اختراع جهـاز قيـاس معـدل الانتقـال الحـرارى عـبر أسطـح المواسـيرللمفـاضـلة بـين المراجـل قبـل الشـراء

مهندس/محمد أحمد عبدالله حجازى
شركة القاهرة لتكرير البترول
الإدارة العامة للتكنولوجيا والتطوير (معمل طنطا)

الخواص الحرارية للمواد

- تستخدم طرق القياس لتعيين العديد من الخواص الحرارية كالآتى
- خواص الإنتقال الحرارى مثل

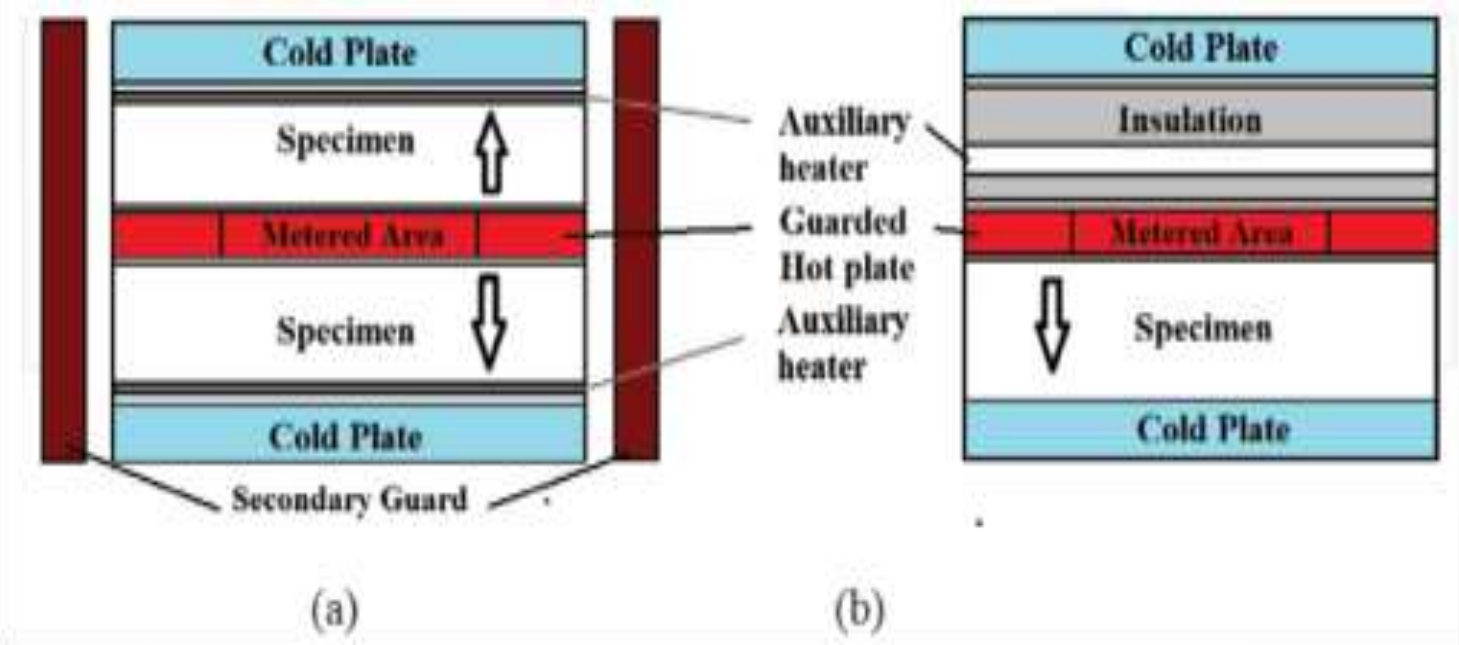
- Thermal conductivity, thermal diffusivity or specific heat capacity, characterizing the ability of materials to conduct, transfer, store and release heat.

