دراسة عملية لتحسين انتقال الحرارة بالحمل ألقسري الطباقي من أنبوب اسطواني محشو بنوعين من الحشوات المسامية أفقي ومائل بزوايا مختلفة تحت ثبوت ألفيض الحراري

ثامر خلف سالم
مدرس مساعد
قسم الهندسة الميكانيكية - جامعة تكريت

الخلاصة

دُرس في هذا البحث تجريبياً الحمل ألقسري الطباقي لهواء يجري في قناة دائرية المقطع موضوعة بزوايا مختلفة $(0^o,30^o,45^o,60^o)$ ومسخنة بثبوت الفيض الحراري، كما حشيت القناة بنوعين من المادة المسامية هما الكريات الفولاذية (Steel Spheres) والكريات الزجاجية (Glass Spheres) على التوالي، أجريت الاختبارات لثلاث قيم لعدد بكليت (2111.71، 3945.52، 4575.47) مع تغيير كمية الفيض الحراري المسلط لكل حالة ولخمس مرات لكل عدد. بينت النتائج المستحصلة إن توزيع درجة الحرارة اللابعدي (θ) يقل بازدياد طول القناة اللابعدي ولجميع الحالات من تغير عدد بكليت وتغير الفيض وتغير زوايا الميلان وتكون قيمته اقل بالنسبة للكريات الزجاجية عنه للكريات الفولاذية عند الفيض الكبير ويكون بالعكس عند الفيض القليل بالنسبة لزاوية الميلان $\varphi = \mathbf{0^o}$ ويكون النقصان في درجة الحرارة اللابعدية متقارب للحشوتين عند زوايا الميلان الأخرى. أوضحت الدراسة إن عدد نسلت (Nusselt number) الموقعي يقل بزيادة طول القناة اللابعدي في كلتا الحشوتين ولمختلف الفيض الحراري المسلط، وتبين من الدراسة ايضاً أن معدل عدد نسلت يزداد بازدياد عدد بكليت (Peclet number) في كلتا الحشوتين تكون قيمته اكبر في كريات الزجاج منه في كريات الفولاذ وبنسبة (98.3%) عند عدد بكليت القليل وبنسبة (97.2%) عند بكليت الكبير وعندما يكون الأنبوب أفقي وبنسبة (98.3%) عند عدد بكليت القليل وبنسبة (97.8%) عند بكليت الكبير وعند زاوية الميلان $\varphi = \mathbf{60^o}$.وظهر من الدراسة أن معدل عدد نسلت على طول القناة يزداد بازدياد الفيض الحراري وذلك لان درجة حرارة المائع الظاهرية سوف تزداد كلما تقدم الجريان إلى نهاية القناة وبذلك فان معامل انتقال الحرارة يزداد. تبين من الدراسة ان في حشوة الفولاذ يكون انتقال الحرارة بالتوصيل هو الغالب منه بالحمل في حين يكون في حشوة الزجاج انتقال الحرارة بالحمل ألقسري الطباقي والذي يكون اقل عدد نسلت سجل مقداره (Nu=3.8) عندما يكون الأنبوب أفقي واقل فيض حراري واقل بكليت.

الكلمات الدالة: حمل قسري، قناة دائرية أفقية ومائلة، هواء، كريات زجاجية، كريات فولاذية

الرموز المستخدمة

الرمز	المعنى	الوحدة
A	المساحة السطحية للقناة	m^2
C_p	السعة الحرارية النوعية	kJ/Kg.
D	قطر القناة	m
d_p	قطر الكريات الفولاذية	m
H	معامل انتقال الحرارة	$W/m^2.^oC$
Ie	التيار	A
K	الموصلية الحرارية	$W/m.^oC$
k_s	الموصلية الحرارية	$W/m.^oC$
L	طول القناة	m
M	التدفق الكتلي	Kg/s
Nu	عدد نسلت	
P	الضغط	Pas
Pe	عدد بكليت	
Q	كمية الحرارة لوحدة	W/m^2
T	درجة الحرارة	K
U	مركبة السرعة الافقية	m/s
V	الفولتية	Volt
ρ	الكثافة	Kg/m^3
ϕ	المسامية	
θ	درجة الحرارة اللابعدية	
ν	اللزوجة الكينماتية	m^2/s
Δ	انحدار	
μ	اللزوجة الديناميكية	Kg/m.s
φ	زاوية ميلان الأنبوب	Degree

الرموز التحتية

Av	معدل	-
B	الظاهرية	-
E	المؤثر	-
F	المائع (الهواء)	-
I	الدخول	-
O	الخارج	-
S	السطح	-
Z	الموقعي	-
ζ	نسبة الفقد الحراري	%

المقدمة

نظرا لأهمية الطاقة وترشيد استهلاكها لما له من مردود اقتصادي لبلدان العالم ولاسيما الدول التي تفتقر إلى مصادر الطاقة الطبيعية مثل النفط الخام فقد لجأت لإيجاد بدائل أو تحسين كفاءة أداء منظومات أنتاج أو استهلاك الطاقة[1]. ولما كان للوسط المسامي أهمية في عزل وخزن الطاقة وقابليته ألهائلة على نقل وتبديد وامتصاص الحرارة بطرائق انتقال الحرارة الثلاث (التوصيل والحمل والإشعاع). إذا إن انتقال الحرارة بالحمل خلال هذا الوسط يعتمد على مبدأ زيادة اضطراب الجريان الناتج عن وجود الوسط المسامي وإزالته لطبقة المائع اللزجة، فضلا عن مساهمة المادة المسامية في نقل الحرارة بالتوصيل واعتماداً على مقدار موصليتها الحرارية. لذلك للأوساط المسامية العديد من التطبيقات الصناعية والتي تشمل تقنيات العزل الحراري في الأبنية. وكذلك الحبيبات الخازنة للطاقة (Grain Storage) واستغلال طاقات باطن الأرض الحرارية(Geothermal Activities) والهندسة النووية والكيميائية ومجمعات الطاقة الشمسية والمبادلات الحرارية من نوع المجددات (Regenerators) التي تحتوي على حشوات مؤلفة من هذه الأوساط المسامية[2]. أجرى الباحثان Arunn Narasimhan و Danald A. Nield[3] بحثاً نظرياً وتحليلاً درسا فيه منطقة كامل التشكيل الحراري لتحسين انتقال الحرارة بالحمل القسري الطباقي في مجرى مربع مملوه بوسط مسامي. أخذت لزوجة المائع العامل المتحكم في مسألة الجريان وانتقال الحرارة، حيث سلط على المجرى فيض حراري ثابت. تم تحليل التغير بالضغط عددياً بواسطة Global Hazen-Dupuit-)(HDD Daracy Model). بينت نتائج البحث إن نسبة

الانحدار بالضغط نسبة الى طول القناة $(\Delta p/L)$ تزداد بزيادة سرعة الجريان عند الفيض الحراري الثابت، وان لزوجة المائع تعتمد على الفيض الحراري ايضاً. توصل الباحثان الى ان السرعة الموقعية (Velocity Local) تزداد بزيادة الفيض الحراري وتزداد من السطح الى مركز القناة. وتوصلا إلى ان لزوجة المائع تقل مع زيادة درجة الحرارة وان عدد نسلت (Nusselt number) يزداد بزيادة السرعة للمائع وكذلك عدد نسلت الموقعي يزداد بزيادة السرعة عندما تكون اللزوجة ثابتة. قدم الباحثان Deha. Er و A. Cihat Baytas[4] دراسة عددية لعملية انتقال الحرارة بالحمل ألقسري الغير مستقر وببعدين خلال فجوة مربعة شاقوليه محاطة بجدار معزول حرارياً وافترض في هذا النموذج عدم التوازن الحراري ألموقعي للمائع والمادة المسامية (Non Local Thermal Equilibrium) وعلى أساس هذه الفرضية وجد الباحثان تطوراً لتصرف الجريان ومعدل انتقال الحرارة. ان معرفة هذا التصرف مهم جداً لتصميم أنظمة الخزن الحراري والتطبيقات العملية في الأوساط المسامية. ان ظاهرة الحمل المختلط والحمل ألقسري قد درست عملياً ونظرياً من قبل الباحث Chau واخرون[5] خلال قناة دائرية المقطع وللنموذج اللادارسي وتحت ظرف ثبوت الفيض الحراري ولمنطقة تمام التشكيل الحراري أخذت القراءات التجريبية لإعداد بكليت تراوحت بين (10 إلى 100) استخدم الماء والهواء كمائع مشبع خلال القناة وعند مقارنة النتائج النظرية مع التجريبية وجد إن نسبة التشتت تساوي 20% عند أعداد بكليت العالية. أجرى الباحثان M.A.Althaher و A.H.Jassim[6] دراسة نظرية وعملية للحمل ألقسري الطباقي خلال قناة أفقية ومملوءة بوسط مسامي مكون من كريات زجاجية ذات معدل قطر يساوي 4 mm ومسخنة من الخارج تحت ظرف ثبوت الفيض الحراري ومستخدما الماء كمائع مشبع. بينت الدراسة النظرية تأثير ظاهرة التخدد (channeling) على مجالي السرعة ودرجة الحرارة وهذا أدى إلى زيادة واضحة في معدل انتقال الحرارة في منطقة تمام التشكيل الحراري وكذلك بينت الدراسة أيضا ان التشتت في عدد نسلت بين النتائج العملية والنظرية لأعداد بكليت القليلة يساوي (10%) بينما تشذ القيم عند أعداد بكليت العالية فكانت نسبة التشتت تساوي (40%). قدم الباحثان Joo-S.Yoo وWilliam W.Schults [7]. دراسة نظرية وتحليلية لتأثير عدد رالي (Ra) القليل في الوسط المسامي ذو السائل المشبع بين جدارين أفقيين مع عدم انتظام توزيع درجات الحرارة على الجداريين الموزع توزيع جيبي نسبتاً لعدد الموجة (K)واختلاف الطور (β)حيث لا يوجد اختلاف في متوسط درجات الحرارة بين أعلى وأوطئ نقطة للجدران ولا توجد حالة ألاستقرار بدون جريان السائل . وأظهر الباحثان تأثير هذه العوامل على الجريان و أنتقال الحرارة حيث يحصل أعلى أنتقال عندما $K = 2.286$و $\beta = 0$. كانت نتائج البحث أن تغير الطور $0 \le \beta \le \pi$ مع ثبوت $K = 3.1$ وتأثير تغير K مع ثبوت β لهما تأثير كبير على الجريان وتشكيل الدوامات داخل الوسط المسامي. توصل الباحثان أن عدد نسلت (Nu) يزداد زيادة وتيرية عند زيادة عدد الموجة ويأخذ أعلى قيمة عندما $K = 2.505$ ويزداد أيضا عند زيادة اختلاف الطور (β)وكذلك يعتمد معدل انتقال درجات الحرارة عند الجدران على اختلاف الطور (β)حيث يزداد بزيادة (K)ويقل عند اختلاف الطور $(\beta = 0, \pi)$.

