دراسة عملية وعددية لمجمع شمسي خازن موشوري الشكل ذو مقطع مثلث قائم الزاوية

د.صباح طارق أحمد*

تاريخ التسلم: 2004/12/5
تاريخ القبول: 2006/2/14

الخلاصة

تم في هذا البحث إجراء دراسة عملية ونظرية لمجمع شمسي خازن موشوري الشكل ، يمتاز المجمع بسهولة تصنيعه وكلفته المنخفضة نسبياً لإستغنائه عن أغلب الأجزاء الرئيسية المستخدمة في السخانات الشمسية الإعتيادية ذو مقطع مثلث قائم الزاوية بسعة (190 Liter)، شملت الدراسة العملية إختبار المجمع تحت ظروف البيئة العراقية (مدينة بغداد) وعلى مدار أشهر السنة بتحميل وبدون تحميل وكذلك دراسة تأثير عدد الأغطية الزجاجية ، النتائج العملية بينت إمكانية تسخين الماء في شهر (شباط 3002) من(16 C°) ولغاية (44 C°) أي ما يعادل(28 C°) إرتفاع في درجة حرارة الماء ، الدراسة النظرية تظمنت إعداد نموذج رياضي مبرمج ودراسة ظاهرة الحمل الحر للمجمع الشمسي بإستخدام (Computational of Fluid Dynamic) (CFD) لحل معادلة الإستمرارية ومعادلتي الزخم ثنائية البعد ومعادلة إنتقال الطاقة، وقد بينت النتائج النظرية التصرف الفيزيائي المتوقع وتقاربه مع النتائج العملية.

Abstract

An experimental and theoretical study was done in this investigation for the solar collector storage pyramidal right triangular cross sectional area with (190 Liter) capacity. The experimental study concluded tests under environmental conditions of Baghdad through a year with and without load and also the effect of the number of glass covers. The experimental results shows the ability to heat water from (16 C°) to (44 C°) which this means (28 C°) temperature rise at February (2003). The theoretical study consist of a numerical model which was used to study consist of a numerical model which was used to study the natural convection for the solar collector by making us (C.F.D) (Computational Fluid Dynamic) to solve the two dimensional continuity, momentum and energy equation. The theoretical results shows a good a germinate between the predicted and the actual results.

الرموز

السرعة الأفقية والعمودية (m)	u,v	الإنتشارية الحرارية (m^2/s)	α
السرعة اللابعدية الأفقية والعمودية	U,V	معامل التمدد الحجمي	β
الإحداثي الأفقي والعمودي	x,y	كثافة الفيض الحراري (w/m^2)	q
الإحداثي اللابعدي الأفقي والعمودي	X,Y	سرعة إفتراضية (m/s)	ψ,φ
الإحداثيات اللابعدية العمودية	ζ,η	دالة الإنسياب البعدية واللابعدية	ω,Ω
المسافة اللابعدية المساعدة	L_i	الدوامية البعدية واللابعدية	ψ,φ

* قسم هندسة المكائن والمعدات / الجامعة التكنولوجية، بغداد – العراق.

https://doi.org/10.30684/etj.24.8A.2
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

المسافة الكلية اللابعدية في الأتجاهين	L_2, L_3
درجة الحرارة البعدية واللابعدية	T, θ
الموصلية الحرارية ($W/m.C$)	K
كثافة الماء (kg/m^3)	ρ
الحرارة النوعية للماء ($kj/kg.k$)	Cp
الزمن اللابعدي	τ
عدد رينولدز ويساوي (Lu_o/v)	Re
عدد برانتل ويساوي (v/a)	Pr
عدد كراشوف ويساوي $(g\beta qL/kv)$	Gr
عدد بكلت	Pe
اللزوجة الديناميكية ($N.S/m^2$)	μ

المقدمة

يعد تسخين المياه أحد التطبيقات المهمة في استغلال الطاقة الشمسية ، حيث تشير الدراسات إلى أن منظومات تسخين المياه تساهم في توفير الإحتياجات المنزلية من الماء الساخن بنسبة (40 – 70 %) إعتمادا على نوع التصميم وكفائة هذه المنظومات والظروف المناخية [1]. من المعروف أن كلفة السخانات الشمسية تعد العقبة الأساس في إنتشارها وإستعمالها على نطاق واسع، لذلك تم في هذا البحث جراء فحص لإداء مجمع شمسي خازن موشوري ذو مقطع مثلث قائم الزاوية. يمتاز المجمع بسهولة تصنيعه وكلفته المنخفضة نسبيا وذلك لإستغنائه عن أغلب الأجزاء الرئيسية المستخدمة في السخانات الشمسية الاعتيادية. التصميم الحالي المقترح والذي تم تنفيذه من خلال البحث تم الإستفادة من ظاهرة التدرج الحراري التي تحصل في المجمع بسبب فرق الكثافة والتي تعطي إمكانية سحب الحرارة المطلوبة من الجزء الساخن للمجمع وإضافة كمية أخرى من الماء الجديد للجزء البارد من الخزان وهذا ما يجعل المجمع يعمل بكفاءة . الجانب النظري من البحث تظمن إعداد نموذج رياضي لدراسة ظاهرة الحمل الحر داخل المجمع الشمسي بإستخدام طريقة (الدوامة – دالة الإنسياب) (Vorticity and Stream Function) والتي تؤدي إلى إبدال التعامل مع معادلة الإستمرارية ومعادلتي الزخم بإتجاه (x,y) إلى حل معادلتين فقط هما معادلة نقل الدوامة ومعادلة الإنسياب بالإضافة إلى معادلة إنتقال الحرارة.

تصميم المنظومة

تتكون منظومة التسخين الشمسية المنزلية ، ذات الدوران الطبيعي والتسخين المباشر من مجمع شمسي خازن يستخدم للتجميع والخزن في آن واحد ، تم تصميم وتصنيع المنظومة بشكل موشوري ذو مقطع مثلث قائم الزاوية وذلك لتوفير زاوية ميل للمجمع مقدارها (45°) لميلان المجمع لمدينة بغداد خلال فترة الشتاء .الصورة الفوتوغرافية (1) والمخطط شكل (2) يوضحان المظهر العام للمنظومة الشمسية. أبعاد المجمع الشمسي (70×70×80cm) يعطي المجمع حجما مقداره (190) لتر من الماء.

