

## دراسة نظرية وعملية للحمل ألقسري الطباقى خلال قناة دائرية المقطع ومسخنة تحت ظرف ثبوت الفيض الحرارى

عطا الله حسين جاسم

مدرس مساعد

قسم الهندسة الميكانيكية-جامعة تكريت

### الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة عملية ونظرية للحمل ألقسري الطباقى خلال قناة دائرية المقطع ومثبتة بصورة أفقية ومملوءة بوسط مسامى مشبع ومستخدماً الهواء كمائع تشغيل وذات مسامية ونفاذية ثابتتان ومسخنة تحت ظرف ثبوت الفيض الحرارى. شمل الجانب النظرى حل عددي لمعادلة الزخم ذات البعد الواحد ومعادلة الطاقة ذات البعدين وباستخدام الفروق المحددة وبتقسيمات غير متساوية في الاتجاه الشاقولي ولقيم من انحدار الضغط تتراوح بين  $10^3$  إلى  $10^6$ . أما معادلة الطاقة فاستعملت فيها الطريقة الضمنية أو الصريحة Implicit method والعملية الارتحالية Marching process لإيجاد قيم وتوزيع درجة الحرارة خلال مقاطع القناة. وتم مقارنة هذا النموذج بنموذج ذي مسامية متغيرة إذ لوحظ أن تغير المسامية وحدوث ظاهرة التحدد Channeling له تأثير واضح على زيادة معدل انتقال الحرارة و إن نسبة الزيادة في عدد نسلت تساوي 30%. و بينت الدراسة إن الزيادة في انحدار الضغط يؤدي إلى زيادة متباينة في معدل انتقال الحرارة في حين هذا التباين يختفي في منطقة تمام التشكيل الحرارى.

أجريت الاختبارات لثلاث قيم من أعداد بكليت هي (17 و 25 و 40) مع تغير كمية الحرارة المجهزة عند كل عدد. أوضحت النتائج النظرية والعملية على السواء إن معدل انتقال الحرارة بدلالة عدد نسلت إنها تزداد بزيادة عدد بكليت. كما بينت الدراسة إن التوافق بين النتائج التجريبية والنظرية جيد وبخاصة لأعداد بكليت الواطئة حيث كانت

نسبة التشتت 20% ولوحظ شذوذ النتائج التجريبية عن النظرية لأعداد بكلية العالية  
وينسبة تشتت مقدارها 40%.

### الكلمات الدالة

حمل، قسري، قناة، وسط مسامي

### الرموز المستخدمة

1م	دالة فورشماير	A
.	انحدار الضغط اللابيدي	B
.	قطر الكريات الزجاجية اللابيدي	d
م	قطر القناة	D
م	قطر الكريات الزجاجية	d <sub>p</sub>
واط ام <sup>2</sup> م <sup>0</sup>	معامل انتقال الحرارة	h
أمبير	التيار	I
م <sup>2</sup>	النفاذية	K
واط ام م <sup>0</sup>	معدل التوصيل الحراري	k
م	طول القناة	L
كغم انا	التدفق الكتلي	m
.	عدد نسلت	Nu
باسكال	الضغط	P
واطام <sup>2</sup>	كمية الحرارة لوحدة مساحة	q
.	الاحداثي القطري اللابيدي	R
م	الاحداثي القطري	r
م <sup>0</sup>	درجة الحرارة	T
م انا	مركبة السرعة الافقية	u

## الرموز المستخدمة- تابع

.	مركبة السرعة اللابعدية	U
فولت	الفولتية	V
.	الإحداثي الأفقي اللابعدية	Z
.	عدد بكايت	Pe
م <sup>2</sup> اثا	الانتشارية الحرارية المؤثرة	$\alpha_e$
.	المسامية	$\phi$
باسكال.ثا	اللزوجة الديناميكية المطلقة	$\mu$
م <sup>2</sup> اثا	اللزوجة الكينماتيكية	$\nu$
.	درجة الحرارة اللابعدية	$\theta$
.	معامل تصغير	$\sigma$

## الرموز التحتية

معدل	av
الظاهرة	a
المؤثر	b
الدخول	i
الثابتة	m
الخارج	o
السطح	s
الموقعي	z

## المقدمة

إن للأوساط المسامية العديد من التطبيقات الصناعية التي تشمل العوازل الحرارية في الابنية والمبادلات الحرارية وقلوب المفاعلات النووية والمكائن الكهربائية الضخمة، لذا

فقد حضي هذا الوسط وظواهر الانتقال فيه بالعديد من الدراسات التجريبية والنظرية وللعديد من الأشكال الهندسية المنتظمة إذ تمت دراسة نظرية للحمل ألقسري الطباقى من قبل Kaviany<sup>[1]</sup> وللجريان الداخلى خلال صفيحتين متوازيتين أفقيتين ومسختنيتين بمصدر ذي درجة سطح ثابتة ولمنطقة كاملة النمو لتوزيع السرعة ودرجة الحرارة وبينت الدراسة إن عدد نسلت يزداد بزيادة عامل الشكل Shape factor وكان قيمة عدد نسلت للقناة الفارغة يساوي (7.54) وللقناة المحشوة بوسط مسامي يساوي (9.87) عند مقارنة النتيجتين للقناة الفارغة والمملوءة يلاحظ إن هناك تحسن في انتقال الحرارة مقداره 9%. أجريت دراسة نظرية وعملية للصفحة غير النفاذة ذات درجة حرارة ثابتة من قبل Vafai<sup>[2]</sup> وآخرون، تناول الجانب النظري حل عددي لمعادلة الزخم التي تضم تأثير اللزوجة لبرنكمان وقوى القصور الذاتي للمائع والتغير بالمسامية في الاتجاه الشاقولي فقط ومعادلة الطاقة ذات البعدين بالاتجاه الشاقولي والأفقي، أما الجانب العملي فتم بناء نموذج تجريبي قابل لاستقصاء الحمل القسري باستخدام حشواتين مختلفتين ذات قطرين مختلفين (8 و5) ملم تتألفان من كريات زجاجية وقورنت النتائج النظرية مع التجريبية وكان التوافق جيد.

إن منطقة الدخول الحراري للحمل ألقسري الطباقى خلال قناة مؤلفة من صفيحتين متوازيتين وموضوعتين بصورة أفقية ومسختنيتين بمصدر حراري ذي درجة حرارة سطح ثابتة درست نظريا وتجريبيًا من قبل Renken, Poulikakos<sup>[3]</sup> إذ ملئت هذه القناة بحشوة مؤلفة من كريات زجاجية، استخدم النموذج ألا دارسي في التحليل النظري وبفرض أن الوسط المسامي متجانس ومتزن حراريا وبينت هذه الدراسة إن طول وسمك الطبقة المتاخمة الحرارية تعتمد على العامل (B) الذي يمثل انحدار الضغط ألابعدي وتمت مقارنة النتائج التجريبية مع النتائج النظرية لعدد نسلت فكانت نسبة الخطأ لا تتجاوز 6%.