أهم طرق قياس الخواص الحرارية للمواد

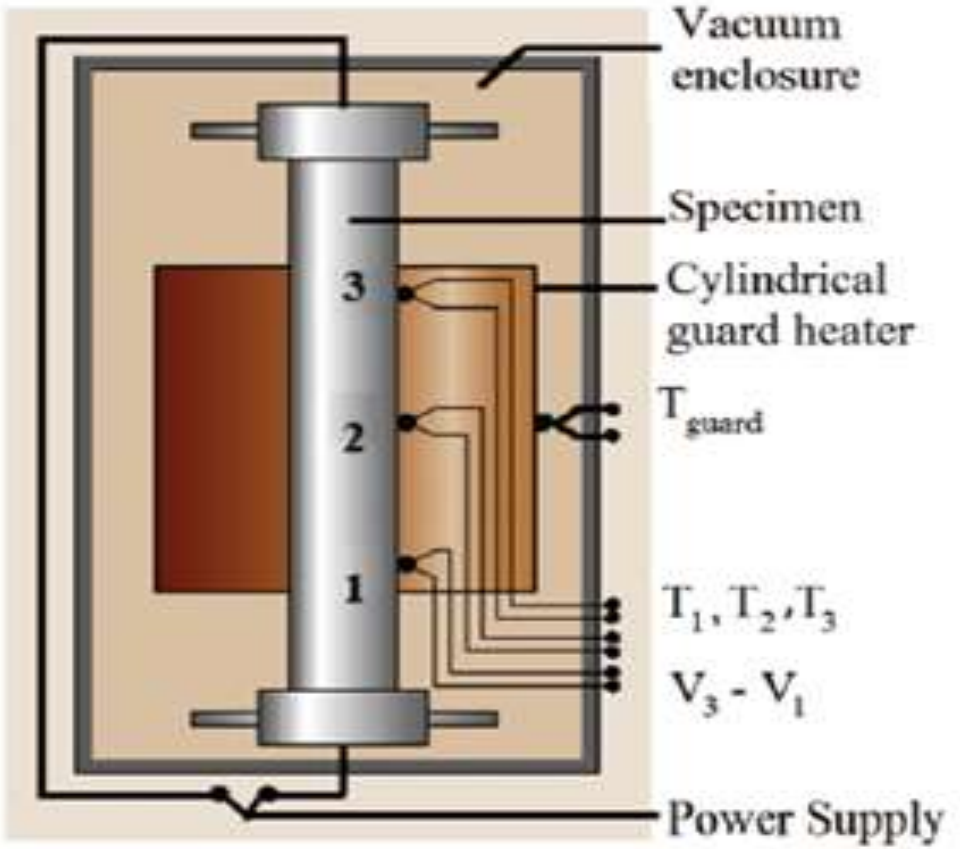
- Steady State Direct Methods
- Transient Methods