صنع الخزان وصفيحة الإمتصاص من مادة الحديد المغلون بسمك (1.25 mm) لعدة اعتبارات منها جعله يتحمل وزن وضغط الماء ولتفادي حدوث عملية الإنتفاخ التي تحصل نتيجة إمتلاء الخزان بالماء ، تم طلاء صحيفة الإمتصاص بطلاء أسود داكن غير لماع (بإفتراض له إمتصاصية مقدارها 0.96 وإنبعاثية مقدارها 0.81). أستعمل غطاء من زجاج الشبابيك العادي بسمك (4mm) مثبت داخل إطار بواسطة معجون خاص لمنع تسرب الهواء الساخن من داخل الحيز الهوائي، كذلك وضع إطار متحرك يحتوي على طبقة من الزجاج بنفس السمك السابق وذلك لفحص أداء المجمع بغطاء مفرد ومزدوج وابقيت المسافة بين المحصورة الغطاء الزجاجي صفيحة الامتصاص مساوية الى (2.5 cm) وتبعا لعدة مصادر [2] فإن هذه المسافة تعطي أفضل عزل لإنتقال الحرارة بواسطة الحمل والشعاع من سطح الإمتصاص الحار نسبيا إلى الزجاج

البارد. تم عزل المجمع من الأسفل والجوانب بطبقة من الصوف الزجاجي بسمك (7.5cm) للحد من الخسائر الحرارية.

توزيع نقاط قياس درجات الحرارة داخل المجمع

لتقييم أداء المجمع لابد من قياس درجة حرارة الماء داخله والتي تعطي مؤشراً رئيسيا لقياس الطاقة الحرارية المفيدة المستخلصة من المجمع الشمسي وبالتالي تحديد كفاءة المنظومة . تم توزيع نقاط المزدوجات الحرارية داخل المجمع كالآتي :-

درجة حرارة الغطاء الزجاجي في نقطتين من الخارج ونقطتين من الداخل.

درجة حرارة السطح الماص في خمسة نقاط طولية.

درجة حرارة الماء داخل السخان وذلك بتثبيت إحدى وعشرين نقطة قياس بإستخدام شبكة معدنية توضع داخل المجمع الشمسي فتقسمه إلى سبعة أقسام متساوية في الإرتفاع لكنها مختلفة في المساحة بحكم ميلان السطح الماص ، تثبت المزدوجات الحرارية في منتصف كل مساحة من تلك المساحات لتمثل معدل درجات الحرارة في ذلك الجزء من المجمع ، والشكل رقم (3) يوضح كيفية توزيع المزدوجات الحرارية داخل المجمع .

أسلوب فحص السخان

تم إختبار السخان الشمسي تحت الظروف المختلفة لمدينة بغداد ، وأجريت التجارب على المجمع الذي يميل بزاوية مقدارها (45°) درجة عن الأفق وموجه بإتجاه الجنوب الجغرافي خلال فصلي الشتاء والصيف ، إبتدأ من شهر شباط إلى شهر أيلول من عام (2003). أجريت الإختبارات في أيام مختلفة وبلغ عدد التجارب أربعون تجربة حيث دونت القراءات في كل ساعة لجميع المتغيرات وهي (درجة حرارة الماء، درجة حرارة الهواء، درجة حرارة صفيحة الإمتصاص، درجة حرارة الغطاء الزجاجي، درجة حرارة الماء الداخل والخارج من السخان). قسم البحث إلى جزئين، يتضمن الجزء الأول فحص أداء المجمع بدون تحميل أي بدون سحب للماء بإستعمال غطائين زجاجيين أو غطاء زجاجي واحد وإيجاد معدل درجة حرارة الماء والكفاءة لكلا الحالتين. أما الجزء الثاني فيتضمن تقييم أداء المجمع الشمسي بوجود تحميل أي سحب للماء بكميات عشوائية مختلفة. تبدأ كافة التجارب عند الساعة الثامنة صباحاً وتستمر إلى الساعة الخامسة أو السادسة وحسب الموسم. وكان يتم في بداية كل تجربة ملء المجمع بماء جديد وتنظيف الغطاء الزجاجي وفحص الأجهزة ونقاط التوصيل للمزدوجات الحرارية.

النموذج الرياضي

أن المعادلات التي تصف انتقال الزخم والطاقة في حالة الحمل الحر للجريان الطباقي ثنائي البعد داخل حيز مغلق وبإهمال التبدد اللزج ومن دون توليد حرارة وباعتبار ان المائع لا انضغاطي تكتب بالشكل التالي [3]:-

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+ v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \qquad (2a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+ v\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-g\beta\Delta T \qquad (2b)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}+u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \quad (3)$$

حيث أن المعادلة (1) تمثل معادلة الاستمرارية والمعادلتان (2a) و(2b) تمثلان معادلتا الزخم باتجاه (x) و(y) أما المعادلة (3) فتمثل معادلة الطاقة .أنظر الشكل (b – 4) لتحديد الظروف الحدية.

طريقة (الدوامية – دالة الانسياب)
Vorticity and Stream Function Method

ان الصعوبة المرتبطة مع عملية أيجاد الضغط أدت إلى أيجاد طريقة تؤدي إلى حذف حد الضغط من المعادلات الحاكمة وذلك عن طريق الاشتقاق المتعاكس ومن تعريف معادلة الاستمرارية ودالة الانسياب للسرعة الأفقية والعمودية يمكن الحصول على معادلة نقل الدوامية والتي تكتب بالشكل النهائي التالي:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t}+\frac{\partial \varphi}{\partial y}\frac{\partial \Omega}{\partial x}+\frac{\partial \varphi}{\partial x}\frac{\partial \Omega}{\partial y}= \nu\left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \Omega}{\partial y^2}\right)+g\beta\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right) \quad (4)$$

أن لهذه الطريقة بعض الخواص الفعالة فعلاوة على عدم ظهور حد الضغط في المعادلات الحاكمة ، يتم حل معادلتين فقط للحصول على دالة الانسياب والدوامية بدلا من التعامل مع معادلة الاستمرارية ومعادلتي الزخم .