قام الباحث Hadim<sup>[6]</sup> بدراسة نظرية للجريان الداخلى للحمل القسري الطباقى بين صفيحتين متوازيتين ومسختنيتين موضعيا وتحت ظرف ثبوت الفيض الحراري للصفحة

السفلى. إن المناطق المحصورة بين مصادر التسخين للصفحة السفلى عدت سطحا اديباتيا إذ شمل الحل العددي حالتين مختلفتين، الحالة الأولى لقناة مملوءة كلياً بالمادة المسامية المشبعة، أما الحالة الثانية فقد ملئت جزئياً بالمادة المسامية المشبعة وفي مناطق التسخين الموضعي. وقد لوحظ من النتائج المستحصلة انه كلما قل عدد دارسي زادت كمية الحرارة المنتقلة ولاسيما في بداية القناة.

أما الحمل القسري الطباقى للجريان الداخلى لقناة مستطيلة المقطع وموضوعة بصورة أفقية ومسخنة بفيض حراري ثابت ومحشوة بكرات مكونة من سبيكة البرونز ذات التوصيل الحراري عالي لأقطار (0.75 و 1.52) ملم درست من قبل الباحثان Hwang و Chao<sup>[7]</sup> إذ استخدم الهواء بوصفه مائعاً مشبعاً وحسب عدد نسلت الموقعي على طول محور القناة لمنطقتي الدخول وكاملة النمو الحراريتين. أما الجانب النظري فتناول حل عددي لمعادلة الزخم التي تضم حد تأثير الزوجة ليرنكمان وحد مربع السرعة لفور شماير ومعادلة الطاقة وباستخدام الفروقات المحددة وتم مقارنة النتائج النظرية مع النتائج التجريبية وكان التوافق جيد.

إن ظاهرة الحمل المختلط والحمل القسري قد درست عملياً ونظرياً من قبل الباحث Chau و اخرون<sup>[8]</sup> وخلال 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 Al-Althaher و Al-Jassim<sup>[10]</sup> دراسة نظرية وعملية للحمل القسري الطباقى خلال قناة أفقية ومملوءة بوسط مسامي مكون من كرات زجاجية ذات معدل قطر يساوي 4 mm ومسخنة من الخارج تحت ظرف ثبوت الفيض الحراري ومستخدم الماء كمائع مشبع. بينت الدراسة النظرية تأثير ظاهرة التخذد (channeling) على مجالي السرعة ودرجة الحرارة وهذا أدى إلى زيادة واضحة في معدل انتقال الحرارة في منطقة تمام التشكيل الحراري وكذلك بينت الدراسة أيضاً ان التشتت في عدد نسلت

بين النتائج العملية والنظرية لأعداد بكلية القليلة يساوي 10% بينما تشذ القيم عند أعداد بكلية العالية فكانت نسبة التشتت تساوي 40%.  
 قام الباحثان Joo-Sikyo و William W.Schutz<sup>[11]</sup> دراسة نظرية للحمل الحراري (Thermal Convective) خلال قناة مكونه من صفيحتان أفقيتان ومتوازيتان وذات طول محدد مملوءة بوسط مسامي مشبع لمنطقة تمام التشكيل الحراري، وبشروط حدية عند السطح متغيرة درجة الحرارة على شكل موجة جيبيية (Sinusoidal) وبعد تحويل معادلات الزخم والطاقة إلى معادلات لا بعدية ظهر معاملي تحكم هما عدد رالي والعدد الموجي (wave number) وبينت الدراسة اكبر كمية للحرارة المنقلة عند عدد موجي يساوي 2.286 .

### النموذج الرياضي والحل العددي

إن المعادلات الحاكمة للجريان وانتقال الحرارة بالحمل القسري خلال وسط مسامي مشبع وكما هو معروف هما معادلتا الزخم والطاقة. معادلة الزخم للجريان القسري الطباقى خلال قناة دائرية المقطع ومملوءة بوسط مسامي مشبع وموضوعة بصورة أفقية وللحالة المستقرة ويفرض إن السرعة كاملة النمو، وبإهمال حد الحمل (convective term) تصبح أحادية البعد وكالاتي:

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \frac{\nu}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{du}{dr} \right) - \frac{\nu}{K} u - A * u^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$K = \frac{d_p^2 \phi}{175(1-\phi)^2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$A = \frac{1.75(1-\phi)}{\phi^3 d_p^2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

إذ تحسب  $\phi$  عمليا وتساوي 0.367<sup>[9]</sup> .

أما معادلة الطاقة للجريان القسري الطبقي خلال قناة دائرية المقطع ومملوءة بوسط مسامي مشبع وموضوعة بصورة أفقية وللحالة المستقرة وثابت الخواص الفيزيائية ومتناظر التوصيل الحراري بالاتجاه الزاوي وبإهمال حد التوصيل الحراري بالاتجاه الزاوي وكذلك إهمال حد التوصيل الحراري بالاتجاه المحوري فإنها تأخذ الصيغة الآتية.<sup>[3]</sup>

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{u}{\alpha_e} \frac{\partial T}{\partial z} \quad \dots\dots\dots(4)$$

### الصيغ الابعدية لمعادلة الزخم والطاقة

معادلة الزخم والطاقة من الممكن تحويلها الى صيغ لابعدية باستخدام المتغيرات الاتية<sup>[10,3]</sup>.

$$U = \frac{u}{v/r_o}, R = \frac{r}{r_o}, Z = \frac{z}{r_o \cdot pr}, \theta = (T - T_i) \frac{k_e}{q \cdot r_o}, d = \frac{d_p}{r_o}$$

وبإدخال هذه المتغيرات بمعادلة الزخم تصبح كالاتي.

$$0 = C \cdot B + C \left( \frac{d^2 U}{dR^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{dU}{dR} \right) - U - C_1 \cdot U^2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

وشروط حدية

$$U(1) = 0 \quad \dots\dots\dots(5a)$$

$$\frac{\partial U(0)}{\partial R} = 0 \quad \dots\dots\dots(5b)$$

$$C = \frac{d^2 \phi^3}{175(1-\phi)^2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$C_1 = 10^{-2} \frac{d}{(1-\phi)} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$B = -\frac{dp}{dz} \cdot \frac{r_o^3}{\rho v^2} \quad \dots\dots\dots(8)$$

أما معادلة الطاقة فيمكن تحويلها الى صيغة لابعدية بإدخال المتغيرات الابعدية فيها فتصبح كالاتي.