Steady State Direct Methods أولاً

- Guarded Hot Plate



Direct heating method

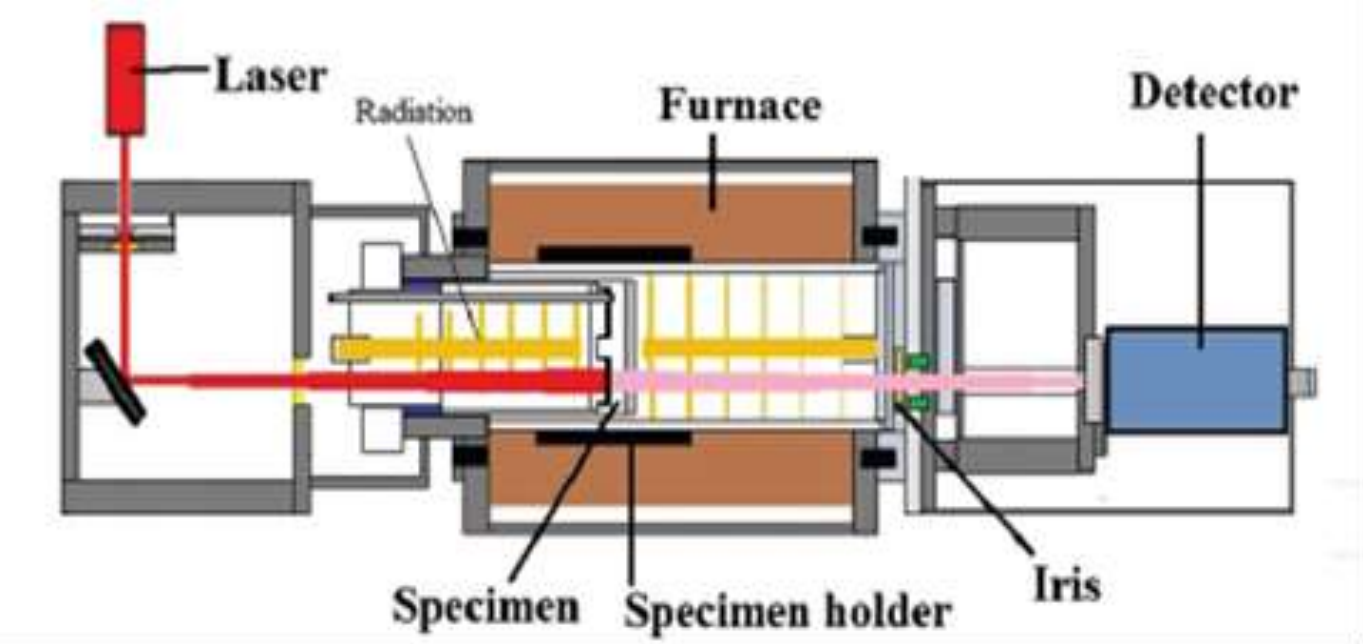


Direct heating method equation

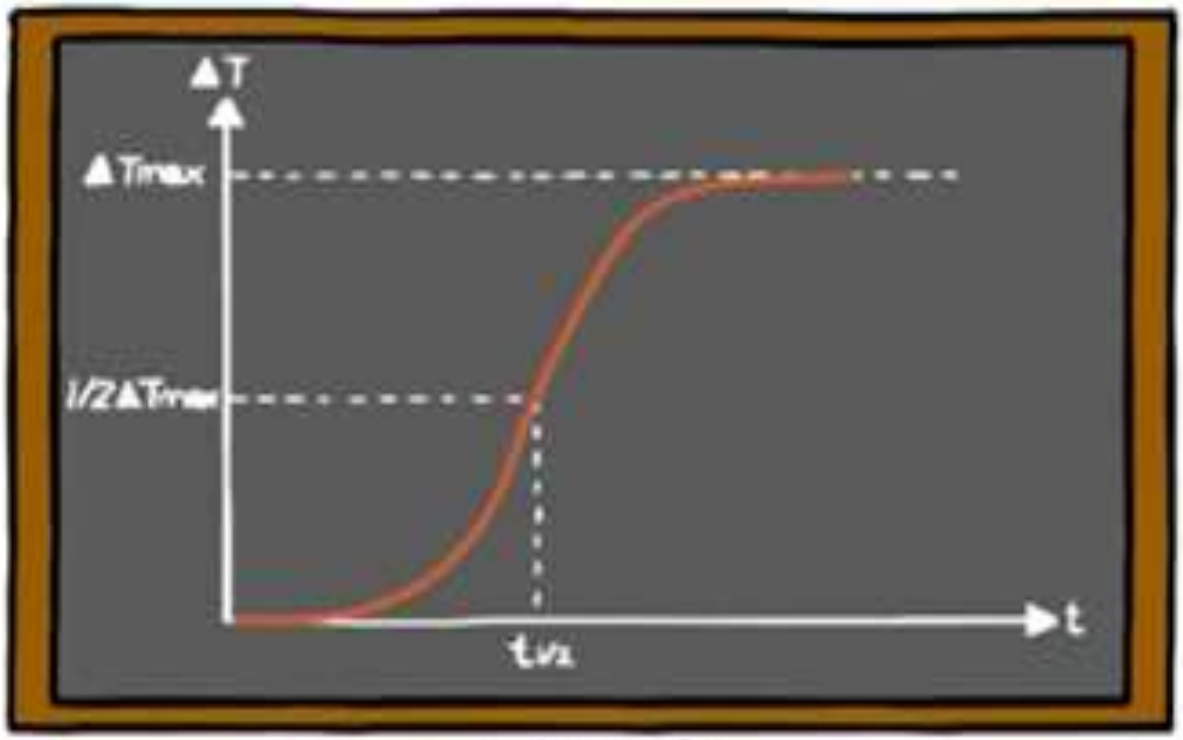
$$k\frac{V_h A}{I_h l} = \frac{\left(V_3 - V_1\right)^2}{4\left[2T_2 - \left(T_1 + T_3\right)\right]}$$

Transient Methods ثانيا

laser Flash Method



تعيين معامل الانتشار للعينة



$$\alpha = 0.1388 * L^2/t_{0.5}$$

Where:

α = thermal diffusivity in cm^2/S

L = thickness of test specimen at temperature of measurement in cm

$t_{1/2}$ = time at 50% of maximum temperature increase, measured at the rear surface of the specimen in seconds

