دراسة عددية لتأثير قوة الطفو على التشكيل الحراري في مدخل المجاري الحلقية غير المتمركزة الأفقية

د. محمد حسن عبود
استاذ مساعد
قسم الهندسة الميكانيكية
جامعة كربلاء

كزنكه فريق عبد الله
مدرس مساعد
قسم الهندسة الميكانيكية
جامعة كركوك

غسان فاضل لطيف
مدرس مساعد
قسم الهندسة الميكانيكية
جامعة تكريت

الخلاصة

تم في هذا البحث إجراء دراسة عددية لتوضيح تأثير لا مركزية اسطوانتين أفقيتين على شدة الجريان وسلوكية الطبقة المتاخمة الحرارية في المدخل. تضمن البحث دراسة تأثير نسبة اللامركزية واتجاهها على سلوك الجريان عندما تكون الاسطوانة الداخلية مسخنة بفيض حراري منتظم والخارجية معزولة. التحليل النظري للمسألة تضمن حل معادلات نافير ستوك ومعادلة الطاقة على فرض الجريان مستقر تام التشكيل هيدروليكياً وفي طور التشكيل الحراري، حلت المسألة عددياً بعد تحويل الإحداثيات الكارتيزية الى النظام المحسوب باستخدام نظام مطابقة احداثيات الجسم. شملت النتائج معاينة لجريان الثانوي والطبقة المتاخمة الحرارية وتأثيرهما على سطح الاسطوانة في مواقع مختلفة من المجرى الحلقي، حيث تبين ان قوة الطفو تتسبب في اخذ الجريان الثانوي لسلوك غير منتظم بالمدخل اما معدل عدد نسلت على طول الأسطوانتين يقل بزيادة اللامركزية كنتيجة لتضيق الحاصل في مساحة الجريان والذي يقلل معدل الحرارة المنتقلة، كما واستنتجنا ان زيادة عدد رايلي وحركة الاسطوانة المسخنة إلى الأسفل يتسبب في زيادة معدل عدد نسلت وان الجريان الطباقي يتحول إلى اضطرابي في منطقة محدودة من المدخل عند زيادة عدد رايلي او نسبة اللامركزية مع حركة الأسطوانة بعيدا عن المحور الشاقولي المنصف غير ان الاضطراب يزول بالاقتراب من منطقة تمام التشكيل الحراري ، استخرجت علاقة ارتباطية لإيجاد معدل تغير عدد نسلت بعد استقرار الجريان في منطقة تمام التشكيل الحراري عندما يكون قطر الاسطوانة الداخلية نصف الخارجية.

الكلمات الدالة

الحلقية، غير متمركزة، قوة الطفو، الأفقية.

قائمة الرموز

الرمز	الدلالية		الوحدات
A1&A2	ثوابت (المعادلة(19))		–
D_h	القطر الهيدروليكي		m
e	المسافة بين مركز اللاسطوانتين		
g	التعجيل الارضي		m/s^2
h	متوسط معامل انتقال الحرارة		w / m.k
J	جاكوبيا التحويل لنظام الاحداثي المحسوب		
K	الموصلية الحرارية		w / m.k
P	الضغط		N/m^2
R	نصف قطر الاسطوانة		m
T	درجة الحرارة		K
U	مركبة السرعة الافقية اللابعدية	$U = uD_h/\alpha_e$	m / s
V	مركبات السرعة الشاقولية اللابعدية	$V = vD_h/\alpha_e$	m / s
W	مركبة السرعة المحورية اللابعدية	$W = w\Big/\left(\frac{-D_h^2}{8\mu}\frac{\partial p}{\partial z}\right)$	m / s
X	الاحداثي الافقي اللابعدي	$X = x/D_h$	
Y	الاحداثيات الشاقولي اللابعدي	$Y = y/D_h$	
Z	الاحداثي المحوري اللابعدي	$Z = z/D_h Pe$	

الرموز اليونانية

الرمز	الدلالية	الوحدات
$\alpha,\beta,\gamma,\sigma,\lambda$	معاملات التحويل الى نظام مطابقة احداثيات الجسم	
ϑ,φ,ω	رموز للداله على العوامل الابعدية (معادله 18)	
ξ,η	الاحدثيات المحسوبة	
α_o	الانتشارية الحرارية	m^2/s
ϕ	زاوية ميل عن المحور الشاقولي المنصف للأسطوانة الداخلية	m
β_o	معامل التمدد	l/k

الرموز اليونانية

الرمز	الدلالية		الوحدات
ε	نسبة اللامركزية بين الاسطوانتين	$\varepsilon = e/(R_o - R_i)$	
θ	درجة الحرارة اللابعدية	$\theta = (T_i - T)/(q_i D_h / k)$	
ρ	الكثافة الكتلية		kg/m^3
υ	اللزوجة الكينماتية		m^2/s
Ψ	دالة الانسياب اللابعدية		
Ω	دالة التدويم اللابعدية		

الاعداد اللابعدية

الرمز	الدلالية
Nu	عدد نسلت $(Nu = (h.D_h)/K)$
Pr	عدد برانتدل $(Pr = \nu/\alpha)$
Ra	عدد رايلي $(Ra = (g\beta_o K D_h^4 q_w)/\nu\alpha K)$

الرموز التحتية

الرمز	الدلالية
f	تام التشكيل
w	السطح
o	خارجية
i	داخلية
η	تفاضل من الدرجة الاولى نسبة للمحور η
$\eta\eta$	تفاضل من الدرجة الثانية نسبة للمحور η
ξ	تفاضل من الدرجة الاولى نسبة للمحور ξ
$\xi\xi$	تفاضل من الدرجة الثانية نسبة للمحور ξ

الرموز الفوقية

الرمز	الدلالية
–	معدل
o	درجة

المقدمة

أن ملائمة المجاري الحلقية للاستخدام في العديد من التطبيقات الهندسية مثل المبادلات الحرارية وتبريد أنابيب وقود المفاعلات وبعض الأجهزة الكترونية أدت إلى جذبها للاهتمام العديد من الباحثين. وبما ان المجاري الحلقية المكونة اسطوانتين متمركزتين معرضة لتغير موقع احدهما نسبة لمركز الآخر نتيجة لتمدد الحراري وعوامل اخرى وتسبب في تغير سلوك الجريان وانتقال الحرارة نتيجة للامركزية بينها.

اغلب الدراسات التي تتناول موضوع انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي في الحاقات المتمركزة وغير المتمركزة تركز الاهتمام على سلوك الجريان وانتقال الحرارة في موقع واحد فقط اي دراسة سلوك الجريان في فجوة حلقية،لكن اعتبار سلوك الجريان يبقى ثابت خلال المجرى يصح استخدامها فقط اذا اعتبرنا المجرى بطول كبير واهمالنا التغيرات الحاصلة في سلوك جريان المائع الداخل بشكل منتظم من مصدر التجهيز .ان تأثير منطقة الدخول لا يمكن اهمالها اذا كان المجرى قصير نسبياً حيث يصبح لقوة القص الناتجة عن لزوجة المائع تأثير كبير في هبوط الضغط ويرافقه تغير درجة حرارة المائع مع نمو الطبقة المتاخمة الحرارية باتجاه منطقة الجريان.

ان ترافق تشكيل الطبقة المتاخمة الهيدروليكية والحرارية معاً بنفس معدل التوزيع من المدخل وصولاً لمنطقة تمام التشكيل يحدث فقط اذا تساوت انتشارية اللزوجة مع الانتشارية الحرارية للمائع اي مساواة عدد برانتدل لـ1 ،اما اذا ازداد عدد برانتدل فان نمو الطبقة المتاخمة الحرارية ستتأخر في الوقت الذي يقصر طول الدخول الهيدروليكي.

