

## تأثير شكل السطح الماص على الحمل الحراري القسري لمجمعات هوائية شمسية

م.م. عامر جميل شريف

جامعة الانبار/كلية الهندسة/قسم الهندسة الميكانيكية

### الخلاصة

تضمن البحث دراسة تأثير شكل اللوح الماص (المستوي Flat, المتعرج V-Corrugated, المتموج Sinusoidal Wave-Corrugated, والمستطيل Rectangular-Corrugated) لمجمع هوائي شمسي طوله وعرضه واحد متر وسمكه ١,٠ متر مائل عن الافق ( $30^\circ$ ) على معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري معامل الاحتكاك السطحي عند فيض حراري شمسي ثابت ( $530W/m^2$ ) ولمدى عدد رينولد ( $5000 \leq Re \leq 8000$ ).

تم استخدام البرنامج العددي (Fluent) في الدراسة الحالية, حيث تم حل المعادلات التفاضلية الحاكمة (معادلة الاستمرارية, الزخم والطاقة) بطريقة الحجم المحددة (Finite Volume) مع الأخذ بنظر الاعتبار أن الجريان مضطرب ثنائي البعد للحالة المستقرة.

أظهرت النتائج ان اعلى فرق في درجة حرارة الهواء الخارج والداخل كانت ( $13.65^\circ C$ ) و افضل معامل انتقال للحرارة بالحمل القسري يحدث عند المجمع المتعرج (V-Corrugated) (زاوية التعرج  $60^\circ$ ) وبنسبة تحسن (63%) عن المجمع المستوي (Flat Plate) عند عدد رينولد (٨٠٠٠), وكما أظهرت النتائج أن اعلى مقدار لمعامل الاحتكاك السطحي ( $C_f$ ) يحدث في المجمع المتعرج (V-Corrugated) حيث بلغت قيمته (0.22) عند عدد رينولد (٨٠٠٠).

الكلمات الرئيسية: السطوح الماصة, المجمعات الهوائية الشمسية, الحمل القسري.

## EFFECT OF ABSORBER SURFACE SHAPE ON THE FORCED THERMAL CONVECTION OF SOLAR AIR COLLECTORS

Asst. Lec. Amer Jameel Shareef  
AL-Anbar University-Engineering College  
Mechanical Engineering Dep.

In this research a study effect of absorber surface shape for solar air collector (Flat V-Corrugated, Sinusoidal Wave-Corrugated, Rectangular-Corrugated) ( $1 \times 1 \times 0.1m$ ) tilted to the horizontal by an angle ( $30^\circ$ ) on forced heat transfer and skin friction coefficient by Fluent Numerical Program at constant solar heat flux ( $530W/m^2$ ) with Reynold's number ( $5000 \leq Re \leq 8000$ ).

The government equation (mass, momentum and energy) are using Finite Volume by (Fluent 6.3) software for considering steady state, two dimensional and turbulent flow. The results show that the different between inlet and outlet air temperature is(13.65°C) and best heat transfer coefficient enhancement is(63%) for (V-Corrugated plate) compared with the flat plate at (Re=8000), Also the results show that the maximum skin friction coefficient is occurred at (V-Corrugated) Cf=0.22 at (Re=8000).

### الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات	الرمز	المعنى	الوحدات
u,v	السرعة الافقية والعمودية	m/s	$\mu_{eff}$	اللزوجة المؤثرة	kg/s.m
$\rho$	كثافة الهواء	kg/m <sup>3</sup>	Pr <sub>eff</sub>	رقم برانتل المضطرب	-
$\mu$	اللزوجة الديناميكية	kg/s.m	$\sigma_k$	عدد برانتل المضطرب للموديل K	-
T	درجة الحرارة	°C	$\sigma_\epsilon$	عدد برانتل المضطرب للموديل $\epsilon$	-
B	معامل التمدد الحجمي	1/K	$\mu_t$	لزوجة الاضطراب المائع	kg/s.m
A	الانتشارية الحرارية	m <sup>2</sup> /s	$c_\mu, c_{1\epsilon}, c_\epsilon$	الطاقة الحركية المضطربة لوحدة الكتلة	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> /kg
G	حد التوليد	-	Re	عدد رينولد	-
b	زاوية الميل	Degree	Nu	معدل عدد نسلت	-
Dh	القطر الهيدروليكي	m	P	الضغط	Pa

### المقدمة

تعتبر الطاقة الشمسية واحدة من اهم مصادر الطاقة البديلة والمتجددة التي يحتاجها العالم, اذ توجد عدة طرق لاستغلال هذه الطاقة منها مجمعات الهواء الشمسية والتي تتكون من اربع اجزاء رئيسية : السطح الماص (Absorber Plate) الذي يمتص الطاقة الساقطة عليه ومن ثم يفقدها الى الهواء المار على السطح والمغطى بطبقة او اكثر من زجاج النوافذ (Glass Cover) الذي يسمح بنفوذ الاشعاع الشمسي خلاله والتي تعمل على تقليل الخسائر الحرارية بالحمل الى المحيط الخارجي وبالتالي حبس الحرارة داخل المجرى الهوائي (Air Duct) ما بين الصفيحة الماصة والزجاج الذي يسمح بمرور الهواء فوق او تحت الصفيحة الماصة

لغرض امتصاص الحرارة اللازمة للتسخين، ومن ثم يتم عزل المجمع من الخلف والجوانب بعازل حراري مناسب [1].

هنالك العديد من الدراسات النظرية والعملية لتحسين اداؤها، أذ قام (Gupta and Garg) (1967) [2] بدراسة عملية لمعرفة اداء وخواص أربع سخانات شمسية هوائية بسيطة التركيب ورخيصة الثمن أثنان منها ذات لوحة امتصاص متعرجة على شكل حرف (V) والأثنان الآخران ذات صفيحة امتصاص شبكية (Mesh) موضوعة فوق اللوح الماص المتعرج. وتبين من الدراسة ان السخانات ذات اللوح الماص المتعرج يمكن ان تسخن الهواء الى  $30^{\circ}\text{C}$  أعلى من درجة حرارة المحيط الخارجي وان الكفاءة التي يمكن الحصول عليها هي 60%، وان السخانات ذات الألواح الماص الشبكية تجهز هواء ساخن بمعدل  $20^{\circ}\text{C}$  أعلى من درجة حرارة المحيط الخارجي وان كفاءتها (50%). قامت الباحثة نجيبه الحمداني (1892) بدراسة خصائص سخان الشمسي الهوائي في العراق باستخدام لوحة امتصاص متعرجة على شكل حرف (V) وكان جريان الهواء تحت اللوح الماص وباستخدام خزان حراري وحصلت على كفاءة مقدارها 60%. أجرى الباحثون (Goel et.al.) (1987) دراسة الأداء الحراري لثلاثة انواع من السخانات الشمسية، وهي لوحة امتصاص مسطحة و لوحة امتصاص متعرجة بشكل موجة جيبية (Sine Wave) والثالثة متعرجة بشكل حرف (V). وتبين من الدراسة أن أعلى كفاءة تم الحصول عليها من السخان الشمسي ذي اللوح الماص المتعرج على شكل حرف (V). قدم الباحث (Hollands) دراسة تجريبية لمجمع نوع المتعرج (V) واستنتج كلما زاد التعرج ازدادت كمية امتصاص الاشعاع الشمسي الساقطة على اللوح الماص. اما الباحث (Sayigh, 1977) قدم دراسة مجمع نوع (V-Corrugate) عن زاوية التعرج ( $55^{\circ}$ - $60^{\circ}$ )، توصل الى ان مساحة المجمع المعرض للاشعاع تزداد بمعدل الضعف وكذلك يزداد معدل انتقال الحرارة من اللوح الماص الى الهواء عند هذه الزوايا. كما قاما الباحثان (Joudi and Mohamed) بدراسة تجريبية للاداء الحراري لمجمع هوائي شمسي نوع (V-Corrugate) لزاوية التعرج ( $60^{\circ}$ ) وتوصلا الى ان كفاءة المجمع تزداد مع زيادة معدل تدفق الهواء، وان الكفاءة شتاء افضل بمقدار (6%) منها صيفا، قامت الباحثة (جنان مهدي، ٢٠٠٦) بدراسة عملية لمجمع هوائي شمسي ذو لوح امتصاص مسطح يحتوي على حواجز عرضية لأعاقبة مرور الهواء الداخل الى المجمع الشمسي، وتكون هذه العوارض مثلثة الشكل ومن الجهة العليا لصفيحة الأمتصاص وموزعة بشكل منتظم على طول اللوح، تم التوصل الى ان كفاءة المجمع تزداد بوجود هذه العوارض بسبب زيادة اضطراب في جريان الهواء.

