

تحسين معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر باستحداث تجاويف في الاسطح الافقية للعناصر الالكترونية

أ.م.د حكمت نجيب عبد الكريم أ.م.د قاسم مهدي وادي م.م عماد طه احمد
كلية المامون الجامحة – قسم هندسة تقنيات القدرة الكهربائية

المستخلص:

يتضمن هذا البحث، دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر عملياً لسطح أفقية مستوية مربعة الشكل يتوسطها تجويف مربع الشكل ، نسبة طول ضلعه الداخلي يكافي (0.5,0.75) من الطول الاصلی للمربيع ($L_o=96\text{mm}$)، استخدم نموذج ان مصنوع ان من معدن الالمنيوم ، وتم ت دراسه توزيع درجات الحرارة للهواء فوق ا لنموذجين بعد تبخينهما باتجاه الاعلى بثبوت درجة الحرارة. وبعد تحليل النتائج تم استنباط العلاقات الرياضية لحساب معاملات انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطحين. قورنت النتائج العملية مع المعادلات الرياضية المستنبطه لسطح أفقية مستوية مربعة الشكل واسطح اخرى مربعة الشكل ذات تجويف مربع نسبة طول ضلعه الداخلي تكافي (0.25) من الطول الاصلی للمربيع [1] ، والمعادلات الرياضية المستنبطه لقرص وثلاث حلقات نسبة قطرها الداخلي الى الخارجي (0.25, 0.5, 0.75) [2]، فوجد أن بزيادة نسبة التجويف ، تزداد معاملات انتقال الحرارة (الموضعى والمتوسط) وعدد نسلت (الموضعى والمتوسط) وقيمة الثابت C ، وتقل قيمة كمية الحرارة المنقولة بالحمل الحر الموضعية (يسبب التقليل بمساحة سطح التبادل الحراري) مقارنة بالبحث [1]. وأظهرت اختلاف عن بحث [2] نتيجة لاستخدامه القطر الخارجي (do) للقرص والحلقات كطول مميز بينما اعتمد بحث [1] والبحث الحالى المسافة (L_o-L_i) كطول مميز للجريان ولعدد كراشوف يقع بين $(10^5 - 10^6)$.

Enhancement of Free Convection Heat Transfer Coefficient by Cavity making in Horizontal Surfaces of Electronic Elements

Prof. Ass.Hikmat N.Abdul Karem, Prof. Ass. Q. M. Wadi, Lec. Ass.Ammar T. Ahmad
Electrical Power Techniques Engineering Department,
Al-Ma'moon University College

Abstract:

A natural convection heat transfer from horizontal flat square surfaces with square cavities was studied experimentally. The inner length of the cavity is equivalent to (0.5, 0.75) of the outer length of the square surface, ($L_o= 96\text{mm}$). Two models made of aluminum have

been used to study the distribution of air temperature above the surfaces after being heated towards the top at constant temperature. A mathematical relationship was developed after analyzing the results to calculate the convective heat transfer coefficient from these surfaces and compared the results with the mathematical relations derived for the horizontal flat surfaces, square and square with a hollow square cavity with length ratio of (0.25) of the original outer length [1], and mathematical equations derived for the disk and three rings had inner to outer diameter ratios of (0.25, 0.5, 0.75) [2]. It has been found that; increasing the proportion of the cavity leads to increases in the heat transfer coefficients (local, average), Nusselt number (local, average) and the average value of the constant (c), while the local heat transmitted is reduced because of the reduction of the heat transfer area compared with the research [1] and the results show differences from [2] because of using the outer diameter (d_o) of the disk and rings as the characteristic lengths. While research [1] and the current search used the distance (L_o-L_i) as the characteristic length of the flow and Grashof number between (10^5 - 10^6).

المقدمة:

مع تطور تكنولوجيا تصنيع الاجهزه الالكترونية اصبح انتاج الدوائر الالكترونية المتكاملة باشكال مختلفة مثل الدائرة والمربع والمستطيل بأبعاد قد لا تتجاوز المليمترات.

ولأن هذه الدوائر الالكترونية معرضة للأرتفاع في درجة الحرارة عند اشتغالها بسبب مرور التيار الكهربائي فأن عملية تصريف هذه الحرارة من الاولويات الواجب اتخاذها بنظر الاعتبار لضمان ديمومة عملها. وان عملية انتقال الحرارة في هذه الدوائر الالكترونية غالبا ما تكون بالحمل الحر. وان الصيغة العامة لحساب قيمة الحرارة المنتقلة بالحمل الحر هي:

$$Q = h \cdot A (T_s - T_\infty) \quad \dots \quad (1)$$

وان حساب معامل انتقال الحرارة (h) يتم من خلال حساب عدد نسلت (Nu) حيث ان:

$$Nu = \frac{h \cdot L_c}{k_f} \quad \dots \quad (2)$$

وان حساب عدد نسلت (Nu) يتم من خلال المعادلة التالية:

حيث ان (c) و (n) عدادان تعتمد قيمتهما على عوامل عديدة مثل شكل الجسم وطريقة التسخين ومستوى درجات الحرارة واخرى. وعند انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح افقي مسخن للأعلى سيتسبب ذلك في حركة مائع التبريد (الهواء) فوق السطح. وبسبب هذه الحركة ستكون منطقتان للجريان الطبقي. الاولى منطقة الطبقة المتأخمة الحرارية الواقعة قرب حافة السطح، والثانية ممثلة بمنطقة انفصال وتحت حول مركز السطح والشكل (1) يوضح ذلك [3].

قام الباحثان (AL-Arabi, M., Elriedy 1976 [4]) بدراسة عملية لأنقفال الحرارة بالحمل الحر من اسطح افقيه دائريه ومستطيله ومربيعة وبأبعاد مختلفة ولمنطقة الجريان الباقي وتمثلت نتائج الدراسة بالمعادلة التالية:

قام الباحث مصطفى (2001) [2] بحساب معامل انتقال الحرارة عملياً من سطح قرص افقي مسخن باتجاه الاعلى عند منطقة الجريان الطباقى ، وتمثلت نتيجة الدراسة بمعادلة رياضية لحساب عدد نسلت المتوسط باستخدام القطر الخارجي للقرص كطول ممرين وكما يلى:

وذلك قام بحساب معامل انتقال الحرارة من اسطح حلقية مسخنة باتجاه الاعلى عند منطقة الجريان الطباقي وتمثل النتيجة بالمعادلة التالية :

قام الباحثان (Yousef & Tarasuk (2001) [3] بدراسة عملية لأنقال الحرارة من سطح مربعة افقيه مسخنة للأعلى ولمنطقة الجريان الطباقى ، وتمثلت نتيجة الدراسة بمعادلة رياضية لحساب عدد نسلت باستخدام طول ضلع المربع (a) كطول مميز وكما يلى :

$$Nu = 0.622 Ra_a^{1/4} \quad 3 \times 10^6 \leq Ra \leq 4 \times 10^7 \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

قام الباحث الخفاجي [1] بدراسة عملية لانتقال الحرارة على اسطح افقية مسخنة للأعلى مربعة الشكل ذات تجويف مربع، وبنسبة طول الصلع الخارجي الى طول الصلع الداخلي 0.25 ضمن منطقة الجريان الطباقي. وتمثلت نتيجة الدراسة بمعادلة رياضية لحساب عدد نسلت المتوسط (Nu) وباستخدام فرق طول الصلع الخارجي، عن طول الصلع الداخلي، كطول ممتنز ($a_{ext} - a_{int}$) وكما يلى :

$$\overline{Nu}_{Lo-Li} = 0.978 Ra_{Lo-Li}^{0.21} \quad 4.04 \times 10^5 \leq Ra_{Lo-Li} \leq 1.7 \times 10^6 \dots (8)$$

