

تأثير نسبة التجويف على انتقال الحرارة بالحمل الحر من صفائح مسخنة باتجاه الأعلى بثبات الفيض الحراري

مشعان إبراهيم حسن و سعد محمد جليل و أرز يحيى رزيك
جامعة الأنبار-كلية الهندسة

الخلاصة

البحث الحالي يقوم بدراسة عملية عن تأثير نسبة التجويف المركزي على انتقال الحرارة بالحمل الحر الطبقي وعلى معدل الانحدار الحراري للطبقة المتاخمة الحرارية من ثلاثة سطوح مستوية مربعة الشكل. تم إقامة منشأ تجريبي لهذا الغرض والذي يتكون بصورة أساسية من ثلاثة صفائح من الألمنيوم النقي مربعة الشكل مع تجويف مركزي لكل صفيحة مربع الشكل وبنسبة (0.25,0.5,0.75) من المساحة الكلية للسطح مسخنة باتجاه الأعلى بفيض حراري ثابت ولمدى عدد رالي $(5.62 \times 10^5 \leq Ra \leq 1.67 \times 10^6)$ وباستخدام الهواء كمناع ناقل للحرارة. بينت الدراسة إن زيادة نسبة التجويف تؤدي إلى زيادة معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر المتمثل بزيادة متوسط عدد نسلت، وإن معدل الزيادة بين نسبة وأخرى يقل مع زيادة نسبة التجويف وقد بلغت نسبة الزيادة بين السطحين عند $(m=0.25 \& m=0.5)$ ولنفس المدى من عدد رالي (39.6%) في حين الزيادة بين السطحين عند $(m=0.5 \& m=0.75)$ اقل منها وبلغت (29.2%) أما معدل الزيادة بين اصغر نسبة واكبر نسبة للتجويف فكانت (78%)، كذلك بينت الدراسة إن أقصى انحدار حراري يكون عند الحافة الخارجية ويزداد مع زيادة عدد رالي ونسبة التجويف.

الكلمات الرئيسية: تأثير، نسبة التجويف، انتقال الحرارة، الحمل الحر، صفائح مسخنة، ثبات الفيض الحراري

The Effect of the Hollow Ratio on the Natural Convection Heat Transfer from Upward Heated Plates at Constant Heat Flux

Mashaan Ibrahim Hassan Saad Mohamed Jaleel Arz Yahya Rzayeg
University of Al- Anbar - College of Engineering

ABSTRACT

The present research studies experimentally the effect of the ratio of the centurial hollow on the average of laminar convective heat transfer and the thermal gradation of the thermal boundary layer of three square flat plates. An experimental set-up was made for this purpose containing basically three uniformly Aluminum flat plates of a centurial hollow representing (0.25,0.5,0.75) of the entire surface area of each plate. Each of the three plates were heated by a constant heat flux for a rang of Rayleigh number of $(5.62 \times 10^5 \leq Ra \leq 1.67 \times 10^6)$. The study showed that increasing the hollow ratio causes to increase the average of convective heat transfer by increasing the average Nusselt number, and the increasing average from a ratio to another decreases by the increases of the hollow ratio. The increasing between the two surfaces at $(m=0.25 \& m=0.5)$ reached (39.6%) and for $(m=0.5 \& m=0.75)$ was less than that and reached (29.2%). The increase average between the biggest and smallest hollow ratio was (78%). The study also showed that the maximum thermal gradation was on the out side edge of the plates and increases with the increase of Rayleigh number and the hollow ratio.

١ . المقدمة

إن العديد من التطبيقات الهندسية والصناعية تسعى دوماً إلى إيجاد السبل الكفيلة إلى تبديد الحرارة من السطوح المسخنة الداخلة في هذه الصناعات. حيث انه يدخل في تبريد الأجزاء الالكترونية والمحولات الكهربائية وكذلك تصميم المجمعات الشمسية بالإضافة إلى كونه عملية تبادل حراري بين السطوح الساخنة والموائع الملامسة لها. وحيث إن معظم الأجهزة الالكترونية أو أجزائها يتم تبريدها من خلال إزالة الحرارة المتولدة بداخلها باستخدام الهواء كوسط ناقل للحرارة وبطريقة الحمل الحر، وكون انتقال الحرارة بواسطة الحمل الحر يحدث في العديد من المجالات لذلك كان هناك العديد من الدراسات التي عنت بهذا الموضوع. ان الحمل الحر يتولد من خلال قوة الطفو (Bouncy force) نتيجة الفرق الحاصل في كثافة المائع الملاصق للسطح المسخن بسبب الاختلاف في درجات الحرارة بين المائع والسطح.