لكتابة المعادلات بصيغة لا بعدية ، تعرف أولا المقادير اللابعدية وبالشكل التالي [4] .

$X = x / L$ ، $Y = y / L$

$\tau = t\ uo / L$

$V = v / u$ $U = u / uo$

$\theta = (t\text{-}tin) k / q L$

$\Psi = \varphi / uo L$

$\omega = \varphi L / uo$

$Re = uoL / v$

$Gr = g\ \beta\ q\ L4 / \upsilon\ k$

$Pr = Cp\ u / k$

$Pe = Re\ Pr$

قيمة افتراضية صغيرة تقترب من الصفر = uo

باستخدام الفرضيات اللابعدية أعلاه فان معادلتي دالة الانسياب ونقل الدوامية تكتب بالصيغة التالية :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2}=-\omega \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial \omega}{\partial \tau}+\frac{\partial \psi}{\partial Y}\frac{\partial \omega}{\partial X}-\frac{\partial \psi}{\partial X}\frac{\partial \omega}{\partial Y}\right)= \frac{Gr}{Re^2}\left(\frac{\partial \theta}{\partial X}\right)+\frac{1}{Re}\left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 \omega}{\partial Y^2}\right) \quad (6)$$

نفرض للحمل الحر (Re = 1)

كذلك فان معادلة الطاقة ومن دون توليد حرارة ومن دون إشعاع وباهمال التبدد اللزج تكون بالشكل الاتي:

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau}+\frac{\partial \psi}{\partial Y}\frac{\partial \theta}{\partial X}-\frac{\partial \psi}{\partial X}\frac{\partial \theta}{\partial Y}\right)= \frac{1}{Pe}\left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2}\right) \quad (7)$$

استخدم نظام مطابقة إحداثيات الجسم لتوليد الشبكة ذات الإحداثيات العامة (ζ , η) بدلا من استخدام نظام الإحداثيات الديكارتية (x , y)، بفرض عدم تغير درجات الحرارة على طول المحور (z) والذي يمثل عمق المجمع الشمسي. باستخدام معادلات التحويل إلى الإحداثيات العامة (ζ , , η) ألاتية :-

$$\frac{\partial f}{\partial x}=\frac{1}{J}\left[y_\eta f_\zeta - y_\zeta f_\eta\right] \quad (8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x}=\frac{1}{J}\left[x\eta f\zeta - x\eta f\zeta\right] \quad (9)$$

حيث أن (J) هو مصفوفة جاكوبي (Jacobian Matrix) :-

$$J = x_\zeta y_\eta - x_\eta y_\zeta \quad (10)$$

تم الحصول على نقاط الشبكة الداخلية من خلال استخدام معادلات جبرية بعد إعطاء القيم الحدية التي من خلالها سيتم بناء وتوليد الشبكة التي تخص الشكل الهندسي، في دراستنا الحالية الخطوة الأولى هو تحديد الطول اللابعدي الكلي باتجاه (x , y) والذي يمكننا من الحصول على زاوية الميلان المثلى، وعليه فان الحدود التي تم إعطاءها للحصول على الشبكة المبينة في الشكل (4)، هما (L2 = L1 =1) أما. (L3 = 1..) فهي مسافة صغيرة جدا لا تؤثر على الحل ولكنها مهمة في بناء الشبكة، أما الخطوة الثانية فيتم فيها تعيين عدد النقاط المعطاة باتجاه (x) وباتجاه (y). حيث كان عدد النقاط المعطى هو (31, 31) بما يحقق استقرارية الحل العددي . أما الخطوة الثالثة فيتم فيها حساب المسافة بين التقسيمات التي تمثل (dx , dy) ومن ثم حساب كل النقاط بما يلائم موقعها من نقطة الأصل.

الظروف الابتدائية المستخدمة في حل كل من معادلة درجة الحرارة ونقل الدوامية ودالة الانسياب تؤخذ عند ($\tau = 0$) حيث ان ($\theta = \psi = \omega = 0$) . اما الشروط الحدية فهي مطلوبة لكل حدود مجال الحسابات ، بشكل عام فان دالة الانسياب (Stream function) على سطوح الجدران تكون قيمتها ثابتة ومساوية للصفر باعتبار إن السرعة بالاتجاهين الأفقي والعمودي تكون تقريبا مساوية إلى الصفر. أما الدوامية على سطوح الجدران فلا يتم معالجتها على نحو يسير طالما أن قيمتها تعتمد على متوسط مكونات السرعة والتي تكون مجهولة حتى نهاية الحسابات إذ يعد معرفة قيمتها جزا من الحل. والشكل (4) يبين الظروف الحدية المستخدمة في حل المعادلات الحاكمة.

الحل العددي

تم استخدام الحل العددي لإيجاد النتائج النهائية للخواص الفيزيائية التي تخص ظاهرة الحمل الطبيعي خلال حيز مغلق مثلث الشكل ، تم استخدام الطريقة الواضحة أو الصريحة (*Explicit Method*) في حل معادلتي نقل الدوامية ودرجة الحرارة وهما معادلتي قطع مكافئ ، أما بالنسبة لدالة الانسياب فقد تم حلها باستخدام طريقة الأرخاء اعتمادا على قيمة الدوامية القديمة ، وتعاد عملية التكرار حتى يصل الحل إلى الحالة المستقرة .تم تحويل المعادلات التفاضلية اللاخطية الحاكمة للجريان إلى معادلات جبرية خطية باستخدام طريقة الفروقات المحددة ، والتي تعد الأساس أو المنطلق لعملية الحل العددي. باستخدام الفروق المتقدمة للمشتقة الزمنية والفروقات المركزية للحدود الحمل والانتشار تصبح المعادلات الحاكمة بالشكل التالي :-