ودرس كذلك عملية انتقال الحرارة على اسطح افقيه مربعة بدون تجويف ومسخنة للأعلى وضمن منطقة الجريان الطباقي. وتمثلت نتيجة الدراسة بمعادلة رياضية

لحساب عدد نسلت المتوسط (\overline{Nu}) وباستخدام طول ضلع المربع كطول مميز وكما يلي :

$$\overline{Nu}_{Lo} = 0.7 Ra_{Lo}^{0.25} \quad 2 \times 10^5 \leq Ra_{Lo} \leq 4 \times 10^7 \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

قام الباحث (M. G. Mousa) [5] بدراسة عدديّة لتوزيع درجات الحرارة ضمن منطقة الجريان الطباقي للسطح العلوي لمنوذج متوازي مستطيلات يحتوي على تجويف مربع عمودي ومسخن من الأسفل وتمثلت نتيجة الدراسة بعلاقة رياضية لحساب عدد نسلت الموضعية للسطح العلوي تعتمد على النسبة بين الطول المكافئ للتجويف (d) إلى الطول الخارجي للجسم (L_1) وكما يلي :

$$Nu = 0.3211 Ra^{0.364} Pr^{0.34} (1 + (d/L_1)^{0.89}) \quad 0.7 \leq Pr \leq 1.0 \\ 1 \times 10^3 \leq Ra \leq 1.5 \times 10^5 \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

ان الهدف من هذا البحث معرفة طبيعة الاداء الحراري عملياً لسطح مربعة مستوية افقية ذات تجويف بنسبة (0.5, 0.75) من الطول الاولي للمربع ، ضمن منطقة الجريان الطباقي بهدف استنباط معادلات رياضية تجريبية لاستخدامها بشكل اوسع في تطوير منظومات الصرف الحراري للأجهزة الالكترونية الدقيقة ذات قدرات تشغيل واطئة والاستغناء عن المراوح التي تشغل حيز داخل المنظومة الالكترونية او تتوقف بعد مرور فترة من الزمن اضافة للوزن المضاف واستهلاك الطاقة الكهربائية.

التحليل النظري:

عند تسخين سطح افقي فأن كمية من الحرارة ستنتقل للمائع المتاخم على السطح حيث تتساوى درجة حرارة المائع الملمس لسطح التبادل الحراري ، وتنتقل الطاقة تباعاً من هذه الطبقة الى طبقات المائع المجاورة [6]. يتم حساب معامل انتقال الحرارة الموقعي للحمل الحر (h_{Lo}) كما يلي :

$$h_{Lo} = \frac{-k_f \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0}}{(T_s - T_\infty)} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

ولغرض اضافة عمومية للنتائج يجب وضع المتغيرات بصيغة لا بعديّة حيث تم استخدام الصيغة اللابعديّة التالية لدرجة الحرارة :

$$\theta = \frac{(T - T_\infty)}{(T_w - T_\infty)} \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

والمسافة اللابعديّة لمناطق القياس على سطح الصفيحة المربعة الم gioفة هي :

$$X = \frac{x}{Lo} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

ويمكن حساب عدد نسلت الموضعية على اساس الطول المميز (L_0-L_i) وكما يلي :

$$Nu_{(Lo-Li)} = \frac{h_{(Lo-Li)} \cdot (Lo - Li)}{k_f} \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

عند وضع مسخن بين سطحين افقيين وكما موضح بالشكل (2) فإن الطاقة الحرارية المتولدة في المسخن ستنتقل خلال اللوحين العلوي والسفلي والجوانب عن طريق التوصيل ويمكن حساب هذه الكمية كما يلى:

حیث ان :

ΔT = فرق درجات الحرارة عبر السطح الافقى (°C)

$$\Delta x = \text{سمك اللوح الافق}$$

و عند وصول الطاقة الحرارية الى السطح الخارجي فأنها ستنتقل الى المحيط عن طريق الحمل والأشعاع وكما يلي :

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) + F \cdot A \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_s^4 - T_\infty^4) \quad \dots \dots \dots (16)$$

ان كمية الحرارة المنتقلة بالحمل من السطح العلوي في هذه الحالة تساوي كمية الطاقة المجهزة للسخان الكهربائي مطروحا منها كمية الحرارة المنتقلة بالتوسيط للسطح السفلي والجوانب ، ومطروحا منها كمية الحرارة المنتقلة بالأشعاع من السطح العلوي وكما يلى:

حیث ان:

$IP =$ الطاقة المجهزة وتساوي ($Voltage \times Current$)
وبذلك يمكن حساب متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل من السطح العلوي كما
فيما يلي :

وبذلك أيضا يمكن حساب متوسط عدد نسلت باستخدام $(L_i - L_0)$ كطول مميز وكما يلي:

$$\overline{Nu}_{(Lo-Li)} = \frac{\bar{h}_{(Lo-Li)} \cdot (Lo-Li)}{K_f} \quad \dots \dots \dots (19)$$

ويمكن حساب عدد كراشوف وعدد رايلي كما في المعادلتين التاليتين:

$$Gr_{(Lo-Li)} = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot (L_o - L_i)^2}{v^2} \quad \dots \dots \dots (21)$$

مع الاخذ بنظر الاعتبار ان كافة خواص المائع المستخدمة في العلاقات اعلاه تؤخذ عند درجة حرارة الغشاء (T_f) والتي يمكن حسابها كما يلي:

$$T_f = \frac{(T_s - T_\infty)}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

الجهاز المستخدم وطريقة القياس :

الشكل (3) يوضح الجهاز المستخدم لأجراء التجارب للبحث الحالي. تم تصنيع نموذجين من اسطح التبادل الحراري مستوى مربعة الشكل بطول ضلع (96 mm) وسمك (9.6 mm). تم عمل تجويف مربع في احدهما بطول ضلع داخلي يعادل (0.75) من الطول الخارجي. وتم عمل تجويف مربع في الآخر بطول ضلع يعادل (0.5) من الطول الخارجي. وتم اختيار معدن الالمنيوم للنموذجين لخف وزنة وكثرة استخدامه في المنظومات الالكترونية والثبات النسبي لقيمة معامل التوصيل الحراري حتى مع وجود الشوائب [6].

تم عزل العينات حراريًا من جميع الجهات بأسثناء السطح العلوي بعدة طبقات من العوازل وتم تثبيت مزدوجات حرارية عند أماكن مختارة لكافة الجوانب بأسثناء السطح العلوي. ولقياس توزيع درجات حرارة السطح العلوي تم تثبيت المزدوجات الحرارية عند مواقع مختارة وبمسافات متساوية بالاتجاهين (X) و (Z). ولقياس درجات حرارة الهواء أعلى السطح تم استخدام مزدوج حراري مثبت على مaskaة قابلة للحركة بأتجاه شاقولي (y) فوق نقاط قياس درجة الحرارة على سطح النموذج. ويتم تسجيل درجات الحرارة للهواء ابتداءً من سطح العينة ولحين الوصول إلى الارتفاع الذي يسجل فيه درجة الحرارة متساوية إلى درجة حرارة المحيط.

