

## دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانتين متوازيتين أفقيتين داخل حيز اسطواني أفقي

احمد توفيق احمد، مدرس مساعد  
جامعة تكريت - قسم الهندسة الميكانيكية

### الخلاصة

أجريت دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانتين متوازيتين أفقيتين داخل حيز اسطواني أفقي تحت شرط ثبوت درجة حرارة الأسطح للاسطوانتين والحيز الاسطواني. شملت الدراسة بيان تأثير كل من عدد رالي وزاوية التدوير التي تمثل الزاوية المحصورة بين المستوي الأفقي المار بمركز الحيز الاسطواني والخط المار بمركزي الاسطوانتين، فضلاً عن المسافات الفاصلة بين الاسطوانتين على قابليتهما لتبديد الحرارة. أُقيم لهذا الغرض منشأ تجريبي مؤلف أساساً من حوض ماء ومقطع اختبار عبارة عن اسطوانة بلاستيكية تمثل الحيز الاسطواني وعنصري التسخين وهما اسطوانتين من النحاس بقطر (19 ملم) تسخنان من الداخل كهربائياً واللذان تُعدان عنصراً نقل وتبديد الحرارة خلال هذا المنشأ. أُنجزت الاختبارات ضمن مدى من أعداد رالي تراوحت بين ( $3000 \leq Ra \leq 36000$ ) وزاوية تدوير الاسطوانتين عند ( $\theta^\pm = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ) ونسب مسافة فاصلة بين الاسطوانتين عند ( $S/D = 2, 2.5, 3$ ). بينت الدراسة أن قابلية تبديد الحرارة من الاسطوانتين هي دالة لعدد رالي وزاوية تدوير الاسطوانتين والمسافة الفاصلة بينهما. إذ تزداد هذه القابلية بزيادة عدد رالي، وقد لوحظ أن هذه القابلية تصل أعلى قيمة لها عند الاسطوانة الأولى ( $\theta^-$ ) وأدنى قيمة عند الاسطوانة الثانية ( $\theta^+$ ) عند نسبة المسافة الفاصلة ( $S/D=3$ ) وزاوية تدوير ( $\theta = -45^\circ, -90^\circ$ ) للأولى و ( $\theta = +45^\circ, +90^\circ$ ) للثانية على التوالي. تم ربط المتغيرات المؤثرة على انتقال الحرارة بالحمل الحر من الاسطوانتين في أعلاه بمعادلتين تصف كل منهما العلاقة اللا بعدية لانتقال الحرارة من كل اسطوانة ممثلاً بعدد نسلت مقابل عدد رالي وزاوية التدوير ونسبة المسافة الفاصلة بين الاسطوانتين. الكلمات الدالة: انتقال الحرارة بالحمل الحر، اسطوانات متوازية، حيز اسطواني.

### *Experimental Study on Natural Convection Heat Transfer From two Parallel Horizontal Cylinders in Horizontal Cylindrical Enclosure*

#### Abstract

An experimental study on natural convection heat transfer from two parallel horizontal cylinders in horizontal cylindrical enclosure was carried out under condition of constant surfaces temperature for two cylinders and cylindrical enclosure. The study included the effect of Rayleigh number, rotation angle that represent the confined angle between the passing horizontal plane in cylindrical enclosure center and passing line in two cylinders centers, and the spaces between two cylinders on their heat loss ability. An experimental set-up was used for this purpose which consist water container, test section which is formed of plastic cylinder that represent the cylindrical enclosure, and two heating elements which are formed of two copper cylinders with (19

mm) in diameters heated internally by electrical sources that represents transfer and heat loss elements through this set-up.

The experiments were done at the range of Rayleigh number between ( $3000 \leq Ra \leq 36000$ ), cylinders rotation angle at ( $\theta^\pm = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ ), and spacing ratio at ( $S/D = 2, 2.5, 3$ ).

The study showed that the ability of heat loss from two cylinders is a function of Rayleigh number, cylinders rotation angle, and the spaces between them. This ability is increased by increasing of Rayleigh number and it was showed that this ability reaches maximum value at the first cylinder ( $\theta^-$ ) and minimum value at the second cylinder ( $\theta^+$ ) at spacing ratio ( $S/D=3$ ) and rotation angle ( $\theta = -45^\circ, -90^\circ$ ) for the first and ( $\theta = +45^\circ, +90^\circ$ ) for the second cylinder respectively.

The effective variables on natural convection heat transfer from the above two cylinders are related by two correlating equations, each one explains dimensionless relation of heat transfer from each cylinder that represented by Nusselt number against Rayleigh number, rotation angle, and the spacing ratio between two cylinders.

**Keywords:** Natural convection heat transfer, Parallel cylinders, Cylindrical enclosure.

#### قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الرمز	المعنى
A	المساحة ( $m^2$ ).	a	ثابت تجريبي في المعادلة (5).
S	المسافة الفاصلة بين مركزي اسطوانتي الاختبار (m).	b	ثابت تجريبي في المعادلة (5).
T	درجة الحرارة (K).	c	ثابت تجريبي في المعادلة (5).
<u>الرموز اليونانية</u>		D	قطر كل من اسطوانتي الاختبار (m).
$\alpha$	الانتشارية الحرارية ( $m^2/s$ ).	d	ثابت تجريبي في المعادلة (7).
$\beta$	معامل التمدد الحجمي ( $K^{-1}$ ).	Gr	عدد كراشوف.
$\theta$	زاوية التدوير لاسطوانتي الاختبار (Degree).	g	التعجيل الأرضي ( $m/s^2$ ).
$\nu$	اللزوجة الكينماتية ( $m^2/s$ ).	h	متوسط معامل انتقال الحرارة ( $W/m^2 K$ ).
<u>الرموز التحتية</u>		k	الموصلية الحرارية ( $W/m K$ ).
a	الهواء.	Nu	متوسط عدد نسلت.
f	الغشائية.	Pr	عدد براندتل.
s	سطح الاسطوانة.	$Q_{net}$	صاف الحرارة المنقلة بالحمل الحر من سطح كل اسطوانة (W).
		Ra	عدد رالي

إن عملية انتقال الحرارة من أو إلى اسطوانة أفقية لها أهمية كبيرة في أغلب التطبيقات الهندسية كما هو الحال في تصميم أجهزة التدفئة والتبريد وأنابيب نقل البخار والمبادلات الحرارية وغيرها، لذلك فقد حظيت الاسطوانة بجهد وافر من البحث النظري