أجرى الباحثان Cheng وHong [8] حلاً عددياً للمعادلات الحاكمة للجريان في أنبوب مائل مسخن بثبوت الفيض الحراري ولجريان طباقي مساعد في منطقة تمام التشكيل الحراري والهيدروليكي وبافتراض ثبوت درجة الحرارة ألمحيطيه لمقطع الأنبوب ولمدى قيم عدد رالي لا يتجاوز (3000). حلت المعادلات الحاكمة للجريان بالإحداثيات القطبية باستخدام طريقة الفروقات المحددة وبمزيج من طريقتي الدوامة المتاخمة و التكرار المتراخي الخطي(Line Iterative Relaxation Method). بينت النتائج تغير منحني شكل السرعة لقيم مختلفة لأعداد برانتل ورالي ورينولدز ولزوايا ميل مختلفة، وأظهرت عند زاوية ميل (45^o) التأثير الهام لتغير قيم عدد برانتل إذ تقترب القيمة العظمى للسرعة المحورية بإتجاه محور الأنبوب بزيادة قيم هذا العدد، أما تأثير تغير زوايا ميلان الأنبوب على شكل منحني السرعة لقيمة عدد برانتل (0.75) فيظهر أن القيمة العظمى للسرعة المحورية تبتعد عن محور الأنبوب بزيادة ميلان الأنبوب من الوضع الشاقولي إلى الوضع الأفقي، وتعود لتقترب من محور الأنبوب بزيادة قيم عدد رينولدز.

قام الباحثان Kuen-Jang و Mao-Ya [9] Wen بدراسة عملية للانتقال الحرارة بالحمل ألقسري في أنبوب مستدير مائل ومنحرف نسبة إلى التدفق المقبل للجريان. حيث أخذ مدى واسع من زاوية الميلان والانحراف وتغير عدد رينولدز من 1000 - 70000. ووجد أن تأثير التدفق ثلاثي الأبعاد على معامل انتقال الحرارة كانت معدومة الى كل من زاوية الميلان والانحراف. أستنبط معادلات تجريبية لإيجاد عدد نسلت ألموقعي $\mathbf{Nu_z = 0.182\,Re^{0.53}\,Pr^{1/3}}$ وكذلك تأثير زاوية الميلان على عدد نسلت ألموقعي $\mathbf{C_\theta = Nu_z / Nu_{z(\theta=90^o)}}$ التي تم استعمالها لإيجاد معامل انتقال الحرارة ووضع في زواية مختلفة من $\mathbf{(90^o - 0^o)}$ نسبة إلى اتجاه التدفق وأوجد عدم تأثير $\mathbf{C_\theta}$ على Re. أما الباحثان F.P.Incropora وJ.R.Maughan [10]. درسا عملياً امكانية تحقيق الحمل المختلط بين صفيحتين متوازيتين ومسخنة تسخين غير منتظم من الأسفل. وتم دراسة تأثير اتجاه التدفق الحراري لسطح القناة على عدد نسلت ألموقعي عندما $\mathbf{Pr = 0.7}$ و $\mathbf{125 < Re < 500}$. $\mathbf{0^o < \phi < 30^o}$ توصلوا إلى ان تأثير الحرارة غير المستقرة والجريان الكامل يسبب زيادة حادة في عدد نسلت لكنها تكون متذبذبة وفي النهاية تقل في منطقة كامل النمو معتمدا على عدد كراشوف (Gr) حيث يتأخر عدم الاستقرار بسبب نقصان عدد كراشوف وزيادة عدد رينولدز(Re) . ويكون تأثير تغير زاوية الميلان من $\mathbf{(30^o - 0^o)}$ كبيرا على انتقال الحرارة وكذلك زيادة في عدد نسلت.

الجانب التجريبي

لقلة البحوث العملية المنشورة في هذا المجال عهدنا إلى القيام بدراسة تجريبية للحمل ألقسري الطباقي بنوعين من الحشوات المسامية وبتغيير زاوية ميلان الأنبوب $\mathbf{(60^o,45^o,30^o,0^o)}$.

الأجهزة والأدوات المستخدمة

استخدمت قناة دائرية المقطع (أنبوب من النحاس) بقطر داخلي وخارجي(45mm) و (47mm) على التوالي وبطول (850mm). ان طول مقطع

الاختبار المسخن فعلياً هو (800mm) فقط. تجهز القناة بالهواء بواسطة دافعة هواء (منفاخ) (Blower) ذو سرعة دورا نية مقدارها (2500rpm) ويعمل بفولتية متناوبة مقدارها (220v) وتم تثبيت هذه الفولتية بواسطة مثبت الفولتية (Stabilizer)، قيست درجة حرارة سطح القناة باستخدام (48) مزدوج حراري نوع (T) مثبتة على طول القناة لمقطع الاختبار ويكون لكل موقع (3) مزدوجات حرارية حيث اخذ معدل القراءة والذي يمثل مواقع واحد من الـ(16) مزدوج ومزدوج واحد لقياس درجة حرارة دخول القناه التي تم تثبيته في داخل مجرى الهواء ومزدوج لقياس درجة حرارة خروج الهواء بعد الحشوة المسامية وتم تثبيته بنفس الطريقة السابقة ومزدوج حراري لقياس درجة حرارة هواء المختبر الخارجي. سخن مقطع الاختبار كهربائيا بلفه بمقاومة كهربائية حول القناة بطول (28m) وبمقاومة مقدارها ($1\Omega/m$) ولزيادة القدرة المجهزة لمقطع الاختبار فقد عزل حراريا بلفه بطبقة من الصوف الزجاجي بسمك (100mm) أما طرفي القناة فقد عزلت كهربائيا وحراريا باستخدام قطعتين من التفلون مصنوع من مادة اللبنايت العازل والمقاوم لدرجة الحرارة وكذلك لتقليل المفاقيد (الفقد او الخسارة) الحرارية بالاتجاه المحوري. حشي مقطع الدخول بالمادة المسامية بطول (150mm) لغرض التأكد من الحصول على تمام التشكيل الهيدروليكي قبل مقطع الاختبار. جهز المسخن بقدرة كهربائية متناوبة بواسطة محولة تستلم فرق جهد ثابت من جهاز منظم الفولتية مقداره (220v)، ولقياس التيار المار خلال المسخن فقد استخدم جهاز اميتر وبدقة(10^{-4}A). استخدمت الصفيحة المثقوبة (Orifice flow) لقياس تدفق الهواء خلال مقطع الاختبار واستخدمت أنبوبة بيتوت الساكنة (Petot static tube) لمعايرة الصفيحة. وقياس فرق الضغط المتولد عبر الصفيحة المثقوبة باستخدام مائع كثافته $\left(\rho_{rl} = 826Kg/m^3\right)$ أستعمل كسائل للقياس. وتظهر الأجهزة و الأدوات المستخدمة في البحث بالصورة الفوتوغرافية (A-1) والشكل التخطيطي (B-1).

الحشوات المسامية

تم استخدام نوعيتين من الحشوات المسامية وهي الكريات الفولاذية بقطر (5mm) ذات الموصلية الحرارية ($43W/m.^oC$) والحشوة الثانية عبارة عن كريات زجاجية بقطر (5mm) ذات الموصلية الحرارية ($0.78W/m.^oC$) حشيت هذه الكريات داخل القناة بحصرها بين قرصين نفاذين مصنوعة من الحديد المغلون.

طريقة إجراء الحسابات

قبل البدء بالتجارب تمت معايرة المزدوج الحراري نوع (T) مع المحرار الزئبقي حيث تم وضع الاثنان معا في ماء بارد وبعدها سخن الماء باستخدام مسخن كهربائي (Heater) وتسجل قراءة المزدوج والتي تقابلها قراءة المحرار الزئبقي وترسم العلاقة بينهما كما في الشكل رقم (2)، وكانت درجة حرارة الهواء الداخل إلى مقطع الاختبار ضمن مدى (^oC 28-32) وطريقة الاختبار يمكن توضيحها بالشكل الأتي:

1 -تشغل دافعة الهواء لتزويد مقطع الاختبار بالهواء ومن الممكن التحكم بكمية الهواء بواسطة صمام كروي موضوع قبل مقطع الاختبار موضح بالصورة الفوتوغرافية (A-1).

2 -يزود مقطع الاختبار بكمية الحرارة وتنظم بواسطة محولة متغيرة.

3 -يترك الجهاز لمدة (40 -45) دقيقة للوصول إلى حالة الاستقرار والذي تم اعتماده من قبل الباحث[6 11] حيث تؤخذ القراءات لدرجات حرارة سطح القناة والهواء الداخل والخارج ودرجة حرارة المحيط وكمية الحرارة المجهزة للمسخن. أما قطر حبيبات ألحشوه المسامية للفولاذ والزجاج فقد تم قياسها ووجد إنها تساوي (5mm) ومسامية هذه الحشوة حسبت عمليا وهي تساوي (0.3661) حيث اعتبر ان الحشوة تترتب بشكل عشوائي ضمن الأنبوب وعند مقارنة هذه القيمة بالقيمة المستحصل عليها من المعادلة الآتية[6]:

$$\phi = 0.32 + \left(0.45 * \left(\frac{d_p}{D} \right) \right) \quad \ldots.(1)$$

والتي تساوي 0.37 وعند المقارنة لا يوجد فرق كبير بين القيمتين فقد اعتمد في الحسابات على القيمة المستحصل عليها عمليا وهناك العديد من المتغيرات من الممكن حساب بعضها موقعياً مثل معامل انتقال الحرارة وعدد نسلت والأخر وسطي مثل عدد بكليت ويمكن حساب معامل انتقال الحرارة ألموقعي بواسطة المعادلة الآتية[12]:

$$h_z = \frac{q}{(T_s - T_b)_z} \quad \ldots\ldots\ldots(2)$$

الفيض الحراري لوحدة المساحة يحسب qحيث أن من المعادلة الآتية:

$$q = \frac{Q}{A_s} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

$$A_s = \pi . D . L \quad \ldots\ldots\ldots(4)$$

المعادلة التالية: و درجة الحرارة الظاهرية فتحسب من

$$T_b = \left(\frac{T_i + T_o}{2}\right) + 273.15 \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

وحسبت خواص المائع الجاري خلال مقطع الاختبار (الهواء) وتكون متغيرة اعتمادا على درجة حرارة المائع الظاهرية وتحسب من المعادلات التجريبية[13]:

$$\rho_f = 4.93 - 0.026Tb + 6.4*10^{-5}Tb^2 - 7.5*10^{-8}Tb^3 + 3.36*10^{-11}Tb^4 \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

$$\mu_f = 1.3*10^{-6} + 5*10^{-8}Tb + 1.02*10^{-10}Tb^2 - 3.3*10^{-13}Tb^3 + 12.6*10^{-16}Tb^4 \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

$$K_f = 1.43*10^{-16} + 9.3*10^{-5}Tb + 3.4*10^{-9}Tb^2 - 9.8*10^{-11}Tb^3 + 8.4*10^{-14}Tb^4 \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

$$Pr_f = 0.79 - 1.1*10^{-4}Tb - 1.35*10^{-6}Tb^2 + 3.37*10^{-9}Tb^3 + 2.2*10^{-12}Tb^4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

$$C_{pf} = 1.09 - 0.001Tb + 3.78*10^{-6}Tb^2 - 6.27*10^{-9}Tb^3 + 4.14*10^{-12}Tb^4 \quad \ldots (10)$$

