دراسة مختبريه لتوزيع درجات الحرارة في إناء كروي وأسطواني ومستطيلي المقطع

إعداد :
أنس محمد احمد
عبد الحليم محمد إبراهيم
مأمون عبد القيوم عبد الكريم

مشروع تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة الدبلوم في الهندسة الميكانيكية

كلية الهـندسة والتقنية
جامـــعة وأدى النيـــل

مـــــايو 2003م

دراسة مختبريه لتوزيع درجات الحرارة في إناء كروي وأسطواني ومستطيلي المقطع

إعداد :
أنس محمد احمد
عبد الحليم محمد إبراهيم
مأمون عبد القيوم عبد الكريم

مشروع تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة الدبلوم في الهندسة الميكانيكية

كلية الهـندسة والتقنية
جامـــعة وأدى النيـــل

مـــــايو 2003م

بسم الله الرحمن الرحيم

الافتتاحية

قال تعالى (اللَّهُ لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ الْحَيُّ الْقَيُّومُ لَا تَأْخُذُهُ سِنَةٌ وَلَا نَوْمٌ لَهُ مَا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ مَنْ ذَا الَّذِي يَشْفَعُ عِنْدَهُ إِلَّا بِإِذْنِهِ يَعْلَمُ مَا بَيْنَ أَيْدِيهِمْ وَمَا خَلْفَهُمْ وَلَا يُحِيطُونَ بِشَيْءٍ مِنْ عِلْمِهِ إِلَّا بِمَا شَاءَ وَسِعَ كُرْسِيُّهُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ وَلَا يَئُودُهُ حِفْظُهُمَا وَهُوَ الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ) (البقرة:٢٥٥)

الإهـــداء

إلى منبع العزة والكرامة ...
وطني العزيز

إلى نور حياتنا، إصول بنيانتا .. والقبس الذي لولاه ماكنا، بهم نفتخر
والدينا ... اخوتنا

إلى جيلنا الناشئ الذي يعشق التقدم والارتقاء ..

إلى نبراس ساحتنا، وسماء كليتنا، بهم اقتدينا، ومنهم التمسنا دفء العلم،
وحرارة الشوق للعمل، فعلمنا قيمته الفعلية ...
الاساتذة الاجلاء .

إلى النسور التي تعشق الترحال، التي كانت معرفتهم الكنز الحقيقي لنا،
عكسوا لنا أصالة نشأتهم وحلاوة الربوع في بلدنا الحبيب . رفقاء الدرب ...
الاخوة الزملاء

شكر وعرفان

الشكر اولاً واخيراً لله سبحانه وتعالى الذي وفقنا لإكمال هذا المشروع .

ومن واجب واجباتنا أن نخص بالشكر والتقدير

الأستاذ الفاضل /

أسامه محمد المرضي

المشرف على هذا العمل والذي لم يبخل علينا بوقته النفيس وعلمه الغزير ،،،،

والشكر نرجيه لأساتذة قسم الفيزياء – كلية التربية الذين ساهموا معنا أيضاً بتوجيهاتهم .

الفـــهرس

المـــوضوع : **الصفحة**

الافتتاحية : II

الإهداء : III

شكر وعرفان : V

فهرس المحتويات..... VI

الفصل الأول

المقدمة 2

الفصل الثاني – طرق انتقال الحرارة

انتقال الحرارة بالتوصيل 5

انتقال الحرارة بالحمل 12

انتقال الحرارة بالإشعاع 13

الفصل الثالث –التحليل النظري لإنتقال الحرارة خلال جدار مستوى واسطوانة وكره

انتقال الحرارة خلال جدار مستو 15

انتقال الحرارة خلال اسطوانة 18

انتقال الحرارة خلال كره 20

معادلات توزيع درجات الحرارة وانتقالها في التوصيل أحادي البعد..... 22

الفصل الرابع – التصميم والتصنيع

التصميم 27

التصنيع 29

الفصل الخامس – الاختبارات والنتائج

مقدمة عن السخان والثيرمومتر..... 31

الاختبارات والنتائج والمقارنة 32

الفصل السادس – الخاتمة والتوصيات

الخاتمة 36

التوصيات 37

المراجع 38

الملاحق

ملحق – A 40

ملحق – B 43

ملحق – C 56

الملخص

هذا المشروع يشمل عمل تجارب معمليه لدراسة توزيع درجات الحرارة على إناء أسطواني ، كروى ومستطيلي المقطع . يتناول الفصل الأول مقدمة عامة عن انتقال الحرارة ، ويتناول الفصل الثاني الطرق التي تتم بها عملية انتقال الحرارة عموماً ، أما الفصل الثالث فيتناول الطريقة النظرية لإنتقال الحرارة عبر أسطوانة ، كرة جوفاء وجدار مستو ، ايضاً يتناول ، الفصل الرابع طريقة تصميم وتصنيع الأواني التي تمت عليها إجراء التجارب ، أما الفصل الخامس فهو تناول التجارب التي أجريت والنتائج المتحصل عليها وهي عبارة عن قرآءت لدرجات الحرارة بالنسبة لطول ممر سريان الحرارة والتي تم تحويلها لمنحنيات بيانيه لتوضح سلوك سريان الحرارة خلال اسطوانة ، كره ومستطيل.

بينما الفصل الأخير لهذه الدراسة يتضمن الخاتمة والتوصيات المستقبلية لهذا النوع من الدراسة

الفصـــل الأول

الفصل الأول

1.0 مقدمة

1.1 مقدمة عامة

الحرارة هي طاقة في حالة عبور ناشئة من الفرق في درجات الحـــرارة وانتقـــال الحـــرارة هـــو القطاع الهندسي الذي يتعاون مع الآليات المسئولة عن انتقال الطاقة من مكان لآخر عند وجود فرق فـــي درجات الحرارة .

عند دراسة الديناميكا الحرارية نهتم بحفظ الطاقة واتجاه مسارها وتستغرق دراسة حالات الاتزان الجـــزء الأكبر من وقت الدراسة أما في حالة دراسة انتقال الحرارة فنتعرض لكل من عمليات الاتزان ويسمح لنـــا علم انتقال الحرارة في تحديد معدل انتقال الطاقة الناشي من عدم الاتزان في درجات الحرارة . علم انتقـــال الحرارة ينشد إمدادنا بإجابات .للأسئلة التالية :-

1-هل تستطيع الحرارة أن تسلم لمنظومة أو تزال منها بمعدلات مطلوبة دون الحاجة لاستخدام فروق درجات حرارة مفرطة ؟ .

2- ما هي المدة التي تستغرقها عملية انتقال الطاقة الحرارية ؟

3- ما مقدار الطاقة الحرارية المنقولة ؟.

4- ما هي مساحة السطح الضرورية لانتقال الحرارة ؟

5- ما شكل توزيع درجات الحرارة داخل المنظوم ؟

1-2 مقدمة عن انتقال الحرارة :-

يؤثر علم انتقال الحرارة تأثيرا كبيرا علي كل مشاكل الطاقة ، ويعطي مجالا يترواح بين الحمل الروتينـــي لتدفئة أو تبريد المباني إلى المشاكل المعقدة المرتبطة بتوليد القدرة النووية وفي حالة التحكم المناخي لمبنـــي يجب عمل موازنات حرارية تساوي مابين الحرارة المضافة (الإضاءة ، المحركات الكهربائية ، والطاقـــة الشمسية الداخلة من النوافذ)

يتم الاهتمام بانتقال الحرارة في كثير من المجالات الهندسية أما المهندس الميكانيكي يهتم بمعدلات انتقـــال الحرارة عند التسخين للمباني وتطوير المنشآت العديدة لتحديـــد القـــدرة ، وتحســـين الكفـــاءة للـــدورات الثيرموديناميكية .

إن علم انتقال الحرارة له تطبيقات واسعة في التكنولوجيا وليس محدداً بالنظر إلى مساحة أو مساحتين معزولتين وانتقال الحرارة عبر حدود النظام منه أو إليه حتى الآن لم تحدد له ميكانيكية معينة والتعريف المعطى ببساطة وضح أن الحرارة عبارة عن طاقة تنتقل من جسم لآخر من الأعلى درجة حرارة للأقل درجة باعتبار الفرق في درجات الحرارة للجسمين وباعتبار ميكانيكية نقل الحرارة ووجود فرق بسيط هو ضروري للمقارنة بين الأجسام من أساسيات الديناميكا الحرارية.

لكن حالياً يصبح التعريف صعباً لتحديد نظام لانتقال الحرارة ولشرح هذه النقطة . خذ قطعة من الحديـد

سخنت من طرف وبردت من الآخر ومصدر الحرارة ربما يوضع حول الأطراف ولكـــن الأطـــراف تختلف حسب الطول أو البعد ، والأطراف توضع لحبس الحرارة ليكون النظام مغلـــق . وفـــي حالـــة الحوجة لاستخدام قوانين الديناميكا الحرارية في هذا النظام لابد من وضع درجة حرارة معقولة ولكـــن هنالك مشاكل كثيرة بحيث أدخلنا كمية معينة من الحرارة (معقولة)تعتبر الحد المناسب ويمكن أن تكـون ثابتة أو متغيرة وتعتمد على حالة الطقس أما أن تكون متشابهة أو تتغير متقلبة مع الزمن ولكن اغلـــب المشاكل في نقل الحرارة الثابتة أو الذي تنتقل فيه الحرارة بسرعة معلومة أو محـــدودة بينمـــا هنـــالك حالات متعددة ولابد من اعتبارها .

1.3 الهدف من المشروع :ـ

يهدف هذا المشروع لدراسة سلوك توزيع درجات الحرارة في مقاطع هندســـية مختلفـــة كلاســـطوانه والمقطع المستطيلى والمقطع الكروي وذلك بتصنيع أوعيه ذات مقاطع مستطيلة وأســـطوانية وكرويـــه وإجراء الاختبارات عليها لتحديد الشكل الهندسي المناسب للتوزيع الأفضل لدرجات الحرارة .

الفصل الثاني

طـــرق انتـــقال الحـــرارة

الفصل الثاني

2-0طرق انتقال الحرارة

عموماً هنالك ثلاثة طرق مختلفة لانتقال الحرارة وهي :

1- بالتوصيل By conduction

2 -بالحمل By convection

3- بالإشعاع By radiation

وهنا نأخذ بالتفصيل كل حالة من حالات انتقال الحرارة على حدي:-

2-1 انتقال الحرارة بالتوصيل : - (قانون فور ير للتوصيل)

وهي تعني نقل الحرارة من جسم لآخر أو من مادة إلي أخرى مختلفة فيزيائيا توصل معها مباشرة .

ترجع النشأة المبكرة للتوصيل الحراري للعالم الرياضي الفرنسي فور ير الذي اعتبر أول من اقترح القانون المعروف حالياً(بقانون فور ير للتوصيل الحراري) . وهو تعميم لمعلومات تجريبية . انه ينبئنا بكيفية توصيل الحرارة خلال وسيط من مجال ذي درجة حرارة عالية إلي مجال ذي درجة حرارة منخفضة .

اعتبر فرناً ساخناً بالداخل وبارداً في الخارج ومعدل انتقال الحرارة Q من داخل الفرن إلى خارجه تتناسب طردياً مع مساحة السطح للجدار A المتعامدة على اتجاه سريان الحرارة ، وتتناسب طردياً مع فرق درجات الحرارة عبر الجدار $[t_{in} - t_{out}]$ وتتناسب عكسياً مع ثخانة الجدار (x)

$$Q\alpha \ \frac{A(t_{in} - t_{out})}{X}$$

او

$$Q = \frac{K\,A(t_{in} - t_{out})}{X} \longrightarrow \quad (2\text{-}1)$$

حيث أن قانون فور ير هو عملية تكامل للمقدار

$Q \alpha \quad A\, dt/dx$

$Q = - K\, A\, dt/dx$

$$\int_0^x Q dx = \int_{out}^{in} -k a dt$$

$$\int_0^x Q dx = -A\int_{out}^{in} k dt$$

$$\dot{Q}_x = -KA\int_{tout}^{tin} dt$$

$$Q = -KA\frac{(t_{in} - t_{out})}{x}$$

وهذه المعادلة يمكن حلها بمعلومية الثابت والفرق في درجات الحرارة ولكن في كل الأجسام المصمته معامل الموصلية الحرارية K ثابت تقريباً في مدي واسع من درجات الحرارة ولهذا نآخذه كثابت .

ووحدات المعادلة السابقة هي :-

Q ≡ معدل كميه الحرارة ووحدتها تساوي w (واط).

A ≡ مساحة السطح ووحدتها تساوي m^2 (متر مربع)

$K/m \equiv dt/dx$ (كلفن /متر)

k ≡ معامل الموصلية الحرارية ووحدتها تساوي **W/m.k** (واط / متر . كلفن)

معامل الموصلية الحرارية (**K**) :-

معامل الموصلية الحرارية لمعظم المواد تم قياسه عن طريق التجربة ووضع في جدول هندسي معروف وفيما يلي مثال لبعض المواد ومعامل الموصلية الحرارية لها :

معامل الموصلية (بالـ w / mk)	المادة
386	Pure copper
229	Pure Aluminum
164	Durelminum
52	Cast iron
48.5	Mild steel
0.35 - 07	Builcling brick
34.6	Lead
0.85 – 1.4	Concrete
0.15 - 0.2	Wood
0.15	Rubber

ومن هذا نخلص إلي أن المواد التي لها معامل موصلية عالي هي المواد ذات التوصيل الجيد والتي لها معامل موصلية حرارية منخفض جيده لعزل الحرارة . وتوصيل الحرارة يحدث في المواد الخالصة أكثر منه في المواد المخلوطة و أقل في المواد الغير حديدية ومعامل الموصلية أقل في المواد العازلة (العوازل) المعلومة ذلك لوجود الهواء المتخلل بين جزيئاتها وذلك مثل الفلين والغازات والسوائل كلها عوازل جيده مالم توجد طبقة(سائل –غاز) .يكون الانتقال بالتوصيل.

قانون نيوتن للتبريد :-

لكي نصل إلي النسبة التي يتم فيها نقل الحرارة من سائل إلي آخر عبر حائط مـــن الضـــروري معرفة شئ عن الطريقة التي بها تنقل الحرارة من جسم صلب إلي سائل وبالعكس وقانون نيوتن بالنســـبة لحالة التبريد ينص علي أن الحرارة تنتقل من سطح صلب بمساحة سطح A بدرجة حرارة t_w إلي ســـائل عند درجة حرارة t. معطي بالمعادلة :

$$Q = ha\,(t_w - t) \longrightarrow \quad (2\text{-}2)$$

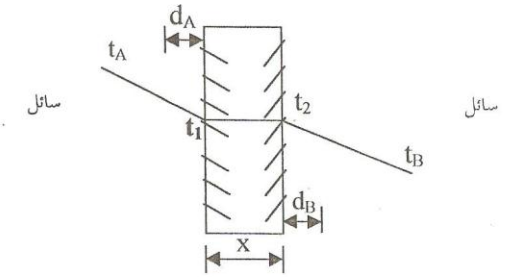
حيث أن :

h ≡ معامل إنتقال الحرارة ووحداتها W/m^2.

t_w ≡ درجة حرارة السطح .

t ≡ درجة حرارة البيئة المحيطة

ومعامل نقل الحرارة يعتمد على خواص السائل وسرعته وعادة من الضروري تقييمها بالتجربة والمعادلـــة السابقة لا تتضمن الحرارة المفقودة من السطح بواسطة الإشعاع وهذا الأثر يمكن حسابه منفصـــلا وفـــي حالات كثيرة يمكن نسيانه مقارنة بالحرارة المنقولة بواسطة التوصيل او التأثير من سطح السائل وعندمـــا تكون درجة حرارة السطح عالية او عندما توجد حرارة مفقودة بواسطة التأثير الطبيعي تصبـــح الحـــرارة المنقولة بفعل الإشعاع مشابهة لدرجة الحرارة المفقودة بواسطة التأثير .



التغيير في درجة الحرارة مثال من السائل (A) . درجة الحرارة تنزل سريعا من t_a الى t_1 مـــن جســـم السائل ونفس الشيء حيث تنزل درجة الحرارة من t_2 إلى t_b في الحائط.

عمليا في معظم الحالات درجة حرارة السائل تقريباً ثابته في جميع الأنحاء ، وجزء من الطبقـــة الرقيقة التي من الجسم الصلب حول السائل .

الخطوط المتقطعة تعني سمك الطبقة الرقيقة التي في السائل (δa ، δb) . وفي هـــذه الطبقـــة الرقيقه كما ذكرنا يكون إنتقال الحرارة بالتوصيل فقط .

