

دراسة تأثير الشكل الهندسي للحشوات على أداء المبادل الحراري الدوار لمحطة الدورة الحرارية

م.م. ثامر خليل ابراهيم

قسم الهندسة الميكانيكية- جامعة تكريت

الخلاصة

تم في هذا البحث إجراء دراسة نظرية لعدة أنواع من الحشوات المعدنية للمسترجع الحراري الدوار ، اذ تم اجراء الدراسة باستخدام طريقة التحليل العددي لحشوة المسترجع الاصلية ومقارنتها بالحشوات المعدنية الثلاثة ذات الاشكال الهندسية المختلفة والتي هي الحشوة المعدنية ذات التمرج المسطح (CF) وذات التمرج المحرز المسطحة (NF) والحشوة الأنبوبية (TM) . شملت الدراسة توزيع درجات الحرارة لهواء الاحتراق وغازات العادم و انتقال الحرارة وهبوط الضغط و كتلة المادة الخازنة و المساحة السطحية . وقد لوحظ وان معدل درجة حرارة خروج هواء الاحتراق لفترة التسخين تكون الأكثر للحشوة الأصلية هو (157.1°C) وتزيد درجات الحرارة للحشوة (TM) والحشوة (CF) بالنسب (14%) و (9.7%) على التوالي عن الحشوة الاصلية في حين تقل للحشوة (NF) عنها بالنسبة (1.6%) .

في حين تزداد درجات الحرارة لغازات العادم لفترة التبريد مع زيادة طول المبادل وان معدل درجة خروج غازات العادم للحشوة الأصلية هو (296.6°C) وتقل درجات الحرارة للحشوات (TM) و (CF) عن الحشوة الاصلية بالنسب (3.7%) و (1.81) على التوالي في حين تزداد للحشوة (NF) بالنسبة (3.33%) عن الحشوة الاصلية . اما بالنسبة لانتقال الحرارة وهبوط الضغط لوحظ ان الحشوة (TM) تمتلك النسبة الاكبر من حيث انتقال الحرارة وهبوط الضغط بالمقارنة مع الاشكال الاخرى حيث يقل معامل انتقال الحرارة للحشوات الاخرى (CF) و (NF) عن الحشوة (TM) بالنسب (8.2%) و (10.1%) على التوالي. و يقل هبوط الضغط للحشوات (CF) و (NF) بالنسب (45%) و (53%) على التوالي عن الحشوة (TM) .

اما لكتلة المادة الخازنة فقد لوحظ ان الحشوة (TM) تكون لها الكتلة الاكبر بالمقارنة مع الاشكال الاخرى حيث تقل الكتلة للحشوات (CF) و (NF) عن الحشوة (TM) بالنسب (65.4%) و (76%) على التوالي. وان المساحة السطحية تقل مع زيادة عدد الخلايا لجميع الحشوات . وقد لوحظ ان الحشوة (TM) تمتلك اكبر مساحة سطحية بالمقارنة مع الاشكال الاخرى حيث تقل المساحة السطحية لحشوات (CF) و (NF) بالنسب (17.6%) و (25%) على التوالي عن الحشوة (TM) .

الكلمات الدالة : الحشوة المعدنية، المجددات ، توزيع درجات الحرارة ، اداء، مبادل حراري

Investigating the Matrix Geometry Shape Effects on the performance of the Rotary Heat Exchanger in the Dorah Power Plant

Abstract

The present study is a theoretical investigation for the effects of several types of metal matrix for the rotary heat exchanger. Numerical analysis is used to analyze the parameters of the original matrix and compare them with those of the new three matrix: A metal matrix with a wave of (Corrugated Flat), a wave of (Notched Flat) , and tube matrix .

The studied parameters included: temperature distribution of the combustion air , exhaust gases; heat transfer, pressure drop, heat elements, and surface area. It was seen that rate temperature of the burned air for the original matrix was 157.1 °C which is lower than that of TM and CF matrix by 14 % and 7.9 % respectively; and higher than that of the NF matrix by 1.6%.

The temperatures of the exhaust gases increase during the cooling period with the increase of length of the heat exchanger. The mean temperature of exhaust gases for the original matrix was 296.6 °C which is higher than that of the TM and CF matrix by 3.7 % and 1.81 respectively; and lower than of the TM by 3.33%.

The TM matrix has a heat transfer and pressure drop higher than the others. This is because the heat transfer coefficients of CF and NF matrix are lower than that of TM matrix by 8.2 % and 10.1 % respectively. The pressure drops for CF and NF matrix are lower by 45% and 53% respectively.

The heat elements of TM matrix is higher than CF and NF by 65.4% and 76% respectively. The surface area decreases with the increase of cell number for all the types. TM matrix has the highest surface area. It is larger than that of CF and NF by 17.6% and 25% respectively.

Keywords: Metal matrix , Regenerators, Temperature distribution, Performance ,Heat exchanger

الموضع بالنسبة للزمن في المخطط الشبكي	J	قائمة الرموز
الموصلية الحرارية °C/m ² .	K	الرمز التعريف
طول المبادل	L	\dot{m} معدل التدفق الكتلي kg/sec
كتلة الحشوة المعدنية في المبادل kg	M	A المساحة m ²
عدد خطوات التكامل للإزاحة	n ₁	C ارتفاع الخلية mm
عدد خطوات التكامل للزمن	n ₂	CF الحشوة المعدنية ذات التموج المسطح
حشوة المعدنية المسطحة ذات تموج محرز	NF	Cp الحرارة النوعية للمائع kJ/kg.
الضغط Pa	P	D القطر m
الطاقة الحرارية kJ	Q	F معامل الاحتكاك
عرض الخلية mm	S	G الزخم الكتلي kg / sec m ²
درجة الحرارة اللابعدية	T	G التعجيل الأرضي m/sec ²
درجة الحرارة °C	T	H معامل انتقال الحرارة °C/m ² W
الحشوة الأنبوبية	TM	I الموضع بالنسبة للإزاحة في المخطط الشبكي

الى الخارج . تقسم المسخنات الى صنفين رئيسيين هما : المسترجعات (Recuperates) و تقسم الى نوعين هما مسخن الهواء الأنبوبي ومسخن الهواء أصفائحي والتي يكون المائع الساخن فيها مفصول عن المائع البارد . اما الصنف الثاني من المسخنات فتسما المجددات (Regenerators) فيشغل فيها المائع الساخن والبارد الحيز نفسه بالتناوب في قلب المبادل الحراري . ان قلب المبادل الحراري او (الأحشاء) يعمل كجهاز خزن حراري يسخن دوريا بسحب الحرارة من احد المائعين وبعد ذلك ينقلها الى المائع البارد. وفي تركيب الحشاء الثابت يمر المائع الساخن والبارد وبالتناوب خلال المبادل الساخن . هناك عدة فوائد للمبادل ذي الجريان المتناوب هي زيادة المساحة السطحية لانتقال الحرارة بسبب انعكاس الجريان الدوري [1].