إن الجريان الطبقي على طول السطوح تم دراستها تحليلياً بصورة واسعة [1,2,3,4] وبالحالة الأفقية، المائلة والعمودية سواء بثبوت الفيض الحراري أو ثبوت درجة حرارة السطح، كذلك هناك العديد من الدراسات التجريبية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح الأفقية، المائلة والعمودية بثبوت الفيض الحراري أو ثبوت درجة حرارة السطح [5,6,7,8]. كما تم إجراء بعض الدراسات التجريبية على انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح مسخنة على شكل قرص (ring)، وكان حصيلة هذه الدراسات استخراج علاقة رياضية اسية تربط ما بين متوسط عدد نسلت وعدد كراشوف أو عدد رالي وان الصيغة التالية $Nu=C(Ra)^n$ هي من أكثر الصيغ ملائمة لانتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح المسخنة وبمختلف أشكالها و لمديات واسعة من عدد رالي. ومن الملاحظ إن جميع هذه الدراسات لم تتطرق إلى دراسة تأثير نسبة التجويف على انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح المربعة الشكل وهو الشكل الذي يكون أكثر تطبيقاً في الأجهزة الالكترونية. لذلك يعنى البحث الحالي بدراسة معدل التغير الحاصل في متوسط عدد نسلت والذي يمثل دالة لمعدل التغير الحاصل في معدل انتقال الحرارة بالحمل وكذلك دراسة الانحدار الحراري فوق السطح، وتم ذلك من خلال استخدام ثلاثة سطوح مجوفة بنسب (0.25,0.5,0.75) من المساحة الكلية.

٢. المنشأ التجريبي

إن المنشأ التجريبي (Experimental Set-up) المستخدم في هذه الدراسة والمبين في الشكل (١) مكون من وسيلة لثبيت السطح بالحالة الأفقية مع آلية تحريك ثلاثية الأبعاد لتحريك المزدوج الفراغي الذي يستخدم في قياس درجة الحرارة فوق ثلاثة سطوح مجوفة مستوية. إن كل سطح تبادل حراري هو عبارة عن صفيحة من الألمنيوم يمتلك معامل شكل مقداره (١) وانبعائية (٠.٠٤) ، مربع الشكل وبأبعاد (96mmX96mm) وبسمك (9.6mm) مع تجويف مركزي مربع الشكل بأبعاد [24mmx24mm, 48mmx48mm, 72mmx72mm] أي بنسبة (m=A_n/A_t=0.25, 0.5, 0.75) من المساحة الكلية كما في الشكل (٢).

تم صقل كل صفيحة من الصفائح المستخدمة صقلا جيدا من اجل الحصول على سطح مستو، وتم تنقيب كل سطح بثمانية ثقوب بقطر (2mm) وبعمق غير نافذ مقداره (8.8mm) بواقع ثلاثة ثقوب في كل ضلع كما في الشكل (2) ولأجل قياس درجات حرارة السطح تم استخدام مزدوجات حرارية من نوع (T) وذلك بعد معايرتها وتم تثبيتها داخل الثقوب المخصصة لها باستخدام مادة لاصقة تتحمل درجات حرارية عالية (Super Glue).

إن الوسيلة المستخدمة في عملية تسخين أسطح التبادل الحرارية تتمثل بشرائط رقيقة مصنوعة من النيكروم (سبيكة من النيكل والكروم) عرضها (1.28mm) وسمكها (0.07mm) تثبت طوليا على طبقة من المايكا (Mica) سمكها (0.5mm) وبمعدل مسافة فاصلة مقدارها (1mm) ثم يغطي بطبقة أخرى من المايكا وذلك لغرض العزل الكهربائي، ويثبت المسخن على السطح باستخدام (Super Glue).

استخدم صوف الزجاجي ذا موصلية حرارية (0.05W/m.°C) وبسمك (4cm) والفلين ذا الموصلية حرارية (0.024W/m.°C) وبسمك (3cm) لعزل الوجه السفلي لأسطح التبادل الحرارية والمسخن معاً، ووضع مزدوجين حراريين في أسفل مادة الفلين وذلك لتحديد الحرارة المنتقلة عموديا إلى الأسفل من السطح، كما أحيط المسخن والصوف الزجاجي والفلين بإطار خشبي سمكه (2.3mm) وذلك لضمان العزل الكهربائي. ولضمان جريان متوازي (Parallel Flow) عند حافات النموذج تم إحاطة سطح التبادل الحراري عند الحافات بلوح خشبي مربع الشكل بأبعاد (360mmX360mm) وبسمك (4mm) كسطح ممتد وتم عزله عن أسطح التبادل الحرارية باستخدام مادة التفلون (Teflon) ذات موصلية حرارية مقدارها (0.36W/m.°C) وعزلها عنه بمادة السليكون المطاطي والشكل (٣) وضح طريقة العزل والسطح الممتد لأحد الأسطح المستخدمة .