من السائل A إلي الحائط

$$q = \frac{KA}{\delta A}(t_A - t_1) \longrightarrow (a)$$

من الحائط الي السائل B

$$q = \frac{K_B}{\delta B}(t_2 - t_B) \longrightarrow (b)$$

إذا ومن المعادلة (2-2) :

$$q = hA(t_A - t_1) \longrightarrow (c)$$

(وهي من السائل A إلي الحائط)

$$q = hB(t_2 - t_B) \longrightarrow (d)$$

(وهي من الحائط إلي السائل B)

نقارن بين المعادلتين (a)، (C) وبين المعادلتين (b) ، (d).

$$hA = \frac{KA}{\delta a}$$

$$hB = \frac{K_B}{\delta b}$$

وعموماً

$$h = K/\delta$$

ولوحدة مساحة من السطح نأخذ :-

$$q = \frac{K(t_1 - t_2)}{x}$$

ولحالة نقل الحرارة المنتظم فإن الحرارة المنسابة من السائل A إلي الحائط تساوي الحـــرارة المنسابة خلال الحائط وهي أيضاً تساوي الحرارة المنقولة من الحائط إلي السائل B وإذا لم يحدث ذلـــك فإن درجات الحرار ة (t_A ، t_1 ، t_2 ، t_B) لن تبقي ثابتة بل تتغير مع الزمن ولذلك

$$q = hA(t_A - t_1) = \frac{K(t_1 - t_2)}{x} = hB(t_2 - t_B)$$

وإذا غيرنا وضع المعادلات :

$$(t_A - t_1) = q/h_A$$

$$(t_1 - t_2) = q_x/k$$

$$(t_2 - t_B) = q/h_B$$

وبجمع المعادلات:

$$(t_A - t_1)+(t_2 - t_1)+(t_2 - t_B)=\frac{q}{h_A}+\frac{q_x}{K}+\frac{1}{h_B}$$

$$(t_A - t_B)=q\left[\frac{1}{h_A}+\frac{x}{K}+\frac{1}{h_B}\right]$$

$$q=\frac{(t_A - t_B)}{\left[\frac{1}{h_A}+\frac{x}{K}+\frac{1}{h_B}\right]} \longrightarrow \quad (2\text{-}3)$$

وبمقارنة المعادلة (2-3)مع المعادلة(2-2)

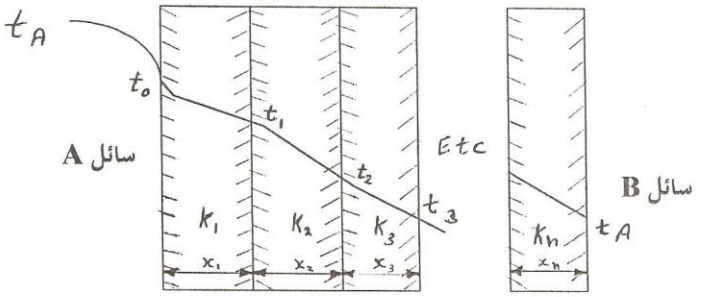
$$q = u(t_A - t_B)$$

$$Q = u_A(t_A - t_B)$$

$$\frac{1}{U}=\left[\frac{1}{h_A}+\frac{x}{K}+\frac{1}{h_B}\right] \longrightarrow \quad (2\text{-}4)$$

التماثل الكهربي خلال الحوائط :-

في حالات كثيره عملياً عند تكوين مواد مختلفة بطبقات لعمل حائط مركب مثال لذلك حائط مبنـــي وهو عادة مايكون من طبقة بلاستر (طوب) وفراغ هوائي والصف الثاني للطـــوب إحتمـــال أن يكـــون محاط بأسمنت .



توجدعدد N طبقات ذات سمك مختلف في جانب من الحائط يوجـــد ســـائل A ذو درجـــة حـــرارة T_A ومعامل نقل الحرارة هو h_A وفي الجانب الآخر يوجد سائل B ذو معامل نقل حرارة h_B . أجعل درجـــة الحرارة الملاصقة للسائل A هي T_A ودرجة الحرارة الملاصقة للسائل B هي T_B ودرجة الحـــــرارة المتداخلة هي T_1، T_2 حسب ماهو موضح .

الطرق المستخدمة لحل هذه المسألة هو القياس الكهربي وإنسياب الحرارة يمكن إعتباره مثل سريان التيار الكهربي و إنتقال الحرارة يتم بإختلاف درجات الحرارة من الأعلى إلي المنخفض أما التيار فينساب بفرق الجهد.

$V=IR$

وبمقارنة هذه المعادلة مع المعادلة (2-1)

$$Q=\frac{kA(T_1-T_2)}{X}$$

$$R=\frac{x}{KA} \longrightarrow (2\text{-}5)$$

R وهي تمثل المقاومة الحرارية ووحدتها k/w

وما قمنا بعمله هو مماثلة I مع Q ووضع(T_1-T_2) بدلا عن V

بالنسبة للطبقة الرقيقة من السائل الموجودة حول الجدار ومن المعادلة (2-2) نجد أن المقاومة الحرارية (معادلة المقاومة الحرارية للطبقة الرقيقة).

$Q= hA(T_w-T)$

$$R= 1/h_A \longrightarrow (2\text{-}6)$$

$$R_A= 1/(h_A*A) \quad , \quad R_1=X_1/(k_1*A) \quad , R_2= X_2/(k_2*A)$$

$$R_n= X_n/(K_n*A) \quad , \quad R_B=1/(h_B*A)$$

ومجموع مقاومات الحرارة أو مقاومة إنسياب الحرارة هو :

$$\frac{1}{h_A} + \frac{X_1}{k_1A} + \frac{X_2}{k_2A} + ect. , \frac{X_n}{k_nA} + \frac{1}{h_B*A}$$

$$R_T = \frac{1}{H_A*A} + \left\{ \frac{x}{k_A} + \frac{1}{h_B*A} \right. \longrightarrow (2\text{-}7)$$

يمكننا أن نري من خلال المعادلة (2-7) وذلك في مثل هذه الحالة فإن مساحة السطح (سطح الإنتقال خلال الجدار) (A) تبقى ثابتة خلال الجدار وغالبا ما تحسب مقاومة إنتقال الحرارة لوحدة مساحة من السطح في معظم السائل .

عند إستخدام التماثل الكهربي في كل إنتقال الحرارة نجد أن :-

$$Q= \frac{t_A-t_B}{R_T} \longrightarrow (2\text{-}8)$$

وبمماثلة هذه المعادلة مع

$I = V/R$

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{h_A} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_B}$$

ولأي عدد من الحوائط نأخذ

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{h_A} + \sum \frac{x}{k} + \frac{1}{h_B}$$

$$\frac{1}{u} = R_T * A \quad or \quad u = \frac{1}{R_T * A} \longrightarrow (2\text{-}9)$$

إذا كان داخل وخارج سطح الحائط (درجة حرارة السطح) معروفة بعد ذلك يمكن حساب وإيجاد إنتقال الحرارة عن طريق حساب المقاومة الحرارية للحائط المركب فقط .

$$R = \sum x/k_A$$

ومعامل انتقال الحرارة العام من سطح الحائط للآخر ومن جزء لآخر يعطي بالمعادلة :

$$1/u = \sum x/k$$

إتجاه سريان الحرارة بالتوصيل :-

يمكن أخذ سطح إختباري توضيحي كما في الشكل ادناه لتحديد سريان الحرارة (إتجاه سريان كمية من الحرارة عبر سطح) بإعتبار أن مساحته d_A

نعتبر أن سريان الحرارة dQ_m من مساحة سطح أيسوثيرمالية d_A في إتجاه إختباري m

$$dQ_m = q_m . dA$$

$$dQ_m = q_n \cos\theta . dA$$

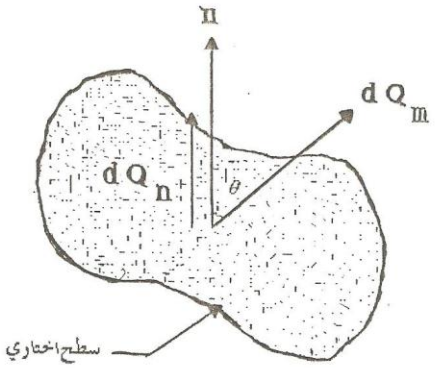
$$dQ_m = dQ_n \cos\theta \longrightarrow (2\text{-}10)$$

حيث أن :

n ≡ الإتجاه المتعامد علي المساحة (dA)

dQ_m ≡ معدل سريان الحرارة في إتجاه إختباري (m) خلال المساحة (dA)

dQ_n ≡ معدل سريان الحرارة في الإتجاه العادي (n)



2.2 إنتقال الحرارة بالحمل :- By convection

يعتبر إنتقال الحرارة بالحمل أكثر تعقيدا من التوصيل الحراري وبالتالي فإن الحلـــول التحليليـــة غالباً ما تكون مستحيلة . هذه الصعوبة نشأت من حقيقة أن الكيفية الأساسية للحمل تضم كل من التوصيـــل وحركة المائع . ويحدث الحمل عندما يتواجد سطح متلامس مع مائع ذي درجة حرارة تختلف عن درجـــة حرارته .

إذا إفترضنا جداراً رأسياً ساخناً يتلامس مع مائع "بالتوصيل " والمائع بـــارد ، فأننـــا نلاحـــظ أن المائع الملامس للجدار يسخن بالتوصيل مع مرور الزمن ، مسبباً إنخفاضاً في كثافته وهنا تنشأ قوة طفـــو بسبب الفرق في الكثافة " كثافة المائع " تعمل علي رفع المائع الأخف إلى أعلى ، وإحلال مـــائع بـــارد مكانه وتكرر هذه العملية بإستمرار . وحيث أن حركة المائع تنشأ بقوه طبيعية ، فإن هذا النوع من الحمـــل يسمى حملا طبيعياً أو حملاً حراً . وهنالك أنواع أو أمثله أخرى للحمل الطبيعي كتلك التـــي تنشـــأ مـــن أسلوب رفع الهواء الساخن في المدفئة المنزلية (المشعة) وكذلك إنسياب دخان السجائر لأعلى في غرفـــة ذات هواء ساكن .

وهنالك نوع آخر من أنواع الحمل يسمى حملاً إجبارياً ومثال له إذا تم تسخين قطعه من الحديـــد وتركت في الجو العادي وتم عمل دراسة لتأثيرها علي الجو المحيط ووجد أنه كلما إقتربنا مـــن القطعـــة المسخنة كلما إرتفعت درجة الحرارة وفي مثال آخر المروحة الطاردة التي تطرد الهواء إلي جسم العضـــو الكهربي ومن هذا نخلص إلي أن إنتقال الحرارة بالحمل يتم في صورة بسيطة يمكـــن تجاهلـــه مقارنـــة بإنتقال الحرارة بالتأثير حيث توجد دائماً طبقة رقيقه من السائل أو الغاز حول القطعة المسخنة تنتقل فيـــها الحرارة بالتوصيل أما الباقي فتنتقل فيه الحرارة بالتأثير .

2.3إنتقال الحرارة بالإشعاع :- By Radiation

أي جسم يلفظ الحرارة نهائياً أو جزئياً في شكل إشعاع كهرومغناطيسي مالم تكون درجته " درجة حرارته " صفر، ووجد أنه كلما كانت لدينا درجة حرارة عالية كلما كان هنالك طاقة إشعاعية أكبر .

إذا كان لدينا جسمين مختلفين في درجة الحرارة وضعا قريبين من بعضهما فإن الإثنين يشعان الحرارة معاً ولكن للحرارة تأثيرها في هذه النقطة بحيث أن الجسم الأقل درجة حرارة يستقبل الحرارة من الأعلى درجة ولهذا تزيد الطاقة الداخلية له، وفي نفس الوقت تقل الطاقة الداخلية للأعلى درجة ، إذاً هنالك مشكلة لإنتقال الحرارة من جسم له درجة عالية إلي جسم له درجة أقل بإختلاف في درجة الحرارة بينهما وهنا يمكن القول أن الحرارة تنتقل بالإشعاع وإن إنتقال الحرارة وإنتشار الطاقة الإشعاعية لا يحتاج إلي وسيط فهو كالموجات الكهرومغناطيسية لمنطقة مفرغة من الهواء وهو الأكثر إستعمالاً لإنتقال الطاقة بحيث تكون معلومة تنشر أو تمتص الإشعاع في شكل موجات طولية معلومة ولكن الأجسام الصلبة تشع أو تنشر الطاقة في مساحات كبيره .

وبخصوص الأمثلة العملية فإن الحرارة تنتقل بالحمل ، بالتوصيل ، وبالإشعاع ويمكن أن نجرب كل طريقة علي حدا ثم تجمع النتائج ولكن هنالك طرق ووسائل كثيرة في نقل الحرارة مثلاً نقل الحرارة من وإلى السائل ومثال لذلك " الغلاية – المكثف– المبادل الحراري " ، وحماية فقدان الحرارة من السائل لما حوله .

الفصل الثالث

التحليل النظري لإنتقال الحرارة خلال جدار مستوى وأسطوانة وكره

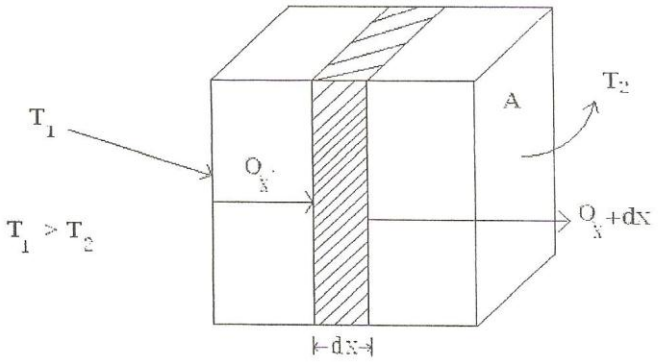
الفصل الثالث

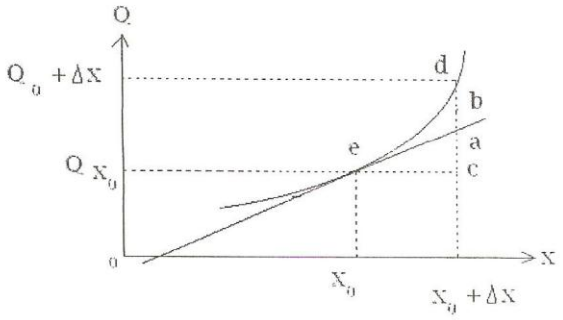
3.0 التحليل النظري لإنتقال الحرارة خلال جدار مستوي وإسطوانه وكرة :-

3.1 إنتقال الحرارة خلال جدار مستوي :

Heat conduction through a plane wall

وفي هذه الحالة نعتبر أن الموصلية الحرارية لمادة الجدار المستوي ثابتة وتتمدد إلي ما لا نهايـــة في(y,z) ومن المهم جداً إيضاح أن الموصلية الحرارية ثابتة المقدار وأنها ليست دالة في كل من الموقـــع أو درجة الحرارة . يمكننا القول وإعتبار أن التوصيل الحراري خلال جدار غرفة بعـــد إهمـــال الطاقـــة المفقودة خلال الهواء نموذجاً للجدار المستوي ، في مثل هذه الحالة تكون درجة الحرارة دالة فقط فـــي x وبالتالي يقال أنها أحادية البعد ، ويصبح المتغير الوحيد المستقل هو الموقع " x" في الجدار





يمكن الحصول علي المعادلة التفاضلية الحاكمة بعمل ميزان حراري لشريحة حجميه صغيرة من الجدار ذات الثخانة d_x، ومساحة مقطع " A" أفترض أن Q_x هي الحرارة المنتقلة بالتوصيل خلال الشريحة الحجمية [x-x] وإفترض أن [Q_x+dx] هي الحرارة التاركة للشريحة الحجمية عند [$x = x +dx$] في حالات الإستقرار لا يمكن إعتبار أن درجة الحرارة دالة في الزمن ، لهذا فإن الشريحة الحجمية لن يحدث لها أي تغيير في طاقتها الداخلية . وحيث أن درجة الحرارة متغيرة فقط بالنسبة للمقدار X فرضاً ، فسوف لا يكون هنالك توصيل حراري في الاتجاهات y , Z [أي أن تدرج الحرارة في هذه الاتجاهات يكون صفراً]

من قانون فور ير للتوصيل :-

$$Q_x = - KA\ dT/(dx) \longrightarrow (3\text{-}1)$$

لتحديد قيمة [Q_x+dx] إعتبر تغييراً إختبارياً لقيمة Q بالنسبة للمقدار(x)كما هو موضح في الشكل السابق ، طبق التحليل الآتي للحالة العامة والثلاثية البعد ، سيمكننا الناتج من تحديد قيمة $Q_y+ d_y$, Q_z+dz. يبين الخط المنحني التغير الإختباري بمقدار Qx لقيم نوعية من z , y (Z_0, Y_0) لتغيير x حيث رسم الخط (eab) مماساً للخط المنحني عند e. تمثل النقطة e قيمة Qx_0 عند x_0 والنقطة d تمثل قيمة ($dx+Qx_0$)عند ($x_0+\Delta x$) . وحدد قيمة المقدار Q_xعند النقطة A. أولاً يمثل الخط eab الكمية Q_x(d/dx) أو بتعبير آخر فهو يمثل ميل Q_x.

هذا الميل يساوي $ac/\Delta x$ يفيد أن النقطة ac تساوي (Δx) [$(a/dx)Q_x$] وعلي ذلك فإن قيمة Q عند a تساوي [$Qx_0+(aQ_x/ax)\ \Delta x$].