تتكون المجددات من نوعين هما المجدد الدوار (Rotary Regenerator) والذي هو عبارة عن صفائح فولاذية متموجة على شكل صندوق قطري مقسم الى أجزاء او مجموعات فصيحة لتكمل دائرة حول عمود الدوران . اذ يتم انتقال الحرارة عن طريق الصفائح المعدنية وتدعى الحشوة المعدنية (Metal Matrix) في اثنا دورانه خلال مجرى المائع الساخن والبارد اللذين يمران من خلال نصفي المسخن بصورة مستمرة ومتعاكسة وكما موضح في الشكل رقم (1) [2] .

في عام 1964 قام الباحث (Willmott) بدراسة لمحاكاة المبادل الحراري الدوار متبعا للتقنية العددية لحل المعادلات التفاضلية من نو القطع المكافئ واصفا سلوك درجات الحرارة للمبادل وشار الباحث الى وجود طريقتين للحل هما:

الطريقة الاولى تدعى بالنوع المغلق (Eigh Function) للباحث (Hausen) وكذلك طريقة تحويل لابلاس.

الرموز الإغريقية

Λ الطول المصغر

θ الزمن Sec

ρ الكثافة kg/m^3

Y الإزاحة من دخول المجرى

U الحجم النوعي m^3/kg

pd الفترة الزمنية Sec

Δ سمك الصفيحة Mm

ξ الطول اللابعدي

l طول الضلع mm

σ نسبة الفراغ

B المحيطي

c الحمل

f المائع

i عند الدخول

m معدن الحشوة

o عند الخروج

S السطحي

الرموز التحتية

/ فترة التسخين

// معدل-فترة التبريد

A الهواء

m معدن الحشوة

o عند الخروج

S السطحي

المقدمة

54 ان المراحل البخارية المستخدمة في محط

توليد الطاقة الكهربائية تزود عاده بإضافات لضمان الاستغلال الأمثل للطاقة ومن هذه الإضافات مسخن الهواء الذي يعمل على سحب جزء من حرارة غازات العادم الساخنة الناتجة من عملية الاحتراق قبل طردها

وفي هذه الدراسة تم دراسة مسترجع محطة الدورة الحرارية والتي تضم (4) وحدات توليد تبلغ القدرة التصميمية لكل وحدة (160 MW) وكل مرجل يحتوي على مسخنين من نوع القرص الدوار ويقع مسخن الهواء في مجرى كل من هواء الاحتراق الداخل وغازات العادم الخارجة. ويبلغ ارتفاع القرص الدوار (1400 mm) وقطره (6280 mm) ووزنه الكلي (5109 kg) وسرعته الدورانية (3.02 RPM) وتتدخل غازات العادم عند درجة حرارة (360 °C) وبمعدل تدفق (210750 m³/h) وبينما يدخل الهواء عند درجة حرارة (80°C) وبمعدل تدفق (199000 m³/h) ويقسم القرص الدوار الى جزئين بارد وحار. الجزء الحار ارتفاعه (1100 mm) والجزء البارد ارتفاعه (300 mm). وتعاني المبادلات الحرارية الدوارة من عدة مشاكل ومن اهم هذه المشاكل الانسدادات نتيجة التكلسات التي تحصل داخل الحشوة المعدنية مما يؤدي الى انخفاض كمية هواء الاحتراق الداخلة الى فرن المرجل (وبعبارة أخرى زيادة هبوط الضغط) كما ان حجم وحدة الخلية وشكلها الهندسي يؤثران على انتقال الحرارة وهبوط الضغط. ولهذا تم إجراء دراسة لبدائل من الحشوات ذات الأشكال الهندسية المختلفة لمحطة الدورة الحرارية لبيان تأثير الشكل الهندسي للحشوات على انتقال الحرارة في فترتي التبريد والتسخين وهبوط الضغط وكتلة الحشوات.

التحليل الرياضي

الهدف من التحليل الرياضي لمسخن الهواء هو معرفة توزيع درجات الحرارة للمائع الساخن والبارد وهذا يتطلب التعامل مع المعادلات

الطريقة الثانية تدعى بطريقة المحاكاة (Simulation Type) حيث يدخل النموذج الرياضي في دورات متعاقبة للحل وصولاً الى حالة التوازن [3].

وفي عام 2001 قام الباحث (Al-Doury) بإجراء دراسة عملية لمحطة بيجي الحرارية وأجرى تحليلاً للمبادل الحراري في المحطة. وقد قام بحل المعادلات التفاضلية بالتحليل العددي لإيجاد توزيع درجات الحرارة للمائع ومعدن الحشوة حيث أجرى دراسة للعوامل المختلفة المؤثرة على عمل المبادل وكلاسيكية: دراسة تأثير معدل التدفق وتأثير درجة حرارة المائع البارد قبل دخوله الى المبادل وكذلك دراسة تأثير تغيير سرعة الدوران على المبادل [4].

وفي عام 2002 قام الباحث (الطالب) بأجراء دراسة عملية لمحطة بيجي الحرارية واجراء تحليلاً للمبادل الحراري لمحطة كهرياء بيجي الحرارية. وقد قام بحل المعادلات التفاضلية بالتحليل العددي لإيجاد توزيع درجات الحرارة للمائع ومعدن الحشوة وأجرى دراسة لتأثير تغيير كتلة المادة الخازنة للحرارة على اداء المبادل وتم تغيير الكتلة بثلاث طرق مختلفة وهي:

الطريقة الاولى : تغيير طول المبادل اذ يؤدي ذلك الى تغيير كتلة المادة الخازنة للحرارة والمساحة السطحية لانتقال الحرارة مع بقاء مساحة مقطع الجريان والقطر الهيدروليكي ثابتين.

الطريقة الثانية : تغيير عدد صفائح حشوة المبادل اذ يؤدي ذلك الى تغيير كتلة المادة الخازنة للحرارة والمساحة السطحية لانتقال الحرارة وكذلك تغيير مساحة مقطع الدوران والقطر الهيدروليكي .

الطريقة الثالثة: تغيير سمك صفائح حشوة المبادل اذ يؤدي الى تغيير كتلة المادة الخازنة للحرارة مع بقاء المساحة السطحية لانتقال الحرارة ثابتة. وقارن بين الطرق الثلاث [5].

تنتقل الطاقة الحرارية بين المائع ومعدن الحشوة بواسطة الحمل (Convection) حسب العلاقة الآتية [1] :-

$$[\Delta Q_c = hA_{scv} (t_f - t_m) \Delta \theta] \dots\dots\dots (3)$$

وحسب قانون الاتزان الحراري فان الحرارة المكتسبة تساوي الحرارة المفقودة بين الحشوة المعدنية والمائع ولكن بعكس الإشارة [6].

$$-\Delta Q_f = \Delta Q_c \dots\dots\dots (4)$$

وبعد تعويض معادلة (1) في (3) نحصل على :-

$$\frac{\partial t_f}{\partial y} = \frac{hA_{scv}}{Cp_f \dot{m}_{fcv} \Delta y} (t_m - t_f) \dots\dots\dots (5)$$

وبأجراء الموازنة الحرارية بين الحرارة المنتقلة بالحمل والطاقة الداخلية لمعدن الخزن الحراري نحصل على الآتي :-

$$\Delta Q_m = \Delta Q_c$$

وبعد تعويض معادلة (2) في (3) نحصل على :-

$$\frac{\partial t_m}{\partial \theta} = \frac{hA_{scv}}{Cp_m M_{mcv}} (t_f - t_m) \dots\dots\dots (6)$$

يمكن أن تبسط المعادلات (5) و (6) والتي تعتبر المعادلات الحاكمة لقياس أداء المبادل بفرض المتغيرات اللابعدية (ζ) و (η) وكما يأتي :-

الإزاحة اللابعدية

$$\zeta = \frac{hA_{scv}}{Cp_f \dot{m}_{fcv} \Delta y} y$$

الزمن اللابعدية

$$\eta = \frac{hA_{scv}}{Cp_m M_{mcv}} \theta$$

لتعويض عن قيم $\theta = Pd$ و $\Delta y = L$ و A_{scv}

A في المتغيرات اللابعدية أعلاه في المعادلتين

(5) و (6) ينتج :-

لمستخدمة في وصف اداء المبادل الحراري بصيغ واشكال مختلفة ومن ثم تكاملها .