$$\omega^{n+1}_{(i,j)} = \omega^{n}_{(i,j)} + \left[\left(\frac{\psi^{n}_{(i+1,j)} - \psi^{n}_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta\zeta} \cdot \frac{\omega^{n}_{(i,j+1)} - \omega^{n}_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta\eta} - \frac{\psi^{n}_{(i,j+1)} - \psi^{n}_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta\eta} \right.\right.$$

$$\left. \cdot \frac{\omega^{n}_{(i+1,j)} - \omega^{n}_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta\zeta} \right) \Big/ J + \lambda_{(i,j)} \cdot \frac{\omega^{n}_{(i+1,j)} - \omega^{n}_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta\zeta} - \sigma_{(i,j)} \cdot \frac{\omega^{n}_{(i,j+1)} - \omega^{n}_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta\eta} +$$

$$\alpha_{(i,j)} \cdot \frac{\omega^{n}_{(i+1,j)} - 2\cdot\omega^{n}_{(i,j)} + \omega^{n}_{(i-1,j)}}{\Delta\zeta^{2}} - 2\cdot\beta_{(i,j)} \cdot \frac{\omega^{n}_{(i+1,j+1)} - \omega^{n}_{(i+1,j-1)} + \omega^{n}_{(i-1,j+1)} + \omega^{n}_{(i-1,j-1)}}{4\cdot\Delta\zeta\cdot\Delta\eta}$$

$$\left. + \gamma_{(i,j)} \frac{\omega^{n}_{(i,j+1)} - 2\cdot\omega^{n}_{(i,j)} + \omega^{n}_{(i,j-1)}}{\Delta\eta^{2}} \right] \Big/ Re\cdot J^{2}_{(i,j)} + \frac{Gr}{J\,Re^{2}} \left(\frac{\theta^{n}_{(i+1,j)} - \theta^{n}_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta\zeta} \right) \qquad (11)$$

أما بالنسبة لمعادلة درجة الحرارة فيتم استخدام الأسلوب نفسه في تحويل حدود الحمل والانتشار بالإضافة إلى حد الزمن من صيغتها التفاضلية إلى معادلات جبرية وكما يلي:

$$\theta^{n+1}_{(i,j)} = \theta^{n}_{(i,j)} + \left[\left(\frac{\theta^{n}_{(i+1,j)} - \theta^{n}_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta\zeta} \cdot \frac{\theta^{n}_{(i,j+1)} - \theta^{n}_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta\eta} - \frac{\theta^{n}_{(i,j+1)} - \theta^{n}_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta\eta} \right.\right.$$

$$\left.\cdot \frac{\theta^{n}_{(i-1,j)} - \theta^{n}_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta\zeta} \right) \Big/ J + \lambda_{(i,j)} \cdot \frac{\theta^{n}_{(i+1,j)} - \theta^{n}_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta\zeta} - \sigma_{(i,j)} \cdot \frac{\theta^{n}_{(i,j+1)} - \theta^{n}_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta\eta} +$$

$$\alpha_{(i,j)} \cdot \frac{\theta^{n}_{(i+1,j)} - 2\cdot\theta^{n}_{(i,j)} + \theta^{n}_{(i-1,j)}}{\Delta\zeta^{2}} - 2\cdot\beta_{(i,j)} \cdot \frac{\theta^{n}_{(i+1,j+1)} - \theta^{n}_{(i+1,j-1)} + \theta^{n}_{(i-1,j+1)} + \theta^{n}_{(i-1,j-1)}}{4\cdot\Delta\zeta\cdot\Delta\eta}$$

$$\left. + \gamma_{(i,j)} \cdot \frac{\theta^{n}_{(i,j+1)} - 2\cdot\theta^{n}_{(i,j)} + \theta^{n}_{(i,j-1)}}{\Delta\eta^{2}} \right] \Big/ Re\cdot J^{2}_{(i,j)} \qquad (12)$$

أما معادلة دالة الانسياب فتكتب عدديا بالشكل التالي:-

$$\lambda_{(i,j)} \cdot \frac{\psi^{n}_{(i+1,j)} - \psi^{n}_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta\zeta} - \sigma_{(i,j)} \cdot \frac{\psi^{n}_{(i,j+1)} - \psi^{n}_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta\zeta} +$$

$$\alpha_{(i,j)} \cdot \frac{\psi^{n}_{(i-1,j)} - 2\cdot\psi^{n}_{(i,j)} + \psi^{n}_{(i-1,j)}}{\Delta\zeta^{2}} + \gamma_{(i,j)} \cdot \frac{\psi^{n}_{(i,j+1)} - 2\cdot\psi^{n}_{(i,j)} + \psi^{n}_{(i,j-1)}}{\Delta\eta^{2}} \qquad (13)$$

$$- 2\cdot\beta_{(i,j)} \cdot \frac{1}{2\Delta\zeta} \left(\frac{\psi^{n}_{(i+1,j+1)} - \psi^{n}_{(i+1,j-1)}}{2\cdot\Delta\eta} - \frac{+\psi^{n}_{(i-1,j+1)} + \psi^{n}_{(i-1,j-1)}}{2\cdot\Delta\zeta} \right)$$

$$+ J^{2}_{(i,j)} \cdot \omega_{(i,j)} = Error = 0$$

النتائج والمناقشة

الأشكال (5) و(6) توضح العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي والطاقة الحرارية المكتسبة النظرية والحقيقية لأيام مختلفة صيفا وشتاءا حيث نلاحظ زيادة تدريجية في شدة الإشعاع الشمسي إلى أن يصل إلى أعلى قيمة له عند منتصف النهار ثم بعد ذلك يبدا بالانخفاض التدريجي ، ويلاحظ أيضا الشكل العام لتصرف الطاقة النافعة حيث تزداد قيمتها تدريجيا حتى منتصف النهار ، حيث نلاحظها تتبع شدة الإشعاع الشمسي ولكن بفارق وهذا الفارق هو الذي يحدد كفاءة المجمع .