والآن إذا أخذت Δx صغيرة جداً ، إن كل من النقطتين a,d تتحركان في إتجاه e، وبالتالي تقترب a من d وكذلك في مثل هذه الإجراء آت الحدية تصبح Δx مساوية لـ dx وبناءاً علي ذلك وبإلغاء الرمز السفلي (0) يمكن كتابة الآتي :

$$Q_x + dx = Q_x + d/dx(Q_x)dx$$

في حالة الجدار المستوي تكون درجة الحرارة (المتغير التابع) هي فقط دالة لمتغير واحد مستقل (x) ، وتصبح المشتقات الجزئية في المعادلة السابقة كالآتي :

$$Q_x = Q_x + dx = Q + d/dx(Q_x)dx$$

$$- KA\ dT/dx = - kA\ dt/dx + d/dx\ (- kA\ dT/dx)dx$$

oR

$$d/dx\ (kA\ (dT/dx)dx) = 0 \longrightarrow (3\text{-}2)$$

تستخدم هذه المعادلة في حالة الجدار المستوي صغير الموصلية الحرارية

وفي هذه الحالة تكون كل من k , A ثوابت وبما أن dx لا يمكن ان تكون صفراً

$$\frac{d_2 T}{dx^2} = 0 \longrightarrow (*)$$

* المعادلة أعلاه معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية والتي تبين ضرورة وجود شـــروط **حدوديـــة** لحلـــها وهي :

$at \quad x = 0 \quad , \quad T = T_1$
$\quad x = L \quad , \quad T = T_2$

بإجراء التكامل للمعادلة (*) نحصل علي

$$dT/dx = C_1$$

حيث C_1 = ثابت التكامل، وبإجراء التكامل مرة أخري

$$T(x) = C_1 x + C_2$$

حيث C_2 ثابت آخر للتكامل عند $x = 0$ تكون $T = T_1$ وبذلك تكون $T_1 = C_2$ ونحصـــل علـــي درجـــة الحرارة من المعادلة

$$T(x) = C_1 + T_1$$

يمكن استخدام هذه المعادلة بسهولة لحالة الجدار ذي الموصلية الحرارية المتغيرة ، أيضاً عنـد $x = L$ تكون $T = T_2$ وعلي هذا فإن

$$T_2 = C_1 L + T_1$$

حيث تعطي

$$C_1 = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

وبذلك تكون النتيجة :

$$Tx = (T_2 - T_1)\, x / L + T_1 \longrightarrow (**)$$

وتعتبر المعادلة (**) توزيع درجات الحرارة في الجدار المستوي . وهي توضح لنا إتباع توزيع درجـات الحرارة بمعادلة خطية في (x) . يمكننا تحديد الفيض الحراري خلال جدار مستوي تبعاً لقانون فوريـــر للتوصيل

$$Q = - KA \; dT/dx$$

$$dT/dx = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$$Q = - \frac{KA\,(T_2 - T_1)}{L}$$

$$Q = - \frac{KA\,(T_2 - T_1)}{X}$$

3.2 انتقال الحرارة خلال أسطوانة :-

ولدراسة انتقال الحرارة في أسطوانة نأخذها بقطر داخلى r_1 وخارجي r_2 ، وخذ درجات الحـرارة الداخلية والخارجية T_2, T_1 علي التوالي . نعتبر إنسياب الحرارة خلال عضو سمكه صغـير " r " وخـذ معامل الحرارة بالتوصيل (معامل الموصلية الحرارية "K") ، وبعد ذلك طبقاً للمعادلة السابقة لوحدة طـول في إتجاه عمودي :

$$Q = -K\,A\,dt/dx = (-K\,2\,\pi\,r*1)\,dt/dr$$

$$Q\,dr/r = -2\,\pi\,k\,dt$$

وبالتكامل بين السطح الداخلي والخارجي :

$$Q\int_{r_1}^{r_2} dr\ /\ r = -2\pi\ k \int_{t_1}^{t_2} dt$$

عند إعتبار Q و k ثابتتين

$$Q\log r_2/r_1 = -2\pi k(t_2 - t_1) = 2\pi k(t_1 - t_2)$$

$$Q = \frac{2\,\pi\,.k\,(t_1 - t_2)}{\log\,(r_2\ /\ r_1)} \longrightarrow (3\text{-}3)$$

$$Q = \frac{kAm\ \ (t_1 - t_2)}{(r_2 - r_1)}$$

إذا من المعادلة (3-1) وهي :

$$Q = \frac{kA}{x}(t_1 - t_2)$$

إذا تم تعويض مساحة متوسطة "A_m" في هذه المعادلة وعوض السمك x يساوي ($r_2 - r_1$) :

$$\therefore Am = \frac{2\pi(r_2 - r_1)}{\log(r_2/r_1)} \longrightarrow (3\text{-}4)$$

قارن هذه المعادلة مع المعادلة السابقة :

$$\frac{Am}{(r_2 - r_1)} = \frac{2\pi}{\log(r_2 / r_1)}$$

$$Am = \frac{A_2 - A_1}{\log(r_2 / r_1)} \longrightarrow (3\text{-}5)$$

A_m هي المساحة المتوسطة اللوغريثمية .

ويمكن حساب نصف القطر اللوغريثمي المتوسط من المعادلة أدناه:

$$r_m = \frac{r_2 - r_1}{\log(r_2 / r_1)}$$

ولحساب مقاومة الحرارة بالنسبة للسمك x

$$R = \frac{x}{kA_m}$$

حيث x سمك الطبقة و A_m المساحة المتوسطة اللوغريثمية لهذه الطبقة

$$\therefore R = \frac{\log r_2 / r_1}{2\pi . k}$$

بالنسبة للطبقة الرقيقة من السائل التي توجد علي السطح الداخلي للإسطوانه

$$R = \frac{1}{h_o A}$$

من المعادلة (3-4):

$$Q = \frac{2\pi . k (t_1 - t_2)}{\log(r_2 / r_1)}$$

عليه ومن هذه المعادلة نأخذ طرفاً مهم هو أنه كلما كانت النسبة r_2 / r_1 صغيرة كلما كان هنالك إنتقـــال حراري عالي لنفس الفرق في درجات الحرارة وفي حالات كثيرة تميل النسبة ناحية التوحيد مادام السـمك صغير نأخذ متوسط نصف القطر :

$$r_m = \frac{r_2 + r_1}{2}$$

في إنتقال الحرارة نستخدم نصف القطر والمتوسط بدلاً عن اللوغريثمي بنسبة 4% ومن الأحسن إستخدام المتوسط عندما r_2/r_1 تكون أقل من 2

3.3 انتقال الحرارة خلال كره :-

خذ كرة مجوفة قطرها الداخلي r_1 والخارجي r_2 وخذ درجة الحرارة للأسطح الخارجية والداخلية t_1,t_2 ، خذ معامل الموصلية "K" ، وسمك dr لأي قطر " r " ، ومساحة الكره " $4\pi r^2$ "

$$Q = -kAdt / dr = -4\pi.r^2 kdt / dr$$

$$Q\int_{r_1}^{r_2} dr / r_2 = 4\pi.k\int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$Q(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}) = -4\pi.k(t_2 - t_1)$$

$$\frac{Q(r_2 - r_1)}{r_1.r_2} = 4\pi.k(t_1 - t_2)$$

$$Q = \frac{4\pi.k.r_1 .r_2(t_1 - t_2)}{(r_2 - r_1)} \longrightarrow (3\text{-}6)$$

$$R = \frac{(r_2 - r_1)}{4\pi.k.r_1.r_2} \longrightarrow (3\text{-}7)$$

معادلة مقاومة الحرارة "المقاومة الحرارية " يتم الحصول عليها بتطبيق التماثل الكهربي :

$$I = V / R$$

وعليه من المعادلة (3-1) :

$$Q = \frac{kA_m}{x}(t_1 - t_2) = \frac{kA_m(t_1 - t_2)}{(r_2 - r_1)}$$

$$\therefore Q = \frac{kA_m(t_1 - t_2)}{(r_1 - r_2)} \longrightarrow (3\text{-}8)$$

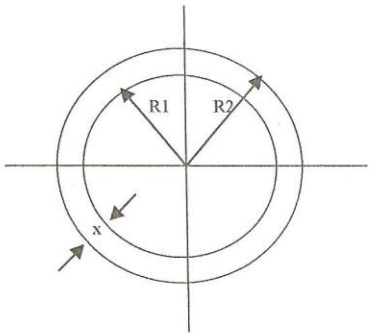
ومن مقارنة المعادلات أعلاه نحصل علي المساحة المتوسطة للكره بالمعادلة التالية :

$$A = 4\pi . r^2$$

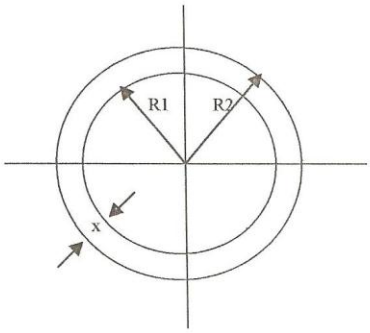
$$A_m = 4\pi . r^2 m$$

$$A_m = 4\pi . r_1 . r_2$$

$$r_m = \sqrt{r_1 . r_2} \longrightarrow (3\text{-}9)$$



شكل (3-2-1) اسطوانه ذات سمك (x)



شكل (3-3-1) كره جوفاء ذات سمك (x)

3.4 معادلة توزيع درجة الحرارة وانتقال الحرارة في حالة التوصيل أحادى البعد المستقر في توليد الحرارة :

شريحة مستطيلة : Rectangular Slab

اعتبر حائطا عرضة L ، أحد أوجهه معزول . اجعل درجة حرارة الوجه الحر تكون T_1 واجعل قيمة كل من q و k ثابتة حيث :

q ≡ الحرارة المتولدة لكل وحدة حجم

k ≡ الموصلية الحرارية

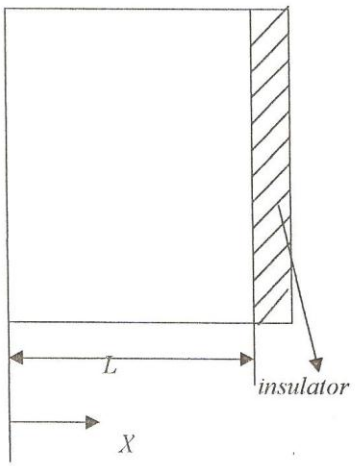
$$\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{q}{k} = 0 \longrightarrow (3\text{-}10)$$

بالتكامل

$$\frac{dt}{dx} + \frac{qx}{k} = c_1 \longrightarrow (3\text{-}11)$$

بالتكامل مره أخرى

$$t(x) + \frac{qx^2}{2k} = c_1 x + c_2 \longrightarrow (3\text{-}12)$$



الشروط الحدودية : [B.Conditions]

للحصول على قيم C_2 , C_1

عند $x = 0$, $t(x) = T_1$

بالتعويض في المعادلة (3-12)

$$T_1 + 0 = 0 + C_2$$

$$\therefore c_2 = T_1$$

عند $x = L$, $dt/dx = 0$ من المعادلة (3-11)

$$C_1 = \frac{qL}{k}$$

بالتعويض في المعادلة (3-12)

$$T(x)+\frac{qx^2}{2k}=\frac{qLX}{K}+T_1$$

$$T(X)-T_1=\frac{qLx}{k}-\frac{qx^2}{2k}$$

$$T(x)-T_1=\frac{qLx}{k}\left[1-\frac{x}{2L}\right]$$

$$T(x)=T_1+\frac{qLx}{k}\left[1-\frac{x}{2L}\right]$$

أقصى درجة حرارة تحدث عند ما $X=L$

$$T(\max)=T_1+\frac{qL^2}{2k}$$

اسطوانة غير محدودة الطول : (Infinite Long Cylinder)

$$\frac{d}{rdr}(r\frac{dt}{dr})+\frac{q}{k}=0$$

أضرب في r و اجرى التكامل

$$\frac{d}{dr}\left(r\frac{dt}{dr}\right)+\frac{qr}{k}=0$$

$$r\frac{dt}{dr}+\frac{qr^2}{2k}=c_1$$

اقسم المعاداة على r واجرى التكامل

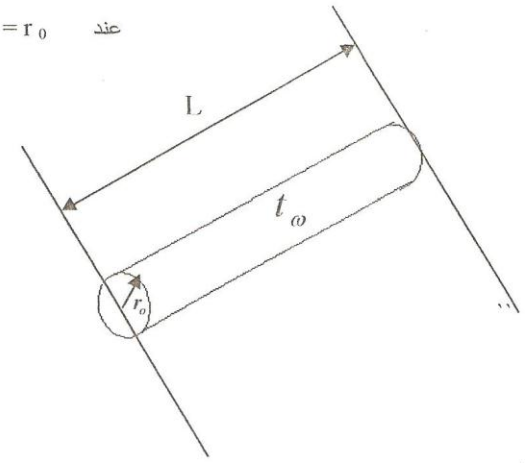
$$t(r)+\frac{qr^2}{4k}=C_1Lnr+C_2$$

الشروط الحدودية (B.Conds)

عند $r=0$ لا يكون هنالك انتقال حراري (خط التماثل الذي يعمل كعازل)

$dt/dr=0$ $\quad\therefore C_1=0$

عند $r = r_0$ $t(r) = t\omega$



$$t_w + \frac{qr_0^2}{4k} = C_2$$

$$\therefore C_2 = t_w + \frac{qr_0^2}{4k}$$

$$t(r) + \frac{qr^2}{4k} = t_w + \frac{qr_0^2}{4k}$$

$$t(r) = t_w + \frac{qr_0^2}{4k} - \frac{qr^2}{4k}$$

$$t(r) = t_w + \frac{qr_0^2}{4k}\left[1 - \left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right]$$

درجة الحرارة القصوى t_{max} تحدث عند $r = 0$

$$t_{(max)} = t_w + \frac{qr_0^2}{4k}$$

معدل انتقال الحرارة يمكن حسابه من القانون فورير

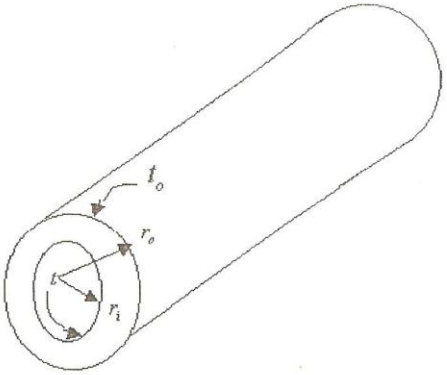
$$q = -kA\, dt/dr$$

اعتبر سلكاً مجوفاً : (Consider ahdlow wire)

الشروط الحدوديه : (B.conds)

عند $r = r_i$, $t = t_i$

عند $r = r_0$, $t = t_o$



تطبيق الشروط الحدودية نحصل على :

$$t - t_0 = \frac{q}{4k}\left(r_0^2 + r^2\right) + C_1 Ln \, r/r_0$$

$$C_1 = \frac{(t_i - t_o) + q\left(r_i^2 - r_0^2\right)/4k}{\ln\left(\frac{r_i}{r_o}\right)}$$

الفصل الرابع

التـــصمـــيم و التـــصنيع

الفصل الرابع

4.0 تصميم وتصنيع الأواني التي تجرى عليها الاختبارات

4.1 التصميم :

وقد كان لابد من تصميم ثلاثة أواني وهي مسطتيلى المقطع واسطوانة ونصف كره لأجراء الاختبارات عليها وان تكون ذات سعة حجميه ثابتة وتكون مصنوعة من معدن واحد وبما ان دراستنا تقتصر على قياس ومعرفة مدى توزيع درجات الحرارة في اتجاه نصف قطري فقد تم التصميم على أساس نصف القطر .

نصف الكره :

بفرض نصف قطر مناسب للكره = 35Cm

وبالرجوع لقانون حجم الكره الذي ينص على ان :

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \longrightarrow (4\text{-}1)$$

حيث ان :ـــ

V ≡ الحجم

r ≡ نصف القطر

وبتعويض نصف القطر الذي تم فرضه في المعادلة أعلاه نحصل على الحجم المطلوب

$$r = \frac{D}{2}$$

$$\therefore r = 17.5Cm$$

وبما ان الشكل عبارة عن نصف كره إذاً نقسم الحجم على (2)

$$V = \frac{V}{2} = 11224.6$$

الشكل الأسطواني :ـــ

وبما ان السعه الحجميه ثابتة في الاواني الثلاث كما سبق ذكره وبالرجوع إلى قانون الحجم بالنسبة للأسطوانة فان :ـــ

$$V = \pi r^2 l \longrightarrow (4\text{-}2)$$

حيث أن:

V ≡ حجم الأسطوانة

r ≡ نصف قطر الاسطوانه

L ≡ طول الاسطوانه

وبفرض طول مناسب للاسطوانة تقريباً يساوى 17Cm وبتعويض ذلك الطول في معادلة الحجم بالنسبة للاسطوانة في المعادلة (2-4) يمكن الحصول على نصف قطر الاسطوانه

$$11224.6 = \pi r^2 * 17$$

$$\therefore r = \sqrt{\frac{11224.6}{\pi * 17}}$$

r = 14.5Cm

وبذلك يكون قطر الاسطوانه يساوى 29 Cm

المستطيلى المقطع :ـ

وكما ذكر انفاً ان السعه الحجميه ثابتة ومن معادلة الحجم بالنسبة للمستطيلى المقطع (المكعب) والذي ينص على أن :ـ

$$V = l^3$$

حيث ان :ـ

V ≡ الحجم بالنسبة للوعاء المستطيلى المقطع

L ≡ طول الضلع

$$11224.6 = l^3$$

$$\sqrt[3]{11224.6} = l$$

$$\therefore l = 22.4\ Cm$$

4.2 التصنيع :-

نسبة لان انتقال الحرارة يتناسب عكساً مع ثخانة الجدار لذلك اخترنا ان تكون الأوعية المصنعة ذات سماكة رفيعة ووجدنا انه من المناسب ان يكون السمك حوالي 2mm .

تم اختيار الألمنيوم لعمل الأوعية لانه ذو موصلية حرارية عالية وسهل التشكيل والتشطيب ، واتجهنا لعمل القطع بواسطة السباكة حيث تعتبر الأفضل للتصنيع لأنها تعطى كتله واحده متماثلة الشكل , ولكن وجدنا من الصعب أن يتم التشكيل بالسباكة لان السمك المطلوب صغير جداً لعدم سهولة انسياب المعدن المنصهر داخل القالب .

وقع الاختيار على معدن (التوتيا)، والمستخدم في خزانات المبردات المائية ووجدنا انه المناسب لتشكيل الأوعية لان له خاصية جيده إذ لا يسمح بتسريب كميات كبيره من الحرارة من داخل الإناء إلى خارجه , ويحافظ على كمية الحرارة الداخلية , مما يقينا عن استخدام العوازل مثل الصوف الحراري وغيره .

تم التصنيع بواسطة التشكيل اليدوي , و ذلك بعد رسم يوضح الإفراد لكل إناء على حدا لمعفرة أبعاد القطع المطلوبة ليتم تصنيعها . كما قمنا باستخدام نوع من اللحام البارد يعرف باسم لحام (الأردايت) وذلك لمنع تسريب الماء خارج الوعاء .

الفصل الخامس

الاختـــبارات والنتـــائج

الفصل الخامس

5.0 الاختبارات والنتائج

5.1 مقدمه عن السخان والثيرمومتر :-

السخان والتمدد في السوائل :

يعتبر السخان الكهربي طريقه مناسبة للحصول على الطاقة الحرارية في هذه الحالة تتحول الطاقة الكهربية إلى طاقه حرارية فإذا وصلنا سخان قدرته 1Kw بمصدر كهربي جهده 240V فان ذلك يعنى ان 1000Jمن الطاقة الكهربية تستهلك في الثانية الواحد وهذه الطاقة تتحول إلى طاقة حرارية .

