

## تأثير تغيير شكل صفيحة الامتصاص على توزيع درجات الحرارة لمجمع شمسي خازن

سهى عبد الإله محمد\* , سندس حسين\* و عمار سعدون عبدالزهره\*

تاريخ الاستلام: 2010/6/22

تاريخ القبول: 2011/3/3

### الخلاصة

تم في هذا البحث إجراء دراسة عددية لمعرفة تأثير تغيير شكل لوح الامتصاص على توزيع درجات الحرارة لمجمع شمسي خازن يستخدم لتسخين و تخزين المياه في آن واحد . تم استخدام لوح امتصاص على شكل قطع مكافئ وبحالات مختلفة ودراسة الشكل الذي يعطي أفضل توزيع لدرجات الحرارة وذلك باستخدام برنامج حاسوبي يعتمد على تقنية (C.F.D) (computer fluid dynamic) لدراسة المعادلات الحاكمة لجريان المائع الحر داخل هذا المجمع نتيجة للأشعة الشمسية الساقطة عليه وهذه المعادلات هي معادلة الاستمرارية ومعادلتى الزخم باتجاهين أضافه إلى معادلة الطاقة ، حلت هذه المعادلات باستخدام طريقة (الدوامية – دالة الانسياب) للحصول على توزيع كامل لدرجات الحرارة والجريان داخل المجمع . بينت النتائج العددية إمكانية تحسين التدرج الحراري لهذا النوع من المجمعات من خلال استخدام لوح امتصاص بشكل قطع مكافئ ويعطي درجة حرارة قصوى ودنيا (55°C , 24) على التوالي يقابلها (41°C , 19) للمجمع الشمسي ذو صفيحة الامتصاص المستوية والمائلة بزاوية (45°) عن الأفق .

## The Effect of Changing The Shape of An Absorber Plate on The Temperature Distribution of The Storage Solar Collector

### Abstract

This research is a numerical study to determine the impact of changing the shape of absorber plate on the temperature distribution of the solar storage collector used to heat and store water at the same time. Absorber plate in a parabolic shape was used with different cases and study of the shape that gives the best distribution of temperature, by using a computer program based on (C.F.D) (computer fluid dynamic) to study the equations governing the flow of fluid freely within the storage collector as a result of solar irradiance falling upon. these equations is the equation of continuity , equations momentum in tow directions and the energy equation, solved these equations using the method (vortex - stream function) for a full breakdown of the temperature and flow within the storage collector . The results showed the possibility of improving thermal gradient for this type of storage collector through the use of absorber plate Followed by a parabolic equation and it gives maximum and minimum temperature (55 , 24 °C) respectively, offset by (41 , 19 °C) of the flat plate storage solar collector ,it inclined at an angle (° 45) on the horizon.

### المقدمة

الدراسات إلى أن منظومات تسخين المياه تساهم في توفير الاحتياجات المنزلية من الماء الساخن بنسبة (70% - 40)<sup>[1]</sup> اعتماداً

يعد تسخين المياه احد التطبيقات المهمة في استغلال الطاقة الشمسية حيث تشير

## الشكل الهندسي للمجمع الشمسي

الشكل رقم (1) يبين الشكل الهندسي للمجمع الشمسي المستخدم في البحث والحالات الرئيسية لتغيير شكل صفيحة الامتصاص ، المجمع عبارة عن مثلث موشوري الشكل ذو مقطع مثلث قائم الزاوية معزول من جميع

الجوانب باستثناء الجزء المعرض للإشعاع الشمسي ، تم تغيير شكل صفيحة الامتصاص من مستوٍ مائل بزاوية (45°) عن الأفق الى شكل قطع مكافئ بثمانية حالات مختلفة ، فضلا عن دراسة حالات اخرى للمجمع ذو صفيحة الامتصاص المائلة .

## المعادلات الحاكمة

ان المعادلات التي تصف انتقال الزخم والطاقة في حالة الحمل الحر للجريان الطبقي ثنائي البعد داخل حيز مغلق وباهمال التبدد اللزج ومن دون توليد حرارة وباعتبار ان المائع لا انضغاطي تكتب بالشكل التالي [3][4] :-

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

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - g\beta\Delta T \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad \text{--- (4)}$$

حيث ان المعادلة (1) تمثل معادلة الاستمرارية والمعادلتان (2) و (3) تمثلان معادلتا الزخم باتجاه (x) و (y) اما المعادلة (4) فتمثل معادلة الطاقة .