الشكل (7) والشكل (8) يوضحان تغيير معدل درجة حرارة ماء المجمع خلال ساعات النهار للأيام المختارة والموضحة في الأشكال المذكورة، حيث نلاحظ أن معدل درجة حرارة الماء في زيادة مستمرة حتى نهاية التجربة (عند المساء)، وهو مطابق لما ورد في عدة مصادر [5] من حيث الزيادة الساعية ولكنها مختلفة بالقيمة وهذا بالتأكيد بسبب الاختلاف في تصميم المجمع الخازن والظروف الجوية.

ان كمية الطاقة المخزونة هي في زيادة مستمرة خلال فترة الاختبار تبعا لزيادة معدل درجة حرارة الماء والشكل (9) والشكل (10)

يوضحان تغير الطاقة المخزونة مع ساعات النهار لكل وحدة حجم خلال فترة الاختبار .
توضح الأشكال (11) و (12) كيفية تغير الكفاءة العملية والنظرية للمجمع الشمسي مع ساعات النهار في حالة عدم وجود حمل ، حيث يلاحظ أن كفاءة السخان العملية تكون منخفضة خلال ساعات النهار الأولى وذلك لان الأشعة الشمسية الواصلة تكون قليلة في ذلك الوقت ، ومن ثم تبدا بالزيادة حتى منتصف النهار تقريبا . والسبب في ذلك هو الارتفاع الحاصل في درجات الحرارة خلال المجمع وكذلك لقلة الطاقة المفقودة نسبيا في ذلك الوقت، بعد ذلك تقل الكفاءة الحقيقية للمجمع وخاصة بعد الساعة الواحدة أو الثانية ظهرا وحسب الموسم حيث تقل الطاقة الحرارية المتجمعة يقابلها زيادة في الخسائر الحرارية .
نلاحظ من الشكل (13) تأثير معدل سحب الماء أثناء ساعات النهار على كفاءته ، حيث تم سحب كميات مختلفة من الماء بعد الساعة الواحدة من الجزء العلوي من المجمع حيث نلاحظ زيادة الكفاءة اليومية تدريجيا مع معدل سحب الماء من الخزان، وذلك بسبب زيادة الطاقة المتجمعة أو المكتسبة نتيجة الفرق الحاصل في درجات الحرارة بين صفيحة الامتصاص والماء الجديد الذي يزود به السخان بعد كل عملية سحب للماء الساخن، أن استخدام اكثر من غطاء زجاجي يؤدي إلى تقليل الخسائر الحرارية وبالتالي زيادة كفاءة المجمع الشمسي ، أثبتت النتائج العملية انه عند استخدام غطاء زجاجي واحد فان كفاءة المجمع الشمسي اليومية كانت (40 %) بينما كانت (42 %) في حالة استخدام غطاءين زجاجيين عند رسم الكفاءة الساعية مع ساعات النهار في حالة غطاء زجاجي واحد وغطاءين تحت ظروف متشابهة تقريبا ولنفس المجمع فان الكفاءة في الحالة الأولى تكون اقل من الحالة الثانية والشكل (14) يوضح ذلك.
فيما يخص النتائج التي تم الحصول عليها من الأنموذج الرياضي فقد تم تمثيل توزيع درجات الحرارة والجريان خلال المجمع الشمسي الخازن لكل ساعة من ساعات النهار في حالة عدم وجود حمل (عدم سحب ماء من المجمع). أن توزيع درجات الحرارة يوضحه الشكل (15) حيث تم رسم توزيع درجات الحرارة لساعات مختلفة من النهار ، يلاحظ من الأشكال المذكورة التغير المستمر في التدرج الحراري بسب الفرق في كثافة مائع نقل الحرارة (الماء) نتيجة التسخين الشمسي وبسب هذا الفرق في الكثافة يتم تحريك المائع وتدويره ذاتيا خلال المنظومة حيث ترتفع الطبقات الساخنة باستمرار إلى الجزء الأعلى من المجمع . أما الجريان فقد تم تمثيله بشكل خطوط دالة الانسياب (Stream Function) للمجال المحسوب إذ تم التعبير عن مجال السرعة سابقا بدلالة دالة الانسياب ، أن توزيع دالة الانسياب موضحة في الشكل (16) لساعات مختلفة من النهار ، حيث نلاحظ شكل ونمط الجريان داخل المجمع الذي يحدث بصورة ذاتية نتيجة التسخين الشمسي الذي يسبب فرق في الكثافة ، ومن ملاحظة الأشكال المذكورة نجد أن الشكل العام للجريان لا يتغير كثيرا مع ساعات النهار مع وجود تغير في قيمته ويعزى هذا التغير إلى السرعة الواطئة لجزيئات الماء.
من اجل التأكد من موثوقية النموذج الرياضي العددي تم أجراء مقارنة بين النتائج التي تم التوصل أليها والنتائج العملية والشكل (17) يوضح المقارنة التي أجريت لدرجات الحرارة ليوم(5 شباط)، ومن الشكل نلاحظ تقارب كبير في نمطية التصرف للنموذج الرياضي مع النتائج العملية من حيث التدرج الحراري والذي يعتبر الأساس في المجمعات الشمسية الخازنة.

الأستنتاجات

بينت النتائج العملية إمكانية إستخدام هذا النوع من المجمعات في تجهيز الماء الساخن للأغراض المنزلية أو أستخدامه كسخان إبتدائي للأغراض المنزلية والصناعية مما يساعد على ترشيد إستهلاك الطاقة الكهربائية حيث أمكن

تسخين (190) لتر من الماء إلى درجات حرارة مختلفة اعتمادا على ظاهرة التدرج الحراري التي تحدث في المجمع ، فكانت أقصى درجة حرارة في اليوم الخامس من شباط هي (44 C°) بينما أقل درجة حرارة كانت (28 C°) وبمعدل درجة حرارة مقدارها (34 C°) عندما كانت درجة حرارة الماء الإبتدائية (16 C°) وهذا يمثل رفع درجة حرارة الماء بمقدار (28 C°) .برهنت النتائج بأن إضافة غطاء زجاجي ثاني سوف يقلل من الخسائر الحرارية وبالتالي يحسن من إرتفاع درجة الحرارة داخل المجمع وبينت النتائج أيضا أن كفاءة المجمع تزداد في حالة سحب الماء الساخن عندما يصل إلى درجة حرارته القصوى وإبداله بماء جديد .