النتائج و المناقشه:

من خلال تحليل النتائج العملية للسطح الافقى مربع الشكل ذي تجويف مربع نسبة طول ضلعه الداخلى يكافى (0.5) من الطول الاصلى للسطح ولثلاث نقاط اختبار ($x/L_o = 0.68, 0.79, 1$) ولأربعة مستويات من درجة حرارة السطح ($T_s = 100.5^{\circ}\text{C}, 80.0^{\circ}\text{C}, 60^{\circ}\text{C}, 40.2^{\circ}\text{C}$) تبين ما يلى :

توزيع درجات الحرارة عند حافة الصفيحة تتميز بانحدار كبير نتيجة حركة المائع في الطبقة المتاخمة ويقل هذا الانحدار كلما تقدمنا نحو مركز السطح. ويزداد هذا الانحدار كلما ازداد متوسط درجة حرارة السطح والاشكال (4,5,6,7) توضح ذلك

وكذلك ومن نفس الاشكال السابقة نلاحظ ان سمك الطبقة المتاخمة يزداد كلما تقدمنا نحو مركز الجسم ويقل كلما ازداد متوسط درجة حرارة السطح . معامل انتقال الحرارة يكون في اعلى مستوى عند طرف الصفيحة ويبعد بالتناقص كلما تقدمنا نحو المركز ومن ثم يعود للتزايد عن الاقتراب من التجويف وبالمقارنة مع السطح المربع بدون تجويف [1] حيث ان معامل انتقال الحرارة يستمر بالتناقص كلما تقدمنا الى داخل السطح ويصل ادنى مستوى له عند مركز الصفيحة وكما موضح بالشكلين (13,12).

وبالمقارنة مع النتائج العملية المستحصلة من السطح المربع ذي تجويف مربع نسبة طول ضلعه الداخلي يكافئ (0.75) من الطول الاصلي نلاحظ ان سمك الطبقة المتاخمة اقل من نظيرها في السطح المربع ذي تجويف مربع نسبة طول ضلعه الداخلي يكافئ (0.5) من الطول الاصلي وعند نقاط الاختبار اعلاه . وكذلك فأن معامل انتقال الحرارة يسلك سياقا مشابها مع زيادة ملحوظة عند النقاط القريبة من التجويف ، والشكلان (15, 16) يوضحان ذلك .

ومما سبق ، نستنتج ان إحداث تجويف مربع في سطح مربع الشكل يؤدي الى زيادة في معامل انتقال الحرارة للحمل الحر مقارنة مع السطح بدون تجويف . وكذلك فأن هناك زيادة بمعامل انتقال الحرارة للحمل الحر مع زيادة حجم التجويف . والجدير بالذكر ان زيادة حجم التجويف تؤدي الى نقصان في المساحة الكلية للتبادل الحراري رغم زيادة معامل انتقال الحرارة .

الشكل (14) يوضح مقارنة بين عدد نسلت للفسيحة المستوية المربعة ذات التجويف المربع بنسبة (0.5) والفصيحة ذات التجويف بنسبة (0.75) مع المسافة الابعدية (L_o/x). نلاحظ ان اعلى قيمة لعدد نسلت الموضعی للسطحين تكون عند الحافة الخارجية ، وذلك بسبب جريان الهواء عند الطبقة المتاخمة وينتج عنها انحدار كبير في توزيع درجة الحرارة في هذه المنطقة الى ان يصل الى اقل قيمة ثم يزداد تدريجيا عند الاقتراب من حافة التجويف . وعند اجراء المقارنة نجد ان قيمة عدد نسلت الموضعی للفسيحة المستوية المربعة ذات التجويف المربع والتي بنسبة تجويف (0.75) اعلى من قيم عدد نسلت الموضعی للفسيحة المستوية المربعة ذات التجويف المربع بنسبة (0.5) وبنسبة (8.5%).

اما في الشكلين (16,15) فأنهما يوضحان سمك الطبقة المتاخمة على اسطح التبادل المربعة الشكل ذات التجويف والتي بنسبة (0.5, 0.75) على التوالي ومن الاشكال نلاحظ انه بزيادة عدد كراشوف ، فإن سمك الطبقة المتاخمة يقل نتيجة لزيادة قوة الطفو ونقصان قوة اللزوجة وهذا السمك هو المسافة من السطح الى ان تصبح درجة الحرارة (θ = 0.022).

الشكل (17) يوضح مقارنة كمية الحرارة المنتقلة الموضعية للسطحين حيث نلاحظ ان كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر في حالة السطح المربع ذي التجويف المربع نسبة طول ضلعه (0.5) من الطول الاصلی اکبر من ن ظيرتها في السطح المربع ذي تجويف مربع نسبة طول ضلعه (0.75) من الطول الاصلی و وبنسبة (32.5%) . ويعود السبب في ذلك الى کبر مساحة التبادل الحراري للسطح الاول.

الشكل (18) يوضح مقارنة للنتائج العملية لمتوسط عدد نسلت مع عدد رايلي والذي يبين ارتفاع معاملات انتقال الحرارة للفصيحة ذات التجويف والتي بنسبة (0.75) بنسبة (3.5%) عن معاملات انتقال الحرارة للفصيحة ذات التجويف بنسبة (0.5) ويعود السبب الى الاقراب من منطقة جريان الطبقة المتاخمة والتخلص من منطقة الانفصال الحراري التي تحدث عند المركز.

الشكل (19) يوضح علاقه لوغارتمية لاستنطاط علاقه للنتائج التجريبية لكتنا الصفيحتين حيث تزداد قيمة الثابت (c) بزيادة نسبة التجويف نتيجة لزيادة معدلات انتقال الحرارة حيث تم الحصول على المعادلات الرياضية التالية:

$$\overline{Nu}_{Lo-Li} = 2.12 Ra_{Lo-Li}^{0.21} \quad 1.74 \times 10^5 \leq Ra_{Lo-Li} \leq 6.3 \times 10^5 \dots (23)$$

للفصيحة المربيعة ذات التجويف بنسبة (0.5).

$$\overline{Nu}_{Lo-Li} = 3.97 Ra_{Lo-Li}^{0.21} \quad 0.22 \times 10^5 \leq Ra_{Lo-Li} \leq 0.783 \times 10^5 \dots (24)$$

للفصيحة المربيعة ذات التجويف بنسبة (0.75).

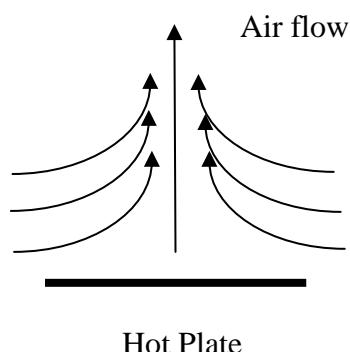
وتنتم مقارنة النتائج العملية بنتائج بحث [1] كما في الشكل (20) ومن ملاحظة الشكل نجد إن متوسط معامل انتقال الحرارة يزداد بزيادة نسبة التجويف وبنسبة (31.56%) وذلك للأقرب من جريان الطبقة المتاخمة والتخلص من منطقة الانفصال الحراري التي تؤدي الى انخفاض معدلات انتقال الحرارة.