في حين من الممكن ان تحسب كمية الحرارة المكتسبة من الهواء (Q) ووحداتها (watt) كالأتي:

$$Q = m C_{pf} (T_o - T_i) \quad (11)$$

أما كمية الحرارة المتولدة عبر المسخن (Pwr_{in}) ووحدتها (watt) فإنها تساوي:

$$Pwr_{in} = Ie * V \quad \ldots..(12)$$

أن النسبة المئوية لكمية الحرارة المفقودة يمكن حسابها من المعادلة الآتية:

$$\varsigma = \left(1 - \frac{Q}{Pwr_{in}}\right) \times 100 \quad \ldots\ldots.(13)$$

كما حسب عدد نسلت الموقعي من المعادلة الآتية:

$$Nu_z = \frac{h_z D}{k_e} \quad \text{.....(14)}$$

حيث ان k_e معامل التوصيل الحراري المؤثر للوسط المسامي والذي يمكن حسابه من المعادلة الآتية[12]:

$$k_e = \phi k_f + (1-\phi)k_s \quad \text{.....(15)}$$

إذ k_f وk_s الموصلية الحرارية للمائع والحشوة المسامية على التوالي وتم حساب الموصلية الحرارية للمائع من معادلة رقم (8).وأما عدد رينولدز (Re) فقد حسب من المعادلة الآتية:

$$Re = \frac{udp}{\nu_f (1-\phi)} \quad \text{.....(16)}$$

حيث أن

$$u = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_f}} \quad \text{.....(17)}$$

وتم حساب فرق الضغط عبر منطقة التخصر (Orifice) من المعادلة التالية: -

$$\Delta p = \rho_{rl} g \Delta H \quad \text{..... (18)}$$

$$\nu_f = \frac{\mu_f}{\rho_f} \quad \text{.....(19)}$$

أما عدد بكليت(Pe) فحسب من المعادلة التالية

$$Pe = Re\,Pr_f \quad \text{..... (20)}$$

و حسب عدد برانتل (Pr_f) اعتمادا على تغير درجة حرارة المائع الظاهرية من معادلة رقم(9)، كما حسب معدل عدد نسلت من المعادلة الآتية:

$$Nu_{av} = \frac{\int_Z^L Nu_z dz}{L-Z} \quad \text{..... (21)}$$

وتم حساب درجة الحرارة اللابعدية من العلاقة التالية:

$$\theta = \frac{(T_z - Ts)}{(Ti - Ts)} \quad \text{..... (22)}$$

أجري ثلاث اختبارات بفرق ضغط (Δp) مقداره (40.8 Pa)، (137.7 Pa) و (186.4 Pa) بالنسبة لكل مادة من الحشوة المسامية وثبت فرق الضغط في كل اختبار مع تغير كمية الحرارة المجهزة اعتمادا على تغيير مقدار الفولتية المجهزة لتسخين مقطع الاختبار لخمس مرات وتعاد نفس التجربة لكل الحالات الأفقية والمائلة بالزاوية $(60^o, 45^o, 30^o)$. وتم رسم تغير درجة حرارة السطح اللابعدية مع طول القناة اللابعدي لكل اختبار وعدد نسلت ألموقعي مع طول القناة اللابعدي ومعدل عدد نسلت مع طول ألقناه اللابعدي ولكل عدد بكليت ولكل حشوه مسامية ورسمت أيضا علاقة تغير الفيض الحراري مع معدل عدد نسلت على طول القناة. الذي سيتم توضيحها في النتائج والمناقشة.

النتائج والمناقشة

شمل البحث استقصاء تجريبي لانتقال الحرارة بالحمل ألقسري الطباقي من أنبوب مملوء بنوعين من الحشوات المسامية ومشبع بالهواء أفقي ومائل بزوايا $(60^o, 45^o, 30^o)$، وان وصف الجهاز وطريقة إجراء التجارب وضحت في الجزء العملي. شملت التجارب أعداد بكليت ((2111.71، 3945.52، 4575.47) وفيض حراري متغير على سطح الأنبوب. ان درجة الحرارة التي تم أخذها في الحسابات هي المعدل الحسابي لثلاث قراءات للمزدوجات الحرارية على سطح الأنبوب.

الشكل (3) يوضح توزيع درجة الحرارة اللابعدية مع طول القناة اللابعدي بالنسبة للحشوتين الزجاجية والفولاذية وبتغير الفيض الحراري وعند الزاوية $(\varphi = 0^o)$ ويبين الشكل (A) عند أقل فيض حراري ($q=255.43\ w/m^2$) ويلاحظ من الشكل ان درجة الحرارة اللابعدية تقل كلما زاد طول القناة

اللابعدي وذلك لان درجة حرارة الهواء تزداد مع زيادة طول القناة والسبب في ذلك ان الهواء يكتسب الحرارة من الحشوة المسامية والتي بدورها تكتسب الحرارة من السطح الداخلي للأنبوب وان درجة الحرارة اللابعدية تكون أكبر كلما كان عدد بكليت (Pe) اقل وتقل كلما زاد هذا العدد. والأشكال (E,D,C,B) تبين نفس التصرف السابق باستثناء الأشكال (E,D,C) التي تكون (θ) للكريات الفولاذية عند Pe=4575.47,Pe=3945.52. وهذا بسبب زيادة الفيض الحراري الذي بدوره يزيد من درجة حرارة المائع الجاري.والشكل (4) يبين توزيع درجة الحرارة اللابعدية مع طول القناة اللابعدي وبتغير الفيض الحراري وذلك عند الزاوية$(\varphi = 60^o)$ويلاحظ أيضا أن درجة الحرارة اللابعدية تقل مع طول القناة اللابعدية وتكون متقاربة بالنسبة للكريات الزجاجية والفولاذية وفي كل حالات الفيض الحراري وكما في الإشكال (E,D,C,B,A) إلا أنه عند الفيض الحراري القليل تكون قيمة (θ) أكبر للفولاذ منه للزجاج وعند أعداد بكليت القليلة وللفيض الحراري الثاني أيضا يكون نفس التصرف أيضاً عندما يزداد الفيض الحراري ويصل تقريبا إلى (1000 w/m^2) فأن تصرف (θ) يكون تقريبا متساوي للكريات الفولاذية و الكريات الزجاجية وكذلك للفيض الحراري ($1494.94\ w/m^2$) أما الشكل الأخر فان(θ) للكريات الزجاجية تكون اكبر منها للكريات الفولاذية وهذا عند الفيض الحراري الأعلى.الشكل (5) يوضح توزيع عدد نسلت ألموقعي مع طول القناة اللابعدي بالنسبة للكريات الفولاذية ففي الشكل (A) عند (Pe=2111.71) وبتغير الفيض الحراري ولكل الحالات يلاحظ أن عدد نسلت يقل في بداية القناة ويستقر تقريبا في منتصف القناة ومن ثم يبدأ بالصعود و أن اقل قيمة لعدد نسلت كانت (Nu=0.058) عند ($q=255.43\ w/m^2$)، والشكل التالي (B) يلاحظ ان توزيع عدد نسلت لا يختلف عن السابق سوى أن عدد نسلت ازداد في هذه الحالة و ان عدد نسلت كان متقارب في كل حالات الفيض الحراري جميعها .أما الشكل (C) والذي يكون عند (Pe=4575.47) أن المنحني لا يختلف كثيرا عن سابقها سوى ان عدد نسلت سيكون مستقرا الى الثلث الأخير من القناة والذي يبدأ بالزيادة ويلاحظ انه عند الفيض الحراري($q=255.43\ w/m^2$) انه يكون مختلف عن باقي كميات الفيض الحراري حيث تكون قيم عدد (Nu) اكبر من باقي (Nu) عند الفيض الحراري الباقي. الملاحظ من المنحنيات (C,B,A) ان عدد نسلت (Nu) الموقعي يزداد عندما يكون الفيض الحراري قليل ويزداد أيضا عندما يزداد عدد بكليت (Pe) وهذا يدل انه كلما كانت سرعة المائع كبيرة أي زيادة عدد رينولدز وهذا بسبب زيادة درجة حرارة الهواء الظاهرية والذي بدوره يزيد من معامل انتقال الحرارة بالحمل.الشكل (6) يبين توزيع عدد نسلت ألموقعي مع طول القناة اللابعدي بالنسبة للكريات الزجاجية والاشكال (C,B,A) تبين هذا التوزيع عند اعداد بكليت (2111.71، 3945.52، 4575.47) وبتغيير الفيض الحراري ويلاحظ من هذه المنحنيات ان عدد نسلت يكون مستقرا في بداية ومنتصف القناة ويزداد عند زيادة طول القناة اللابعدي ويلاحظ انه يزداد بزيادة الفيض الحراري ويستقر تقريبا الفيض الحراري ($q=558.4\ w/m^2$) وتكون اعلى قيمة لعدد نسلت عند(Pe=4575.47) وعند الفيض الحراري ($978.26\ w/m^2$) وهي (Nu=12).

الشكل (7) (A,B) يبين توزيع عدد نسلت ألموقعي مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية و

الكريات الزجاجية عند $(\varphi = 0^o)$ عند الفيض الحراري ($1494.94\ w/m^2$) ولاعداد بكليت الثلاث ويلاحظ من الشكل(A) ان عدد نسلت ألموقعي يكون ثابت الى حد معين عند أعداد بكليت القليلة وعند زيادة عدد بكليت يلاحظ ان عدد نسلت يقل بشكل حاد ومن ثم يزيد في نهاية القناة ، أما الشكل (B) والذي يبين العلاقة نفسها للكريات الزجاجية ان عدد نسلت يقل بشكل قليل ومن ثم يستقر في نهاية القناة يزداد بشكل كبير ويلاحظ ان اقل قيمة لعدد نسلت للكريات الفولاذية كانت(Nu=0.09) أما للكريات الزجاجية (Nu=5.8) عند عدد بكليت القليل.الشكل (8) (B,A) يلاحظ نفس العلاقة السابقة وعند فيض حراري ثابت وعدد بكليت متغير عندما تكون الزاوية $(\varphi = 30^o)$ يلاحظ من الشكلين ان عدد نسلت الموقعي يزداد عنه عند الزاوية $(\varphi = 0^o)$ ويحافظ تقريبا على نفس التصرف في كلا الحالتين انه اعلى قيمة كانت لعدد نسلت في الكريات الفولاذية كانت (Nu=2.5) عند عدد بكليت الكبير وكذلك اعلى قيمة لعدد نسلت في للكريات الزجاجية كانت (12.3) عند نفس عدد بكليت. اما الشكل (9) فيبين العلاقة نفسها ولنفس الحشوات عند الزاوية $(\varphi = 45^o)$ ويلاحظ ان عدد نسلت يقل بالنسبة للكريات الفولاذية عند عدد بكليت القليل عنه عند الزاوية $(\varphi = 45^o)$ ويكون متقارب عند اعداد بكليت الباقية وكذلك بالنسبة للكريات الزجاجية يلاحظ انه يقل ايضا ولكن بشكل طفيف.الشكل (10) يلاحظ العلاقة السابقة يبين عدد نسلت الموقعي مع طول القناة اللابعدي وعند فيض حراري ثابت وبتغيير عدد بكليت وعند الزاوية $(\varphi = 60^o)$، يلاحظ من الشكلين (B,A) ان عدد نسلت يقل بشكل طفيف في بداية القناة ومن ثم يبدأ بالصعود وان أعلى قيمة لعدد نسلت سجلت كانت $\mathbf{Nu_z = 0.26}$ للكريات الفولاذية عند عدد بكليت الكبير و $\mathbf{Nu_z = 11.5}$ للكريات الزجاجية عند عدد بكليت نفسه.