تم افتراض حشوة مبادل مكونة من صفائح

رقيقة متوازية ومتماثلة في الحجم المسيطر (Control

Volume) كما في الشكل (2) اذ يدخل المائع الى

الحجم المسيطر في فترة التسخين عند موضع (y)

بدرجة حرارة (t_f) ويغادر عند موضع

(y + Δy) بدرجة حرارة { t_f + (∂t_f/∂y) Δy } في

حين يدخل المائع الحجم المسيطر في فترة التبريد عند

موضع (y + Δy) بدرجة حرارة (t_f) ويغادر عند

موضع (y) بدرجة حرارة { t_f + (∂t_f/∂y) Δy } تم

حساب التغير في الطاقة الداخلية للمائع من العلاقة

الآتية [1] :-

$$\Delta Q_f = Cp_f \dot{m}_{fcv} \Delta \theta \left\{ t_f + \left(\frac{\partial t_f}{\partial y} \right) \Delta y - t_f \right\}$$

$$\Delta Q_f = Cp_f \dot{m}_{fcv} \Delta \theta \frac{\partial t_f}{\partial y} \Delta y \dots\dots\dots (1)$$

ان قيمة (∂t_f/∂y) سالبة في فترة التسخين وموجبة في

فترة التبريد.

يدخل معدن الحشوة الحجم المسيطر في فترة

التسخين عند (θ) بدرجة حرارة (t_m) ويخرج عند

(θ + Δθ) بدرجة حرارة (t_m + (∂t_m/∂θ) Δθ) والتي تعد

درجة حرارة دخول الحجم المسيطر في فترة التبريد عند

(θ) ويخرج عند (θ + Δθ) بدرجة حرارة t_m .

ان الطاقة الداخلية لمادة الخزن الحراري

تتغير حسب المعادلة الآتية [1] :-

$$\Delta Q_m = Cp_m M_{mcv} \left\{ t_m + \frac{\partial t_m}{\partial \theta} \Delta \theta - t_m \right\}$$

$$\Delta Q_m = Cp_m M_{mcv} \frac{\partial t_m}{\partial \theta} \Delta \theta \dots\dots\dots (2)$$

وبتطبيق التحليل العددي الذي ورد في المصدر [7] ومن الفرق المحدد المركزي نحصل:-

$$\left(\frac{\partial t_f}{\partial \zeta}\right)_{i+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{dt_f}{d\zeta}\right)_{i+1} + \left(\frac{dt_f}{d\zeta}\right)_i \right]$$

$$= \frac{t_{f(i+1,j+1)} - t_{f(i,j+1)}}{\Delta \zeta} \dots\dots\dots(9)$$

ومن المعادلة (7) نحصل على:-

$$\left(\frac{dt_f}{d\zeta}\right)_{i+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} (t_{m(i+1,j+1)} + t_{m(i,j+1)})$$

$$- \frac{1}{2} (t_{f(i+1,j+1)} + t_{f(i,j+1)}) \dots\dots\dots(10)$$

وبمساواة المعادلتين (9) و (10) ينتج :-

$$t_{f(i+1,j+1)} = t_{f(i,j+1)}$$

$$+ \frac{\Delta \zeta}{2} (t_{m(i+1,j+1)} - t_{f(i+1,j+1)} + t_{m(i,j+1)} - t_{f(i,j+1)})$$

$$\dots\dots\dots(11)$$

وبالطريقة نفسها بالنسبة الى η :-

$$\left(\frac{\partial t_m}{\partial \eta}\right)_{j+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{dt_m}{d\eta}\right)_{j+1} + \left(\frac{dt_m}{d\eta}\right)_j \right]$$

$$= \frac{t_{m(i+1,j+1)} - t_{m(i+1,j)}}{\Delta \eta} \dots\dots\dots(12)$$

ومن المعادلة (8) نحصل على:-

$$\left(\frac{dt_m}{d\eta}\right)_{j+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} (t_{f(i+1,j+1)} + t_{f(i+1,j)})$$

$$- \frac{1}{2} (t_{m(i+1,j+1)} + t_{m(i+1,j)})$$

$$\dots\dots\dots(13)$$

وبمساواة المعادلتين (12) و (13) نحصل على

الاتي

$$t_{m(i+1,j+1)} = t_{m(i+1,j)}$$

$$+ \frac{\Delta \eta}{2} (t_{f(i+1,j+1)} - t_{m(i+1,j+1)} + t_{f(i+1,j)} - t_{m(i+1,j)})$$

$$\dots\dots\dots(14)$$

كما ان المعادلة (11) بعد اعادة الترتيب تصبح

كالاتي:

$$t_{m(x+1,s+1)} = \frac{2 - \Delta \eta}{(2 + \Delta \eta) \left(1 - \frac{A_2 \Delta \eta}{2 + \Delta \eta}\right)} t_{m(x+1,s+1)}$$

$$+ \frac{\Delta \eta}{(2 + \Delta \eta) \left(1 - \frac{A_2 \Delta \eta}{2 + \Delta \eta}\right)} t_{f(x+1,s+1)}$$

$$+ \frac{A_2 \Delta \eta}{(2 + \Delta \zeta) \left(1 - \frac{A_2 \Delta \eta}{2 + \Delta \eta}\right)} t_{m(x,s+1)}$$

$$+ \frac{A_1 \Delta \eta}{(2 + \Delta \eta) \left(1 - \frac{A_2 \Delta \eta}{2 + \Delta \eta}\right)} t_{f(x,s+1)} \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{\partial t_m}{\partial \eta} = (t_f - t_m) \dots\dots\dots(8)$$

