

دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة بين اسطوانتين

أفقيتين غير متحدتي المركز

د.سعد محسن المشاط د.تحسين طه عثمان

جامعة كركوك

قسم الهندسة الميكانيكية - جامعة بغداد

م.م.خلف إبراهيم حماده - قسم الهندسة الميكانيكية - جامعة تكريت

الخلاصة

أجريت دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة حلقة تقع بين اسطوانتين أفقيتين غير متحدتي المركز تحت شرط ثبوت درجة حرارة السطح للاسطوانتين. تضمنت الدراسة بيان تأثير كل من نسبة اللامركزية والموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية بالإضافة إلى تأثير عدد رالي على قابلية الاسطوانة الداخلية لتبديد الحرارة.

أقيم لهذا الغرض منشأ تجريبي مؤلف أساساً من خزان ماء التبريد واسطوانتين من الألمنيوم، الداخلية بقطر (26mm) تسخن من الداخل كهربائياً والتي تمثل عنصر نقل وتبديد الحرارة خلال هذا المنشأ، والخارجية بقطر داخلي (100mm) والتي تمثل عنصر التبريد في هذا المنشأ.

بينت الدراسة العملية أن قابلية الاسطوانة الداخلية المسخنة على تبديد الحرارة هي دالة لنسبة اللامركزية والموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية بالإضافة لعدد رالي وقد أُختزلت النتائج العملية بمعادلة إرتباطية تصف علاقة جميع هذه المتغيرات مع بعضها البعض. وقد لوحظ أن هذه القابلية تزداد بزيادة الموقع الزاوي ولجميع نسب اللامركزية المدروسة، أما بالنسبة لتأثير نسبة اللامركزية فيعتمد على الموقع الزاوي، حيث وجد أفضل أداء حراري للاسطوانة الداخلية عند الموقع ($\delta=180^\circ$) والنسبة ($\varepsilon=0.2$) إذ بلغ مقدار التحسن في معامل انتقال الحرارة بحدود (10%) عند هذا

الموقع بالمقارنة مع الحالة المركزية، بينما كان الموقع ($\delta=0^\circ$) ولمقدار نسبة اللامركزية ($\varepsilon=0.726$) يعطي أقل أداء حراري إذ بلغ مقدار الهبوط في معامل انتقال الحرارة بحدود (23%)، أما عدد رالي فكان تأثيره طردياً على معامل انتقال الحرارة.

الكلمات الدالة

انتقال الحرارة، الحمل الحر، فجوة

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات
A	المساحة	m^2
C	الحرارة النوعية	$kJ/kg^\circ K$
d	القطر الخارجي للأسطوانة الداخلية	m
D	القطر الداخلي للأسطوانة الخارجية	m
g	التعجيل الأرضي	m/s^2
h	معامل انتقال الحرارة	W/m^2K
I	التيار	أمبير
L	طول الاسطوانة	m
m	الكتلة	kg
Q	معدل الحرارة المنتقلة	W
Ra	عدد رالي	—
T	درجة الحرارة	$^\circ C$
V	الفولتية	فولت

الرموز اليونانية		
الرمز	المعنى	الوحدات
ν	اللزوجة الكينماتية	m^2/s
ε	نسبة اللامركزية	—
δ	الموقع الزاوي للأسطوانة الداخلية	deg.
β	معامل التمدد الحجمي	$1/^{\circ}K$
ρ	الكثافة الكتلية	Kg/m^3
الرموز التحتية		
الرمز	المعنى	الوحدات
c	حمل	—
i	داخلي	—
l	خسائر	—
m	معدل	—
net	صافي	—
o	خارجي	—
r	إشعاع	—
s	مخزون	—
t	كلي	—
tef	تقلون	—
1	المرحلة الحالية	—
2	المرحلة السابقة	—

المقدمة

إن عملية انتقال الحرارة خلال الفجوات الحلقية المحصورة لها أهمية كبيرة في أغلب التطبيقات الهندسية كما هو الحال في تصميم قلب المفاعلات النووية ومقاطع الأنابيب الخاصة بالتسخين والتبريد في محطات توليد القدرة وغيرها، لذلك فقد حظيت

الفجوات الحلقية بجهد وافر من البحث النظري والتجريبي لتخمين قابليتها على كسب أو تبديد الحرارة لكافة أنواع الجريان وبوضعياتها المختلفة^[1].

إن هذا الجهد كان كافياً لفهم طبيعة الجريان وانتقال الحرارة بالحمل الحر خلال الفجوات الحلقية، إذ كانت حصيلتها استخراج علاقة أو معادلة إرتباطية لانتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة حلقية أفقية متحدة المركز من قبل الباحثين Grigull و Hauf^[2] ولمدى من عدد كراشوف ونسبة القطرين ($5.7 \times 10^3 < Gr < 1.1 \times 10^6$) و ($1.3 \leq D/d \leq 6.3$) على التوالي. من جانب آخر فإن انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة حلقية أفقية متحدة المركز ولمائعين هما الهواء والماء تم دراستها نظرياً وعملياً من قبل الباحثان Kuhen و Goldstein^[3]، وقد استخدموا مقياس التداخل البصري (Mach-Zehnder Interferometer) لإيجاد توزيع درجة الحرارة ومعاملات انتقال الحرارة الموقعية عملياً، وكانت مديات الدراسة العملية بالنسبة لعدد رالي للهواء ($2.11 \times 10^4 < Ra < 9.76 \times 10^4$) وللماء ($2.3 \times 10^4 < Ra < 9.8 \times 10^5$) وبالنسبة للدراسة النظرية فكانت مديات عدد رالي للحالتين ($10^2 < Ra < 10^5$) وكانت نسبة سمك الفجوة إلى قطر الاسطوانة الداخلية ($\ell/d=0.8$) لكل الحالات. فيما تناول الباحث Ozoe وآخرون^[4] دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة حلقية مائلة متمركزة تحتوي على سوائل ذات قيم مختلفة من أعداد برانتل تراوحت بين (10) و (2700) وبنسبة قطرين ($D/d=2$)، وتم تصوير الجريان باستعمال (Glycerol) يحتوي على قشور رقيقة من الألمنيوم. وكانت زوايا الميل عن الأفق ضمن المدى ($0^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$). أما الباحثان Simha و Kubair^[5] فقد أنجزوا استقصاء عملي ونظري لانتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة شاقولية تحتوي على ماء وأخرى تحتوي على زيت، ولإعداد برانتل تراوحت بين (5.0) و (0.01) وبنسب قطرين (0.6, 0.5, 0.4) ولمدى من أعداد رالي ($940 < Ra < 1210$) بالنسبة للماء و ($30 < Ra < 520$) بالنسبة للزيت. حلت المعادلات الحاكمة عددياً باستخدام طريقة رونج-كوتا جيل (Rung-Kutta Gill) معاً بالاستعانة بطريقة نيوتن رافسون المعدلة. وبمقارنة