الأشكال(14,13,12,11,8) تبين العلاقة بين عدد نسلت ألموقعي مع طول القناة اللابعدية وعند الزاوية $(\varphi = 30^o)$ولجميع قيم الفيض الحراري من الأصغر إلى الأكبر على التوالي وبتغيير عدد بكليت (Pe) وللحشوتين الفولاذية والزجاجية ويلاحظ من الأشكال بأن عدد نسلت يبدأ بالنقصان في بداية القناة ومن ثم يبدأ بالصعود حتى نهاية القناة.تغيير معدل عدد نسلت على طول القناة مع كمية الفيض الحراري وبتغيير عدد بكليت وللحالات الثلاث وبتغيير زاوية ميلان الأنبوب من الأفقي إلى الزاوية $(\varphi = 60^o)$ موضحة بالأشكال (18,17,16,15) وللحشوتين ، يلاحظ من الشكل (B) عندما يكون الأنبوب بوضع أفقي حيث معدل عدد نسلت للكريات الفولاذية يكون ثابت إلى حد كبير وتكون اقل قيمة له عند Pe=2111.71 وذلك لان السرعة تكون قليلة وبذلك فأن درجة حرارة الهواء الجاري تكون قريبة بعضها عن بعض وبذلك فأن معامل انتقال الحرارة يكون متساوي تقريبا وأنه يقل بشكل طفيف عند زيادة الفيض وذلك لان درجة الحرارة تزداد أيضا وبشكل قليل. أما الشكل (B) يبين تغير معدل عدد نسلت مع كمية الفيض للكريات الزجاجية ويلاحظ انه كلما زاد الفيض كلما زاد معدل عدد نسلت وذلك يعتمد بشكل أساسي على معامل انتقال الحرارة بالحمل والذي يعتمد بدوره على كمية الفيض الحراري الذي يزيد وتكون زيادة عدد نسلت في الفيض الحراري قليلة وتزداد بشكل كبير عند زيادة الفيض ان اقل قيمة سجلت لمعدل عدد نسلت كانت (Nu_z=4.5) والشكل التالي الذي يبين نفس العلاقة السابقة ولكن عند الزاوية

$(\varphi = 30^o)$ يلاحظ انه لا يختلف بشكل كبير عن السابق سوى ان معدل عدد نسلت يقل بالنسبة للكريات الفولاذية ويزداد بالنسبة للكريات الزجاجية وان اقل قيمة سجلت لمعدل عدد نسلت للزجاج كانت (Nu_z=5.8)، ان معدل عدد نسلت يزداد بشكل كبير بالنسبة للكريات الفولاذية وهذا موضح في الشكل (15) (A) والذي يكون عند الزاوية $(\varphi = 45^o)$ ولكنه بشكل عام يقل عنه عند الزاوية $(\varphi = 30^o)$ أما الشكل (B) يبين زيادة معدل عدد نسلت مع زيادة الفيض الحراري وخاصة عند أعداد بكليت العالية وهذا يدل على ان جريان المائع كان بسرعة عالية نسبيا وان اقل قيمة كانت له هي (Nu_z=6.2). أن معدل عدد نسلت يزداد بشكل كبير مع كمية الفيض الحراري وعند أعداد بكليت الثلاث عند الزاوية $(\varphi = 60^o)$وهذا مبين بالشكل (A) وأن قيمه بشكل عام تقل عند زيادة ميلان القناة بالنسبة للحشوة الفولاذية وانه يزداد بشكل كبير عند أعداد بكليت العالية ويقل نسبيا عند عدد بكليت القليل ولكنه بشكل عام يزيد كلما زاد ميلان القناة وهذا بالنسبة للحشوة الزجاجية كانت اقل قيمة له عند Pe=2111.71 هي (Nu_z=6.5).

الاستنتاجات

1 - ان عدد نسلت ألموقعي يزيد للحشوة الزجاجية ويقل بشكل كبير جدا للحشوة الفولاذية وتكون قيمته للفولاذ اقل من (Nu_z=1) وهذا يدل على موصلية الكريات الفولاذية العالية تجعل انتقال الحرارة في هذه الحالة قريبة من الحالة التوصيلية أي انتقال الحرارة اعتمادا على موصلية المادة. وهذا بدوره يبين إلى أن الحشوة الزجاجية كانت أفضل في تحسين انتقال الحرارة بالحمل منه للفولاذ وذلك لان عدد نسلت لم يقل عن (Nu_z=5.5) للزجاج.

2-ان معدل عدد نسلت يقل بالنسبة للحشوة الفولاذية عند زيادة ميلان القناة وبنسبة كانت (21.8%) من الزاوية(30^o الى60^o) وباستثناء الزاوية (0^o)ويزداد للحشوة الزجاجية عند نفس الحالة وبنسبة(2.4%) عند عدد بكليت (3945.52.).

3 - ان درجة حرارة القناة اللابعدية تقل بزيادة طول القناة اللابعدي ولكلا الحشوتين وتكون متساوية عند زاويا الميلان إلا ان هذه القيمة تكون غير متساوية عندما يكون الأنبوب أفقي وتكون نسبة الزيادة هي (4.3%) عندما يكون الفيض أكبر من ($550\ w/m^2$) وعند عدد بكليت القليل.

4- كلما زادت زاوية الميلان وللإعداد بكليت تتراوح بين (2111.72 و 4575.47) فأن نسبة الزيادة في عدد نسلت ألموقعي والمعدل يزداد للحشوة الزجاجية بنسبة (6.25%) ويقل للحشوة الفولاذية بنسبة (28.57%) وذلك عند اقل فيض الحراري ($q= 255.434\ w/m^2$).

التوصيات

بعد اجراء البحث يوصى باجراء دراسة عملية ونظرية لنفس النماذج مع تغيير الاتي

1 - الاتجاه حيث يكون اتجاه الجريان عمودي .

2- طور الجريان(جريان مختلط) كأن يكون الهواء مع بخار الماء.

3- مقطع الجريان للقناة كان يكون المقطع مثلثاً ولنفس الحالات.

4- المجرى وذلك باستخدام أنبوب داخل أنبوب ومحشو بين الأنبوبين (Annuls).

5-أقطار ومادة الحشوة المسامية.

المصادر

1- Atalah H.J., " A theoretical and experimental a study on laminar forced convection heat transfer through a horizontal tube with saturated porous media" Msc Thesis., University of tikrit,2000.

2- Badr, H.M. and Pop I., "Combined Convection From An Isothermal Horizontal Rod Buried In a Porous Medium" , Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 31, No. 12, , pp. 2527-2541, 1988.

3- Arunn Narasimhan and Donald A . Nield, " New Theory for Forced Convection Through Porous Media by Fluids With Temperature-Dependent Viscosity",Journal of Heat Transfer,Vol.23pp.1045-1051,2001 December.e-mail:jill@seas.smu.edu,.

4- Deha Er. and A. Cihat Baytas, "Transient Forced Convection Flow Through A Packed Bad for Heat Storage", Marine Eng. Dept., Istanbul Tech.Univ. Istanbul, Turkey,2000.

5- Chou,F.C. et al,"A Re-evaluation of Non-Darcian Forced and Mixed Convection in cylindrical Packed Tube" ASME J.H.T. vol.116, pp. 513-516.,1994.

6- Al-Daher,M and Jasim,A.H, " A Theoretical and Experimental Study on Laminar Forced Convection Heat Transfer Through a Horizontal Tube Filled With Porous Media", Scientific Jorur. Tikrit,2002.

7- Joo-sik Yoo and William W.S, "Thermal convection in a horizontal porous layer with spatially periodic boundary temperature: small Ra flow",international Journal of heat and masstransfer.,vol46,pp.4747-750,2003.

8- Maki Hag Zedan Khalaf, "Theoretical and Experimental Study of Heat Transfer for a Flow Through an Inclined Tube"BhD. Thesis., University of Technology,2004.

9- Mao-Yuwen and Kuen-J.J., " Forced convection heat transfer at an inclind and yawed round tube",international journal of heat and mass transfer , vol.45,Issue10,PP. 2031-2042,2002.

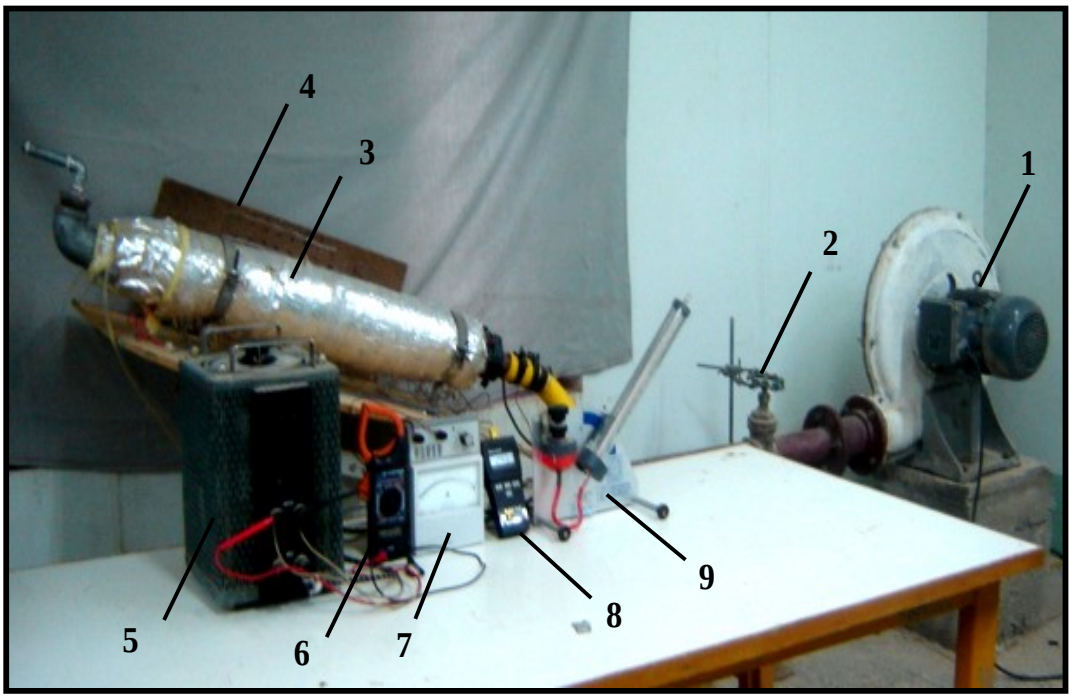
10- Maushan J.R. and F.P. Incropera, " Experimental on mixed convection

heat transfer for air flow in a horizontal and inclined channel", international journal of heat and mass transfer,vol.30,Issue7,PP.1307-1318,2003.