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left( R \frac{\partial \theta}{\partial R} \right) = U \frac{\partial \theta}{\partial Z} \quad \dots\dots\dots(9)$$

وبشرط دخول

$$\theta(R,0) = 0 \quad \dots\dots\dots(9a)$$

وبشروط حدية

$$\frac{\partial \theta(1,Z)}{\partial R} = 1 \quad \dots\dots\dots(9b)$$

$$\frac{\partial \theta(0,Z)}{\partial R} = 0 \quad \dots\dots\dots(9c)$$

بعد الحصول على توزيع درجات الحرارة خلال مقطع القناة من الممكن حساب درجة حرارة المائع الظاهرية  $\theta_b$  من المعادلة الآتية .

$$\theta_b = \frac{\int_0^1 U \theta R dR}{\int_0^1 U R dR} \quad \dots\dots\dots(10)$$

أما معادلة عدد نسلت الموقعي فيحسب من المعادلة الآتية .

$$Nu_z = \frac{2}{(\theta_s - \theta_b)_z} \quad \dots\dots\dots(11)$$

يستخرج توزيع درجة حرارة المائع الثابتة ،وهي نسبة درجة حرارة المائع إلى درجة حرارة المائع الظاهرية والتي يمكن حسابها من المعادلة الآتية .

$$\theta_m = \frac{\theta}{\theta_b} \quad \dots\dots\dots(12)$$

### المنشأ التجريبي

المنشأ التجريبي موضح تخطيطيا في الشكل (1)، إذ يتألف من قناة دائرية المقطع ( أنبوب من النحاس) بقطر داخلي وخارجي 46 ملم و 52 ملم على التوالي



ويطول 850 ملم تجهز القناة بالهواء بواسطة دافعة هواء (منفاخ) (Blower) ذو سرعة دورانية مقدارها (2500rpm) دورة/دقيقة ويعمل بفولتية متناوبة مقدارها 220 فولت وتم تثبيت هذه الفولتية بواسطة مثبت الفولتية (stabilizer)، أما الحشوة المسامية والمؤلفة من كريات من ألا لومينا ذات قطر مقداره 4 ملم وموصلية حرارية 40 واط ام °م وذات مسامية تساوي (0.366) وثبتت هذه الحشوة داخل القناة بحصرها بين قرصين نفاذين مصنوعة من الحديد المغلون .

قيست درجة حرارة سطح القناة باستخدام 19 مزدوج حراري مثبتة على طول القناة 16 مزدوج منها لقياس درجة حرارة سطح القناة لمقطع الاختبار ومزدوج واحد لقياس درجة حرارة الدخول ومزدوجان لقياس درجة حرارة الخروج .سخن مقطع الاختبار كهربائيا بلفه بمقاومة كهربائية حول القناة بطول 28 م وبمقاومة مقدارها 1 اومام ولزيادة القدرة المجهزة لمقطع الاختبار فقد عزل حراريا بلفه بطبقة من الصوف الزجاجي بسمك 100ملم أما طرفي القناة فقد عزلت كهربائيا وحراريا باستخدام قطعتين من النفلون مصنوع من مادة اللبنايت العازل والمقاوم لدرجة الحرارة وكذلك لتقليل المفاوqid الحرارية بالاتجاه المحوري. وحشي مقطع الدخول بالمادة المسامية بطول 150ملم 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 220 فولت ،ولقياس التيار المار خلال المسخن فقد استخدم جهاز اميتر وبدقة (  $10^{-4}$  ) أمبير. استخدمت الصفيحة المثقوبة (Orifice flow) لقياس تدفق الهواء خلال مقطع الاختبار استخدمت أنبوبة بتوت الساكنة (Petot static tube) لمعايرة الصفيحة. أما فرق الضغط المتولد عبر الصفيحة المثقوبة فقد تم قياسه باستخدام مرواز ضغط تفاضلي على شكل الحرف U وأستخدم الماء كسائل للقياس.

وكانت درجة حرارة الهواء الداخل إلى مقطع الاختبار ضمن مدى (20-24) وطريقة الاختبار يمكن توضيحها بالشكل الآتي.

- 1-تشغل دافعة الهواء لتزويد مقطع الاختبار بالهواء ومن الممكن التحكم بكمية الهواء بواسطة صمام كروي موضوع قبل مقطع الاختبار.
- 2-يزود مقطع الاختبار بكمية الحرارة وتنظم بواسطة محولة متغيرة.
- 3-يترك الجهاز لمدة ( 30-35 ) دقيقة للوصول إلى حالة الاستقرار حيث تؤخذ القراءات لدرجات حرارة سطح القناة والهواء الداخل والخارج ودرجة حرارة المحيط وكمية الحرارة المجهزة للمسخن.

أما قطر حبيبات ألحشوه المسامية فقد تم قياسها ووجد إنها تساوي 4ملم ومسامية هذه الحشوة حسبت عمليا وهي تساوي 0.366 وعند مقارنة هذه القيمة بالقيمة المستحصل عليها من المعادلة الآتية [10] ..

$$\phi = 0.32 + \left( 0.45 * \left( \frac{d_p}{D} \right) \right) \dots\dots\dots(13)$$

والتي تساوي 0.367 وعند المقارنة لا يوجد فرق كبير بين القيمتين فقد اعتمد في الحسابات على القيمة المستحصل عليها عمليا أما نفاذية الوسط المسامي فقد حسبت على أساس قطر الحبيبة ومسامية الحشوة والتي عدت ثابتة خلال الوسط المسامي ومن خلال معادلة تجريبية شائعة الاستخدام في التجارب العملية للوسط المسامي [13,12] وهناك العديد من التغيرات من الممكن حساب بعضها موقعا مثل معامل انتقال الحرارة وعدد نسلت ولآخر وسطي مثل عدد بكليت وحيث يمكن حساب معامل انتقال الحرارة الموقعي بواسطة المعادلة الآتية

$$h_z = \frac{q}{(T_s - T_b)_z} \dots\dots\dots(14)$$

في حين من الممكن ان تحسب كمية الحرارة Q (واط) كالآتي

$$Q = mC_p (T_o - T_i) \dots\dots\dots(15)$$

اما كمية الحرارة المتولدة عبر المسخن E (واط) فإنها تساوي

$$E=I*V \quad \dots\dots\dots(16)$$

وعند المقارنة بين كمية الحرارة المتولدة عبر المسخن وكمية الحرارة المسحوبة من قبل الهواء وجد بأنها تساوي 5% وذلك يعود للعزل الجيد بواسطة الصوف الزجاجي ولموصلية قناة النحاس العالية.