يهدف البحث الحالي الى دراسة تأثير شكل السطح الماص لمجمعات الهواء الشمسي المائلة بثبوت الفيض الحراري المسلط وبميل بزاوية ( $30^{\circ}$ ) عن الافق (لغرض محاكاة البحوث السابقة فقط وليس له تأثير على معامل انتقال الحرارة) على الحمل الحراري ومعامل الاحتكاك السطحي وايجاد معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري لهذه الاسطح.

**المحاكاة العددية**

استخدم البرنامج (FLUENT) لإظهار ديناميكية المائع وانتقال الحرارة داخل المجمعات الهوائية الشمسية, يعتمد هذا البرنامج على طريقة الحجوم المحددة (Finite Volume) لحل المعادلات الحاكمة للحمل القسري, كما استخدم برنامج (Gambit) لبناء النموذج الهندسي والتوليد الشبكي الخاص بالمسألة. تم اعتماد الفرضيات الآتية لحل المسألة وهي:

١- الحالة المستقرة. ٤- جريان مضطرب.

٢- الجريان ثنائي البعد. ٥- مائع غير انضغاطي.

٣- المائع خاضع لقانون نيوتن للزوج. ٦- ثبوت الفيض الحراري.

٧- تطبيق تقريب (Boussinesq) أي جميع خواص الهواء ثابتة ماعدا الكثافة  $r \cong r_o * (1 + b * (T_o - T))$

لدراسة ظاهرة الحمل القسري داخل المجمعات الهوائية الشمسية, يتم تحويل معادلات التفاضلية الحاكمة (The government equation) لظاهرة الحمل القسري والتي تمثل معادلات الاستمرارية (حفظ الكتلة) والزخم والطاقة إلى معادلات تفاضلية بعد تطبيق الفرضيات أعلاه بالشكل الآتي [9][11][10]:

معادلة حفظ الكتلة (الاستمرارية)

$$\left[ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right] = 0 \quad (1)$$

معادلة حفظ الزخم تجاه المحور (X)

$$r \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2m_{eff} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( m_{eff} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( m_{eff} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2)$$

معادلة حفظ الزخم تجاه المحور (Y)

$$r \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( m_{eff} \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2m_{eff} \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( m_{eff} \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (3)$$

معادلة حفظ الطاقة

$$r \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{m_{eff}}{Pr_{eff}} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{m_{eff}}{Pr_{eff}} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (٤)$$

نحول المعادلات أعلاه باستخدام طريقة الحجم المحددة إلى معادلات آنية يمكن بواسطتها إيجاد قيمة أي خاصية في النقطة (P) مركز الحجم المسيطر كما في الشكل (١) بدلالة قيم الخاصية في النقاط المجاورة. اما المعادلات الخاصة بالموديل (K-ε) للجريان المضطرب فهي:

للزوجة للجريان المضطرب

$$m_t = r \times C_m \frac{K^2}{e} \quad (٥)$$

معادلة موازنة الطاقة الحركية (Turbulent Kinetic Energy)

$$\frac{\partial(rk)}{\partial t} + u \frac{\partial(rk)}{\partial x} + v \frac{\partial(rk)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{m_t}{s_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{m_t}{s_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + G - re \quad (٦)$$

دالة الضائعات للطاقة الحركية (Turbulent Kinetic Energy Dissipation Rate)

$$\frac{\partial(re)}{\partial t} + u \frac{\partial(re)}{\partial x} + v \frac{\partial(re)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{m_t}{s_e} \frac{\partial e}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{m_t}{s_e} \frac{\partial e}{\partial y} \right] + C_{e1} \frac{e}{k} G - C_{e2} r \frac{e^2}{k} \quad (٧)$$

إن حد التوليد (G) يتم كتابته بالشكل التالي:

$$G = m_t \left[ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (٨)$$

إن الثوابت الواردة في المعادلات السابقة هي ثوابت تجريبية وقيم هذه الثوابت معطاة كالتالي (Launder and Spalding, 1974):

$$(C_m=0.09), (s_k=1.0), (s_e=1.3), (C_{e1}=1.44) \& (C_{e2}=1.92)$$

حساب عدد رينولد من خلال المعادلة

$$Re = r \times u \times D_h / m \quad (9)$$

أما لغرض حساب معدل عدد نسلت

$$Nu = \frac{h * D_h}{k} \quad (10)$$

يوضح الشكل (٢) الشروط الحدية لمجمع شمسي هوائي لحالة ثبوت درجة حرارة سطح الزجاج عند (17°C) وفيض حراري منتظم مسلط على طول سطح اللوح الماص (Q=530W/m<sup>2</sup>) عند عدد رينولد (5000 ≤ Re ≤ 8000). أما الشروط الابتدائية فهي ثبوت درجة حرارة الهواء الداخل الى المجمع عند (17°C).

### النتائج والمناقشة

تبين الاشكال (٣، ٤، ٥) توزيع درجات حرارة الهواء داخل ثلاثة انواع من المجمعات الهواء الشمسية المتعرج V-Corrugated، المتموج Sinusoidal Wave-Corrugated، والمستطيل Rectangular-Corrugated لزواوية ميل (30°) عند عدد رينولد (5000 ≤ Re ≤ 8000). عند عدد رينولد (Re=5000) يلاحظ أن أعلى فرق لدرجة حرارة الهواء الداخل والخارج هو (13.65, 11.65, 9.8)°C لثلاثة انواع من المجمعات (المستطيل و المتموج و المتعرج) على التوالي، وذلك بسبب الزيادة الحاصلة في المساحة السطحية نتيجة التعرج للوح الامتصاص المعرض الى الاشعاع الشمسي (530W/m<sup>2</sup>).

عند زيادة عدد رينولد وصولا الى (٨٠٠٠) ولجميع انواع المجمعات، يقل فرق درجة حرارة الهواء الداخل والخارج لان كمية الهواء الداخل تقل فرصة حصوله على الحرارة المكتسبة من الاشعاع الشمسي الساقط على المجمع كما هو مبين في الشكل (١٣).

تبين الاشكال (٦، ٧، ٨) توزيع قيم سرعة الهواء داخل المجمعات الهوائية الثلاثة عند (5000 ≤ Re ≤ 8000).

لعدد رينولد (Re=5000) يمكن ملاحظة ان اعلى قيمة لسرعة الهواء هي (1.5m/sec) عند المجمع المتعرج (V-Corrugated) مقارنة مع باقي الانواع، يرجع سبب ذلك الى التعرجات على شكل حرف (V) التي تعمل على زيادة الاضطراب في الجريان الداخل لتلك الممرات الهوائية.

عند زيادة عدد رينولد وصولا الى (٨٠٠٠) ولجميع انواع المجمعات يزداد الاضطراب بسبب زيادة في سرعة الجريان، كما هو ملاحظ في الشكل (٩) الذي يبين حدوث الدوامات (Vortices) داخل تلك التجاويف (التعرجات) للوح الماص.

يبين الشكل (١٠) تغير معامل الاحتكاك السطحي (Skin Friction Coefficient Cf) على طول لوح الامتصاص ولاربعة انواع من السطوح الماصة (المستوي Flat, المتعرج V-Corrugated, المتموج Sinusoidal Wave-Corrugated, والمستطيل Rectangular-Corrugated) عند عدد رينولد (5000 ≤ Re ≤ 8000).

