دراسة نظرية وعملية لانتقال الحرارة خلال قالب رملي اثناء صب حديد الزهر[+]

A THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT TRANSFER THROUGH SAND MOULD WHEN POURING THE CAST IRON

عدنان محمد حسين[*] عطا الله حسين جاسم[**]

المستخلص

اجريت دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة خلال قالب رملي عند صب حديد الزهر فيه وقد تضمنت الدراسة العملية تصنيع القالب الرملي وصهر كمية من حديد الزهر في الفرن ثم الصب في القالب الرملي وخلال هذه العملية ثبتت مزدوجات حرارية لقياس درجات الحرارة مع الزمن، اما الدراسة النظرية فقد تضمنت الحل العددي لمعادلات الاستمرارية والزخم والطاقة ثم البرمجة بلغة بيسك السريعة (Qbasic) لايجاد درجات الحرارة مع الزمن، اجريت مقارنة بين الدراستين فكان هناك توافق جيد كما اوجدت العلاقات الارتباطية بين عدد نسلت(Nu) وعدد رايلي (Ra) والزمن والبعد القطري (R).

Abstract

A theoretical and experimental study was carried out on heat transfer through sand mould when the cast iron was poured in it .The experimental study includes manufacturing of sand mould and melting a quantity of cast iron in a furnace then pouring it in a sand mould , during this process thermocouples are fixed to measure temperature with time .The theoretical study includes the numerical solution of the equations of continuity, momentum and energy and programming in Qbasic to find out temperatures relation with time .A comparison is carried out between the two studies, there is a good agreement and connected relations among Nusselt number(Nu) ,Rayligh number(Ra), time, and radius(R).

المقدمة

تعد الأوساط المسامية من أهم الوسائل التي تستخدم في خزن الطاقة ، فقد كثر التوجه الى البحث في مجال انتقال الحرارة بهذه الأوساط ولا سيما في العقود الثلاثة الأخيرة ، فهناك تطبيقات صناعية كثيرة منها العوازل الحرارية في الأبنية والحبيبات الخازنة للطاقة والمبادلات الحرارية الضخمة وقلب المفاعلات النووية .

اجرى الباحثان [1] محاكاة نظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر عبر فضاء مغلق مربع الشكل مملوء بوسط مسامي من حبيبات الالومينا وقد استخدمت طريقة المتجهات (Vectors) في وصف معادلات الاستمرارية والزخم

[+] تاريخ استلام البحث :٢٠٠٥/٧/٢١، تاريخ قبول النشر : ٢٠٠٦/٥/٢٨

[*] مدرس مساعد/ المعهد التقني/الحويجة

[**] مدرس مساعد/ جامعة تكريت/كلية الهندسة

والطاقة ومن ثم تحويلها الى صيغ عددية وحلها بطريقة الفروقات المحددة ، مثلت النتائج توزيع درجات الحرارة وعدد نسلت(Nu) وعند مقارنتها مع غيرهما منننتائج الباحثين وجد ان هناك توافق جيد .

اجرى [٢] دراسة نظرية لزمن تجمد المصبوبة خلال قالب معدني ،استخدمت الطريقة العددية في الحل ومن ثم برنامج حاسبي فقورنت النتائج التي تمثل توزيع درجات الحرارة مع غيرهم من الباحثين فكانت النتائج متقاربة .

أما الباحث[3]فقد أجرى دراسة نظرية وعملية للحمل الحر الطباقي خلال اسطوانة افقية ، استخدمت طريقة الفروقات المحددة المركزية في الحل العددي ، اما الجزء العملي فقد تضمن قياس درجات الحرارة بواسطة عدة مزدوجات حرارية، اجريت مقارنة بين الدراستين فكان هناك توافق جيد.

الباحث [٤] اجرى دراسة نظرية وعملية لانتقال الحرارة خلال مصبوبة من الالمنيوم ، تم خلالها قياس درجات الحرارة من قلب المصبوبة الى الجدران وقورنت مع الحل النظري الذي استخدم فيه طريقة الفروقات المحددة وكان هناك توافق جيد .

مما سبق تبين انها اجريت دراسات نظرية وعملية لتوزيع درجات الحرارة خلال المصبوبة وكذلك حساب كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر من قلب المصبوبة الى الاطراف من دون الوسط المسامي ،اما الدراسات التي تضمنت هواء ساخناً داخل الوسط المسامي فان اقصى درجة حرارة لها كانت $200^{o}C$. وفي هذا البحث أجريت دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة خلال قالب رملي عند صب حديد الزهر ، تمت صياغة نموذج رياضي مع برنامج حاسبي لمحاكاة هذا النموذج ، أما الجزء العملي فقد تضمن تثبيت مزدوجات حرارية في القالب الرملي لقياس درجات الحرارة أما التبريد فكان بطيئا بالهواء لذلك كان الوقت طويلا .

الهدف من البحث هو بناء نموذج رياضي مع برنامج حاسبي لمحاكاة هذا النموذج ثم مقارنته مع النتائج العملية المستحصلة من القياس التجريبي لمعرفة سلوك الوسط المسامي في انتقال الحرارة .

المواد وطرق العمل

هذا الجزء يتضمن عمليات صهر حديد الزهر وعملية صبه في القالب الرملي وقياس درجات الحرارة لمحاولة إثبات صحة النموذج الرياضي عن طريق المقارنة

١-تصنيع القالب الرملي :

أحضرت كمية من رمل السباكة (له خواص حرارية تم قياسها عن طريق[5] فالموصلية الحرارية (1.83w/m.k والمسامية 0.26 والنفاذية $0.2mm^2$ والحرارة النوعية 709w/kg.k والكثافة $2200kg/m^3$) الذي يتكون من رمل السليكا والذي يمتاز بمساميته والطين الذي يساعد في تماسك الرمل ونخلت جيدا بمنخل معدني ووضعت في إناء ذي شكل اسطواني مفتوح من الأعلى والأسفل وبقطر(٤٠)سم وثبت بشكل أفقي مستوي وضع نموذج معدني يشبه شكل النموذج المراد تصنيعه وبنفس الأبعاد بقطر (١٥) سم ووضع الرمل حوله ثم دك الرمل قليلا بواسطة قلم حديدي ووضعت كمية أخرى من الرمل فدكت بالقلم الحديدي وهكذا تستمر العملية حتى الوصول الى أعلى مستوى في الإناء المعدني على ارتفاع (٤)سم وسويت بشكل أفقي ، بعد ذلك تم رفع النموذج المعدني بصورة هادئة وحركة بطيئة لكي لا ينهار القالب الرملي وبعد الانتهاء من عمل القالب وضع قليل من الرمل لعمل مجرى لصب المعدن المنصهر وحفر قليلا مع استخدام فرشاة مبللة بالماء لاعادة تماسك الأطراف ، كما عملت ثقوب حول القالب بشكل دائري للتهوية وخروج الدخان كما في شكل (١) .