## طريقة الدوامية – دالة الانسياب

## Vorticity and Stream Function Method

ان الصعوبة المرتبطة مع عملية ايجاد الضغط ادت الى ايجاد طريقة تؤدي الى حذف حد الضغط من المعادلات الحاكمة

على نوع التصميم وكفاءة هذه المنظومات والظروف المناخية ، تنوعت واختلقت تصاميم المجمعات الشمسية المسطحة كثيرا خلال الثلاثين سنة الماضية وأجريت الكثير من البحوث في هذا المجال بهدف تقليل الكلفة وتحسين الأداء . تم في بحث سابق [1] إجراء دراسة عملية وعددية لمجمع شمسي خازن يستخدم لتسخين وخرن المياه في آن واحد ، طريقة تصميم المجمع توفر زاوية ميل مقدارها (45°) لصفحة الامتصاص عن الأفق . يمتاز المجمع بسهولة تصنيعه وكلفته المنخفضة نسبيا لاستغناؤه عن اغلب الأجزاء الرئيسية المستخدمة في السخانات الشمسية الاعتيادية . تم من خلال النتائج الحصول على توزيع درجات الحرارة داخل المجمع والتوصل إلى إمكانية استخدام هذا النوع من المجمعات في تطبيقات تسخين المياه للاستخدامات المنزلية وكان هناك تقارب بين نتائج الحل العددي مع النتائج العملية .

بين الباحث مهدي الرياحي [2] وكما أشارت إليه العديد من المصادر الخاصة بالطاقة الشمسية) أن الزاوية المثلى لميلان المجمع عن الأفق والتي توفر أكبر كمية ممكنة من الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المجمع خلال الشتاء هي بين (خط العرض + 10) و (خط العرض - 10) .

يهدف البحث الحالي إلى دراسة إمكانية الحصول على تدرج حراري أفضل للمجمع الشمسي الخازن من خلال تغيير شكل سطح الامتصاص من سطح مستوٍ مائل بزاوية (45) ( وهي زاوية الميل المثلى لمدينة بغداد كما ذكر سابقا) إلى أشكال مختلفة من السطوح ذات القطوع المختلفة من خلال أعداد نموذج رياضي لدراسة ظاهرة الحمل الحر داخل المجمع الشمسي الخازن باستخدام طريقة الدوامية – دالة الانسياب (Vorticity and Stream Function) والتي تؤدي إلى أبدال التعامل مع معادلة الاستمرارية ومعادلتا الزخم باتجاه (x,y) إلى حل معادلتين فقط هما معادلة نقل الدوامية ومعادلة الانسياب باستخدام تقنية (C.F.D).

كذلك فان معادلة الطاقة ومن دون توليد حرارة ومن دون اشعاع وباهمال التبديد اللزج تكون بالشكل الاتي :

$$\left( \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \psi}{\partial Y} \frac{\partial \theta}{\partial X} - \frac{\partial \psi}{\partial X} \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) = \frac{1}{Pe} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad \text{----- (8)}$$

**الشبكة العقدية والظروف الابتدائية والحدية**  
استخدم نظام مطابقة احداثيات الجسم Body Fitted Coordinates System لتوليد الشبكة ذات الاحداثيات العامة  $(\zeta, \eta)$  بدلا من استخدام نظام الاحداثيات الديكارتية  $(x, y)$  ، بفرض عدم تغيير درجات الحرارة على طول المحور  $(z)$  والذي يمثل عمق المجمع الشمسي .  
باستخدام معادلات التحويل الى الاحداثيات العامة  $(\zeta, \eta)$  الاتية :-

$$\text{حيث ان } (J) \text{ هو مصفوفة جاكوبي}$$

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

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{1}{J} [y_{\zeta} f_{\eta} - y_{\eta} f_{\zeta}] \quad \text{--- (10)}$$

$$J = x_{\zeta} y_{\eta} - x_{\eta} y_{\zeta} \quad \text{--- (11)}$$

(Jacobian Matrix)

تم الحصول على نقاط الشبكة الداخلية من خلال استخدام معادلات جبرية بعد اعطاء القيم الحدية التي من خلالها سيتم بناء وتوليد الشبكة التي تخص الاشكال الهندسية المستخدمة في دراستنا ، عدد النقاط المعطى بالاتجاهين كان (21,21) بما يحقق استقرارية الحل العددي بعد ذلك تم حساب المسافة بين التقسيمات التي تمثل  $(dx, dy)$  ومن ثم حساب كل النقاط بما يلائم موقعها من نقطة الاصل .

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 ،

وذلك عن طريق الاشتقاق المتعكس ومن تعريف معادلة الاستمرارية ودالة الانسياب للسرعة الافقية والعمودية يمكن الحصول على معادلة نقل الدوامية والتي تكتب بالشكل النهائي التالي :

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \Omega}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \Omega}{\partial y} = v \left( \frac{\partial^2 \Omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Omega}{\partial y^2} \right) + g\beta \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad \text{--- (5)}$$

ان 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 ومعادلتين الزخم .