من اجل توفير المناخ المناسب لإجراء التجارب العملية وتقليل تأثير العوامل الخارجية على سطح التبادل الحراري أحيط الجهاز المختبري بحيز مغلق من جدران خشبية بأبعاد (220cmX160cmX200cm) بغية توفير حالة الاستقرار وتقليل تأثير التيارات الهوائية والحفاظ على درجة حرارة الحيز ثابتة، كما أحيط سطح التبادل الحراري بحيز مغلق من مادة النايلون وبأبعاد (70cmX70cmX130cm) وذلك بعد سحب أسلاك تجهيز القدرة الكهربائية للمسخن والمزدوجات الحرارية خارج الحيز وذلك لتأمين ظروف اختبار مثالية لانتقال الحرارة بالحمل الحر وذلك بمنع حدوث أي تيارات هوائية وكذلك ضمان عدم تذبذب درجة حرارة المحيط والتي كانت (27°C) في معظم القراءات مع تذبذب لم يتجاوز ($\pm 1^\circ\text{C}$) خلال جميع التجارب.

جهاز المسخن بتيار متناوب بواسطة محولة كهربائية ذات مدى من (٠-٢٢٠) فولت مربوطة إلى مثبت فولتية نوع (VOLTAC) استخدم مقياس رقمي متعدد الأغراض نوع (Philips-PM2521) لقياس كل من الفولتية والتيار المجهزان للمسخن وبدقة تصل إلى (٠.٠١) ملي فولت و (٠.٠٠١) ملي أمبير. كذلك استخدم الجهاز نفسه لقياس درجات حرارة سطح التبادل الحراري بقياس الفولتية المتولدة في المزدوجات الحرارية وبدقة تصل إلى (٠.٢٥) درجة مئوية.

٣. طريقة الاختبار والنتائج

إن الدراسة تهدف بشكل أساسي إلى دراسة تأثير نسبة التجويف على معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر وذلك من خلال مقارنة النتائج المستحصلة لكل سطح مجوف مع نتائج السطحين المجوفين الآخرين. وتم تثبيت كل سطح من الجانبين بصورة أفقية بواسطة فكي التثبيت الموجودة في الجهاز المستخدم بحيث يكون السطح حر من الأعلى والأسفل. وتم قياس درجة الحرارة فوق السطح عند خط المركز لكل سطح مجوف ولأربعة مستويات مختارة لعدد رالي من ضمن سبع مستويات وذلك لبيان تأثير نسبة التجويف على الانحدار الحاصل في سمك الطبقة المتاخمة المتولدة فوق السطح المجوف والذي كان أقصى انحدار له عند الحافة الخارجية. وقد تمت القياسات عند خط المركز للمحور (x) الموجب وفوق الحافة الخارجية والداخلية والمنتصف ، وذلك لأنه من خلال التجارب العملية الأولية تبين حصول تناظر حول خط المركز وكذلك التناظر شمل كل ربع من السطح وهي نتيجة متوقعة بسبب تجانس التسخين على السطح حيث إن التجارب تتم بثبوت الفيض الحراري على طول السطح وكذلك التناظر الهندسي للشكل المربع المستخدم لصفيحة الألمنيوم بالإضافة إلى كون التجويف مركزي.

تم تجهيز السطح بقدرة كهربائية ثابتة بواسطة المحولة الكهربائية المتغيرة الجهد والتي تكون مربوطة على التوالي مع مثبت الفولتية، ترك السطح مدة كافية لحين وصوله إلى حالة الاستقرار والتي تراوحت ما بين (٤-٢) ساعات معتمدة على القدرة المجهزة للمسخن ونسبة التجويف. بعد الوصول إلى حالة الاستقرار تؤخذ قراءات المزدوجات الحرارية و الفولتية والتيار المجهزين للمسخن ودرجة حرارة المحيط وكذلك قياس درجة حرارة الهواء المتمثل بالطبقة المتاخمة فوق السطح، ويتم اخذ قراءة المزدوج الفراغي بعد كل (٤-٣) دقائق من تغيير الارتفاع. ثم تكرر طريقة الاختبار هذه لقدرة مجهزة أخرى والمتمثلة بسبعة مستويات للقدرة المجهزة وللسطحين الآخرين.

لغرض بيان تأثير نسبة التجويف على معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر من السطوح المجوفة وإيجاد علاقة متوسطة عدد نسلت مع عدد رالي، فقد تم اختزال البيانات التجريبية التي توفرت لدينا من القراءات لكل سطح وحصرها بمتوسط عدد نسلت وعدد رالي وذلك بأجراء العمليات الحسابية التالية:

إن القدرة المجهزة للمسخن يمكن حسابها من قراءتي الفولتية والتيار المجهزين أي إن [9]:

$$I.P = V.I \quad (1)$$

ومن خلال إجراء موازنة للطاقة الحرارية المتولدة والمفقودة :

$$I.p = Q_{Conv.} + Q_{cond.} + Q_{rad} \quad (2)$$

ومن خلال حساب كمية الحرارة المنتقلة بالإشعاع والتوصيل [10] تم حساب الحرارة المنتقلة بالحمل:

$$Q_{rad} = F_{sur} \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot A (T_s^4 - T_a^4) \quad (3)$$

$$(4) Q_{Cond.} = \frac{(T_s - T_x)}{R_{ins}}$$

$$(5) R_{ins} = \left[\frac{L_{ins1}}{K_{ins1}} + \frac{L_{ins2}}{K_{ins2}} \right] \frac{1}{A_s}$$