٢-تثبيت المزدوج الحراري :

استخدم مزدوج حراري نوع K (لان مدى القياس ^{o}C ١٠٠٠-١٧٠٠)تم تثبيته بشكل قطري على اربع نقاط بارتفاع (٢)سم والبعد بين كل نقطة ونقطة (١)سم ووضعت فوقها طبقة من الرمل للتثبيت أما النهاية الأخرى للمزدوجات الحرارية فهي مرتبطة مع لوح انتقائي وهو لوح من الخشب مستطيل الشكل تم تثقيبه بصف أفقي لربط النهايات الموجبة للمزدوج الحراري وثقب اسفل الصف الأفقي لربط النهايات السالبة للمزدوجات الحرارية استخدم مقياس رقمي متعدد الاغراض نوع (MY-69) بدقة 0.01C لقياس درجات الحرارة وقد تم ربط أحد نهايتي الجهاز الى النقطة السالبة والأخرى الى النقطة الموجبة والقيم مبينة في جدول (١) .

جدول رقم(١) : درجات الحرارة المقاسة في الجزء العملي مع الزمن

Y=1/4					Y=1/2			
t	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
0	1050	1000	900	870	1100	1050	960	900
10	820	790	650	550	885	810	690	600
20	760	685	590	500	800	700	610	560
30	700	610	510	440	750	650	550	485
40	520	495	425	390	590	510	465	420
50	460	420	350	360	500	440	395	400
60	420	390	310	300	440	400	360	340
Y=3/4					Y=1			
t	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
0	1150	1100	930	900	1175	1120	1000	950
10	920	820	680	600	950	850	720	640
20	760	680	600	550	810	720	650	600
30	700	600	510	470	760	680	590	520
40	560	500	465	415	602	560	500	475
50	475	400	375	350	525	450	420	410
60	400	370	330	320	460	420	405	395

الزمن (t) بالدقيقة و درجات الحرارة (T) بدرجة سيليزية و البعد العمودي اللابعدي Y

٣-الصهر والصب :

استخدم الفرن الدوار المبين بالشكل(2)حيث تكون الشحنة بتماس مع نواتج الاحتراق، تبلغ سعة هذا الفرن ١٥٠ كغم من المعدن المنصهر وهناك عجلة يدوية لتدوير الفرن عند صب المعدن المنصهر منه . شحن الفرن بالوقود حتى وصلت درجة حرارته ^{o}C 1400 ولمدة ساعتين بعد ذلك أضيفت قطع حديد الزهر الى الفرن من خلال الفتحة العليا وبقيت لمدة ٤٠ دقيقة حتى صهر المعدن تماما وفي هذه الأثناء سخن القالب الرملي بواسطة نار متنقلة ليصبح جاهزا لاستقبال المعدن المنصهر ، نقل المعدن المنصهر من الفرن بوساطة بوتقة مصنوعة من الفولاذ ومبطنة بالطابوق الناري لمقاومة حرارة المعدن المنصهر وكما في شكل(3)وهذه البوتقة محمولة بوساطة حامل حديدي ويصب المعدن المنصهر الى حوض الصب بالقالب الرملي كما في شكل(٤).

شكل(١)
صورة فوتوغرافية للقالب الرملي

شـــــكل(٢) صـــــورة
فوتوغرافية للفرن الدوار

شكل(٣) صورة فوتوغرافية
لعملية الصب والبوتقة
والحامل الحديدي

شكل(٤) صورة
فوتوغرافية للقالب الرملي
بعد إتمام عملية الصب

المعادلات الحاكمة

يمكن تمثيل القالب الرملي بوسط مسامي يملأ فراغ بين اسطوانتين متحدتي المركز و يـتم تمثيـل هـذا الجـزء باحداثيات (R,Y) ويتم تمثيل الشبكة الاحداثية للسهولة كما في الشكل (٥) .

المعادلات الحاكمة هي معادلة الاستمرارية والزخم تحت قانون دارسـي للجريـان والطاقـة، فتكـون معادلـة الاستمرارية بالشكل الاتي[٦] :

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

ومعادلة الزخم تكون بالشكل الاتي [٦] :

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{y}} - \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{r}} = \frac{-\boldsymbol{\rho}_{\circ}\mathbf{g}\boldsymbol{\beta}}{\boldsymbol{\mu}} \frac{\partial \mathbf{T}}{\partial \mathbf{r}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (2)$$

ومعادلة الطاقة للجزء السائل تكون بالشكل الاتي [٦] :

$$\frac{\partial \mathbf{T_f}}{\partial \mathbf{t}} + \mathbf{u}\frac{\partial \mathbf{T_f}}{\partial \mathbf{r}} + \mathbf{v}\frac{\partial \mathbf{T_f}}{\partial y} = \boldsymbol{\alpha}_{\mathbf{f}}\left[\frac{\partial^{\mathbf{2}}\mathbf{T_f}}{\partial \mathbf{r}^{\mathbf{2}}} + \frac{\partial^{\mathbf{2}}\mathbf{T_f}}{\partial \mathbf{y}^{\mathbf{2}}}\right] \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (3a)$$

ومعادلة الطاقة للجزء الصلب تكون بالشكل الاتي [٦] :

$$\frac{\partial \mathbf{T_s}}{\partial \mathbf{t}} = \boldsymbol{\alpha}_{\mathbf{s}}\left[\frac{\partial^{\mathbf{2}}\mathbf{T_s}}{\partial \mathbf{r}^{\mathbf{2}}} + \frac{\partial^{\mathbf{2}}\mathbf{T_s}}{\partial \mathbf{y}^{\mathbf{2}}}\right] \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (3b)$$