ان اعلى قيمة لـ (Cf) تحدث عند المجمع المتموج (V-Corrugated) اذ تصل الى (0.14) عند عدد رينولد (Re=5000) بسبب حدوث الدوامات المتكونة داخل تلك التجاويف, وان أوطيء قيمة له عند المجمع المستوي (Flat Plate) ذات قيمة (0.04) عند عدد رينولد (Re=5000), اذ يزداد قيمة (Cf) عند زيادة عدد (Re) ولجميع انواع المجمعات.

يبين الشكل (١١) علاقة معدل عدد نسلت مع عدد رينولد ولجميع انواع المجمعات الهوائية الشمسية الاربعة ولزاوية ميل (30°), اذ يزداد معدل عدد نسلت مع زيادة عدد رينولد. تم التوصل الى علاقة لحساب معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري ولجميع انواع المجمعات بأستخدام البرنامج المعروف (Statistica5.5) وهي  $Nu_{ave} = C Re^m Pr^n$ , لوحظ ان أعلى قيمة لعدد نسلت تكون عند المجمع نوع المتعرج (V) وذلك بسبب زيادة اضطراب الجريان للوح الامتصاص مقارنة مع باقي انواع المجمعات, اذ تصل نسبة الزيادة الى (63%) عن المجمع المستوي (Flat plate).

يبين الشكل (١٢) علاقة عدد رينولد مع نسبة معدل عدد نسلت للصفحة المتعرجة الى معدل عدد نسلت للصفحة المستوية (Nucorr./Nuflat) عند (5000 ≤ Re ≤ 8000). ان اعلى قيمة لهذه النسبة تصل عند الصفحة (V-Corrugated) وبنسبة تحسن (27.7%) مقارنة مع الصفحة (Rectangular-Corrugated), تزداد نسبة معدل عدد نسلت مع زيادة عدد رينولد.

الشكل (١٤) مقارنة البحث الحالي مع نتائج العملية للباحثة (جنان مهدي, ٢٠٠٥) اذ يلاحظ هنالك توافق جيد في النتائج الى حد (Re=7000) ولكن يزداد عدد نسلت للبحث السابق عند زيادة عدد رينولد عن (٧٠٠٠).

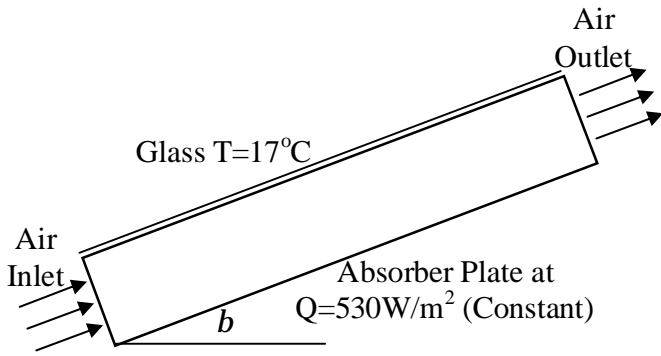
### الاستنتاجات

- ١- تصل قيمة الفرق في درجات حرارة الهواء الداخل والخارج الى اقصى قيمة لها عند المجمع نوع المتعرج (V-Corrugated).
- ٢- أعلى قيمة لـ (Cf) عند المجمع نوع المتعرج (V-Corrugated).
- ٣- يزداد معدل عدد نسلت مع زيادة عدد رينولد وفضل قيمة له عند المجمع نوع المتعرج (V-Corrugated).

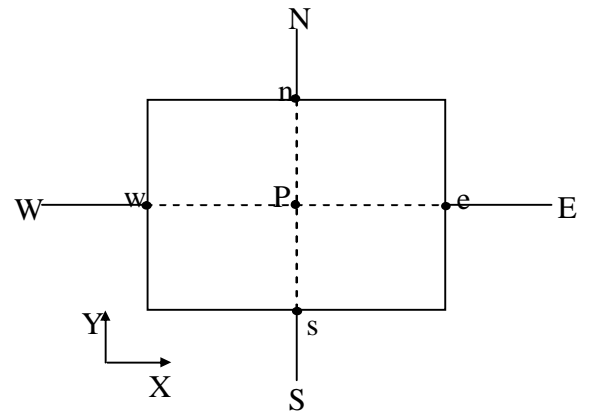
المصادر

- 1- Alison Mason, Fort Collins, Jim Welch, Cindy Kline Isenhour Richard "Solar Air Heating on Ridge Indian Reservation Promising Application of a Tried and True Solar Technology "
- 2- Hottel H.C., Woertz B.B. "Performance of flat Plate Solar Collectors", Trans. ASME, Vol.64, 1942.
- ٣- نجيبة عبد الله الحمداني ، " دراسة خصائص المجمع الشمسي في العراق " رسالة ماجستير ، كلية العلوم ، الجامعة المستنصرية (١٩٨٢).
- 4- V.K.Goel , R.Chandra, B.C. Raychaudhuri "Experimental Investigations on Single Absorber Solar Air Heater " Energy Convers. Mgmt., Vol.27, No.4, pp. 343-349, (1987).
- 5- K.G.T. Hollands, Solar Energy 7,108, 1961
- 6- A.A.M. Sayilgh, Solar Energy Engineering, Academi press, London 1977.
- 7- K. A. Joudi & A. I. Mohammed "Experimental Performance of a Solar Air Heater with a "V" Corrugated Absorber", Energy Convers. Mgmt Vol.26, No. 2, PP. 193-200, 1986.
- ٨- جنان مهدي هادي , "دراسة تجريبية لتحسين أداء سخان الهواء الشمسي بأستخدام مولد الدوامات " رسالة ماجستير ، قسم هندسة المكائن والمعدات ، الجامعة التكنولوجية (٢٠٠٥).
- 9- Apurba Layek, J. S. Saini and S. C. Solanki, "Heat Transfer and Friction Characteristics of Solar Air Heater Having Compound Turbulator on Absorber Plate" Advances in Energy Research (AER-2006).
- 10- Pantankar SV. 1980 "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere McGraw-Hill.
- 11- Launder B. E. and Spalding D.B. "The Numerical Computation of Turbulent Flows" (1974), Computer Methods in Applied Mechanics Engineering 3 PP. 269-289.