الاهتمام بمنطقة الدخول ظهر في عام 1961عندما قام Katsuhisa M. [1] بتحليل التشكيل الهيدروليكي والحراري في مدخل مجرى حلقي متمركزة، وفي عام 1962 حلل النمو الحراري في مدخل الاسطوانات المتمركزة كل من Hatton A. P. و Quarmby A.[2] ، اما Vilenskii V. D. et al. [3] فقد استخدم شرط الفيض الحراري المنتظم بدراسة عددية لمعالجة مسائل كرايتز لجريان الطباقي في مدخل المجاري الحلقية غير المتمركزة. وفي عام 1974 ظهرت دراسة عددية غطت موضوع النمو الحراري والهيدروليكي في مدخل الاسطوانات غير المتمركزة الافقية انجزها العالم Feldman E. E. [4] اذ تناول فيها تأثير اللامركزية.ونسبة الاقطار وشروط حدية مختلفة عند ترافق التشكيل الحراري والهيدروليكي لمائع جاري بشكل طباقي في مجرى حلقي متمركز. وفي عام 1982 Feldman E. E و اخرون [5] درس تأثير نسبة الاقطار واللامركزية في هبوط الضغط وتحديد طول الدخول

الهيدروليكي،اما تطور التشكيل الحراري فقدمها بدراسة اخرى Feldman E. E و آخرون [6] تضمن ترافق 17 تأثير من شروط حدية ونسبة اقطار واعداد برانتدل في طول الدخول ومعامل انتقال الحرارة.

ان جميع الدراسات السابقة الذكر لمنطقة الدخول تتضمن الجريان بحمل قسري فقط حيث لم يؤخذ تأثير قوة الطفو على توزيع السرعة ودرجة الحرارة بنظر الاعتبار حتى عام 1989 عندما قام Karki K. C. و Patankar S. V. [7] بدراسة الجريان بحمل مختلط في مدخل مجرى حلقي متمركز بوضعية افقية، لكن دراسته اقتصرت على شرط حدي واحد فقط وهو عزل الاسطوانة الخارجية وتثبيت درجة حرارة الاسطوانة الداخلية فتبين ان زيادة عدد رايلي يزيد من معامل انتقال الحرارة وهبوط الضغط في المدخل غير ان معدل الزيادة في انتقال الحرارة تكون اكبر من هبوط الضغط وان استخدام عدد برانتدل اكبر من 10 يلغي تأثير الحمل الطبيعي في هبوط الضغط. ركزت الاهتمام بالدراسات التي لحقتها على تأثير خواص المائع الجاري بحمل قسري في المجاري الحلقية الشكل، ففي عام 1990 قام Jena B. و Bartra R. L. [8] بدراسة اسلوب جريان الدم في مدخل مجرى حلقي الشكل، وفي عام 1992 قام مع Sudarsan V. R. [9] بتوضيح تأثير لزوجة المائع الجاري بشكل طباقي في سلوك الجريان وانتقال الحرارة ، وفي عام 1995 قام Tosun I. et. Al. [10] وآخرون باستخراج معامل الخسارة في مدخل المجاري الحلقية المتمركزة وغير المتمركزة عند جريان موائع نيوتونية واللانيوتونية خلالها. واستخدم David J. و Filip P. [11] في عام 1996 التحليل العددي لاستخراج انحدار الضغط في الجريان المحوري لمائع لزج يجري داخل مجرى حلقي متمركزة وتبعها دراسة عددية في عام 1998 انجزها Fang P. و Manglik R. M. [12] لايجاد تأثير لا مركزية المجاري الحلقية في انتقال الحرارة بالحمل القسري عند جريان مائع نيوتوني وغير نيوتوني خلالها.

بعد استعراض البحوث السابقة التي تناولت سلوك الجريان في مدخل المجاري الحلقية يتبين استبعاد جميع هذه الدراسات لتأثير قوة الطفو في المدخل فيما عدا البحث الذي انجزه Karki K. C. و Patankar S. V. [7] حيث اقتصر على شرط ثبوت درجة حرارة السطح في مجرى حلقي متمركز ولشرط حدي واحد وهو عزل الاسطوانة الخارجية وتسخين الاسطوانة الداخلية بفيض حراري منتظم، ولما للمجاري الحلقية من اهمية فقد قمنا ببحثنا الحالي بأيجاد تأثير قوة الطفو على مدخل المجاري الحلقية اضافة لتأثير وجود نسبة لا مركزية بينها عندما يكون المجرى بوضعية افقية.

التحليل الرياضي والحل العددي

صياغة المسألة كانت لأيجاد تأثير الجريان الثانوي الناتج على الحمل الطبيعي في مدخل اسطوانتين افقيتين غير متحدتي المركز، اعتبر المائع داخل بدرجة حرارة منتظمة والاسطوانه الداخلية مسخنة بفيض حراري منتظم في حين عزلت الاسطوانه الخارجية. تضمنت المعادلات المستخدمة كل من معادلة الاستمرارية، معادلات نافير ستوك ومعادلة الطاقة، ولتبسيط حل المسألة نظرياً استخدمت الفرضيات التالية:-

1-الجريان طباقي ومستقر

2-السرعة المحورية تامة التشكيل هيدروليكياً وفي طور التشكيل الحراري بفرض المائع الجاري عالي اللزوجة (Pr>10)[7] [13].

3-استخدم تقريب بويسنك (Boussinesq Approximation) لايجاد تاثير قوة الطفو.

4-اهملت تبدد اللزوجة والانضغاطية من معادلة الطاقة.

أخذ الفرضيات السابقة بنظر الاعتبار امكنت من اسقاط عدة حدود من المعادلات الحاكمة والصيغة النهائية للمعادلات المستخدمة كانت كالأتي[13]:-

معادلة الاستمرارية:-

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \qquad \ldots\ldots(1)$$

معادلات الزخم:-

1- معادلة الزخم باتجاه المحور z (الاتجاه المحوري) شكل (1-a):-

$$\nu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z} \qquad \ldots\ldots(2)$$

2- معادلة الزخم باتجاه المحور x (الاتجاه الافقي):-

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \qquad \ldots\ldots(3)$$

3- معادلة الزخم باتجاه المحور y (الاتجاه الشاقولي):-

$$u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-g\beta(T-T_w) \quad \ldots\ldots(4)$$

معادلة الطاقة:-

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z}=\alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \quad \ldots\ldots(5)$$

الآن بتحويل المعادلات المذكورة الى الصيغة اللابعدية وأدخال المقادير اللابعدية (مذكورة بقائمة الرموز)، فأن معادلة السرعة المحورية التي اعتبرت تامة التشكيل هيدروليكياً ستصبح:-

$$\frac{\partial^2 W}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 W}{\partial Y^2}=-1 \quad \ldots\ldots(6)$$

ان حل المعادلتين (3) و (4) عددياً يصاحبها تعقيد كبير للزوم تعريف الشروط الحدية للضغط اضافة لكونها معادلات لاخطية، لذا فقد لجأنا الى تبسيط حلها بدمجها في معادلة واحده مبسطة عن طريق التفاضل المعاكس للمعادلتين (4) و (5)وطرح احدهما من الأخر لتخلص من حد الضغط حصلنا على المعادلة الاتية:-

$$\frac{1}{Pr}\left(U\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial U}{\partial Y}-\frac{\partial V}{\partial X}\right)+V\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial U}{\partial Y}-\frac{\partial V}{\partial X}\right)\right)=\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(\frac{\partial U}{\partial Y}-\frac{\partial V}{\partial X}\right)+\frac{\partial^2}{\partial Y^2}\left(\frac{\partial U}{\partial Y}-\frac{\partial V}{\partial X}\right)$$
$$-Ra\frac{\partial\theta}{\partial X} \quad \ldots\ldots(7)$$

وبفرض المائع الجاري عالي اللزوجة (Pr>10) فأن الحد الموجود في اقصى اليسار سيسقط من المعادلة [13]. وبتعريف مركبتي السرعة الافقية والشاقولية بدالة الانسياب التي تحقق معادلة الاستمرارية بالمعادلتين الأتيتين:-

$$U=\frac{\partial\Psi}{\partial Y} \quad \ldots\ldots(8)$$

$$V=-\frac{\partial\Psi}{\partial X} \quad \ldots\ldots(9)$$

وبتعويض عنها في معادلة الدوامية المتمثلة بالمعادلة الآتية:-

$$\Omega=\frac{\partial U}{\partial Y}-\frac{\partial V}{\partial X} \quad \dots\dots(10)$$

بتعويض المعادلات الثالثة السابقة في المعادلة (7) نحصل على معادلة نقل الدوامية والتي تأخذ الصيغة اللابعدية الآتية:-

$$\frac{\partial^2\Omega}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\Omega}{\partial Y^2}=\mathrm{Ra}\frac{\partial\theta}{\partial X} \quad \dots\dots(11)$$