فإذا أعطينا هذه الطاقة إلى مادة فلاشك ان درجة حرارتها سوف ترتفع إلا انه يحدث تغير حاله ، ولكن نجد الارتفاع في درجة الحرارة يتناسب طردياً مع الطاقة الممتصه ويكون ذلك مرتبط بمعدل كتله ثابتة .

لكن نجد انه إذا تم تسخين كتلة 1Kg لكي ترتفع درجة حرارته $10C^O$ فإننا سوف نحتاج الى كمية طاقه كبيره جداً وتكون ضعفي الطاقة المستخدمة في رفع درجة حرارة نفس الكتلة $1C^O$.

السعة الحرارية هي الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة مادة كتلتها 1Kg درجة مئوية واحده ، فان لها تأثير مباشر على ارتفاع الحرارة فبزيادتها نحتاج إلى طاقه حرارية اكبر وهذا ما يفسر ان الماء يحتاج الى كميه كبيره من الطاقة حتى ترتفع درجة حرارته $1C^O$ (السعه الحرارية للماء حوالي 4200/degc).

عند تسخين السوائل وارتفاع درجة الحرارة يحدث تمدد وذلك ما يفسر بناء نظرية الثيرموميتر على نظرية السوائل ومثلاً إذا ملأت قنينة بماء لدرجة حرارة عالية وارتفعت الحرارة نلاحظ ان الماء يتدفق ، مع ذلك إذا كانت عند $0C^O$ وقمنا برفع الحرارة قليلاً نجد ان الماء سينكمش لينزل في فراغات الفوهة ، عموماً عند رفع درجة الماء من $0C^O$ إلى $4C^O$ فانه يحدث انكماش للماء أما فوق هذه الدرجة فانه يتمدد كلما ذادت درجة الحرارة ويشابه السوائل الأخرى .

الغازات ايضاً تتمدد وهذا ما يفسر ارتفاع الهواء الساخن إلى أعلى عكس البارد لانه أعلى كثافة ويكتسب الهواء الملامس لسطح الإناء الحرارة عن طريق ذرات الماء المتبخر من داخل الإناء وبالتالي تزيد حرارته ويرتفع إلى أعلى ويحل محله الهواء البارد .

في انتقال الحرارة خلال الماء والذي يسمى الانتقال بالحمل فنجد ان الماء القريب من السخان أعلى درجة حرارة ، حيث ان الماء يتمدد بالحرارة وكثافته تقل ويتحرك الماء الساخن لأعلى وبالتالي ترتفع الحرارة وتعتمد في توزيعها على حركة الماء الساخن ونسبة لوضع السخان في الوسط يتم الانتقال الحراري في أسرع وقت إلى أجزاء الإناء الأخرى بطريقة إشعاعية .

نجد انه عند تسجيل الثرمومتر لدرجة حرارة الماء عند التحول من سائل إلى بخار سنجد إنها تظل سابته أثناء التحول وفي تلك الظروف التي يغلى فيها الماء في كاس مفتوحة بالمعمل سنجد ان درجة الغليان

عموماً تساوى $100C^{O}$ عند الضغط الجوى القياسي عند مستوى سطح البحر وهى نقطه لمعايرة الثرمومتر .

الثيرمومتر :ـــ

هنالك عدة أنواع من الثيرمومترات التي تستخدم في قياس درجة الحرارة منها الثيرمومترات المانومتريه والزئبقية والاخيره هي اكثر الأنواع شيوعاً ودقتها 0.25 درجة مئوية وعند قياس درجة الحرارة يجب ان يوضع في تلامس جيد مع السائل أي بغمر البصيلة التي تحوى الزئبق في الماء أو في السائل المراد قياس حرارته حتى يتم التمدد في الزئبق .

5.2 الاختبارات :ـــ

تم إجراء الاختبارات في الاواني التي ورد ذكر تصميمها في الفصل الرابع بحجم ثابت وكما ذكرنا ان انتقال الحرارة تم في اتجاه نصف قطري . قمنا بوضع سخان داخلي مربوط بحامل في منتصف الإناء وقمنا بملئ الإناء بماء عند درجة حرارة $23C^{O}$. تم تقسيم أنصاف الأقطار إلى ثلاث مسافات متساوية (أي تم تقسيم القياس في أربعة نقاط) وبما أن الحرارة تنتقل في اتجاه نصف قطري وجد ان هنالك تماثل في اتجاه الأقطار الأربعة .

تم تثبيت الأربعة ثيرموميترات ، حسب المسافات السابق ذكرها على نصف القطر ابتداءً من مركز الإناء بعد ذلك اخترنا تدريج زمني ورصدنا قراءة الأربعة ثيرموميترات المختلفة في تدريج زمني 100 ثانية ثم قمنا بإعادة التسخين لكل أناء على حدي وقمنا برصد درجات الحرارة لكل الثيرمومترات .

5.3 النتائج والمقارنة :-

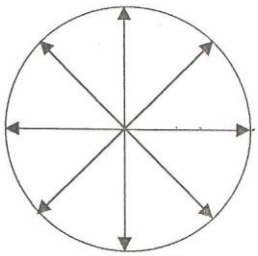
لإيجاد طريقة للمقارنة يمكن ملاحظة أن نتائج القراءات في الأسطوانة متقاربة بعض الشيء أكثر منها في نصف الكرة والمستطيل المقطع ولكن لا تعطي فرقاً واضحاً أو إختلاف كبير في درجة الحرارة بين الثلاثة أوعية المستخدمة في الإختبار .

بعد تسجيل النتائج " القراءات " ورصدها وتحليلها نظرياً بطريقة المقارنة بين درجات الحرارة واختلافها من وعاء لآخر .

كان لا بد من وجود طريقة عملية لإجراء مقارنة ، ولكن من خلال النظر لتلك الدرجات نجد أنها أعلى في الوسط من الأطراف في كل الأوعية ويعزي ذلك لوجود السخان في الوسط ونجد أن درجة حرارة الماء ترتفع إلي 81c وبعد هذه الدرجة تكون الحرارة متساوية في كل الإناء وبالتالي تتساوى في كل النقاط المأخوذة في نصف القطر ، و تكون الزيادة واحدة في كل النقاط أو يكون الفرق ضئيل جداً بحيث لا يمكن ملاحظته عن طريق أجهزة القياس المستخدمة.

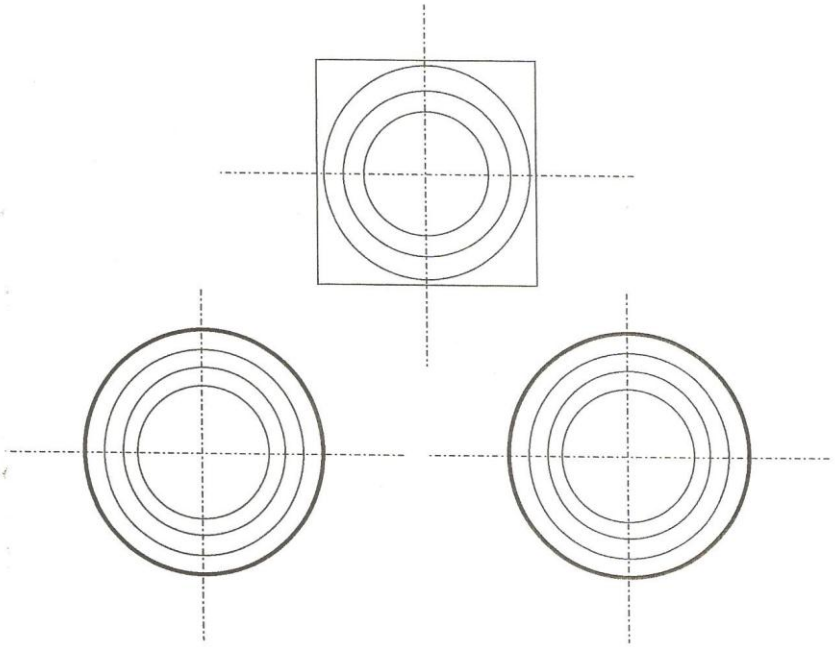
إذا تم رسم دوائر مركزها في الوسط وتمر أو تمس نقاط التقسيم وعند أخذ القراءات في عدة إتجاهات وجد أن التماثل في توزيع درجات الحرارة في النقاط الأربعة إذا أخذت علي أي نصف قطر وذلك لان إنتقال الحرارة وكما هو معلوم يتم في إتجاهات إشعاعية نصف قطرية أنظر الشكل (*2-2-5*).

وذلك عند رسم دائرة تمر بنقطة فإنها تمر بالثلاثة نقاط المماثلة لها علي أنصاف الأقطار



شكل (2-2-5) يوضح طريقة انتقال الحرارة

وبعد عمل تلك الدوائر نجد أنها أكثر إنتظاماً في الأسطواني أنظر الشكل (3-2-5) ، مما يبين إن التوزيع الحراري المنتظم يتم فيها بصورة أفضل من الكروي والمستطيل المقطع .



شكل (3-2-5) يوضح التوزيع الحراري في الاوعية

بناءاً علي ذلك تم رسم علاقات بيانية تعطي عدداً من المخططات ، وقد تم بناءها بعدة أسس منها مثلا (درجة الحرارة والزمن) أو (درجة الحرارة والمسافة) ، فدرجة الحرارة والزمن والمسافة تمثل الأعمدة الأساسية لمعرفة الفرق في درجات الحرارة توزيعها وإتجاهها علي السطح في كل وعاء، والجدول التالي يوضح بعض الدوال المستخدمة في المخططات البيانية ، و طرق لدراسة التوزيع الحراري في كل وعاء بعد مقارنتها مع بعضها .

Y	X
X	dT/dx
X	dT/t
X	dt

حيث أن :-

dT ≡ الفرق في درجات الحرارة بين T_1 وأي نقطة أخري علي نصف القطر

x ≡ المسافة بين T_1 وأي نقطة من النقاط الثلاثة الأخرى .

t ≡ التدريج الزمني

وأستخدمت هذه المعطيات في رسم مخططا ت توضح العلاقة بينها فأعطت إختلاف بعض الشيء بالنسبة لدرجات الحرارة والإحداثيات التي رسمت بها . ومن تقييم العلاقة بين المخططات المرسومة حسب الجدول أعلاه نجد أن أفضلها في المقارنة هي تلك التي رسمت بدلالة dT مع x (أنظر الملحقC) .

لاستنباط طريقة للمخططات تم أخذ منحني واحد من كل شكل ووضحت علية الإحداثيات (x , y)الأساسية ، ووجد أن التدريج للنقاط علي المحور dT بالنسبة للأسطوانة يكون أفضل إذا تم مقارنته مع الكروي والمستطيلي . (أي أن الفرق في درجات الحرارة الناتج بعد أخذ نقاط عشوائية معلومة البعد وبعد توصيلها بخطوط رأسية مع المنحنى ثم أفقياً حتى نحصل علي قيمة dT)، ونلاحظ أن الفرق في درجات الحرارة بين النقاط المقترحة والأساسية يكون متقارباً في الأسطوانة أكثر من غيرها وذلك لإنتظام مقطع الأسطوانة نسبة لتساوي مساحة السطح بالنسبة للوجه والقاعدة .

مما ذكر عاليه وكما هو واضح في الملحق C في المخططات C-1-3 و C-2-3 و C-3-3 للمسطتيل ونصف الكره والاسطوانة على الترتيب نجد ان ميل الخط المستقيم للعلاقة بين dT و x يكون اكثر انحداراً في حالت المستطيل مما يشير لتفاوتات كبيره في درجات الحرارة بين اى نقطة والتي تليها في مستوى الشكل المستطيل . ويكون ميل الخط المستقيم اقل انحداراً في حالة المقطع الكروي واقل بكثير في حالة الشكل الأسطواني مما ينبئ بان الشكل الأسطواني هو الشكل الهندسي الأفضل لتوزيع الحرارة بانتظام تقريباً في المستوى الأفقي لها مما يبرر استخدامه في أونى الطهي والمبادلات الحرارية وغيرها من الأجهزة .

بناءاً علي ذلك تم رسم علاقات بيانية تعطي عدداً من المخططات ، وقد تم بناءها بعدة أسس منها مثلا (درجة الحرارة والزمن) أو (درجة الحرارة والمسافة) ، فدرجة الحرارة والزمن والمسافة تمثل الأعمدة الأساسية لمعرفة الفرق في درجات الحرارة توزيعها وإتجاهها علي السطح في كل وعاء، والجدول التالي يوضح بعض الدوال المستخدمة في المخططات البيانية ، و طرق لدراسة التوزيع الحراري في كل وعاء بعد مقارنتها مع بعضها .

Y	X
X	dT/dx
X	dT/t
X	dt

حيث أن :-

dT ≡ الفرق في درجات الحرارة بين T_1 وأي نقطة أخري علي نصف القطر

x ≡ المسافة بين T_1و أي نقطة من النقاط الثلاثة الأخرى .

t ≡ التدريج الزمني

وأستخدمت هذه المعطيات في رسم مخططا ت توضح العلاقة بينها فأعطت إختلاف بعض الشيء بالنسبة لدرجات الحرارة والإحداثيات التي رسمت بها . ومن تقييم العلاقة بين المخططات المرسومة حسب الجدول أعلاه نجد أن أفضلها في المقارنة هي تلك التي رسمت بدلالة dT مع x (أنظر الملحقC) .

لاستنباط طريقة للمخططات تم أخذ منحني واحد من كل شكل ووضحت علية الإحداثيات (x , y)الأساسية ، ووجد أن التدريج للنقاط علي المحور dT بالنسبة للأسطوانة يكون أفضل إذا تم مقارنته مع الكروي والمستطيلي . (أي أن الفرق في درجات الحرارة الناتج بعد أخذ نقاط عشوائية معلومة البعد وبعد توصيلها بخطوط رأسية مع المنحنى ثم أفقياً حتى نحصل علي قيمة dT)، ونلاحظ أن الفرق في درجات الحرارة بين النقاط المقترحة والأساسية يكون متقارباً في الأسطوانة أكثر من غيرها وذلك لإنتظام مقطع الأسطوانة نسبة لتساوي مساحة السطح بالنسبة للوجه والقاعدة .

مما ذكر عاليه وكما هو واضح في الملحق C في المخططات C-1-3 و C-2-3 و C-3-3 للمسطتيل ونصف الكره والاسطوانة على الترتيب نجد ان ميل الخط المستقيم للعلاقة بين dT و x يكون اكثر انحداراً في حالت المستطيل مما يشير لتفاوتات كبيره في درجات الحرارة بين اى نقطة والتي تليها في مستوى الشكل المستطيل . ويكون ميل الخط المستقيم اقل انحداراً في حالة المقطع الكروي واقل بكثير في حالة الشكل الأسطواني مما ينبئ بان الشكل الأسطواني هو الشكل الهندسي الأفضل لتوزيع الحرارة بانتظام تقريباً في المستوى الأفقي لها مما يبرر استخدامه في أونى الطهي والمبادلات الحرارية وغيرها من الأجهزة .

الفصل السادس

الخـــاتمة والتوصـــيات

الفصل السادس

6.0 الخاتمة والتوصيات

6.1 الخاتمة :

تم في هذا البحث التوصل إلي عمل دراسة مختبريه لتوزيع درجات الحرارة على شكل كروي وأسطواني و مستطيلي المقطع .

أثناء هذه التجارب تم التعرف على كيفية الحصول على توزيع درجات الحرارة في عدة طرق للتسخين وتم استخدام سخان كهربي ليكون التسخين من الداخل حتى يعطى توزيع افضل لدرجات الحرارة ، ويتم الاستفادة من هذه التجربة في إختيار الشكل الأمثل لتصنيع الأواني المستخدمة في الطهي و الغلايات وغيرها من الأشياء المرتبطة بعمل الحرارة .

المراجع:

١- Applied Thermo dynamic
By T. D. E Astop – A . MC . Conkey
Long man , Scinetific , and Technical

2- HEAT TRNNSFER

تأليف:

بهالشاندرا. في.كادليكار ، روبرت . م . دزموند

ترجمة :

أ.د أحمد صابر احمد فهمي ، أ . م . د مصطفي محمد مصطفي سويدان ، أ . م . د ماجد إبراهيم نجم

مراجعة :

أ.م. د محسن سالم رضوان .