11- Al-Sammarai A. T. A., "An Experimental Study on Forced Convection Heat Transfer from A Heated Cylinder in a Free and Embedded Horizontal Cylinders Array in a Porous Medium in Cross Flow", M.Sc. Thesis, University of Tikrit, Tikrit, Iraq,1999.

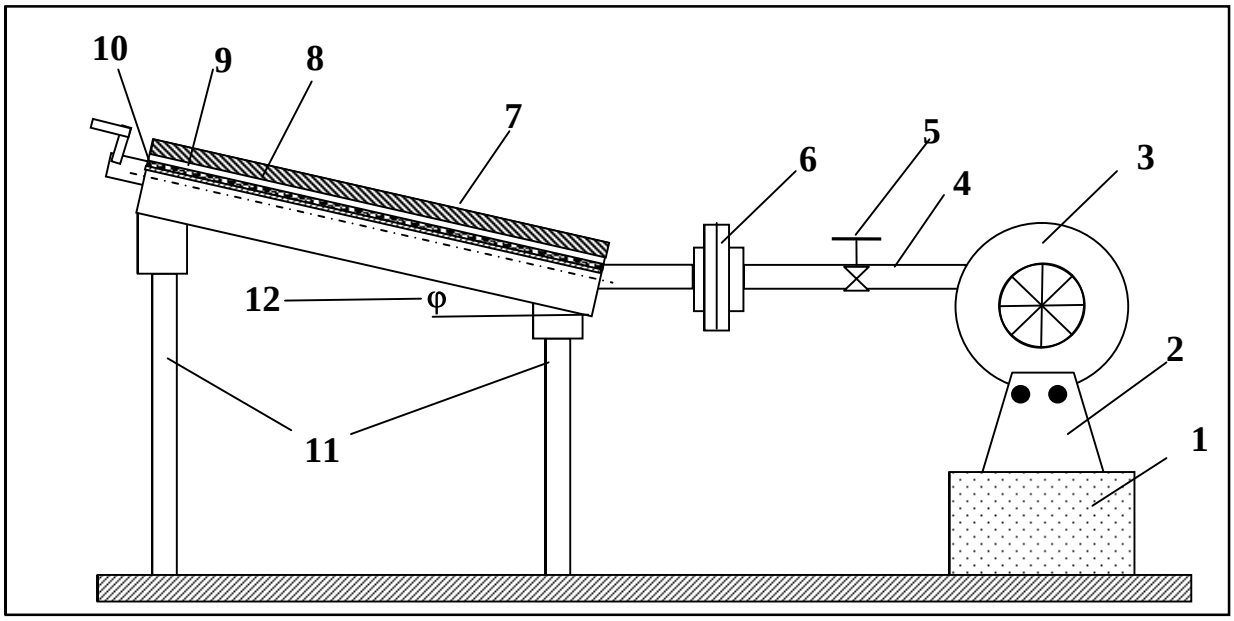
12- Renken K. J. and Poulikakos D., " Experiment and Analysis of Forced Convection Heat Transport in a Packed Bed of Spheres", Int. J. H T. vol.,31, No. 7,pp. 1399-1408,1987.

13- Hamdi E.A., " Effect of delta-winglet vortex generators on aforced of convection heat transfer in an asymmetrically heated triangular duct ", ", M.Sc.Thesis, University of AL-Anbar, AL-Anbar, Iraq,2005.



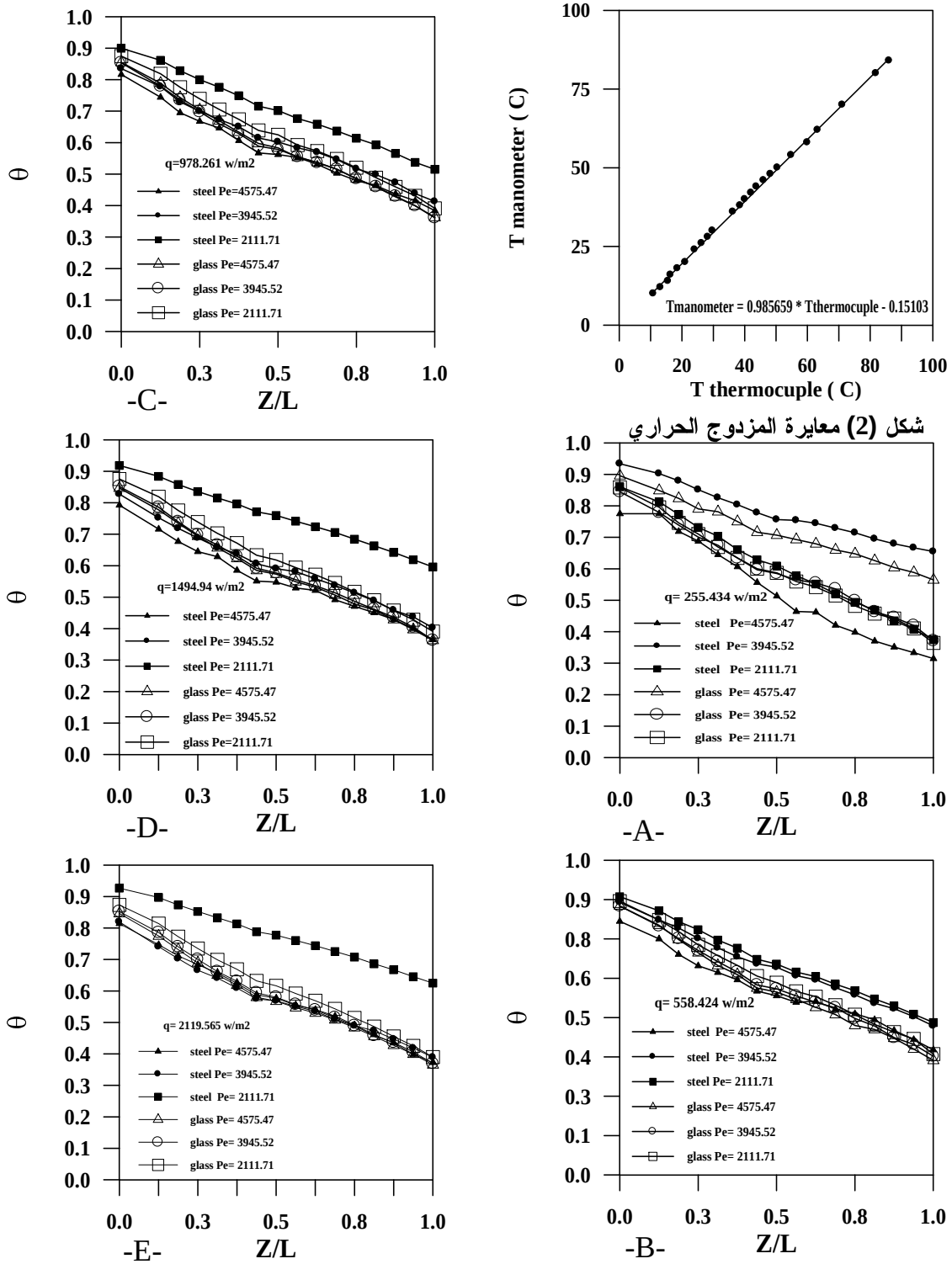
شكل(1 - A) صورة فوتوغرافية توضح الاجهزة المستخدمة في البحث

(1) دافعة هواء (2) صمام التحكم في السرعة (3) مقطع الأختبار (4) لوحة قياس درجة حرارة سطح الانبوب (5) منظم فولتية



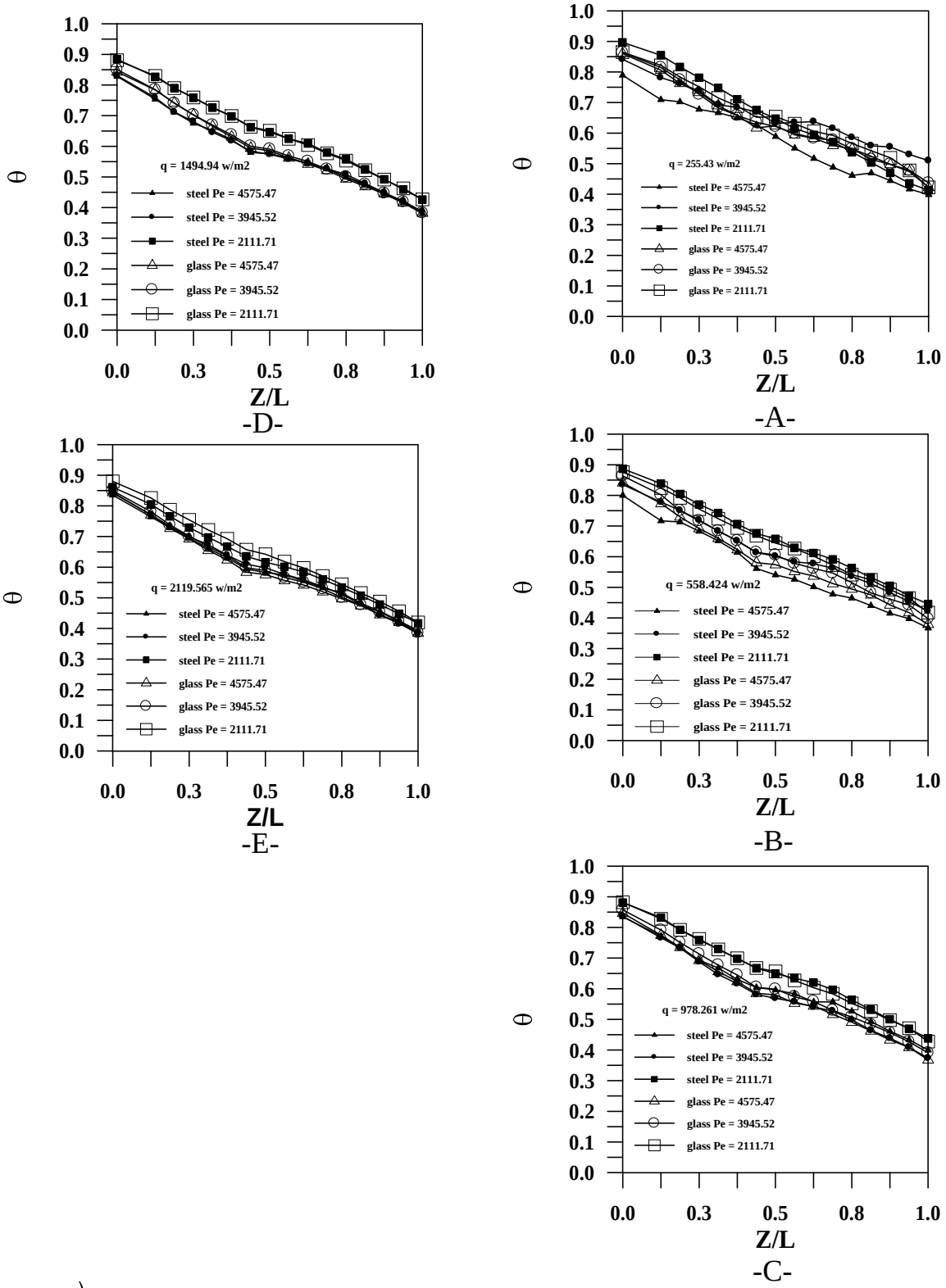
شكل(1 - B) رسم تخطيطي للجهاز التجريبي بضمنه مقطع الاختبار نصف مقطوع.