المقدمة

أما فيما يخص شكل هندسي معقد كاسطوانتين دائريتين أفقيتين محاطتين بحيز اسطواني والذي هو موضوع الدراسة الحالية ومن خلال مراجعة وافية للبحوث المتوفرة والمنشورة في مجال انتقال الحرارة في الدوريات المتاحة فقد تم الحصول على دراستين في هذا الاتجاه، وأولهما الدراسة العددية التي قام بها (النداوي)<sup>[7]</sup>. إذ قام الباحث بإيجاد توزيع إجهادات القص الناتجة عن حركة المائع المحصور بين أسطح الاسطوانتين الداخليتين والاسطوانة الخارجية بتأثير الحمل الطبيعي تحت شرط ثبوت الفيض الحراري للاسطوانتين الداخليتين وثبوت درجة حرارة السطح الداخلي للاسطوانة الخارجية، عند قيم مختلفة للزاوية ( $\theta$ ) التي تمثل الزاوية المحصورة بين المستوي الأفقي والخط المار بمركز الاسطوانات. لقد وجد أن قيم إجهادات القص الموضعية على أسطح الأسطوانتين الداخليتين تزداد بزيادة البعد عن السطح ويتغير شكل الجريان في الحيز بتغير الزاوية ( $\theta$ ). أما الدراسة الثانية فقد قام بها (علي)<sup>[8]</sup>، وهي دراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانتين متوازيتين أفقيتين محاطتين باسطوانة دائرية تحت شرط ثبوت درجة حرارة الأسطح. أعتمد في هذه الدراسة على استخدام نظام الإحداثيات المطابقة للحدود في حل المعادلات الحاكمة، حيث تمت دراسة عشرون حالة مختلفة تمثل تغير موقع الاسطوانتين الداخليتين أفقياً وعمودياً ضمن الاسطوانة الخارجية على انتقال الحرارة وقوة الطفو المسببة للجريان ولمدى من أعداد رالي بين ( $1000 \leq Ra \leq 25000$ )، بينت الدراسة أن موقع الاسطوانتين الداخليتين يؤثر بصورة فعالة على انتقال الحرارة وحركة المائع ضمن الحيز.. إذ لوحظ أن معدل عدد نسلت يزداد بزيادة المسافة الأفقية الفاصلة بين الاسطوانتين الداخليتين في أعداد رالي الواطئة والعكس في أعداد رالي العالية، أما بحركة الاسطوانتين الداخليتين معاً باتجاه قعر

والتجريبي لتخمين قابليتها على امتصاص أو تبديد الحرارة لكافة أنواع الجريان وبوضعياتها المختلفة<sup>[1]</sup>. من جانب آخر فقد اكتسبت معرفة توزيع مجال الحرارة والجريان ضمن حيز مغلق بأشكاله الهندسية المختلفة أهمية كبيرة وذلك لاستخداماته الواسعة في الصناعة وتطبيقاته الكثيرة في مجالات متعددة مثل عزل مستقبلات المجمع الشمسي وأنظمة التبريد في المفاعلات النووية وعزل خطوط الأنابيب المدفونة تحت الأرض. إذ لوحظ بأن الكابلات المدفونة تحت الأرض والتي تستخدم لنقل الطاقة الكهربائية ذات الضغط العالي المبردة بالغاز المضغوط تتدلى نتيجة التمدد الحراري مما يؤدي إلى تغير تمركز السلك في مركز الأنبوب العازل بحيث يتغير معدل انتقال الحرارة من هذا السلك تبعاً لذلك<sup>[2,3]</sup>.

لقد بذل جهد كبير كان كافياً لفهم طبيعة الجريان وانتقال الحرارة بالحمل الطبيعي خلال الفجوة المحصورة بين اسطوانة داخلية مسخنة متمركزة أو غير متمركزة في حيز اسطواني وذلك عن طريق العديد من البحوث والدراسات الوافية والشاملة. من ابرز هذه الدراسات ما قام به الباحثان (Kuehn و Goldstin)<sup>[2]</sup> بإجرائهما دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر بين اسطوانتين متمركزتين أفقياً، إضافةً للدراسة العددية التي قام بها الباحثان (Guceri و Faruak)<sup>[3]</sup> للحمل الحر الطباقى والاضطرابي في الفجوة المحصورة بين اسطوانتين متمركزتين أفقياً.

كذلك بالنسبة لانتقال الحرارة بالحمل الحر بين اسطوانتين غير متمركزتين فقد أنجزت دراسة عملية من قبل (Kuehn و Goldstin)<sup>[4]</sup> ودراسة عملية و عددية من قبل (Naylor وآخرون)<sup>[5]</sup>، بالإضافة إلى الدراسة العددية التي قام بها (Guj و Stella)<sup>[6]</sup> للحالة أعلاه.

من حوض الماء ومقطع الاختبار وعنصري التسخين، علاوةً على منظومة القياس المؤلفة من أجهزة قياس القدرة الكهربائية المجهزة للمسخنات وأجهزة قياس درجات الحرارة لسطح اسطوانتي الاختبار والهواء داخل مقطع الاختبار.

أُستخدم حوض مصنوع من صفائح الحديد المغلون بسمك (0.8 ملم) وأبعاد (400x300x400 ملم<sup>3</sup>) لوضع الماء المثلج داخله بحيث يُعمر مقطع الاختبار المثبت داخل هذا الحوض مما يؤدي إلى توفير الحمام المائي اللازم لتبريد مقطع الاختبار وضمان الحصول على ثبوت في درجة حرارة السطح الداخلي لهذا المقطع وبالتالي ثبوت درجة حرارة الهواء بداخله. عُزل الحوض من الخارج بطبقات من الفلين بنفس أبعاد الحوض وسمك (15ملم) لضمان العزل الحراري بين الحوض والمحيط الخارجي.

تُثبت مقطع الاختبار داخل هذا الحوض مركزياً بصورة أفقية والذي هو عبارة عن اسطوانة بلاستيكية بقطر داخلي قدره (99 ملم) وسمك جدار (3.5 ملم) وطول (400 ملم). أما عنصري التسخين فهما عبارة عن اسطوانتين مجوفتين من النحاس التجاري بقطر خارجي مقداره (19 ملم) وسمك جدار (0.7 ملم) وطول (400 ملم) كما موضح تخطيطياً بالشكل (3).

سُخنت كل من الاسطوانتين بواسطة مسخن يتألف أساساً من مقاومة كهربائية من (النيكل - كروم) ذات مقاومة مقدارها (100Ω)، وقد وضعت هاتين الاسطوانتين في مقطع الاختبار أفقياً وتُثبت نهايتيهما داخل المقطع بواسطة سداتين من التفلون قطرهما بنفس مقدار القطر الداخلي لمقطع الاختبار.. إذ عُملت ثلاثة أزواج من هذه السدادات تم التحكم من خلالها بنسب المسافة الفاصلة بين الاسطوانتين وزوايا تدويرهما داخل مقطع الاختبار.

الاسطوانة الخارجية فان معدل عدد نسلت يزداد في جميع أعداد رالي.