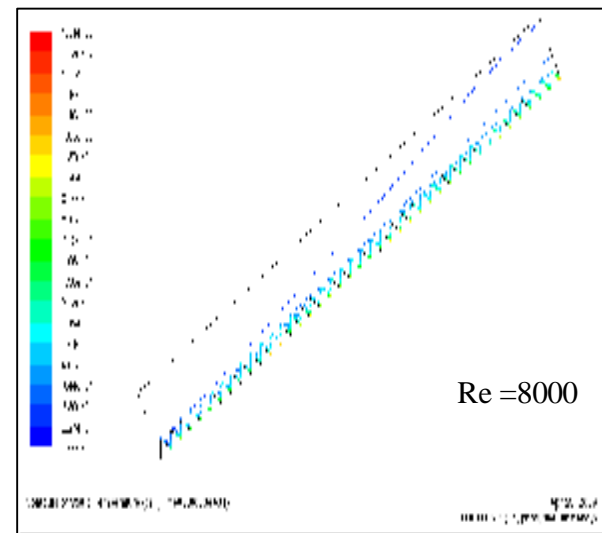
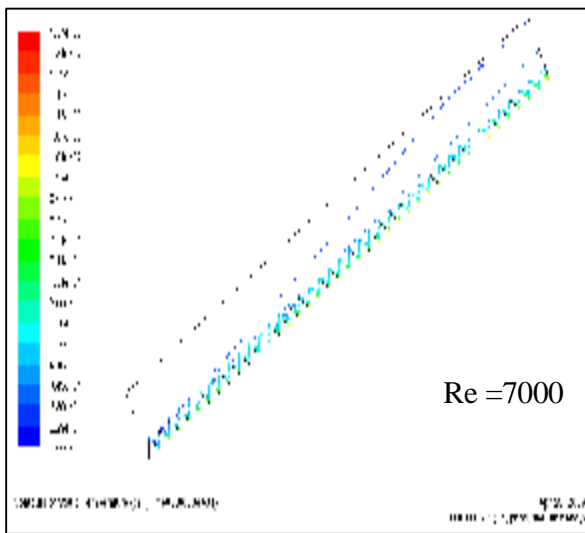
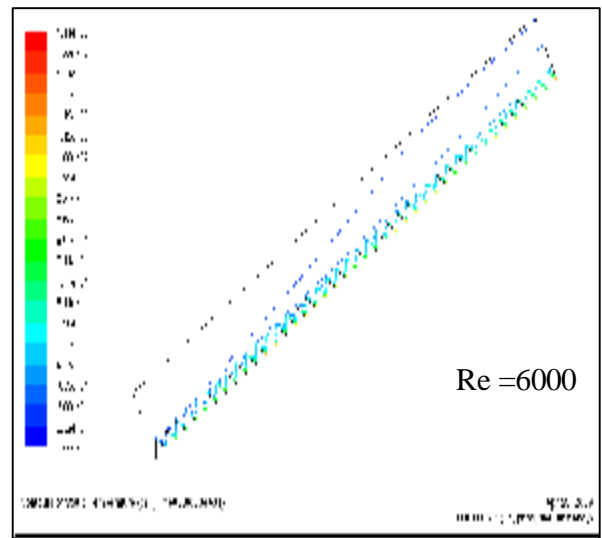
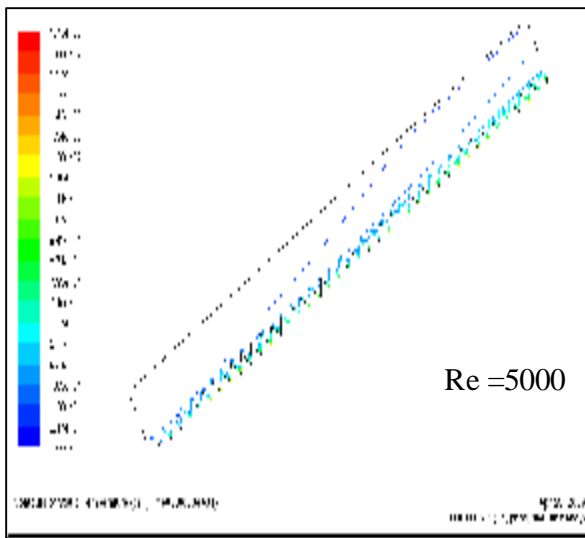