النتائج العملية بالنتائج النظرية وجد بأن نسبة الانحراف بينهما تصل إلى $(\pm 12.5\%)$. كذلك أجرى الباحثان Goldstein وKuhén^[6] دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فراغ حلقي محصور بين اسطوانتين أفقيتين متحدتي المركز وغير متحدتي المركز، إذ تم دراسة تأثير كل من اللامركزية وعدد رالي على انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال المائع المحصور بين اسطوانتين أديباتيتين. استخدم في هذه الدراسة الطرق الضوئية للتعرف على التوزيع الحراري للمائع داخل الفراغ الحلقي المحصور بواسطة مقياس التداخل البصري (Mach-Zehnder Interferometer) لإيجاد توزيع درجة الحرارة ومعاملات انتقال الحرارة الموقعية عملياً، وكانت مديات هذه الدراسة لعدد رالي $(2.1 \times 10^4 < Ra < 9.6 \times 10^4)$. بينت نتائج هذه الدراسة أن معامل انتقال الحرارة الإجمالي للشكل الهندسي غير المتمركز $(\varepsilon \leq 2/3)$ يتغير بنسبة 10% عن مقداره للشكل المتحد المركز ولنفس أعداد رالي. كما قدم الباحث Badr وآخرون^[7] بإجراء دراسة عملية وعددية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من أنبوب أفقي أديباتي إلى أنبوب أفقي يحيط به وبنسبة قطر $(D/d=2.6)$. النتائج العملية تم الحصول عليها باستخدام مقياس التداخل البصري (Mach-Zehnder Interferometer)، وحلت المعادلات الحاكمة عددياً باستخدام طريقة العناصر المحددة (Variational F.E.M). تم في هذه الدراسة التأكيد على بيان تأثير اللامركزية وزاوية السميت على المجال الحراري في الفراغ الحلقي المحصور بين الأنبوبين. كانت النتائج المستحصلة للهواء ولثلاث قيم لأعداد رالي $(Ra=500, 1000, 1500)$. بينت هذه الدراسة عند أعداد رالي الواطئة يكون تأثير الحمل والتوصيل مشترك في عملية انتقال الحرارة. أما عند أعداد رالي المرتفعة فإن معدل انتقال الحرارة يعتمد على قيمة اللامركزية (ε) ويكون اعتمادها على الموقع الزاوي (δ) قليل جداً وبزيادة عدد رالي يزداد هذا التأثير. أعطت هذه الدراسة توافق جيد بين النتائج العملية والنظرية.

استناداً إلى ما ذكر فقد تبين أن الحلقات المتمركزة قد لقيت اهتماماً واسعاً من قبل الباحثين، بينما تبين قلة البحوث العملية أو النظرية التي تعالج تأثير نسبة اللامركزية والموقع الزاوي للأسطوانة الداخلية على انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل

الحيز المحصور على الرغم من أهمية هذا الترتيب الهندسي في الكثير من وسائل نقل وتبديد الحرارة، وعلية فقد خطط في الدراسة الحالية لتسليط الضوء ولو على جزء بسيط من جوانب هذا الموضوع الحيوي عملياً وذلك بإجراء دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر الطبقي خلال فجوة حلقة تقع بين اسطوانتين أفقيتين اديباتيتين غير متحدتي المركز.

المنشأ التجريبي

لغرض إجراء الدراسة العملية تم استخدام اسطوانة من الألمنيوم توضع داخل اسطوانة أخرى من الألمنيوم أكبر منها ويتم تغيير نسبة اللامركزية (ε) لقيم (0.2, 0.47, 0.726) لكل قيم الموقع الزاوي وضمن المدى ($0^\circ \leq \delta \leq 180^\circ$) بواقع تغيير (45°) مقاسه من الموقع الشاقولي الأعلى (الرأسي) كنقطة مرجعية وكما موضح بالشكل (1). وتسخن الاسطوانة الداخلية كهربائياً بينما تبرد الاسطوانة الخارجية وتستخرج قابلية المنظومة على تبديد الحرارة ولجميع المواقع التي تم اختبارها. إن الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي مبين في الشكل (2). إذ يتألف هذا المنشأ بصورة أساسية من عنصري التسخين والتبريد وخزان ماء التبريد علاوة على منظومة القياس المؤلفة من أجهزة قياس درجة الحرارة وأجهزة قياس القدرة الكهربائية المجهزة للمسخن. إن عنصر التسخين هو عبارة عن اسطوانة مجوفة من الألمنيوم بقطر خارجي (26mm) وسمك جدار (5mm) وطول (400mm). سخنت الاسطوانة بواسطة مسخن يتألف أساساً من مقاومة كهربائية من النيكل-كروم ذات مقاومة إجمالية مقدارها (89.5Ω) عند درجة حرارة الغرفة، ثم وضعت هذه الاسطوانة في مقطع الاختبار وثبتت نهايتها إلى قطعتي التفلون الموجودتين على طرفي الفجوة على شكل سدادتين للحيز. إن سمك الاسطوانة الكبير أعطى توزيع حراري متجانس على سطح الاسطوانة الداخلية وبالتالي ثبوت درجة الحرارة حول محيط الاسطوانة، إذ إن درجة الحرارة حول محيط الاسطوانة الداخلية تكون ثابتة تقريباً وبفرق لا يزيد عن (1°C). أما عنصر التبريد فهو عبارة عن اسطوانة من الألمنيوم بقطر

داخلي (100mm) وسمك جدار (1.5mm) وطول (400mm) تم اختيار نسبة الطول إلى نصف القطر للأسطوانة (L/R) أكبر من (4) وذلك لتلافي تأثير النهايات وضمان الحصول على جريان ثنائي البعد في منطقة القياس (منتصف الاسطوانة) داخل الفراغ الحلقي^[7] ، والتركيب المكون من الاسطوانتين يمثل مقطع الاختبار والموضح بالشكل (3). تم تثبيت الاسطوانة الخارجية إلى الثقبين المعمولين في جانبي خزان التبريد المصنوع من الحديد المغلون ذو قاعدة مربعة (35cm*35cm) وارتفاع (60cm). جهاز المسخن بالقدرة اللازمة من مصدر تيار متناوب عبر مثبت فرق الجهد ذي دقة تصل إلى (2%) من القدرة المجهزة وخلال محول قدرة متغير نوع (TDGC). كذلك استخدم جهاز قياس فرق جهد متعدد الأغراض نوع (hp3465B) لقياس فرق الجهد المتولد على طرفي المسخن وقرأ فرق جهد ضمن مدى (0-300v) وبدقة قراءة مقدارها (0.01). كما استخدم جهاز قياس تيار طراز (PM-242/10) لقياس التيار المار عبر المسخن يقرأ ضمن مدى (0-6A) وبدقة قراءة مقدارها (0.01A). أما درجة الحرارة فقد تم قياسها بواسطة منظومة مؤلفة من الوحدة البينية لكسب البيانات (Data Acquisition system) وجهاز حاسوب من الجيل الثالث (PIII) الموصل معها، وبذلك يمكن المعايرة والسيطرة على الوحدة البينية عن طريق برنامج تطبيقي مكتوب بلغة (Visual Basic 6.0) كتب خصيصاً لهذا الغرض. الوحدة البينية تم بناؤها لقياس درجات الحرارة من عشر مزدوجات حرارية نوع (k) (Nickel-Chromium) بدقة قراءة بحدود ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)، حيث استخدمت عشر مزدوجات حرارية نوع (k) معايرةً بشكل جيد لقياس درجات الحرارة لسطح الاسطوانتين الداخلية والخارجية والانحدار الحراري عبر قطعتي التفلون. إذ ثبت أربع من هذه المزدوجات على السطح الخارجي للأسطوانة الداخلية المسخنة على بعد (200mm) من أحد طرفي الاسطوانة وبإزاحة زاوية (90°) بينها، بينما ثبت زوج آخر منها على نفس السطح للأسطوانة المسخنة ولكن على بعد (75mm) من طرفي الاسطوانة لقياس توزيع درجة الحرارة على محيط الاسطوانة وطولها على التوالي. بينما ثبت زوج ثاني منها بالقرب من السطح الداخلي للأسطوانة الخارجية على