يتم تمثيل المعادلات بالصيغ اللابعدية لتسهيل الحل ،فتكون الصيغ اللابعدية كما يأتي[٧] :

$$R=r/r_o \ , Y=y/H \ , \ \mathbf{u} = -\frac{\partial \boldsymbol{\psi}}{\partial \mathbf{y}} \ , \ \mathbf{v} = \frac{\partial \boldsymbol{\psi}}{\partial \mathbf{r}} \ , \ \boldsymbol{\Psi} = \frac{\boldsymbol{\psi}}{\boldsymbol{\alpha}_{\mathbf{f}}}, \ \mathbf{U} = \frac{\mathbf{u}}{\boldsymbol{\alpha}_{\mathbf{f}}/\mathbf{Hp}} \ , \ \mathbf{V} = \frac{\mathbf{v}}{\boldsymbol{\alpha}_{\mathbf{f}}/\mathbf{L}} \ ,$$

$$P = \frac{p}{\rho U^2} \ , \ \Phi = \frac{T - T_c}{T_h - T_c} \ , \ \tau = \frac{t.U}{H} \ , \ Re = U.H/\nu \ , \ Gr = \frac{g\beta(T_h - T_c)H^3}{\upsilon^2} \ , \ Pr = \frac{\upsilon}{\alpha} \ ,$$

$$Ra = \frac{g\beta K(T_h - T_c)H}{\alpha\upsilon} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (4)$$

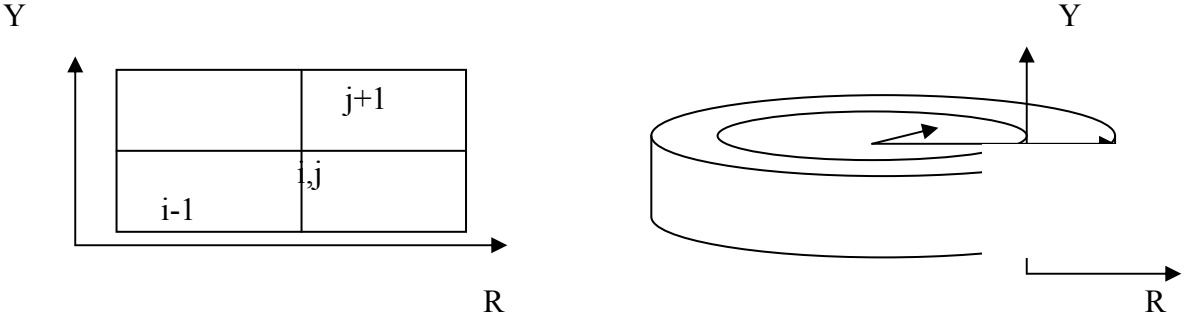
فتكون معادلة الاستمرارية والزخم والطاقة بالصيغة اللابعدية كما ياتي[٧] :

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{R}} + \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial \mathbf{Y}} = \mathbf{0} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (5)$$

$$-\frac{\partial^{\mathbf{2}}\boldsymbol{\Psi}}{\partial \mathbf{R}^{\mathbf{2}}} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{A}}\frac{\partial^{\mathbf{2}}\boldsymbol{\Psi}}{\partial \mathbf{Y}^{\mathbf{2}}} + \mathbf{Ra}^{*}\frac{\partial \Phi}{\partial \mathbf{R}} = \mathbf{0} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (6)$$

$$\frac{\partial \Phi_f}{\partial \tau} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{A}}\frac{\partial \Phi_f}{\partial \mathbf{R}}\frac{\partial \boldsymbol{\Psi}}{\partial \mathbf{Y}} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{A}}\frac{\partial \Phi_f}{\partial \mathbf{Y}}\frac{\partial \boldsymbol{\Psi}}{\partial \mathbf{R}} = \frac{\partial^{\mathbf{2}}\Phi_f}{\partial \mathbf{R}^{\mathbf{2}}} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{A}^{\mathbf{2}}}\frac{\partial^{\mathbf{2}}\Phi_f}{\partial \mathbf{Y}^{\mathbf{2}}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (7a)$$

$$\frac{\partial \Phi_s}{\partial \tau} = \frac{\partial^{\mathbf{2}}\Phi_s}{\partial \mathbf{R}^{\mathbf{2}}} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{A}^{\mathbf{2}}}\frac{\partial^{\mathbf{2}}\Phi_s}{\partial \mathbf{Y}^{\mathbf{2}}} \qquad (7b)$$



شكل(٥): الشبكة الإحداثية

الظروف الحدودية

At $\tau = 0$, $\Phi=1$, $U=0$, at all R and Y

At $\tau > 0$

1-R=0 , U=0 , $\frac{\partial \Phi}{\partial R} = 0$ at all Y

2-R=1 , U=0 , $\frac{\partial \Phi}{\partial R} = \frac{h}{k}$ at all Y

3-Y=0 , U=0 , $\frac{\partial \Phi}{\partial Y} = 0$ at all R

4-Y=1 , U=0 , $\frac{\partial \Phi}{\partial Y} = \frac{h}{k}$ at all R

الافتراضات: تمت صياغة هذه الافتراضات على اساس الواقع العملي :

١- يكون انتقال الحرارة باتجاهين (R,Y).

٢- الوسط متساوي الخواص في جميع الاتجاهات (ISOTROPIC) .

٣- كثافة المائع ثابتة إلا عندما تتسبب من قوة الطفو مباشرة وحسب تقريب بويسينسك[٦] .

$$\rho = \rho_o[1-\beta(T-T_o)] \quad \text{.....} \quad (8)$$

حيث β معامل التمدد الحجمي = $\frac{1}{Tav} = \frac{2}{T_1 + T_4}$

٤- خواص المائع الأخرى تكون ثابتة .

٥- الوسط متجانس ، أي أن المادة الصلبة والمائع المنساب خلال المسامات موزعان بشكل منتظم في الوسط المسامي .

٦- الحرارة المتولدة بتأثير اللزوجة مهملة .