كما حسب عدد نسلت الموقعي من المعادلة الآتية

$$Nu_z = \frac{h_z D}{k_e} \quad \dots\dots\dots(17)$$

إذ  $k_e$  معامل التوصيل الحراري المؤثر للوسط المسامي والذي يمكن حسابه من المعادلة الآتية [4]

$$k_e = \phi k_f + (1 - \phi) k_s \quad \dots\dots\dots(18)$$

إذ  $k_s$  و  $k_f$  الموصلية الحرارية للمائع والصلب على التوالي و أما عدد بكليت فقد حسب من المعادلة الآتية.

$$Pe = \frac{V d_p}{\alpha_e} \quad \dots\dots\dots(19)$$

حيث ان  $V$  معدل السرعة و  $\alpha_e$  الانتشارية الحرارية المؤثرة وتحسب من المعادلة الآتية

$$\alpha_e = \frac{k_e}{\rho C_p} \quad \dots\dots\dots(20)$$

كما حسب معدل عدد نسلت من المعادلة الآتية

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

أجريت ثلاث اختبارات لأعداد بكلية ( 17 و 25 و 40 ) وثبت عدد بكلية في كل اختبار مع تغير كمية الحرارة المجهزة وتم رسم تغير درجة حرارة السطح مع طول القناة لكل اختبار وكذلك عدد نسلت الموقعي مع طول القناة.

## النتائج والمناقشة

### النتائج النظرية

يوضح الشكل (2) توزيع السرعة عبر نصف قطر القناة، ولقيم مختارة من B وبمسامية ونفاذية ثابتة مع نصف قطر القناة. وهذا يؤثر على مقدار وشكل توزيع السرعة في منطقة الجدار تكون السرعة صفر ولكن الجريان غير انزلاقي بفعل اللزوجة تتكون طبقة نحيفة من المائع تسمى الطبقة المتاخمة الهيدروليكية ملاصقة للجدار في منطقة 2% من نصف قطر القناة ومقاسه من الجدار وان شكل السرعة يتبع منحنى القطع المكافئ في جريان بويزلي في منطقة ضيقة جدا في الطبقة المتاخمة بينما تبدأ بالتسطح وبقيمة ثابتة والذي يأخذ شكلها جريان دارسي. إما الشكل (3) يمثل المقارنة بين النموذج المدروس مع نموذج ذي مسامية ونفاذية متغيرة ووجد إن الفرق في السرعة عند القيمة العظمى ولنفس قيمة B تساوي  $\Delta U=30$  وهذا الفرق ناتج من حدوث ظاهرة التحدد Channeling والتي سببها المسامية والنفاذية المتغيرة. ويبين الشكل (4) تغير درجة حرارة المائع الظاهرية مع درجة حرارة سطح القناة وعلى طول محور القناة وان تغير درجة حرارة سطح المائع الظاهرية هي علاقة خطية مع طول القناة ، أما درجة حرارة سطح القناة فتبدأ بالزيادة الغير خطية في منطقة الدخول الحراري ثم تتحول إلى علاقة خطية موازية لدرجة حرارة المائع الظاهرية وهذا يحدث في منطقة تمام التشكيل الحراري. والشكل (5) يبين توزيع درجة حرارة المائع ول مقاطع مختلفة على طول القناة ومن الملاحظ إن انحدار درجة الحرارة في منطقة الدخول الحراري ولنفس المقطع يساوي صفر خارج الطبقة المتاخمة ويكون اكبر من صفر داخل الطبقة المتاخمة ولكن اقل قيمة من انحدار درجة الحرارة لمقطع آخر على طول القناة وفي منطقة تمام التشكيل الحراري ويثبت هذا الانحدار في

منطقة تمام التشكيل الحراري ولعدة مقاطع أخرى خارج منطقة الدخول الحراري، وان الشكل (6) يمثل المقارنة لدرجة حرارة المائع عند  $B=10^6$  و  $Z=2$  للنموذج المدروس بمسامية ونفاذية ثابتتين مع نموذج آخر ذي مسامية ونفاذية متغيرتين ويلاحظ من الشكل ان قيمة درجة الحرارة للنموذج العام اكبر من درجة الحرارة للنموذج المدروس بفعل المسامية المتغيرة وحدث ظاهرة التخدد وهذا يزيد اكتساب المائع الجاري في القناة كمية من الحرارة. الشكل (7) يمثل توزيع درجة حرارة المائع الثابتة ولمقاطع مختلفة على طول القناة ويلاحظ انحدار درجة الحرارة يقل كلما زاد الابتعاد عن منطقة الدخول الحراري ولكن هذا الانحدار يتساوى ولجميع المقاطع وعلى بعد 17% مقاسا من جدار القناة، وأما الشكل (8) يمثل تغير عدد نسلت مع طول محور القناة ولعدة قيم مختارة من انحدار الضغط تتراوح

بين  $(10^3$  الى  $10^6)$  أذ يبدأ بقيمة عالية في بداية منطقة الدخول الحراري نتيجة للفرق القليل بين درجة حرارة السطح ودرجة حرارة المائع الظاهرية، وهذا يعني نحافة في سمك الطبقة المتاخمة الحرارية وتستمر الزيادة في الفرق بين درجة حرارة السطح ودرجة حرارة المائع الظاهرية والذي يتبعه نقصان في عدد نسلت على طول محور القناة الى أن يثبت هذا الفرق في منطقة تمام التشكيل الحراري وهذا يعني زيادة في سمك الطبقة المتاخمة الحرارية إلى ان يصبح سمكها بقدر نصف قطر القناة في منطقة تمام التشكيل الحراري. ان الشكل (9) يمثل مقارنة لقيم عدد نسلت للنموذجين في منطقة الدخول الحراري ومنطقة تمام التشكيل الحراري ولانحدار ضغط يساوي  $10^6$  ويلاحظ إن هناك فرق في طول وسمك الطبقة المتاخمة الحرارية للنموذجين ففي النموذج العام هناك زيادة في الفرق بنسبة 25% عن النموذج المدروس وهناك نسبة زيادة في عدد نسلت مقدارها 30% عن النموذج المدروس ايضا وفي منطقة تمام التشكيل الحراري.

إن تغير درجة حرارة السطح على طول القناة موضح بالأشكال (10 و 11 و 12) إذ يبدأ توزيع درجة الحرارة بالزيادة غير الخطية في منطقة الدخول الحراري ثم تأخذ بالاستقامة بعض الشيء في منطقة تمام التشكيل الحراري، وان شكل توزيع درجة الحرارة هو معكوس عدد نسلت الموقعي على طول محور القناة، وما تغير عدد نسلت الموقعي وعلى طول محور القناة موضح بالأشكال (13 و 14 و 15) ومن ملاحظة الأشكال أن عدد نسلت تكون قيمة كبيرة في منطقة الدخول الحراري لقلة المقاومة الحرارية الناتجة عن نحافة سمك الطبقة المتاخمة الحرارية وعلى العكس يبدأ بالتناقص نتيجة زيادة المقاومة الحرارية إلى أن يثبت في منطقة تمام التشكيل الحراري.