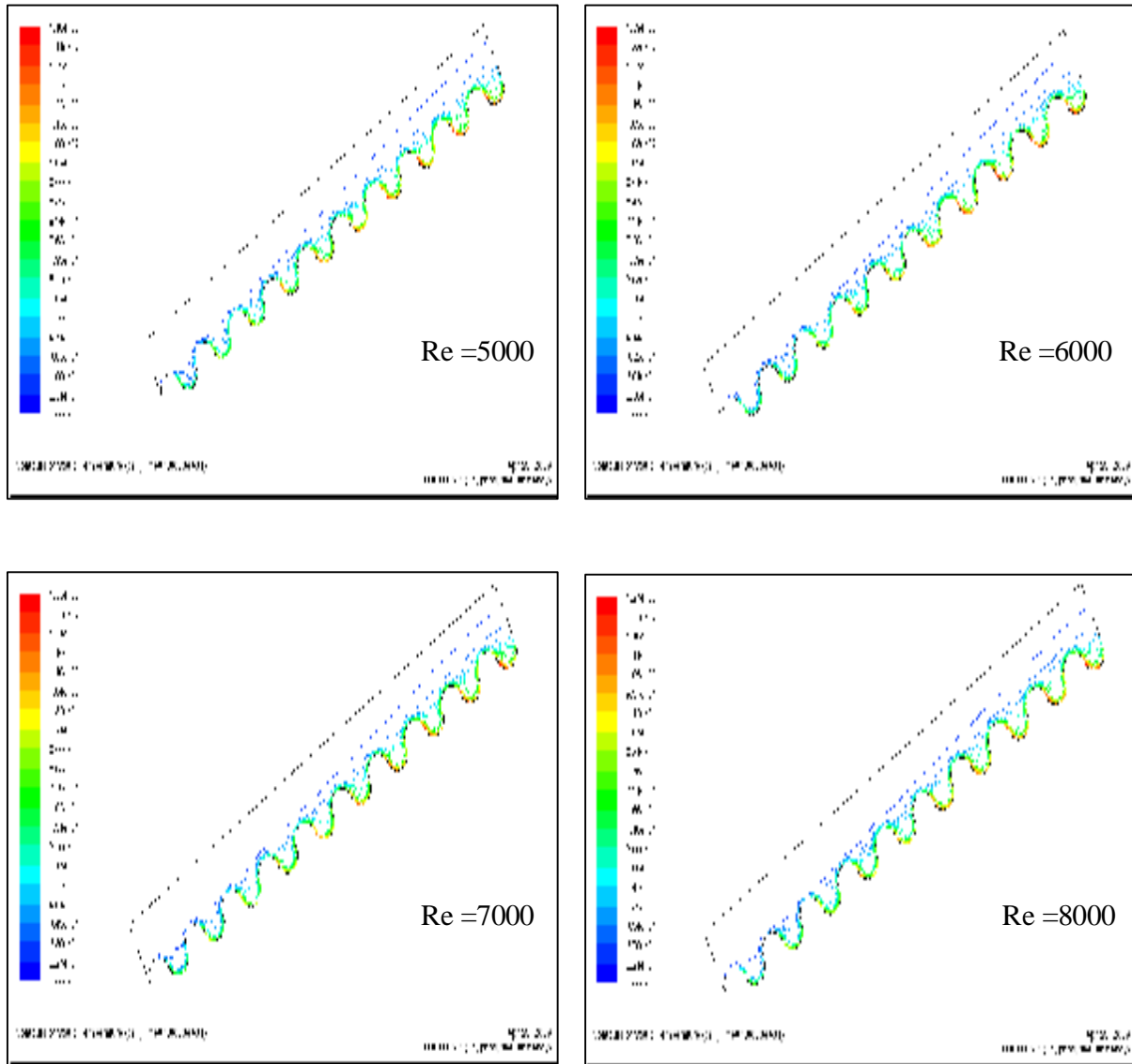
الشكل (٢) الشروط الحدية للمجمع الشمسي



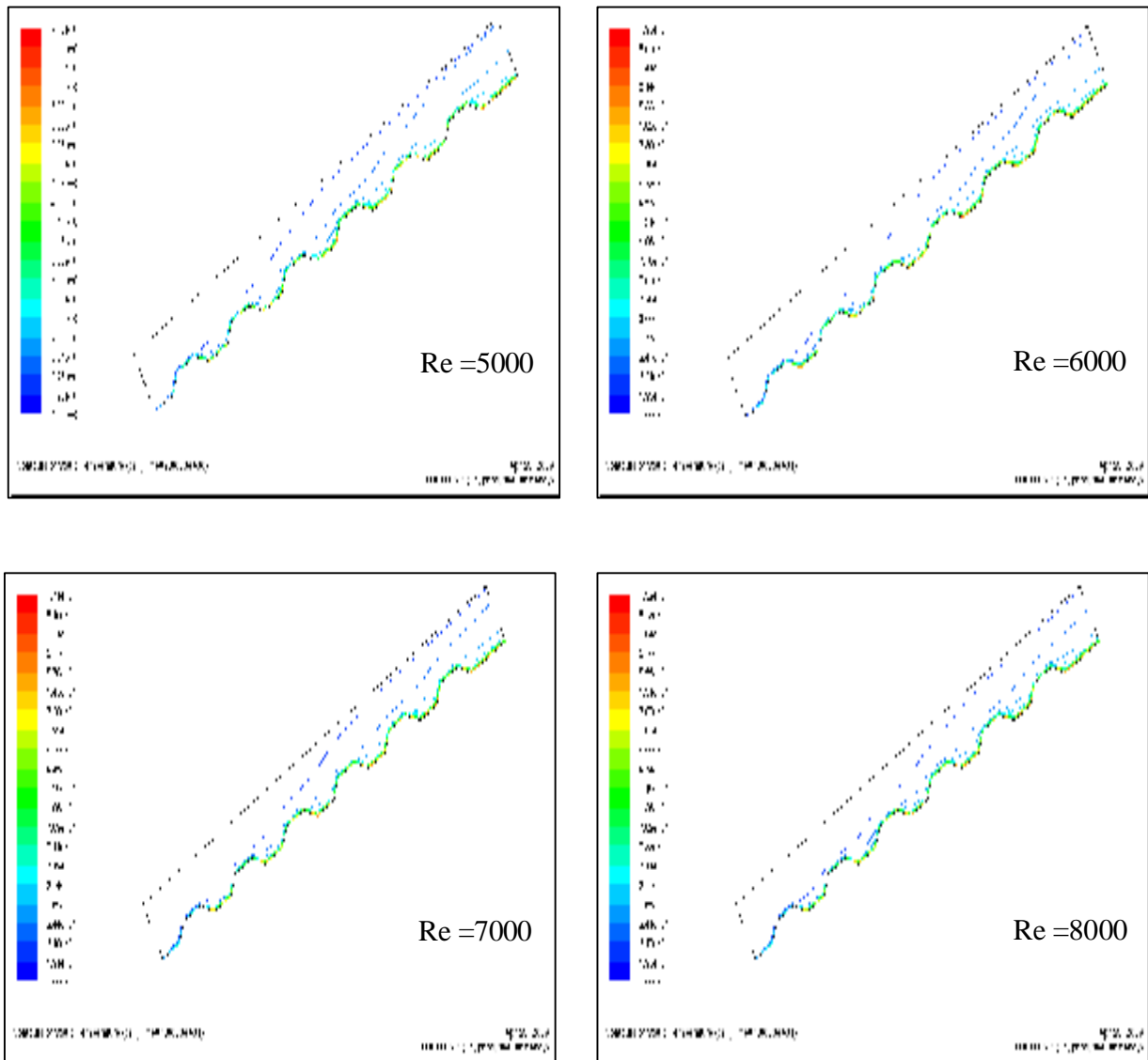
الشكل (١) الحجم المسيطر لطريقة الحجم المحددة



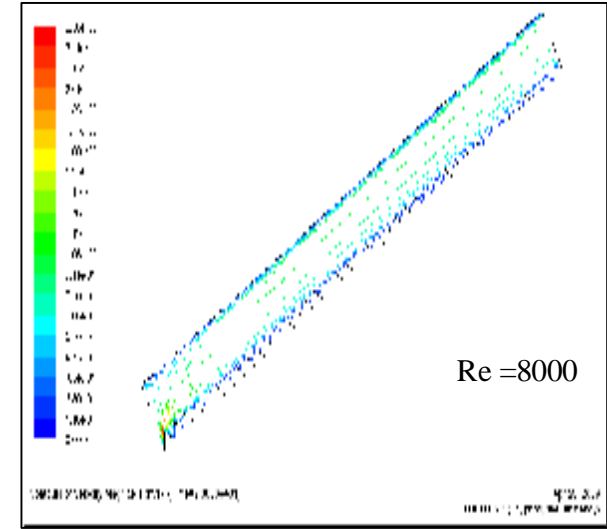
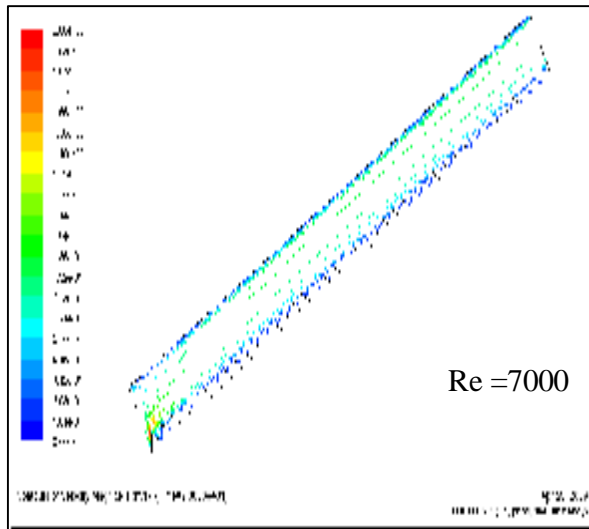
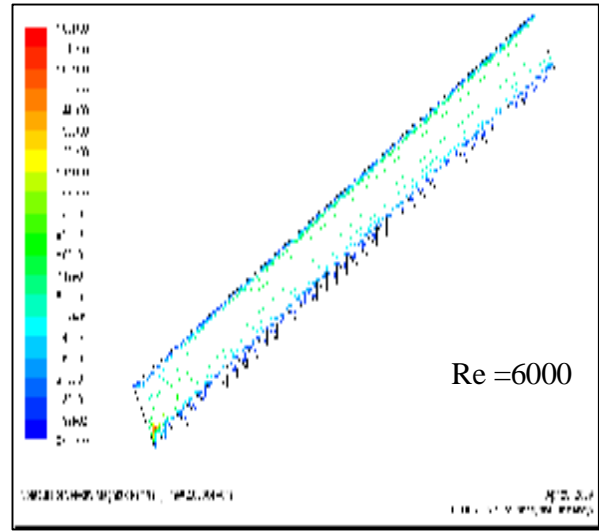
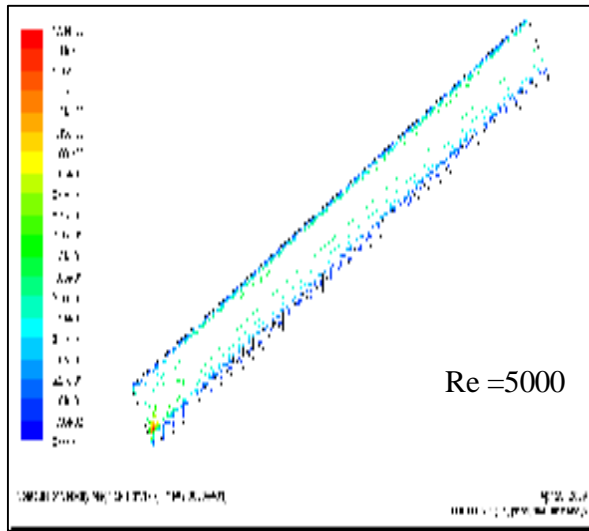
الشكل (٣) توزيع درجات حرارة الهواء داخل مجمع نوع (V-Corrugated) عند تغير عدد رينولدز ( $5000 \leq Re \leq 8000$ )