استناداً إلى ما سبق فقد تبين ندرة البحوث العملية والنظرية التي تعالج تأثير زاوية تدوير الاسطوانتين الداخليتين والمسافات الفاصلة بينهما على انتقال الحرارة بالحمل الحر منهما على الرغم من أهمية هذا الترتيب الهندسي وتطبيقاته العملية المختلفة، وعليه فقد حُطط في الدراسة الحالية لإثارة جانب ولو صغير من جوانب هذا الموضوع الحيوي عملياً وذلك بإجراء دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانتين متوازيتين أفقيتين داخل حيز اسطواني أفقي وكما موضح بالشكل (1) إذ أن مقطع الاختبار عبارة عن حيز اسطواني مغلق مغمور في حمام مائي من الماء المثلج لضمان الحصول على ثبوت في درجة حرارة السطح الداخلي للحيز بحيث أن درجة حرارة المائع (الهواء) بداخله تكون مساوية إلى ( $T_a$ )، والمحور الأفقي لهذا الحيز موازي لمحوري الاسطوانتين. أُستخدمت لهذا الغرض اسطوانتين نحاسيتين تم تعريفهما بالاسطوانة الأولى والاسطوانة الثانية واللذان تدوران حول المحور الأفقي للحيز الاسطواني بزوايا تدوير ( $\theta^-$ ) و ( $\theta^+$ ) على التوالي والتي تمثل الزاوية المحصورة بين المستوي الأفقي المار بمركز الحيز الاسطواني والخط المار بمركزي الاسطوانتين. وضعت الاسطوانتين داخل الحيز بنسب مسافة فاصلة ثابتة بينهما ( $S/D=2$ ), (2.5, 3) وتُثبتت زاوية تدويرهما لتساوي ( $\theta = \pm 0^\circ$ ) لتسخننا بعد ذلك وتستخرج قابليتهما لتبديد الحرارة، بعد ذلك تُغير زاوية التدوير لتصبح ( $\theta = \pm 45^\circ$ ) ومن ثم ( $\theta = \pm 90^\circ$ ) وتُختبر قابليتها لتبديد الحرارة وهكذا.

#### المنشأ التجريبي والحسابات

إن الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي مبين في الشكل (2). إذ يتألف هذا المنشأ بصورة أساسية

الاسطوانتين على انتقال الحرارة بالحمل الحر من هاتين الاسطوانتين، لذلك فانه في بداية أي اختبار يتم تحديد زاوية التدوير عند نسبة مسافة فاصلة معينة بحيث تُثبت هاتين الاسطوانتين في أماكنهما داخل مقطع الاختبار، بعد ذلك يُملأ الحوض بالماء والثلج ويترك لبضع دقائق لضمان حصول التجانس الحراري داخل مقطع الاختبار. عند الحالة أعلاه يتم تزويد المسخن الكهربائي في كل اسطوانة بالقدرة الكهربائية المنتخبة بصورة متساوية عن طريق محول القدرة وبالتالي الحصول على مقدار الحرارة المطلوب تجهيزها إلى الاسطوانتين، ثم يُترك الجهاز مدة كافية لحين الوصول إلى حالة الاستقرار، عند ذلك تؤخذ قراءات المزدوجات الحرارية لدرجات حرارة سطح الاسطوانتين ودرجة حرارة المحيط الداخلي لمقطع الاختبار (درجة حرارة الهواء) ومقدار فرق الجهد والتيار الداخل لكل اسطوانة. بعد ذلك يُغير مقدار القدرة الكهربائية المجهزة للمسخنين بمقدار آخر من خلال محول القدرة وتعاد العملية من جديد إذ يتم عمل ذلك لعدة محاولات (ستة محاولات) كافية لرسم العلاقة بين عدد رالي وعدد نسلت.

أُختزلت النتائج المستحصلة من العمل التجريبي بدلالة عددي نسلت ورالي كدالة لزاوية التدوير.. إذ تم حساب متوسط معامل انتقال الحرارة (h) لكل اسطوانة بالمعادلة الآتية:

$$h = \frac{Q_{net}}{A_s(T_s - T_a)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

حيث أن:

$Q_{net}$ : صاف الحرارة المنتقلة بالحمل الحر من سطح كل اسطوانة.. إذ وجد أن الحرارة المفقودة بالتوصيل عبر السدادات والإشعاع لا تتجاوز (4%) من الحرارة المتولدة بالمسخن.

أما متوسط عدد نسلت (Nu) لكل اسطوانة فقد حسب من المعادلة:

إن سمك الاسطوانة النحاسية أعطى توزيعاً حرارياً متجانساً على سطحها وبالتالي ثبوت درجة الحرارة حول محيط هذه الاسطوانة. إذ أن درجة الحرارة حول محيطها تكون ثابتة تقريباً ويفرق لا يزيد عن (0.5 °م).

جُهِز المسخن في كل اسطوانة بالقدرة اللازمة من مصدر تيار متناوب عبر مثبت فرق جهد ذي دقة تصل (2%) من القدرة المجهزة وخلال محول قدرة متغير نوع (SAT-2020). كذلك أُستخدم جهاز قياس فرق جهد متعدد الأغراض نوع (K-1400) لقياس فرق الجهد المتولد على طرفي المسخنين يقرأ فرق جهد ضمن مدى (0 - 500 V) وبدقة قراءة مقدارها (0.2 V) كما أُستخدم جهاز قياس تيار نوع (ENERTEC) لقياس التيار المار عبر كل مسخن يقرأ تيار ضمن مدى (0 - 5 A) وبدقة قراءة مقدارها (0.002 A).

أما درجة الحرارة فقد تم قياسها بواسطة مقياس حرارة رقمي نوع (Barnant-689) يقرأ درجات حرارة بدقة مقدارها (0.5 °م)، حيث أُستخدمت خمسة مزدوجات حرارية نوع (T) مُعيرة تعبيراً جيداً ذات قطر مقداره (0.27 ملم) لقياس درجات حرارة سطح كل اسطوانة ( $T_s$ ).. إذ لحمت ثلاثة من هذه المزدوجات على بعد (200 ملم) من أحد طرفي الاسطوانة ووزعت بالتساوي على محيطها بواقع مزدوج حراري كل (120°)، بينما لحم المزدوجين الآخرين على بعد (40 ملم) من طرفي الاسطوانة لقياس توزيع درجة الحرارة على محيط الاسطوانة وطولها على التوالي، كما أُستخدمت خمسة مزدوجات أخرى بنفس المواصفات والأبعاد وطريقة التوزيع على السطح في أعلاه لقياس درجات حرارة السطح الداخلي لمقطع الاختبار ( $T_a$ ).

إن الغرض الأساسي من الاختبار هو بيان تأثير زاوية التدوير والمسافات الفاصلة بين

المجهز للاسطوانة) يقود إلى زيادة التغير في كثافة المائع المجاور للسطح مما يؤدي إلى زيادة تماس تيار المائع البارد مع السطح الساخن لوحدة الزمن.

كما يُلاحظ من هذه الأشكال أنه لجميع نسب المسافة الفاصلة أن انتقال الحرارة من الاسطوانتين متقارب ومتماثل إلى حدٍ بعيد عند زاوية تدوير مساوية إلى  $(\theta = \pm 0^\circ)$  مقارنةً بزوايا التدوير الأخرى، ويعود السبب في ذلك إلى أن شكل الجريان في كل جانب من جانبي المستوي العمودي المار بمركز الحيز الاسطواني يكون متماثل عند زاوية التدوير أعلاه. علاوةً على أن انتقال الحرارة من الاسطوانة الأولى  $(\theta^-)$  في جميع الأشكال أعلاه أعلى منه للاسطوانة الثانية  $(\theta^+)$  وذلك لأن تيار المائع الحار الصاعد من الاسطوانة الأولى يؤدي إلى تناقص في انتقال الحرارة وزيادة في درجة حرارة سطح الاسطوانة الثانية عند مس الفيض الحراري.. إذ يُلاحظ أن أعلى فرق في انتقال الحرارة بين الاسطوانتين يكون عند زاوية تدوير  $(\theta = \pm 9^\circ)$  نتيجةً لاكتمال بناء وتشكيل الطبقة الحرارية الصاعدة عند الوضع أعلاه بحيث تصبح الاسطوانة العليا (الاسطوانة الثانية) مدفونة كلياً في الطبقة المتاخمة الحرارية للاسطوانة السفلى (الاسطوانة الأولى).