أما الشكل (16) فيمثل مقارنة بين النتائج التجريبية والنظرية ويلاحظ إن التوافق عند أعداد بكليت الواطئة جيد وبنسبة انحراف مقداره 14% أما عند أعداد بكليت العالية فهناك انحراف مقداره 20%.

### الاستنتاجات

1- أعظم سرعة تحدث عند موقع 2% من نصف قطر القناة مقاسا من جدار القناة.  
2- إن طول وسمك منطقة الدخول الحراري يعتمد اعتمادا كليا على كمية الحرارة المجهزة وانحدار الضغط عبر طرفي القناة فكلما كانت كمية الحرارة المجهزة اكبر بثبوت انحدار الضغط كلما كان طول منطقة الدخول الحراري اقصر وسمك اكبر، أما إذا تم تثبيت كمية الحرارة المجهزة وكان انحدار الضغط كبير فانه يسبب زيادة في طول منطقة الدخول الحراري ونحافة في سمك الطبقة المتاخمة.

15

23-15

3- هناك توافق جيد لعدد نسلت بين النتائج العملية والنظرية في منطقة تمام التشكيل الحراري وبخاصة لأعداد بكليت الواطئة إذ كانت نسبة التشتت تساوي 15% في حين تشذ هذه القيم بمقدار يساوي 40% لأعداد بكليت العالية.

4- تحدد منطقة الحمل القسري للقيم المحصورة لكمية الحرارة المزودة للمائع والتي تساوي  $q=1945 \text{ w/m}^2$  و  $q=5350.5 \text{ w/m}^2$  في حين تحدد منطقة الحمل المختلط لكمية الحرارة والتي تكون اكبر من  $q=5350.5 \text{ w/m}^2$  عند أعداد بكليت مختلفة.

### التوصيات

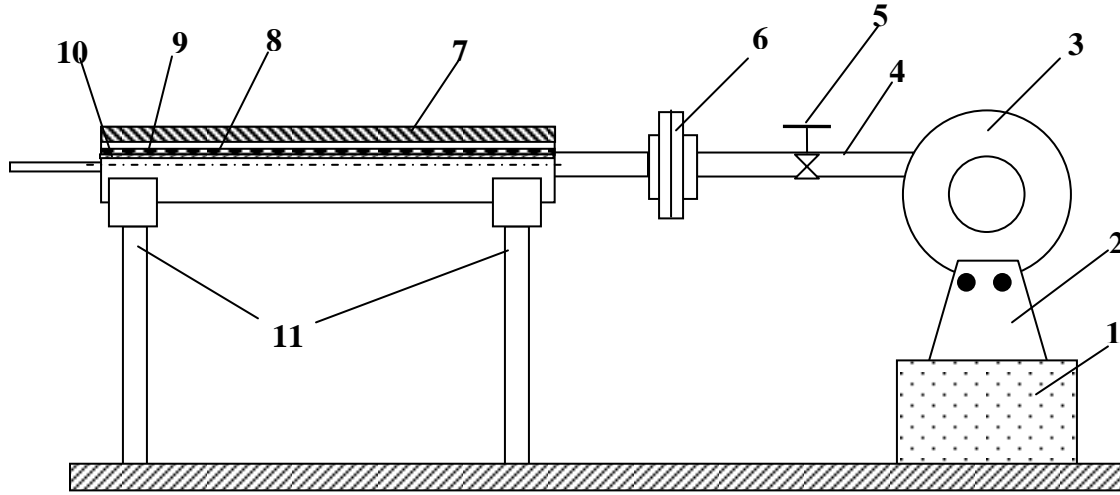
- 1- دراسة نظرية وعملية لنفس النموذج باستخدام حشوات من نوع اخر.
- 2- دراسة نظرية لنفس النموذج مع إدخال تأثير التشتت الحراري في معادلة الطاقة.
- 3- دراسة نظرية بأخذ حشوه بأحجام مختلفة.

### المصادر

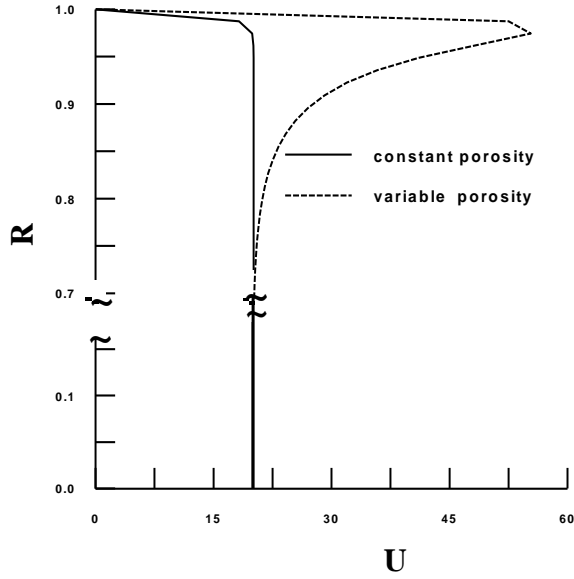
- 1- Kaviany, M., " Laminar Flow Through a Porous Channel Bounded By Isothermal Parallel Plate", Int.J.H.M.T, Vol. 28, No. 4, pp. 851-858., 1984.
- 2- Vafai, K. et al. , " An Experimental Investigations of Heat Transfer in Variable Porosity Media" , ASME J.H.T, Vol. 107, pp. 642- 647., 1985.
- 3- Poulikakos, D., and Renken, K. , " Forced convection in a Channel Filled with Porous Medium, Including The Effect of Flow Inertia, Variable porosity , and Brinkman Friction", ASME J.H.T, Vol. 109, pp 880-888., 1987.
- 23-16 4- Renken, K.J., and Poulikakos, D., " Experimental and Analysis of Forced Convection Heat Transfer in a Packed bed of Spheres, Int. J.H..M. Vol 30 ,No. 7, pp 1399-1408., 1987.
- 5- Renken, K.J., and Poulikakos, D., " Experiments on Forced Convection form a Horizontal Heated Plate in a Packed bed of Glass Spheres, ASME J.H..M. Vol 111 , pp 59- 65. 1989.