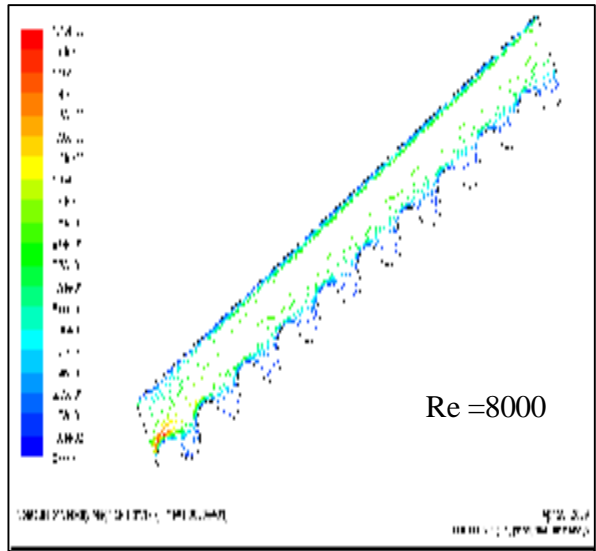
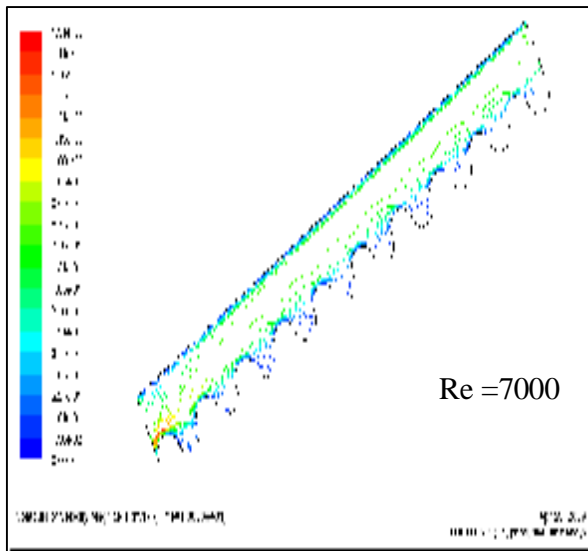
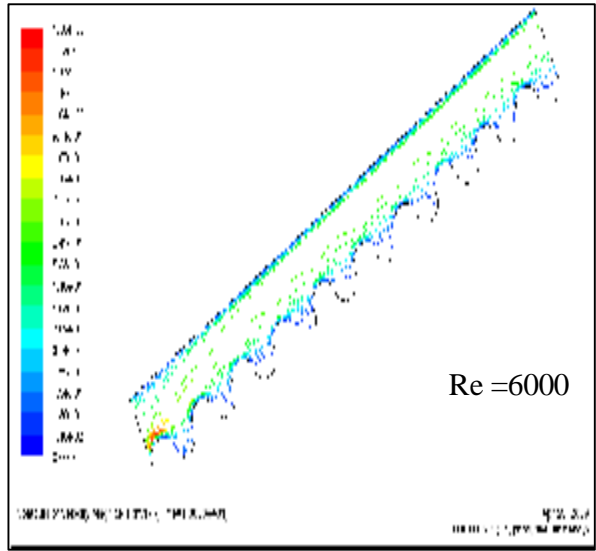
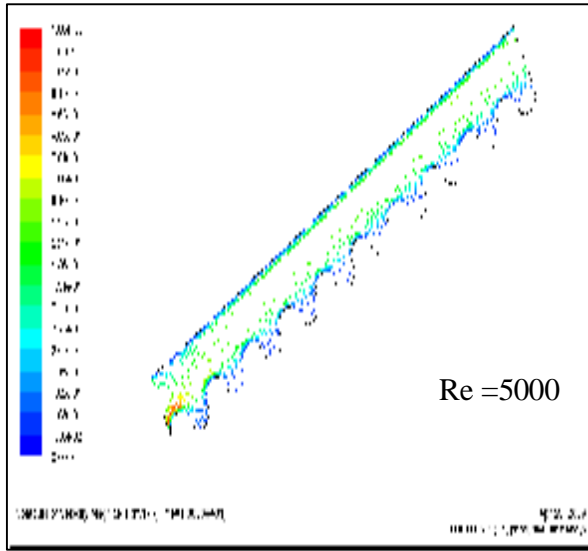
الشكل (٤) توزيع درجات حرارة الهواء داخل مجمع نوع  
(Sinusoidal Wave-Corrugated) عند تغير عدد رينولدز ( $5000 \leq Re \leq 8000$ )



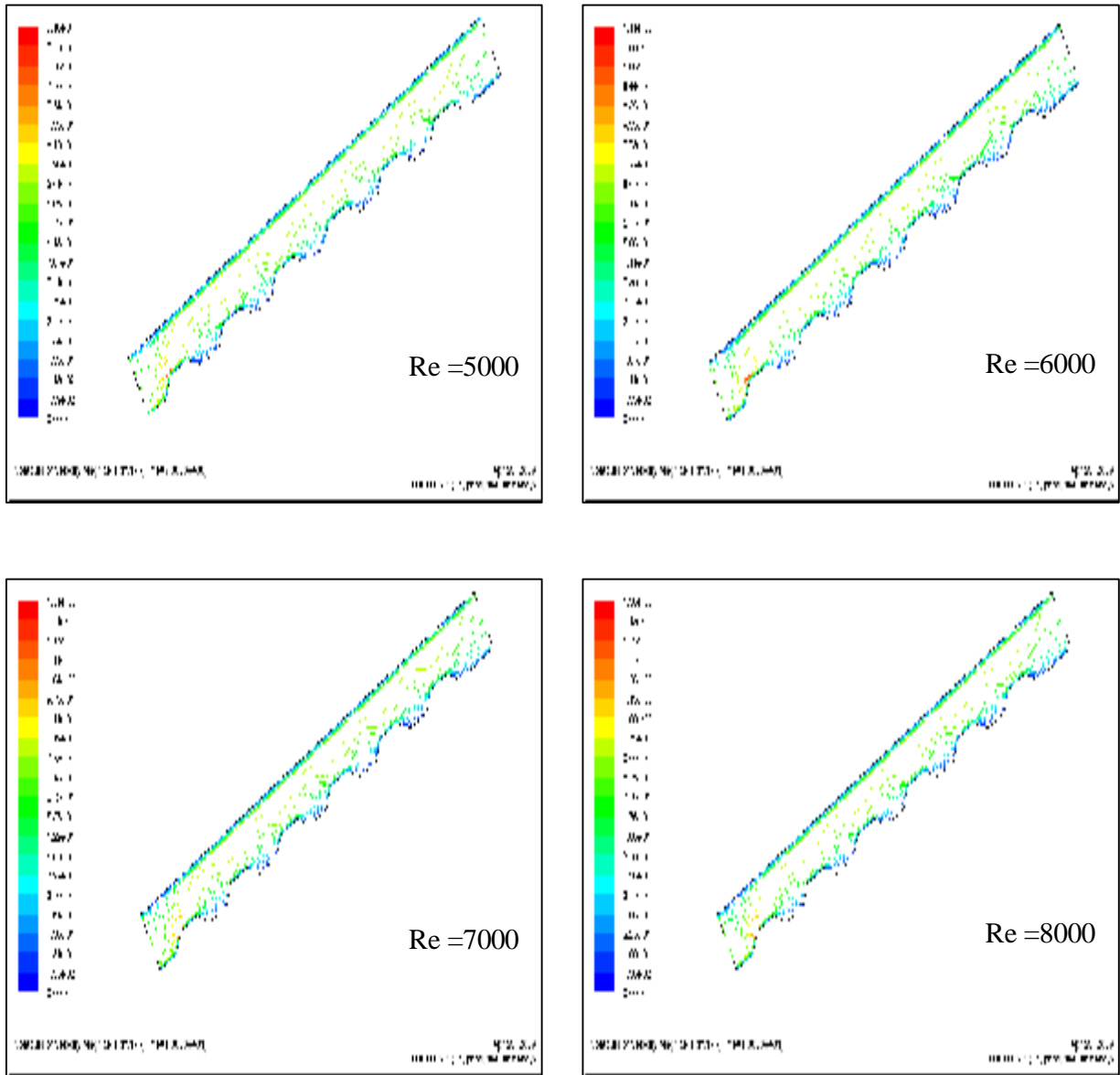
الشكل (٥) توزيع درجات حرارة الهواء داخل مجمع نوع  
(Rectangular-Corrugated) عند تغير عدد رينولدز