ومن ملاحظة الشكل (21) نجد ان متوسط معامل انتقال الحرارة للبحث الحالي يزيد بنسبة (0.498%) عن دراسة [2]، والسبب يعود إلى أنها اعتمدت القطر الخارجي (d₀) كطول مميز في حساب متوسط معامل انتقال الحرارة، أما في البحث الحالي تم الأخذ بنظر الاعتبار الطول الداخلي للتجويف في حساب عدد كراشوف ومعاملات انتقال الحرارة.

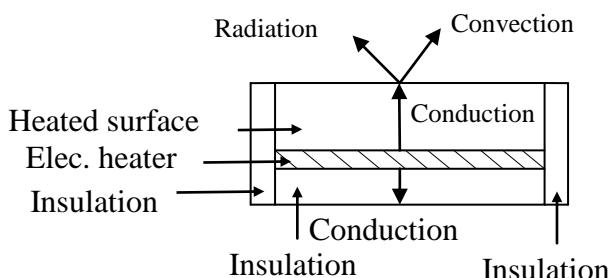
الاستنتاجات:

من خلال النتائج المستحصله من البحث الحالي والمقارنه التي اجريت مع البحوث السابقة ذات الصلة، تم الحصول على عدد من الاستنتاجات هي:

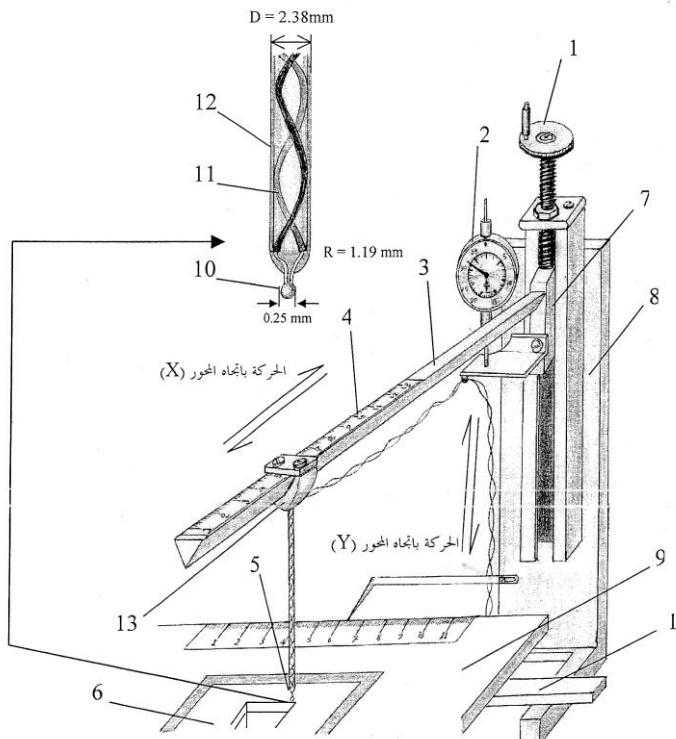
1. احداث تجويف في جسم العينه يؤدي الى تحسين في معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر وذلك بسبب التخلص من منطقة الانفصال للطبقة المتاخمة التي تحدث عند مركز الصفيحة بدون تجويف.
2. زيادة حجم التجويف يزيد من معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر.
3. زيادة حجم التجويف يقلل من مساحة التبادل الحراري. وبما ان كمية الحرارة المنقولة بالحمل الحر تتناسب طرديا مع حاصل ضرب معامل انتقال الحرارة ومساحة سطح التبادل الحراري، فان النتيجة التي تم الحصول عليها هي: ان الحرارة المنقولة بالحمل الحر من الصفيحة ذات نسبة تجويف يعادل 0.5 من الطول الاولي اكبر من نظيرتها ذات نسبة تجويف 0.75.



شكل (1) يوضح منطقة الانفصال التي تحدث حول مركز سطح الصفيحة المستويه



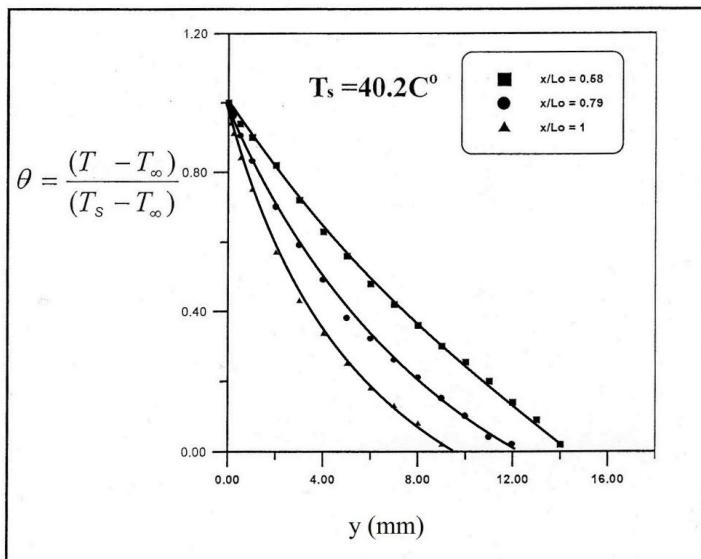
شكل (2) يوضح مقطع للصفيحة المستويه وطبقات العازل واتجاه انتقال الطاقة الحرارية



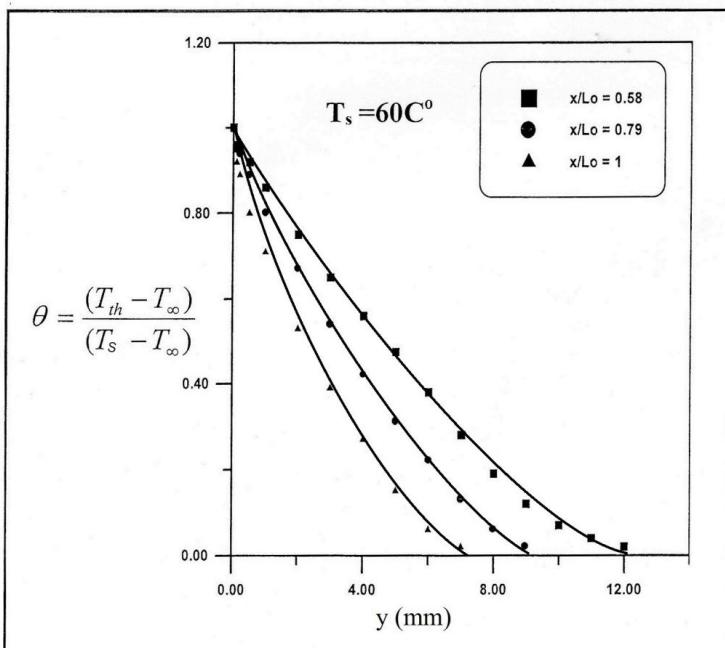
جدول يبين أجزاء الجهاز المختبرى

| | | | |
|-----------------------|----|--------------------------|---|
| حامل معدني | 8 | رافع ولوبي | 1 |
| سطح خشبي ممتد | 9 | مدرج القياس | 2 |
| اتصال المزدوج الحراري | 10 | ذراع فولاذى | 3 |
| أسلاك المزدوج الحراري | 11 | مسطرة قياس | 4 |
| أنبوب بلاستيكى | 12 | مزدوج حراري | 5 |
| منزلقة انسيلبية | 13 | صفيحة مربعة من الالمنيوم | 6 |
| مساند معدنية | 14 | قطعة حرارية منزلقة | 7 |