أما معادلة الطاقة فكانت بعد إدخال المقادير اللابعدية والتعويض عن مركبتي السرعة الافقية والشاقولية بدالة الانسياب كما يلي:-

$$\frac{\partial^2\theta}{\partial X^2}+\frac{\partial^2\theta}{\partial Y^2}=\frac{\partial\Psi}{\partial Y}\frac{\partial\theta}{\partial X}-\frac{\partial\Psi}{\partial X}\frac{\partial\theta}{\partial Y}+W\frac{\partial\theta}{\partial Z} \quad \dots\dots(12)$$

استخدم في حل المعادلات السابقة عددياً الطريقة التفاضلية،وتم الحل بعد تغطية منطقة الجريان بشبكة عقد لغرض أستخراج المتغيرات المعتمدة، ونظراً لكون الشكل الهندسي للمجرى الحلقي غير المنتظم فقد تم تحويل المسألة من المجال الفيزيائي(Physical domain) (X,Y) الى المجال المحسوب (Computational domain)(ζ,η) باستخدام نظام مطابقة إحداثيات السطح (Boundary Fitted Coordinate) ،وقد ولدت شبكة العقد بين الاسطوانتين باستخدام معادلتي القطع الناقص(Elliptic equation) الآتية[14,15]:-

$$\alpha X_{\zeta\zeta}-2\beta X_{\zeta\eta}+\gamma X_{\eta\eta}=-\left(PX_{\zeta}+QX_{\eta}\right)/J^2 \quad \dots\dots(13)$$

$$\alpha Y_{\zeta\zeta}-2\beta Y_{\zeta\eta}+\gamma Y_{\eta\eta}=-\left(PY_{\zeta}+QY_{\eta}\right)/J^2 \quad \dots\dots(14)$$

حيث P و Q تمثل دوال التحكم بتجمع نقاط الشبكة، اما J فتمثل جاكوبيا التحويل للاحداثي المحسوب، α و β و γ تمثل معاملات التحويل وتعرف بالمعادلات التالية:-

$$J=X_{\zeta}Y_{\eta}-X_{\eta}Y_{\zeta} \quad \dots\dots(15)$$

$$\alpha=X_{\eta}^2+Y_{\eta}^2 \quad \dots\dots(16)$$

$$\beta=X_{\zeta}X_{\eta}+Y_{\zeta}Y_{\eta} \quad \dots\dots(17)$$

$$\gamma = X_{\zeta}^{2} + Y_{\zeta}^{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(18)$$

باستخدام المعادلتين (13) و (14) وتعريف القيم الحدية للشكل الهندسي تمكنا من الحصول على مرونة اكثر في توزيع شبكة العقد عند لا مركزية الاسطوانة الداخلية بنسب واتجاهات مختلفة كما موضح بالشكل (1-b)،

ولغرض أكمال حل المعادلات الحاكمة لزم تحويل جميع الحدود التفاضلية الى الصيغة العمومية باستخدام جاكوبيا التحويل والتحويلات المترية [15]

والصيغة النهائية للمعادلات المستخدمة هي كالأتي:-

$$\left(\lambda\omega_{\zeta} + \sigma\omega_{\eta} + \alpha\omega_{\zeta\zeta} - 2\beta\omega_{\zeta\eta} + \gamma\varpi_{\eta\eta}\right)/J = A1(\vartheta_{\zeta}\varphi_{\eta} - \vartheta_{\eta}\varphi_{\zeta}) + A2 \ldots \;\ldots\ldots\ldots\ldots(19)$$

حيث ω ، $A1$ ، $A2$ ، ϑ و φ لكل معادلة معطاة بالجدول رقم (1) .

وبالنسبة إلى الشروط الحدية فقد أخذت السرعة المحورية صفر عند التخوم، والدوامية معادلة لـ $\Omega = \alpha\Psi_{\zeta\zeta}/J^{2}$ اما بالنسبة للفيض الحراري الذي يحتوي على انحدارعمودي لدرجة الحرارة على التخوم فكانت مساوية الى $\theta_{\zeta} = \left(\beta\theta\eta - J\sqrt{\alpha}\right)/\alpha$.

لإكمال حل المعالات التفاضلية عددياً استخدمت تقنية الفروقات المحددة في تحويلها الى معادلات جبرية ومن ثم اعيد ترتيبها لاستخراج المتغيرات المعتمدة حسب الطريقة المستخدمة بحلها وكتبت بلغة الفورتران 90. الثوابت المدخلة كانت عبارة عن عدد رايلي ونسبة القطر التي ثبتت عند 0.5 و نسبة اللامركزية وزاوية ميل مركز الاسطوانة الداخلية عن المحور الشاقولي. بدأ الحل بتوزيع شبكة العقد في المستوي المحسوب (ζ,η) ،بعد ذلك استخرج توزيع السرعة للمائع الجاري بين الاسطوانتين بطريقة الارخاء المفرط التراخي (successful over relaxation method) وفتح تكرار رئيسي تم خلالها استخراج دالة الانسياب Ψ بطريقة الارخاء (Relaxation Method) وعوض قيمها في معادلة نقل الدوامية لاستخراج الدوامية Ω للعقد باستخدام الطريقة الواضحة (Explicit method)، استخدم بعدها معادلة الطاقة التي هي من نوع القطع المكافيء للزحف باتجاه محور الاسطوانتين واستخراج توزيع درجة الحرارة بين الاسطوانتين في مسافة تبعد 10^{-5} عن المدخل الذي فرض توزيع الحرارة فيه

منتظم. اعيد بعد ذلك التكرار الرئيسي لأيجاد المتغيرات في مقطع جديد ووقف البرنامج عند وصول الجريان الى Z=0.12 حيث اعتبر الجريان قد اكتمل تشكيله حرارياً.

النتائج والمناقشة

من خلال البحث الحالي يتم التاكد من صحة النتائج وذلك باستخدام الأنموذج الحالي للحسابات لحساب معدل تغير عدد نسلت ودرجة الحرارة المتوسطة عند جريان المائع بحمل قسري في مدخل مجرى حلقي غير متمركز بنسبة $\varepsilon = 0.3$ ومقارنة النتائج مع الدراسة التي أنجزها Feldman [6] حصلنا على تطابق جيد بالنتائج وهو موضح بالشكل (2) وهذا ما يؤكد موثقية الأنموذج الرياضي وصحة خطوات الحل العددي.

آلية حركة المائع في مدخل المجرى الحلقي بين الاسطوانتين غير متمركزتين بنسبة $\varepsilon = 0.5$ باتجاه الزاوية 45^o موضحة من خلال متجهات السرعة بالشكل (3) عندما عدد رايلي يساوي $7*10^4$. عند دخول المائع الى المجرى يبدأ الحرارة بالانتقال من الاسطوانة الداخلية الى المائع الداخل بسرعة منتظمة من المصدر فيقل كثافته ويبدأ بالصعود بمحاذاة السطح الخارجي للاسطوانة الداخلية الى الاعلى وبسبب كون الاسطوانة الخارجية معزولة فأن المائع القريب منها سيكون ابرد واكثر كثافة فينزل الى الاسفل ويستمر هذا الامر على طول المجرى الحلقي ولكن يختلف شدة المزج من موقع لأخر.

لأيجاد تأثير اتجاه اللامركزية على شدة الجريان في مقاطع متتالية من المدخل وصولاً الى Z=0.12 سنقوم بتثبيت عدد رايلي ونسبة اللامركزية عند $7*10^4$ و 0.5 على التوالي، الشكل (4) يبين معاينة لشدة الجريان الثانوي في مقاطع متتالية من مدخل اسطوانتين متمركزتين وغير متمركزتين بخمسة زوايا $180^o,135^o,90^o,45^o,0^o$. اسلوب نشوء الدوامتين على جانبي المحور الشاقولي المنصف لاسطوانتين متمركزتين موضح بالشكل (A-4)، بتتبع شدة الجريان نجد ان الجريان الثانوي يبلغ اقصى شدة لها في المقطع Z=0.06 ويقل شدتها قليلاً بعدها لحين استقرارها على طول المجرى الحلقي.الأشكال من (B-4) الى (F-4) تبين تأثير لامركزية الأسطوانة الداخلية بزوايا مختلفة عن المحور الشاقولي المنصف للأسطوانة الخارجية،عند حركة الاسطوانة الى الاعلى باتجاه الزاوية $\delta = 0^o$ يظهر الدوامتين في موقع اقرب من المدخل ولكن بشدة اقل مقارنة بالاسطوانتين المتمركزتين،وعند لامركزية الى اليمين باتجاه الزوايا $135^o,90^o,45^o$ تزداد شدة الدوامة الواقعة في الجانب الواسع من المجرى الحلقي على حساب نقصانها في الجانب الضيق وتحرك عين الدوامة الى الاسفل. اما الشكل (F-4)

الذي يعطي تأثير لامركزية الاسطوانة الى اليمين باتجاه الزاوية $\delta=180^o$ فيبن عودة الدوامتين الى تناظر على جانبي الاسطوانتين وبشدة كبيرة مع دفع عين الدوامة الى الاعلى.الأن بمقارنة تأثير زاوية الميل على شدة الجريان نجد ان لامركزية الاسطوانة الى الاعلى بموازة المحور الشاقولي يقلل شدة الجريان الى النصف في حين يشتد الى الضعف ويزداد معها طول الدخول الحراري عند لامركزية الى الاسفل.

