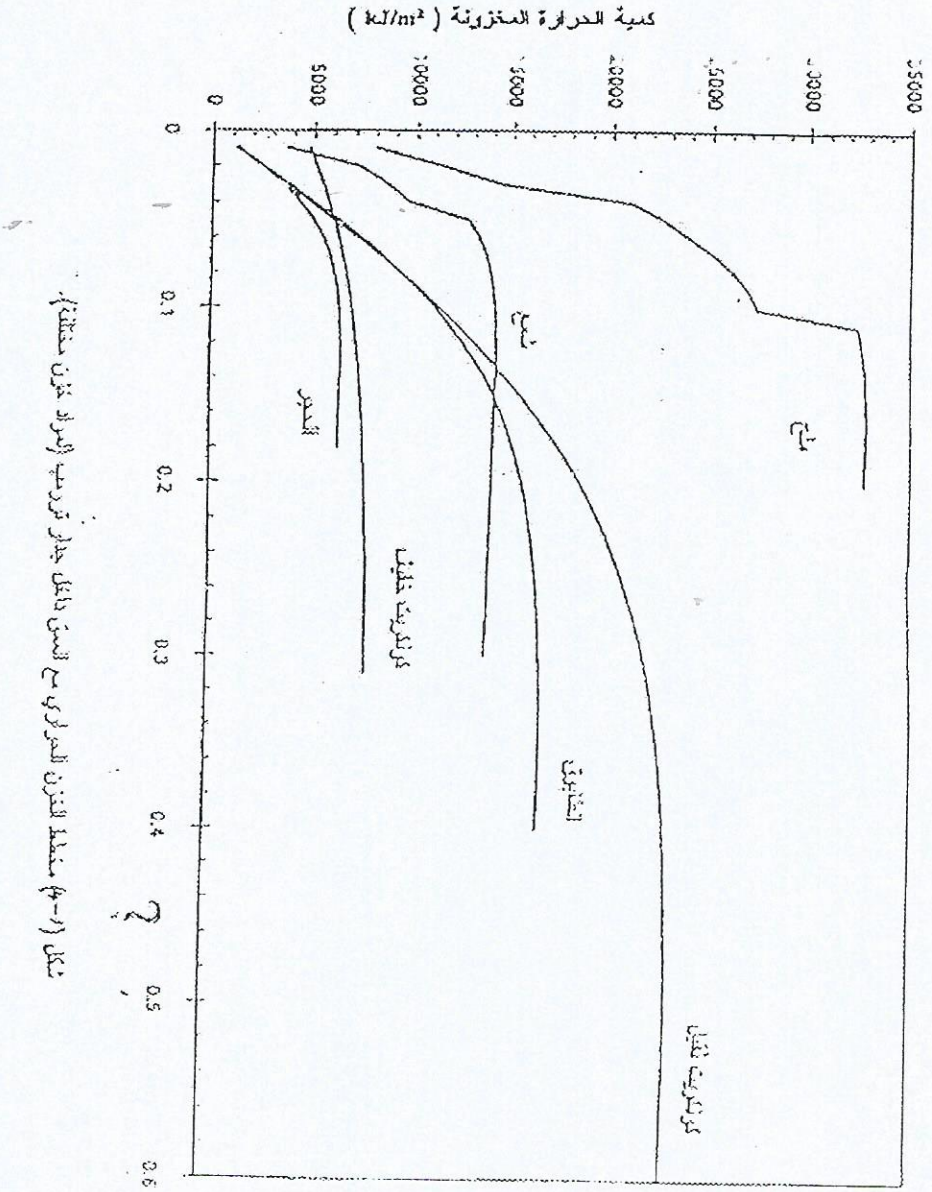
أن أقل سمك لكل م
الأساس فقد خضع إلى
للتصميم الإنشائي للتبلي
ووتسك ومعهد الإسفلت



شكل (3-2) مخطط بسيط لجدار ترومب من مواد متغيرة الطور (PCM)