لكتابة المعادلات بصيغة لابعدية ، تعرف اولاً المقادير اللابعدية وبالشكل التالي [5][6]

$$\begin{aligned} X &= x/L \\ Y &= y/L \\ \tau &= t u_{\infty} / L \\ V &= v / u_{\infty} \\ U &= u / u_{\infty} \\ \theta &= (T - T_{in}) k / q L \\ \Psi &= \phi L / u_{\infty} \\ Re &= u_{\infty} L / \nu \\ Gr &= g \beta q L^4 / \nu k \\ Pr &= C_p u_{\infty} / k \\ Pe &= Re Pr \end{aligned}$$

باستخدام الفرضيات اللابعدية المذكورة سابقاً فان معادلتنا دالة الانسياب ونقل الدوامية تكتب بالصيغة التالية :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad \text{----- (6)}$$

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

{ نرض للحمل الحر  $(Re = 1)$  [7]}

$$\omega_{(i,j)}^{n+1} = \omega_{(i,j)}^n + \left[ \begin{aligned} & \left( \frac{\psi_{(i+1,j)}^n - \psi_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} \cdot \frac{\alpha_{(i,j+1)}^n - \alpha_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \right) \\ & + \left( \frac{\psi_{(i,j+1)}^n - \psi_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \cdot \frac{\alpha_{(j+1,i)}^n - \alpha_{(j-1,i)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} \right) \\ & + \lambda_{(i,j)} \cdot \frac{\alpha_{(i+1,j)}^n - \alpha_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} - \sigma_{(i,j)} \cdot \frac{\alpha_{(i,j+1)}^n - \alpha_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \\ & + \alpha_{(i,j)} \cdot \frac{\alpha_{(i+1,i)}^n - 2 \cdot \alpha_{(i,j)}^n + \alpha_{(i-1,i)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta^2} \\ & - 2 \cdot \beta_{(i,j)} \cdot \frac{\alpha_{(i+1,j+1)}^n \cdot \alpha_{(i+1,j-1)}^n + \alpha_{(i-1,j+1)}^n \cdot \alpha_{(i-1,j-1)}^n}{4 \cdot \Delta \zeta \cdot \Delta \eta} \\ & + \gamma_{(i,j)} \cdot \frac{\alpha_{(i,j+1)}^n - 2 \cdot \alpha_{(i,j)}^n + \alpha_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta^2} \end{aligned} \right] \quad \text{اما}$$

$$\left[ \begin{aligned} & \left( \frac{\theta_{(i+1,j)}^n - \theta_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} \right) \dots 12 \\ & \text{بالنسبة} \end{aligned} \right]$$

معادلة درجة الحرارة فيتم استخدام الاسلوب نفسه في تحويل حدود الحمل والانتشار بلاضافة الى حد الزمن من صيغتها التفاضلية الى معادلات جبرية وكما يلي :-

$$\theta_{(i,j)}^n + \left[ \begin{aligned} & \left( \frac{\theta_{(i+1,j)}^n - \theta_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} \cdot \frac{\theta_{(i,j+1)}^n - \theta_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \right) \\ & + \left( \frac{\theta_{(i,j+1)}^n - \theta_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \cdot \frac{\theta_{(j+1,i)}^n - \theta_{(j-1,i)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} \right) \\ & + \lambda_{(i,j)} \cdot \frac{\theta_{(i+1,j)}^n - \theta_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} - \sigma_{(i,j)} \cdot \frac{\theta_{(i,j+1)}^n - \theta_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \\ & + \frac{\theta_{(i+1,i)}^n - 2 \cdot \theta_{(i,j)}^n + \theta_{(i-1,i)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta^2} \\ & - 2 \cdot \beta_{(i,j)} \cdot \frac{\theta_{(i+1,j+1)}^n \cdot \theta_{(i+1,j-1)}^n + \theta_{(i-1,j+1)}^n \cdot \theta_{(i-1,j-1)}^n}{4 \cdot \Delta \zeta \cdot \Delta \eta} \\ & + \frac{\theta_{(i,j+1)}^n - 2 \cdot \theta_{(i,j)}^n + \theta_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta^2} \end{aligned} \right] \quad \text{.....(13)}$$

اما معادلة دالة الانسياب فتكتب عدديا بالشكل التالي :-

$$y = x^m$$

$$m = 1.5 \rightarrow 1.7 \rightarrow 1.8 \rightarrow 2$$

بشكل عام فان دالة الانسياب ( Stream Function ) على سطوح الجدران تكون قيمتها ثابتة ومساوية للصفر باعتبار ان السرعة بلاتجاهين الافقي والعمودي تكون تقريبا مساوية الى الصفر . اما الدوامية على سطوح الجدران فلا يتم معالجتها على نحو يسير طالما ان قيمتها تعتمد على متوسط مكونات السرعة والتي تكون مجهولة حتى نهاية الحسابات اذا يعد معرفة قيمتها جزا من الحل ، الشكل رقم (2) يبين الشبكة العقدية لاحد الاشكال المستخدمة والظروف الحدية المستخدمة في حل المعادلات الحاكمة