- 6- Hadim, A., "Forced Convection in a Porous Channel with Localized Heat Source", ASME J.H.T.vol, 116, pp 465-472., 1994.
- 7- Hwang.G.J., and Cho,C.H., "Heat Transfer Measurement and analysis for Sintered Porous Channel", ASME J.H.T. vol.114 , pp. 456-464., 1994.
- 8- 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.
- 9- Kaviany,M. , " Principles of Heat Transfer in Porous Media",Springer-Verag Newyork,,2<sup>th</sup> Edition, 1999.
- 10- 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 Univ.Eng.Sei.Vol.9,No.1,pp.41-59., 2002.
- 11- Yoo,J.S. and Schultz,W.W., "Thermal Convection in Horizontal Porous Layer With Spatially Periodic Boundary Temperature: Small Ra Flow", Int. J.H..M. Vol. 46 ,No. 7, pp 4747-4750., 2003.

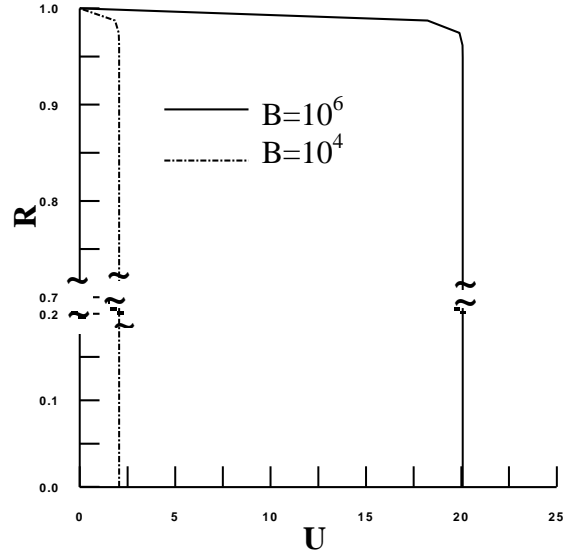




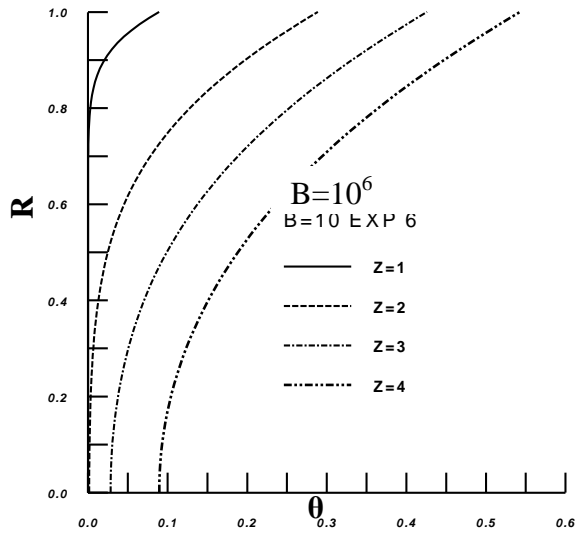
شكل (1) رسم تخطيطي للجهاز التجريبي بضمنه مقطع الاختبار نصف مقطوع.  
 1- قاعدة كونكريتية، 2- قاعدة المنفاخ، 3- منفاخ (Blower)، 4- أنبوب توصيل، 5- صمام التحكم في السرعة،  
 6- شفة حديدية (flange)، 7- صوف زجاجي، 8- قطعة من قماش الاسبستوس، 9- مقاومة حرارية، 10- أنبوب نحاس، 11- حامل حديدي.



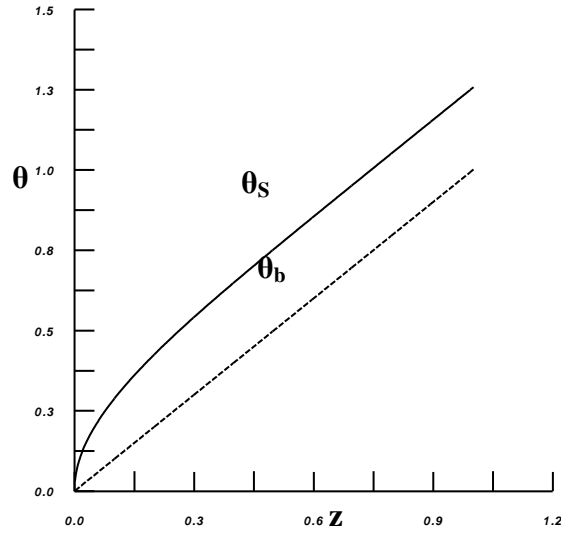
شكل (3) مقارنة توزيع السرعة اللاحدية مع نصف قطر القناة اللاحدي للنموذجين لأنحدار ضغط لاحدي  $R=10^6$



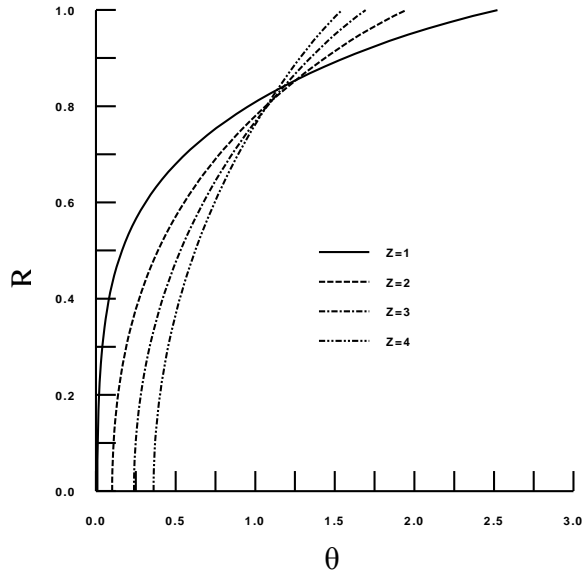
شكل (2) توزيع السرعة اللاحدية مع نصف قطر القناة اللاحدي.



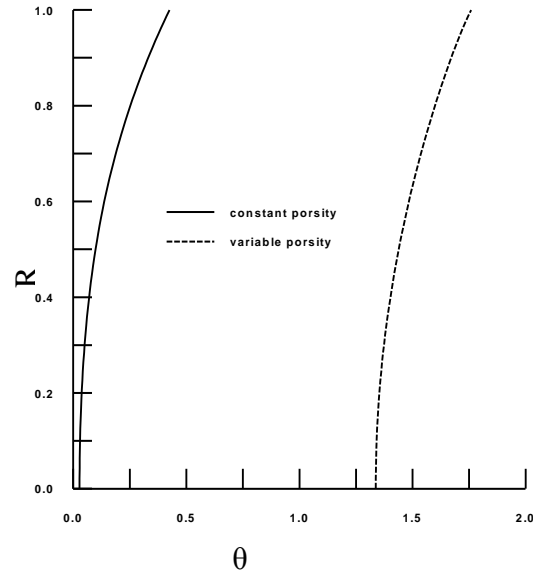
شكل (5) توزيع درجة حرارة المانع عند مقاطع مختلفة على طول القناة .