أظهرت النتائج النظرية والعملية تشابه في نمطية التصرف وتقارب في النتائج من حيث تدرج درجات الحرارة والحركة الدوامية للماء الساخن خلال المجمع الشمسي الهرمي الخازن.

Refrences

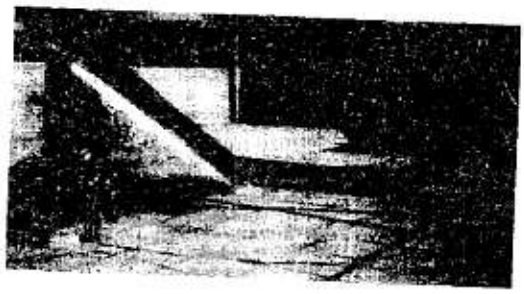
1 Merino, M., " How Solar Energy Was Accepted By Cyprus" , Sun World, vol. 9 , no. 2 ,pp. 53 1985.

2 Jan F. Kreider, Frank Kreider, "Solar Heating and Cooling, Engineering Practical Design Economics", Hemisphere Publishing Corporation, 1977

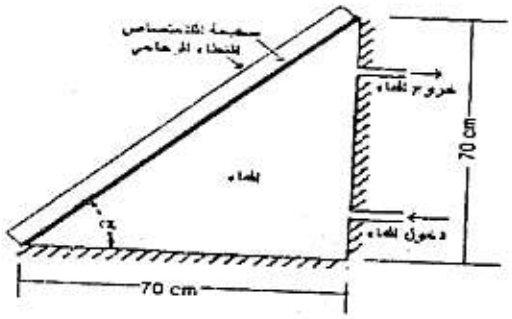
3 Guo K. L., Wu S. T., "Numerical Study of Flow and Temperature Stratification in a Liquid Thermal Storage Tank "Journal of Solar Energy Engineering", Vol. 107/15, February 1985.

4 Prasad V., Kulacki F. A., "Natural Convection in a Rectangular Cavity with Constant Heat Flux on one Vertical Wall", Journal of Heat Transfer Vol. 106, pp. 152-157 February 1984.

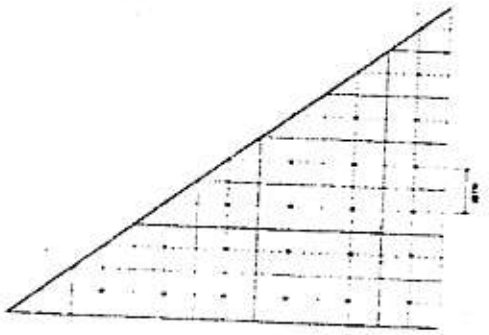
5 Sodha M. S., Bansal P. K., Kaushik N. D., " Performance of Collector / Storage Solar Water Heaters: Arbitrary Demand Pattern" Energy Con. & Mgmt Vol. 21, pp. 229-238, 1984.



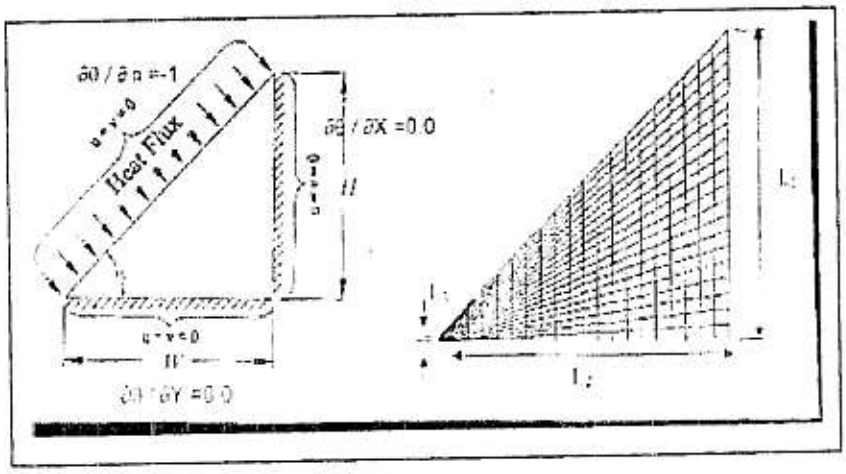
شكل (1) صورة فوتوغرافية للمجمع الشمسي الخازن



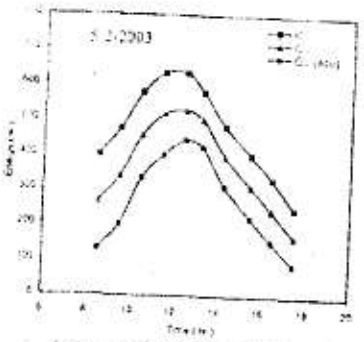
شكل رقم (2) يمثل مخطط للمجمع الشمسي المستخدم



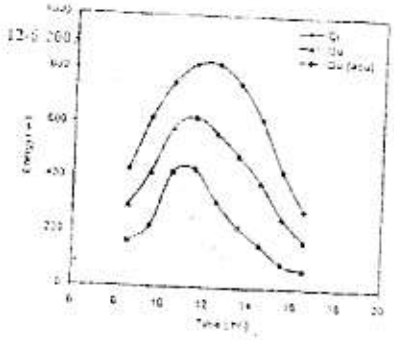
شكل رقم (3) مخطط يمثل كيفية توزيع المزدوجات الحرارية داخل المجمع



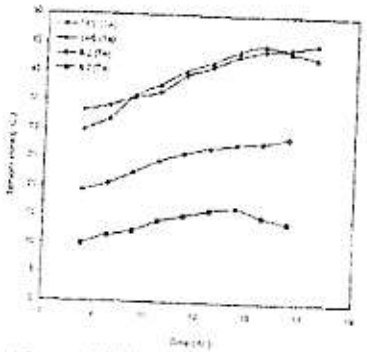
الشكل(4) a : يمثل الشبكة العقدية، b: الشروط الحدية المستخدمة