بعد (200mm) من أحد طرفي الاسطوانة الخارجية وبواقع مزدوج كل (180°)، لقياس درجة الحرارة على محيط الاسطوانة، في حين تم قياس الانحدار الحراري عبر قطعتي التفلون باستخدام الزوج المتبقي من المزدوجات الحرارية وذلك لغرض حساب خسائر التوصيل عبر قطعتي التفلون. إن الغرض الأساسي من الاختبار هو بيان تأثير كل من اللامركزية (ε) والموقع الزاوي للأسطوانة الداخلية (δ) وعدد رالي (Ra) على عملية انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال الحيز المحصور بين الاسطوانتين والذي يكون على شكل حلقة غير متمركزة، لذلك فإنه في بداية كل اختبار يتم تحديد الموقع الزاوي للأسطوانة الداخلية ويكون ضمن المدى (0° ≤ δ ≤ 180°) وبواقع تغيير (45°) ولذلك يتم تحديد نسبة اللامركزية والتي انتخبت لها القيم الآتية (0.2, 0.47, 0.726) ، في الواقع إن اختيار هذه القيم هو لغرض اخذ عدد كافي من البيانات لوصف الظاهرة قيد الدراسة بشكل أفضل. يتم غمر الاسطوانة الخارجية بخليط من ماء وجريش الثلج وذلك لغرض الحصول على درجة حرارة ثابتة ومتجانسة على سطح الاسطوانة، وبعد ذلك يتم تشغيل منظومة قياس درجة الحرارة وكذلك يتم تزويد المسخن الكهربائي بالقدرة الكهربائية المنتخبة عن طريق محول القدرة وبالتالي الحصول على مقدار الحرارة المطلوب تجهيزها إلى الاسطوانة الداخلية، ثم يتم مراقبة المنظومة لحين الوصول إلى حالة الاستقرار، عند ذلك تؤخذ قراءات المزدوجات الحرارية لدرجات الحرارة لكل من سطحي الاسطوانتين والانحدار الحراري عبر قطعتي التفلون. بعد ذلك يغير مقدار القدرة الكهربائية وتعاد العملية من جديد، إذ يتم عمل ذلك لعدة مرات (سبع مرات) كافية لرسم العلاقة بين عدد رالي وعدد نسلت. اختزلت النتائج المستحصلة من العمل التجريبي بدلالة عددي نسلت ورالي كدالة لنسبة اللامركزية والموقع الزاوي. حيث تحسب القدرة الكلية المجهزة للمسخن من المعادلة الآتية:

$$Q = I * V \quad \dots\dots\dots (1)$$

هذه الحرارة المتولدة تتبدد داخل الفجوة بثلاث طرق وكما يأتي:

$$Q = Q_{\text{conv.}} + Q_{\text{cond.}} + Q_{\text{rad.}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

يحسب معدل الحرارة المفقودة بالإشعاع من المعادلة الآتية^[8]:

$$Q_{\text{rad.}} = \frac{A\sigma(T_i^4 - T_o^4)}{\frac{1}{e_i} + \frac{A_i}{A_o}(\frac{1}{e_o} - 1)} \dots\dots\dots (3)$$

واعتبرت الابتعائية للاسطوانتين من الألمنيوم متساوية القيمة ($e_i=e_o=0.04$)^[9] ، كما إن معدل الحرارة المفقودة بالتوصيل خلال قطعتي التفلون فتحسب من العلاقة الآتية:

$$Q_{\text{cond.}} = \frac{(T_{\text{tefi}} - T_{\text{tefo}})}{\frac{L_{\text{tef}}}{K_{\text{tef}} A_{\text{tef}}}} \dots\dots\dots (4)$$

وحسبت K_{tef} من المعادلة الآتية^[10]:

$$K_{\text{tef}} = 0.41384 * \exp[-0.063572 * (T_{\text{tefi}} - T_{\text{tefo}})] \dots\dots\dots (5)$$

وبذلك يحسب صافي معدل الحرارة المنتقلة بالحمل الحر خلال الفجوة من العلاقة الآتية:

$$Q_{\text{conv.}} = Q - (Q_{\text{cond.}} + Q_{\text{rad.}}) \dots\dots\dots (6)$$

وهكذا أمكن حساب معدل معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر على أساس قطر الاسطوانة الداخلية باستخدام العلاقة الآتية:

$$h_i = \frac{Q_{\text{conv.}}}{\pi d L (T_i - T_o)} \dots\dots\dots (7)$$

أما معدل عدد نسلت (Nu) فقد حسب من المعادلة الآتية:

$$Nu_i = \frac{h_i d}{K} \dots\dots\dots (8)$$

في حين تم حساب عدد رالي بالاعتماد على المعادلة الآتية:

$$Ra = \frac{g\beta(T_i - T_o)\ell^3}{\nu\alpha} \dots\dots\dots (9)$$

استخرجت جميع الخواص الفيزيائية للهواء التي تدخل في الحسابات وهي معامل التوصيل الحراري (K)(w/m.k) واللزوجة الكينماتية (v) (m²/s) ومعامل التمدد الحجمي (1/k) (β) والانتشارية الحرارية (α) (m²/s) باستخدام الجدول الخاص بخواص الهواء من المصدر^[9] ، إذ تم إدخال قيمه في برنامج إحصائي (Statistic) وتم استكمالها مع درجة الحرارة لإيجاد علاقة ترابطية يمكن من خلالها إيجاد قيم الخواص المذكورة عند معدل درجة حرارة الاسطوانتين الداخلية والخارجية (T_m) والتي تحسب كما يأتي:

$$T_m = \frac{T_i + T_o}{2} \dots\dots\dots (10)$$

استخدمت طريقة (Kline&McClintock)^[11] في تحليل الخطأ التجريبي في حساب متوسط معامل انتقال الحرارة وكذلك معدل عدد نسلت وعدد رالي. إذ كانت الخطأ محصورة بين (1.9%) و (2.73%) لجميع الكميات التي تم استخراجها.