يظهر في مدخل المجرى تغير كبير في سمك الطبقة المتاخمة الحرارية ويمكن توضيحها من خلال معاينة خطوط تساوي درجة الحرارة بالشكل (5)، نمو الطبقة المتاخمة في المجرى الحلقي المحصور بين الاسطوانتين المتمركزتين مبينة في الشكل (B-5) حيث يظهر تأثير الانحدار الحراري على خطوط تساوي درجة الحرارة بشكل حلقات متمركزة حول الاسطوانة الداخلية لكون انتقال الحرارة بالتوصيل هو السائد حتى الموقع $Z=0.03$،يتشوه بعدها خطوط الجزء العلوي من المجرى لتأثير قوة الطفو حيث يصعد المائع الساخن القليل الكثافة ويغير اتجاه حركته الى الاسفل عند اصطدامه بسطح الاسطوانة المعزولة في الوقت الذي يتوسع المائع البارد الاكثر كثافة في النصف السفلي. لا مركزية الاسطوانة الداخلية الى الاعلى باتجاه الزاوية $\delta=0^o$ موضحة بالشكل (B-5) اذ نلاحظ من الشكل توسع الطبقة المتاخمة الساخنة الى الاسفل لتشغل في منطقة تمام التشكيل النصف العلوي من المجرى باكمله، ويلاحظ حدوث ارتفاع كبير جداً في درجة حرارة المائع الموجود في النصف العلوي لتواجد الاسطوانة الساخنة في المنطقة التي يستقر فيها المائع الساخن.عند حركة الاسطوانة الى الاسفل بزوايا $135^o,90^o,45^o$ عن المحور الشاقولي المنصف والموضح بالاشكال (C-5) و(D-5) (E-5) على التوالي ينعدم تناظر الطبقة المتاخمة على الجانبين ويتسع المائع الساخن في الجانب الضيق في حين لايصل تأثيرها الى الجانب الواسع، وفي الموقع $Z=0.075$ يشغل الطبقة الساخنة النصف الأيمن بأكمله عندما يكون اللامركزية باتجاه الزاوية 90^o. أما لا مركزية الاسطوانة باتجاه الزاوية 135^o فتسبب بطيء تكون الطبقة المتاخمة وصعودها باتجاه الزاوية 45^o ثم اتساعها لتشغل النصف العلوي من المجرى ولكن بسمك اقل، يعود الطبقة المتاخمة الى حالة التناظر اذا كانت الاسطوانة غير متمركزة إلى الأسفل ويكون سمكها ودرجة حرارتها اقل لأحاطتها بالمائع البارد وهذا واضح بتتبع المقطع الموجودة في الشكل (F-5).

ان جدار الاسطوانة المسخنة بفيض حراري منتظم تتأثر أيضا بالجريان الثانوي المختلف الشدة على طول المجرى الحلقي.فالشكل (6) يبين تغير القيمة الموضعية لدرجة الحرارة على سطح الاسطوانة الداخلية مع زاوية الميل عن المحور الشاقولي المنصف لها δ والشكل (A-6)

يوضح الارتفاع الذي يحدث في درجة حرارة السطح العلوي للاسطوانة الداخلية المتمركزة قرب الزاويتين $\delta=360$ و $\delta=0^{o}$ (اي قمة الاسطوانة الداخلية) كنتيجة لإحاطته بالمائع الساخن الذي يرتفع اكثر عند وجود لا مركزية الى الأعلى لوجود الاسطوانة المسخنة في الموقع الذي يتجمع فيه المائع الساخن الأقل كثافة والذي يدفعه من الأعلى سطح الاسطوانة المعزولة كما في الشكل (B-6). اما حركة الاسطوانة الى اليمين بزوايا ميل $135^{o},90^{o},45^{o}$ عن المحور الشاقولي فموضحة بالأشكال (C-6)،(D-6) و(E-6) على التوالي حيث تظهر التغيرات المحيطية الكبيرة وعدم تناظر درجة الحرارة على محيط الاسطوانة واقتراب النقطة التي يرتفع فيها درجة الحرارة من الأسفل والسبب في ذلك يعود الى موقع التضيق بالمجرى الحلقي وعين الدوامة التي تبتعد لتمزج الحرارة في المنطقة الأوسع بالمجرى. حركة الأسطوانة إلى الأسفل تسبب حدوث انخفاض واضح في درجة الحرارة على عموم محيط الاسطوانة إضافة إلى نقصان التغيرات المحيطية بدرجة الحرارة برغم كون الجريان الثانوي كبير الشدة وهذا موضح بالشكل (F-6) ويرجع السبب في ظاهرة الاختلاف إن إحاطة الاسطوانة بالمائع البارد المتواجد في النصف السفلي للأسطوانة يؤدي الى زيادة الانحدار الحراري وبتالي إزالة اكبر قدر ممكن من الحرارة بواسطة الجريان الثانوي الذي يجتاح الطبقة الحرارية المتاخمة على عموم المجرى الحلقي ويمزجه مع المائع الموجود في باقي أنحاء الحلقة. ويلاحظ أيضا أن التغيرات المحيطية ودرجة الحرارة ستقل على عموم محيط الأسطوانة بالابتعاد عن المدخل. ان التغيرات المحيطية السابقة الذكر في درجة الحرارة ستؤدي إلى تغير قيمة معامل انتقال الحرارة الموضعي بسلوك معاكس لما حدث مع درجة الحرارة، فيزداد قيمة عدد نسلت في المواضع التي يقل فيها درجة حرارة الجدار بسبب زيادة الانحدار الحراري.

بعد تفسير سلوك الجريان داخل المجرى الحلقي وتأثيرها على جدار الاسطوانة سنقوم الأن بتوضيح تأثير عدد رايلي ونسبة اللامركزية واتجاهها على معدل الحرارة المنتقلة من الاسطوانة الداخلية الى المائع الجاري عن طريق الأشكال (A-7) إلى (E-7) إذ يتبين لنا أن زيادة عدد رايلي تزيد من معامل انتقال الحرارة وبالاعتماد على نسبة اللامركزية واتجاهها. واهم مايلزم الاشارة اليها هنا انعدام الاستقرارية التي تظهر عند استخدام نسب لامركزية كبيرة مع حركة الاسطوانة بعيدا عن المحور الشاقولي المنصف خصوصاً باتجاه الزاوية 135^{o} الموضحة بالشكل (D-7). يرجع السبب في ذلك الى ان وجود الاسطوانة في موقع يميل عن المحور الشاقولي ستؤدي بالمشاركة مع عدد رايلي الى مزج الحرارة بشكل غير منتظم في المناطق التي يشتد فيها الجريان الثانوي الا ان هذا السلوك يستمر الى مسافة معينة ويزول

بالاقتراب من منطقة تمام التشكيل. بمقارنة الشكل (A-7) مع (E-7) نجد ان لامركزية الاسطوانة الى الاسفل باتجاه الزاوية 180^{o} ستؤدي الى زيادة معدل عدد نسلت على طول الاسطوانة بعكس السلوك الملاحظ عند زيادة اللامركزية الى الاعلى باتجاه الزاوية 0^{o}، ان اضطراب سلوك الجريان الناتج عن استخدام اعداد رايلي كبيرة مناقشة في الدراستين Kuehn T. H.و Goldstein[16] و Desal C. P. و Vafai K. [17].