حيث إن

$$A_s = A_t - A_h \quad (6)$$

ومن خلال المعادلة (٢)

$$Q_{Conv.} = I.p - (Q_{cond.} + Q_{rad}) \quad (7)$$

ويمكن حساب متوسط معامل انتقال الحرارة (h) كالآتي:

$$Q_{Conv.} = \bar{h} \cdot A \cdot (T_s - T_\alpha) \quad (8)$$

$$\bar{h} = \frac{Q_{conv.}}{A_s \cdot (T_s - T_\infty)} \quad (9)$$

أما حساب متوسط عدد نسلات فيتم من خلال الاعتماد على الفرق بين الطول الخارجي والداخلي (Lo-Li) كطول مميز [11]

$$(10) \quad \frac{Nu}{K_f} = \frac{\bar{h} \cdot (Lo - Li)}{K_f}$$

إن خواص الهواء قد أخذت عند درجة حرارة الطبقة الغشائية (T_f) والتي تم حسابها من المعادلة الآتية .

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2} \quad (11)$$

أما عدد رالي فقد تم حسابه لجميع السطوح كالآتي [12]

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot (Lo - Li)^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (12)$$

ومن المعادلتين (١٠,١٢) أصبحت البيانات دالة لمتغيرين فقط هما متوسط عدد نسلت وعدد رالي وللسطوح الثلاثة ومن خلال رسم البيانات الخاصة بكل سطح تم الحصول على قيم الثوابت (C,n) التي تحكم العلاقة بين متوسط عدد نسلت وعدد رالي. ومن اجل إيجاد توزيع درجة الحرارة فوق السطح المجوف تم حساب الفرق اللابعدى لدرجة الحرارة من خلال المعادلة التالية [13]

$$\theta = \frac{T - T_{\alpha}}{T_s - T_{\alpha}} \quad (13)$$

٤. النتائج والمناقشة

لقد تم إجراء التجارب العملية للبحث الحالي على السطوح المجوفة الثلاثة لبيان تأثير نسبة التجويف على التغير في متوسط عدد نسلت مع تغير عدد رالي، كذلك بيان تأثير نسبة التجويف على سمك الطبقة المتاخمة المتولدة فوق السطح ولمدى عدد رالي تراوح بين $(5.62 \times 10^5 \leq Ra \leq 1.67 \times 10^6)$ وباستخدام الهواء كوسط ناقل للحرارة.

الشكل (٤) يبين تغير متوسط عدد نسلت المحسوب للسطح المجوف الأول عند $(m=0.25)$ مع تغير عدد رالي ولسبعة مستويات من عدد رالي، حيث نلاحظ من الشكل إن زيادة عدد رالي عند نفس نسبة التجويف سيؤدي إلى زيادة في متوسط عدد نسلت. وتبين من خلال النتائج إن التغير في متوسط عدد نسلت عند $(Ra < 1.2 \times 10^6)$ يكون اقل من معدل التغير عند رالي اكبر من هذا المقدار ويعود السبب في ذلك إلى كون انخفاض عدد رالي سيولد تبادل حراري بين السطح الساخن والمائع الملامس له اقل مما لو كانت قيمته أعلى لأنه بوجود التجويف تيار الهواء الساخن المتولد داخل التجويف والذي يزيد من قوة الطفو (Bouncy force) عند السطح يزداد تأثيره بزيادة عدد رالي نتيجة لارتفاع درجة حرارته ووجود التجويف الذي يؤدي إلى تدفقه بشكل أسرع إلى الأعلى. ومن اجل مقارنة النتائج المستحصلة عند $(m=0.25)$ فقد تم إيجاد معادلة عامة تحكم التغير في متوسط عدد نسلت كما مبين بالشكل (٤).

الشكل (٥) يبين تغير متوسط عدد نسلت مع عدد رالي عند $(m=0.5)$ ونلاحظ إن زيادة عدد رالي تؤدي إلى زيادة متوسط عدد نسلت وان تأثير التجويف يكون واضح حيث نلاحظ استقرار الزيادة في متوسط عدد نسلت يكون عند مستوى عدد رالي اقل مما هو عند $(m=0.25)$ وذلك بسبب زيادة نسبة التجويف التي زادت من معدل التبادل الحراري. وقد تم إيجاد المعادلة الخاصة بالتغير الذي يحصل في متوسط عدد نسلت مع عدد رالي وبمقارنتها

مع السطح الأول عند ($m=0.25$) تبين إن هناك زيادة في متوسط عدد نسلت مقداره (39.6%) وهذا بدوره سيؤدي إلى تحسين معدل التبريد للسطح ويعود السبب في الزيادة إلى زيادة قيمة (m) التي يزداد معها الانحدار الحراري عند الحافات وكذلك انعدام منطقة الانفصال الحراري.