كذلك يُلاحظ من هذه الأشكال أنها غير كافية لدراسة تأثير المتغيرات الأخرى (زاوية التدوير والمسافات الفاصلة بين الاسطوانتين) على انتقال الحرارة من الترتيب في أعلاه، لذلك فقد تم استكمال قيم عدد رالي ومتوسط عدد نسلت لاستخراج معادلات ربط توضح العلاقة بين المتغيرين أعلاه للاسطوانتين عند نسب مسافات فاصلة ثابتة. أُستخرجت من هذه المعادلات علاقات تبين تأثير زاوية التدوير والمسافات الفاصلة على انتقال الحرارة عند أعداد رالي مختلفة وكما مبين في الأشكال من (7) إلى (11).

$$Nu = \frac{hD}{k_f} \dots\dots\dots(2)$$

في حين تم احتساب عدد رالي (Ra) لكل اسطوانة من المعادلة:

$$Ra = Gr.Pr = \frac{\beta g(T_s - T_a)D^3}{\nu_f \alpha_f} ; \beta = \frac{1}{T_f} \dots\dots\dots(3)$$

وقد أُخذت جميع خواص الهواء عند درجة الحرارة الغشائية  $(T_f)$  التي تساوي:

$$T_f = \frac{T_s + T_a}{2} \dots\dots\dots(4)$$

إذ أُستخرجت جميع الخواص الفيزيائية للهواء داخل مقطع الاختبار عند الضغط الجوي من جدول (A-5)<sup>[9]</sup>.

أُستخدمت طريقة (Kline & McClintock)<sup>[10]</sup> في تحليل الخطأ التجريبي في حساب متوسط معامل انتقال الحرارة من كل اسطوانة وكذلك عدد رالي ومتوسط عدد نسلت.. إذ كانت نسبة الخطأ محصورة بين (2% - 11%) لجميع الكميات التي تم إستخراجها.

#### النتائج والمناقشة

تم بيان تأثير الجريان الناتج عن الفرق في درجات الحرارة على انتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانتي الاختبار الأفقيتين بالأشكال (4، 5، 6) والتي تصف العلاقة بين عدد رالي (Ra) ومتوسط انتقال الحرارة ممثلاً بعدد نسلت (Nu). إذ يُبين كل شكل ضمن الأشكال أعلاه تغير عدد نسلت مع عدد رالي لكل اسطوانة من الاسطوانتين عند نسبة مسافة فاصلة ثابتة بينهما وزاوية تدوير معينة.

يُلاحظ من هذه الأشكال أن معدل انتقال الحرارة من كل اسطوانة يزداد بزيادة عدد رالي، أي بزيادة جريان المائع المحيط بالسطح الساخن وهذه نتيجةً متوقعة لأن ازدياد الفرق في درجات الحرارة بين السطح والمائع (الناتج عن ازدياد الحمل الحراري

حركة خلايا الحمل مؤديةً إلى ذلك النقصان في مقدار انتقال الحرارة من الاسطوانة الأولى.

كما أن انتقال الحرارة عند زاوية تدوير  $(\theta = -45^\circ)$  يكون مشابه تقريباً في سلوكه لما حدث عند زاوية تدوير  $(\theta = 0^\circ)$  لأعداد رالي الواطئة والعالية على التوالي.

أما عند زاوية تدوير  $(\theta = -90^\circ)$  فإن سلوك انتقال الحرارة سوف ينعكس تقريباً عما هو عليه عند زوايا التدوير السابقة إذ يُلاحظ أنه عند أعداد رالي الواطئة  $(Ra \leq 15000)$  فإن أعلى انتقال للحرارة يكون عند نسبة مسافة فاصلة  $(S/D=2.5)$ ، علاوةً على ارتفاع انتقال الحرارة بزيادة نسبة المسافة الفاصلة ليصل أعلى قيمة له خلال الدراسة الحالية عند نسبة مسافة فاصلة  $(S/D=3)$  عند أعداد رالي العالية  $(Ra = 30000)$  وذلك لأن المسافة العمودية بين حافة الاسطوانة وقعر الحيز الاسطواني تصبح في أقل قيمها عند نسبة المسافة الفاصلة أعلاه بالتزامن مع الزيادة في عدد رالي مما يؤدي إلى زيادة سرعة حركة خلايا الحمل الباردة نسبياً والتي تؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة عند الحالة أعلاه.

بالنسبة للاسطوانة الثانية  $(\theta^+)$  فيُلاحظ عموماً من الشكلين (10) و(11) انخفاض انتقال الحرارة بزيادة زاوية التدوير والمسافات الفاصلة.. إذ بزيادة هذه الزاوية والمسافات الفاصلة يرتفع موقع هذه الاسطوانة ضمن الحيز لتتغمس أكثر فأكثر في تيارات الحمل الحارة الصاعدة للأعلى والطبقة المتاخمة الحرارية للاسطوانة الأولى مما يؤدي بالضرورة إلى ارتفاع الفرق بدرجات الحرارة بين سطح الاسطوانة وتيارات المائع داخل الحيز المغلق (بثبوت الحمل الحراري المجهز للاسطوانة) والذي يؤدي بالمحصلة إلى نقصان انتقال الحرارة من هذه الاسطوانة لتصل أقل قيمة لها ضمن الدراسة الحالية عند زاوية تدوير  $(\theta = +90^\circ)$  ونسبة مسافة فاصلة  $(S/D=3)$ .

يُلاحظ من الأشكال أعلاه أن انتقال الحرارة يزداد بزيادة عدد رالي، كما أن العلاقة بين متوسط عدد نسلت وزاوية التدوير من جهة ومتوسط عدد نسلت ونسبة المسافة الفاصلة من جهة أخرى لكلا الاسطوانتين هي علاقة تتغير صعوداً ونزولاً اعتماداً على تغير معدل انتقال الحرارة.

يُلاحظ من الشكل (7) أن انتقال الحرارة من الاسطوانة الأولى  $(\theta^-)$  عند نسبي المسافة الفاصلة  $(S/D=2)$  و  $(S/D=2.5)$  يزداد بزيادة زاوية التدوير لجميع قيم عدد رالي المأخوذة، أما عند نسبة المسافة الفاصلة  $(S/D=3)$  فإن انتقال الحرارة عند أعداد رالي الواطئة  $(Ra \leq 15000)$  يكون في أعلى قيمة عند زاوية تدوير  $(\theta = -45^\circ)$  من ثم يرجع إلى نفس سلوكه السابق عند أعداد رالي العالية  $(Ra = 30000)$  بحيث يكون انتقال الحرارة في أعلى مستوى له عند زاوية تدوير  $(\theta = -90^\circ)$ ، أي تكون الاسطوانة في قعر الحيز الاسطواني. والسبب في ذلك يعود إلى أنه كلما ابتعدت الاسطوانة عن المستوي الأفقي باتجاه قعر الحيز (أي زيادة زاوية التدوير) زاد تعرضها لتيارات الحمل الباردة مما يؤدي بالنتيجة إلى زيادة التبادل الحراري بين الاسطوانة وتيارات المائع المحيطة بها.