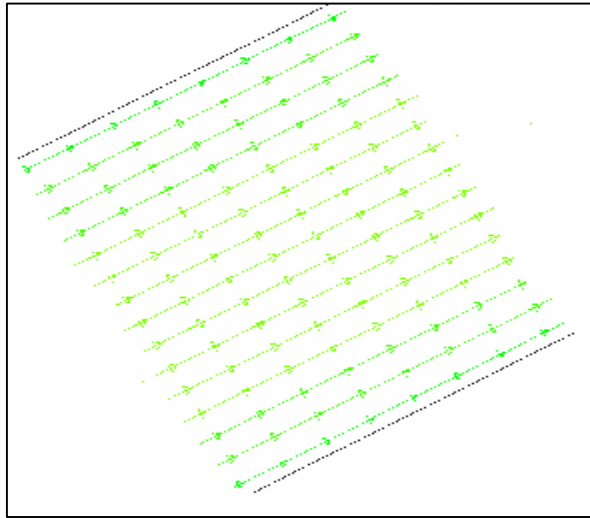
الشكل (٦) رسوم كنتورية لتوزيع سرعة الهواء داخل مجمع نوع (V-Corrugated) عند تغير عدد رينولدز ( $5000 \leq Re \leq 8000$ )



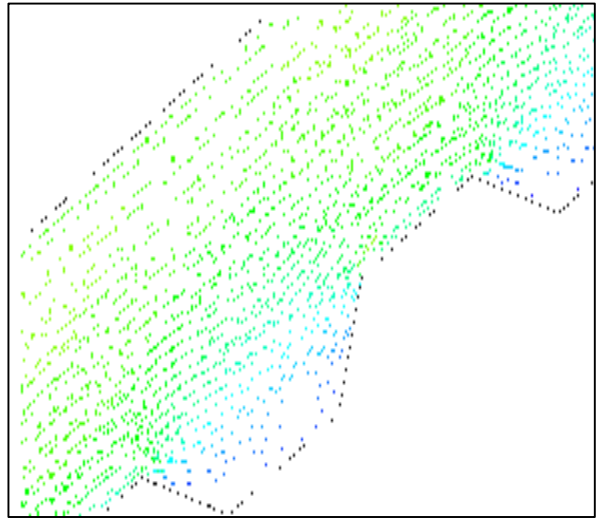
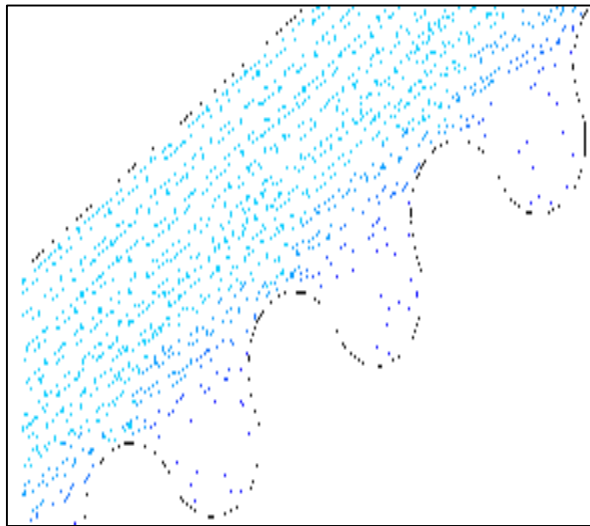
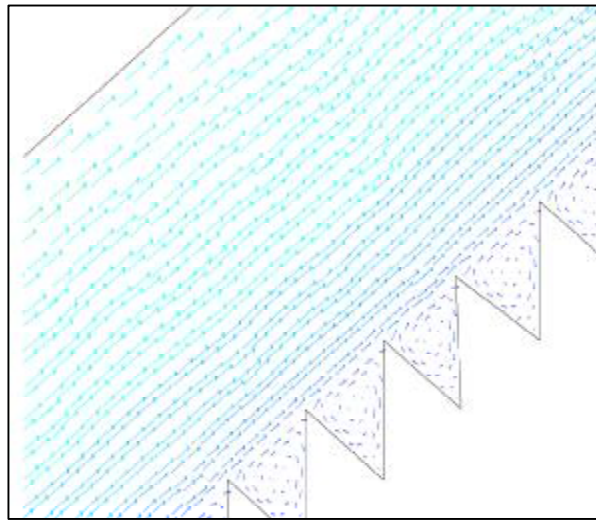
الشكل (٧) رسوم كنتورية لتوزيع سرعة الهواء داخل مجمع نوع  
(Sinusoidal Wave-Corrugated)



الشكل (٨) رسوم كنتورية لتوزيع سرعة الهواء داخل مجمع نوع (Rectangular-Corrugated)