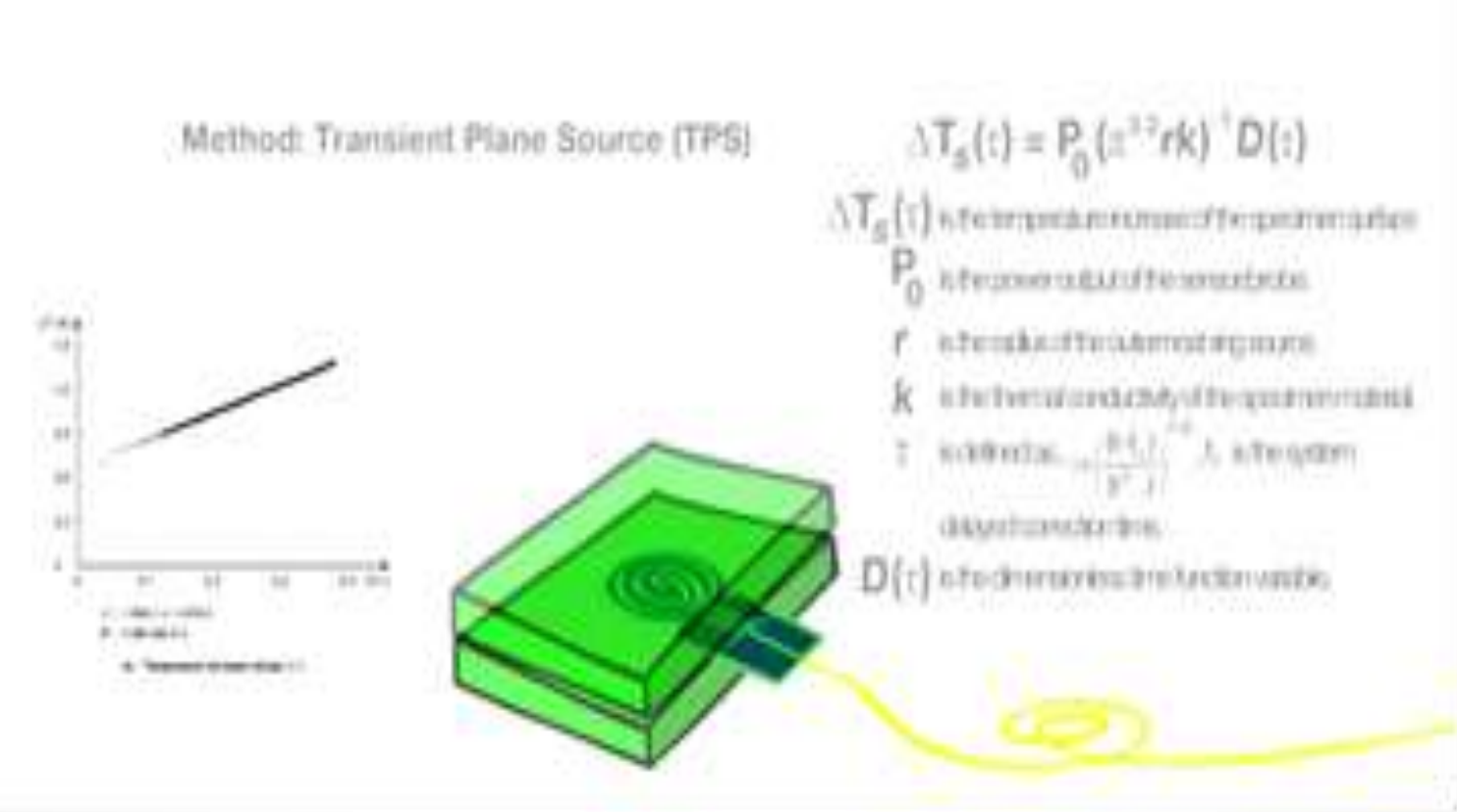
تعيين التوصيلية الحرارية

$$\alpha = 0.138 \frac{d^2}{t_{1/2}} \rightarrow \alpha = k / \varrho c_p$$

α Thermal Diffusivity
K Thermal Conductivity
ϱ Density
Cp Specific Heat

المجموعة الثانية من طرق القياس

- Transient Plane Method



اختيار التجهيزات الخاصة بكل تجربة

	Metal alloy	Dense ceramic	Steel	Ceramic	Polymer	Insulating material
Thermal conductivity [W/(m·K)]	170	40	14	1,5	0,19	0,028
Thermal diffusivity (mm^2/s)	69	11	3,7	0,96	0,11	0,75
Temperature increase (K)	0,3	0,5	1,0	0,8	1,3	2,5
Probe radius (mm)	15	6,4	6,4	6,4	6,4	15
Specimen thickness (mm)	30	10	10	10	15	30
Specimen diameter (mm)	90	40	40	40	40	90
Measurement time (s)	5	10	10	40	160	160
Power output (W)	4	3	2	0,5	0,25	0,1

Modified Transient Plane Source

مقارنة بين الطرق المختلفة

Method	Temperature range	Uncertainty	Materials	Merit	Demerit
Guarded hot plate	80-800K	2%	Insulation materials, plastics, glasses	High accuracy	Long measurement timeplate large specimen size,low conductivity materials
Cylinder	4–1000K	2%	Metals	Temperature range simultaneous determination of electrical conductivity and Seebeck-coefficient possible	Long measurement time
Heat flow meter	−100–200 ◦C	3–10%	Insulation materials plastics, glasses, ceramics	Simple construction and operation	Measurement uncertainty relative measurement
Comparative	20–1300 ◦C	10–20%	Metals, ceramics plastics	Simple construction and operation	Measurement uncertainty, relative measurement
Direct heating (Kohlrausch)	400–3000K	2–10%	Metals	Simple and fast measurements	only electrically conducting materials
Pipe method	20–2500 ◦C	3–20%	Solids	Temperature range	Specimen preparation long measurement time
Hot wire ,hot strip	20–2000◦C	1–10%	Liquids, gases, low conductivity solids	Temperature range, fast, accuracy	Limited to low conductivity solids conductivity materials,
Laser flash	−100–3000◦C	3–5%	Solids, liquids	Temperature range, most solids, liquids and powders small specimen fast, accuracy at high temperatures	Expensive, not for , insulation materials
Photothermal photoacoustic	30–1500K	Not suffi ciently known	Solids, liquids gases, thin films	Usable for thin films, liquids and gases	Nonstandard, knowledge about accuracy