ان السلوك الذي تتخذه معامل انتقال الحرارة على طول المجرى يصعب علينا إيجاد علاقة ارتباطية يستحصل من خلالها على معدل عدد نسلت كدالة للبعد Z من المدخل.لكن الشائع في المسائل التي تعالج موضوع الحمل الطبيعي في المدخل لحالة الفيض الحراري المنتظم هو تأثير عدد رايلي على معدل عدد نسلت في منطقة تمام التشكيل.والاشكال الخمسة (A-8) الى (E-8) تبين تأثير كل من عدد رايلي ونسبة اللامركزية واتجاهها على معدل عدد نسلت في المقاطع التي تلي المقطع Z=0.12 حيث يستقر شدة الجريان .

ونستدل من هذه الأشكال ان عدد نسلت يزداد بزيادة عدد رايلي وفي الوقت الذي يقل بزيادة نسبة اللامركزية وبالاعتماد على اتجاهها، اما انعدم الأستقرارية فتحدث عند اعداد رايلي اقل كلما كانت اللامركزي بزاوية اكبر من 45^{o} عن المحور الشاقولي. يمكننا الأن استخراج معادلات ارتباطية لإيجاد معدل عدد نسلت عند استقرار شدة الجريان الثانوي وسمك الطبقة الحرارية المتاخمة في منطقة تمام التشكيل والتي كانت دالة لعدد رايلي في المجرى الحلقي المتمركز وكما في المعادلة رقم (12)، وكل من عدد رايلي ونسبة اللامركزية واتجاهها في المجرى الحلقي غير المتمركز وكما في المعادلة رقم (13)

$$Nu = 1.7208 * Ra^{0.145} \quad \ldots\ldots(12)$$

$$Nu = 0.2414 * Ra^{0.26118} \tan\delta^{-0.2806} \varepsilon^{-0.20478} \quad \ldots\ldots(13)$$

الاستنتاجات

بعد دراسة سلوك الجريان وانتقال الحرارة في منطقة الدخول بين الأسطوانتين متمركزتين وغير متمركزتين توصلنا للنتائج التالية:-

1-الجريان الثانوي الناتج عن قوة الطفو بين اسطوانتين يزداد شدته تدريجياً بالابتعاد عن المدخل ويبلغ أقصى شده له في موقع ما من المدخل بالاعتماد على عدد رايلي ويستقر شدته في منطقة تمام التشكيل.

2-يقل شدة الجريان بلامركزية الاسطوانة الداخلية الى الاعلى ويزداد بلامركزية الى الاسفل وبالاعتماد على زاوية الميل عن المحور الشاقولي .

3-يظهر الجريان الثانوي في موقع اقرب إلى المدخل بوجود لامركزية إلى الأعلى والطبقة الحرارية المتخمة يزداد سمكها بالابتعاد عن المدخل لحالة الاسطوانتين المتمركزتين ويغطي مساحة اكبر من المجرى الحلقي عند وجود لامركزية باتجاه النصف العلوي للمجرى في حين ينعكس سلوكيا إذا كانت لامركزية الاسطوانة إلى الأسفل لانخفاض درجة حرارة المائع .

التوصيات

ان زيادة اللامركزية بين الاسطوانتين تتسببت في نشوء تغيرات محيطية كبيرة لدرجة الحرارة على جدار الاسطوانة المسخنة،وبتجميع هذا التأثير مع شدة الجريان الناتج عن التسخين المفرط فاننا نتوقع حدوث تأثير سلبي على سطح الاسطوانتين في منطقة الدخول الحراري ولذا نوصي بدراسة بين نسبة واتجاه اللامركزية عند استخدم أعداد رايلي كبيره بحيث نتجنب الأضطراب الشديد للجريان الطباقي في المدخل، ويفضل جعل سماحية باللامركزية الى الاسفل فقط لأنه يزيد من شدة مزج الحرارة ويقلل التغيرات المحيطية على جدار الاسطوانة المسخنة.

من الجدير بالذكر ان النتائج التي تم الحصول عليها هي لسلوك الجريان بمنطقة الدخول من المجرى مقتصرة فقط على حالة تسخين الاسطوانة الداخلية بفيض حراري منتظم وعزل الاسطوانة الخارجية. والسلوك يتغير بشكل جذري إذا تغير الشرط الحدي المستخدم على أي من الاسطوانتين.لهذا يمكن دراسة هذا التغير وملاحظة سلوك الجريان وطول الدخول الحراري وبالاعتماد على عدد رايلي و نسبة اللامركزية إضافة لتأثير نسبة الأقطار التي لم يؤخذ تأثيرها في هذا البحث.

المصادر

1- Katsuhisa, M. ,"Heat transfer in entry length of double pipes",Int J. Heat Mass Transfer ,Vol.2 ,PP.240-251,1961.

2- Hatton, A. P. & Quarmby, A. ,"Heat Transfer in the thermal entry length with laminar flow in an annulus" ,Int. J. Heat Mass Transfer ,Vol.5 ,PP. 973-980,1962.

3- Vilenskii, V. D. & Mironov, Y. V. & Smirnov, V. P. ,"Numerical solution of the problem of heat transfer in an annular channel",High Temperature 9,PP.699-704,1971.

4- Feldman, E. E. ," The numerical solution of the combined thermal and hydrodynamic entrance region of an eccentric annular ducts" ,Ph. Thesis ,Carnegie-mlon University,Pittsburgh,1974.

5- Feldman, E. E. & Hornbeck, R. W. & Osterle, J. F. ,"A Numerical solution of laminar developing flow in eccentric annular ducts",Int. J. heat Mass Transfer, Vol.25 ,No.2 ,PP. 231-241,1982.

6- Feldman, E. E. & Hornbeck, R. W. & Osterle, J. F. ,"A Numerical solution of developing temperature for laminar flow I eccentric annular ducts",Int. J. heat Mass Transfer, Vol.25 ,No.2 ,PP. 243-253,1982.

7- Karki, k. C. & Patankar, S. V. ,"Laminar mixed convection in the entrance region of a horizontal annulus",Numerical heat Transfer ,Vol.15,PP.87-99,1989.

8- Batra, R. L. & Jena, B. ,"Entrance region flow of blood in concentric annulus",Int. J. Eng. Sci. Vol. 28,PP.407-419,1990.

9- Betra, R. L. & Sudarsan, V. R. ,"Laminar flow and heat transfer in entrance region of concentric annuli for power law fluids",Comput. Meth. Appl. Mech. Eng. ,Vol. 95, 1-16,1992.

10- Tosun, I. ,Solmaz, S. & Ozgen, C. ,"Loss coefficients in entrance region flows of newtonian and non-newtonian fluids in eccentric annuli",Chem. Eng. Commun. Vol.131,PP.207-224,1995.

11- David, J. & Filip, P.,"explicit pressure drop-flow rate relation for laminar axial flow of power-law fluids in concentric annuli",J. Pet. Sci. Eng. Vol.16,PP.203-208,1996.

12- Fang, P. , Manglik, R.m. ,"Numerical investigation of laminar forced convection in Newtonian and non-Newtonian flows in eccentric

annuli" Technical Report No. TFTPL-3 ,department of mechanical ,industrial and Nuclear engineering, University of Cincinatti,1990.

13- Jenn-Wuu Ou & Cheng, K. C. ,"Natural convection effect on Graetz problem in horizontal isothermal tubes", Int. J. Heat Mass Transfer,Vol.20 ,PP.953-960,1977.

14- Petrovic, Z. & Stupar, S. ,"computational fluid dynamic part one" ,University of Belgrade,1996.