الشكل (٣-٤) جدار ترومب من مادة متغيرة الطور



شكل (٢-٢) منطقة الخزن الحراري مع الزمن داخل جدار تركيب لمواد خزن مختلفة

المنشآت النموذجية للتبلي

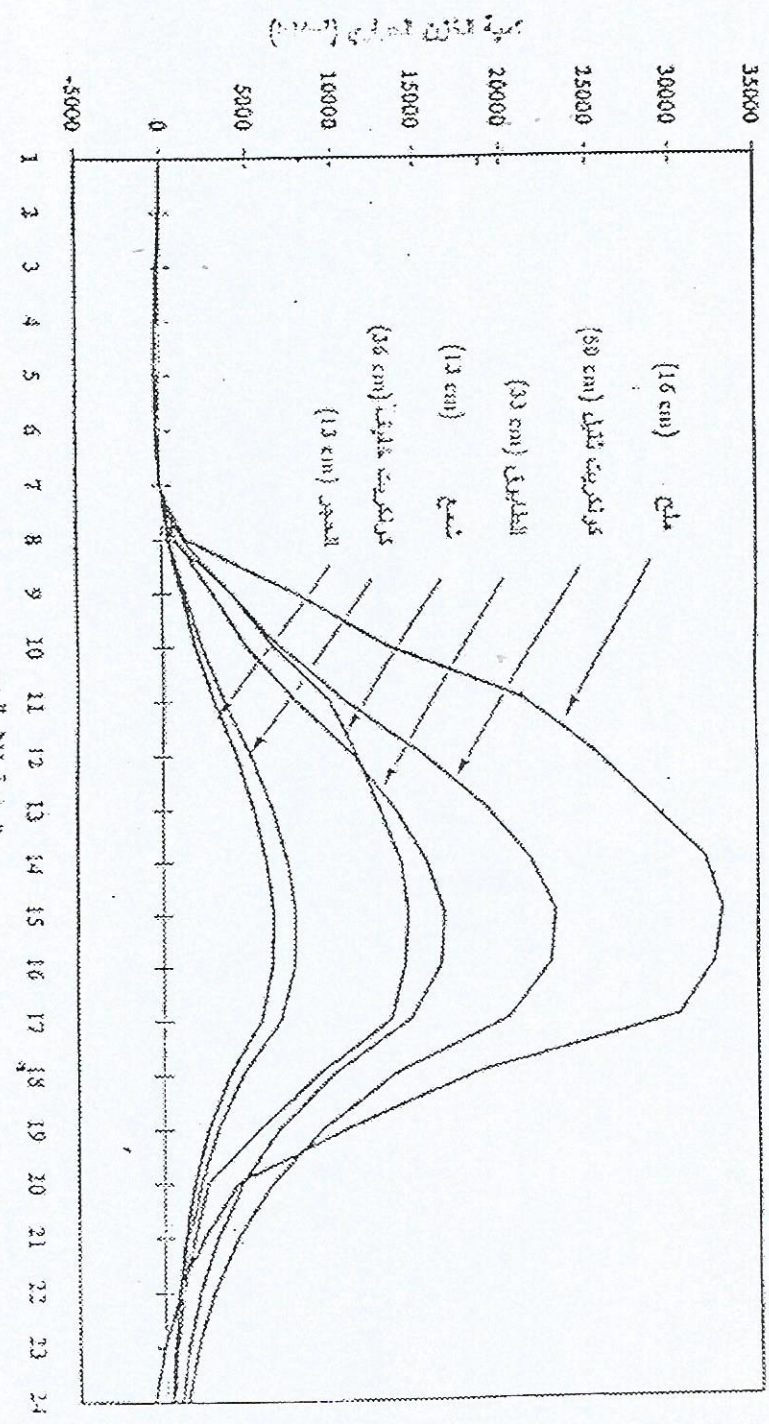
الأستاذ الدكتور ص
قسم الهندسة المدني
جامعة

و

نبيـــل خلـــيل
سابقا طالب ماجستير
كلية الهندسة -

الخلاصة

يقدم البحث منشآت تبليط مر
ولظروف مرور متعددة ولمواد
العراق. لقد استخدم دليل الاشتو
١٩٨٦ في تصميم هذه المقاطع
ثلاثة مجاميع تضم التربة الضع
وسطي والتربة الجيدة إلى الممتـ
سبعة أصناف حيث يمثل الصنـ
السيارات والشوارع السكنية خف
ذات المرور الضعيف حيث يقاب
قياسيا مكافئا خلال الفترة التصم
للمرور فأنه يعود إلى الطرق ال
السريعة في العراق حيث يقابله
مكافئا خلال فترة تصميمية مقدا
أن معايير المرونة الديناميكي
ما تحت الأساس تم تعيينه من خ
بين معايير المرونة الديناميكي لل
المقابلة لها. وشبيها لذلك فأن م
الأساس الحصوية الرملية المثبت
ثبات مارشال.
لقد أعتبر الفقدان في دليل ال
مناسبا لصنف المرور (VI, VII)
للطرق الرئيسية.
أما للطرق خفيفة المرور فق
دليل الخدمة الحالي مرضيا.
أن أقل سمك لكل من الطبقة
الأساس فقد خضع إلى التحديد
للتصميم الإنشائي للتبليط لسنة
ووتسك ومعهد الإسفلت



شكل (3-4) منحنى توزيع كمية الخزن الحراري خلال اليوم لكل مادة عند السمك الأمثل لها.

المنشآت النموذج

الأستاذ الد
قسم الهندس

نبيـــل
سابقا طالب ماج
كلية الهـ

الخلاصة

يقدم البحث منشآت تي
ولظروف مرور متعددة و
العراق. لقد استخدم دليل
١٩٨٦ في تصميم هذه الـ
ثلاثة مجاميع تضم التربة
وسطى والتربة الجيدة إلى
سبعة أصناف حيث يمثل
السيارات والشوارع السكنـ
ذات المرور الضعيف حيث
قياسيا مكافئا خلال الفترة
للمرور فأنه يعود إلى الطر
السريعة في العراق حيث ي
مكافئا خلال فترة تصميمية
أن معايير المرونة الدينا
ما تحت الأساس تم تعيينه
بين معايير المرونة الديناميك
المقابلة لها. وشبيها لذلك فأ
الأساس الحصوية الرملية ال
ثبات مارشال.
لقد أعتبر الفقدان في دلي
مناسبا لصنف المرور (VII
للطرق الرئيسية.
أما للطرق خفيفة المرور
دليل الخدمة الحالي مرضيا.
أن أقل سمك لكل من الط
الأساس فقد خضع إلى التحدي
للتصميم الإنشائي للتبليط لسنـ
ووتسك ومعهد الإسفلت