الشكل (٦) يبين تغير متوسط عدد نسلت مع عدد رالي عند ($m=0.75$) وقد تبين من خلال المعادلة الخاصة بهذا السطح إن معدل الزيادة في متوسط عدد نسلت بلغت (78%) من قيمته عند ($m=0.25$). أما معدل الزيادة بين السطوح الثلاثة فنلاحظ من الشكل (٧) إن معدل الزيادة بين السطحين ($m=0.25, 0.5$) هو اكبر من الزيادة الحاصلة بين السطحين ($m=0.5, 0.75$) مع بقاء الزيادة في متوسط عدد نسلت مع زيادة نسبة التجويف.

ومن اجل بيان تأثير نسبة التجويف على الانحدار الحراري على امتداد السطح فقد تم قياس درجة الحرارة فوق السطح وتبين إن أقصى انحدار حراري يكون عند الحافة الخارجية ولجميع المستويات المدروسة ولكن التغير في سمك الطبقة المتاخمة عند الحافة الخارجية يكون قليل التآثر مقارنة بالنقاط الأخرى على امتداد السطح التي يكون التغير عندها اكبر، لذلك لبيان تأثير نسبة التجويف ومستوى التسخين على سمك الطبقة المتاخمة فقد تم رسم توزيع درجة الحرارة فوق الحافة الخارجية للسطوح الثلاثة ولأربعة مستويات من عدد رالي، لان التغير الطفيف عندها يولد تغير اكبر في النقاط الأخرى.

الأشكال (٨،٩،١٠،١١) تبين توزيع درجة الحرارة المقاسة فوق السطوح المجوفة الثلاثة وعند الحافة الخارجية ولأربعة مستويات من عدد رالي كما مبينة في كل شكل. الشكل (٨) يبين توزيع درجة الحرارة للسطوح المجوفة الثلاثة عند عدد رالي (5.62×10^5) ونلاحظ من الشكل إن سمك الطبقة المتاخمة يقل مع زيادة نسبة التجويف وان معدل النقصان يزداد مع زيادة عدد رالي.

نلاحظ من الشكل (١١) الذي يبين توزيع درجة الحرارة عند عدد رالي (1.67×10^6) إن النقصان في سمك الطبقة المتاخمة زاد مع زيادة عدد رالي حيث بلغت نسبة النقصان فيها عند ($m=0.75$) بين أعلى واقل مستوى لعدد رالي أكثر من الضعف وهذا واضح بمقارنة نتائج الشكلين (٨،١١)، وهذا يدل إلى إن زيادة نسبة التجويف تزيد من معدل الانحدار الحراري على امتداد السطح.

٥. الاستنتاجات

في هذا البحث تم دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر من ثلاثة سطوح مجوفة بوضعها الأفقي وينسب تجويف مختلفة وعند فيض حراري ثابت على امتداد السطح وان

الاستنتاجات الرئيسية التي تم التوصل إليها يمكن تلخيصها بما يأتي:

١. إن انتقال الحرارة بالحمل الحر يزداد مع زيادة نسبة التجويف وعدد رالي.
٢. إن السلوك الذي اتخذته تغير متوسط عدد نسلت بصورة عامة كان متشابه لجميع السطوح مع تغير هذه الزيادة حسب عدد رالي ونسبة التجويف.
٣. إن معدل الزيادة في متوسط عدد نسلت عند $(m=0.5)$ بلغت (39.6%) من قيمته عند $(m=0.25)$.
٤. إن معدل الزيادة في متوسط عدد نسلت عند $(m=0.75)$ بلغت (29.2%) من قيمته عند $(m=0.5)$ و (78%) من قيمته عند $(m=0.25)$.
٥. أقصى انحدار حراري يكون عند الحافة الخارجية للسطوح ويزداد معدل الانحدار على امتداد السطح مع زيادة عدد رالي ونسبة التجويف.

المراجع

- [1] E.M. arrow nd J.L. Gregg,"Laminar free convection from a vertical plate with uniform surface heat flux",Trans.ASME 78,435-440 (1956).
- [2] W.T. Kierkus,"An analysis of laminar free convection flow and heat transfer about an inclined isothermal plate",Int.J.Heat Mass Transfer 11,241-253(1968).
- [3] L.Pera and B. Gebhart,"Natural convection boundary layer flow over horizontal and slightly inclined surfaces", Int.J.Heat Mass Transfer 16,1131-1146 (1973).
- [4] M.M. Hasan and R. Eichhorn,Local "nonsimilarity solution of free convection flow and heat transfer from an inclined isothermal plate",J.Heat Transfer 101,642-647 (1979).
- [5] H. Shaukatullah and B. Gebhart,"An experimental investigation of natural convection flow on an inclined surface",Int. J. Heat Mass Transfer 21,1481-1490 (1978).
- [6] W. W. Yousef,J. D. Tarasuk and W. J. McKeen,"Free convection heat transfer from upward-facing isothermal horizontal surfaces",J. Heat Transfer 104, 493-500 (1982).
- [7] G. C. Vliet,"Natural convection local heat transfer on constant-heat-flux inclined surfaces",J. Heat Transfer 91, 511-516 (1969).
- [8] T. Fuujii and H. Imura,"Natural convection heat transfer from a plat with arbitrary inclination",Int. J. Heat Mass Transfer 15,755-767 (1972).
- [9] William J. Mcguinness ,Benjamin SteinJohns,Reynolds"Mechanical and electrical equipment for buildings" sixth ed., America 1998.
- [10] Yunus, A., Cengl, "Heat Transfer A Practical Approach " McGraw-Hill (1998).
- [11] Sahraoui, M., Kaviany, M., and Marshall, H. "Natural Convection From Horizontal Disks And Rings "J. Heat Transfer, 112 ,110-116, (1990).
- [12] Chen, T.S.Tien, H.C and Armaly, B.F "Natural Convection On Horizontal, Inclined, and Vertical Plated With Variable Surface Temperature or Heat Flux" Int. J. Heat Transfer, 29, 1465-1478, (1986).
- [13] Luikov,A. V., "Heat and mass transfer",USSR,Moscow,Mir Publishers 1980.