### الحل العددي

تم استخدام الحل العددي لايجاد النتائج النهائية للخواص الفيزيائية التي تخص ظاهرة الحمل الطبيعي خلال حيز مغلق وللشكل المستخدمة في البحث ، تم استخدام طريقة ( Method Explicit ) في حل معادلتني نقل الدوامية ودرجة الحرارة وهما معادلتني قطع مكافئ ، اما بالنسبة لدالة الانسياب فقد تم حلها باستخدام طريقة الارحاء اعتمادا على قيمة الدوامية القديمة ، وتعاد عملية التكرار حتى يصل الحل الى الحالة المستقرة . تم تحويل المعادلات التفاضلية اللاخطية الحاكمة للجريان الى معادلات جبرية خطية باستخدام طريقة الفروقات المحددة ، والتي تعد الأساس او المنطلق لعملية الحل العددي . باستخدام الفروقات المتقدمة للمشتقة الزمنية والفروقات المركزية لحدود الحمل والانتشار تصبح المعادلات الحاكمة بالشكل التالي :-

درجات الحرارة وخطوط الانسياب ان الزيادة التدريجية في الطول في مقدمة المجمع سوف يؤدي الى تقليل قيمة درجة الحرارة وذلك بسبب زيادة كمية الماء داخل المجمع يقابلها نقصان بمساحة سطح الامتصاص وكما واضح من الشكل المذكور . من جهة اخرى نجد ان التدرج الحراري سوف يقل بشكل واضح عند تغيير شكل لوح الامتصاص من مستو مائل بزاوية (45°) الى الشكل المنحني التي تعطيه المعادلة رقم (15) بالرغم من ان التغيير في الشكل يجعل مساحة صفيحة الامتصاص اكبر ويقلل من كمية الماء المخزون .

وهذا ما توضحه النتائج في الشكل رقم (4) (A,B,C,D) ، اذ نجد ايضا من خلال تلك الاشكال ان التدرج الحراري تقريبا يبقى ثابتا او يزداد بصورة طفيفة عند زيادة قيمة الاس (m) التي تعطي كل قيمة من هذه القيم منحني جديد وشكلا لصفيحة الامتصاص ، الشكل ايضا يوضح خطوط الانسياب للمجمع الشمسي .

$$\left. \begin{array}{l} y=x^m \\ 1.5 \leq m \leq 2 \\ m=1.5 \rightarrow 1.6 \rightarrow 1.8 \rightarrow 2 \end{array} \right\} \text{--- (15)}$$

اما في حالة استخدام معادلة المنحني التالية وثوابتها

فان درجة الحرارة

$$\left. \begin{array}{l} y=x^n \\ 1 > n \geq 0.5 \\ m=0.5 \rightarrow 0.6 \rightarrow 0.8 \rightarrow 0.9 \end{array} \right\} \text{--- (16)}$$

سوف تزداد بصورة واضحة بالمقارنة مع الشكل المستوي الموضح في الشكل رقم (1A) لكن درجات الحرارة تبدأ بالتناقص عند زيادة قيمة الاس (n) وهذه ما يوضحه الشكل رقم (5) (A,B,C,D) الذي يبين الجريان للمجمع الشمسي .

$$\omega_{(i,j)}^{n+1} = \omega_{(i,j)}^n + \left[ \left( \frac{\psi_{(i+1,j)}^n - \psi_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} \cdot \frac{\omega_{(i,j+1)}^n - \omega_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \right) \right. \\ \left. \frac{\psi_{(i,j+1)}^n - \psi_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \cdot \frac{\omega_{(i+1,j)}^n - \omega_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} \right] \\ \left/ J + \lambda_{(i,j)} \cdot \frac{\omega_{(i+1,j)}^n - \omega_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} - \sigma_{(i,j)} \cdot \frac{\omega_{(i,j+1)}^n - \omega_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta} \right. \\ \left. \alpha_{(i,j)} \cdot \frac{\omega_{(i+1,j)}^n - 2 \cdot \omega_{(i,j)}^n + \omega_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta^2} \right. \\ \left. - 2 \cdot \beta_{(i,j)} \cdot \frac{\omega_{(i+1,j+1)}^n - \omega_{(i+1,j-1)}^n + \omega_{(i-1,j+1)}^n + \omega_{(i-1,j-1)}^n}{4 \cdot \Delta \zeta \cdot \Delta \eta} \right. \\ \left. \gamma_{(i,j)} \cdot \frac{\omega_{(i,j+1)}^n - 2 \cdot \omega_{(i,j)}^n + \omega_{(i,j-1)}^n}{2 \cdot \Delta \eta^2} \right] \\ \left/ \text{Re} J_{(i,j)}^2 + \frac{Gr}{J \text{Re}^2} \left( \frac{\theta_{(i+1,j)}^n - \theta_{(i-1,j)}^n}{2 \cdot \Delta \zeta} \right) \right. \quad (14)$$