ومن اجل تبسيط المعادلات لغرض تسهيل الحل نفرض ان :-

الإزاحة المصغره لفترة التسخين

$$\Lambda' = \frac{h'A}{Cp_f \dot{m}_f}$$

والزمن المصغر لفترة التسخين

$$\Pi' = \frac{h'A}{Cp_m M_m} pd'$$

والإزاحة المصغره لفترة التبريد

$$\Lambda'' = \frac{h''A}{Cp_f \dot{m}_f}$$

والزمن المصغر لفترة التبريد

$$\Pi'' = \frac{h''A}{Cp_m M_m} pd''$$

وبغية تبسيط الحل اكثر يتم تقسيم حثوة المبادل الى شرائح تمثل عدد خطوات التكامل بالنسبة للإزاحة باتجاه الجريان والى شرائح تمثل عدد الخطوات للتكامل بالنسبة الى الزمن باتجاه الدوران وتصاغ المعادلتان (7) و(8) بأشكال مختلفة ويتم تكاملها بطريقة شبه المنحرف (Trapezoidal method) خطوة بخطوة وبوساطة برنامج حاسوبي لمحاكاة الأداء.

$$t_{m(i+1,j+1)} = K_1 t_{m(i+1,j)} + K_2 t_{f(i+1,j)} + K_3 t_{m(i,j+1)} + K_4 t_{f(i,j+1)} \quad \dots(18)$$

إذا كانت t_f', t_f'' تمثل درجات حرارة الدخول للمائع في فترات التبريد والتسخين على التوالي وتكون ثابتة ، يمكن ان نعبر عنها بدلالة درجات الحرارة اللابعدية وكما يلي :-

$$T_m = \frac{(t_m - t_{fi}'')}{(t_{fi}' - t_{fi}'')} \quad \dots(20)$$

لهذا فان المعادلات التفاضلية (7) و(8) تصبح بصيغة درجات الحرارة اللابعدية كالاتي :-

$$\frac{\partial T_f}{\partial \zeta} = T_m - T_f \quad \dots(21)$$

$$\frac{\partial T_m}{\partial \eta} = T_f - T_m \quad \dots(22)$$

لذلك فان المعادلات (16) و(18) تصبح بصيغة درجات الحرارة اللابعدية:-

$$T_{f(i+1,j+1)} = A_1 T_{f(i,j+1)} + A_2 (T_{m(i,j+1)} + T_{m(i+1,j+1)}) \quad \dots(23)$$

$$T_{m(i+1,j+1)} = K_1 T_{m(i+1,j)} + K_2 T_{f(i+1,j)} + K_3 T_{m(i,j+1)} + K_4 T_{f(i,j+1)} \quad \dots(24)$$

اما هبوط الضغط عبر الحشوة المعدنية فقد تم حسابه اعتمادا على المعادلة التالية [3] :-

$$\Delta p = \frac{G^2}{2g\rho_1} \left[(1 + \sigma^2) \left(\frac{v_o}{\bar{u}} - 1 \right) + 4f \frac{L}{D_h} \frac{\bar{v}}{\bar{u}} \right] \quad \dots(25)$$

ان لكل حشوة شكل هندسي معين وتكون على شكل صفائح مرصوفة مع بعضها البعض وسمك الصفيحة المعدنية هو 1 ملم وهذه الحشوات هي:-

$$t_{f(i+1,j+1)} = \frac{2 - \Delta \zeta}{2 + \Delta \zeta} t_{f(i,j+1)} + \frac{\Delta \zeta}{2 + \Delta \zeta} (t_{m(i+1,j+1)} + t_{m(i,j+1)}) \quad \dots(15)$$

ولتبسيط المعادلة اعلاه نفرض ان:-

$$A_1 = \frac{2 - \Delta \zeta}{2 + \Delta \zeta} \quad , \quad A_2 = \frac{\Delta \zeta}{2 + \Delta \zeta}$$

وبالتعويض عن قيم المعاملات في المعادلة (14) تصبح كالاتي:

$$t_{f(i+1,j+1)} = A_1 t_{f(i,j+1)} + A_2 (t_{m(i+1,j+1)} + t_{m(i,j+1)}) \quad \dots(16)$$

وبالتعويض من المعادلة (16) في المعادلة (14) واعداد الترتيب نحصل على :-

$$t_{m(i+1,j+1)} = \frac{2 - \Delta \eta}{(2 + \Delta \eta) \left(1 - \frac{A_2 \Delta \eta}{2 + \Delta \eta} \right)} t_{m(i+1,j)} + \frac{\Delta \eta}{(2 + \Delta \eta) \left(1 - \frac{A_2 \Delta \eta}{2 + \Delta \eta} \right)} t_{f(i+1,j)} + \frac{A_2 \Delta \eta}{(2 + \Delta \eta) \left(1 - \frac{A_2 \Delta \eta}{2 + \Delta \eta} \right)} t_{m(i,j+1)} + \frac{A_1 \Delta \eta}{(2 + \Delta \eta) \left(1 - \frac{A_2 \Delta \eta}{2 + \Delta \eta} \right)} t_{f(i,j+1)} \quad \dots(17)$$

ولتبسيط المعادلة اعلاه نفرض ان:-

$$B_1 = \frac{(2 - \Delta \eta)}{(2 + \Delta \eta)} \quad ; \quad B_2 = \frac{(\Delta \eta)}{(2 + \Delta \eta)} \quad ; \quad x = 1 - A_2 B_2$$

$$K_1 = \frac{B_1}{X} \quad ; \quad K_2 = \frac{B_2}{X} \quad ; \quad K_3 = \frac{(A_2 B_2)}{X} \quad ; \quad K_4 = \frac{(A_1 B_2)}{X}$$

وبالتعويض عن قيم المعاملات في المعادلة (17) نحصل على :-

- الكتلة الكلية (M_m) .

$$M_m = \left(4(1 + \sin\theta)(\ell - \delta) + 2(d + r) \right) \frac{N\delta L \rho_m}{2} \dots(34)$$

- مساحة مقطع الجريان (A_f) .

$$A_f = \left((2\ell^2 - 4\delta(\ell - \delta)\sin\theta \cos\theta) + \frac{3}{2}\delta(d + r) \right) N \dots(35)$$

- القطر الهيدروليكي (D_h) .

$$D_h = \frac{4LA_f}{0.5A_s} \dots(36)$$

- حجم الفراغ (σ)

$$\sigma = \frac{A_f}{c \times s} \dots(37)$$

الحشوة المعدنية الأنبوبية (tube)

تتكون هذه الحشوة من صفيحية دائرية والشكل (5) يوضح خلية من الحشوة التي تم إجراء الحسابات عليها ، وتم إجراء الحسابات على الحشوات كالتالي :-

- العدد الكلي للخلايا (N) .

$$(N) = 27/D^2 \dots(38)$$

- المساحة السطحية لانتقال الحرارة (A_s) .

$$(A) = 2.\pi (D - \delta).L.N \dots(39)$$

- الكتلة الكلية (M_m) .

$$(M_m) = \pi (D - \delta).\delta.\rho_m.N.L \dots(40)$$

- مساحة مقطع الجريان (A_f) .

$$(A_f) = [D^2 - \pi(D - \delta)\delta].N \dots(41)$$

- القطر الهيدروليكي (D_h) .

$$(D_h) = 2.A_f / (\pi.(D - \delta).N) \dots(42)$$

- حجم الفراغ (σ) .

$$A_f / (D^2.N) \dots(43)$$

حساب معامل انتقال الحرارة للهواء الساخن والبارد

يتم حساب معامل انتقال الحرارة بعد حساب

المساحة السطحية (A) ومساحة مقطع الجريان (A_f)

(والقطر الهيدروليكي (D_h) وسرعة المائع (V))

ويحسب عدد رينولدز من المعادلة الآتية [8] :-

الحشوة المعدنية ذات التموج المسطح (C F)
(Corrugated Flat)

تتكون هذه الحشوة من صفيحتين إحداها مسطحة والأخرى مموجة على شكل جيب كما في الشكل (3) ولتسهيل الحل تم تقريب الخلية الى مثلث متساوي الساقين والتي تم إجراء الحسابات على أساسها.