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات
A_H	مساحة التجويف	m^2

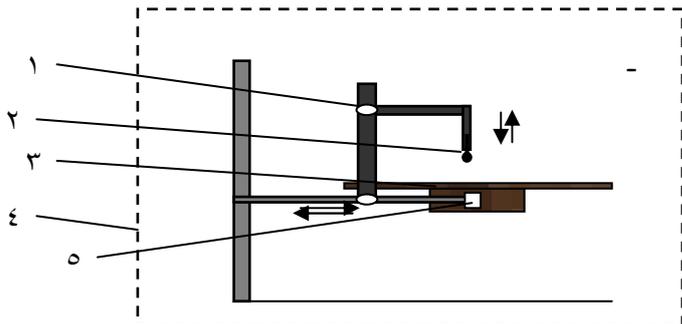
m^2	A_s المساحة السطحية
m^2	A_t المساحة الكلية
-	C,n ثوابت
-	F_{sur} معامل الشكل للسطح
m/s^2	G التعجيل الارضي
$W/m^2 \cdot ^\circ C$	\bar{h} متوسط معامل انتقال الحرارة
A	I التيار الكهربائي
W	$I.P$ القدرة المجهزة
-	Gr عدد كراشوف
$W/m \cdot ^\circ C$	K_f الموصلية الحرارية للمائع
$W/m \cdot ^\circ C$	K_{ins} الموصلية الحرارية للعازل
M	Li الطول الداخلي
M	$L_{ins.}$ سمك العازل
M	Lo الطول الخارجي
-	m نسبة التجويف (A_f/A_t)
-	Nu عدد نسلت
W	Q_{cond} الطاقة الحرارية المنتقلة بالتوصيل
W	Q_{conv} الحرارة المنتقلة بالحمل
W	$Q_{rad.}$ الحرارة المنتقلة بالاشعاع
-	Ra عدد رالي
$m \cdot ^\circ C/W$	R_{ins} المقاومة الحرارية للعازل
$^\circ C$	T درجة الحرارة فوق السطح
$^\circ C$	T_s درجة حرارة السطح
$^\circ C$	T_α درجة حرارة الهواء المحيط
$^\circ C$	T_x درجة حرارة السطح السفلي للعازل
V	V فرق الجهد الكهربائي

الرموز الاغريقية

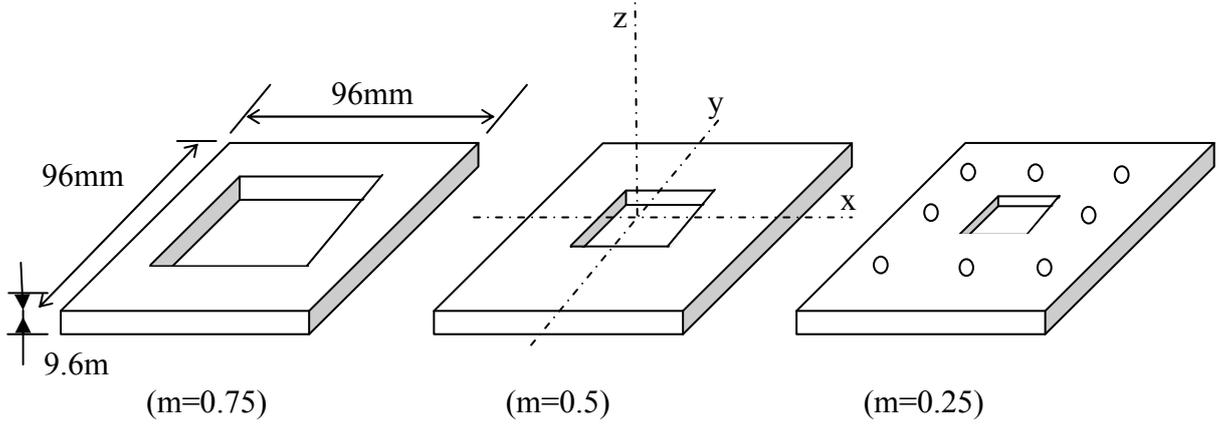
-	ϵ انبعاثية سطح التبادل الحراري
m^2/s	α الانتشارية الحرارية
K^{-1}	β معامل التمدد الحجمي
m^2/s	ν اللزوجة الكينماتيكية
$w/m^2 \cdot k^4$	σ ثابت ستيفان و بولتزمان (5.67×10^{-8})