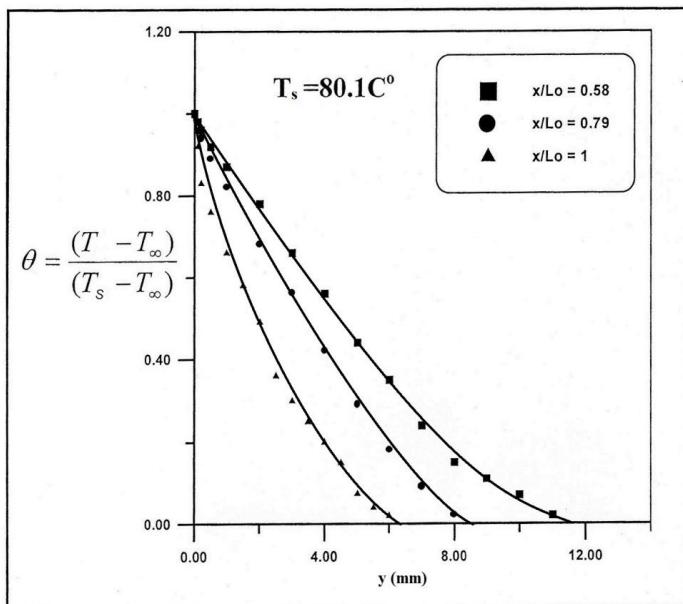
شكل (3) الجهاز المختبرى المصنوع والخاص بإجراء القياسات الحرارية للنماذج المعتمدة في البحث



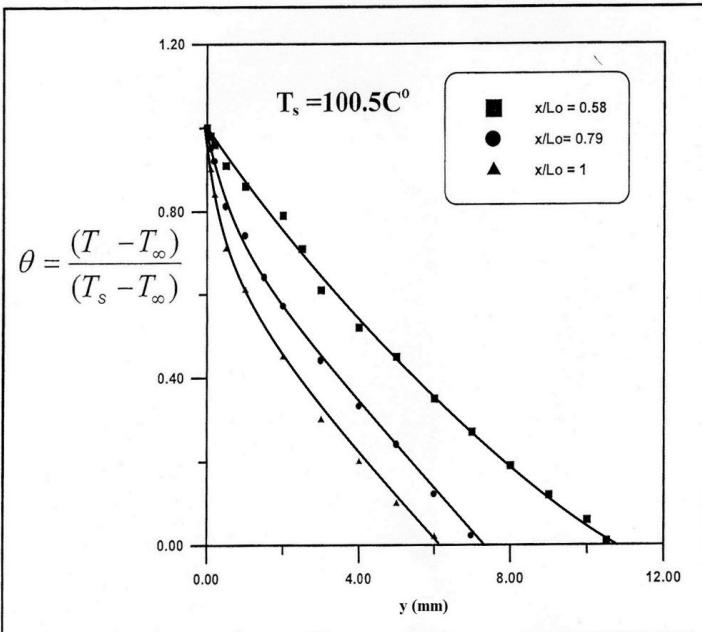
شكل (4) توزيع درجات الحرارة المقاسة عمليا فوق صفيحة مستوية مربعة
الشكل ذات تجويف مربع الشكل طول ضلعه الداخلي يكافي (0.5) من
الطول الاصلي للمربي ولعدد كراشوف (1.745×10^5)



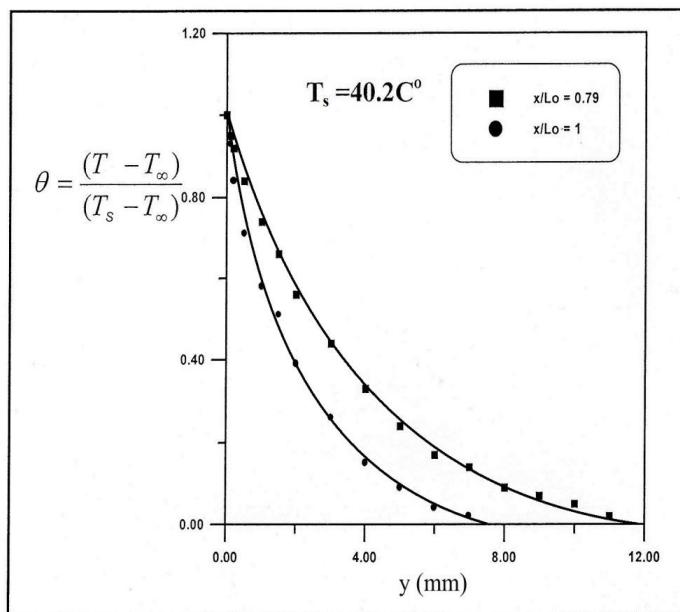
شكل (5) توزيع درجات الحرارة المقاسة عمليا فوق صفيحة مستوية مربعة
الشكل ذات تجويف مربع الشكل طول ضلعه الداخلي يكافي (0.5)
من الطول الاصلي للمربي ولعدد كراشوف (3.75×10^5)



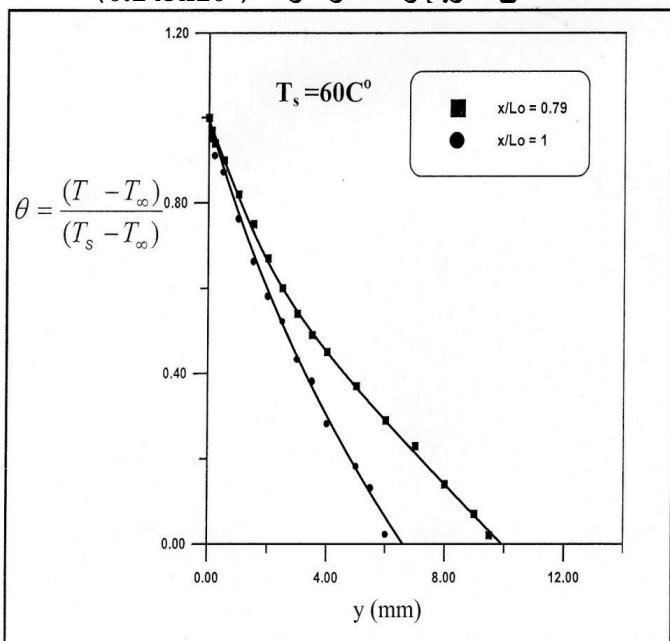
شكل (6) توزيع درجات الحرارة المقاسة عمليا فوق صفيحة مستويه مربعة الشكل ذات تجويف مربع الشكل طول ضلعه الداخلي يكافي (0.5) من الطول الاصلی للمربي ولعدد كراشوف (5.21×10^5)



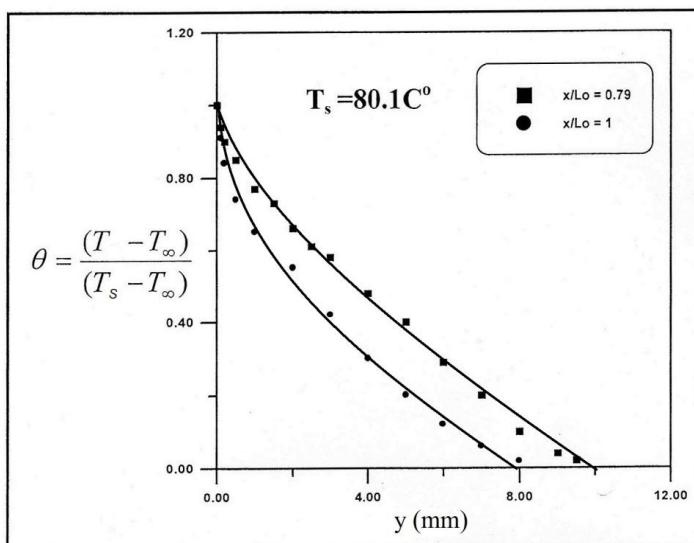
شكل (7) توزيع درجات الحرارة المقاسة عمليا فوق صفيحة مستويه مربعة الشكل ذات تجويف مربع الشكل طول ضلعه الداخلي يكافي (0.5) من الطول الاصلی للمربي ولعدد كراشوف (6.264×10^5)