أهم الشركات المصنعة

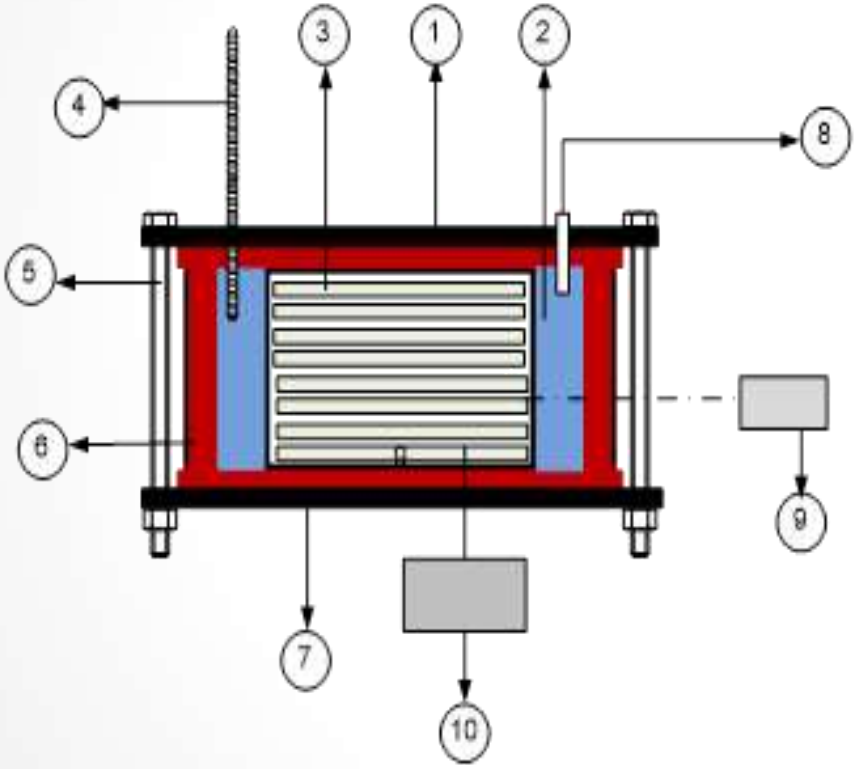
Manufacturer type of instrument	Technique	Meas. range ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Max. temp. (°C)	Accuracy/ uncertainty	Sample dim. (number)
Hotdisk AB					
TPS series/Mica sensor	TPS	0.005–1800	1000	<5 %	Min. Ø13 × 3 mm^2
Laser Comp					
FOX 300 HT	HFM	0.1–10	250	>1 % (40 °C)	≤ Ø51 mm
GHP 600	GHP	0.1–10	250		
Linseis Messgeräte GmbH					Both instr.:
XFA 500	XFA	0.1–2000	500	nn	(1) ≤Ø25.4 × 6 mm^2
LFA 1000	LFA	0.1–2000	1600	nn	(2) 10 × 10 × 6 mm^3
Netzsch Gerätebau GmbH					
Titan 456	GHP	0.005–20	250	<2 %	300 × 300× ≤ 100 mm^3
LFA 427/457	LFA	0.1–2000	≤2800	nn	all LFA/XFAs
LFA 447/467	XFA	0.1–2000	≤500	nn	(1) ≤Ø12.7 × 6 mm^2
					(2) 10 × 10 × 6 mm^3
TCT 426	THW	<2	1250 (1500)	nn	250 × 125 × 75 mm^3
Taurus					250 × 250 mm^2
TLP 500 HT	GHP	0.01–0.5	400 (500)	nn	500 × 500 mm^2
TA Instruments					
DTC 300	HFM	0.1–40	300	3 % to 8 %	Ø50 × 25.4 mm^2
DXF and *DLF* series	LFA	0.1–2000	≤2800	5 %	≤Ø25.4 × 6 mm^2
Ulvac Riko					
GH series	HFM	0.1–15	280	nn	Ø50 × 20 mm^2
TC 9000	LFA	nn	1500	5 % (TD)	Ø10 × 3 mm^2

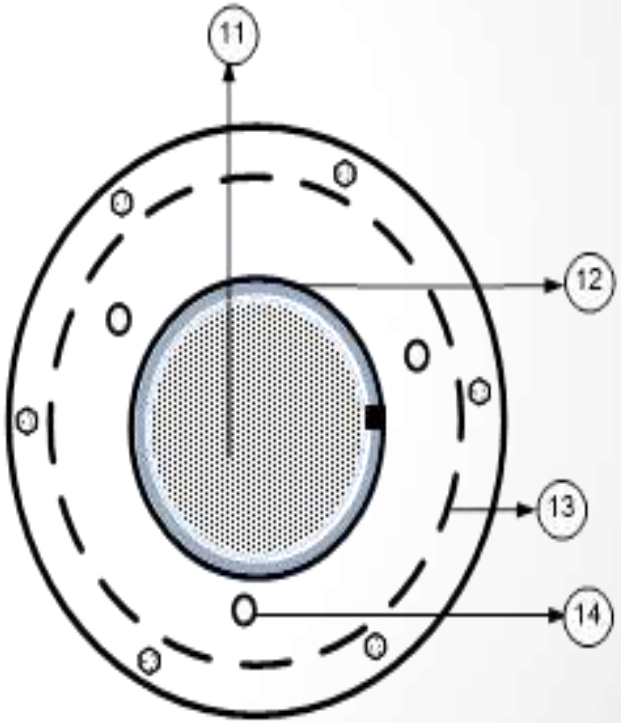
أهمية إيجاد طريقة جديدة

- وبناءاً على ما تم عرضه فيما سبق لأكثر الطرق شيوعاً من حيث الاستخدام فى تعيين الخواص الحرارية للمواد يتضح أنه لاتوجد طريقة موحدة يتم بها قياس الخواص الحرارية للمواد ولكن لكل طريقة حدود القياس والمواصفات الخاصة بها لذلك كان التفكير فى إيجاد طريقة بسيطة وسهلة التطبيق لتعيين معدل التدفق الحرارى المارعبرأسطح المواسير ومن ثم يمكن تعيين التوصيلية الحرارية بتطبيق معادلة فوريير للتوصيلية الحرارية فى الاتجاه القطرى للأشكال الأسطوانية فعن طريق الجهاز سيكون من السهل تعيين معدل التدفق الحرارى عبر أسطح المواسير فى شكلها التجارى.