الرموز اللابعدية

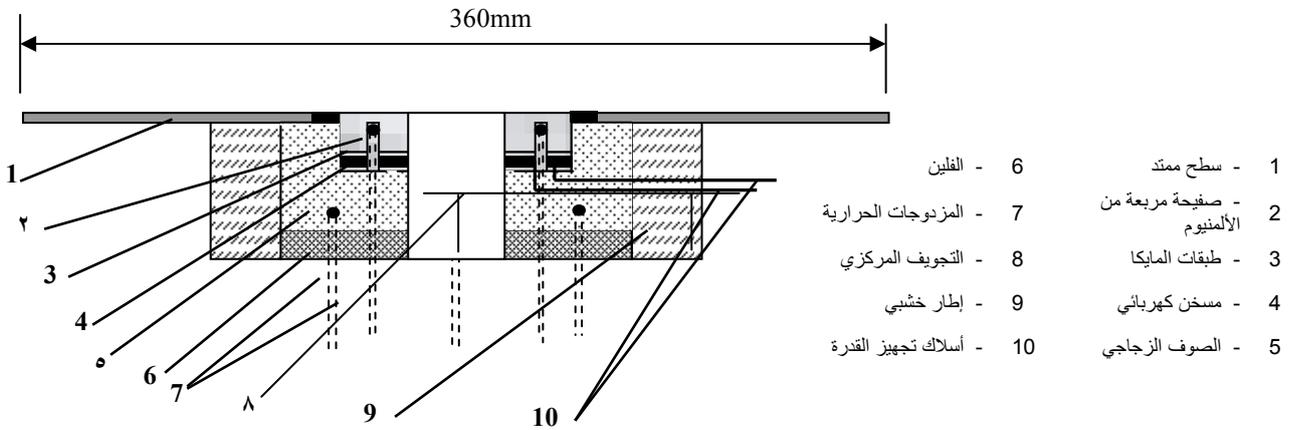
-	θ درجة الحرارة اللابعدية
---	---------------------------------



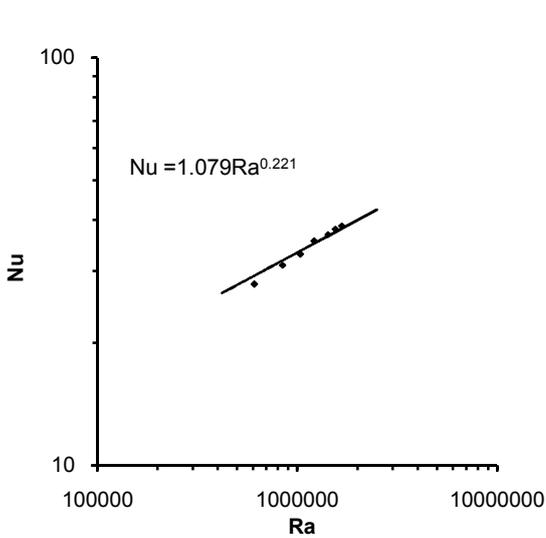
- شكل (١) رسم تخطيطي للمنشأ التجريبي
- ١ - مفصل الحركة باتجاه المحور z
 - ٢ - المزدوج الفراغي
 - ٣ - سطح التبادل الحراري
 - ٤ - حيز مغلق من النايلون
 - ٥ - فكي التثبيت



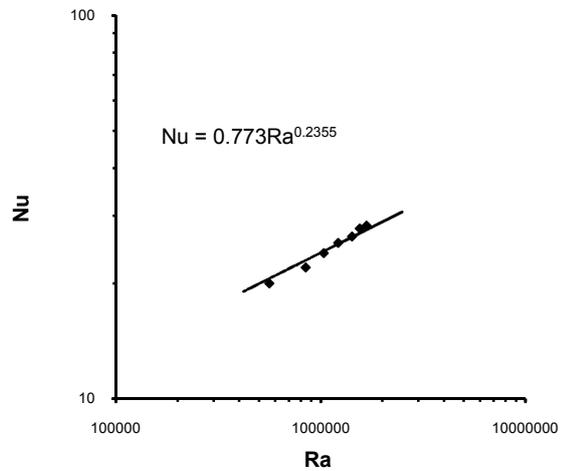
شكل (٢) أبعاد صفائح الألمنيوم الثلاثة المستخدمة مع ثقوب المزدوجات الحرارية