النتائج والمناقشة

قبل البدء بالاختبارات تم معايرة اسطوانات الاختبار وبالتالي معايرة المنشأ التجريبي بصورة إجمالية. اختبر انتقال الحرارة بالحمل الحر من الاسطوانة الداخلية المسخنة إلى الأسطوانة الخارجية المبردة وللحالة المركزية، حيث استخرج معدل انتقال الحرارة لهذه الحالة ممثلاً بعدد نسلت ولأعداد رالي تراوحت بين $(1.063 \times 10^5 \leq Ra \leq 1.77 \times 10^4)$ ومن ثم مقارنة النتائج مع المعادلة الارتباطية المستنبطة من قبل الباحثان (Kuehn and Goldstein) (1978)^[6]. والشكل (4) يمثل مقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها عملياً من المنشأ التجريبي مع المعادلة الارتباطية، إذ يتضح وجود فرق بين النتائج العملية والمعادلة الارتباطية وكان أعلى فارق بين القيم العملية والمعادلة الارتباطية بحدود (9.7%) إذ إن الفارق الموجود بينهما يرجع إلى إن المعادلة الارتباطية مأخوذة لنسبة القطرين $(D/d=2.6)$ ، بينما كانت النتائج العملية لنسبة قطرين $(D/d= 3.85)$ ، كذلك فإن المعادلة الارتباطية كانت لمدى واسع من أعداد رالي $(2.2 \times 10^2 < Ra < 7.7 \times 10^7)$ وهذا الفارق متوقع بالنسبة لنسبة القطرين الأكبر بالنسبة للنتائج العملية إذ إنه بزيادة نسبة القطرين فإن معدل عدد نسلت يزداد كما أشارت البحوث السابقة^[3]، بالإضافة إلى مدى الدقة في الأجهزة المستخدمة في القياس.

إن تأثير موقع الأسطوانة الداخلية على معدل انتقال الحرارة يمكن التعرف عليه عن طريق التعرف على سلوك معدل عدد نسلت (Nu) مع موقع الأسطوانة الداخلية، والأشكال (5) إلى (7) تبين هذه السلوكية لحالة البحث الحالي بثبوت نسبة القطرين $(D/d=3.85)$ إذ إنه يتبين من هذه الأشكال أن معدل عدد نسلت يزداد بزيادة الموقع الزاوي ولجميع نسب اللامركزية المدروسة وهذا ناتج عن التمدد الحاصل لخلايا الحمل بزيادة الموقع الزاوي مما يؤدي إلى زيادة تأثير دور الحمل في عملية نقل الحرارة خلال الفجوة. في حين إن تأثير تغيير نسبة اللامركزية بثبوت الموقع الزاوي ولأعداد رالي مختلفة ومقارنتها مع الحالة المركزية يمكن ملاحظته من خلال الشكل (8) حيث يلاحظ من خلال هذا الشكل أنه للحالة $(\delta=0^\circ)$ يقل معدل عدد

نسلت بزيادة نسبة اللامركزية إلى $(\varepsilon=0.2)$ و $(\varepsilon=0.47)$ وإن سبب ذلك هو التقييد الحاصل لحركة المائع في هذه الحالة، ولكن بزيادة نسبة اللامركزية إلى $(\varepsilon=0.726)$ فإن معدل انتقال الحرارة يزداد عن النسبتين السابقتين لأعداد رالي المنخفضة أقل من $(2*10^4)$ نتيجةً لسيادة طور التوصيل في هذه الحالة ومع ذلك فإنه يبقى أقل من الحالة المركزية، وبزيادة عدد رالي في هذه الحالة فإن معدل عدد نسلت سوف يكون أقل من النسبتين السابقتين وذلك لتغلب طور الحمل عند أعداد رالي العالية. بزيادة الموقع الزاوي إلى $(\delta=45^\circ)$ فإن الانخفاض بمعدل انتقال الحرارة عن الحالة المركزية يكون أقل منه في حالة اللامركزية بالاتجاه الرأسي $(\delta=0^\circ)$ للنسبة $(\varepsilon=0.2)$ حيث يكون أقرب للحالة المركزية، وذلك يرجع إلى أن موقع الأسطوانة في هذه الحالة يكون أقل إعاقة لحركة تيارات الحمل وبذلك يعطي حرية أكثر لحركة هذه التيارات وبالتالي يؤدي إلى زيادة كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر وبزيادة نسبة اللامركزية إلى $(\varepsilon=0.726, \varepsilon=0.47)$ فإن معدل انتقال الحرارة يكون أقل منه للحالة اللامركزية $(\varepsilon=0.2)$ وذلك بسبب ضعف قوة الطفو في الجانب الضيق وبالتالي إلى نقصان في كمية الحرارة المنتقلة التي يستلمها المائع في هذا الجزء من الفجوة. كذلك بزيادة نسبة اللامركزية فإنه يلاحظ تحسن في كمية الحرارة المنتقلة بالمقارنة مع الحالة المركزية. بالاستمرار في زيادة الموقع الزاوي إلى $(\delta=90^\circ)$ يزداد الاقتراب أكثر من الحالة المركزية وعند النسبة $(\varepsilon=0.2)$ فإن معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر يكون أكبر منه للحالة المركزية وإن سبب ذلك أيضاً نتيجةً لزيادة المجال لحركة تيارات الحمل مما يؤدي بالنتيجة إلى زيادة معدل انتقال الحرارة كذلك عند أعداد رالي الواطئة في حالة الاقتراب بين الأسطوانتين في حالة النسبة $(\varepsilon=0.726)$ يؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة بالتوصيل مما يعني انتقال كمية إضافية للحرارة المنتقلة في هذه الحالة، وهكذا تقترب هذه الحالة من حالة الاسطوانتين المتحدتي المركز لأعداد رالي المنخفضة $(2*10^4 < Ra)$.

تستمر هذه الزيادة عن الحالة المركزية بزيادة الموقع الزاوي إلى $(\delta=135^\circ)$ ومرةً أخرى فإن السبب هو توفير مجال أوسع لحركة دوامات الحمل مما يؤدي

بالنتيجة إلى زيادة كمية الحرارة المنتقلة ويكون هذا التأثير واضحاً للنسبة ($\varepsilon=0.2$) أما للنسبتين ($\varepsilon=0.47, \varepsilon=0.726$) فإن التأثير واضحاً فقط لأعداد رالي الواطئة حيث يكون التوصيل هو الطور السائد وبسبب تقارب الاسطوانتين فإن حركة المائع تكون مقيدة، أما عند زيادة عدد رالي فإن طور الحمل يكون هو المسيطر على عملية انتقال الحرارة وبذلك فإن جزء المائع الموجود في الحيز الضيق يكون غير فعال بشكل مساوٍ للمائع في الحيز الواسع من الفجوة مما يؤدي إلى تخلف في معدل انتقال الحرارة في هاتين الحالتين بالمقارنة مع الحالة المركزية وحالة النسبة ($\varepsilon=0.2$). أما الحالة ($\delta=180^\circ$) فإنه يلاحظ زيادة معدل انتقال الحرارة المنتقلة بالمقارنة مع الحالة المركزية بشكل أوضح وأكبر من الحالات السابقة وإن سبب ذلك هو أن حركة تيارات الحمل في هذه الحالة تكون بشكل أفضل بسبب عدم وجود تقييد لحركتها على العكس من الحالات الأخرى التي يكون فيها موقع الاسطوانة الداخلية مقيداً لحركة تيارات الحمل بشكل أكبر، كذلك فإنه بزيادة نسبة اللامركزية سوف تزداد الكمية الكلية للحرارة المنتقلة لأعداد رالي المنخفضة، وإن سبب ذلك كما في الحالات السابقة هو أنه كلما زادت نسبة اللامركزية سوف تكون الاسطوانتان أقرب لبعضهما البعض وبالنتيجة زيادة كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل وبالتالي زيادة الكمية الكلية للحرارة المنتقلة. أما عند زيادة عدد رالي فإنه بزيادة نسبة اللامركزية تقل كمية الحرارة المنتقلة وذلك لأن المائع الموجود أسفل الاسطوانة الداخلية سوف يكون مقيد تماماً عن الحركة وبالتالي فإنه لن يساهم في عملية نقل الحرارة بالحمل ولذلك فإن دوره يقتصر فقط على نقل الحرارة بالتوصيل. تم رسم المعادلة الارتباطية الخاصة بالنتائج المختبرية للحالة اللامركزية كما موضح في الشكل (9)، إذ يتبين أن هناك توافق جيد بينهما. وكأكيد على صلاحية المعادلة الارتباطية في التعبير عن النتائج المختبرية، تم مقارنة عدد نسلت المحسوب منها مع النتائج المختبرية المناظرة، كما مبين في الشكل (10)، إذ يمكن وبوضوح ملاحظة التوافق الجيد بينهما، حيث أن لمائة وخمس قراءات عملية نجد أقل من (8%) من القراءات لا تقع ضمن انحراف ($\pm 10\%$). وكصيغة نهائية يمكن كتابة المعادلة الارتباطية بالشكل الآتي:

$$\dots\dots\dots (11) \left\{ \begin{array}{l} 10^4 \leq Ra \leq 10^5 \\ 0.2 \leq \varepsilon \leq 0.726 \end{array} \right\}$$

$$Nu = 0.4343 Ra^{0.2072} \left(\frac{1}{1 + \sin \delta} \right)^{0.024} \varepsilon^{-0.0908}$$

من الواضح أن قيم عدد نسلت التي تم الحصول عليها من نتائج الدراسة التجريبية وربطت بالمعادلة الارتباطية أعلاه تزداد بزيادة عدد رالي ولجميع الأوضاع للاسطوانة الداخلية. وللتأكد من دقة وصلاحيّة المعادلة الارتباطية للنتائج التجريبية أجريت مقارنة لقيم عدد نسلت المحسوب منها مع النتائج التجريبية المناظرة كما يبينه الشكل (10) إذ يتضح حصول توافق جيد مع وجود بعض النقاط الشاذة عند القيم الواطئة لعدد رالي وما يقابلها من قيم واطئة لعدد نسلت، والتي يمكن إرجاع سبب حدوثها إلى عاملي دقة القراءة والأجهزة في حيود القيم المقاسة عن قيمها الفعلية، وهذا أمر مقبول ويدل على إمكانية استخدام المعادلات المستخلصة عملياً بنجاح في التنبؤ بالسلوك الحراري للجريان خلال فجوة حلقيّة أفقية غير متحدة المركز بتأثير الحمل الحر. وهو ما يدل على إمكانية استخدام المعادلة الارتباطية بنجاح في التعبير عن النتائج العملية أو التنبؤ بالسلوك الحراري لفجوة حلقيّة أفقية غير متحدة المركز ضمن مدى المعادلة، لاحظ الشكل (10).

الاستنتاجات

إن هذه الدراسة تعطي تصوراً عن تأثير نسبة اللامركزية والموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية المسخنة داخل الفجوة بالإضافة إلى تأثير عدد رالي على انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة بين اسطوانتين أفقيتين غير متحدتي المركز. إن هذا التأثير يمكن تلخيصه بما يأتي:-

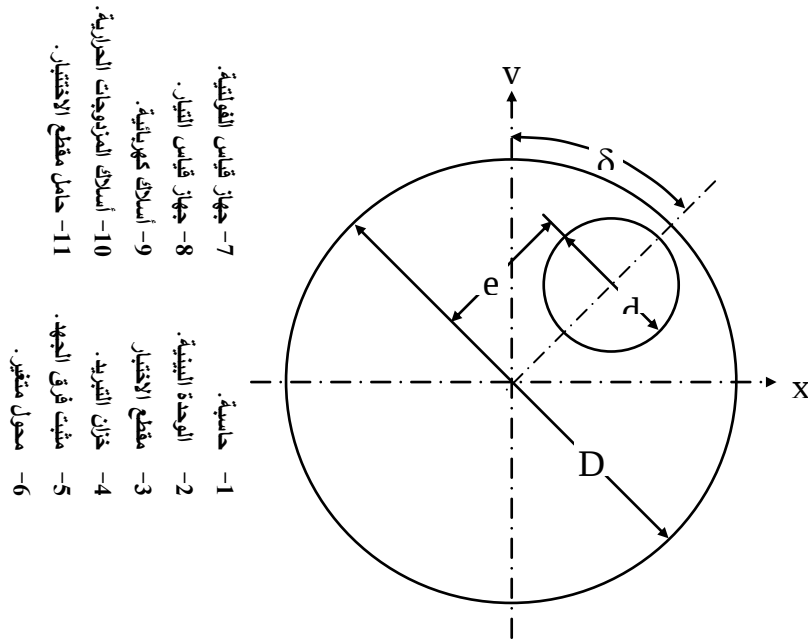
1- يتأثر انتقال الحرارة خلال الفجوة سلباً عندما تزيد نسبة اللامركزية (ε) بالاتجاه الزاوي الرأسي ($\delta=0^\circ$)، إذ بلغ مقدار الهبوط في معامل انتقال الحرارة للاسطوانة الداخلية بحدود (23%) بالمقارنة مع اختبار الحالة المركزية ($\varepsilon=0$) عند النسبة ($\varepsilon=0.726$) وعدد رالي (74000).

- 2- بثبوت نسبة اللامركزية (ε) فإن الأداء الحراري للاسطوانة الداخلية يرتفع بزيادة الموقع الزاوي (δ) وذلك نتيجةً للتمدد الحاصل لخلايا الحمل الحر داخل الفجوة مما يؤدي إلى زيادةً في دور الحمل الحر في عملية انتقال الحرارة.
- 3- إن أفضل أداء حراري أمكن الحصول عليه عند نسبة اللامركزية ($\varepsilon=0.2$) للموضع الزاوي ($\delta=180^\circ$) ، حيث بلغ مقدار التحسن في معامل انتقال الحرارة بحدود (10%) عند عدد رالي (68000) بالنسبة للحالة المركزية.
- 4- أظهرت المعادلة الارتباطية التي تم استنباطها من النتائج العملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر للاسطوانتين الغير متحدتي المركز كفاءة جيدة في تخمين انتقال الحرارة لهذا التركيب من الاسطوانات ضمن المحددات المذكورة للمعادلة.