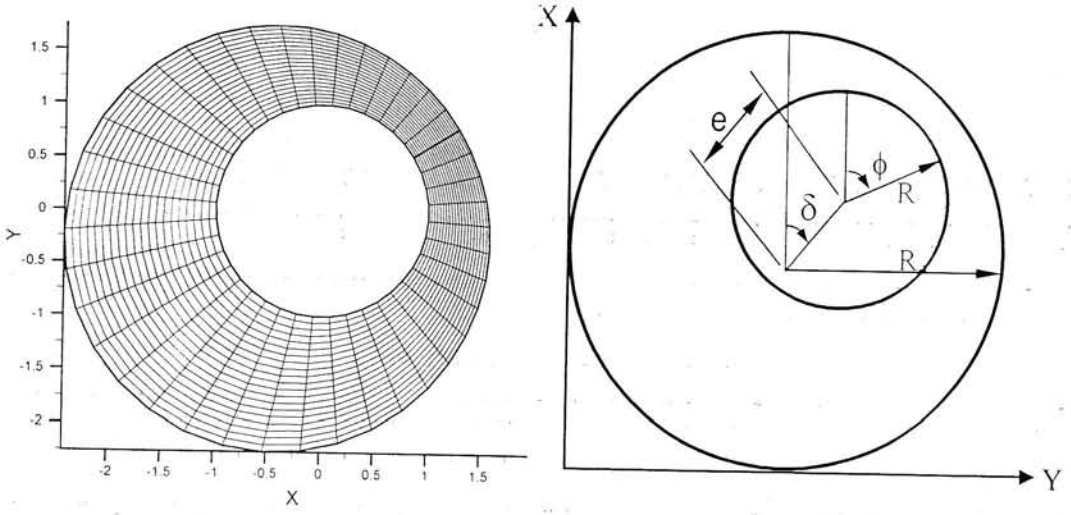
15- البرزنجي، كزنكه فريق عبدالله "دراسة نظرية لأنتقال الحرارة بالحمل المختلط خلال قناة مثلثة افقية"،اطروحة ماجستير ،جامعة تكريت 2005.

16- Kuehn, T. H. & Goldstein, R. J. ,"An experimental and theoretical study of natural convection in annulus between horizontal concentric cylinders", J. Fluid Mech. ,Vol.74 ,PP.695-719,1976.

17- Desal, C. P. & Vafai, K. ,"An investigation and comparative analysis of two-and three- dimensional turbulent natural convection in a horizontal annulus ",Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 37, No.16 ,PP. 2475-2504 ,1994.

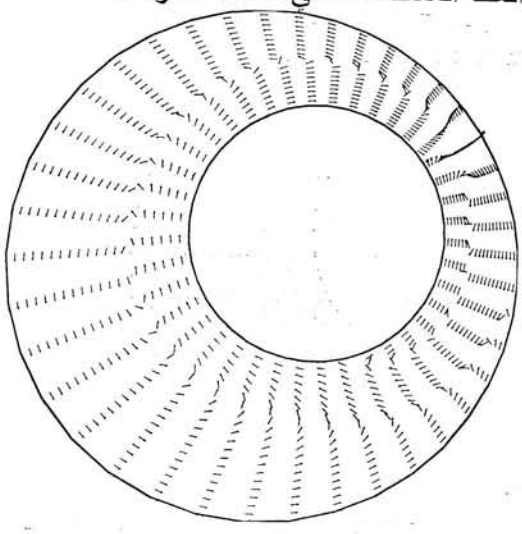
جدول رقم (1)

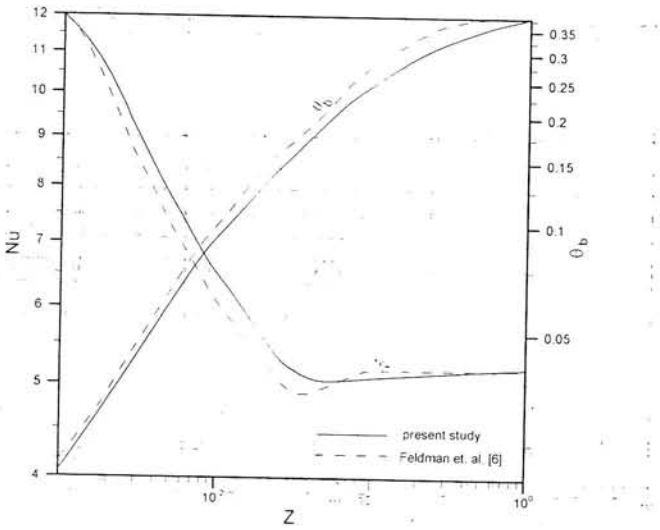
المعادلات	A2	φ	ϑ	A1	ω
السرعة المحورية	1	0	0	0	W
معادلة نقل الدوامية	0	Y	θ	Ra	Ω
معادلة دالة الانسياب	$-\Omega$	0	0	0	Ψ
معادلة الطاقة	$-\theta_z$	θ	$-\Psi$	1	θ



(B) (A)

الشكل (1) يوضح نظام الاحداثيات وشبكة العقد المستخدمة في منطقة الدراسة

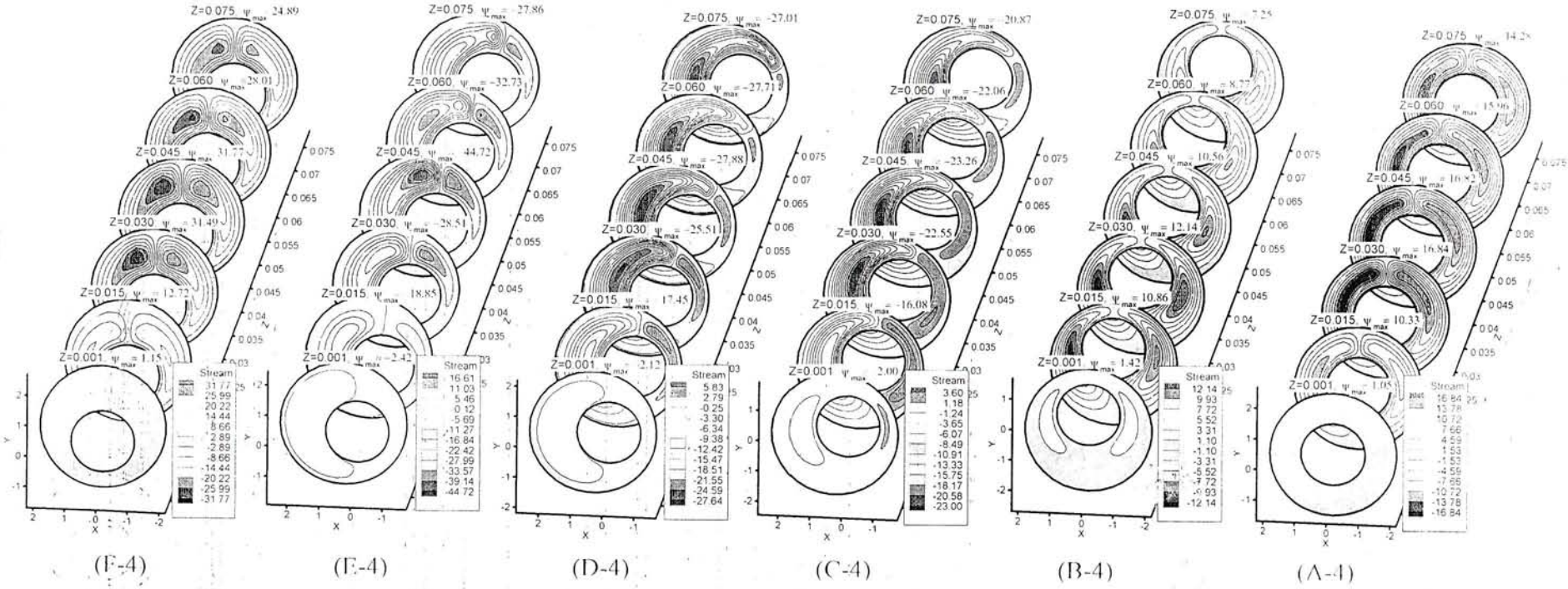




الشكل (2) مقارنة لمعدل تغير عدد نسلت ودرجة الحرارة الظاهرية باستخدام الانموذج الحالي للحسابات مع دراسة سابقة Ra=0