- العدد الكلي للخلايا (N) .

$$N = \frac{27}{2\ell^2 \sin\theta_1 \cos\theta_1} \dots(26)$$

- المساحة السطحية لانتقال الحرارة (A_s) .

$$A_s = 4(1 + \sin\theta_1)(\ell - \delta)NL \dots(27)$$

- الكتلة الكلية (M_m) .

$$M_m = 2(1 + \sin\theta_1)(\ell - \delta)NL\delta\rho_m \dots(28)$$

- مساحة مقطع الجريان (A_f) .

$$A_f = (2\ell^2 - 4\delta(\ell - \delta)\sin\theta_1 \cos\theta_1) * N \dots(29)$$

- القطر الهيدروليكي (D_h) .

$$D_h = \frac{4LA_f}{0.5A_s} \dots(30)$$

- حجم الفراغ (σ)

$$\sigma = \frac{A_f}{2\ell^2 N \sin\theta_1 \cos\theta_1} \dots(31)$$

الحشوة المعدنية ذات التموج المحرز المسطح (NF)
(Notched flat)

تتكون هذه الحشوة من صفيحتين إحداها

مسطحة والأخرى محززة والشكل (4) يوضح خلية من الحشوة التي تم إجراء الحسابات عليها .

- ويتم إجراء الحسابات على الحشوات كالتالي

-:

- العدد الكلي للخلايا (N) .

$$N = 27 / (c \times s) \dots(32)$$

- المساحة السطحية لانتقال الحرارة (A_s) .

$$A_s = (4(1 + \sin\theta)(\ell - \delta) + 2(d + r))NL \dots(33)$$

التوالي في حين تقل للحشوة (NF) بالنسبة (4.4%) عن الحشوة الاصلية .

في حين يزداد توزيع درجات الحرارة للمادة الخازنة لفترة التبريد مع زيادة طول المجدد للحشوات (TM) و (CF) بالنسب (21%) و (8.8%) على التوالي في حين تقل للحشوة (NF) بالنسبة (5.5%) عن الحشوة الاصلية .

اما الشكل (8) يبين تأثير تغير معامل انتقال الحرارة للمائع الساخن مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية حيث نلاحظ ان معامل انتقال الحرارة يقل مع زيادة حجم الخلية ولكن نلاحظ ان الحشوة المعدنية الأنبوبية تكون الأكثر مقارنة مع الأنواع الأخرى تليها الأنواع الأخرى والتي تقل عنها بالنسب (8.2%) و (10.1%) التالفة على التوالي .

و يبين الشكل (9) تأثير تغير معامل انتقال الحرارة للمائع البارد مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية حيث نلاحظ ان معامل انتقال الحرارة يقل مع زيادة حجم الخلية ولكن نلاحظ ان الحشوة المعدنية الانبوبية تكون الأكثر مقارنة مع الأنواع الأخرى وتليها الأنواع الأخرى والتي هي الحشوة المعدنية ذات التموج المسطح CF وذات التموج المحرز المسطحة NF بالنسب (10.09%) و (13.04%) على التوالي.

الشكل (10) يبين تأثير تغير هبوط الضغط للمائع الساخن مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية. وقد لوحظ ان الحشوة ذات التموج المسطح CF تمتلك الاكثر من حيث وهبوط الضغط بالمقارنة مع الاشكال الاخرى حيث يقل هبوط الضغط الحشوات الاخرى والتي هي الحشوة المعدنية ذات التموج المسطح CF وذات التموج المحرز المسطحة NF بالنسب (45%) و (53%) على التوالي.

$$R_e = \frac{D_h V \rho}{\mu} \quad \dots\dots\dots(44)$$

يتم تحديد نوع الجريان على ضوء عدد رينولدز ويتم حساب معامل انتقال الحرارة للهواء الساخن والبارد كما يأتي:-

$$h = \frac{k \times N_u}{D_h} \quad \dots\dots\dots(45)$$

وتم إجراء الحسابات باستخدام برامج حاسوبية للحشوات لحساب توزيع درجات الحرارة لهواء الاحتراق والمادة الخازنة ومعامل انتقال الحرارة وهبوط الضغط.

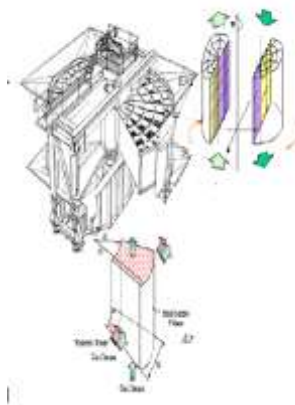
النتائج والمناقشة

لتوضيح البيانات التي تم الحصول عليها لآبد من عرضها بشكل مخططات لتسهيل عملية المقارنة بين النتائج المستحصلة. اذ يوضح الشكل (6) توزيع درجات الحرارة للمائعين (غازات العادم وهواء الاحتراق) مع طول المبادل ويلاحظ ان معدل درجة حرارة خروج هواء الاحتراق تكون للحشوة الاصلية في فترة التسخين (157.1 °C) وتزيد درجات الحرارة للحشوة (TM) والحشوة (CF) عن الحشوة الاصلية بالنسب (14%) و (9.7%) على التوالي في حين تقل للحشوة (NF) بالنسبة (1.8%) .

في حين تزداد درجات الحرارة لغازات العادم لفترة التبريد مع زيادة طول المجدد وان معدل درجة خروج غازات العادم للحشوة الاصلية هو (296.6 °C) وتزيد درجات الحرارة للحشوات (TM) والحشوة (CF) عن الحشوة الاصلية بالنسب (3.7%) و (1.81%) على التوالي في حين تقل للحشوة (NF) عن الحشوة الاصلية بالنسبة (3.33%).