وصف جهاز الاختبار

رسم يوضح جهاز القياس





مكونات الجهاز

1-Upper Flange

2- water

3- heater

4- Thermometer

5-Hex Head Holder

6-insulator

7-lower flange

8- thermo cable with a digital monitor

9-thermocable with an electrical switch

10-AC-Automatic Voltage Regulator

11-insulator

12-specimen

13-outer casing

14 -thermocables hatches

خطوات التجربة

يتم لف المسخن الكهربى حول السطح الداخلى للعينة ثم تثبيت العينة بين الغطائين العلوى والسفلى و إحكام إغلاق المنظومة ويتم تثبيت الثمروكابل على السطح الداخلى للعينة وتشغيل الثرموكابل لتعيين الارتفاع فى درجة حرارة المياه بالفتح ات المخصصة له بالغطاء العلوى و يتم توصيل التيار الكهربائي بمثبت الجهد المتصل بالمسخان بالكهرباء ومتابعة ارتفاع درجة حرارة السطح الداخلى للعينة وتسجيل القراءة لجميع العينات.

تسخين سطح العينة الداخلى يتم من درجة حرارة ٣٥ مئوية حتى الوصول إلى درجة ١٠٠ مئوية فى خلال فترة زمنية معينة تنتقل الحرارة فى هذه المدة الزمنية الى الماء المعزول تماماً عن الوسط المحيط لترتفع درجة حرارته ويتم تسجيل الفرق فى درجة حرارة المياه وكذلك الزمن اللازم للتجربة.

أولاً :حساب معدل التدفق الحرارى عبر عينة المواسير

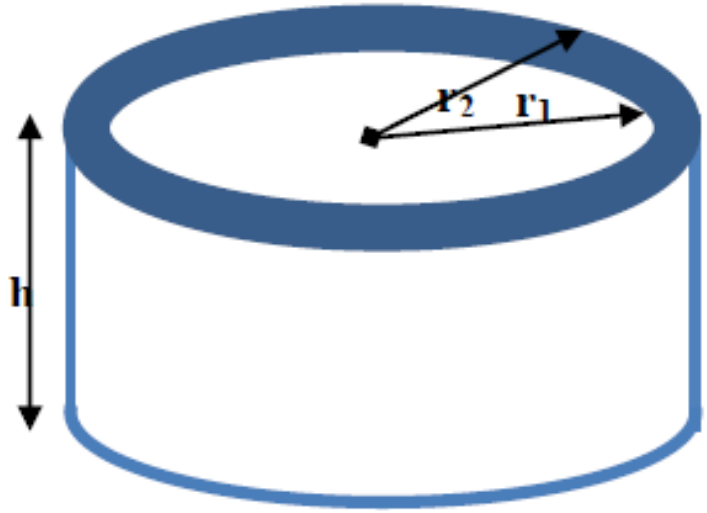
- يتم تعيين كمية الحرارة المارة عبر سطح عينة المواسير والمخزنة فى المياه من العلاقة الاتية:
- $Q = m\ C_p\ \Delta T$
- حيث Q (كيلوجول), m الكتلة (كيلوجرام) ,C_p الحرارة النوعية للمياه تقريبا (4178جول/كيلوجرام.درجة مئوية) , ΔT (درجة مئوية) الفرق فى درجة حرارة المياه بعد مرور زمن التجربة وبقسمة كمية الحرارة على زمن التجربة (ثانية) يمكن تعيين معدل التدفق الحرارة بالوات

ثانياً تعيين التوصيلية الحرارية لعينة المواسير

- ومنها التوصيلية الحرارية يتم تعيينها من العلاقة الاتية
- حيث k التوصيلية الحرارية (جول/ثانية.متر.درجة مئوية) , Q كمية الحرارة المنتقلة (جول), r_1 القطر الداخلى (متر) , r_2 القطر الخارجى(متر) , L طول العينة (متر) , T_1درجة حرارة سطح العينة الداخلى المقابل للسخان (درجة مئوية) , T_2درجة حرارة السطح الخارجى ناحية المياه (درجة مئوية).