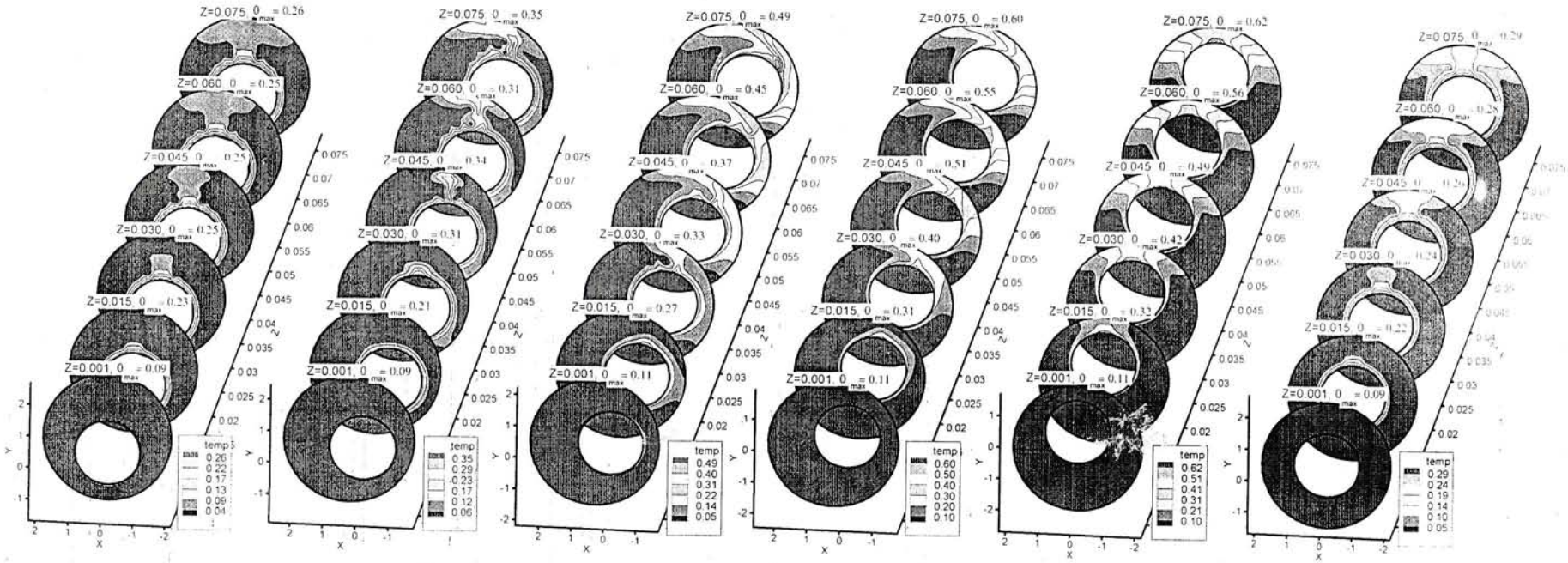
الشكل (3) يوضح ميكانيكية حركة المائع خلال المجرى الحلقي عند وجود نسبة لا مركزية قدرها 0.5 باتجاه الزاوية 45^{o}

مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد ١٤/العدد ٣/أيلول ٢٠٠٧

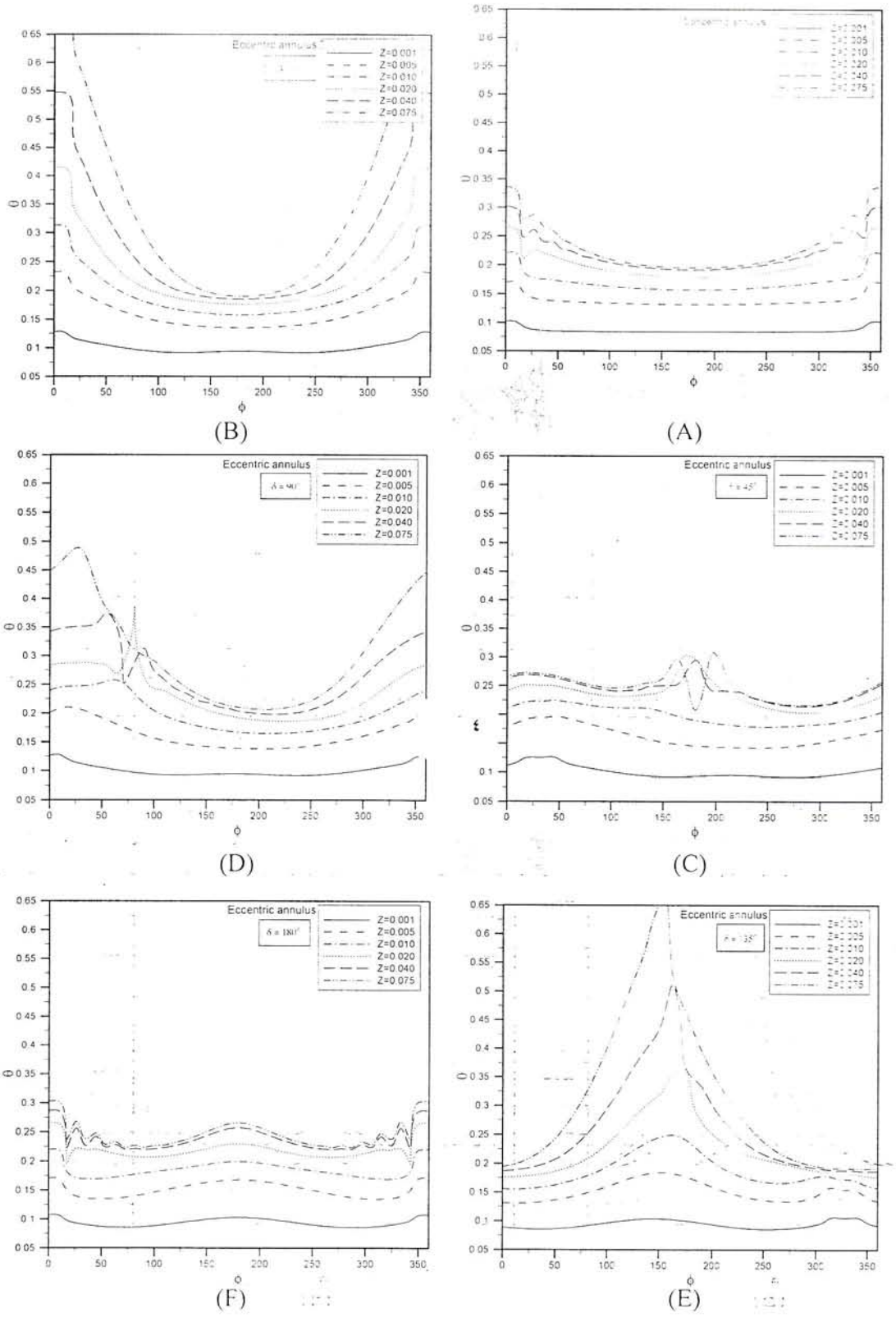


الشكل(4) معاينة خطوط تساوي الجريان في مواقع مختلفة من مدخل اسطوانتين متمركزتين وغير متمركزتين بزوايا مختلفة
$(Ra=7*10^4)$

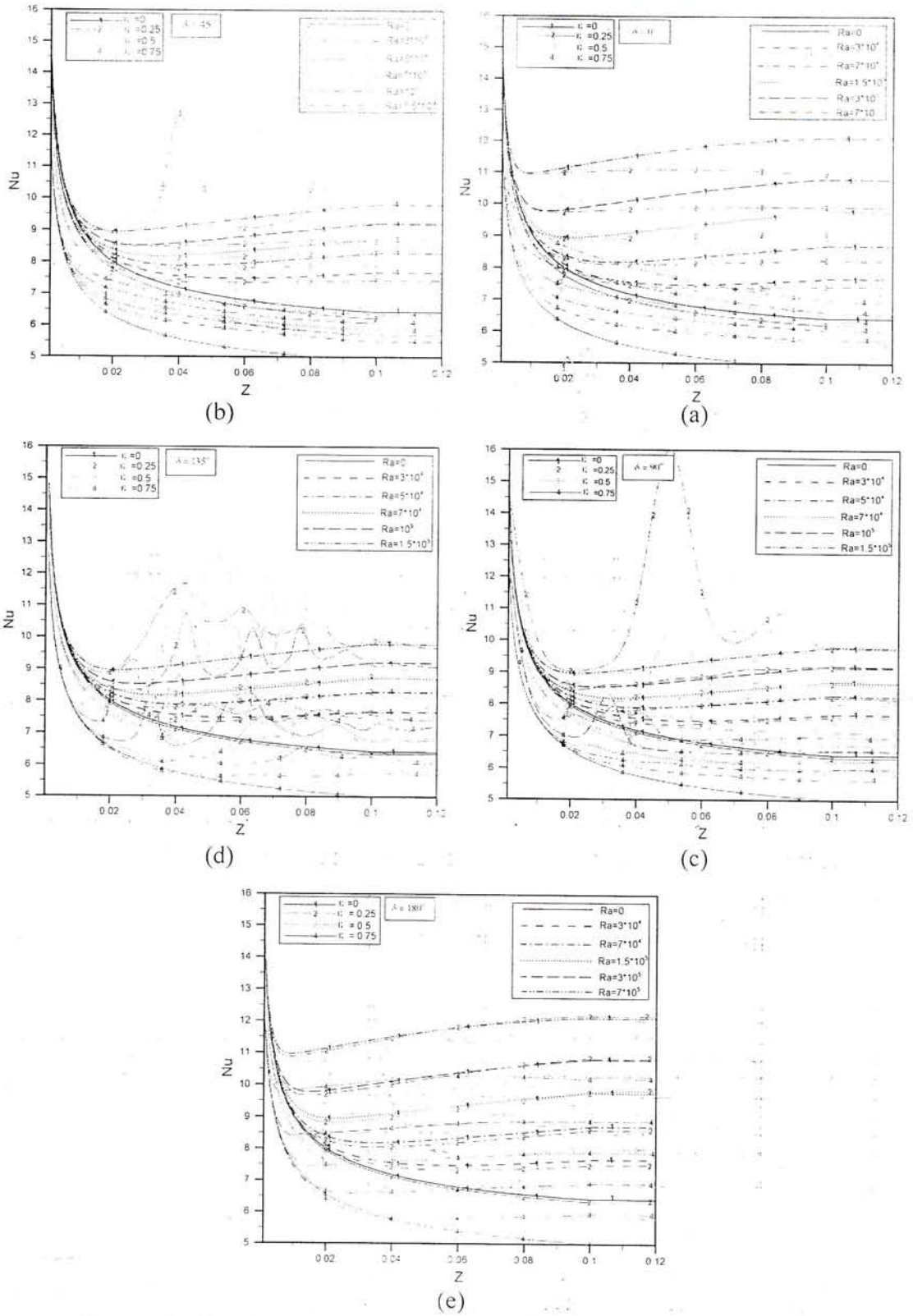
مجلة تكريت للعلوم الهندسية/المجلد ١٤/العدد ٣/أيلول ٢٠٠٧