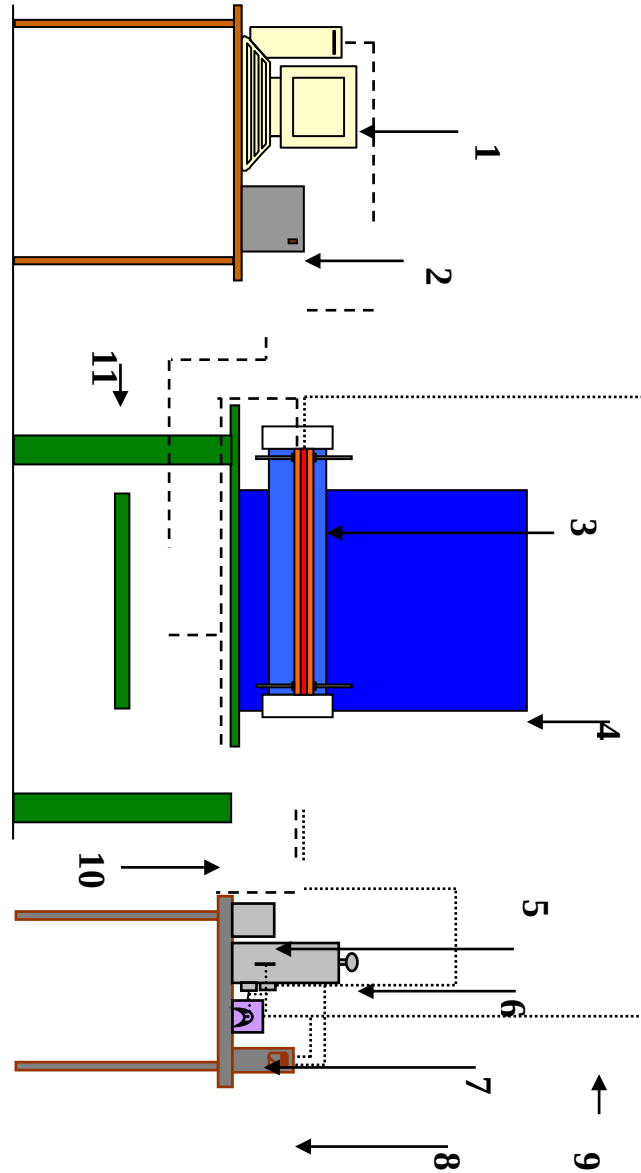
المصادر

1. Ramiz, F. B., "Optimal heat transfer design for district-heating and cooling pipelines in air-filled cavities" Ph.D. thesis, Cranfield Institute of technology, Scholl of Mech. Eng. 1986.
2. Grigull, U., and Hauf, W., "Natural Convection In Horizontal Cylindrical Annuli", Proc. 3rd. Int. Heat Transfer Conf., Chicago, Paper 60, 2(1966), pp.182-95.
3. Kuehn, T. H. and Goldstein, R. J.; "An Experimental And Theoretical Study Of Natural Convection In The Annulus Between Horizontal Concentric Cylinders", J. Fluid Mech., Vol. 74, part 4, pp. 695-719, 1976.
4. Ozoe, H., Shibata T., and Churchill S., W., "Natural Convection In An Inclined Circular Cylindrical Annulus Heated And Cooled On It's End Plates", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 24, No.4, pp. 727-737, 1981.

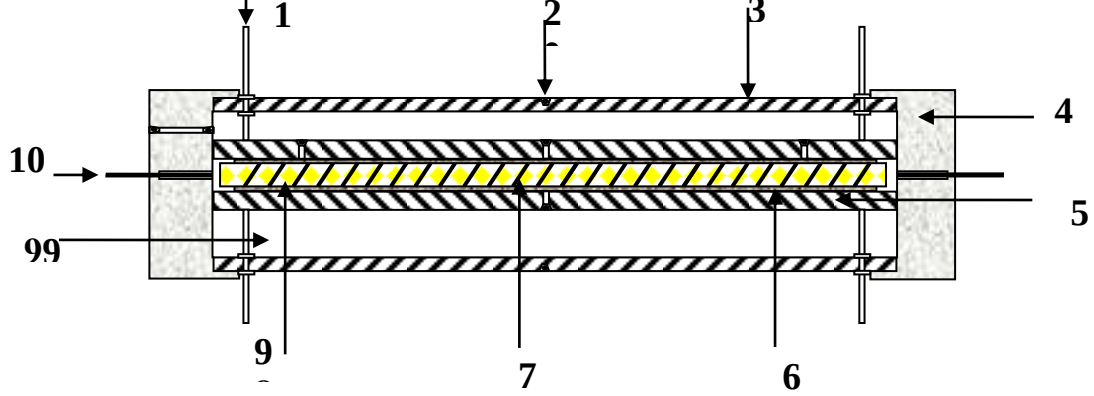
5. Kubair, V. G. and Simha C. R. V., "Free Convection Heat Transfer To Mercury In Vertical Annuli", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 25, No. 5, pp. 399-407, 1982.
6. Kuehn, T. H. and Goldstein, R. J., "An Experimental Study of Natural Convection Heat Transfer in Concentric and Eccentric Horizontal Cylindrical Annuli", ASME, J. Heat Transfer, Vol. 100, (1978) pp.635-641.
7. Naylor, D., Badr, H. M., and Tarasuk, J. D., "Experimental and Numerical Study Of Natural Convection Between Two Eccentric Tubes", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.32, No1. pp. 171-181, 1989.
8. Yunus, A. Cengel, "Heat Transfer A Practical Approach", Mc-Graw Hill, Inc., 1998.
- 9- كريث، ف.، وبوهن، م. س.، "أساسيات انتقال الحرارة"، ترجمة د.علي، برهان محمود، الصبحة، احمد نجم، ومصطفى، بهجت مجيد، الطبعة الأولى، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 1988.
- 10- ألبياتي، أوميد اكبر عباس؛ "دراسة نظرية وعملية لتأثير الأرضية على انتقال الحرارة بالحمل الحر من صف من الاسطوانات الأفقية المسخنة"، رسالة ماجستير، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة تكريت، آب، 2004.
- 11- Holman, J. P., "Experimental Methods for Engineers", 4th Edition, McGraw-Hill, Tokyo, Japan, 1971.



شكل (1) التمثيل الفيزيائي لمسألة البحث ومثبت عليه نظام الإحداثيات

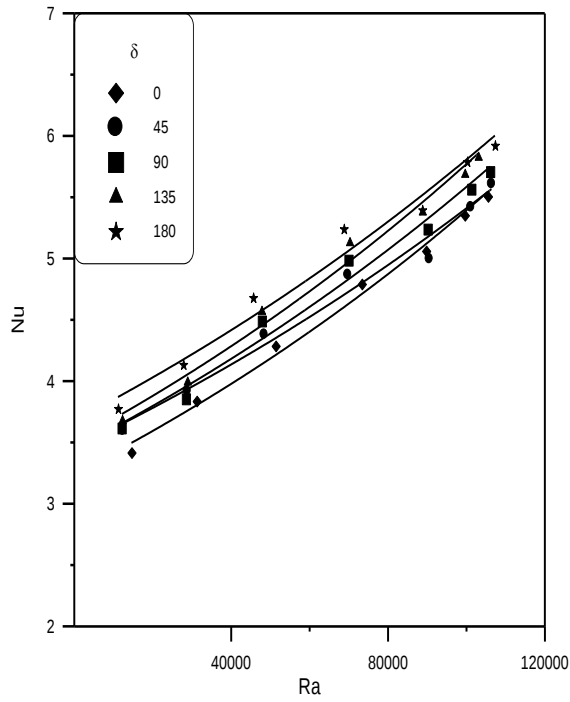


شكل (2) الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي المستخدم في الاختبار