#### النتائج والمناقشة

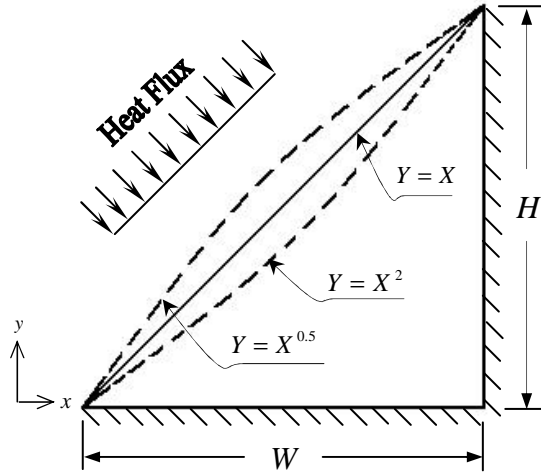
من اجل المقارنة بين مختلف الاشكال المستخدمة في البحث تم اخذ ساعة محددة من النهار لجميع الحالات والتي تعطي البيانات التقريبية لكمية الاشعاع الشمسي

الساقط على سطح المجمع ودرجة حرارة الماء الداخل لشهر شباط بين الساعة الحادية عشر صباحا والثانية عشر عند منتصف النهار

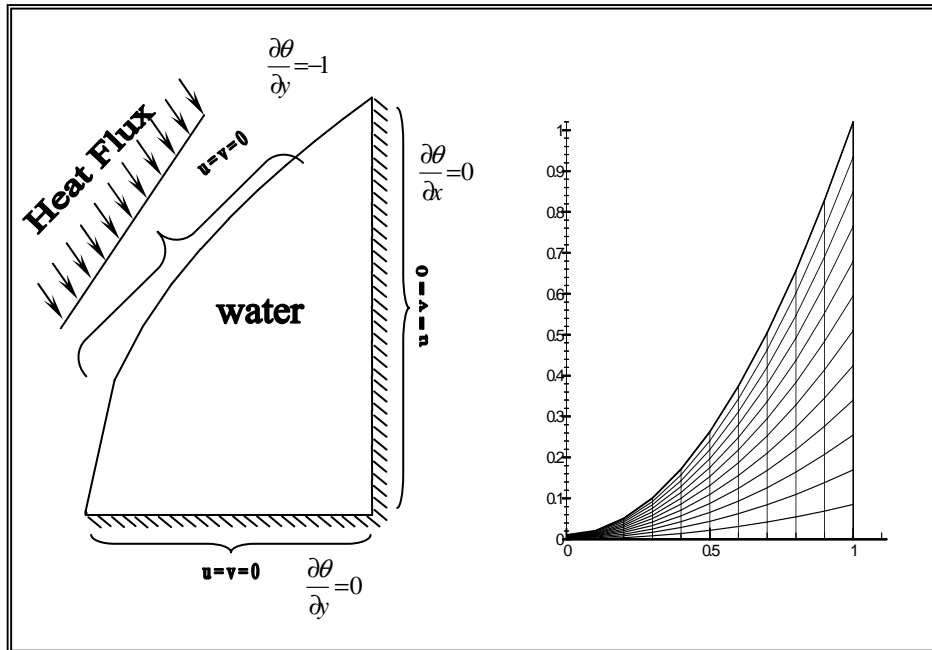
$$(Q = 450 \text{ W/m}^2, T_{in} = 12 \text{ } ^\circ\text{C})$$

تم تنفيذ البرنامج في البداية لصفيحة امتصاص مستوية مائلة بزاوية (45°) وتم بعد ذلك زيادة الارتفاع في مقدمة المجمع بمقدار (5cm , 10cm , 15cm) وذلك لمعرفة تأثير هذه الزيادة على تحسين التدوير الطبيعي للجريان على توزيع درجات الحرارة داخل المجمع اذ تم تمثيل الجريان بشكل خطوط دالة الانسياب ( Stream Function) وتبين من الشكل رقم (3) (A,B,C,D) الذي يمثل مناطق توزيع