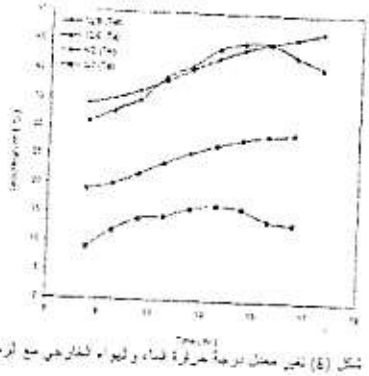
شكل (5) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي والمساحة المكشوفة النظرية والحقيقية



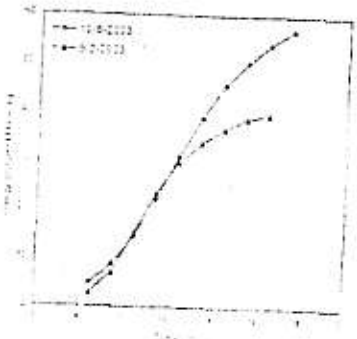
شكل (6) العلاقة بين شدة الإشعاع الشمسي والمساحة المكشوفة النظرية والحقيقية

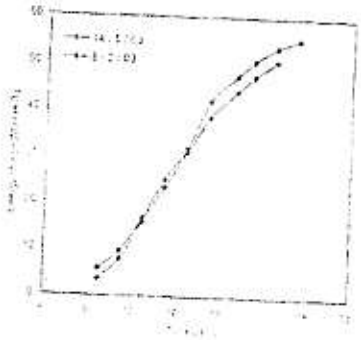


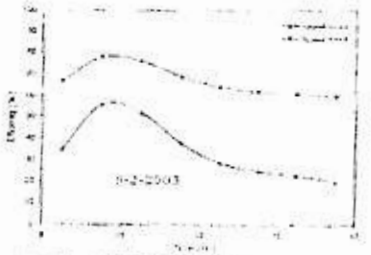
شكل (7) تغير معدل درجة حرارة الماء والهواء الخارجي مع الزمن

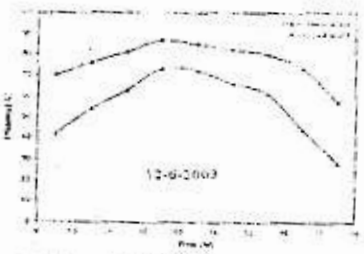


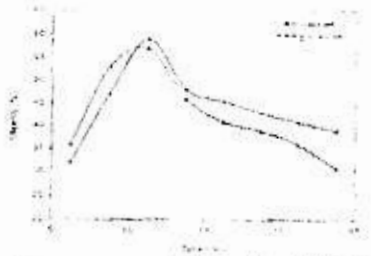
شكل (8) تغير معدل درجة حرارة الماء والهواء الخارجي مع الزمن