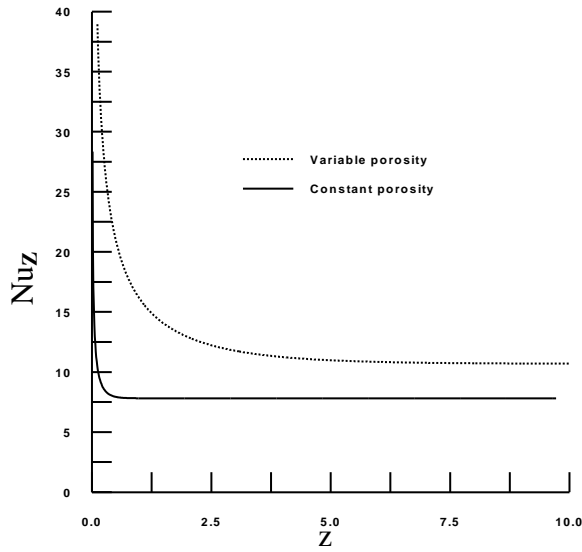
شكل (4) تغير درجة حرارة المانع الظاهرية والسطح على طول القناة.



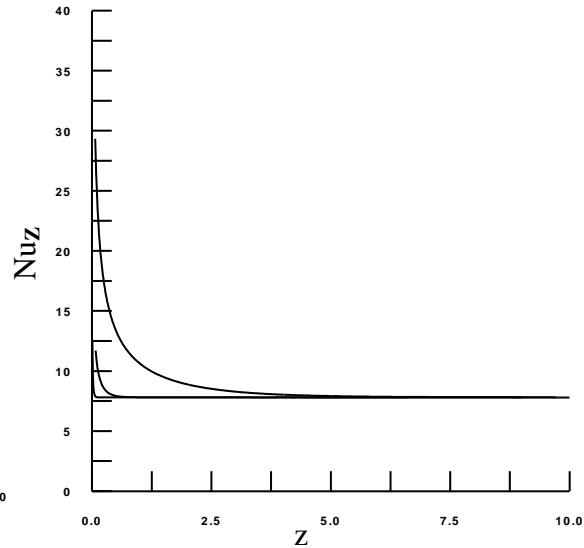
شكل (7) توزيع درجة المسامية مع نصف قطر القناة للنموذجين في منطقة تمام التشكيل الحراري لأنحدار ضغط لابعدي  $B=10^6$ .  $Po=5$



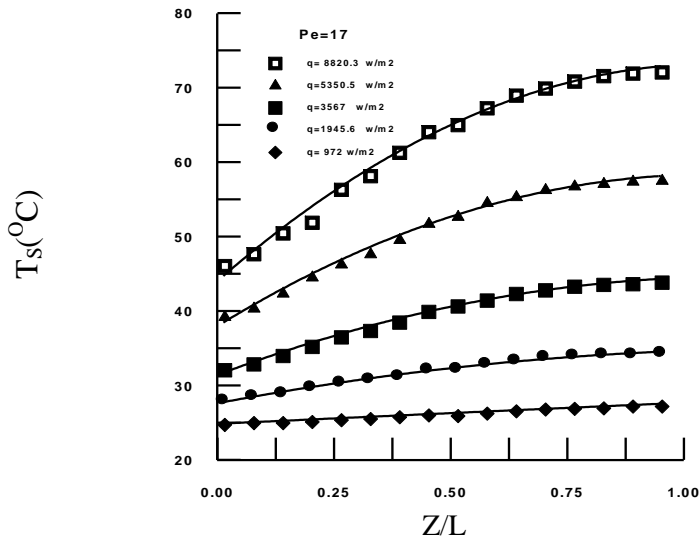
شكل (6) توزيع درجة حرارة المانع مع نصف قطر القناة للنموذجين في منطقة تمام التشكيل الحراري لأنحدار ضغط لابعدي  $B=10^6$ .



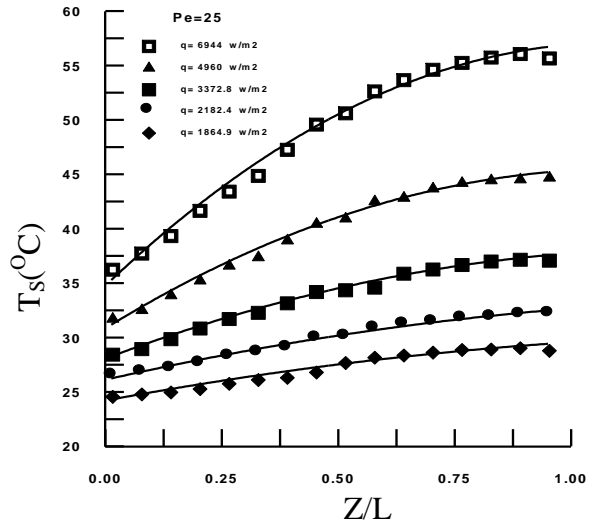
شكل (9) تغير عدد نسلت مع طول القناة للنموذجين.



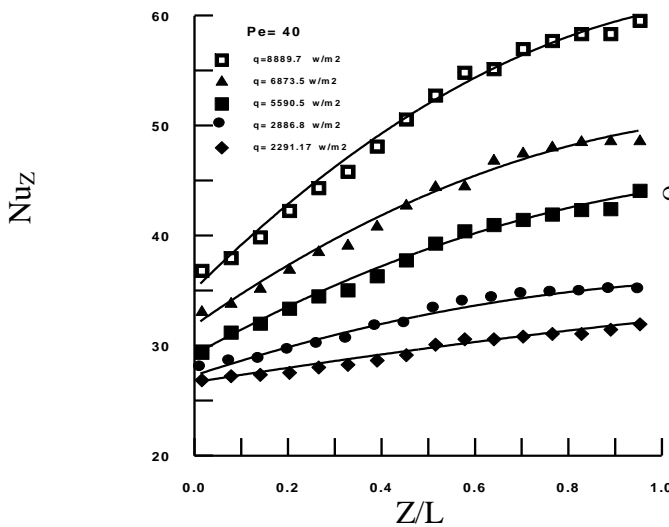
شكل (8) تغير عدد نسلت مع طول القناة.