3 – العلوم الفيزيائية للفنيين

تاليف :و. بولتون

ترجمة : الدكتور : سعيد الجريري

مراجعة : اللدكتور : أحمد فؤاد باشا

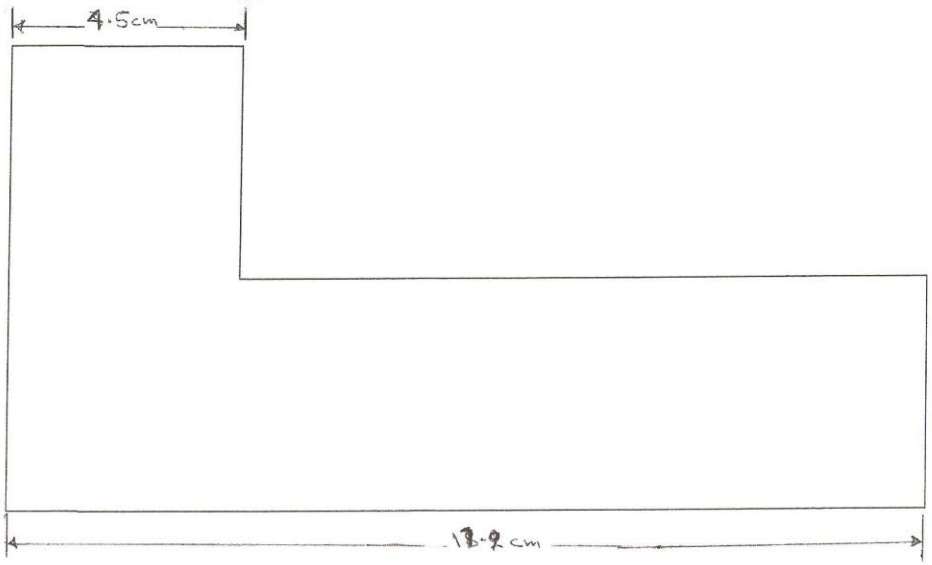
4- القياسات الحراريه (اجهزة – تطبيقات)

تاليف : دكتور مهندس : رمضان احمد محمود

الملاحق

ملحق A

Scale 1:5



Scale 1:5

الشكل المستطيل المقطع

B. ملحق

T4	T3	T2	T1	الزمن
25	26.5	27	28	100
27.5	28.5	30	31	200
30	31.5	23	33.5	300
31.5	32.5	33.5	35	400
34	36	37.5	38	500
38.5	39	40	41.5	600
42	43	44	45	700
45.5	47	48	49	800
51.5	52.5	54	55	900
53	54	55	57	1000
55	56	57.5	58.5	1100
58	59	61	62.5	1200
61.5	62	64.5	65	1300
64	65	68	68.5	1400
66.5	67.5	68.5	69.5	1500
68.5	69.5	70.5	72	1600
70.5	71.5	73	74	1700
73.5	75	75.5	77	1800
75.5	77.5	78	79	1900
78	79	80.5	80.5	2000
78.5	79.5	81	81	2100
79.5	80.5	81	81	2200
80	80.5	81	81	2300
80.5	81	81	81.5	2400
81	81	81.5	81.5	2500

جدول (1-1) :

تسجيل قراءات درجات الحرارة في الإناء المستطيلي المقطع

T1 في المركز

T2 تبعد مسافة 3 .73 Cm من المركز

T3 تبعد مسافة 7.46 Cm من المركز

T4 تبعد مسافة 11.2 Cm من المركز

dt/dx	dt/dx	dt/dx	الزمن
0.134	0.101	0.134	100
0.156	0.167	0.134	200
0.134	0.134	0.134	300
0.156	0.167	0201	400
0.201	0.201	0.201	500
0.134	0.167	0.201	600
0.134	0.134	0.201	700
0.156	0.134	0.134	800
0.156	0.167	0.134	900
0.179	0.201	0.134	1000
0.156	0.167	0.134	1100
0.201	0.234	0.201	1200
0.156	0.201	0.0669	1300
0.201	0.234	0.0669	1400
0.134	0.134	0.134	1500
0.167	0.167	0.201	1600
0.156	0.234	0.134	1700
0.156	0.134	0.201	1800
0.156	0.101	0.134	1900
0.112	0.134	0.134	2000
0.0669	0.101	0.0669	2100
0.0669	0.034	0	2200
0.045	0.034	0	2300
0.045	0	0.039	2400
0.0223	0	0	2500

جدول (2-1) :

dt/dx بالنسبة للاناء المستطيلي المقطع

dT/t	dT/t	dT/t	الزمن
0.03	0.015	0.01	100
0.035	0.015	0.01	200
0.035	0.02	0.015	300
0.035	0.025	0.015	400
0.04	0.02	0.005	500
0.03	0.025	0.015	600
0.03	0.02	0.01	700
0.035	0.025	0.01	800
0.034	0.03	0.01	900
0.04	0.025	0.02	1000
0.035	0.025	0.01	1100
0.045	0.035	0.015	1200
0.035	0.03	0.005	1300
0.045	0.025	0.005	1400
0.03	0.02	0.01	1500
0.035	0.025	0.015	1600
0.035	0.025	0.01	1700
0.035	0.025	0.015	1800
0.035	0.015	0.01	1900
0.025	0.015	0.01	2000
0.025	0.015	0.005	2100
0.015	0.005	0	2200
0.01	0.005	0	2300
0.01	0	0.005	2400
0.005	0	0.005	2500

جدول (3-1) :

dt/t بالنسبة للإناء المستطيلي المقطع

dT	dT	dT	الزمن
3	1.5	1	100
3.5	2.5	1	200
3.5	2	1.5	300
3.5	2.5	1.5	400
4	2	0.5	500
3	2	1.5	600
3	2.5	1	700
3.5	3	1	800
3.5	2.5	1	900
3	3	2	1000
3.5	2.5	1	1100
4.5	3.5	1.5	1200
3.5	3	0.5	1300
4.5	3.5	0.5	1400
3	2	1	1500
3.5	2.5	1.5	1600
3.5	2.5	1	1700
3.5	2	1.5	1800
3.5	1.5	1	1900
2.5	1.5	1	2000
2.5	1.5	0.5	2100
1.5	0.5	0	2200
1	0.5	0	2300
1	0.5	0.5	2400
0.5	0.5	0	2500

جدول (4-1) :

dT بالنسبة للاناء المستطيلي المقطع

T4	T3	T2	T1	الزمن
28	28.5	29	30	100
31.5	33.5	33	34	200
35.5	36.5	37	39	300
39	39.5	40	41.5	400
41.5	42.5	43	46	500
43	44	45.5	47.5	600
45	46	47.5	51	700
47.5	49.5	50	53	800
50	52.5	53	55.5	900
52.5	54	55	57	1000
55	56	57	59.5	1100
57	58	58.5	61.5	1200
58	59	60.5	64	1300
60	62	62.5	65	1400
61	63	64	67.5	1500
63	64.5	65	69.5	1600
64	65.5	66	71.5	1700
65	66.5	67.5	73.5	1800
67	69	70	75	1900
69.5	72	73	76	2000
71	73.5	75.5	77	2100
73	75	77	78.5	2200
75	76	78	79	2300
76	77	78.5	80	2400
76.5	78	79	80.5	2500

جدول (2-1) :

تسجيل قراءات درجات الحرارة في الإناء الأسطواني

T1 في المركز

T2 تبعد مسافة 4.83 Cm من المركز .

T3 تبعد مسافة 9.66 Cm من المركز .

T4 تبعد مسافة 14.5 Cm من المركز .

dt/dx	dt/dx	dt/dx	الزمن
0.1379	0.1552	0.2070	100
0.1724	0.2587	0.2070	200
0.2413	0.2587	0.4140	300
0.1724	0.2070	0.3105	400
0.3103	0.3623	0.6211	500
0.3103	0.3623	0.4140	600
0.4137	0.5175	0.7246	700
0.3103	0.2587	0.4140	800
0.3103	0.3105	0.5175	900
0.3793	0.3105	0.4140	1000
0.3103	0.3623	0.5175	1100
0.3103	0.3623	0.6211	1200
0.4137	0.1575	0.7246	1300
0.3448	0.2585	0.5175	1400
0.4482	0.4658	0.7246	1500
0.4482	0.5172	0.9316	1600
0.5172	0.6211	1.1387	1700
0.5862	0.7246	1.12422	1800
0.5517	0.6211	1.0351	1900
0.4482	0.4140	0.6211	2000
0.4137	0.3623	0.3105	2100
0.3793	0.3623	0.3015	2200
0.2758	0.3105	0.2070	2300
0.2758	0.3105	0.3105	2400
0.2068	0.2587	0.3105	2500

جدول (2-2) :

dt/dx بالنسبة للإناء الأسطواني

dT/t	dT/t	dT/t	الزمن
0.020	0.015	0.01	100
0.025	0.005	0.01	200
0.035	0.025	0.02	300
0.025	0.02	0.015	400
0.045	0.035	0.03	500
0.045	0.035	0.02	600
0.060	0.05	0.035	700
0.045	0.025	0.02	800
0.045	0.03	0.025	900
0.055	0.03	0.02	1000
0.045	0.03	0.025	1100
0.045	0.035	0.03	1200
0.060	0.05	0.035	1300
0.050	0.03	0.025	1400
0.065	0.045	0.035	1500
0.065	0.05	0.045	1600
0.075	0.06	0.055	1700
0.085	0.07	0.06	1800
0.080	0.06	0.05	1900
0.065	0.04	0.03	2000
0.060	0.035	0.015	2100
0.055	0.035	0.015	2200
0.040	0.030	0.01	2300
0.040	0.030	0.015	2400
0.040	0.025	0.015	2500

جدول (3-2) :

dT/tبالنسبة للاناء الاسطواني

dT	dT	dT	الزمن
2	1.5	1	100
2.5	0.5	1	200
3.5	2.5	2	300
2.5	2	1.5	400
4.5	3.5	3	500
4.5	3.5	2.5	600
6	5	3.5	700
4.5	2.5	2	800
5.5	3	2.5	900
4.5	3	2	1000
4.5	3.5	2.5	1100
4.5	3.5	3	1200
6	5	3.5	1300
5	3	2.5	1400
6.5	4.5	3.5	1500
6.5	5	4.5	1600
7.5	6	5.5	1700
8.5	7.5	6	1800
8	6	5	1900
6.5	4	3	2000
6	3.5	1.5	2100
5.5	3.5	1.5	2200
4	3	1	2300
4	3	1.5	2400
4	2.5	1.5	2500

جدول (4-2) :

dT بالنسبة للإناء الأسطواني

T4	T3	T2	T1	الزمن
27	28.5	28	30	100
29	32	33	35	200
30.5	34	36	38	300
32.5	36	38	40	400
34	37.5	39	42.5	500
36	39	41	45	600
39	41	45.5	47	700
41	45.5	48	49	800
45.5	47	46	51	900
48	49	50	52.5	1000
50	51	52	54	1100
52.5	53.5	54	56	1200
53	54.5	56	58	1300
53.5	55.5	57	59	1400
55	56.5	58.5	60	1500
56.5	58	59	62	1600
58	59.5	61	63.5	1700
59.5	60.5	62	64	1800
60.5	61.5	63	64.5	1900
62	62.5	64	65	2000
62.5	63	64.5	66.5	2100
63	63.5	65	68	2200
64	64.5	66.5	69	2300
65	66	68	70	2400
66.5	68	69.5	73	2500

جدول (3-1) :

تسجيل قراءات درجات الحرارة في الإناء الكروي

T1 في المركز .

T2 تبعد مسافة 5.83 Cm من المركز

T3 تبعد مسافة 11.66 Cm من المركز

T4 تبعد مسافة 17.5 Cm من المركز

dt/dx	dt/dx	dt/dx	الزمن
0.1714	0.1286	0.3431	100
0.3429	0.2573	0.3431	200
0.3286	0.3431	0.3431	300
0.4286	0.3431	0.3431	400
0.4857	0.5146	0.3431	500
0.5143	0.5146	0.6003	600
0.4571	0.5146	0.6861	700
0.4571	0.3002	0.2573	800
0.3143	0.3431	0.1715	900
0.2571	0.3002	0.8576	1000
0.2286	0.2573	0.4288	1100
0.2000	0.2144	0.3431	1200
0.2857	0.3002	0.3431	1300
0.3143	0.3002	0.3431	1400
0.2857	0.3002	0.3431	1500
0.3143	0.3431	0.2573	1600
0.3143	0.3431	0.5146	1700
0.2571	0.3002	0.4288	1800
0.2286	0.3431	0.3431	1900
0.1714	0.2144	0.2573	2000
0.2286	0.3002	0.1715	2100
0.2857	0.3859	0.3431	2200
0.2857	0.3859	0.5146	2300
0.2857	0.3431	0.4288	2400
0.3714	0.4288	0.3431	2500

جدول (3-2) :

dt/dx بالنسبة للاناء الكروي

dT/t	dT/t	dT/t	الزمن
0.03	0.015	0.02	100
0.06	0.03	0.02	200
0.075	0.04	0.02	300
0.075	0.04	0.02	400
0.085	0.05	0.035	500
0.09	0.06	0.04	600
0.08	0.06	0.015	700
0.08	0.035	0.01	800
0.055	0.04	0.05	900
0.045	0.035	0.025	1000
0.04	0.03	0.02	1100
0.035	0.025	0.02	1200
0.05	0.035	0.02	1300
0.055	0.035	0.02	1400
0.05	0.035	0.015	1500
0.055	0.04	0.03	1600
0.055	0.04	0.025	1700
0.045	0.035	0.02	1800
0.04	0.03	0.015	1900
0.03	0.025	0.01	2000
0.04	0.035	0.02	2100
0.05	0.045	0.03	2200
0.05	0.045	0.025	2300
0.05	0.04	0.02	2400
0.056	0.05	0.035	2500

جدول (3-3) :

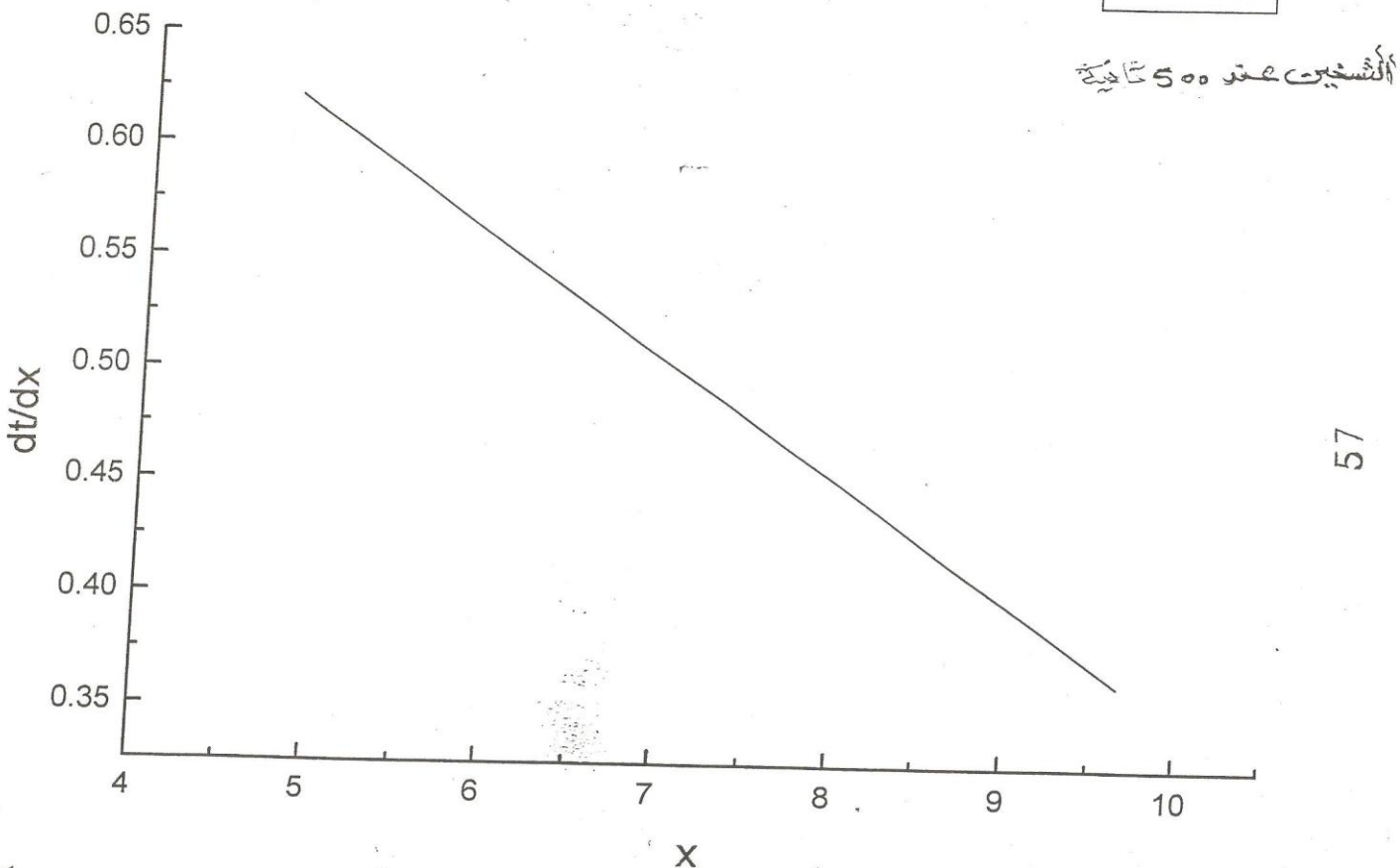
dT/ t بالنسبة للإناء الكروي

dT	dT	dT	الزمن
3	1.5	2	100
6	3	2	200
7.5	4	2	300
7.5	4	2	400
8.5	5	3.5	500
9	6	4	600
8	6	1.5	700
8	3.5	1	800
5.5	4	5	900
4.5	3.5	2.5	1000
4	3	2	1100
3.5	2.5	2	1200
5	3.5	2	1300
5.5	3.5	2	1400
5	3.5	1.5	1500
5.5	4	3	1600
5.5	4	2.5	1700
4.5	3.5	2	1800
4	3	1.5	1900
3	2.5	1	2000
4	3.5	2	2100
5	4.5	3	2200
5	4.5	2.5	2300
5	4	2	2400
6.5	5	3.5	2500