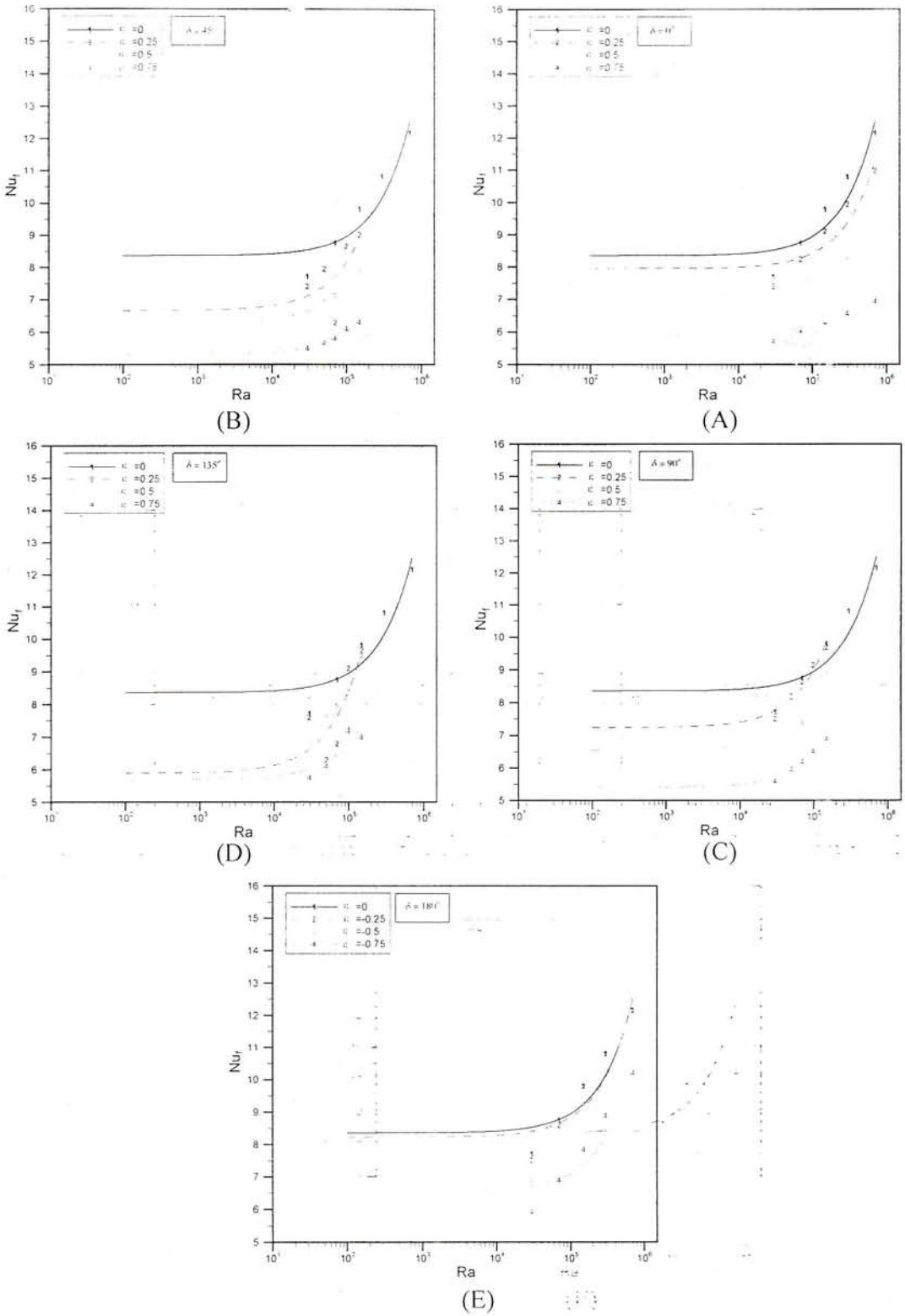
الشكل (5) معاينة خطوط تساوي درجة الحرارة في مواقع مختلفة من مدخل اسطوانتين متمركزتين وغير متمركزتين بزوايا مختلفة ($Ra=7*10^4$)



الشكل (6) درجة حرارة محيط الاسطوانة الداخلية غير متمركزة في مواقع مختلفة من المدخل



الشكل (7) تأثير عدد رايلي ونسبة اللامركزية في متوسط عدد نسلت على طول المجرى الحلقي



الشكل (8) تأثير عدد رايلي ونسبة اللامركزية على معدل قيمة عدد نسلت في منطقة تصادم [illegible] تيام التشكيل

NUMERICAL STUDY FOR BUOYANCY EFFECT ON DEVELOPING IN THE ENTRANCE REGION OF HORIZONTAL OF ECCENTRIC ANNULUS

Dr.Mohammed H.Al-Mosawi Assistant Prof. Mechanical Eng. Dept. University of Karbla'a

Gazinga F. Al-Barzinji Assistant lecturer Mechanical Eng. Dept. University of Kirkuk

Ghassan F. Lattif Assistant lecturer Mechanical Eng. Dept University of Tikrit

ABSTRACT

In this research, a numerical study has been done to done to clarify the effect of the eccentric annulus of to two horizontal cylinders on the rate flow the behavior of the thermal boundary layer at the entrance. The research includes the study of the effect of the eccentric annulus percentage and its directions on the flow behavior when the internal cylinder. The theoretical analysis of the question includes the solving of Naver – Stoke and energy equations on the supposition that the flow is steady, fully developing hydrodynamic, and in the stage of thermal developing. The question has been numerically solved after the transformation of the Cartesian coordinates to the computational domain by applying body fitted coordinates. The results include a survey of the cylinder surface in many sites of annulus flow, where as it is appeared in that the bouncy force causes the secondary flow behaves none uniformly at the entrance. The Nusselt number average along the two cylinders is decreased with the increase of eccentricity as a result of narrowing in the flow area which diminishes the average of heat transfer quality. We also conclude that the increase of Rayleih number with the movement of the heated cylinder towards low causes the increase of the average of Rayleih number and the laminar flow changes to turbulent flow at the limited region of the entrance when Rayleih number increases or the eccentricity percentage with cylinder movement away from the perpendicular halfway axis but the

disturbance vanishes in approaching to the fully developed heated region. A correlation relationship is extracted to find an average change of Nusselt number after the stability of the flow in the fully developed region when the diameter of the internal cylinder equals half of external.

KEY WORDS

Annulus, Eccentric, buoyancy force, Horizontal.