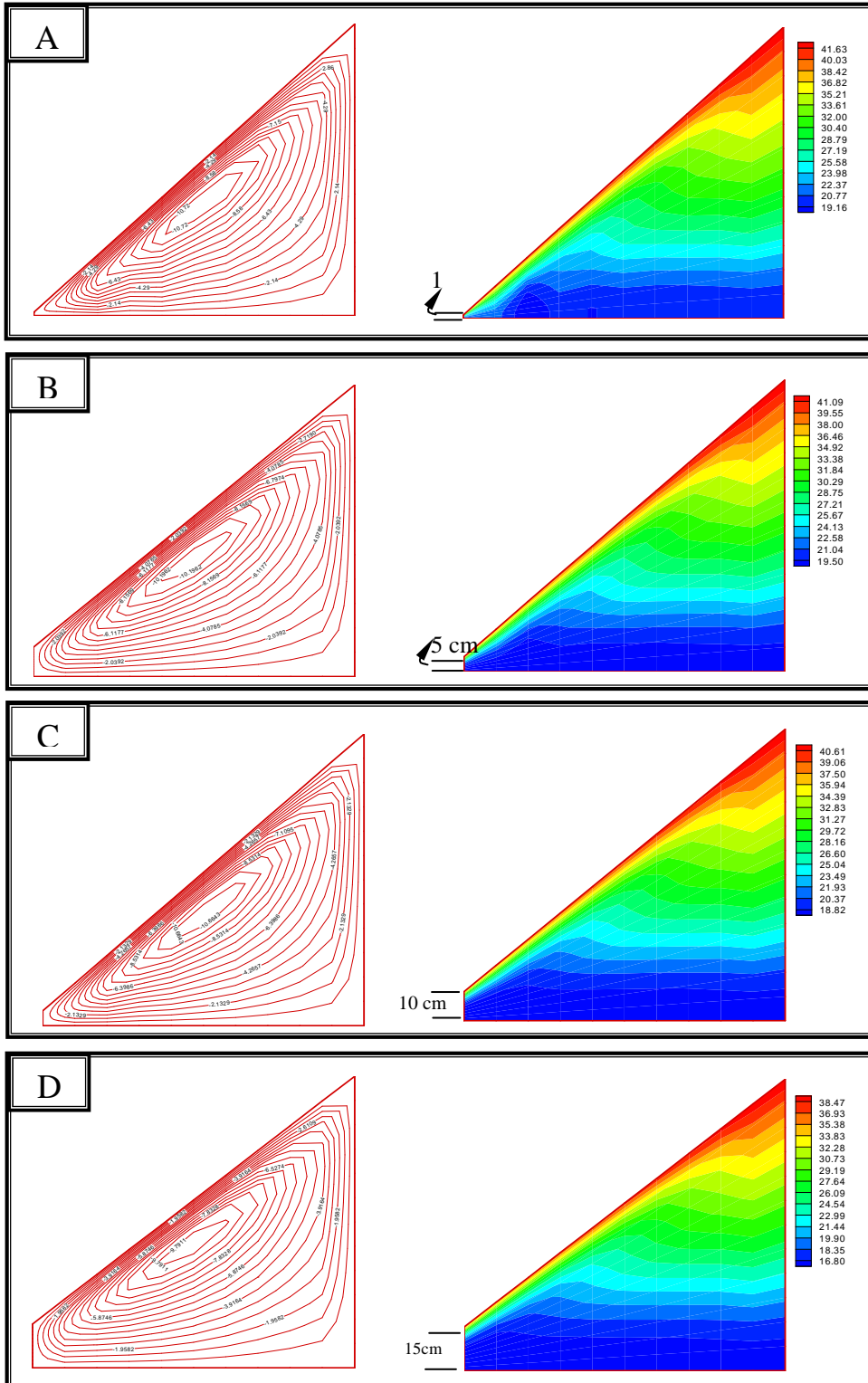
- Dimensional Geometries and Its Application to Buoyancy Flow in a Power Cable" Proceeding the Eighth International Heat Transfer Conference , San Ference , U.S.A , vol 2
- [5] Prasad V. , Kulacki F. A. 1984 "Natural Convection in a Rectangular Cavity with Constant Heat Flux on one Vertical Wall " Journal of Heat Transfer Vol. 106, pp 152-157 , February.
- [6] Varol Y.A. , Oztop H. F. (2007) "Application of central difference scheme to the solution of natural convection equation for irregular shaped enclosures " J.Appl.7553-558 .
- [7] Khalifa A. J. 1999 " On the Verification of one Dimensional Heat flow in a Horizontal Thermosyphon Storage Tank " Energy Conversion and Management Vol.40 , PP. 961,.
- الأستنتاجات**  
مما سبق يمكن الحصول على الاستنتاجات الآتية :  
1- ان تغيير شكل المجمع من خلال زيادة الارتفاع في مقدمة المجمع بمقدار ( , 5cm 10cm , 15cm ) يؤثر سلبيا ولايحسن التدرج الحراري للمجمع .  
2- بالامكان تحسين التدرج الحراري الذي يحدث بسبب فرق الكثافة نتيجة التسخين الشمسي المباشر لمجمع شمسي خازن موشوري الشكل من خلال تغيير شكل صفيحة الامتصاص المستوية التقليدية والمائلة بزاوية (45) الى سطح على شكل منحنى يعطى بالمعادلة  $y = \sqrt{x}$  حيث يعطي هذا المنحنى افضل توزيع لدرجات الحرارة داخل المجمع بالمقارنة مع المنحنى الذي يعطى بالمعادلة  $y = x^2$  او معادلة الخط المستقيم  $y = x$  .  
3- ان المنحنى الذي يعطى بالمعادلة  $y = x^2$  يعطي اقل تدرج حراري لجميع الحالات المدروسة .
- مصادر**  
[1] وسام حميد عليوي " دراسة عددية وعملية للاقط شمسي خازن هرمي الشكل ذو مقطع مثلث قائم الزاوية " رسالة ماجستير ، قسم هندسة المكنان ، الجامعة التكنولوجية ، العراق ، 2004 .  
[2] مهدي الرياحي " تقدير كمية الأشعاع الشمسي على السطوح المختلفة الاتجاه في العراق خلال الايام الصاحية " رسالة ماجستير ، كلية العلوم ، الجامعة المستنصرية ، العراق ، 1979 .
- [3] Guo K. L. , Wu S. T. 1985 " Numerical Study of Flow and Temperature Stratifications in a Liquid Thermal Storage Tank " Journal of solar energy engineering vol. 107/15, February.
- [4] Broughton R. C. , Oliver A. J. " A Numerical Model For Convection in Complex Two-