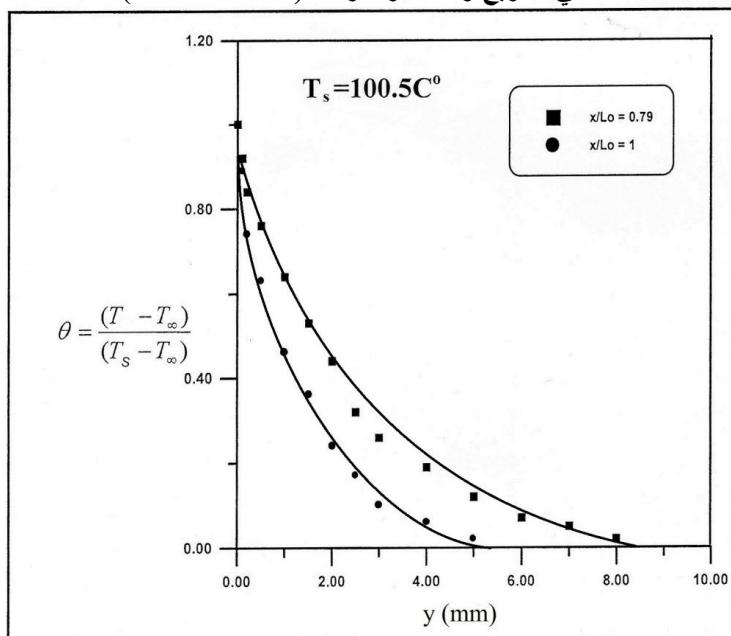
شكل (8) توزيع درجات الحرارة المقاسة عمليا فوق صفيحة مستوية مربعة الشكل ذات تجويف مربع الشكل طول ضلعه الداخلي يكافي (0.75) من الطول الاصلی للمربيع ولعدد كراشوف (0.145×10^5)



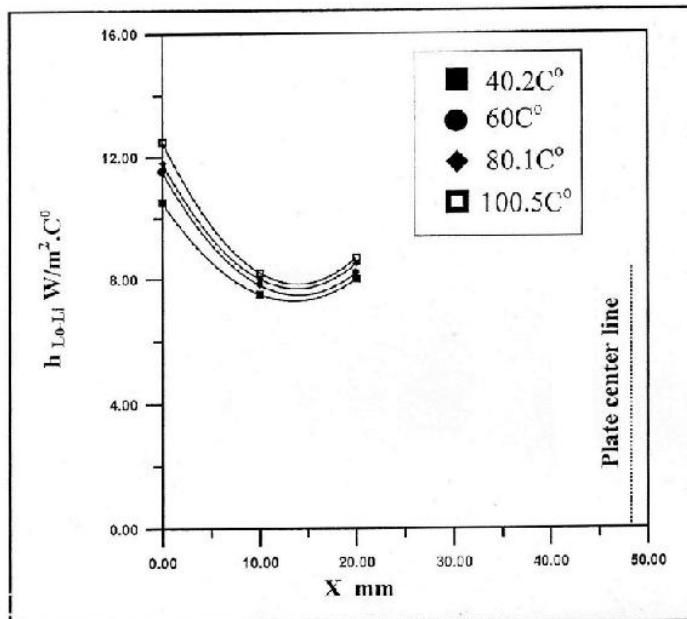
شكل (9) توزيع درجات الحرارة المقاسة عمليا فوق صفيحة مستوية مربعة الشكل ذات تجويف مربع الشكل طول ضلعه الداخلي يكافي (0.75) من الطول الاصلی للمربيع ولعدد كراشوف (0.4687×10^5)



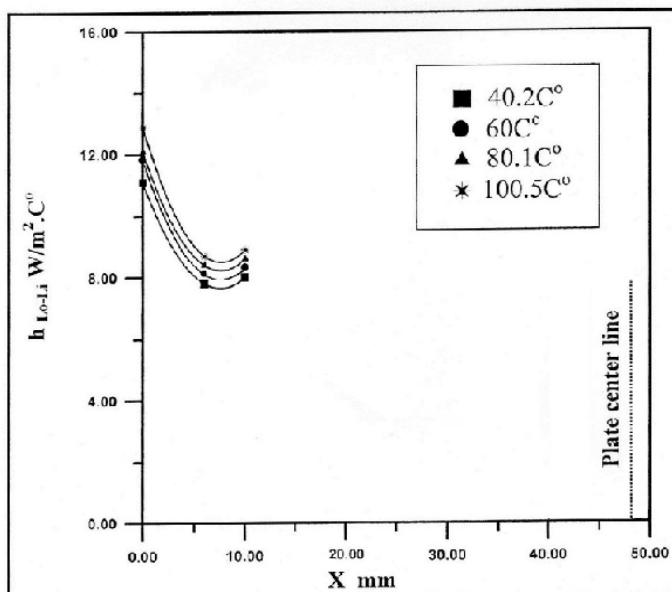
شكل (10) توزيع درجات الحرارة المقاسة عمليا فوق صفيحة مستويه مربعة الشكل ذات تجويف مربع الشكل طول ضلعه الداخلي يكافي (0.75) من الطول الاصلی للمربع ولعدد كراشوف (0.65144×10^5)



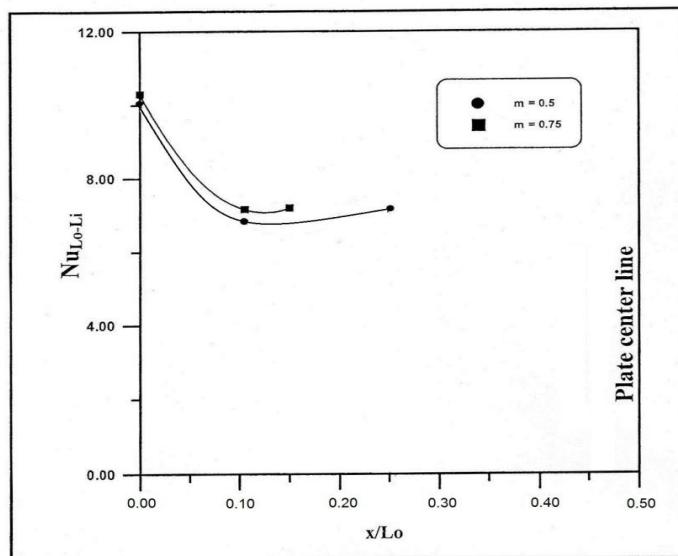
شكل (11) توزيع درجات الحرارة المقاسة عمليا فوق صفيحة مستويه مربعة الشكل ذات تجويف مربع الشكل طول ضلعه الداخلي يكافي (0.75) من الطول الاصلی للمربع ولعدد كراشوف (0.783×10^5)