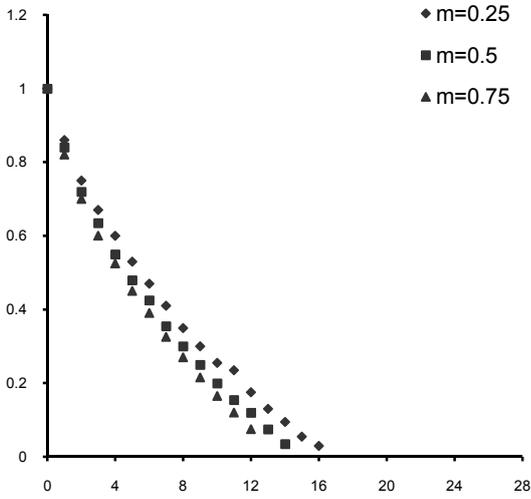
شكل (٣) مقطع عرضي يوضح عملية العزل الحراري



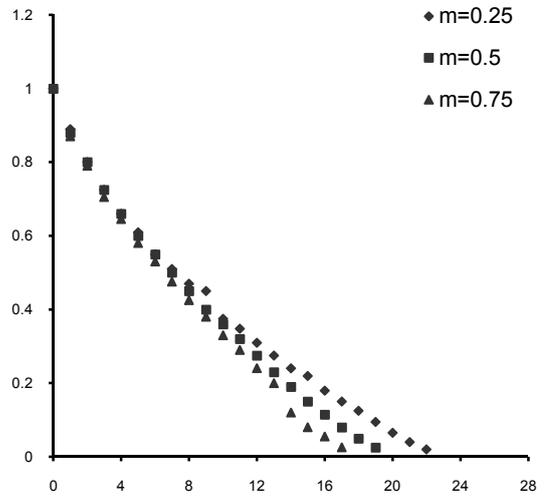
شكل (٥) العلاقة بين عدد رالي و متوسط عدد نسلت عند (m=0.5)



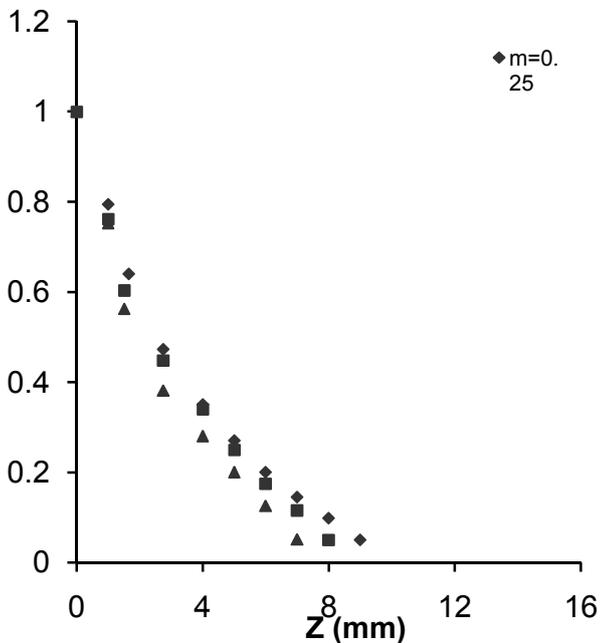
شكل (٤) العلاقة بين عدد رالي و متوسط عدد نسلت عند (m=0.25)



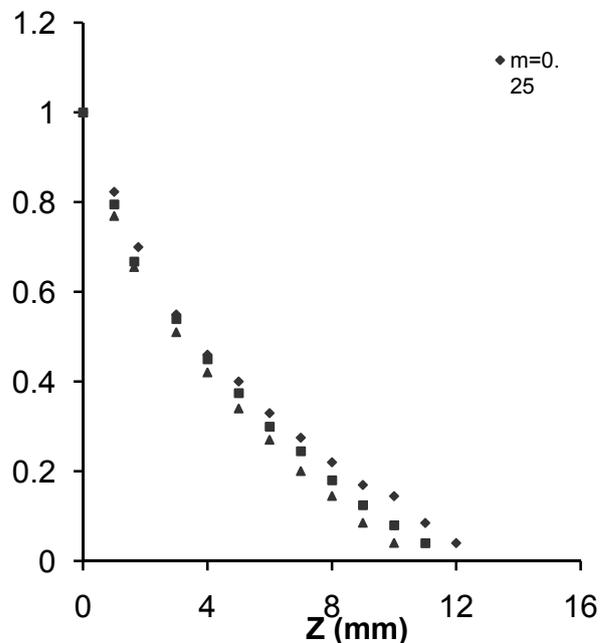
شكل (٩) توزيع درجة الحرارة فوق الحافة الخارجية للأسطح المجوفة عند $Ra=1033100$



شكل (٨) توزيع درجة الحرارة فوق الحافة الخارجية للأسطح المجوفة عند $Ra=560000$



شكل (١١) توزيع درجة الحرارة فوق الحافة الخارجية للأسطح المجوفة عند $Ra=1670000$



شكل (١٠) توزيع درجة الحرارة فوق الحافة الخارجية للأسطح المجوفة عند $Ra=1422000$