جدول (3-4) :

dT بالنسب للإناء الكروي

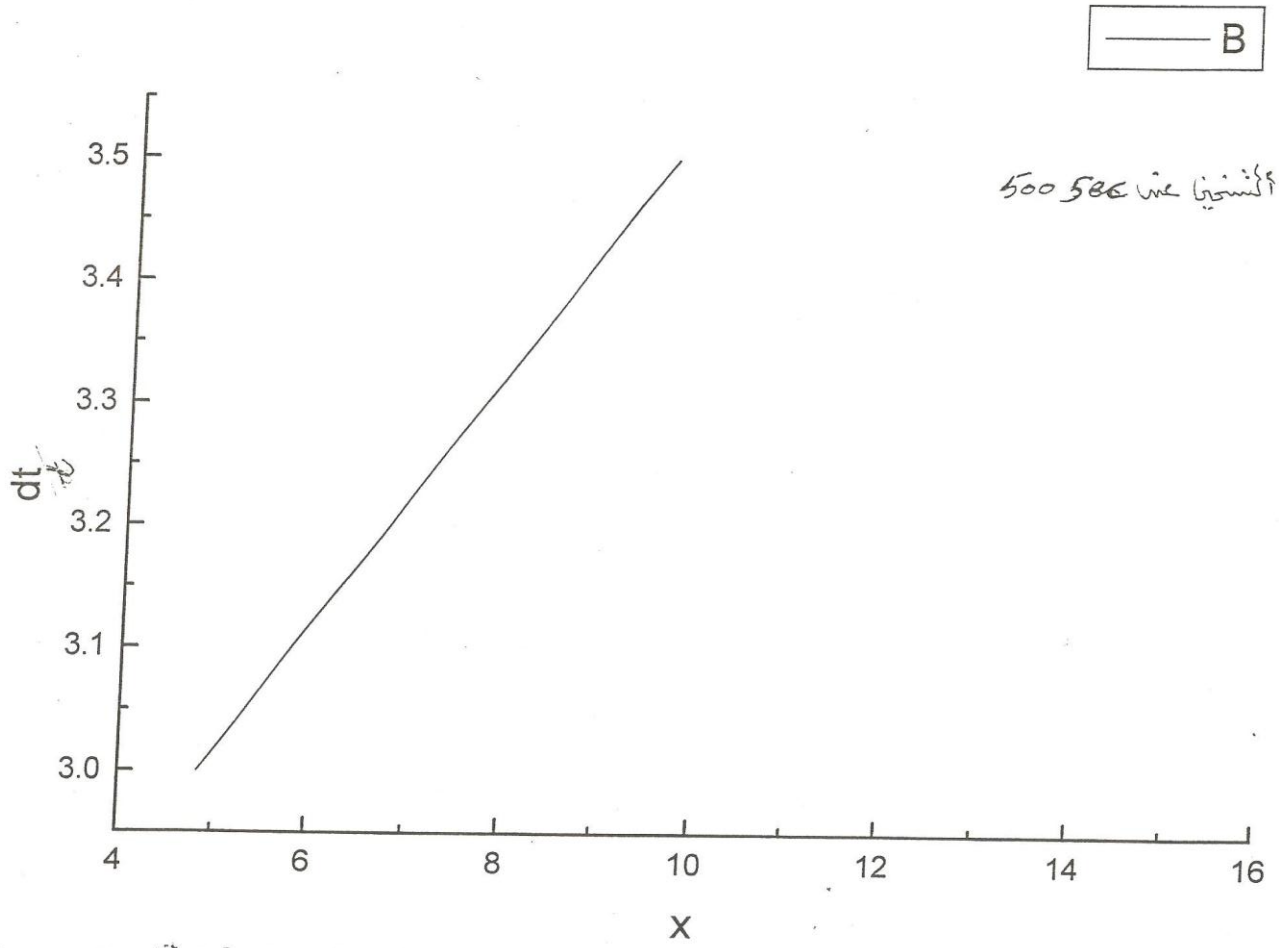
ملحق C



التشخيص عند ٥٠٠ ثانية

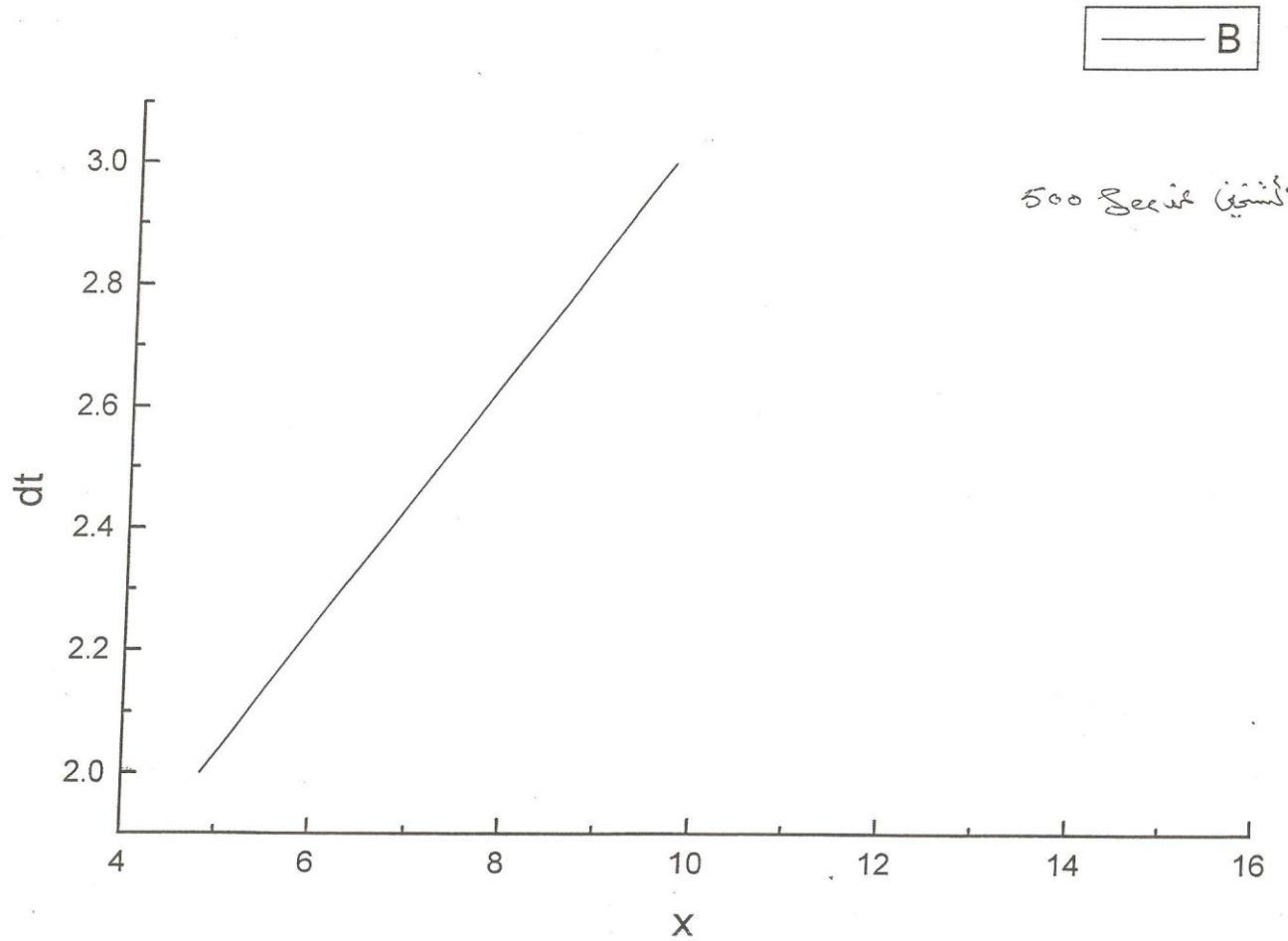
57

المستطيل : شكل (١-١-٢) يوضح العلاقة بين الخزرج ع الحراق والتنسيه للساعة نصف القطرية



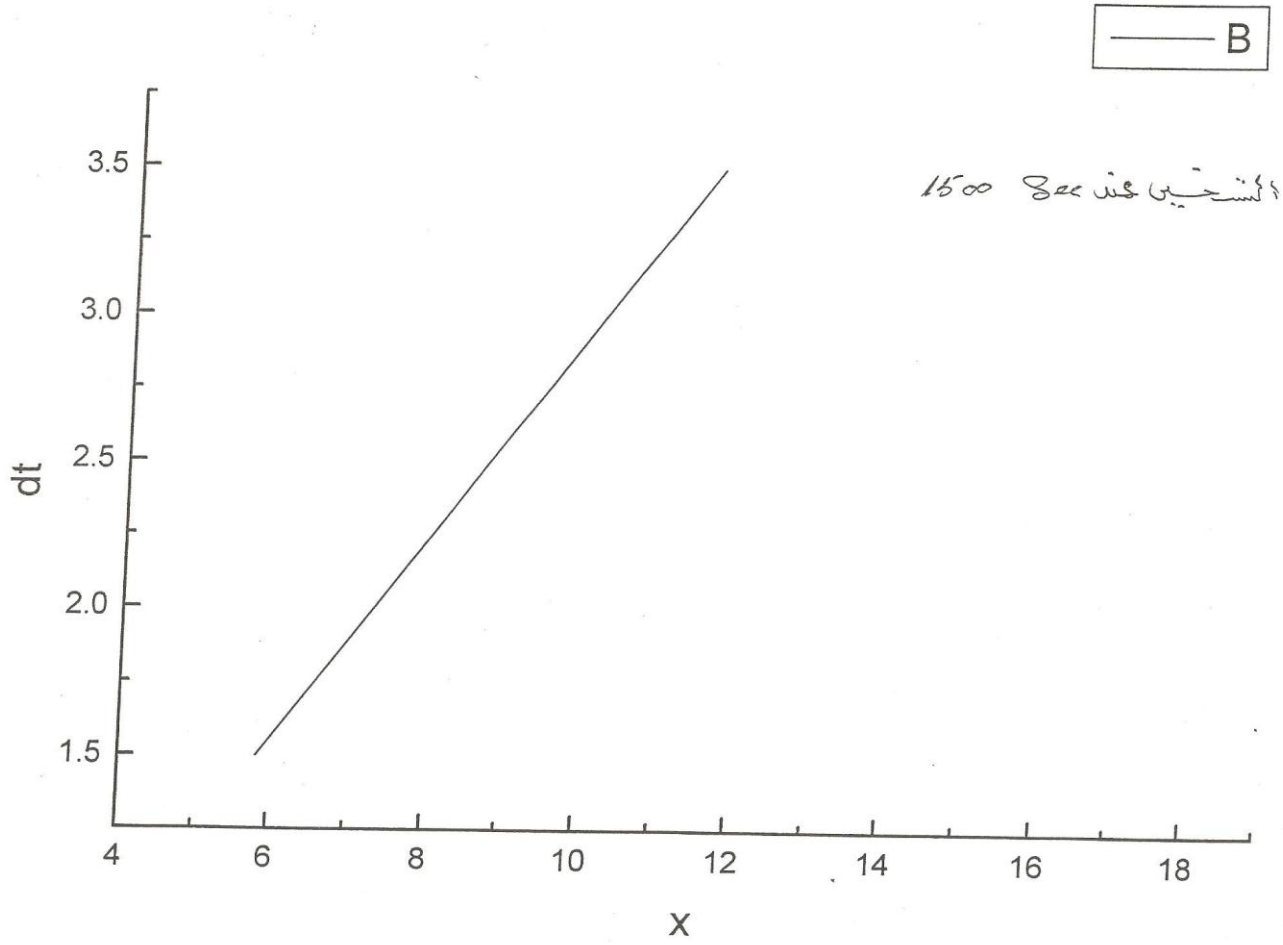
الكشيفا عند 500 sec

شكل (٤-١-ج) يوضح العلاقة بين القوى ودرجة الحرارة مع الزمن بالنسبة للساقة نصف القطرية



الشكل 500 Second

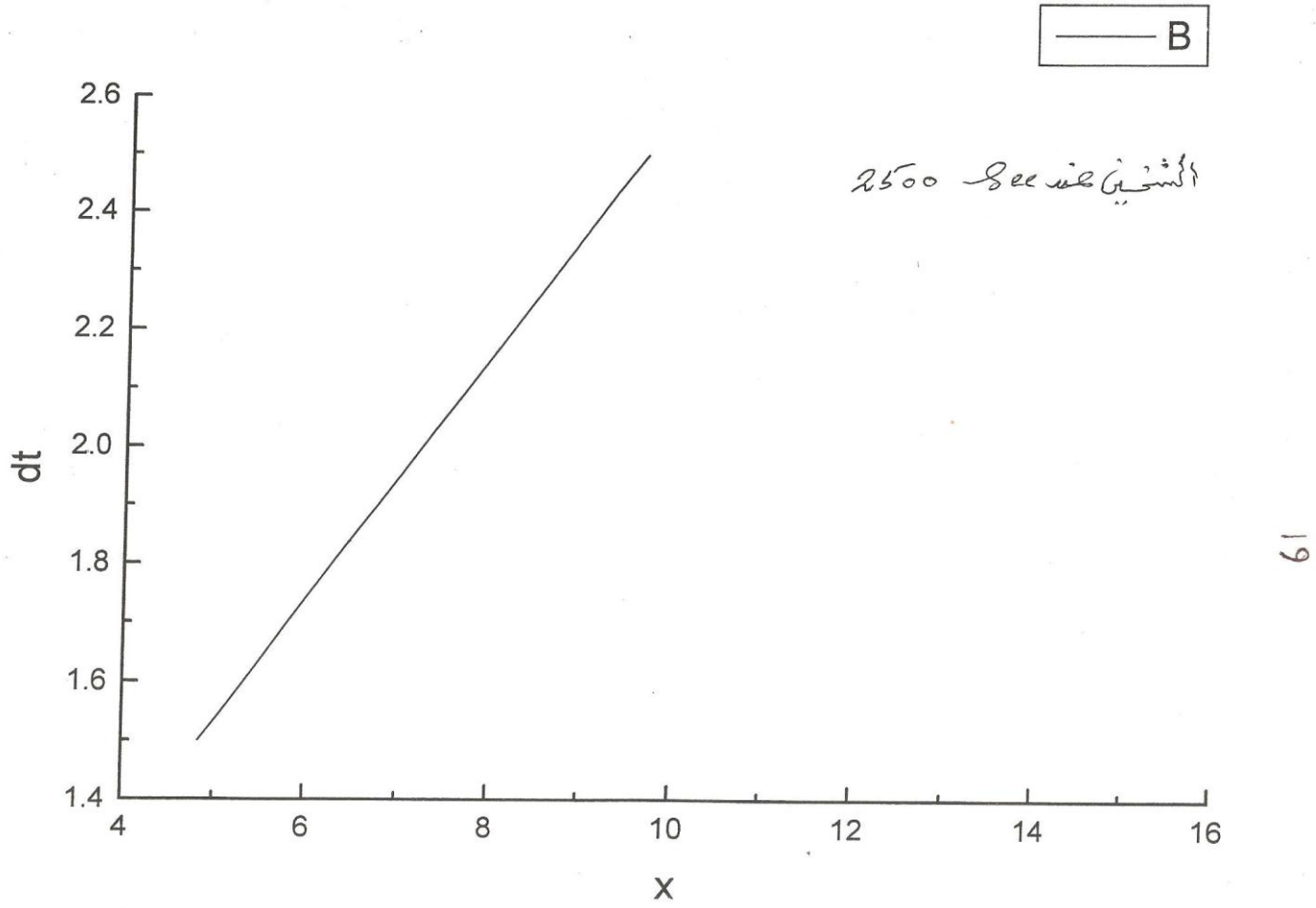
شكل (3-1-c) يوضح العلاقة بين الفرق في درجة الحرارة بالسنتي للمسافة نصف القطرية