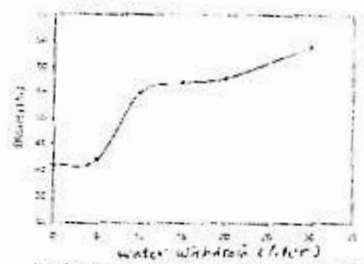


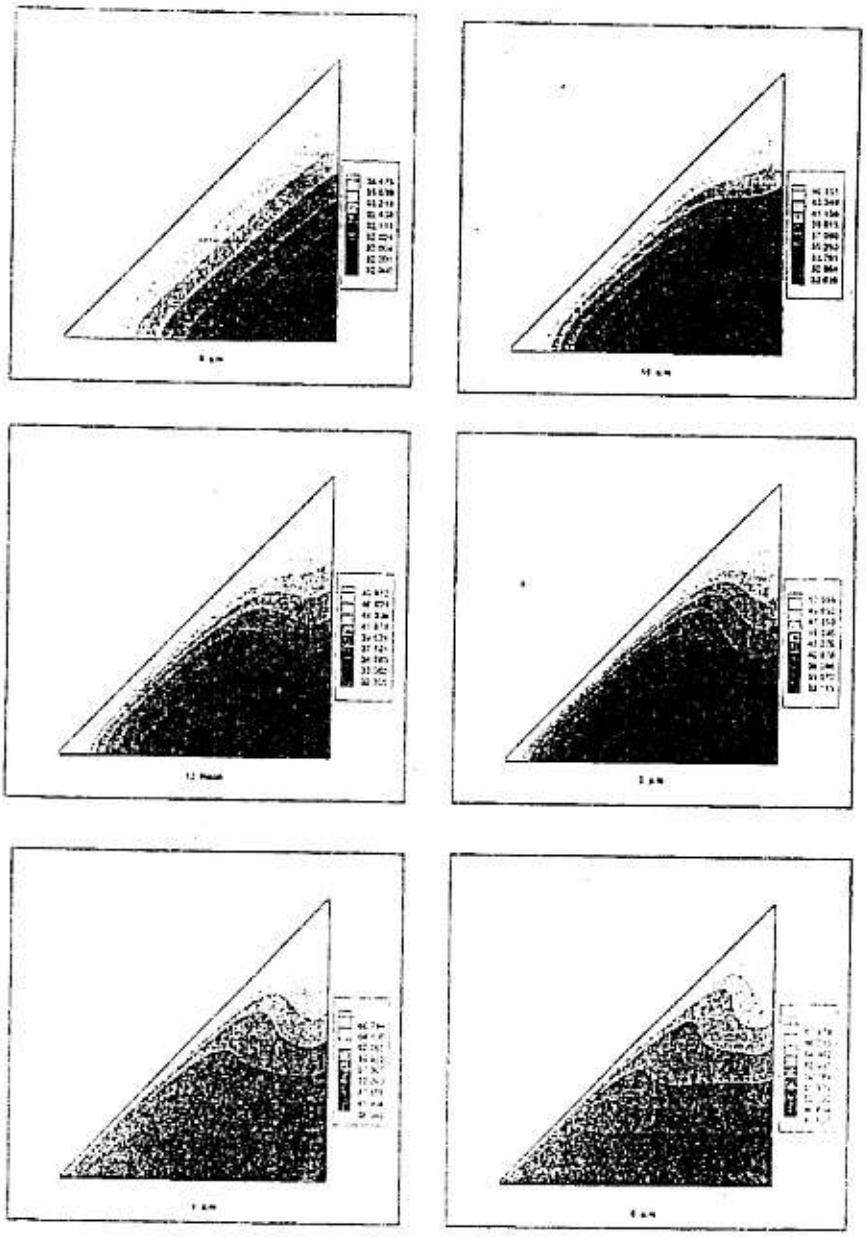




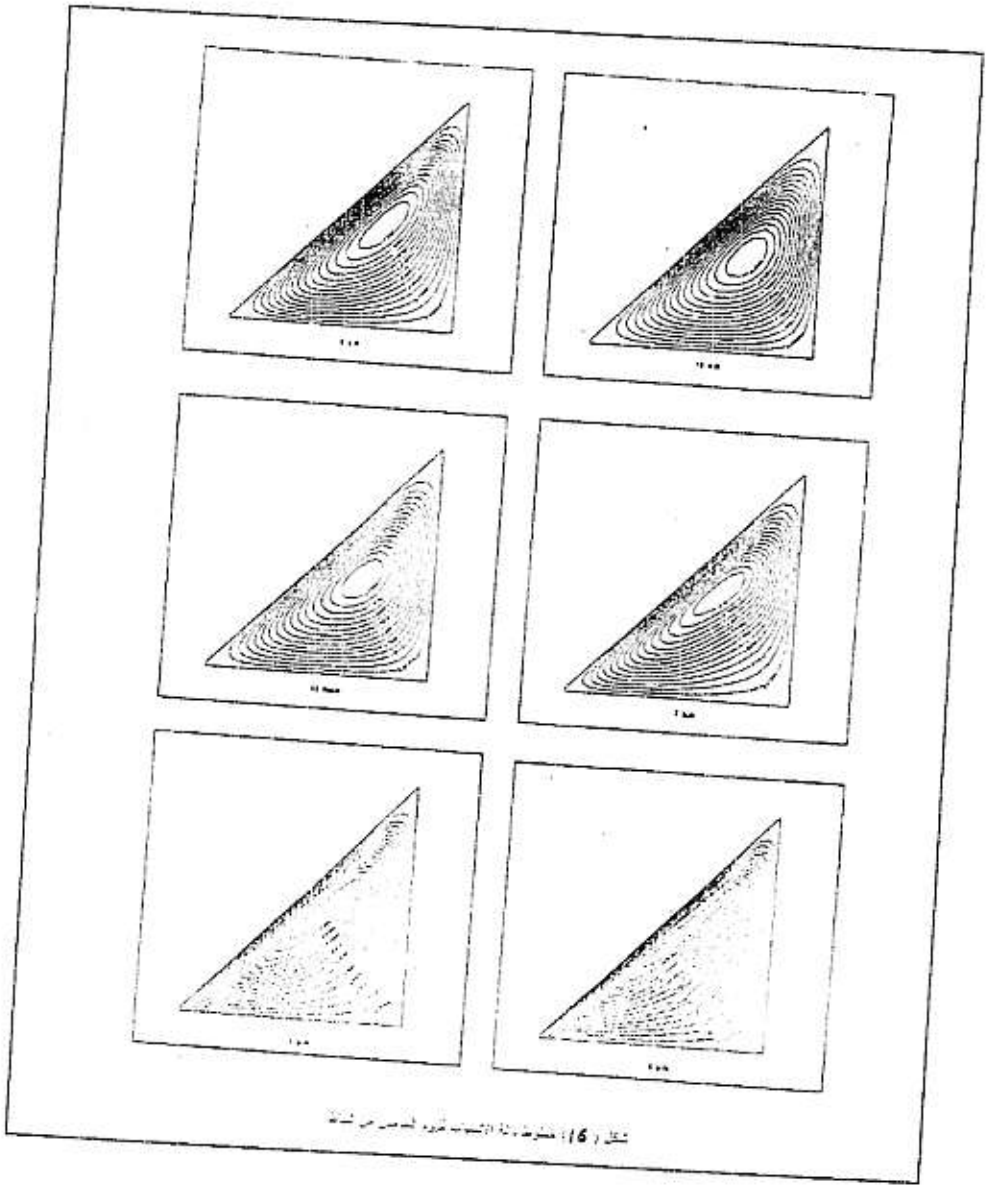


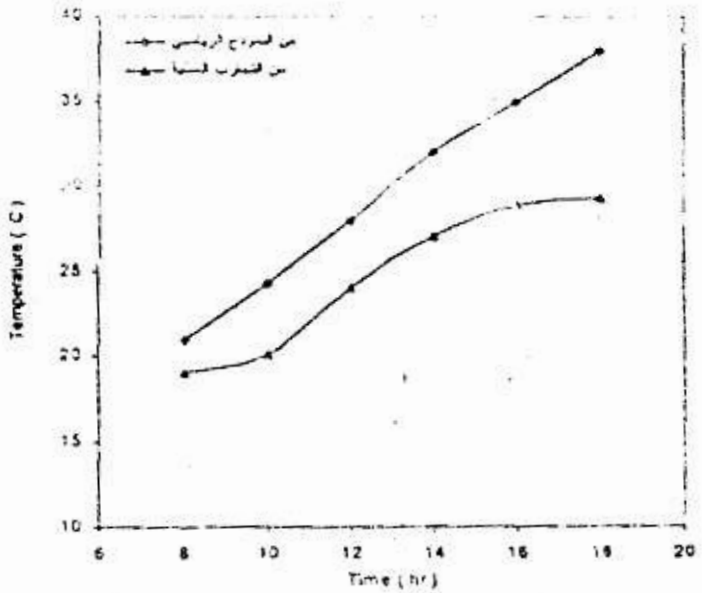






شكل (15) مناطق تساوي درجات الحرارة داخل المجمع لليوم الرابع عشر من حزيران





شكل (17) مقارنة النتائج العملية مع نتائج النموذج الرياضي ليوم (15-2-2003)