٧-عدد رينولدز (Re=1) يساوي واحد دائماً .

الفروقات المحددة

استخدمت طريقة الفروقات المحددة المركزية لحل المعادلات التفاضلية السابقة وكما ياتي [٨] :-

معادلة الاستمرارية بصيغة الفروقات المحددة تكون بالشكل الاتي :

$$U_{i-1,j} - 2U_{i,j} - U_{i,j-1} = 0 \quad \text{.....} \quad (9)$$

ومعادلة الزخم بصيغة الفروقات المحددة تكون بالشكل الاتي :

$$U_{i,j}^{n+1} = U_{i,j}^{n} - \frac{\nu \Delta\tau}{H}\left(\frac{U_{i,j}^{n} - U_{i-1,j}^{n}}{\Delta R} + \frac{U_{i,j}^{n} - U_{i,j-1}^{n}}{\Delta Y}\right) + \Delta\tau\left(\frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta R} + \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta Y}\right)$$

$$+ \Delta\tau\left(\frac{U_{i+1,j}^{n} - 2U_{i,j}^{n} + U_{i-1,j}^{n}}{\Delta R^2} + \frac{U_{i,j+1}^{n} - 2U_{i,j}^{n} + U_{i,j-1}^{n}}{\Delta Y^2}\right) + \Delta\tau\, Gr\, \Phi_{i,j}^{n} \quad \text{.....} \quad (10)$$

اما معادلة الطاقة فتكون بالشكل الاتي:

$$\Phi_{i,j}^{n+1} = \Phi_{i,j}^{n} - \frac{\nu\Delta\tau}{H}\left(\frac{\Phi_{i,j}^{n} - \Phi_{i-1,j}^{n}}{\Delta R} + \frac{\Phi_{i,j}^{n} - \Phi_{i,j-1}^{n}}{\Delta Y}\right) + \frac{\Delta\tau}{Pr}\left(\frac{\Phi_{i+1}^{n} - 2\Phi_{i,j}^{n} + \Phi_{i-1,j}^{n}}{\Delta R^2} + \frac{\Phi_{i+1}^{n} - 2\Phi_{i,j}^{n} + \Phi_{i-1,j}^{n}}{\Delta Y^2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

ولتحقيق الاستقرارية في الحل العددي وبعد تعويض الثوابت ،

لابد من ان تكون : $(1-12\Delta\tau)>=0$

$$\Delta\tau=0.333=\frac{t.\nu}{H^2}$$

لذلك فان: $t = 40\ sec$

والذي يمثل تكرار العملية في البرنامج حتى الوصول الى الشرط الاتي[١] :

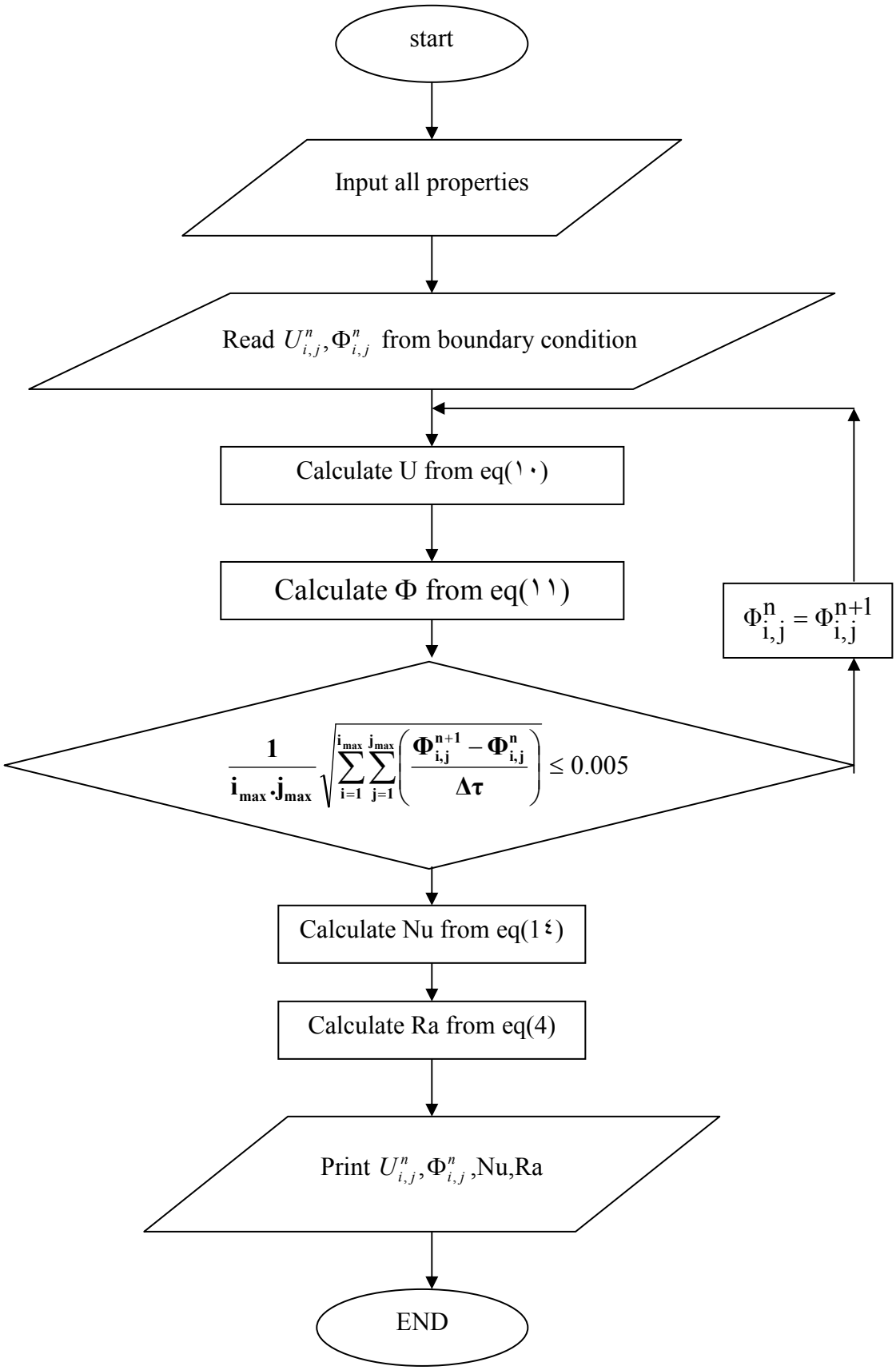
$$\frac{1}{i_{max}.j_{max}}\sqrt{\sum_{i=1}^{i_{max}}\sum_{j=1}^{j_{max}}\left(\frac{\Phi_{i,j}^{n+1} - \Phi_{i,j}^{n}}{\Delta\tau}\right)} \le 0.005 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