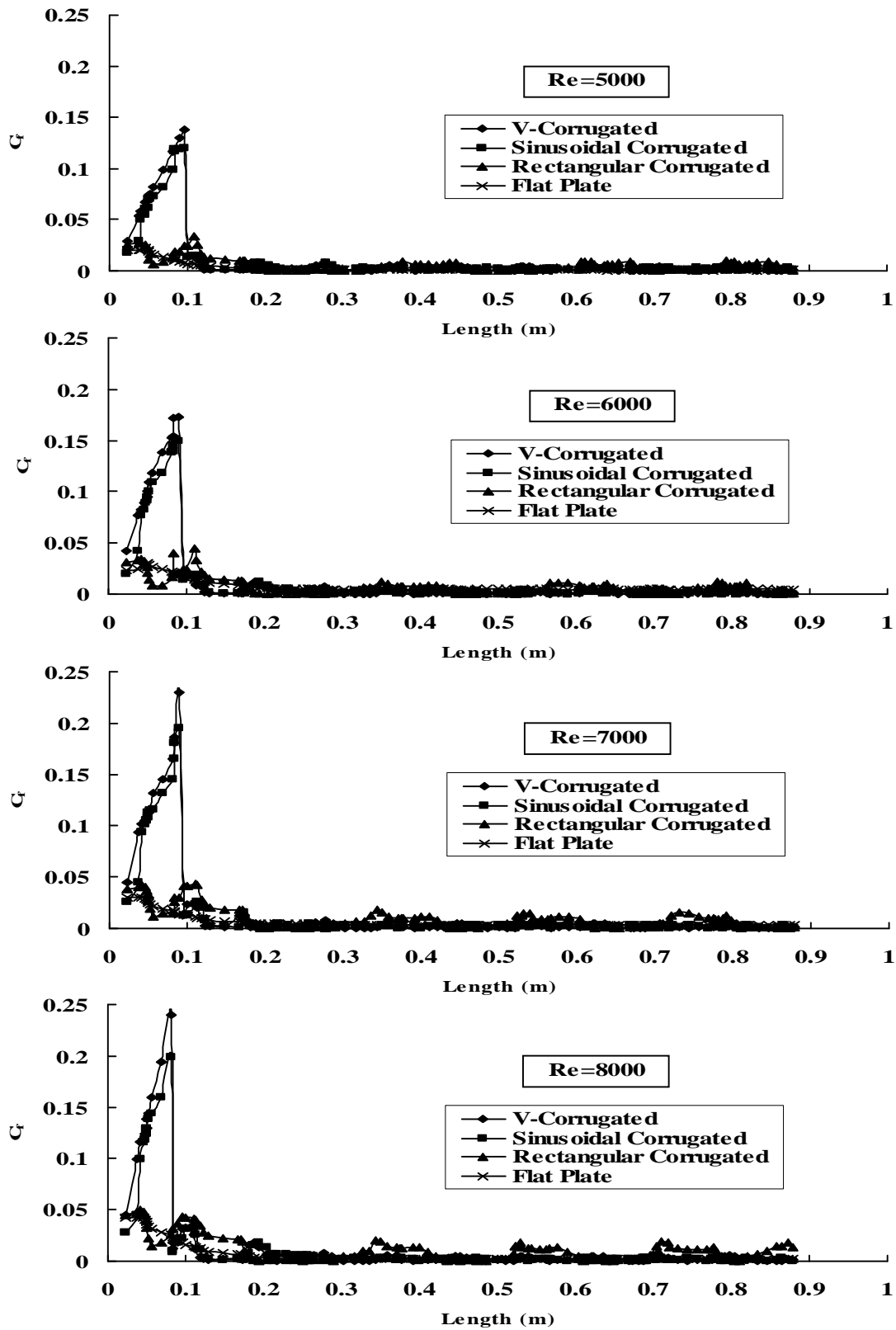


Flat Plate

Rectangular-Corrugated  
PlateSinusoidal Wave-Corrugated  
Plate

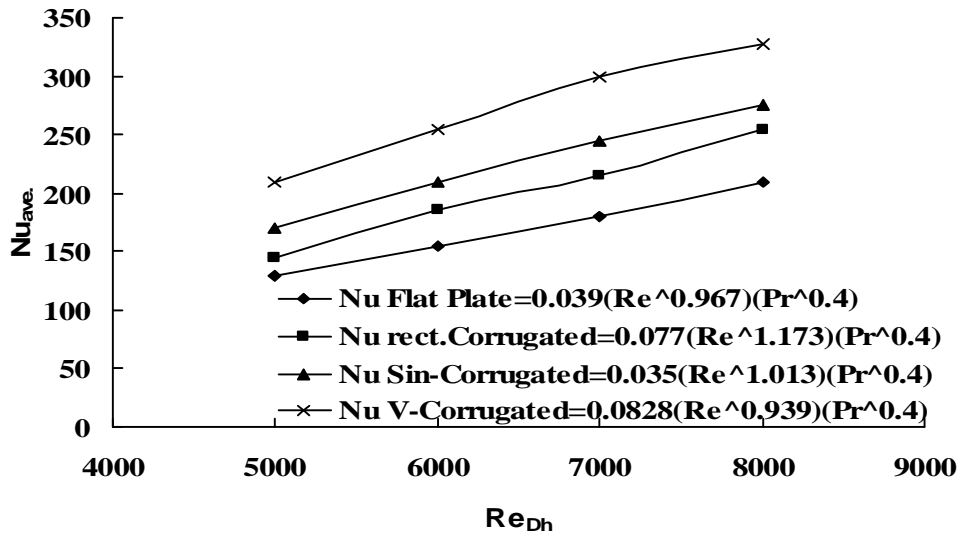
V-Corrugated Plate

الشكل (٩) متجة سرعة الهواء داخل مجمعات لمجموعة من السطوح المتعرجة عند ( $Re=5000$ )

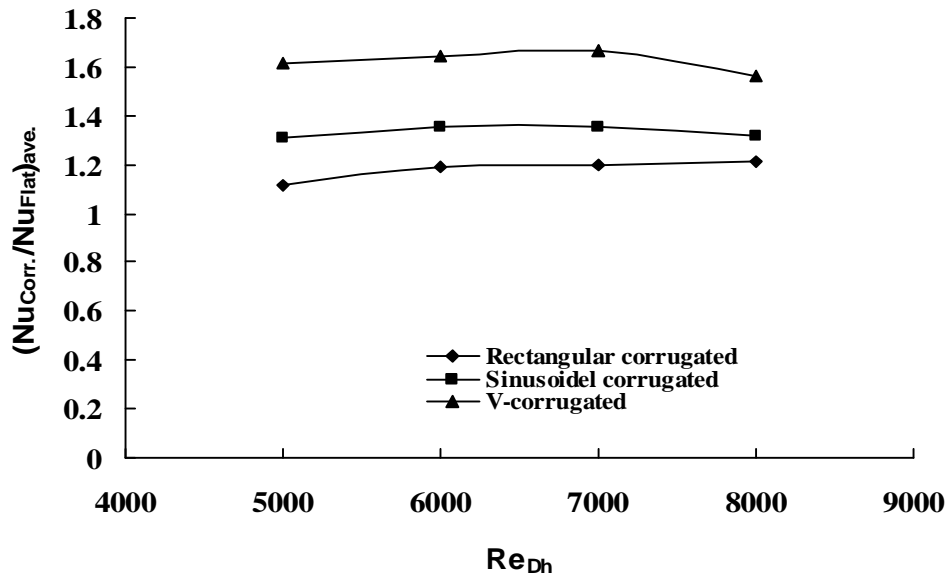


الشكل (١٠) معامل الاحتكاك السطحي لأربعة أنواع من اللوح الامتصاص ولمدى عدد رينولد (5000 ≤ Re ≤ 8000)

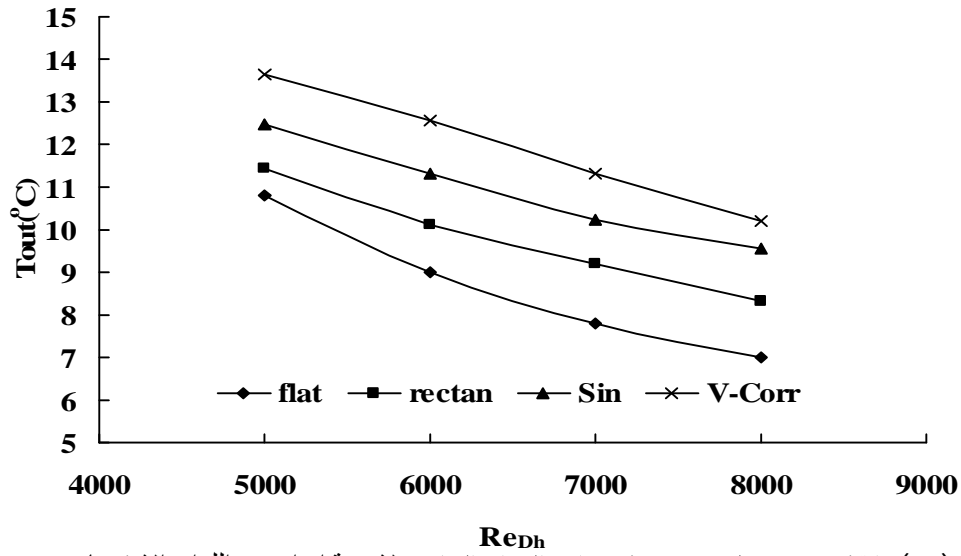




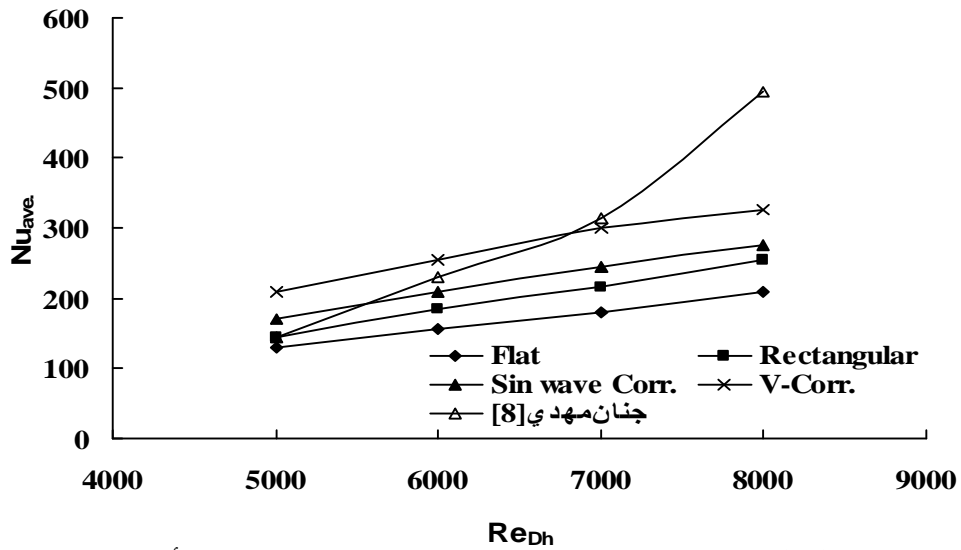
الشكل (١١) علاقة عدد رينولد مع عدد نسلت لاربعة انواع من اللواح الامتصاص



الشكل (١٢) علاقة عدد رينولد مع نسبة عدد نسلت المتعرج الى المستوي



الشكل (١٣) علاقة عدد رينولد مع درجة حرارة الهواء الخارج لاربعة انواع من اللوح الامتصاص



الشكل (١٤) مقارنة البحث الحالي مع دراسة سابقة لمجمع هواء شمسي بأستخدم مولد الدوامات