كذلك يُلاحظ من الشكل (8) أن انتقال الحرارة من الاسطوانة الأولى  $(\theta^-)$  عند زاوية تدوير مساوية إلى  $(\theta = 0^\circ)$ ، (أي عند وجود الاسطوانة في المستوي الأفقي) يزداد بزيادة نسبة المسافة الفاصلة بين الاسطوانتين عند أعداد رالي الواطئة  $(Ra \leq 15000)$ ، أما عند أعداد رالي العالية  $(Ra = 30000)$  فإن العملية تنعكس بحيث ينخفض انتقال الحرارة بزيادة المسافة الفاصلة وهذا مشابه لما توصل إليه (علي) [8] وكما مبين في الشكل (9) إذ بزيادة المسافة الأفقية بين الاسطوانتين عند عدد رالي وزاوية التدوير أعلاه تتناقص سرعة

$$Nu = a.Ra^b.(1 + \cos \theta)^c.(S/D)^d \dots\dots(7)$$

باستعمال طريقة الاستكمال الميينة في أعلاه وتطبيقها على النتائج التجريبية للاختبارات استخرجت قيم الثوابت التجريبية للمعادلة (7) للاسطوانة الأولى والاسطوانة الثانية وكانت كالآتي

1<sup>st</sup> Cylinder ( $\theta^-$ ):  
a=0.253 , b=0.314 , c=-0.14 , d=0.108

2<sup>nd</sup> Cylinder ( $\theta^+$ ):  
a=0.176 , b=0.338 , c=0.094 , d=-0.06

لذلك فان الشكل العام للمعادلة الارتباطية اصة بانتقال الحرارة بالحمل الحر من الاسطوانة لأولى ( $\theta^-$ ) في حيز اسطواني مغلق يكون كالآتي:

$$Nu = 0.253Ra^{0.314}(1 + \cos \theta)^{-0.14}(S/D)^{0.108}, \text{ at } \begin{cases} 0^\circ \leq \theta \leq -90^\circ \\ 2 \leq S/D \leq 3 \end{cases} \dots\dots(8)$$

كما أن الشكل العام للمعادلة الارتباطية الخاصة بانتقال الحرارة بالحمل الحر من الاسطوانة الثانية ( $\theta^+$ ) في حيز اسطواني مغلق يكون كالآتي:

$$Nu = 0.176Ra^{0.338}(1 + \cos \theta)^{0.094}(S/D)^{-0.06}, \text{ at } \begin{cases} 0^\circ \leq \theta \leq +90^\circ \\ 2 \leq S/D \leq 3 \end{cases} \dots\dots(9)$$

قورنت نتائج انتقال الحرارة من الاسطوانتين (الأولى والثانية) مع المعادلتين الارتباطيتين (8) و(9) الخاصتين بهما على التوالي وكما مبين في الشكل (12). إذ يُلاحظ التوافق الكبير بين النتائج ومنحني المعادلة لكل اسطوانة، كذلك قورن عدد نسلت المقاس عملياً مع عدد نسلت المحسوب من المعادلة الارتباطية لكلا الاسطوانتين وكما مبين في الشكل (13). إذ يتبين أنه لأربع وخمسون نقطة قراءة لكل اسطوانة أن (85%) من هذه النقاط تقع ضمن مدى انحراف مقداره ( $\pm 16\%$ ) عن المعادلة الارتباطية الخاصة بكل منهما وهذا يبين مدى التوافق الجيد بين هاتين

أُستخرجت صيغة معادلة تربط بين النتائج العملية أو التجريبية لانتقال الحرارة والمتغيرات التي أُختيرت لكنا الاسطوانتين (الأولى والثانية).. إذ استعملت طريقة استكمال المربعات الدنيا (Least Squares Fitting Method) لهذا الغرض. إن معدل انتقال الحرارة من أي اسطوانة من الاسطوانتين ممثلاً بمتوسط عدد نسلت يكون دالة لكل من عدد رالي وزاوية التدوير بحيث تكتب معادلة الربط على النحو الآتي:

$$Nu = a.Ra^b.(1 + \cos \theta)^c \dots\dots\dots(5)$$

45  
46 حيث أن:

a و b و c: هي ثوابت تجريبية تستخرج باستعمال طريقة استكمال المربعات الدنيا للنتائج العملية.

باستخدام شكل المعادلة الميينة في أعلاه والنتائج التجريبية لانتقال الحرارة من الاسطوانتين واستعمال طريقة الاستكمال في أعلاه، أُستخرجت قيم الثوابت التجريبية لهذه المعادلة لكنا الاسطوانتين وكما مبين في الجدول (1) للاسطوانة الأولى ( $\theta^-$ ) والجدول (2) للاسطوانة الثانية ( $\theta^+$ ).

أُستنبطت معادلة ارتباطية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من كل اسطوانة من الاسطوانتين في أعلاه أكثر عمومية من السابق.. حيث أضيف متغير آخر إلى المتغيرين السابقين هو نسبة المسافة الفاصلة بين الاسطوانتين (S/D)، لذلك فقد أصبح متوسط عدد نسلت بدلالة مجموعة من المتغيرات اللا بعدية وكما يأتي:

$$Nu = f(Ra, \theta, S/D) \dots\dots\dots(6)$$

كما هو مقترح في المعادلة أعلاه فقد ربط متوسط عدد نسلت مقابل نسبة المسافة الفاصلة وزاوية التدوير، فضلاً عن عدد رالي لكل اسطوانة من الاسطوانتين وكما مبين بالمعادلة الآتية:

3. Faruak, B., and Guceri, S. I., "Laminar And Turbulent Natural Convection In The Annulus Between Horizontal Concentric Cylinders", J. Heat Transfer, Vol. 104, Nov. 1982, Pp. 631-636.
4. Kuehn, T. H., and Goldstin, R. J., "An Experimental Study Of Natural Convection Heat Transfer In Concentric And Eccentric Horizontal Cylindrical Annuli", J. Heat Transfer, Vol. 100, Nov. 1978, Pp. 635-640.
5. 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, No. 1, Vol. 32, 1989, Pp.171-181.
6. Guj, G., and Stella, F., "Natural Convection In Horizontal Eccentric Annuli: Numerical Study", J. Numerical Heat Transfer, 1995, Pp. 89-105.
7. النداوي، عبد السلام داود، "إيجاد توزيع اجهادات القص على أسطح اسطوانتين داخليتين محاطتين باسطوانة ثالثة خارجية نتيجةاً لحركة المائع المحصور بين أسطح الاسطوانات الثلاث بتأثير الحمل الطبيعي"، المجلة العلمية لجامعة تكريت، قطاع العلوم الهندسية، المجلد 1، العدد 1، 1994، صفحة 25-40.
8. علي، محمود حسين، "دراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانتين متوازيتين أفقيتين محاطتين باسطوانة دائرية"، مجلة تكريت للعلوم الهندسية، المجلد 15، العدد 1، آذار 2008، صفحة 51-69.
9. Holman, J. P., "Heat Transfer", 5<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, Tokyo, Japan, 1981.