والذي عنده يتوقف البرنامج . إذ ان البرنامج يقوم باستدعاء القيم الاولية من الظروف الحدية ثم يدخلها في المعادلات(٩ ، ١٠ ، ١١) وبعد ذلك تعد النتائج قيماً اولية لتكرار العملية حتى الوصول الى معادلة (١٢) عندها يقوم بطبع النتائج وينهي البرنامج كما موضح في المخطط الانسيابي شكل (٦) . اما عدد نسلت فيتم حسابه من المعادلة الاتية [١]:

$$Nu = \frac{\partial\Phi}{\partial R}\Big|R=0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

وبصيغة الفروقات المحددة تكون[١] :

$$Nu = \sum_{i=1}^{imax}\frac{\Phi_{0,j} - \Phi_{2,j}}{\Delta R}\Delta Y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$



شكل(٦): المخطط الانسيابي للبرنامج المستخدم في الجزء النظري

النتائج والمناقشة

تمثل النتائج العملية القيم المستحصلة من القياس التجريبي والتي تمثل درجات الحرارة اللابعدية وكما ياتي :

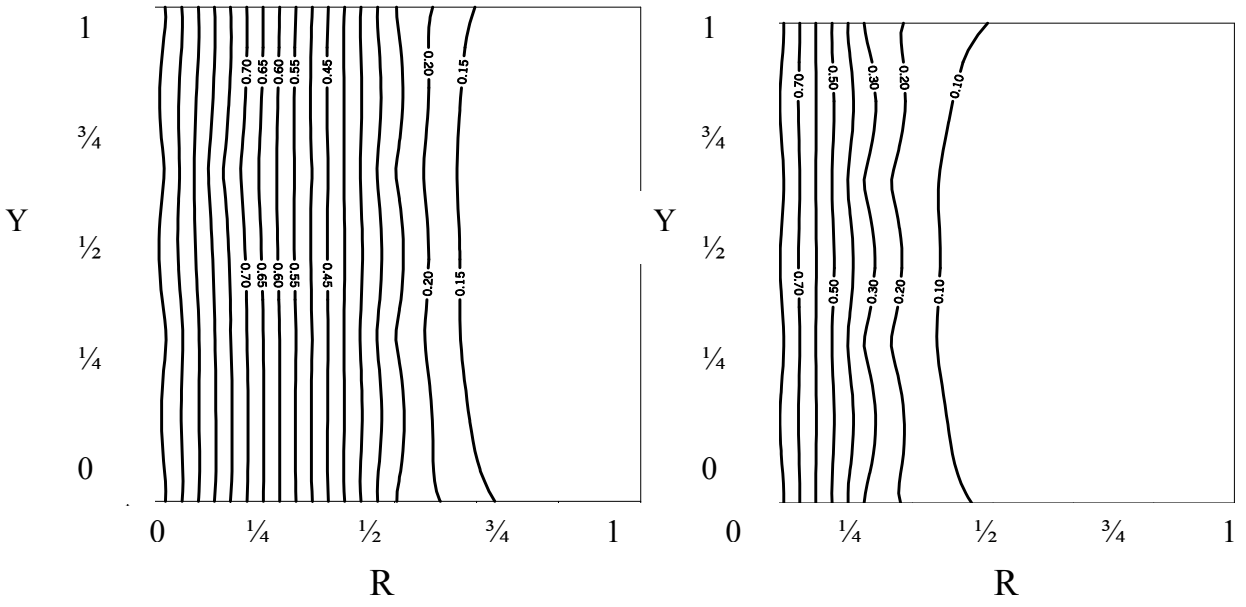
الشكل(٧) يمثل توزيع خطوط ثبوت درجات الحرارة مع المحورين(R,Y) ومع الزمن حيث يلاحظ في شكل(أ) عند بداية الصب ان خطوط ثبوت درجات الحرارة تزداد تقاربا من السطح الساخن وتبتعد من السطح البارد بعد فترة ١٢٠٠ ثانية نلاحظ ان خطوط ثبوت درجات الحرارة ابتعدت قليلا من السطح الساخن نحو السطح البارد ،ثم يزداد انتشار الخطوط مع ازدياد الفترة الزمنية كما في شكل (جـ) أي بعد فترة (٢٤٠٠) ثانية، حتى تصل الى حالة الاستقرار في شكل (د) عند انجماد المصبوبة ويكون انتشار الخطوط منتظماً أي بعد فترة (٣٦٠٠) ثانية .

اما النتائج النظرية فتمثل القيم المستحصلة من البرنامج الحاسوبي والتي تمثل درجات الحرارة اللابعدية ودالة الانسياب اللابعدية وعدد نسلت وكما ياتي :

الشكل(٨) يمثل توزيع خطوط ثبوت درجات الحرارة مع المحورين(R,Y) ومع الزمن حيث يلاحظ في شكل (أ) عند بداية الصب ان خطوط ثبوت درجات الحرارة تزداد تقاربا من السطح الساخن وتبتعد من السطح البارد بسبب نمو طبقة متاخمة ، بعد فترة ١٢٠٠ ثانية نلاحظ ان خطوط ثبوت درجات الحرارة ابتعدت قليلا من السطح الساخن نحو السطح البارد ،ثم يزداد انتشار الخطوط مع ازدياد الفترة الزمنية كما في شكل (جـ) أي بعد فترة (٢٤٠٠) ثانية حتى تصل الى حالة الاستقرار في شكل (د) عند انجماد الصبوبة ويكون انتشار الخطوط منتظماً أي بعد فترة (٣٦٠٠) ثانية .