(1) قاعدة كونكريتية (2) قاعدة المنفاخ (3) منفاخ (Blower (4) أنبوب توصيل (5) صمام التحكم في السرعة (6) شفة حديدية(flange) (7) صوف زجاجي (8) قطعة من قماش الاسبستوس (9) مقاومة حرارية(10) أنبوب نحاس

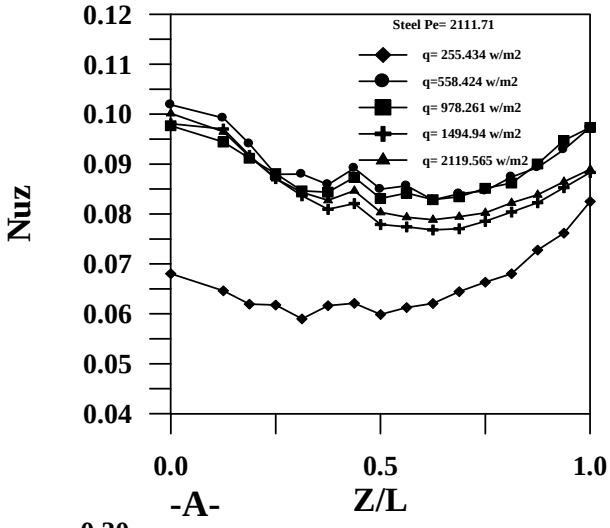


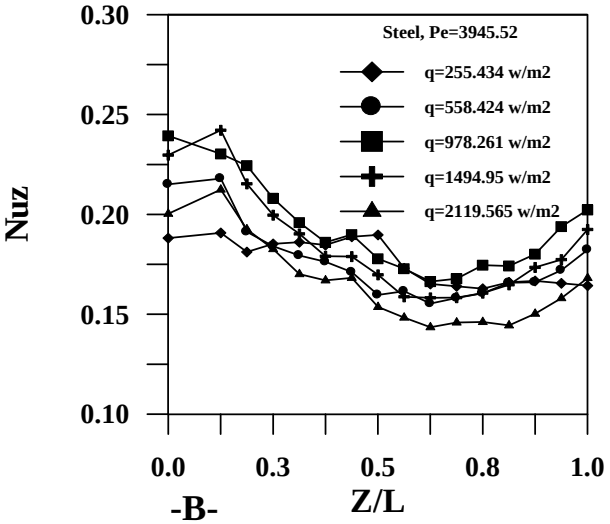
شكل (2) معايرة المزدوج الحراري

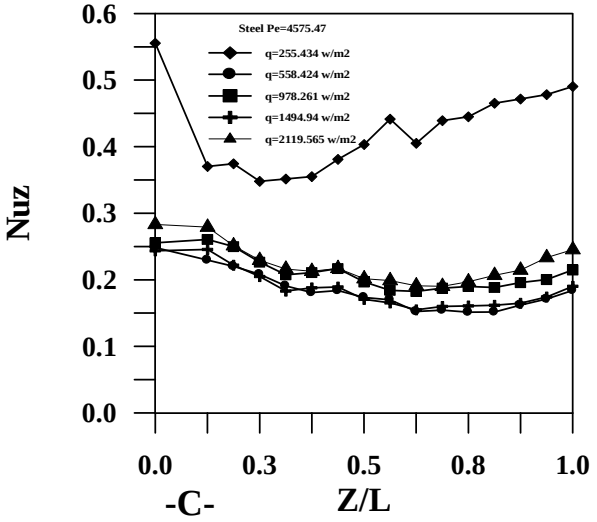
شكل (3) توزيع درجات الحرارة اللابعدي مع طول القناة اللابعدي للكريات الزجاجية والفولاذية عند الزاوية $(\varphi = 0^o)$ (A,B,C,D&E)



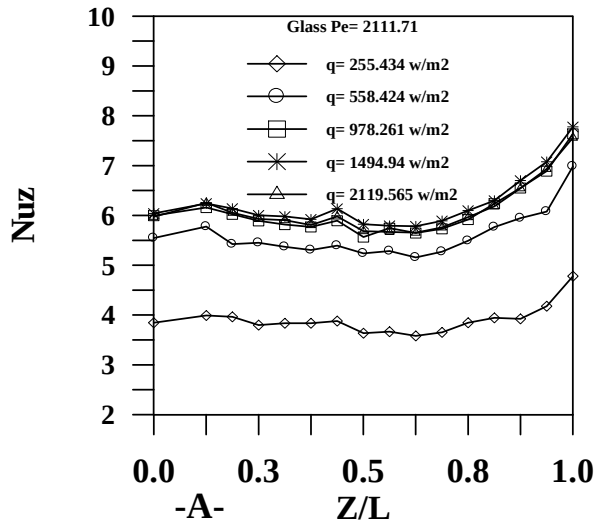
شكل (4) توزيع درجات الحرارة اللآبعدية مع طول القناة اللآبعدي للكريات الزجاجية والفولاذية عند الزاوية $\left(\varphi = 60^{o}\right)$

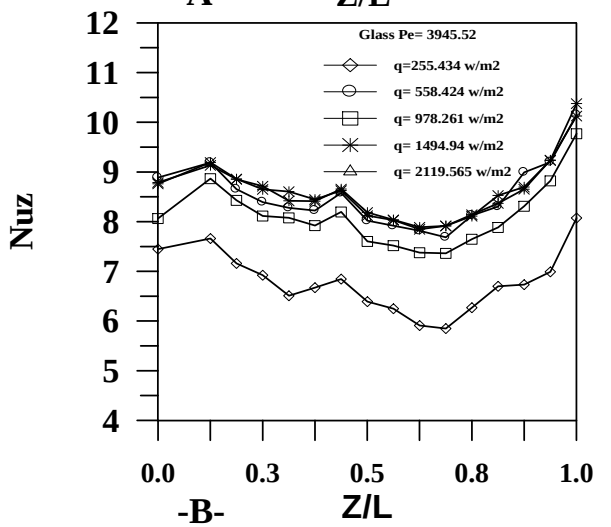


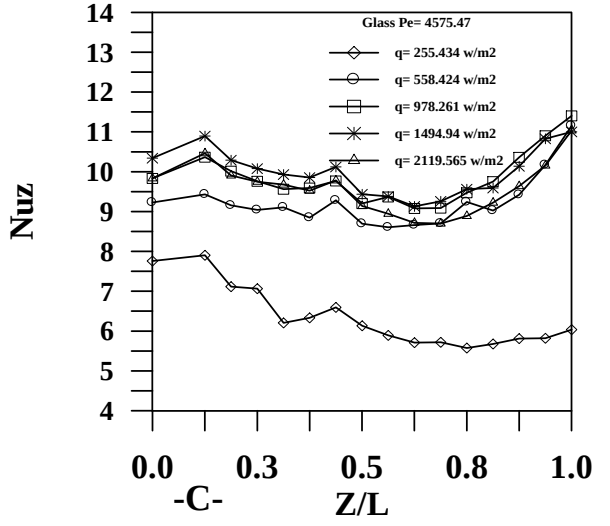




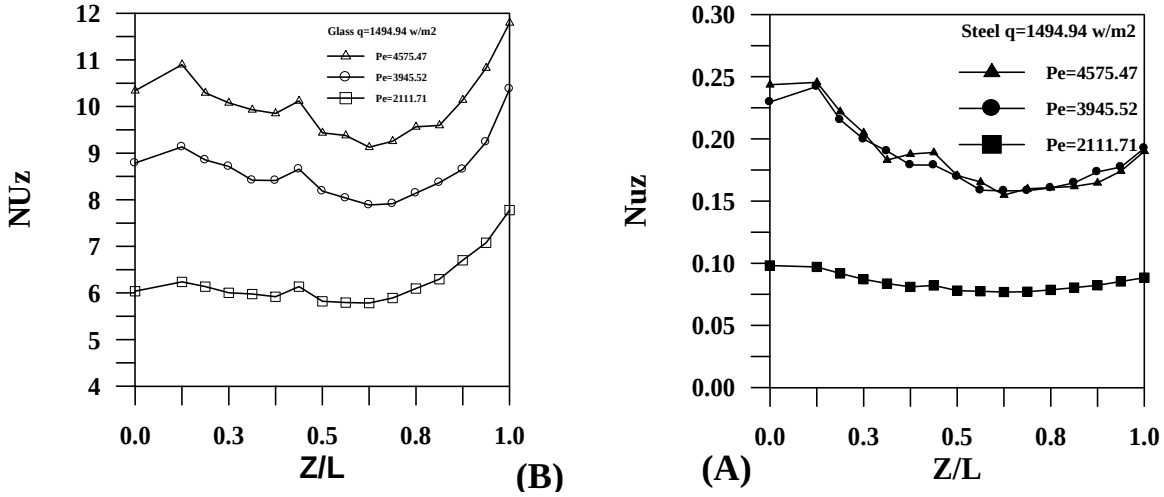
شكل (5) توزيع عدد نسلت الموقعي مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية عند الزاوية $\varphi = 0^o$ وبتغيير الفيض الحرارى.