شكل رقم (1) يبين الشكل الهندسي للمجمع الشمسي المستخدم في البحث

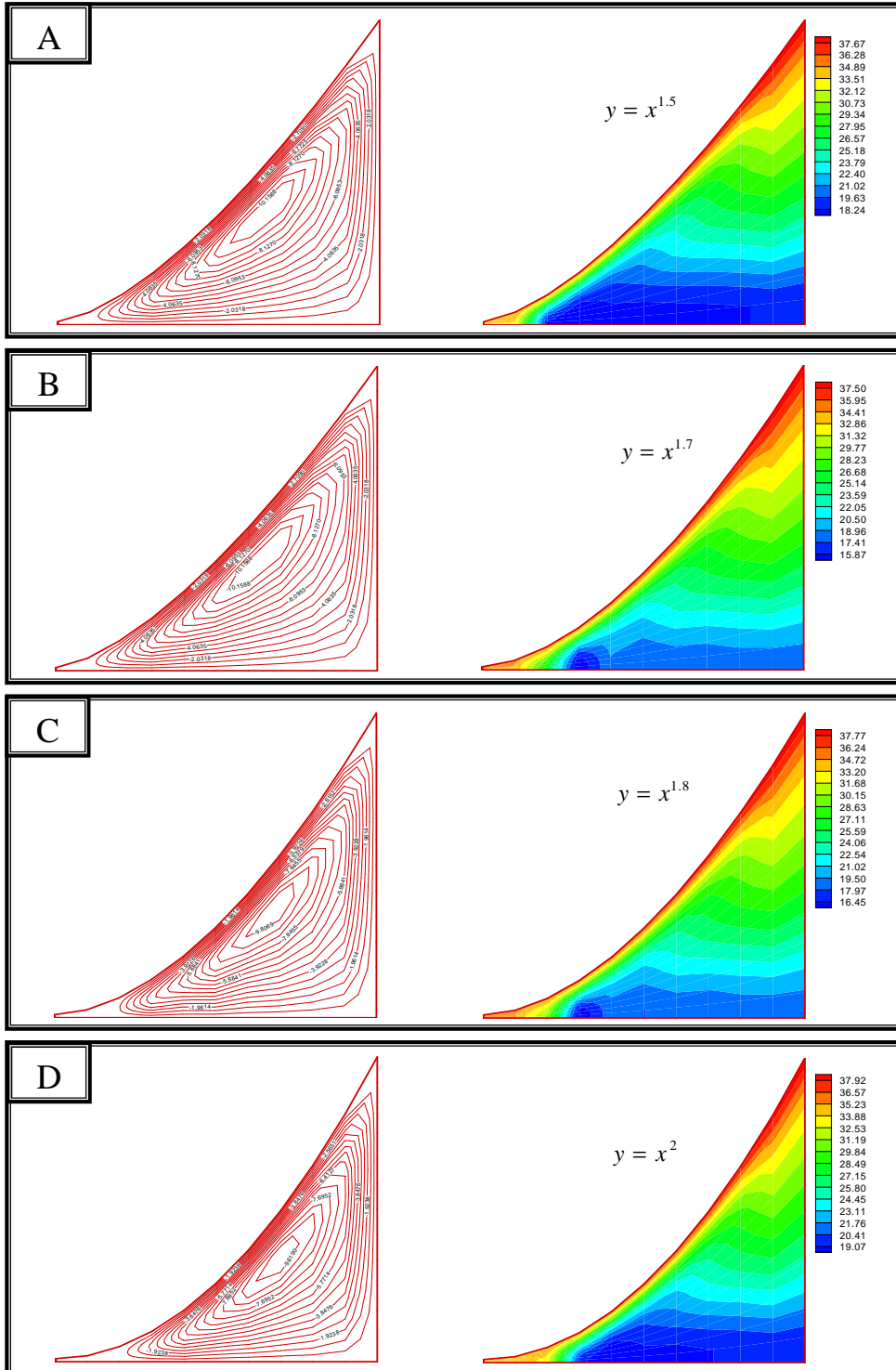


الشكل رقم (2) يمثل الشبكة العقدية والظروف الحدية المستخدمة

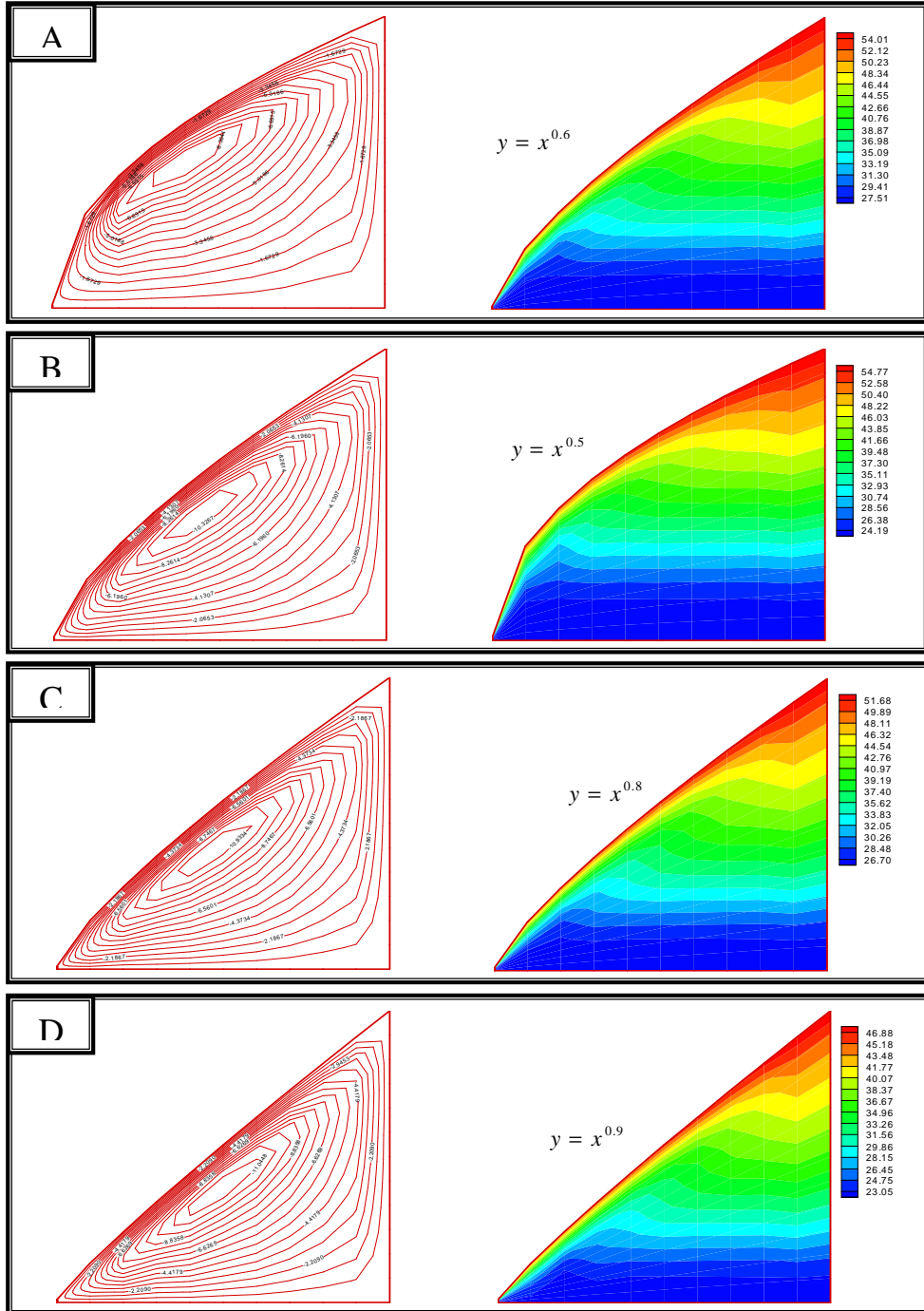


شكل رقم (3) تأثير تغيير الارتفاع الامامي للمجمع على مناطق تساوي درجات الحرارة وخطوط دالة الانسياب لصفيحة امتصاص مستوية مائلة بزواوية (45°)





شكل رقم (4) تأثير تغيير شكل صفيحة الامتصاص للمجمع على مناطق تساوي درجات الحرارة وخطوط دالة الانسياب



شكل رقم (5) تأثير تغيير شكل صفيحة الامتصاص للمجمع على مناطق تساوي درجات الحرارة وخطوط دالة الانسياب