اما الشكل (7) فيوضح تأثير توزيع درجات الحرارة للمادة الخازنة مع طول المجدد. وان توزيع درجة حرارة المادة الخازنة للحرارة تزداد للحشوات (TM) و (CF) بالنسب (10%) و (9.7%) على

- (Int.J.Heat Mass Transfer) .Vol .7,pp. 1291-1302 ,(1964) .
- 2-W.M.Kays&A.L.London., "Compact Heat Exchanger", 2th Edition Mcgraw Hill Book Company. NEWYORK .(1964).
- 3-AL-WanDhh "Modeling Of Rotating Regenerative Heat Pack "M.SC .Thesis , Baghdad University (1995).
- 4-AL-Doury "The Qualitative and Quantitative Enhancement of Baiji Power Station Combustion Air" MSc Thesis, Tikrit University (2001).
- 5- شامل محمد الطالب "دراسة انخفاض كفاءة مسخنات الهواء الدوارة في مرجل محطة بيجي البخارية" رسالة ماجستير ،جامعة الموصل (2002)
- 6-Yunus .A.Gengel&Michael A. Boles " Thermodynamics An Engineering" Approach .3rd Editions (1998) , Mcgraw-Hill. Regenerator", (Int.J.Heat Mass Transfer) .Vol .7,pp. 1291-1302 ,(1964) .
- 7- حسن مجيد الدلفي " التحليل الهندسي والعددي التطبيقي 1999 .
- 8-Frank .P.Incropera and David P.Dewitt " Introduction To Heat Transfer ,3rd Edition (1996) USA



شكل (1) يبين مجدد حراري

في حين يبين الشكل (11) تأثير تغير هبوط الضغط للمائع البارد مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية. وقد لوحظ ان الحشوة ذات التموج المسطح CF تمتلك الاكثر من حيث وهبوط الضغط بالمقارنة مع الاشكال الاخرى حيث يقل هبوط الضغط الحشوات الاخرى والتي هي الحشوة المعدنية ذات التموج المسطح CF وذات التموج المحرز المسطحة NF بالنسب (33%) (54%) على التوالي.

اما الشكل (12) يبين تأثير تغير الكتلة الخازنة للحرارة مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية. اذ تبين ان الحشوة (TM) تكون لها الكتلة الاكبر بالمقارنة مع الاشكال الاخرى حيث تقل الكتلة للحشوات (CF) و(NF) بالنسب (65.4%) و(76) على التوالي.

الشكل (13) يبين تأثير تغير المساحة السطحية لانتقال الحرارة مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية. وقد لوحظ ان الحشوة (TM) تمتلك اكبر مساحة سطحية بالمقارنة مع الاشكال الاخرى حيث تقل المساحة السطحية لحشوات الاخرى عنها بالنسب (17.6%) و (25%) على التوالي للحشوات (CF) و(NF).

الاستنتاجات

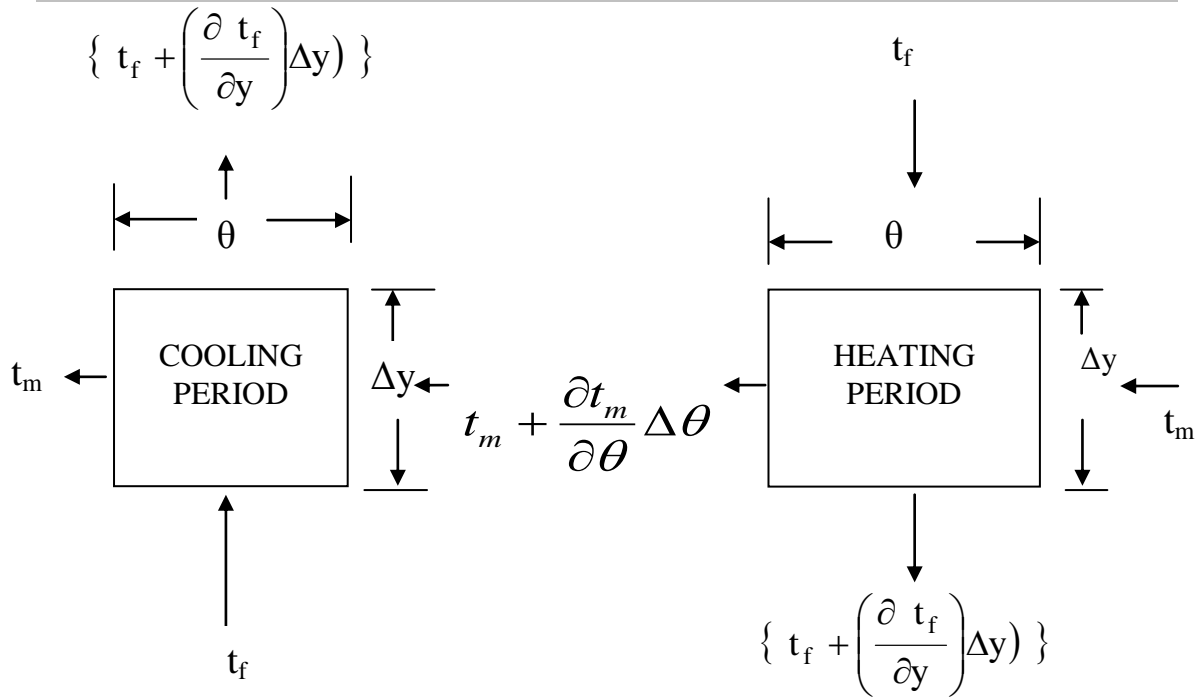
من خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية التي تمثل حصيله العمل النظري والعملية :-

1- الحشوة (TM) تكون ذات معامل انتقال الحرارة اعلى من الأنواع الأخرى وتليها الأنواع الاخرى (CF) و(NF) على التوالي.

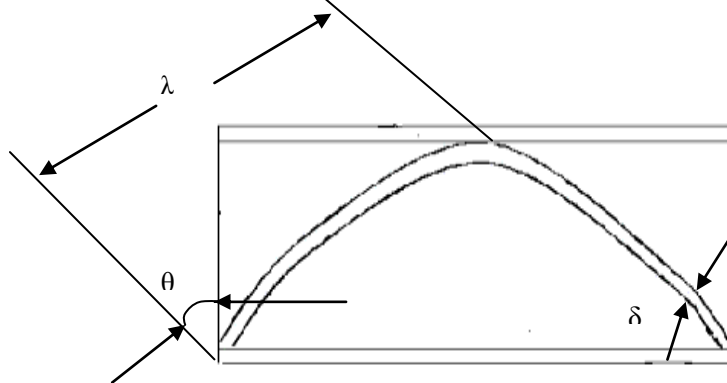
2- الحشوة (TM) تكون ذات هبوط ضغط اكثر تليها الأنواع على التوالي (CF) و(NF).

المصادر

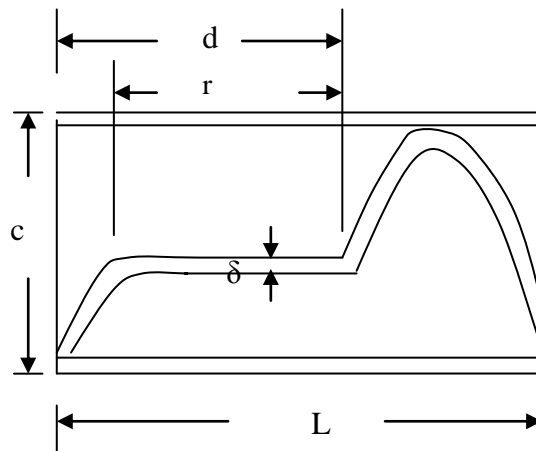
1-A.J.Willmott,," Digital Computer Simulation Of a Thermal Regenerator",