عينة من الكربون استيل SA53B ذات قطر داخلى(r_1)

39,5 مم وقطر خارجى (r_2) 44,5مم وطول (h) 38,5 مم



أولا حساب معدل الانتقال الحرارى المار بسطح العينة

- تم تثبيت العينة بالجهاز ثم لف المسخن حولها من الداخل وتشغيل مثبت الجهد الكهربائي وحقن 40 جرام مياه بدرجة حرارة T1 وقياسها 28 درجة مئوية ورفع درجة حرارة السطح الداخلى للعينة وفقا للجدول التالى
- تم تعيين درجات حرارة المياه T2بعد انتهاء التجربة وقياسها 37 درجة مئوية وبتعيين كمية الحرارة المنتقلة عبر العينة والتى تم تخزينها فى المياه المعزولة عن الوسط المحيط جيدا من خلال العلاقة
- $Q = m\ Cp\ \Delta T = 0.04 \times 4178 \times 9 = 1504$ Joul
- وبقسمة الناتج على زمن التجربة 296 ثانية يكون معدل انتقال الحرارة 5,08 جول/ثانية (وات).

معدل ارتفاع درجة حرارة العينة

Temperature (Co)	Time (Sec)
56	102
68	140
74	160
80	187
86	213
92	248
98	269
100	296

ثانياً حساب التوصيلية الحرارية لعينة الكربون استيل SA53B

$$Q = 2\pi k h \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)}$$

$$1504 = \frac{2 \text{ x } 3.14 \text{ x k x } (100\text{-}44)}{\ln(44.5/39.5)}$$

$$k = \frac{Q \ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi h(T_1 - T_2)}$$

$$K = \frac{1504 \text{ x ln } (44.5 / 39.5)}{2 \text{ x}3.14\text{x}(0.0385\text{-}0.005)\text{x}56} = 15.6 \text{w/m.c}$$

- تم طرح 0,005 من الطول حيث تعبر هذه القيمة عن سمك طبقة البولى اليوريثان فى كل من الغطائين العلوى والسفلى والتى لا يتم خلالها انتقال للحرارة وبمراجعة القيمة 15,2 وات /متر.كلفن التى تم تعيينها لعينة الكربون استيل SA53B بقيمة التوصيلية الحرارية لنفس النوع من الكربون استيل والمذكورة بالمرجع بالمرجع الأمريكى American Power Research Institute EPRIوهى 16 وات /متر.كلفن بحيود -5 % مما يعطى مؤشرات جيدة لمدى دقة الجهاز.

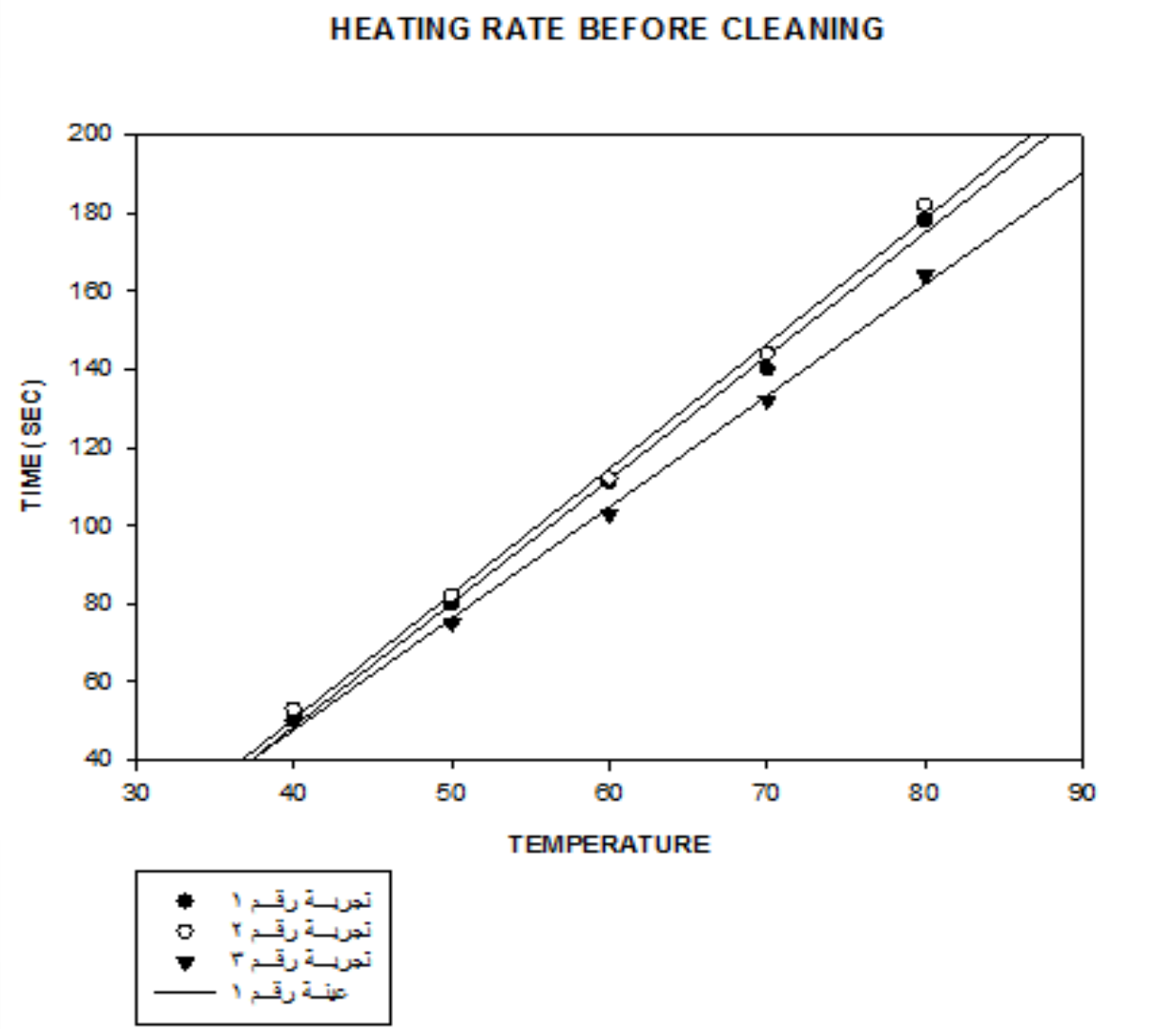
ثانيا تعيين معدل انتقال الحرارة لعينات مواسير قبل وبعد التنظيف