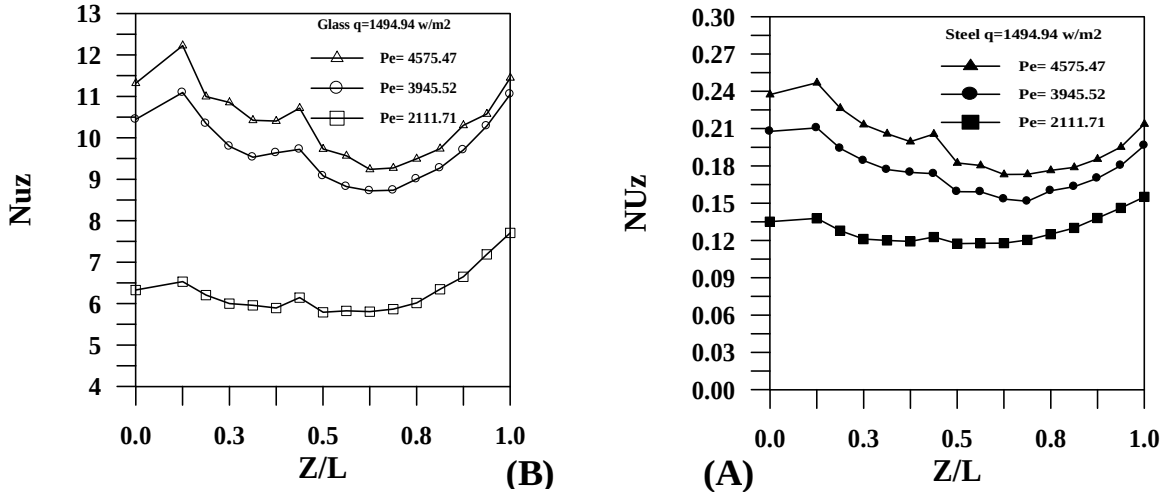




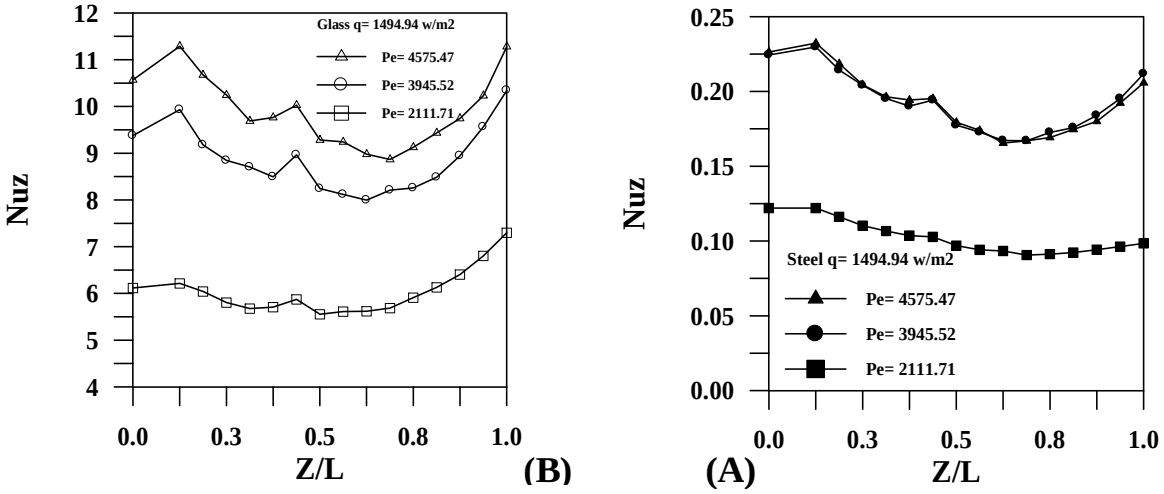
شكل (6) توزيع عدد نسلت الموقعي مع طول القناة اللابعدي للكريات الزجاجية عند الزاوية $\varphi = 0^o$ وبتغيير الفيض الحراري.



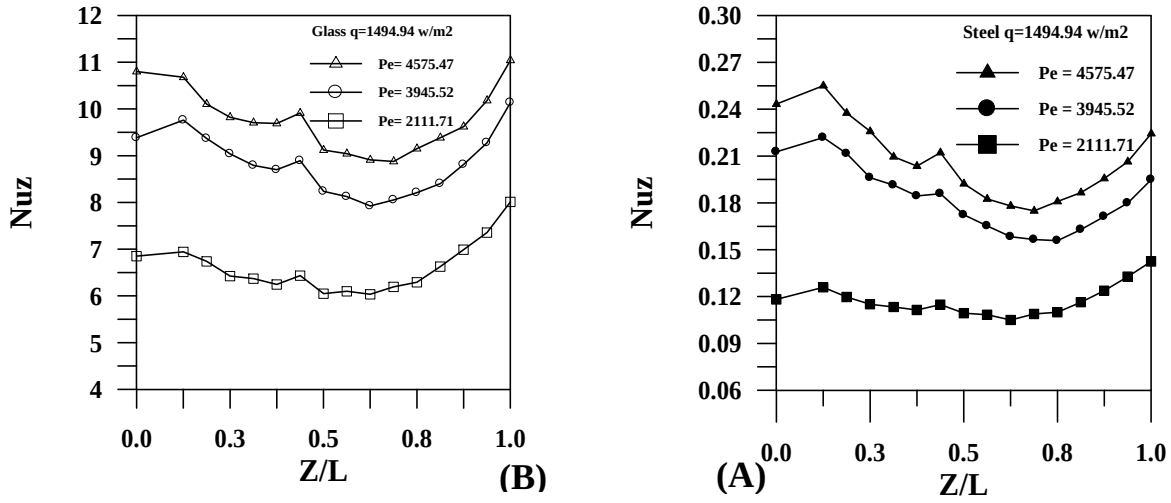
شكل (7) توزيع عدد نسلت مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية والزجاجية $\varphi = 0^o$



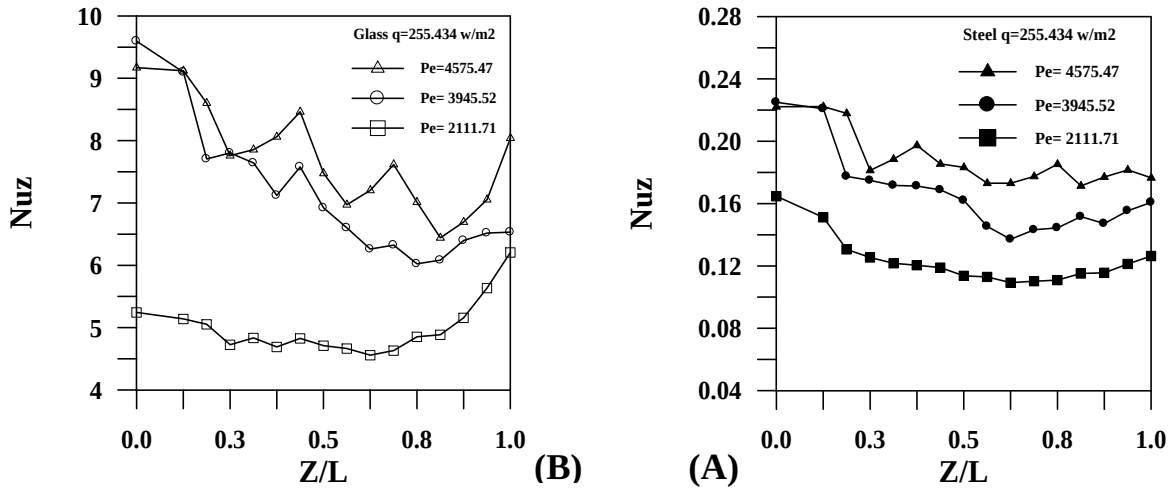
شكل (8) توزيع عدد نسلت مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية والزجاجية $\varphi = 30^o$



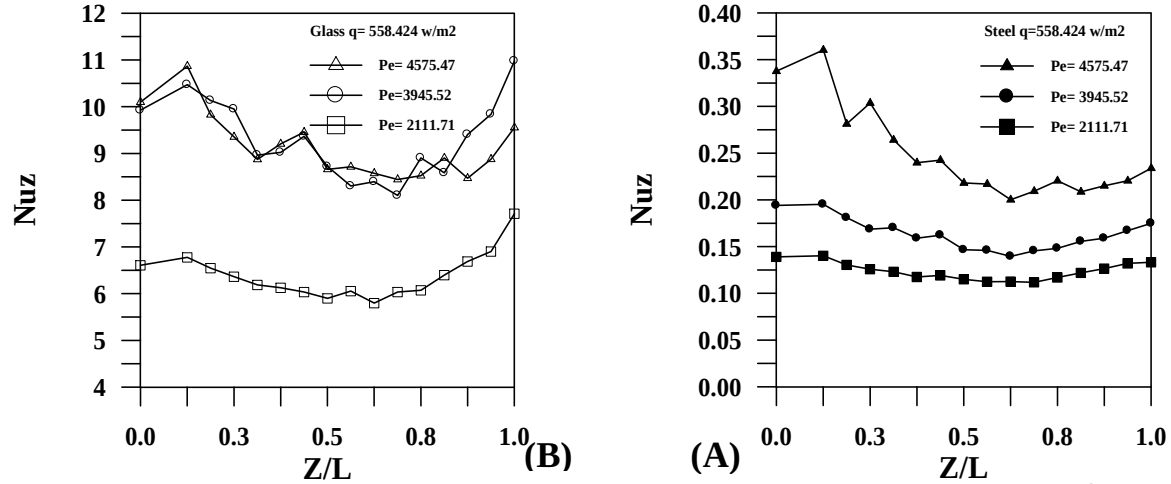
شكل (9) توزيع عدد نسلت مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية والزجاجية $\varphi = 45^o$



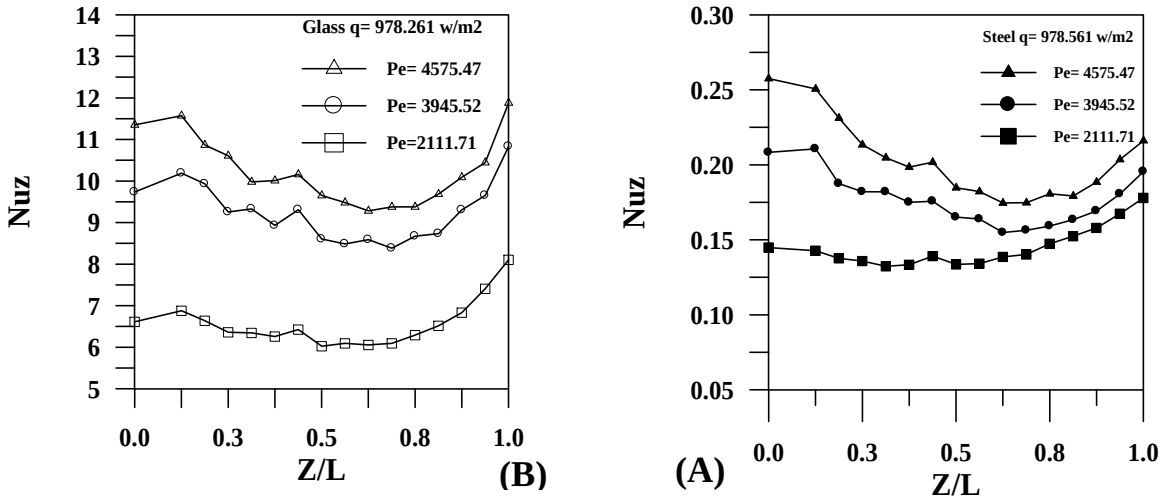
شكل (10) توزيع عدد نسلت مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية والزجاجية عند $\varphi = 60^o$



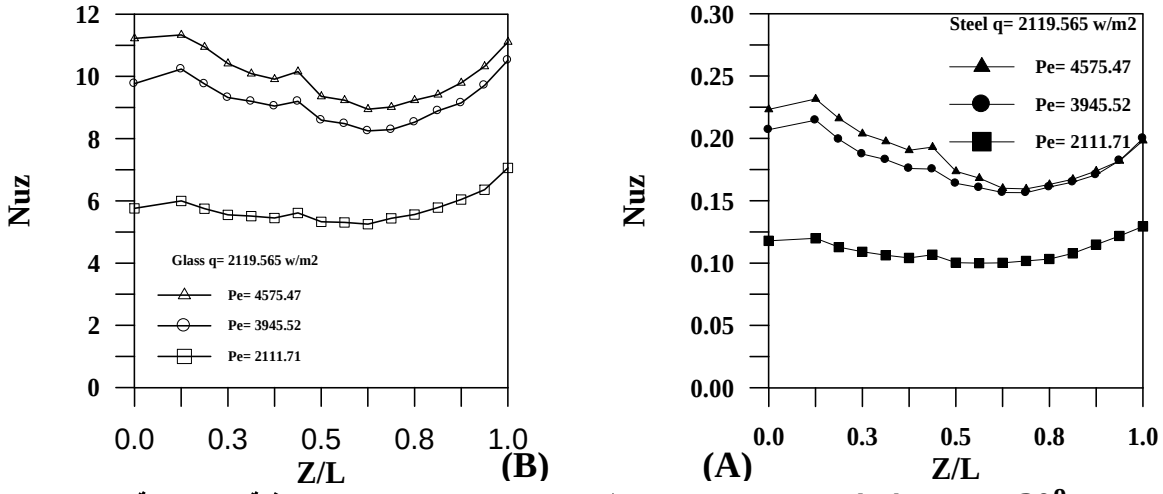
شكل (12) توزيع عدد نسلت مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية والزجاجية عند $\varphi = 30^o$