المعادلتين والنتائج العملية للترتيب المبين في أعلاه ضمن مدى المحددات الخاصة بكلٍ منهما.

#### الاستنتاجات

1. إن قابلية تبديد الحرارة من الاسطوانتين هي دالة لعدد رالي وزاوية تدوير الاسطوانتين والمسافة الفاصلة بينهما. إذ تزداد هذه القابلية بزيادة عدد رالي وتغير زاوية التدوير واتساع المسافة الفاصلة بين الاسطوانتين.
2. إن هذه القابلية تصل أعلى قيمة لها عند الاسطوانة الأولى ( $\theta^-$ ) وأدنى قيمة عند الاسطوانة الثانية ( $\theta^+$ ) عند نسبة المسافة الفاصلة ( $S/D=3$ ) وزاوية تدوير ( $\theta = -45^\circ, -90^\circ$ ) للأولى و  $\theta = +45^\circ, +90^\circ$  للثانية على التوالي.

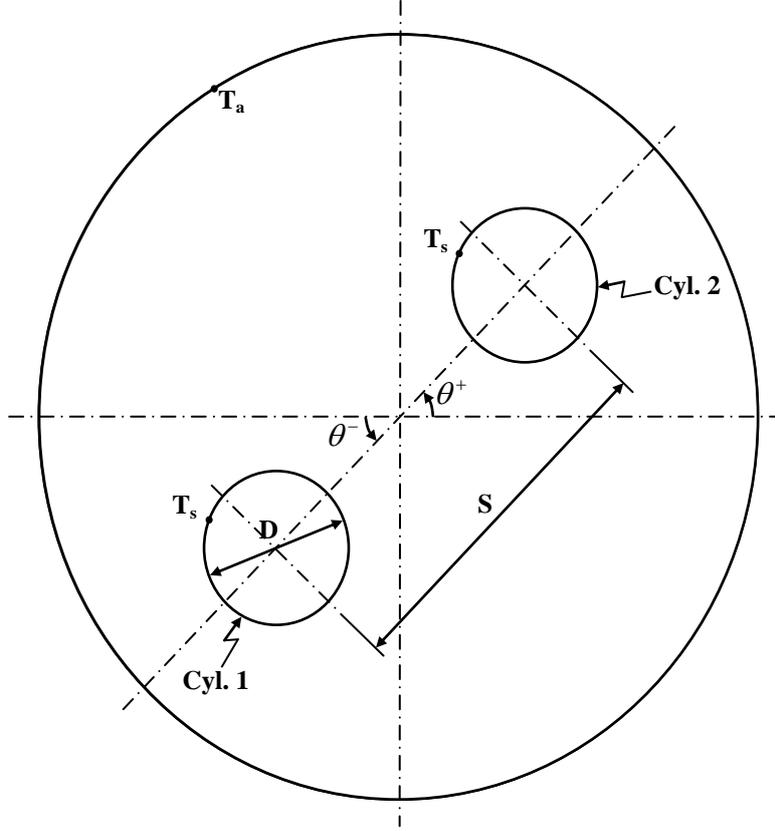
3. إن المعادلتين الارتباطيتين اللتين تم استنباطهما من النتائج العملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من الاسطوانتين هما معادلتين مقبولتين إلى حدٍ كبير لتخمين انتقال الحرارة من الترتيب أعلاه ضمن مدى المحددات الخاصة بكلٍ منهما.

#### المصادر

1. الظاهر، مهند عبد الفتاح، ويعقوب، قاسم يوسف، "دراسة تجريبية حول تأثير الجدران الجانبية والأرضية على انتقال الحرارة بالحمل والإشعاع من اسطوانة أفقية"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 11، 1992، صفحة 9-24.
2. Kuehn, T. H., and Goldstin, R. J., "An Experimental And Theoretical Study Of Natural Convection In The Annulus Between Horizontal Concentric Cylinders", J. Fluid Mech., Vol. 74, Part 4, 1976, Pp. 695-719.

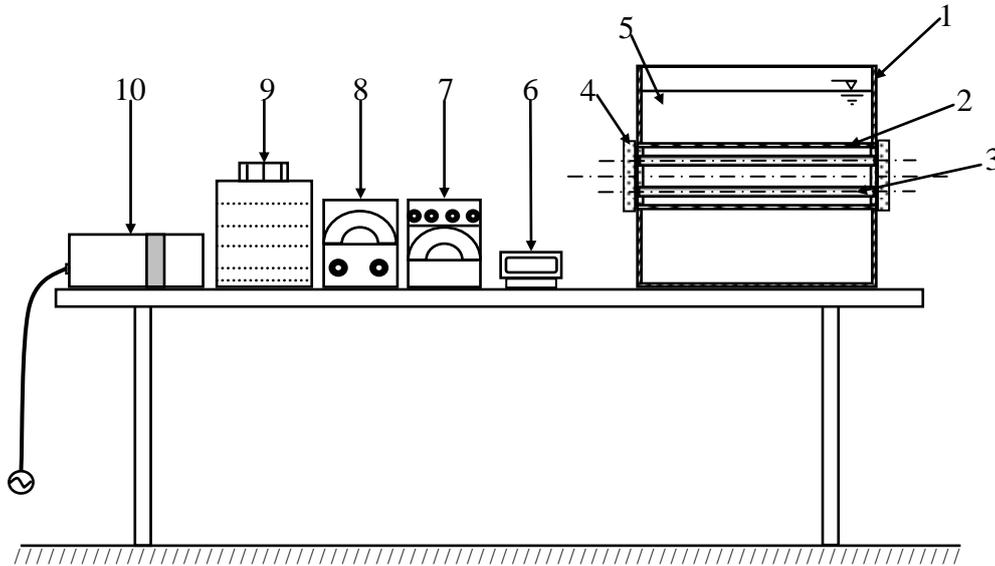
McGraw-Hill, Tokyo, Japan, 1971.