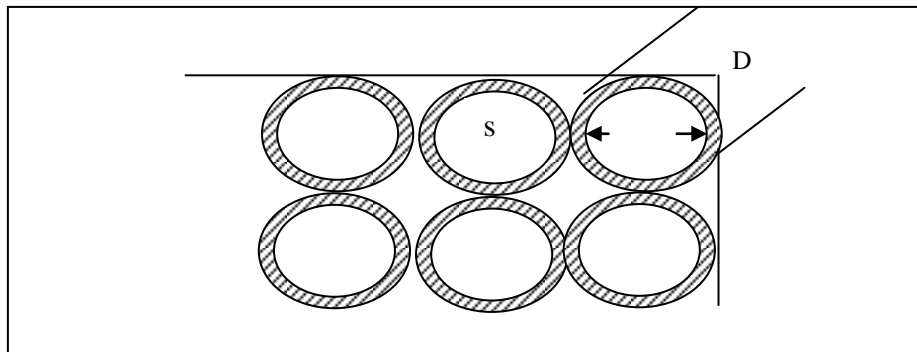
الشكل (2) مخطط لدخول المائع ومعدن الحشوة في الحجم المسيطر



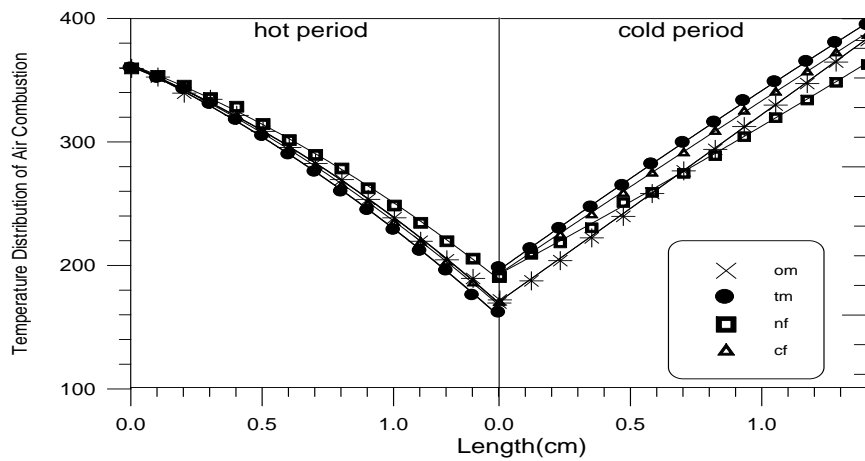
الشكل (3) نموذج لخلية حشوة الخزن الحراري نوع (CF).



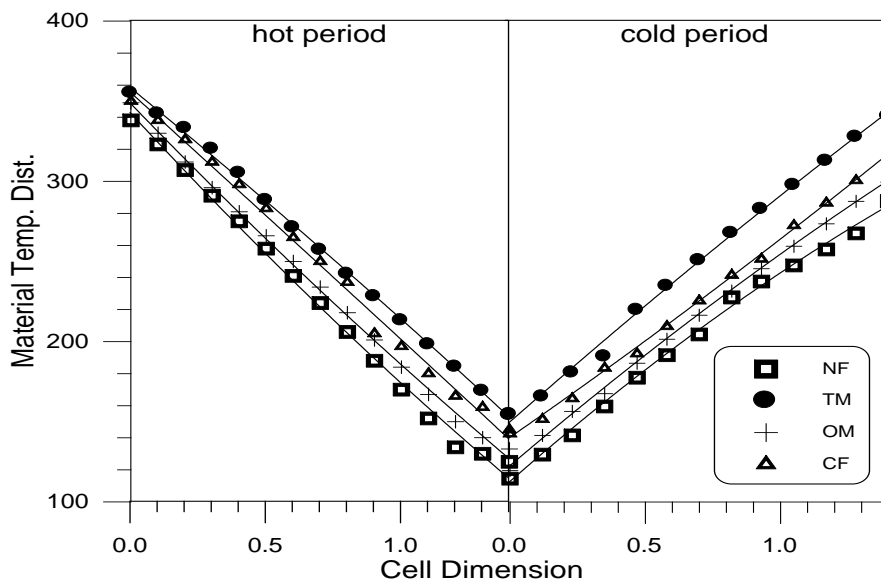
الشكل (4) نموذج لخلية حشوة الخزن الحراري



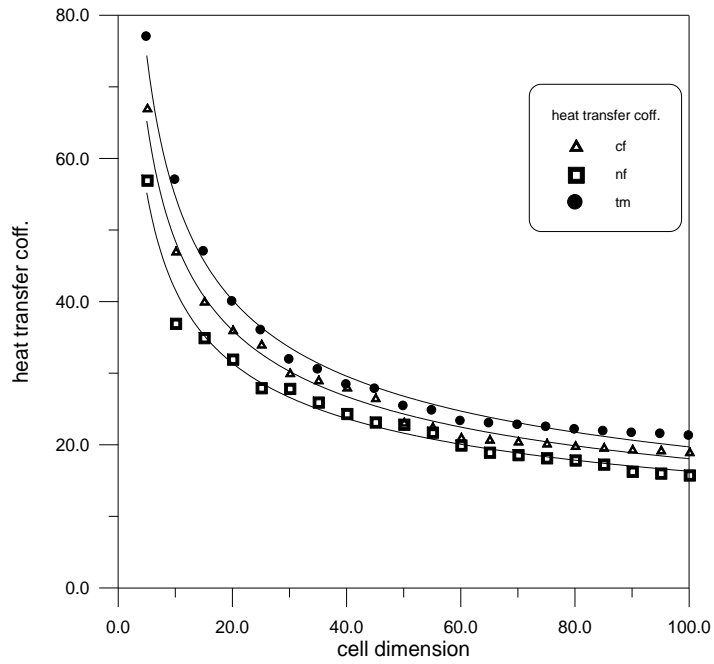
الشكل (5) نموذج لخلية حشوة الخزن الحراري نوع (TM)



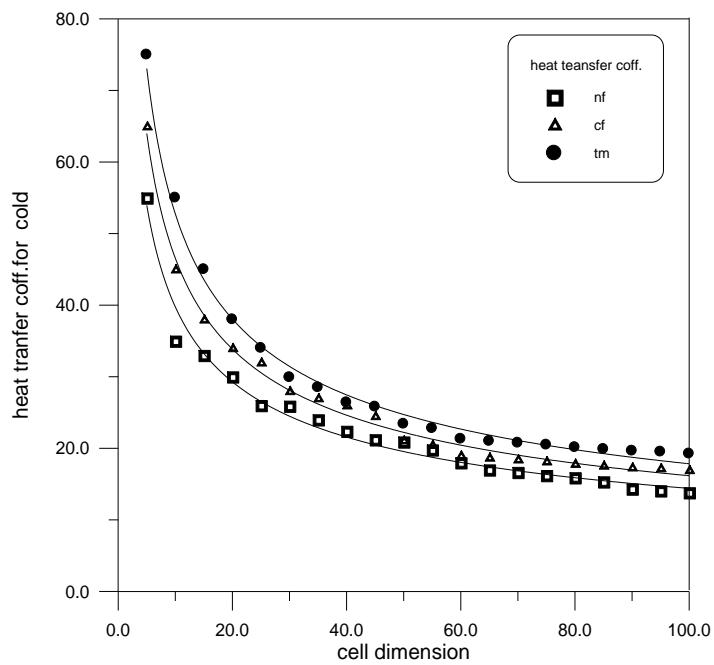
الشكل (6) يوضح توزيع درجات الحرارة للمائعين (غازات العادم وهواء الاحتراق) مع طول المبادل