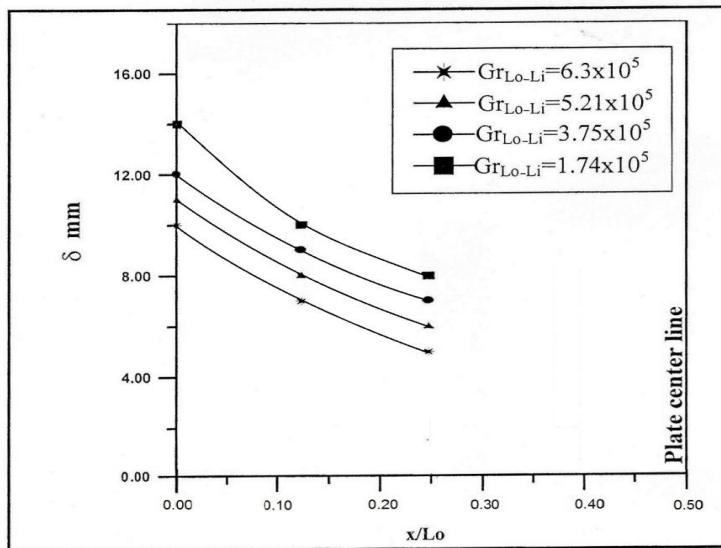
شكل (12) معامل انتقال الحرارة الموضعي لصفحة مربعة الشكل ذات تجويف نسبية طول ضلعه الداخلي تكافى (0.5) من الطول الاصلى للمرربع ووجهها المسخن للعلى، من بدايه الحافة الى المركز



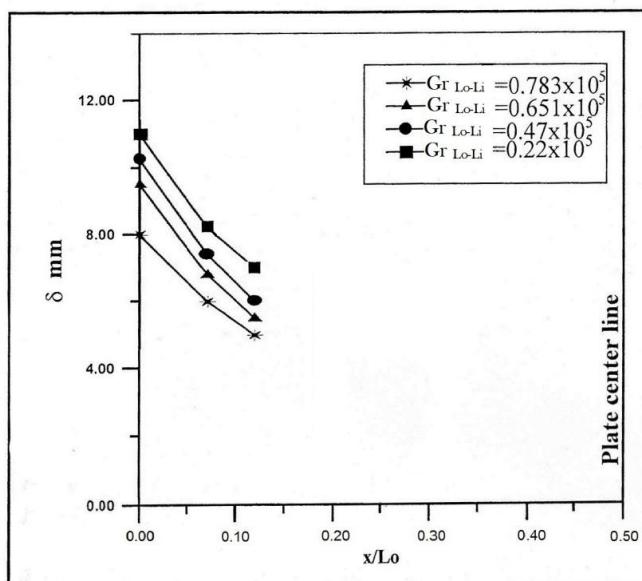
شكل (13) معامل انتقال الحرارة الموضعي لصفحة مربعة الشكل ذات تجويف نسبة طول ضلعه الداخلي تكافى (0.75) من الطول الاصلى للمرربع ووجهها المسخن للعلى، من بدايه الحافة الى المركز



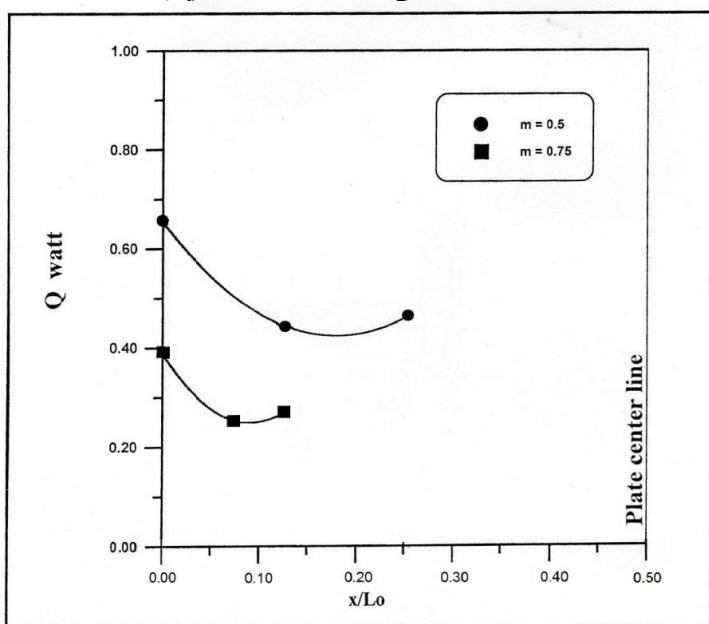
شكل (14) مقارنة النتائج العملية لعدد نسلت الموضعى للصفيحتين المربعتين ذات تجويف نسبة طول ضلعه الداخلى تكافى (0.75,0.5) من الطول الاصلى للمربيع ووجهها المسخن للأعلى بدلالة الطول الابعدى x/L_0



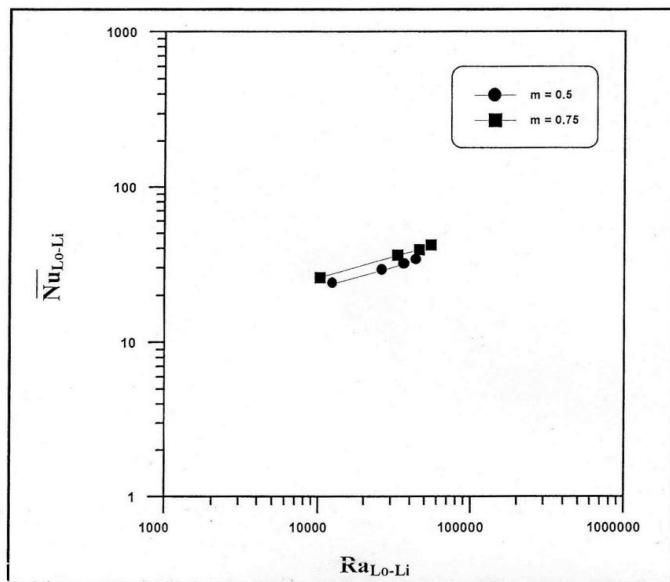
شكل (15) سمك الطبقه المتاخمه الحراريه مقاسه عمليا فوق الصفيحة المربعة الشكل ذات تجويف نسبة طول ضلعه الداخلى تكافى (0.5) من الطول الاصلى للمربيع ووجهها المسخن نحو الاعلى بدلالة الطول الابعدى x/L_0



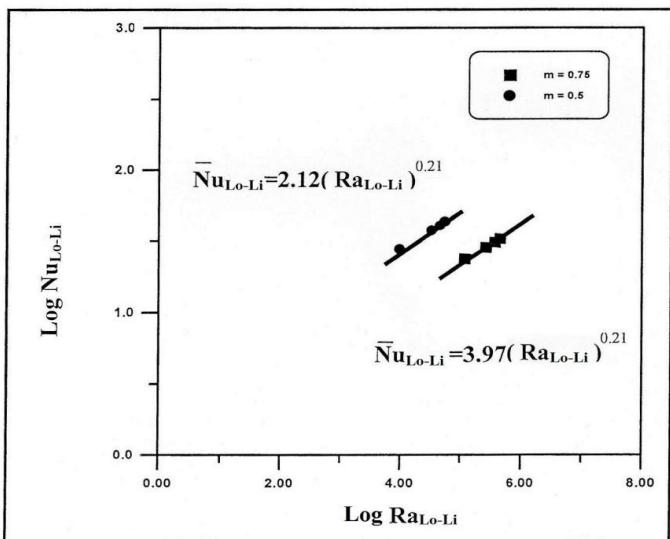
شكل (16) سمك الطبقة المتاخمة الحرارية المقاسة عمليا فوق الصفيحة المرיבعة ذات تجويف نسبة طول ضلعه الداخلي تكافى (0.75) من الطول الاصلى للمربيع ووجهها المسخن للأعلى بدلالة الطول الابعد x/L_0