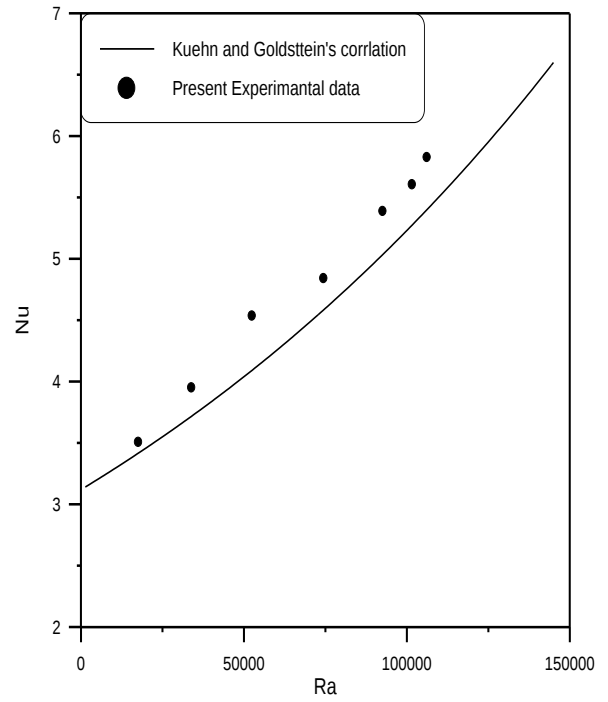


- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1- براغي التثبيت | 6- رمل ناعم. |
| 2- مزدوجات حرارية | 7- سلك مقاومة كهربائية. |
| 3- الاسطوانة الخارجية. | 8- اسطوانة زجاجية. |

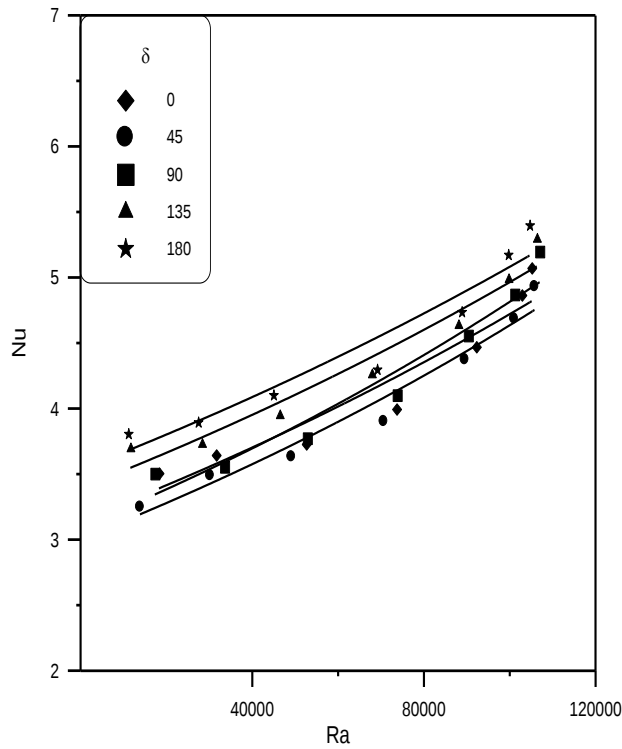
شكل (3) مقطع الاختبار



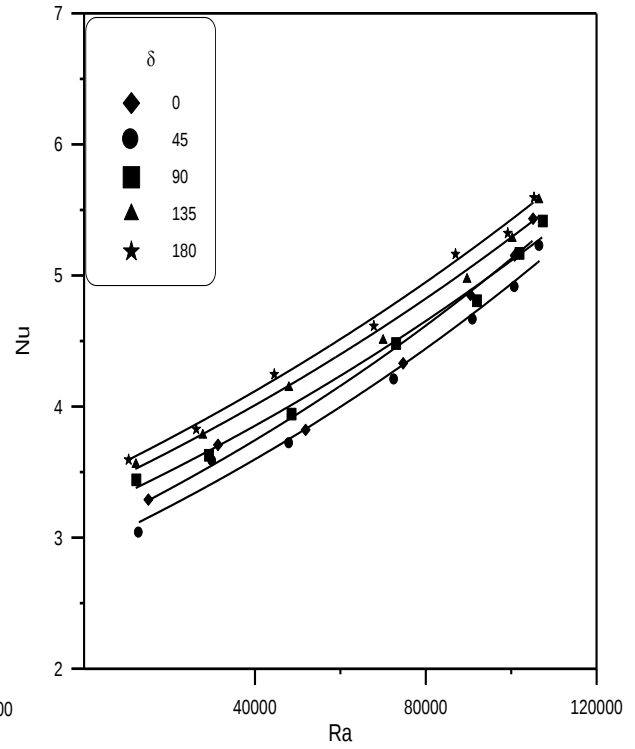
شكل (5) تغير عدد نسلت مع عدد رالي
للنسبة (0.2)



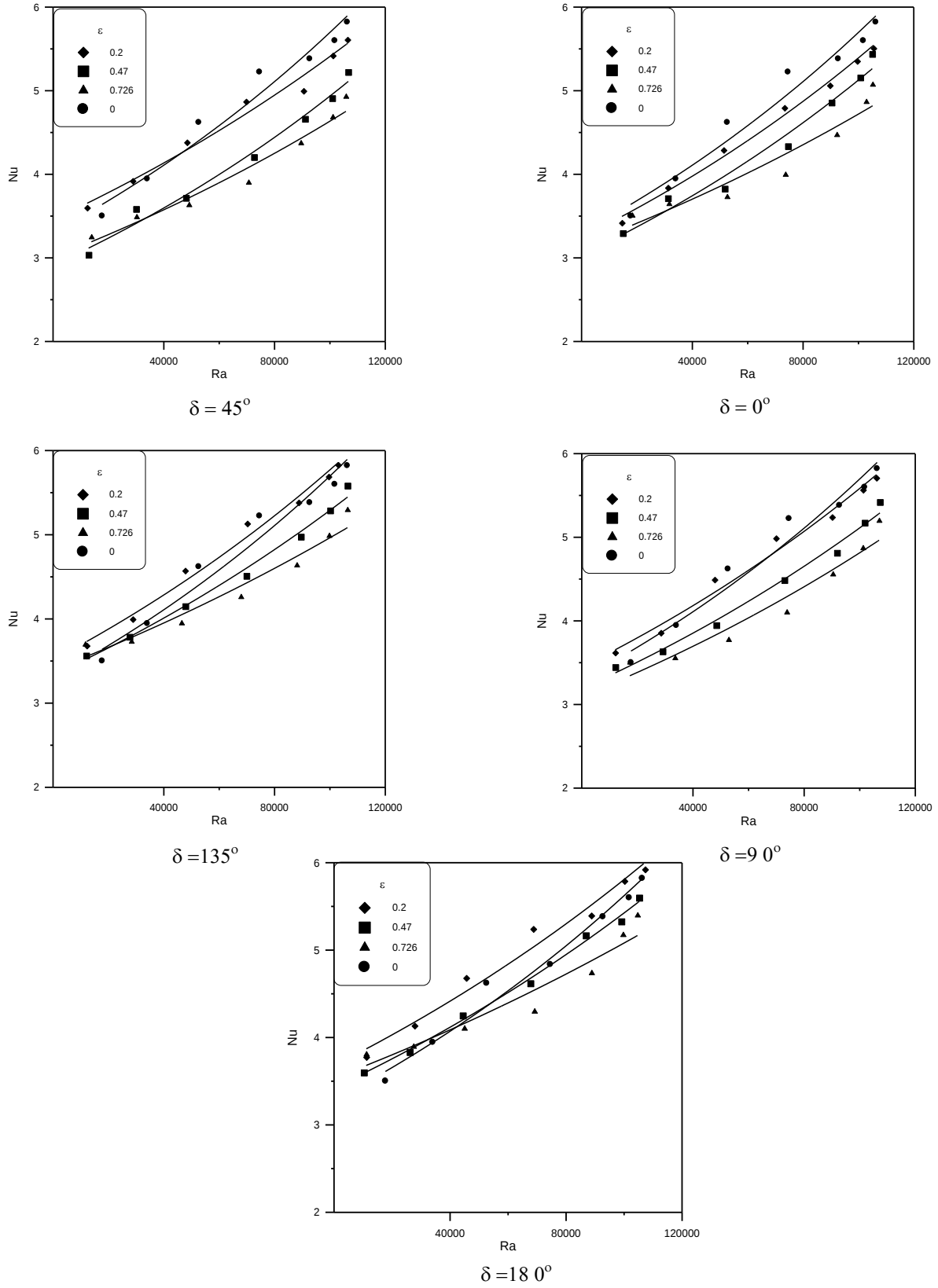
شكل (4) مقارنة النتائج المختبرية مع العلاقة
الارتباطية المقترحة من قبل (6).