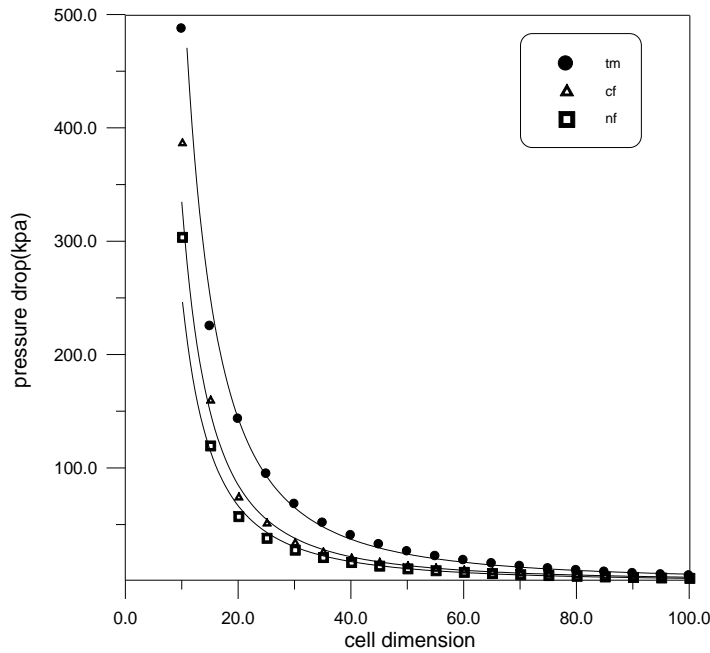
الشكل (7) يوضح تأثير درجات الحرارة للمادة المخازنة مع طول المبادل



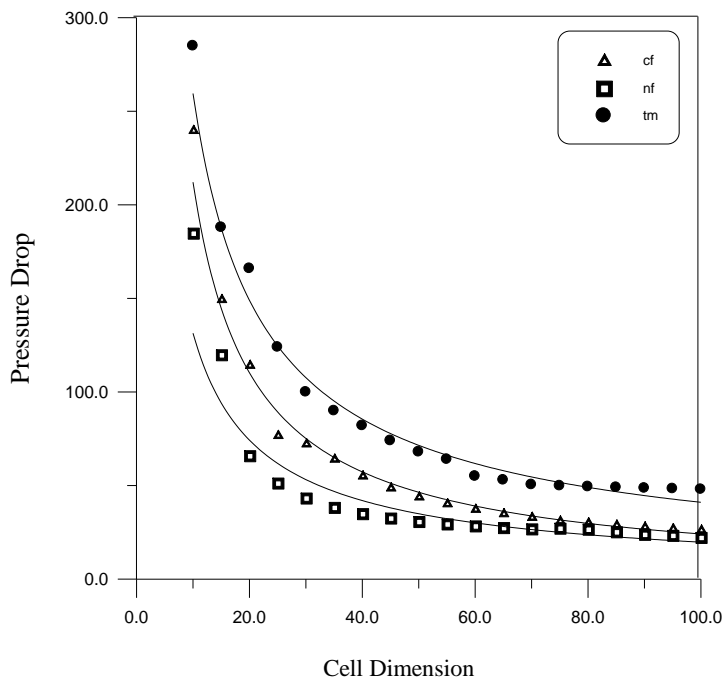
الشكل (8) يبين تأثير تغير معامل انتقال الحرارة للمائع الساخن مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية.



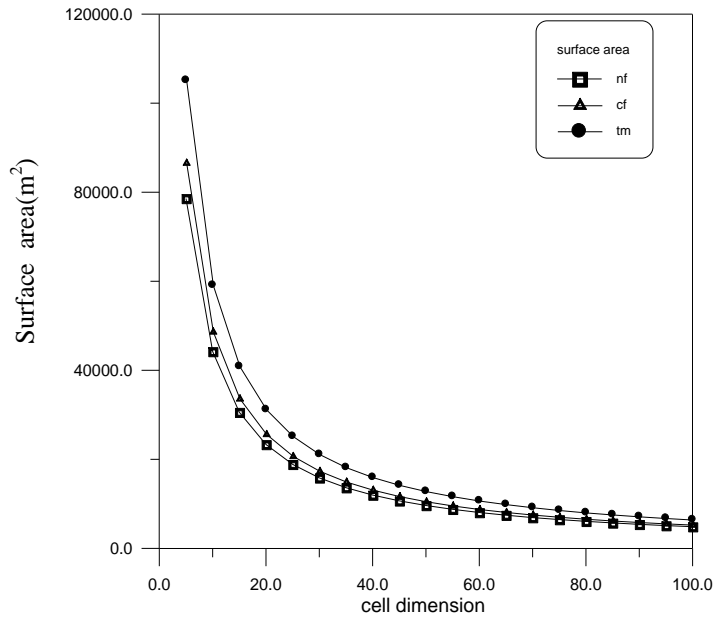
الشكل (9) يبين تأثير تغير معامل انتقال الحرارة للمائع البارد مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية.



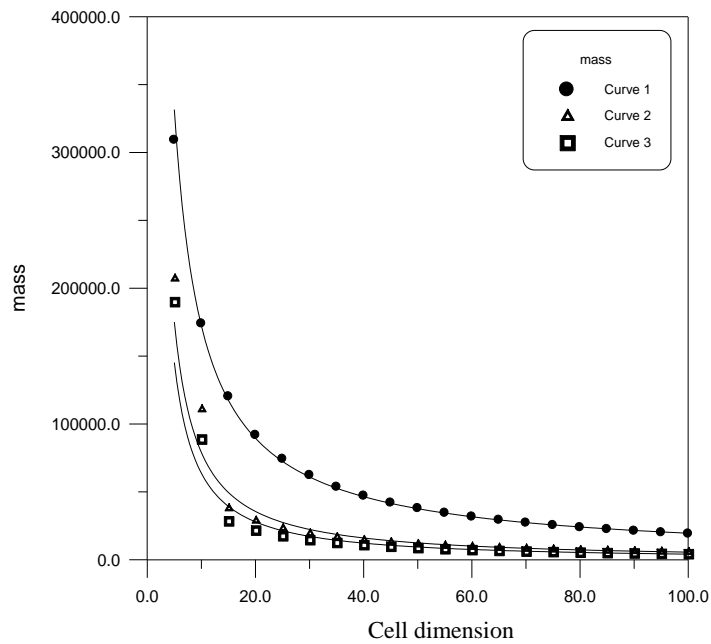
الشكل (10) يبين تأثير تغير هبوط الضغط للمائع الساخن مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية.



الشكل (11) يبين تأثير تغير هبوط الضغط للمائع البارد مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية.



الشكل (12) يبين تأثير تغير المساحة السطحية مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية.



الشكل (13) يبين تأثير تغير كتلة المادة المخزنة مع حجم وحدة الخلية للحشوة المعدنية.