10. Holman, J. P., "Experimental Methods For Engineers", 4<sup>th</sup> Edition,



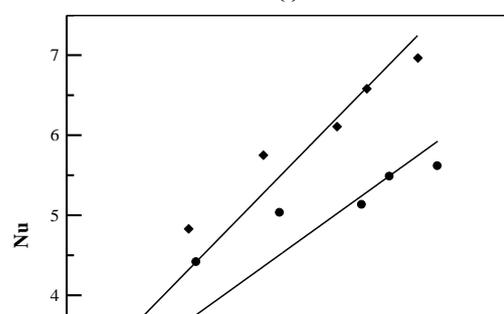
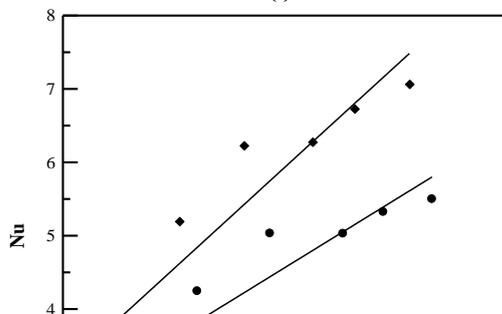
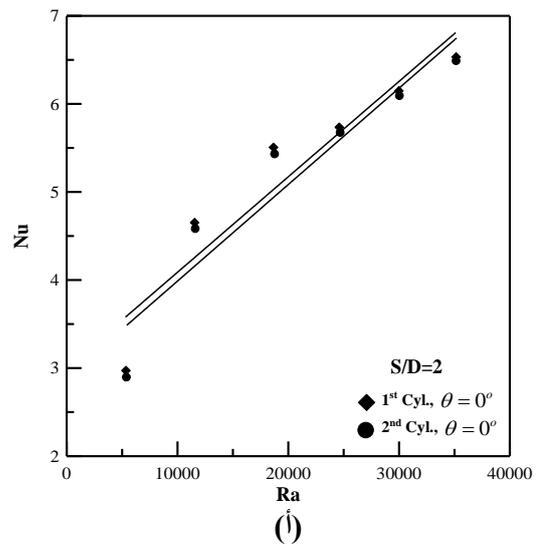
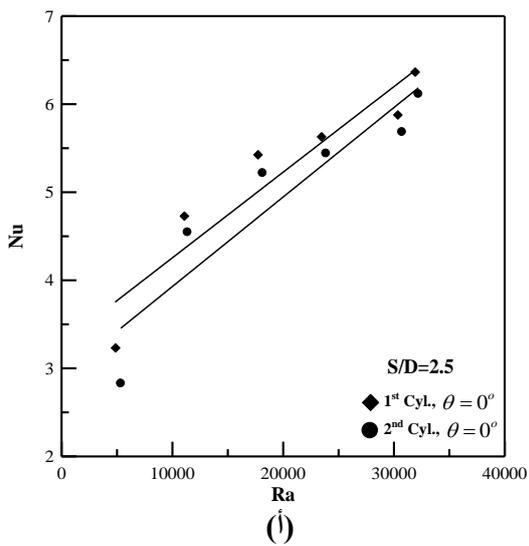
شكل (1) التمثيل الفيزيائي لمسألة البحث

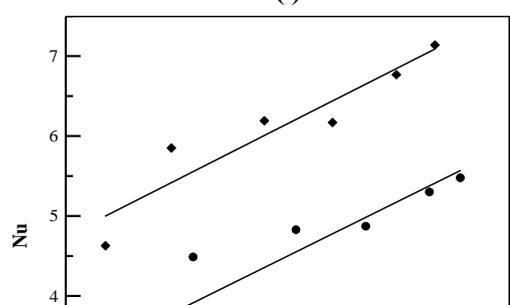
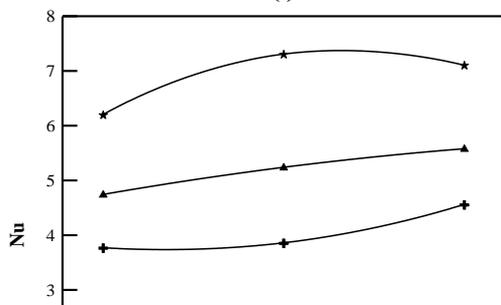
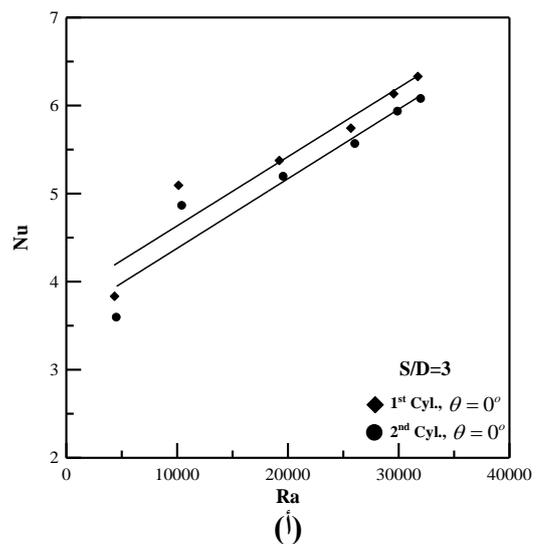
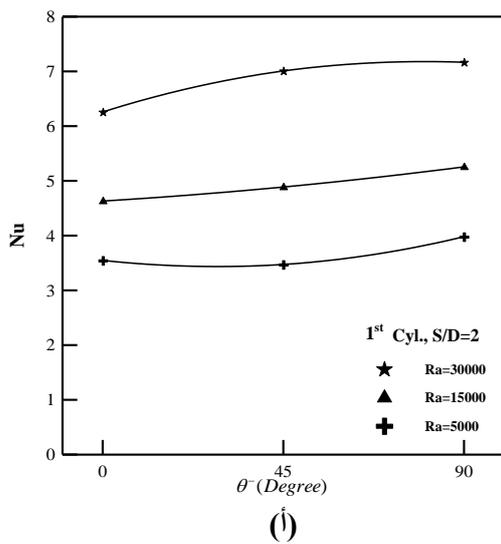
48

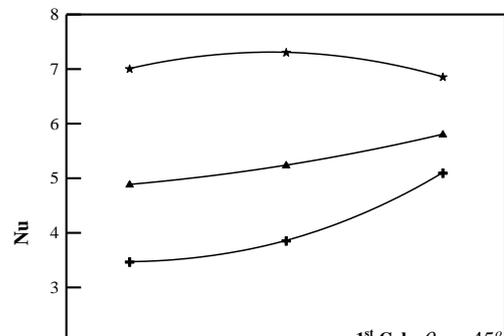
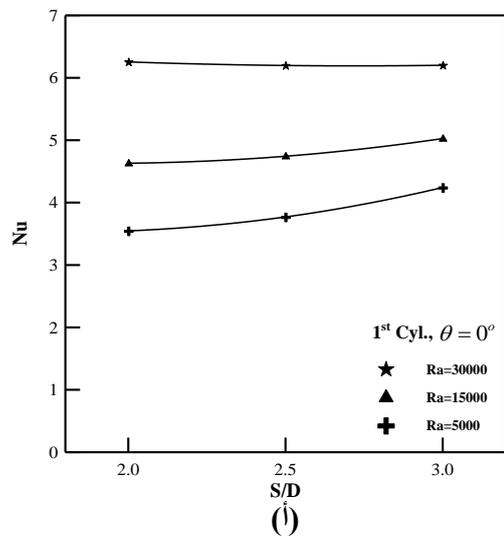
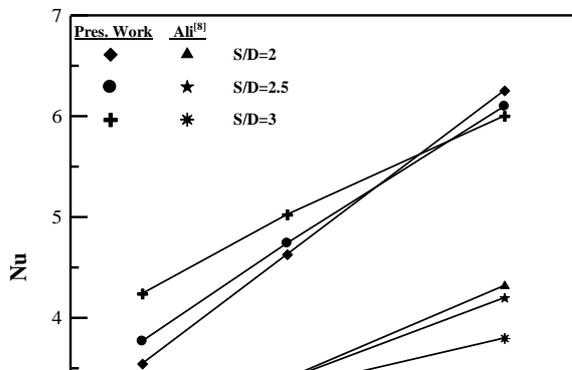