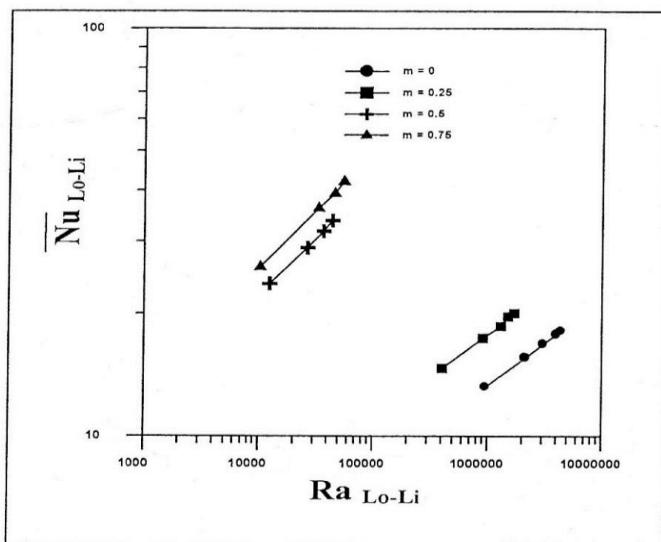
شكل (17) مقارنة النتائج العمليه لكميه الحرارة المنتقله بالحمل الحر للصفيحتين المربيعتي الشكل ذات تجويف نسبة طول ضلعه الداخلي تكافى (0.75, 0.5) من الطول الاصلى للمربيع ووجهها المسخن للأعلى بدلالة الطول الابعد x/L_0



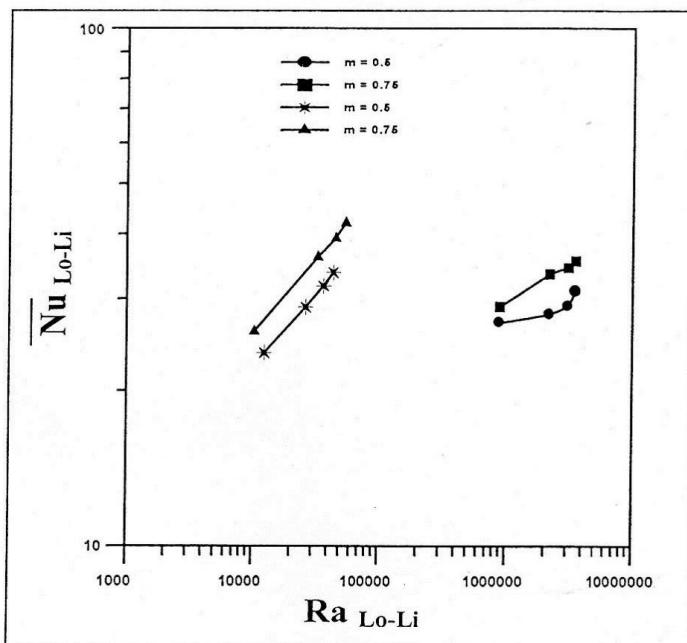
شكل (18) مقارنة النتائج العملية متوسط عدد نسلت مع عدد رايلي للصفيحتين المربعتي الشكل ذات تجويف نسبة طول ضلعه الداخلي تكافى (0.75,0.5) من الطول الاصلي للمربيع و وجهها المسخن للأعلى.



شكل (19) علاقة لوغارتمية بين متوسط عدد نسلت و عدد رايلي لايجاد الثوابت (C,n) للصفيحتين المربعتي الشكل ذات تجويف نسبة طول ضلعه الداخلي تكافى (0.75,0.5) من الطول الاصلي للمربيع و وجهها المسخن للأعلى.



شكل (20) مقارنة النتائج التجريبية لمتوسط عدد نسلت مع عدد رايلي بين نتائج البحث [1] والبحث الحالى.



شكل (21) مقارنة النتائج التجريبية لمتوسط عدد نسلت مع عدد رايلي بين نتائج البحث [2] والبحث الحالى.

قائمة الرموز المستخدمة

| | |
|------------|--|
| Q | كمية الحرارة (Watt) |
| T | درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$) |
| h | معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر ($\text{W/m.}^{\circ}\text{C}$) |
| A | مساحة التبادل الحراري (m^2) |
| Nu | عدد نسلت (Nusselt Number) |
| Lc | الطول المميز (m) |
| k | معامل انتقال الحرارة بالتوصيل ($\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$) |
| Ra | عدد رايلي |
| θ | الحد الابعدى لدرجة الحرارة |
| x | المسافه من بداية الصفيحه (m) |
| L_o | الطول الخارجي للصفيحه (m) |
| L_i | الطول الداخلى للصفيحه (m) |
| F | معامل الشكل لانتقال الحرارة بالاشعاع |
| σ | ثابت ستيفان بولتزمان (5.67×10^{-8} $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) |
| ϵ | انبعاثية السطح المشع |
| g | التعجيل الارضي (m/s^2) |
| β | معامل التمدد الحراري (1/K) |
| v | الزوجة الكينماتية (m^2/s) |

الرموز السفلية

| | |
|----------|----------------|
| s | سطح الجسم |
| ∞ | المحيط الخارجي |
| d_o | القطر الخارجي |
| f | مائع |
| av | معدل |

المصادر:

1. الخفاجي، رفاه عزيز نجم، "من ظومة تعليمية لدراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مستوية افقية مربعة الشكل عند ثبوت درجة الحرارة" رسالة ماجستير، قسم التعليم التكنولوجي ،جامعة التكنولوجية، بغداد 2002
2. Yousef, W. W., Tarasuk, J. D., McKeen ,W. J. "Free convection heat transfer from upward-facing isothermal horizontal surfaces" vol. 104 pp. (493-500) August 1982, ASME.
3. AL-Arabi, M., Elriedy, M.K. "Natural convection heat transfer from isothermal horizontal plates of different shapes "vol. 19 pp. (1399-1404) January 1976.
4. مصطفى، احمد وحيد، "دراسة عددية وعملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اقراص وحلقات افقية بثبوت درجة الحرارة، رساله ماجستير، قسم هندسة المكانن والمعدات، الجامعة التكنولوجية، بغداد 2001
5. Mousa, M.G., "Natural convection air cooling of electronic components in partially top vented enclosures" vol. 30, No.2 June 2005, Mansoura Engineering Journal.
6. Holman J.P. "Heat transfer" , 10th Edition, 2010 , McGraw-Hill, PP 342.
7. Robert E. Simons, "Electronics Cooling", (Simplified Formula for estimating natural convection heat transfer coefficient on a flat plate). August 2001, <http://www.electronics-cooling.com/2001>.
8. Yunus, A. Cengel "Heat transfer a practical approach, McGraw-Hill 1998.