التسخين عند 1500 Sec

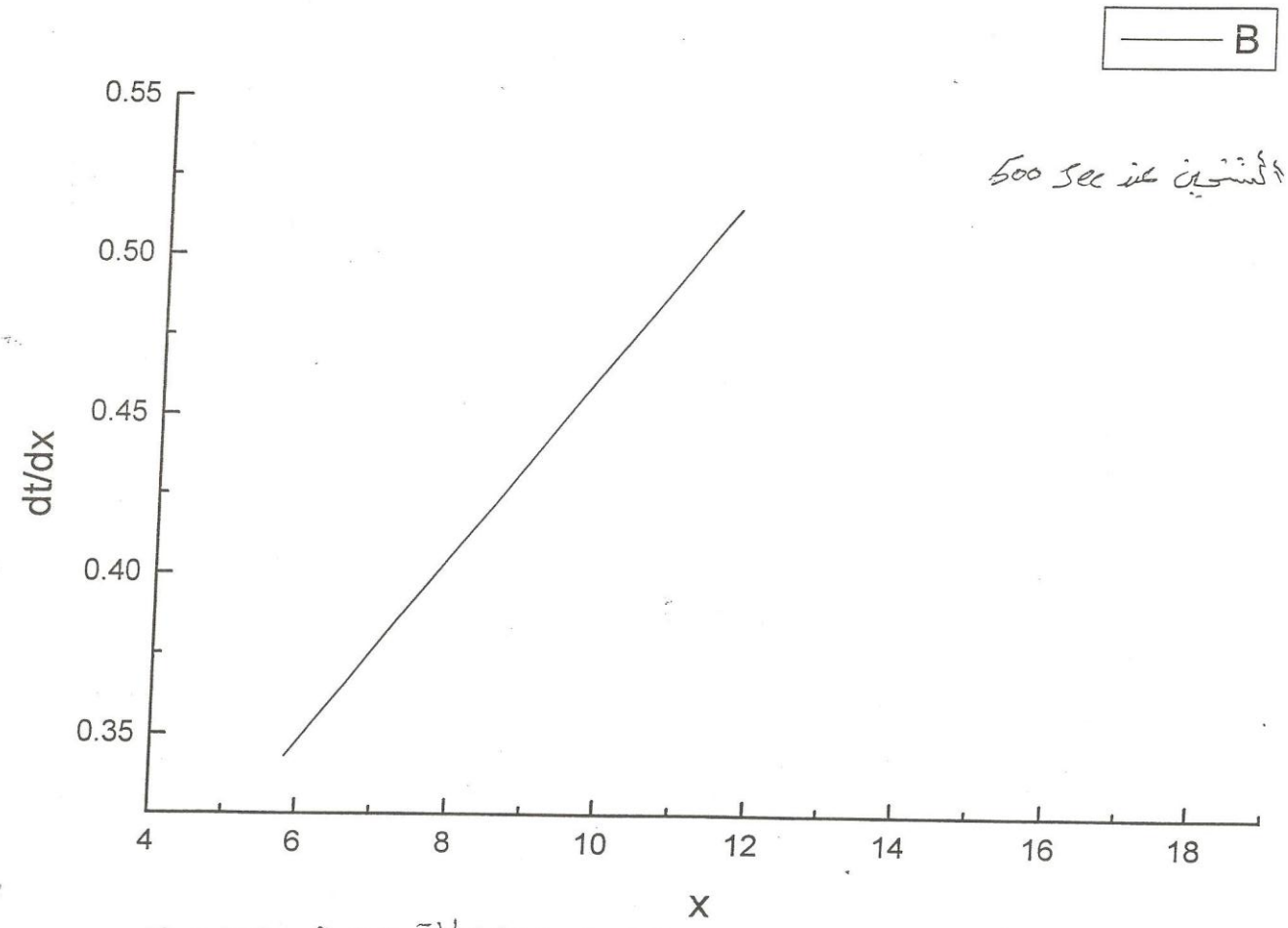
60

شكل (4-1-c) يوضح العلاقة بين الفرق ح درجة بالحرارة بالنسبة للمسافة وضغ القضبان



التشتين عند 2500 Sec

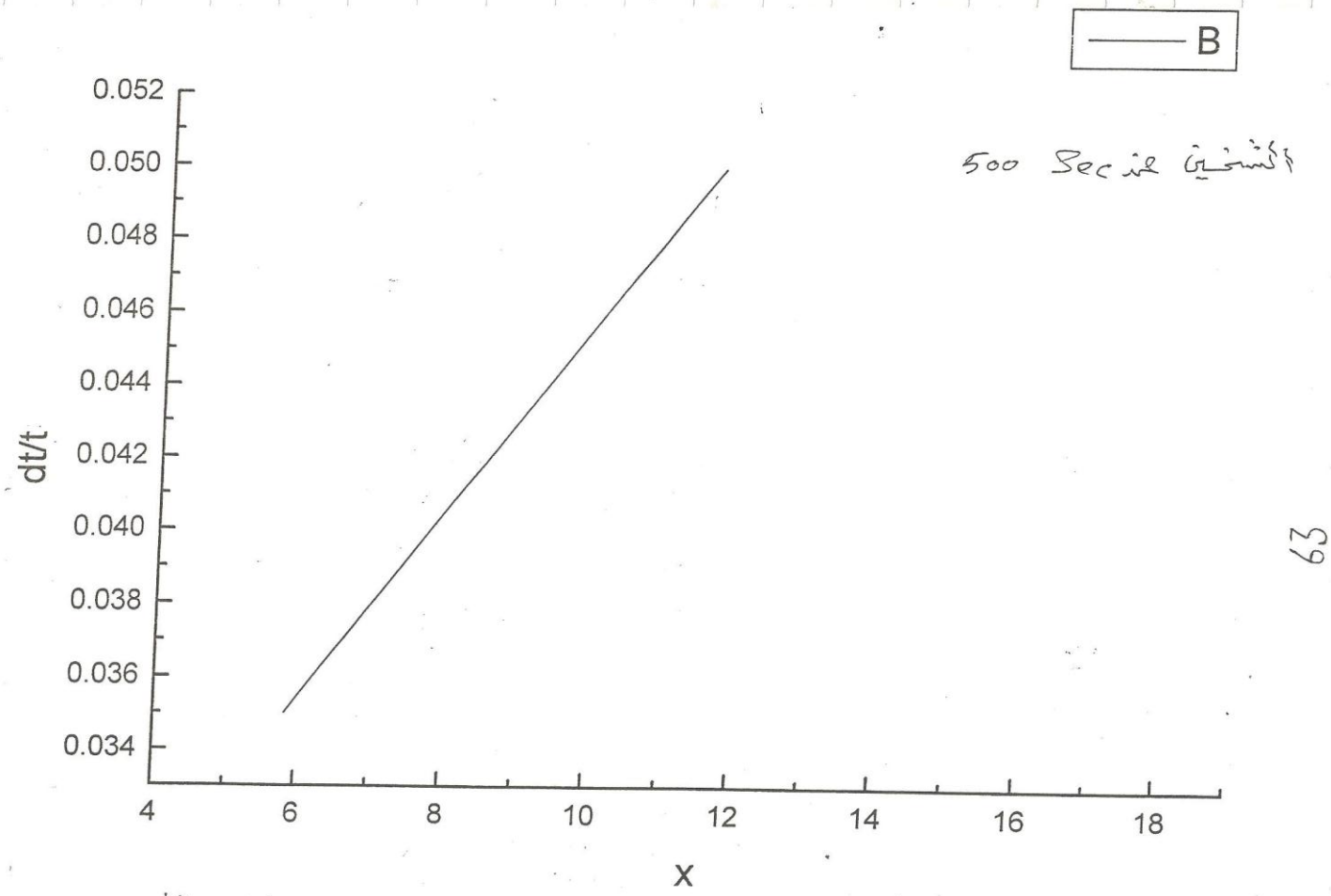
شكل (5-1-c) يوضح العلاقة بين الفرق في درجة الحرارة بالنسبة للمسافة وتصف القضرية



الشحن عند 500 sec

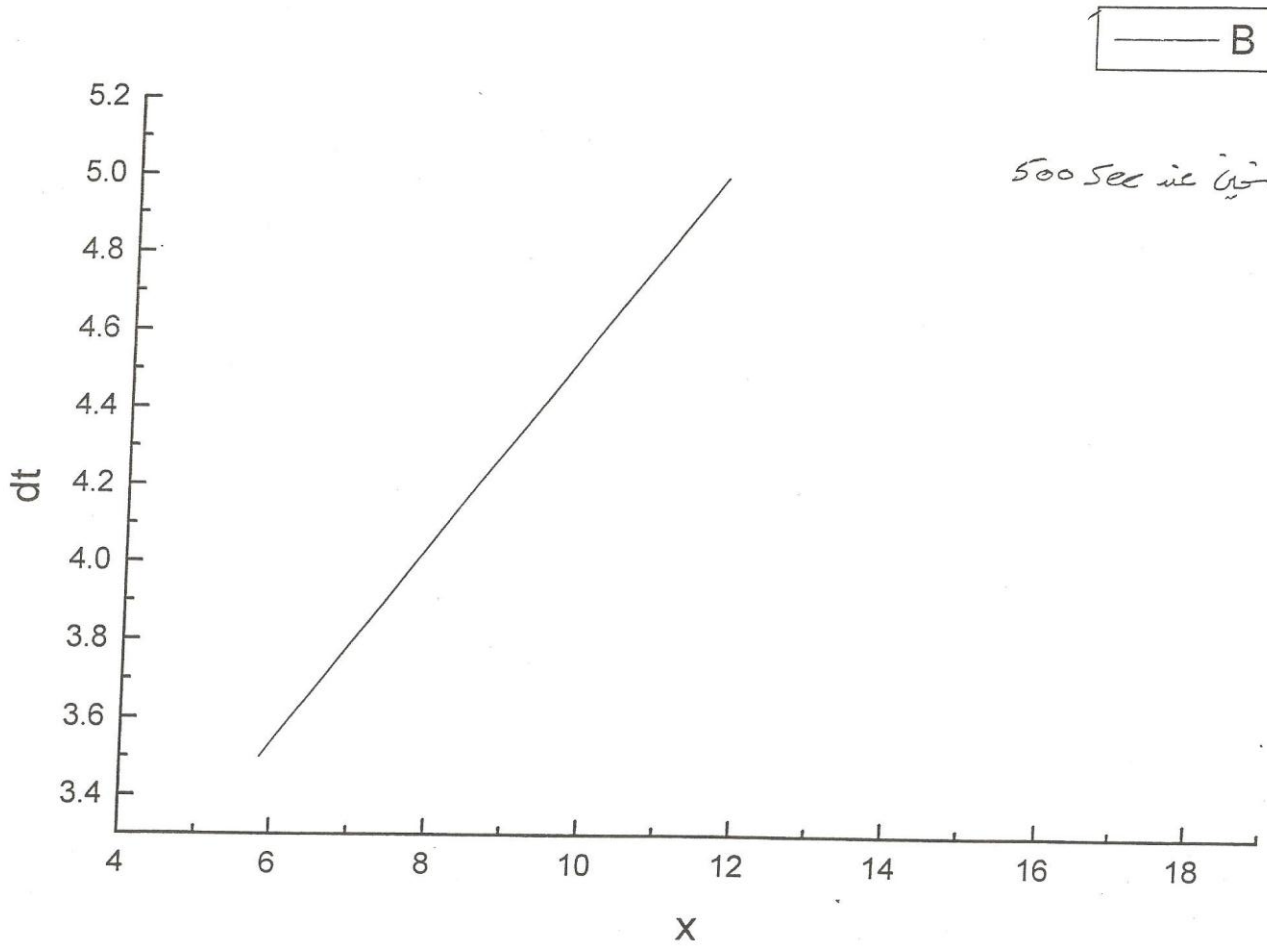
62

لصف الكرة : شكل (1-2-ب) يوضح العلاقة بين التدفق الحراري بالنسبة للمسافة (صف القطرية



التسخين عند 500 Sec

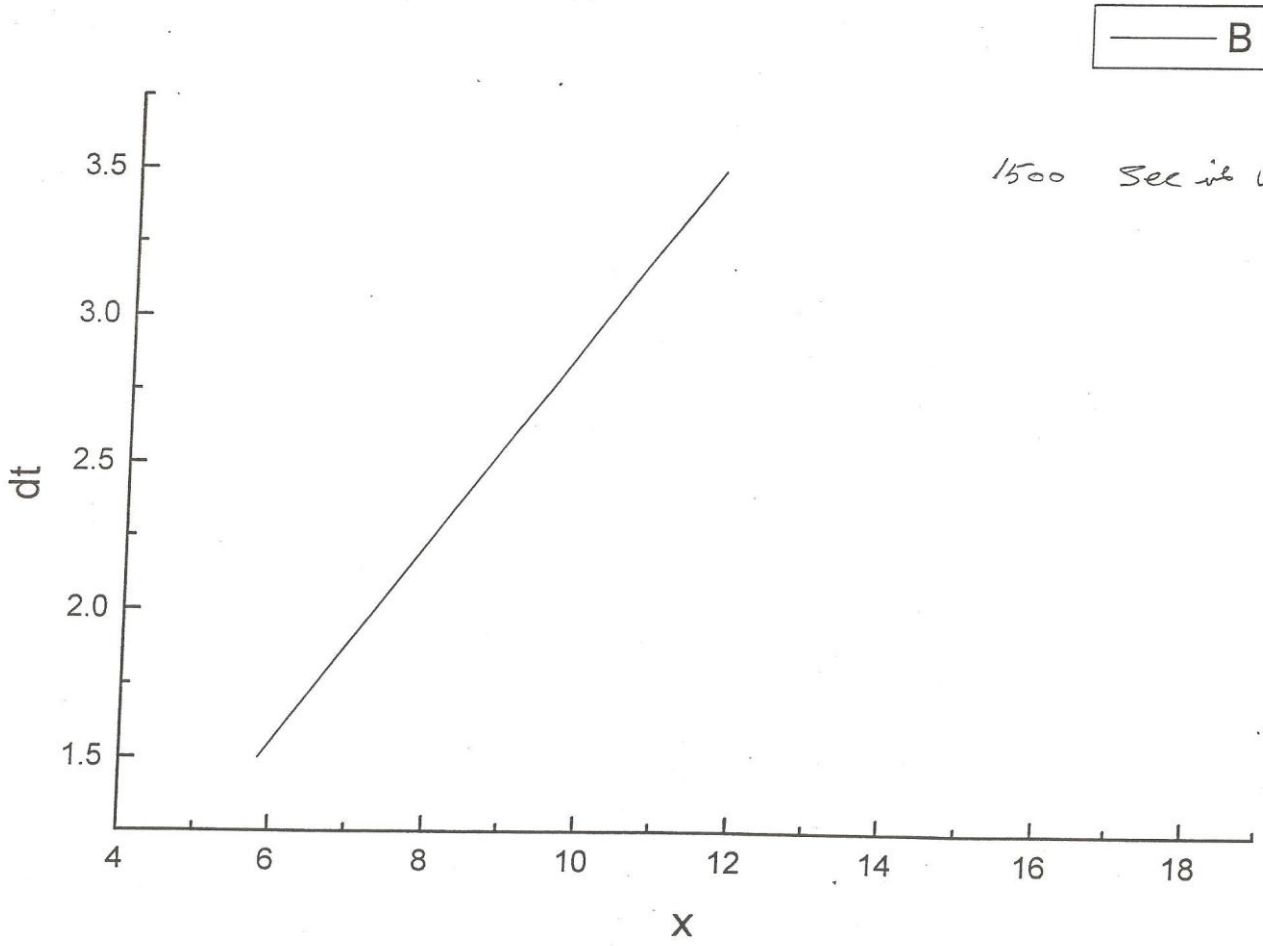
شكل (2-2-c) يوضح العلاقة بين الفرق في الحرارة مع الزمن بالنسبة للمسافة لعينة الخطية