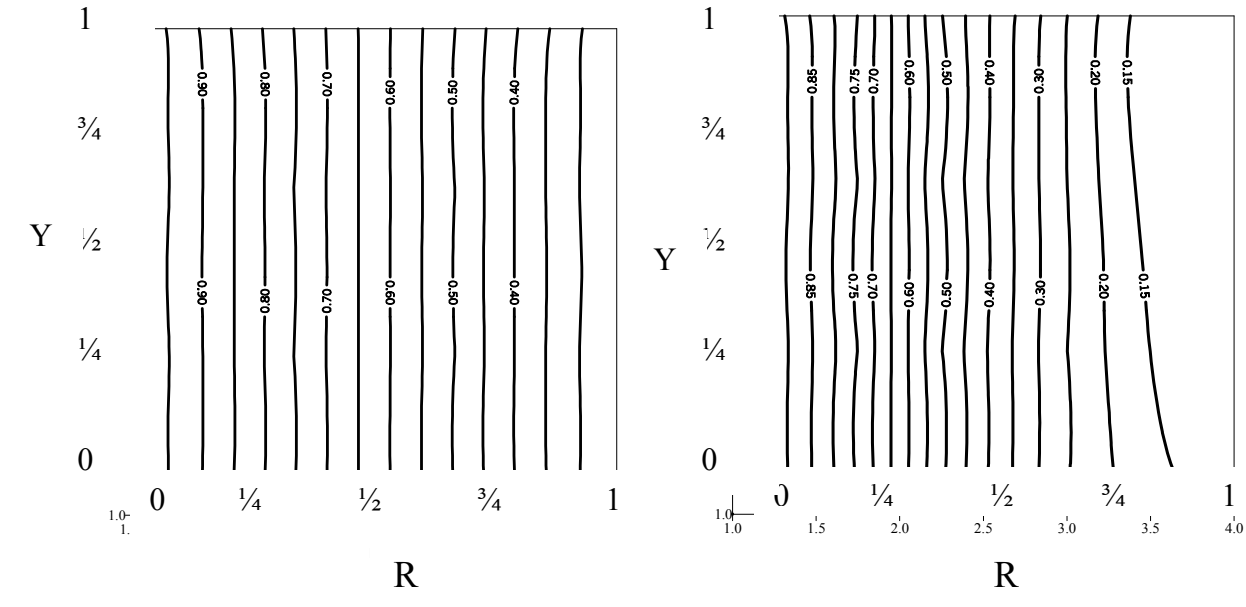
اما عدد نسلت في الجزء العملي فنلاحظ في شكل(٩) عند بداية الصب انخفاض قيمة عدد نسلت من اعلى قيمة (14.2) عند الجدار الساخن وحتى اقل قيمة (11.4) عند R=1 ، وبعد فترة (١٢٠٠) ثانية نلاحظ ان اعلى قيمة لعدد نسلت انخفضت الى (12.3) واقل قيمة انخفضت الى (9.75) ثم يزداد الانخفاض بعد فترة (٢٤٠٠) ثانية تكون اعلى قيمة لعدد نسلت (9.3) واقل قيمة (7.78) حتى تصل الى حالة الاستقرار بعد (٣٦٠٠) ثانية حيث تكون قيمة عدد نسلت ثابتة (7.2) .

وعدد نسلت في الجزء النظري فنلاحظ في شكل(١٠) عند بداية الصب انخفاض قيمة عدد نسلت من اعلى قيمة (١٥) عند R=Ri أي الجدار الساخن وحتى اقل قيمة (١٠) عند R=1 ، وبعد فترة(١٢٠٠) ثانية نلاحظ ان اعلى قيمة لعدد نسلت انخفضت الى (١٢) واقل قيمة انخفضت الى (٩) ثم يزداد الانخفاض بعد فترة (٢٤٠٠) ثانية تكون اعلى قيمة لعدد نسلت (٩) واقل قيمة (٨) حتى تصل الى حالة الاستقرار بعد (٣٦٠٠) ثانية حيث تكون قيمة عدد نسلت ثابتة (٨) .