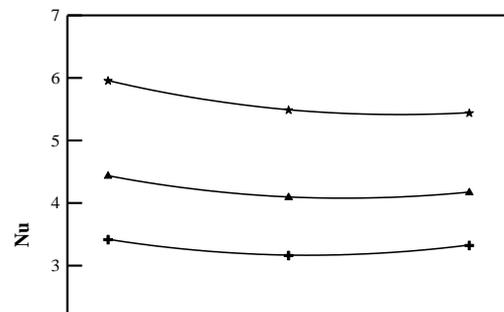
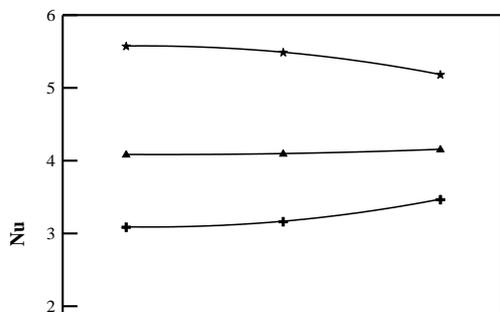
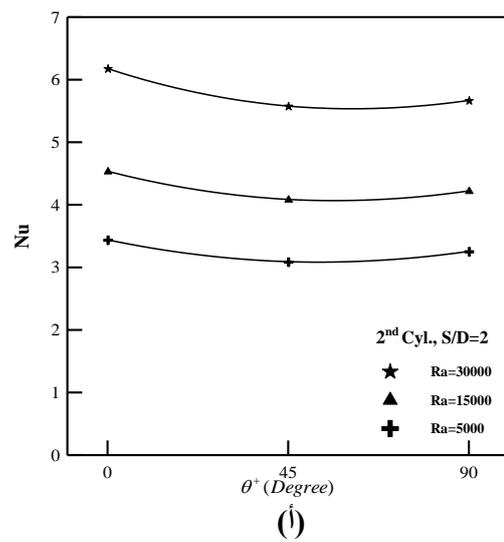
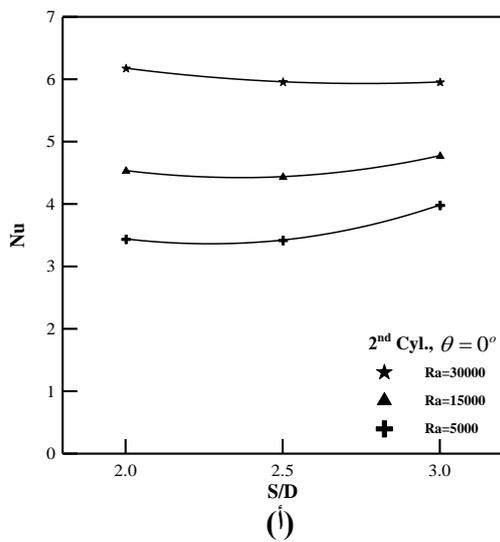
- 1- حوض من صفائح الحديد المغلوق. 2- مقطع الاختبار. 3- إحدى اسطوانتي الاختبار. 4- سداة تغلوق.
- 5- ماء مثلج. 6- مقياس الحرارة الرقمي. 7- مقياس فرق الجهد. 8- مقياس التيار. 9- محول القدرة المتغير.
- 10- مثبت فرق الجهد.

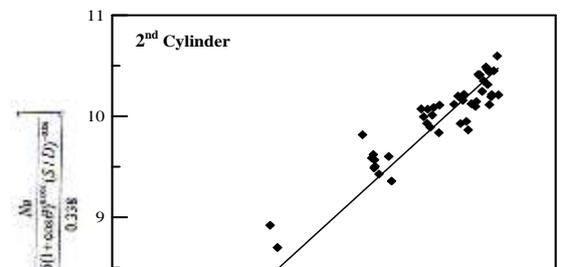
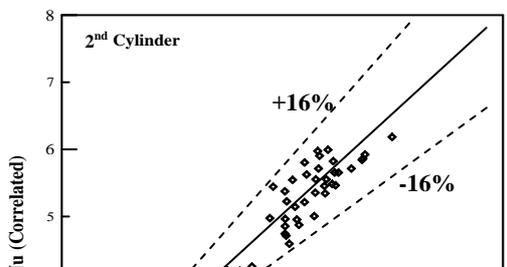
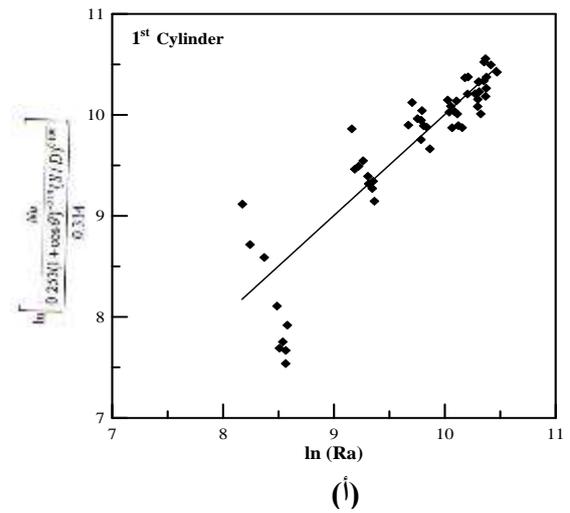
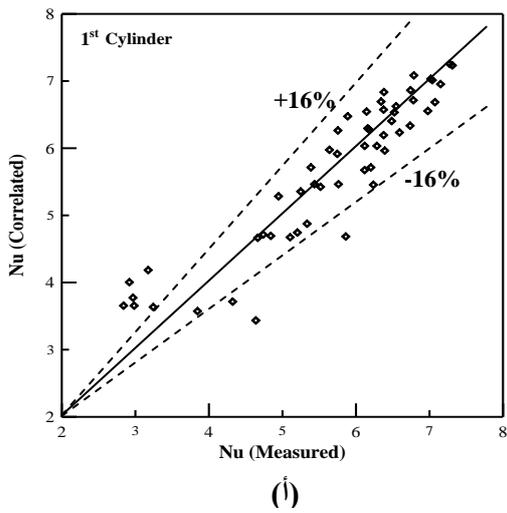
شكل (2) الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي.











جدول (1) الثوابت التجريبية للمعادلة (5) للاسطوانة الأولى ( $\theta^-$ )

S/D	a	b	c
2.0	0.1367	0.3842	-0.1591
2.5	0.2920	0.3110	-0.1682
3.0	0.5085	0.2538	-0.0938

جدول (2) الثوابت التجريبية للمعادلة (5) للاسطوانة الثانية ( $\theta^+$ )

S/D	a	b	c
2.0	0.1181	0.3744	0.0814
2.5	0.1595	0.3420	0.0798
3.0	0.2523	0.2945	0.1237