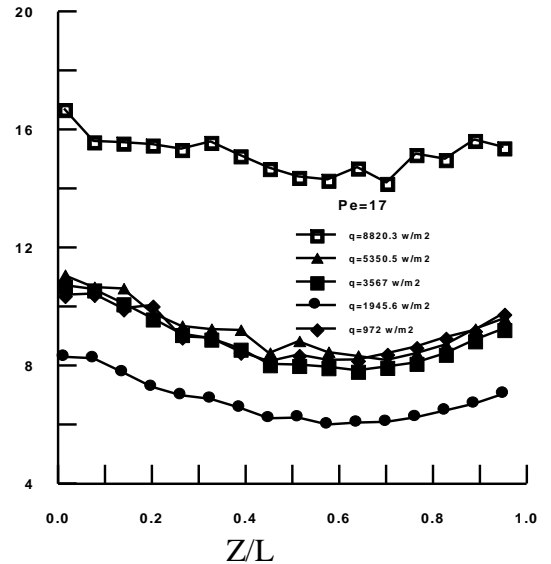
شكل (11) تغير درجة حرارة السطح مقابل النسبة  $Z/L$  لكمية مختلفة من الفيض الحراري.



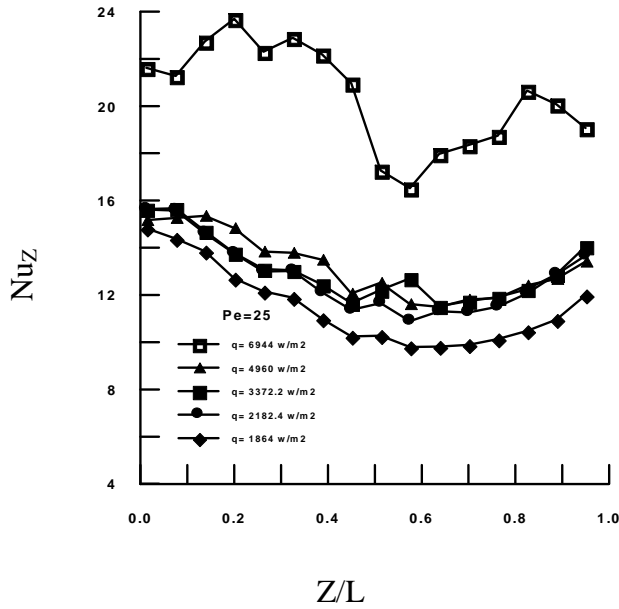
شكل (10) تغير درجة حرارة السطح مقابل النسبة  $Z/L$  لكمية مختلفة من الفيض الحراري.



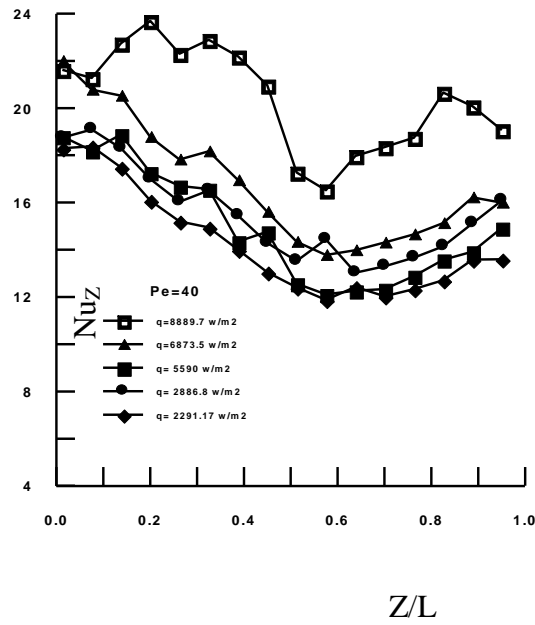
شكل (13) تغير عدد نسلت مقابل النسبة  $Z/L$  لكمية مختلفة من الفيض الحراري.



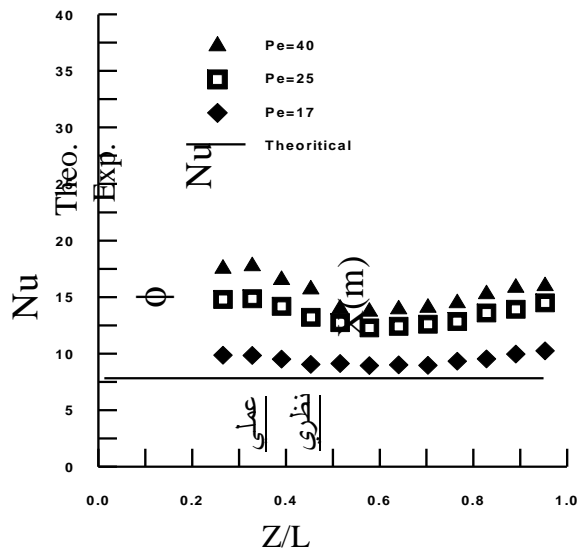
شكل (12) تغير درجة حرارة السطح مقابل النسبة  $Z/L$  لكمية مختلفة من الفيض الحراري.



شكل (15) تغير عدد نسلت مقابل النسبة  $Z/L$  لكمية مختلفة من الفيض الحراري.



شكل (14) تغير عدد نسلت مقابل النسبة  $Z/L$  لكمية مختلفة من الفيض الحراري



شكل (16) تغير عدد نسلت مقابل النسبة  $Z/L$  لكمية مختلفة من الفيض الحراري

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY  
FOR LAMINAR FORCED CONVECTION HEAT  
TRANSFER THROUGH ACICULAR CROSS  
SECTION CHANNEL AND HEATED UNDER  
CONSTANT HEAT FLUX.**

**Atalah Hussain Jasim**

**Assistant Lecturer**

**Mechanical Eng. Dept.-University of Tikrit**

**ABSTRACT**

This research concered with theoretical and experimental study of forced convection through circular cross section channel that is horizontally arranged and heated under constant heat flux.

The theoretical part delt with numerical solution for momentum equation of one dimension and energy equation of tow dimension by used of finite difference at variable grid size in vertical direction at gradient pressure between ( $10^3$ - $10^6$ )

The energy equation used implicit method and marching process to find the value and distribution of temperature through this channel. This model have been compared with another that have variable permeability and porosity and show that the change in permeability and channeling phenomena have significant effect on increase of rate of heat transfer and also increase in Nusselt number

to 30% and also show show that the increase in gradient pressure is variant with rate of heat transfer ,but this variant disappear in thermal fully develop region.

In experimental part testes was carried out for three value of Peclet numbers (17,25,40) with change of amount of power supply for each number. The results show hat the increase rate of heat transfer cause increase of Nusselt number and also show good agreement between theoretical and experimental results especially at low Nusselt number and also show there is deviation of experiential result from the theoretical result at high Nusselt number about 20%.

#### **KEY WORDS**

Convection, Forced, Channel, Porous Media