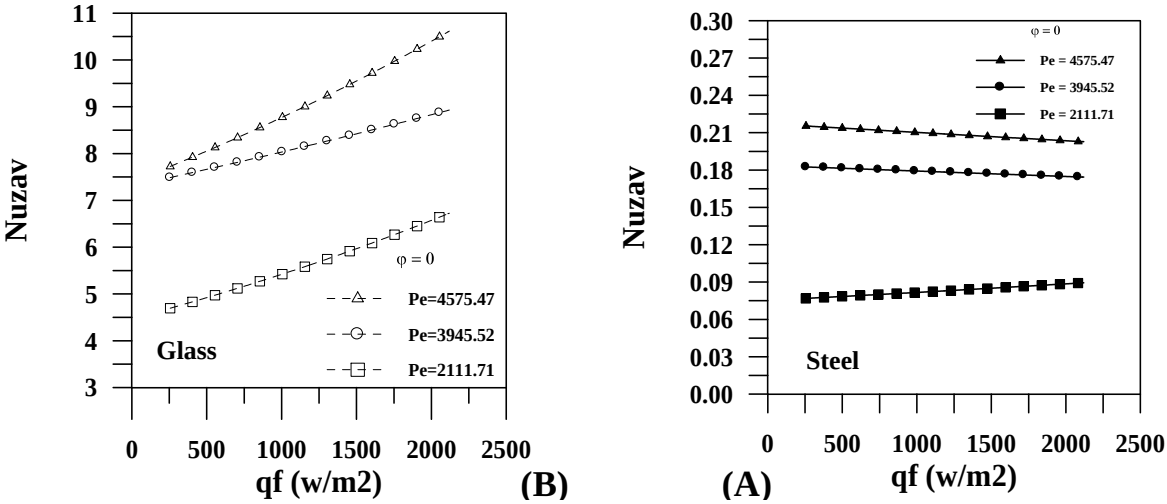
شكل (12) توزيع عدد نسلت مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية والزجاجية عند $\varphi = 30^o$



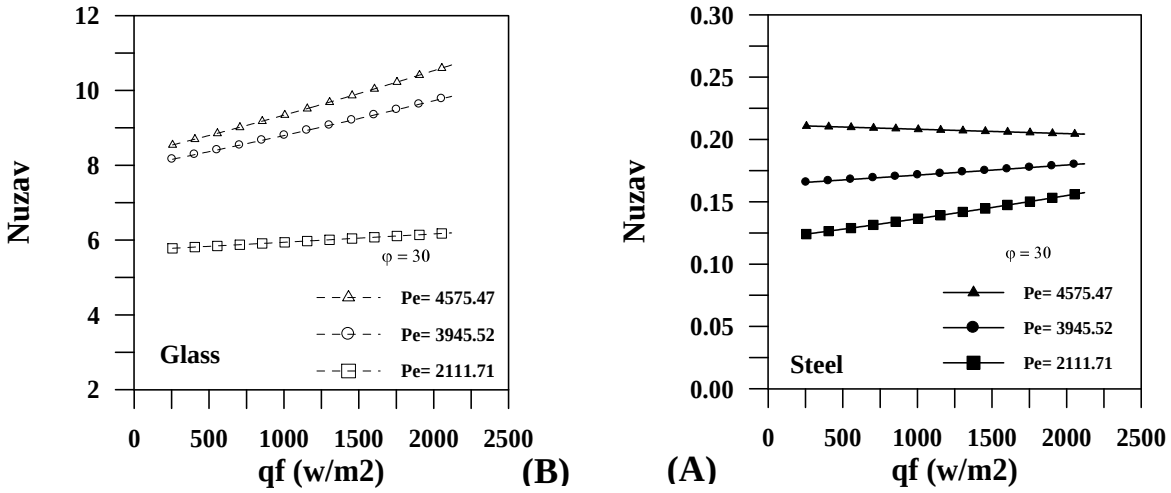
شكل (13) توزيع عدد نسلت مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية والزجاجية عند $\varphi = 30^o$



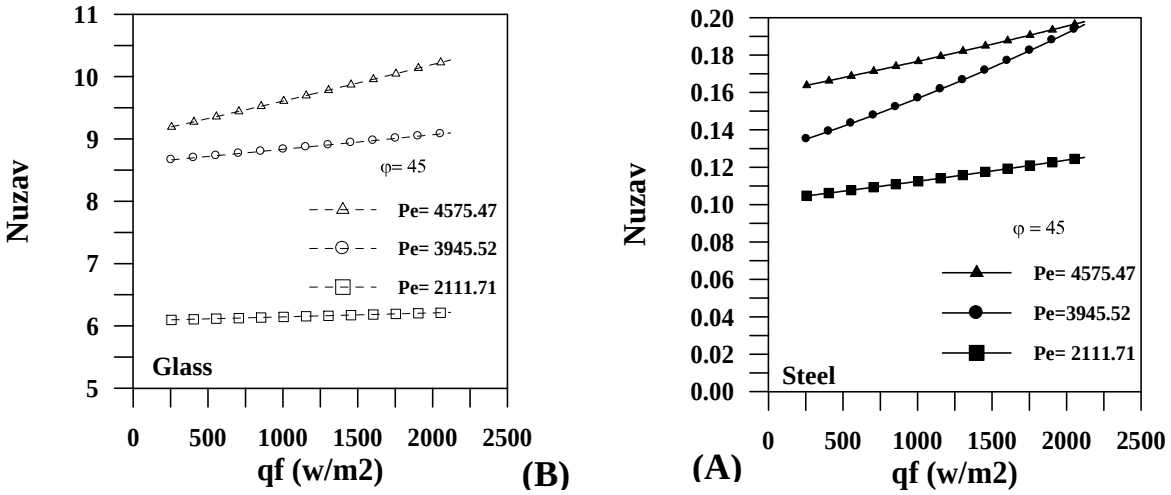
شكل (14) توزيع عدد نسلت مع طول القناة اللابعدي للكريات الفولاذية والزجاجية عند $\varphi = 30^o$



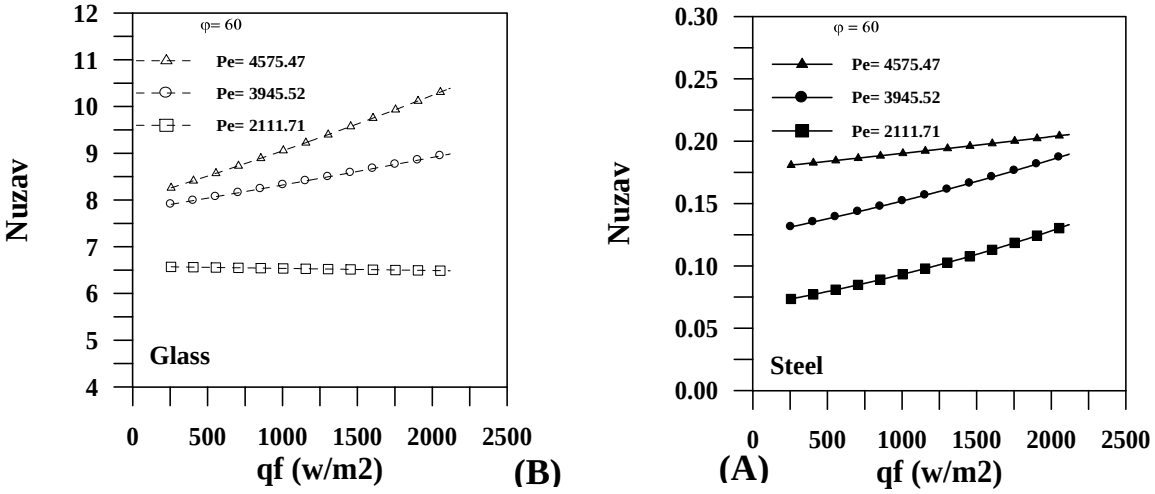
شكل (15) توزيع عدد نسلت الموقعي على طول القناة مقابل كمية الفيض الحراري للحشوتين.



شكل (16) توزيع عدد نسلت الموقعي على طول القناة مقابل كمية الفيض الحراري للحشوتين.



شكل (17) توزيع عدد نسلت الموقعي على طول القناة مقابل كمية الفيض الحراري للحشوتين.



شكل (18) توزيع عدد نسلت الموقعي على طول القناة مقابل كمية الفيض الحراري للحشوتين.

AN EXPERIMENTAL STUDY FOR HEAT TRANSFER ENHANCEMENT BY LAMINAR FORCED CONVECTION FROM HORIZONTAL AND INCLINED TUBE HEATED WITH CONSTANT HEAT FLUX, USING TWO TYPES OF POROUS MEDIA

Thamir K. Salim
Assistant Lecturer
Mechanical Engineering Department - University of Tikrit

ABSTRACT

An experimental forced laminar study was presented in this research for an air flowing through a circular channel for different angles (0^o,30^o,45^o,60^o), the channel was heated at constant heat flux , the channel also was packed with steel and glass spheres respectively . The tests were done for three values of Peclets number (2111.71,3945.42,4575.47) with changing the heat flux for each case and five times for each number.

The results showed that the dimensionless temperature distribution (θ) will decrease with increasing the dimensionless channel length for all cases with changing Peclet number, heat flux and inclination angles, and its lowest value will be for glass spheres at highest flux, while at lower flux for $(\varphi = \mathbf{0^o})$, and the decreasing in dimensionless temperature was closed for both types of packed at other inclination angles.

The study declared that the local Nusselt number decreases with increasing the dimensionless length of the channel for both packeds and for different applied heat flux, also through this study it was declared that the average Nusselt increases as Peclet number increases for both packed. Its value for the glass spheres is greater than the steel spheres with percentage (98.3%) at small Peclet, and percentage (97.2%) at large Peclet number for the horizontal tube, and (98.3%) at small Peclet number and (97.8%) at large Peclet number at $(\varphi = \mathbf{60^o})$.

Through this study its was found that average Nusselt number increases along the channel as the heat flux increases, because the bulk temperature will increase as the flow proceeds toward the end of the channel , so the heat transfer coefficient will increase. It was declared from this study that in the case of the steel packed the heat transfer will occur

mainly by conduction, while in the case of glass packed the heat transfer will occur mainly by laminar forced convection, where the lowest Nusselt number (Nu=3.8) was found when the pipe is horizontal and lowest heat flux and lowest Peclet number.

KEY WORDS: Forced Convection, circular Channel horizontal& inclined, Air, Glass & Steel Sphere
.

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.