الكشف عند 500 sec

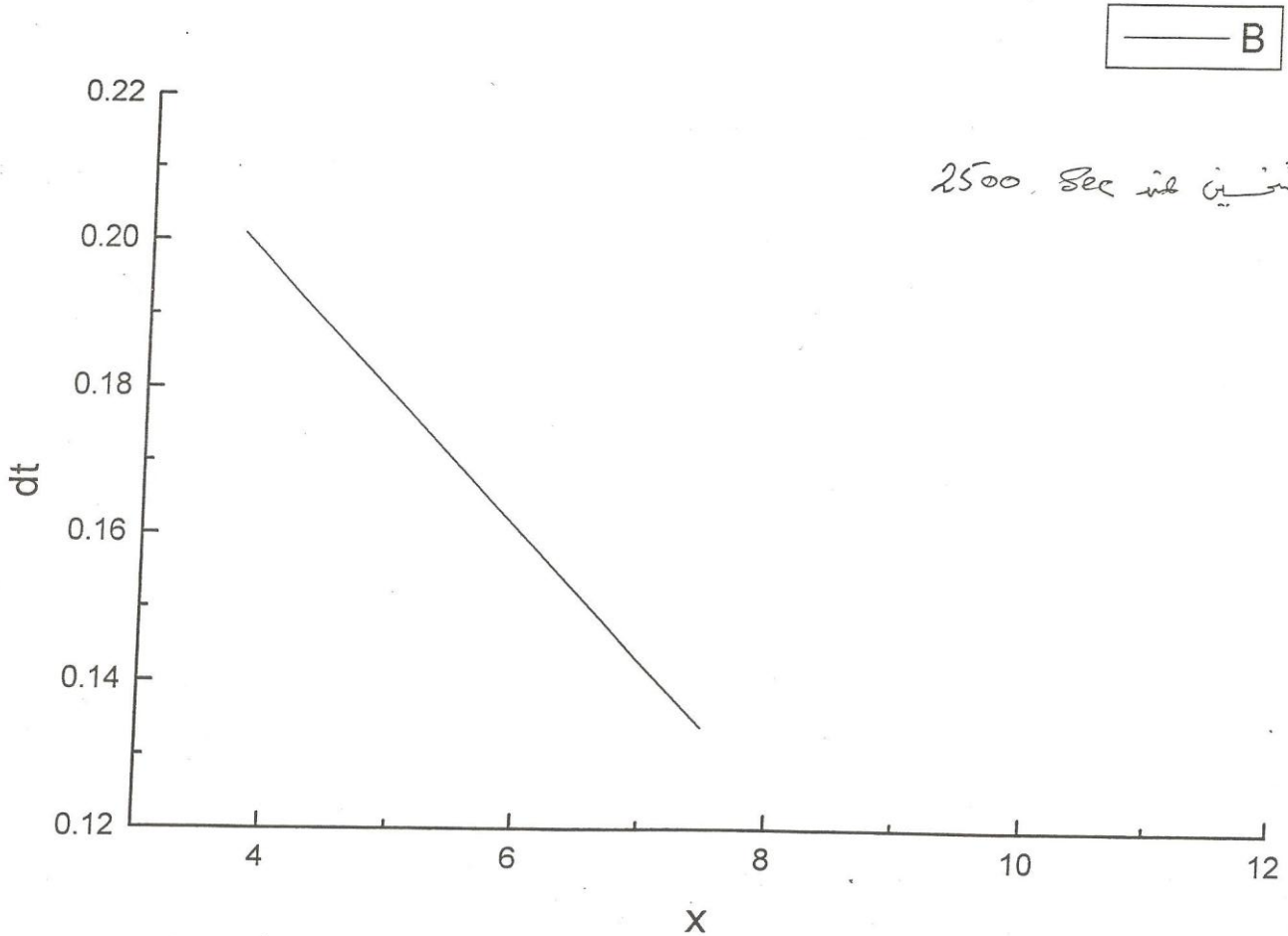
64

شكل يوضح "C-2-3" العلاقة بين الزيادة درجة الحرارة بالنسبة للمسافة نصف القطرية



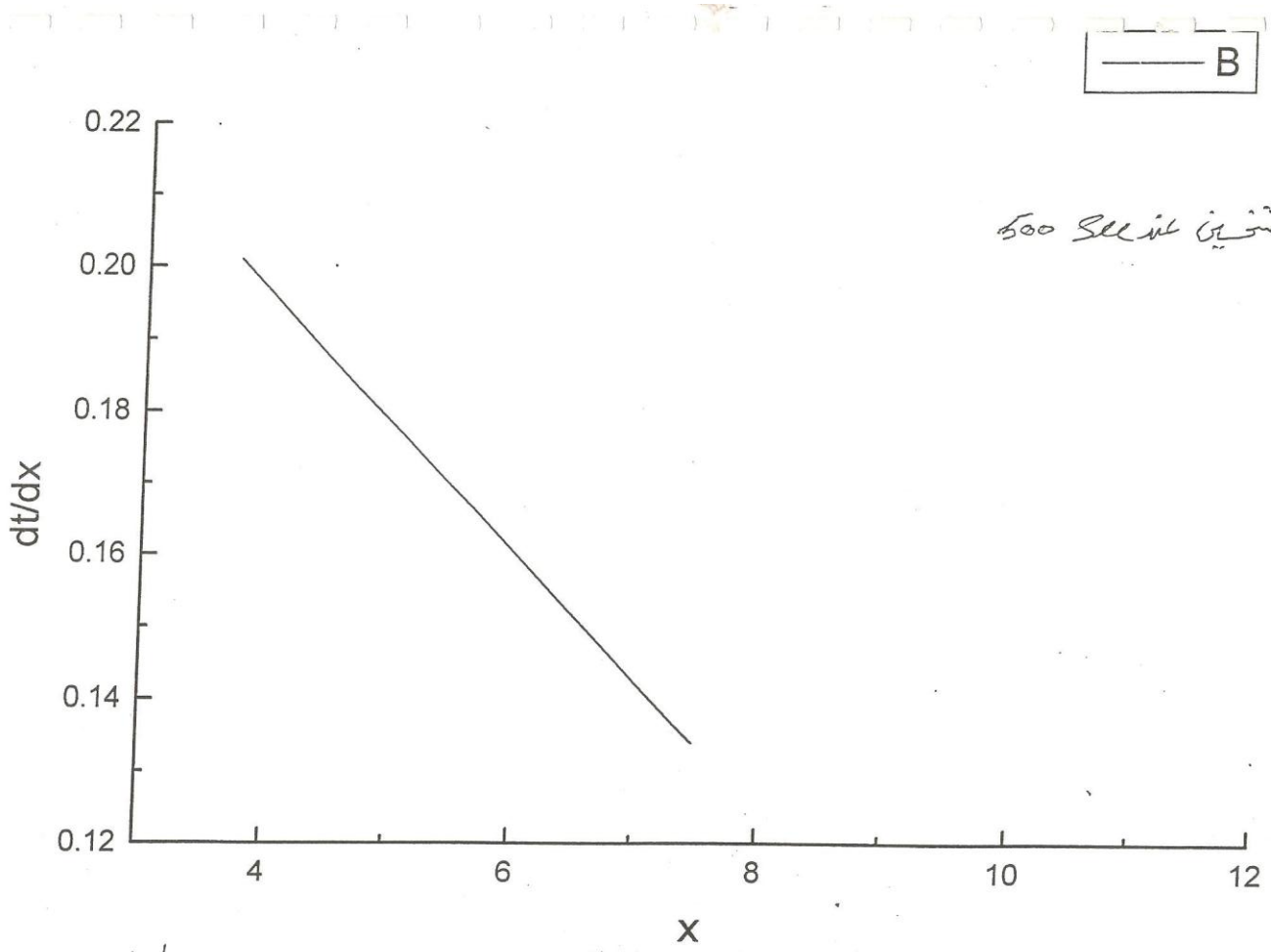
1500 Sec الثانية عند

شكل C-2-4 يوضح العلاقة بين الفرق في درجة الحرارة بالنسبة للمسافة بالنصف قطرية



الثانية عند 2500 Sec

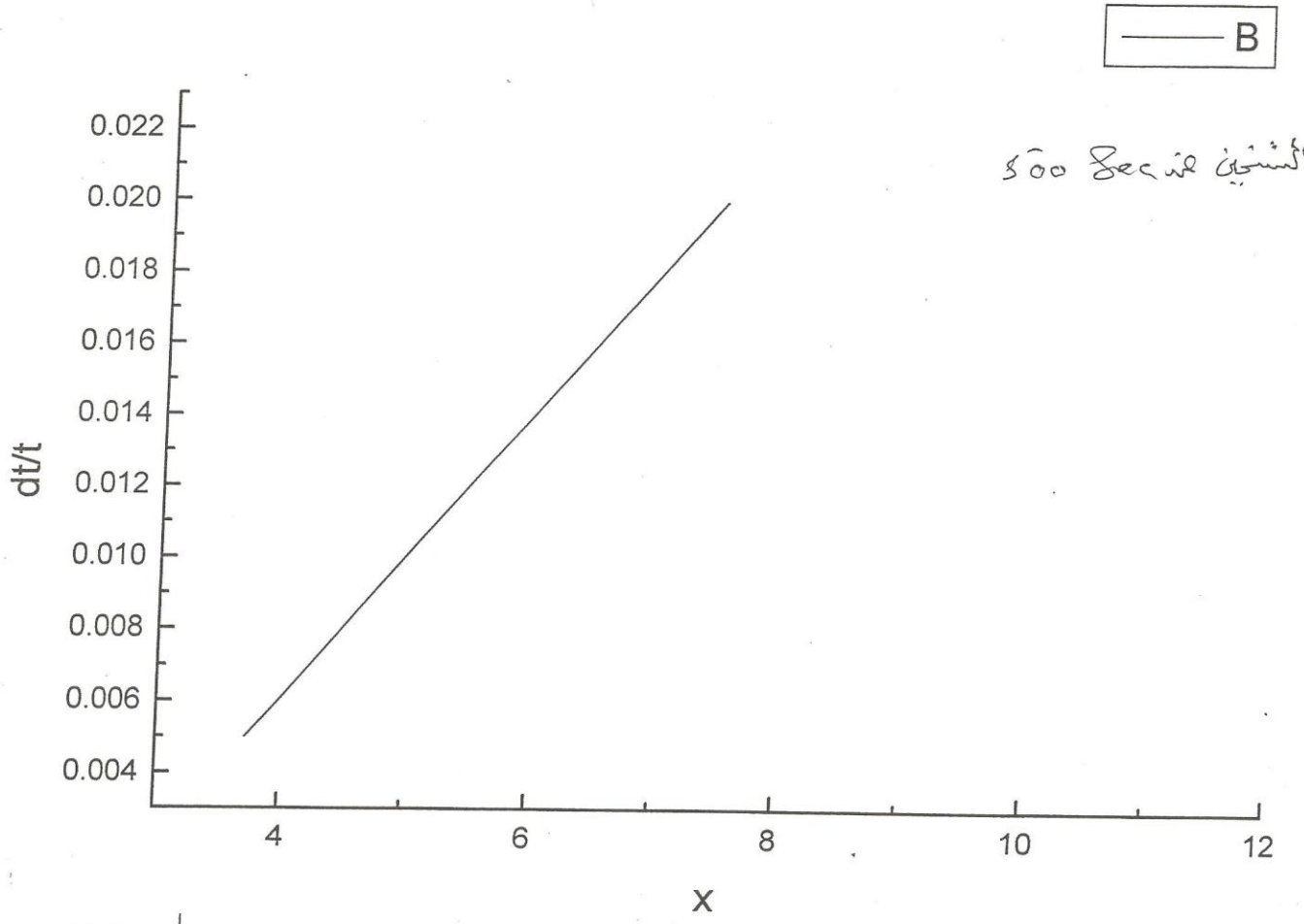
شكل "5-2-ج" يوضح العلاقة بين الفرق في درجة الحرارة بالنسبة للمسافة المضخ قطريه



أي لسطوانة: شكل ١-٤-c يوضح العلاقة بين التبريد والحرارة بالنسبة للمسافة لنصف إسطوانة

٥٥٥ الكشتين عند

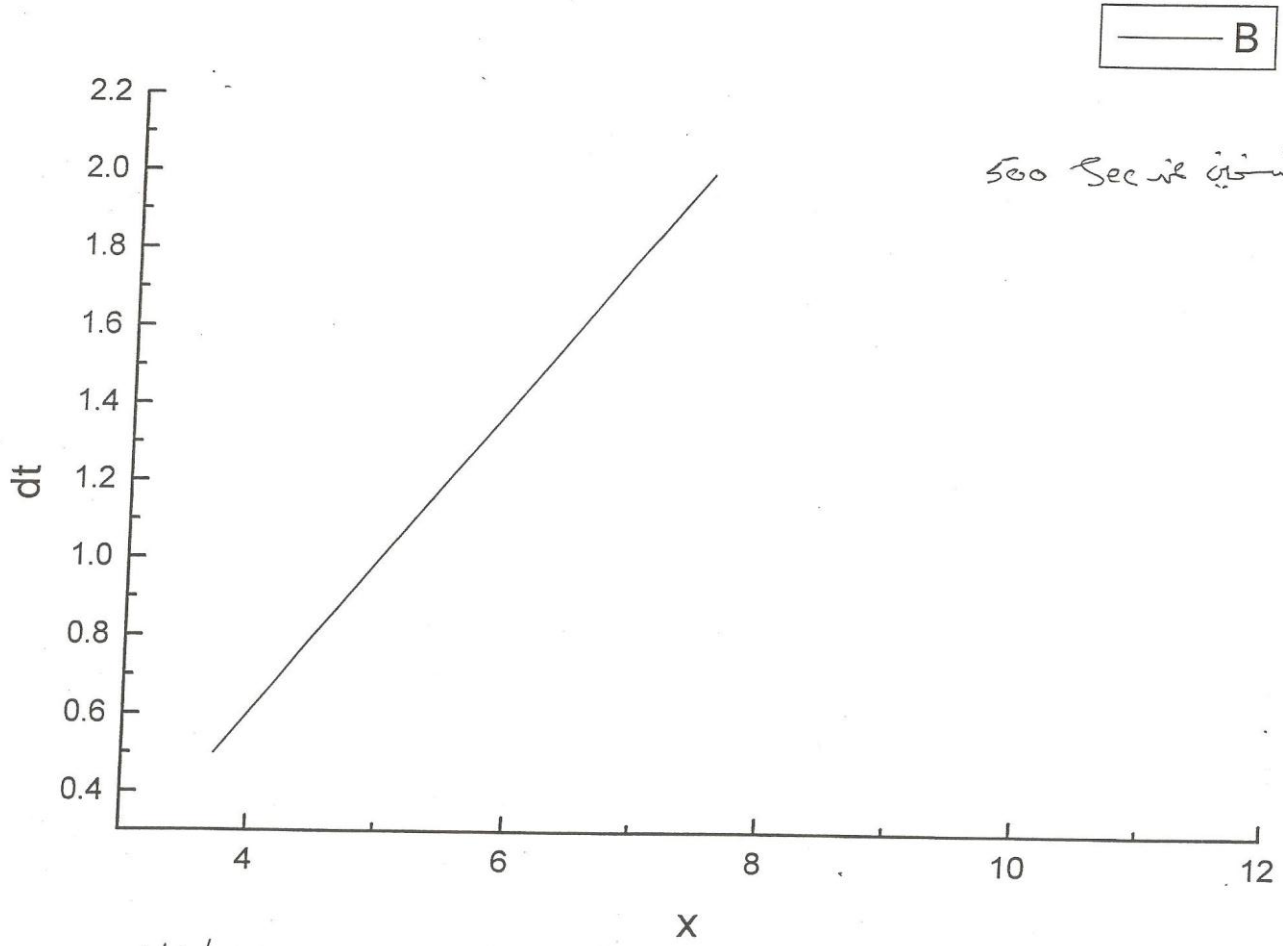
67



التشتين عند 500 Sec

89

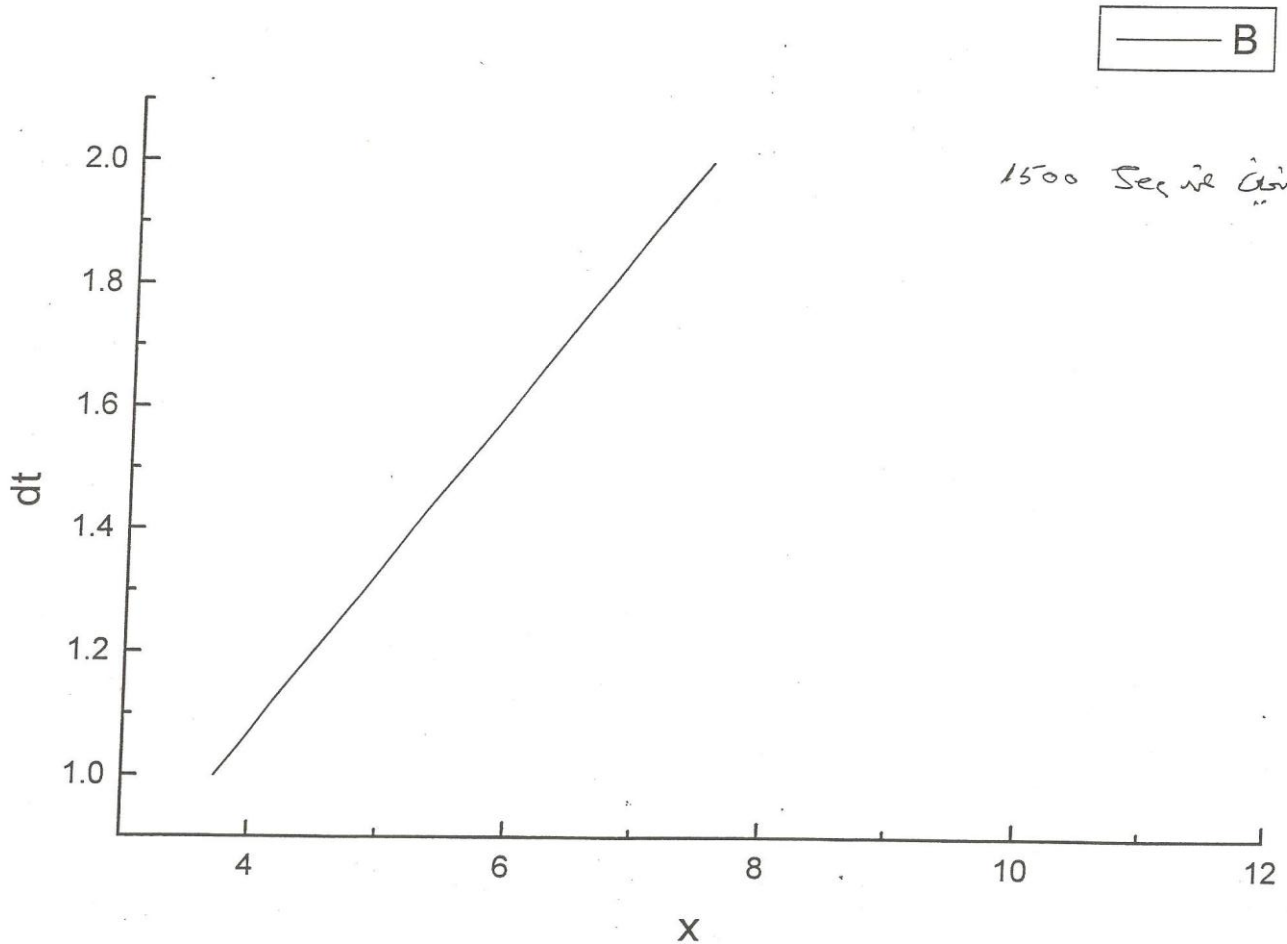
شكل (3-2-ج) يوضح العلاقة بين الفرق في الحرارة مع الزمن بالنسبة للحساسة البلاتين قطار



الثانية عند 500 Sec

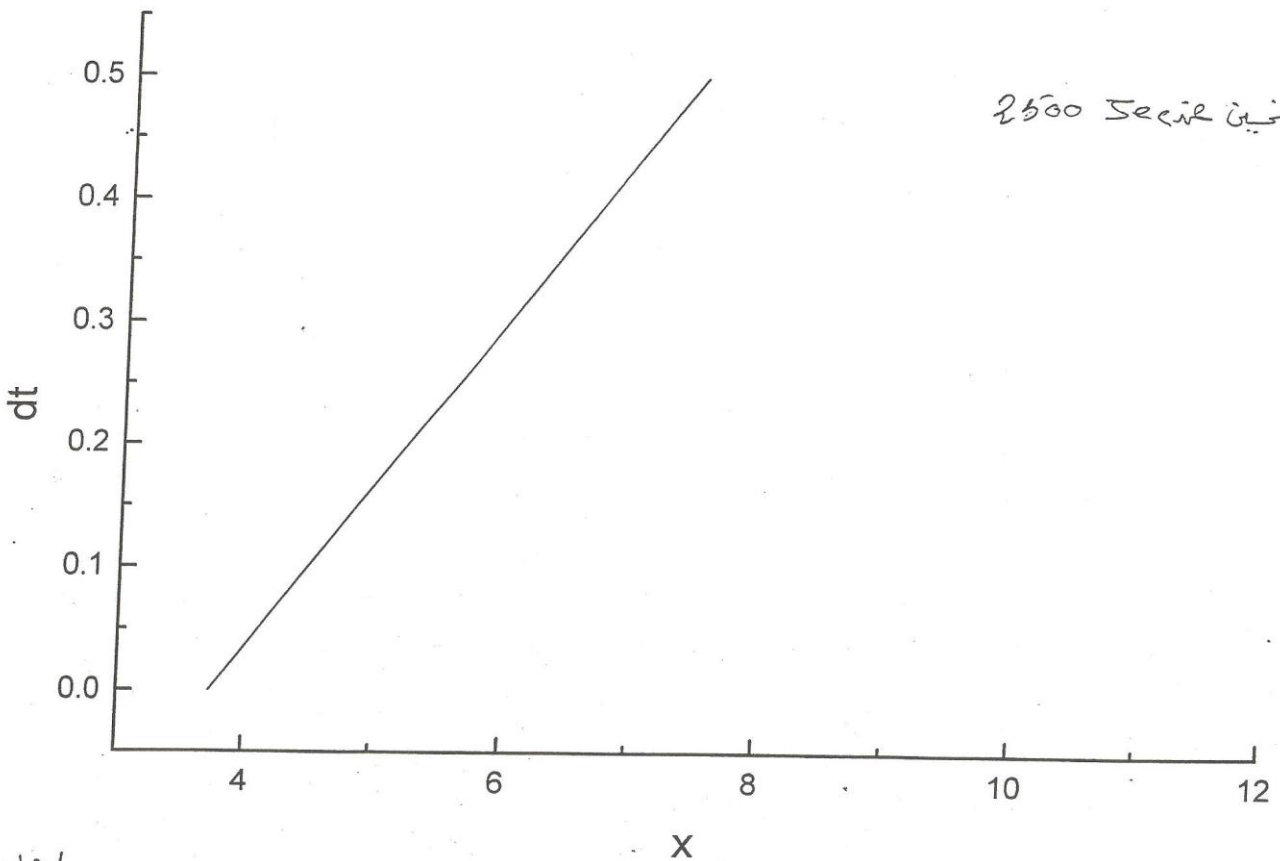
69

شكل ٣,٤-٣-٤ يوضح العلاقة بين الفرق في درجة الحرارة بالدرجة المئوية والمسافة لنقطة الغليان



1500 Sec التشحين

شكل 4-3-2 يوضح العلاقة بين الفرق في درجة الحرارة بالنسبة للمسافة نصف القطرية



2500 Secon الثانية

71

شكل 5-3-2 يوضح العلاقة بين الزمن بالثانية والمسافة بالمتر