أ–بداية الصب

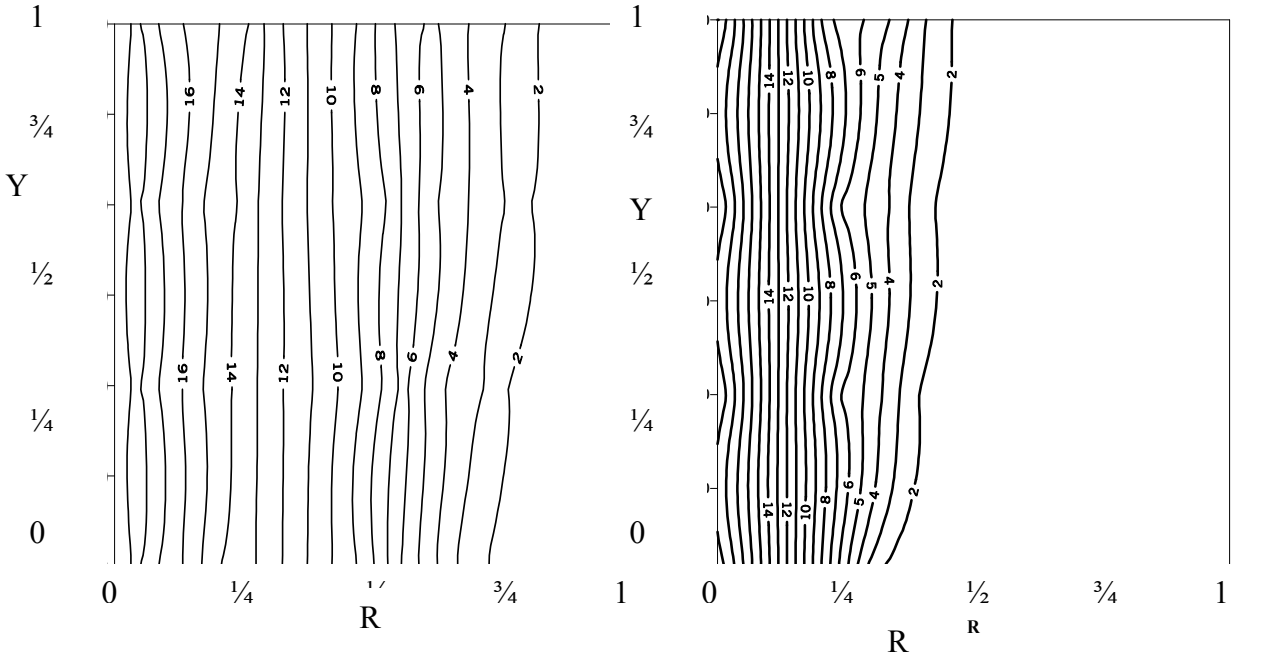
ب–بعد ١٢٠٠ ثانية



جـ–بعد ٢٤٠٠ ثانية

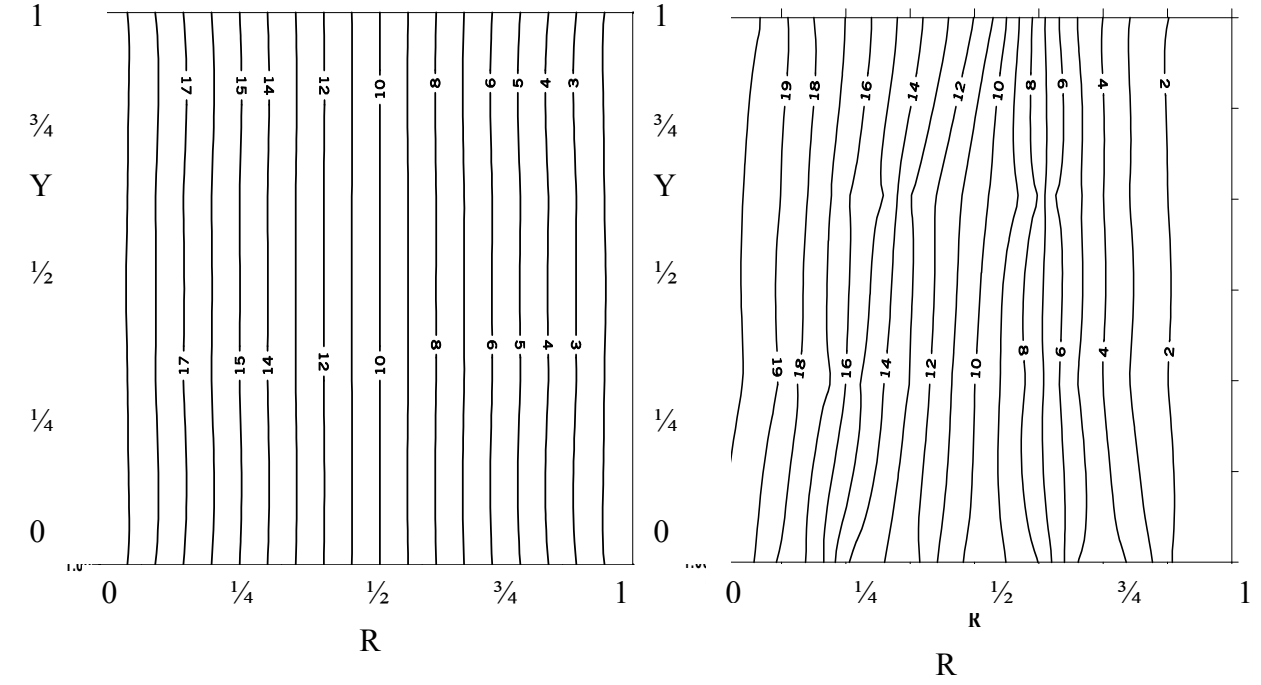
د–بعد ٣٦٠٠ ثانية

شكل(٧): تغير خطوط ثبوت درجات الحرارة مع الزمن خلال الجزء العملي



أ–بداية الصب

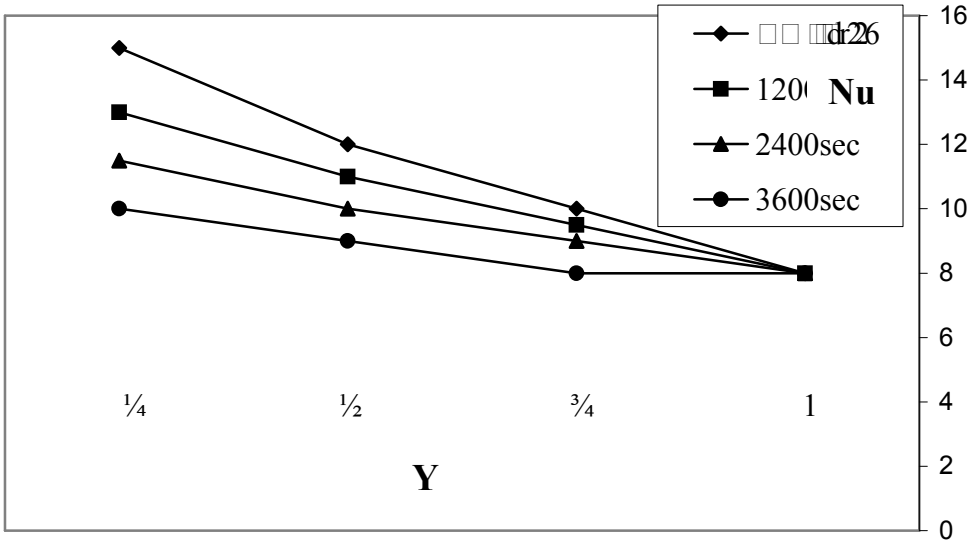
ب–بعد ١٢٠٠ ثانية



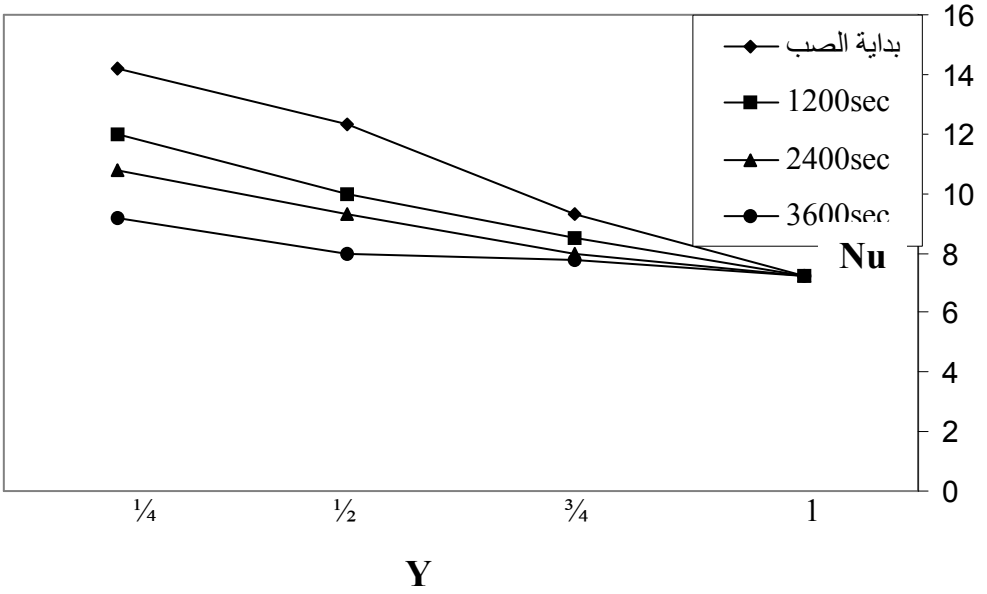
جـــ–بعد ٢٤٠٠ ثانية

د–بعد ٣٦٠٠ ثانية

شكل(٨) : تغير خطوط ثبوت درجات الحرارة مع الزمن خلال الجزء النظري



شكل(٩) :تغير عدد نسلت خلال الجزء العملي



شكل(١٠): تغير عدد نسلت خلال الجزء النظري

الاستنتاجات

١. يوجد فرق بين النتائج العملية والنظرية في قيم عدد نسلت بنسبة 6.4% وكذلك خطوط ثبوت درجات الحـــرارة والسبب يعزى الى عدم الدقة في القراءات العملية والفارق الزمني بين قراءة واخرى.

٢. تنجمد مصبوبة حديد الزهر بفترة زمنية مقدارها(٣٦٠٠)ثانية تحت الظروف المذكورة سابقاً.

٣. المعادلات الارتباطية للنتائج العملية تمثل العلاقة بين عدد نسلت وعدد رايلي والزمن والمحور(R) كما ياتي:

$$Nu=15.75+5.85*Ra+11.52*\tau \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

$$Nu=22.3+5.7*Ra+13*R \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

٤. المعادلات الارتباطية للنتائج النظرية تمثل العلاقة بين عدد نسلت وعدد رايلي والزمن والمحور (R) كما ياتي:

$$Nu=13.65+6.23*Ra+12*\tau \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

$$Nu=24.23+4.2*Ra+14*R \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

التوصيات

١. استعمال اداة تبريد لتقليل زمن تجمد المصبوبة .

٢. توسيع الدراسة لتشمل عدة معاملات متغيرة منها (قطر المصبوبة و سمك القالب و المسامية و النفاذية) .

٣. اجراء نفس الدراسة على معدن او مسبوكة اخرى غير حديد الزهر .

8- S. V. Patanker , *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow ,* McGraw Hill , 1980 .

قائمة الرموز والمصطلحات

الرمز	المعنى	الوحدة
g	التعجيل الأرضي	m/s^2
Gr	عدد كراشوف اللابعدي $Gr = g \beta \Delta T H^3 / \nu^2$	-