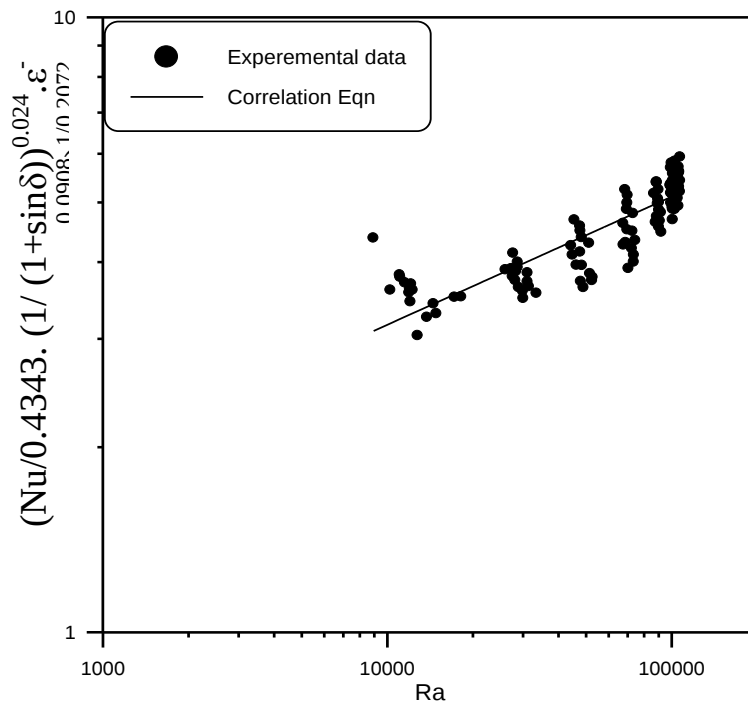
شكل (7) تغير عدد نسلت مع عدد رالي
للنسبة (0.726)



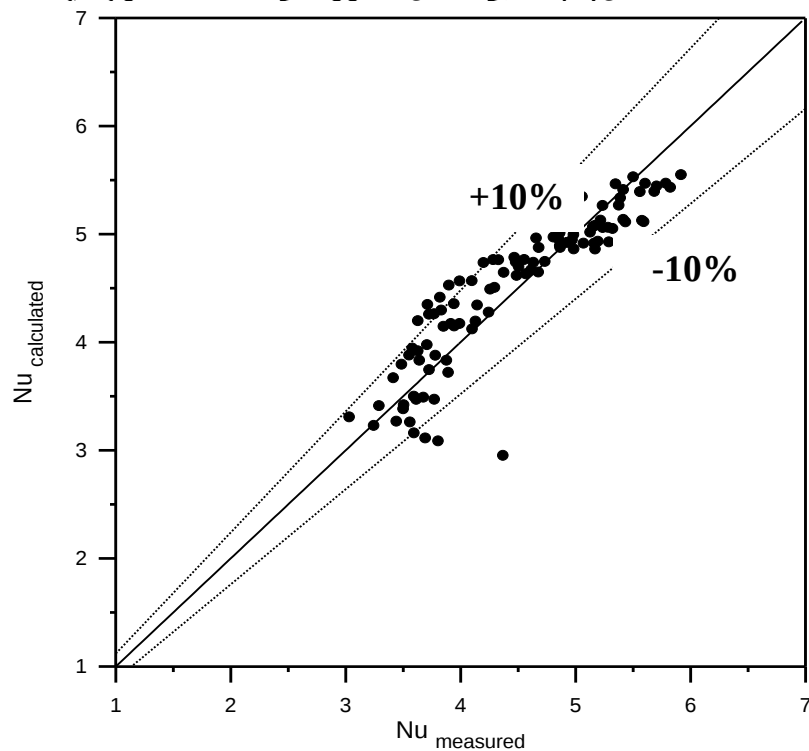
شكل (6) تغير عدد نسلت مع عدد رالي
للنسبة (0.47)



شكل (8) تغير عدد نسلت مع عدد رالي ولمواقع زاوية مختلفة للاسطوانة الداخلية



شكل (9) نتائج انتقال الحرارة مع المعادلة الارتباطية



شكل (10) مقارنة عدد نسلت المقاس مع عدد نسلت المحسوب من المعادلة الارتباطية

AN EXPERIMENTAL STUDY OF NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER THROUGH A CAVITY BETWEEN ECCENTRIC HORIZONTAL CYLINDERS

Dr.Saad M.Al-Mashat Dr.Tahseen T.Othman Khalaf I. Hamada
Asis. Prof. Asis. Prof. Asis. Lecturer
Baghdad University Kirkuk Univ. Tikrit Univ.Eng.Col./ME.Dept.

ABSTRACT

An experimental study on natural convection heat transfer across an eccentric horizontal annulus under the condition of constant surface temperature was carried out. The study included clarifying the effect of eccentricity ratio and the angular position as well as the effect of Raleigh number on the ability of the inner cylinder to heat reject.

An experimental set-up was done for this purpose which consists of a cooling water tank and two aluminum cylinders, the outer diameter of the inner cylinder is(26mm), electrically heated from the inside, which represents the heating element, the inner diameter of the outer cylinder is(100mm) which represent cooling element in this set-up.

The experimental study showed that the ability of the inner cylinder to transmit heat with free convection is a function to eccentricity ratio and the angular position, as well as Raleigh number, where this ability increases as angular position increases for all eccentricity ratios, while the eccentricity ratio effect depends on the angular position, where the thermal performance

for the inner cylinder may be better at the location ($\delta=180^\circ$) for the ratio ($\varepsilon=0.2$), where the maximum enhancement in heat transfer coefficient was recorded as (10%) at this location in comparison with concentric annulus, whilst the location ($\delta=0^\circ$) for the ratio ($\varepsilon=0.726$) was given maximum reduction in heat transfer coefficient for the inner cylinder was recorded as (23%) in comparison with concentric annulus, whilst the coefficient of heat transfer proportional directly with Raleigh number.

KEY WORD

Heat transfer, natural convection, cavity