h	معامل انتقال الحرارة بالحمل	$w/m^2 .k$
H	ارتفاع القالب	m
k	معامل التوصيل الحراري	w/m.k
K	نفاذية الوسط المسامي	m^2
Nu	عدد نسلت $Nu = Hh / k$	-
P	الضغط	N/m^2
Pr	عدد براندتل $Pr=\nu/\alpha$	-
t	الزمن	sec
T	درجة الحرارة	C
R	الاحداثي القطري اللابعدي	-
Ra	عدد رايلي $Ra= K g \beta \Delta T H / \alpha\nu$	-
Re	عدد رينولدز $Re = U H / \nu$	-
U	السرعة اللابعدية بالاتجاه القطري	-
V	السرعة اللابعدية بالاتجاه العمودي	-
Y	الاحداثي العمودي اللابعدي	-

الرموز الاغريقية

الرمز	المعنى	الوحدة
α	الانتشارية الحرارية	m^2/s
β	معامل التمدد الحراري	1/k
Φ	درجة الحرارة اللابعدية	–
τ	دالة الزمن اللابعدية	–
ν	اللزوجة الكينماتية	m^2/s

المصادر (References)

1-M.H. Rahimian and A. Pourshaghaghy , *"Direct Simulation of Natural Convection in a Square Porous Cavity"* . *Proceeding of CFD* , Ottawa, Ontario, k1s 5J1, Canada , 28-30 Mai , 2003 .

2-Hlou, ek J. and Kavi è ka F. and Maznkov, M. and Khodadadi J.M.*," Correcting estimates of the total solidification time of plate-shaped castings "*, *Proceedings of the International Conference TMS / ASM Material* ,Week '95, Cleveland Ohio,USA, 1995 .

3-B.Farouk , *"Natural Convection from a Horizontal Cylinder – Laminar Regime"*. *ASME*,Vol.103 , August 1981 .

4-Kasim M.Daws, *"Computer Simulation for a Casting Mould Design"*. Ph.D Thesis , Mechanical engineering , University of Baghdad , Iraq , 1997 .

5-M.R.Brakhudarov , *"Fluid Flow Is Important for Predicting Solidification "*, *Proceeding of Solidification Processing 97* , Sheffield,U.K. 7-10 July 1997 .

6-A. Bejan , "*Convection Heat Transfer" ,* CH.10, PP. 223, New York , 1984 .

7- M. R. Barkhudarov , *"Advanced Simulation of the Flow and Heat Transfer Processes in Simultaneous Engineering "*, *Flow Science, Inc.,* 1257 40-th Street, Los Alamos, New Mexico 87544, USA , Tel:+1-505-662-2636 , Fax:+1-505-662-6564 , e-mail:mike@flow3d.com