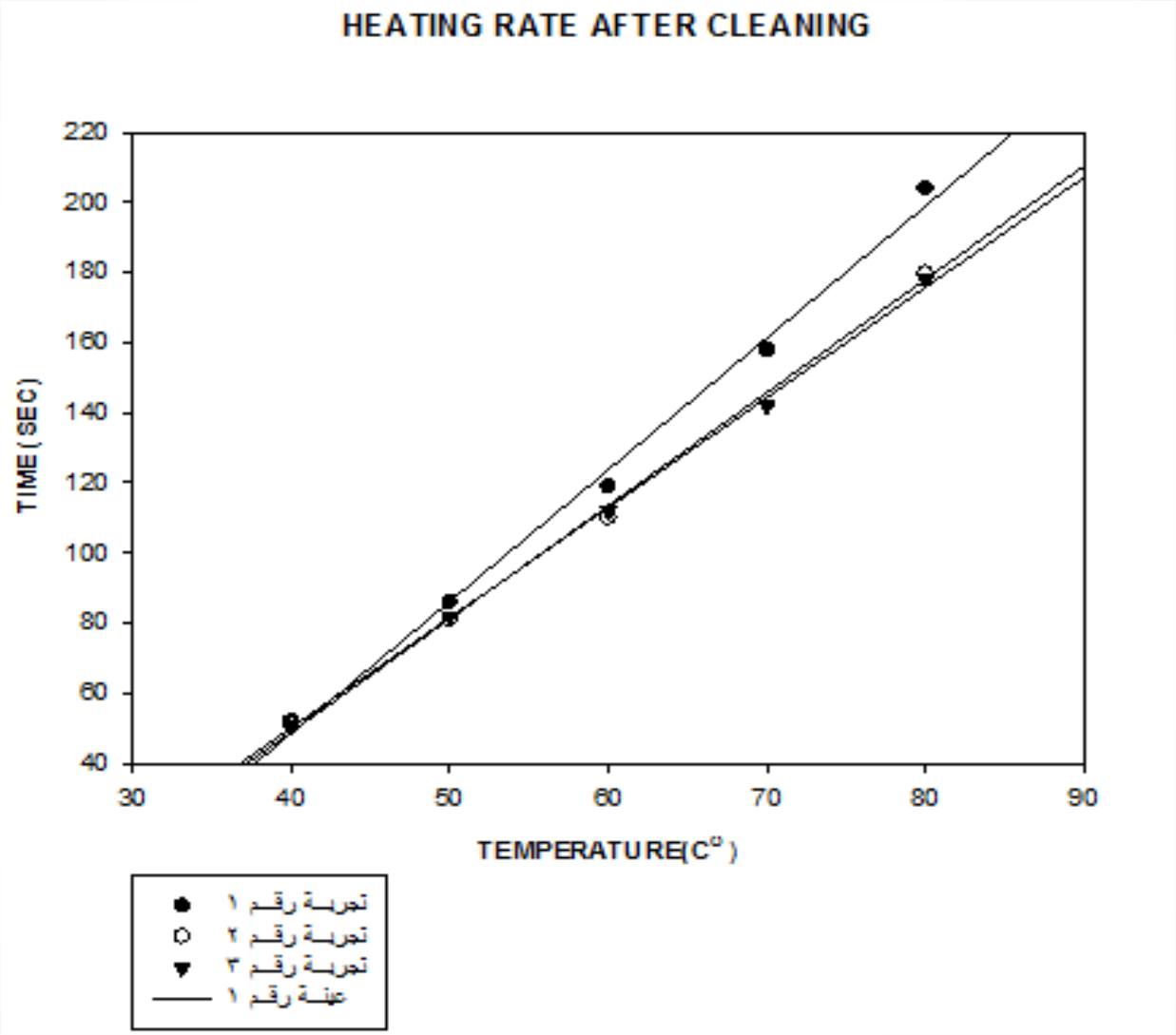
صورة فوتوغرافية لعينـــات المواسير قبل التنظـــيف

صورة فوتوغرافية لعينـــات المواسير بعد التنظـــيف

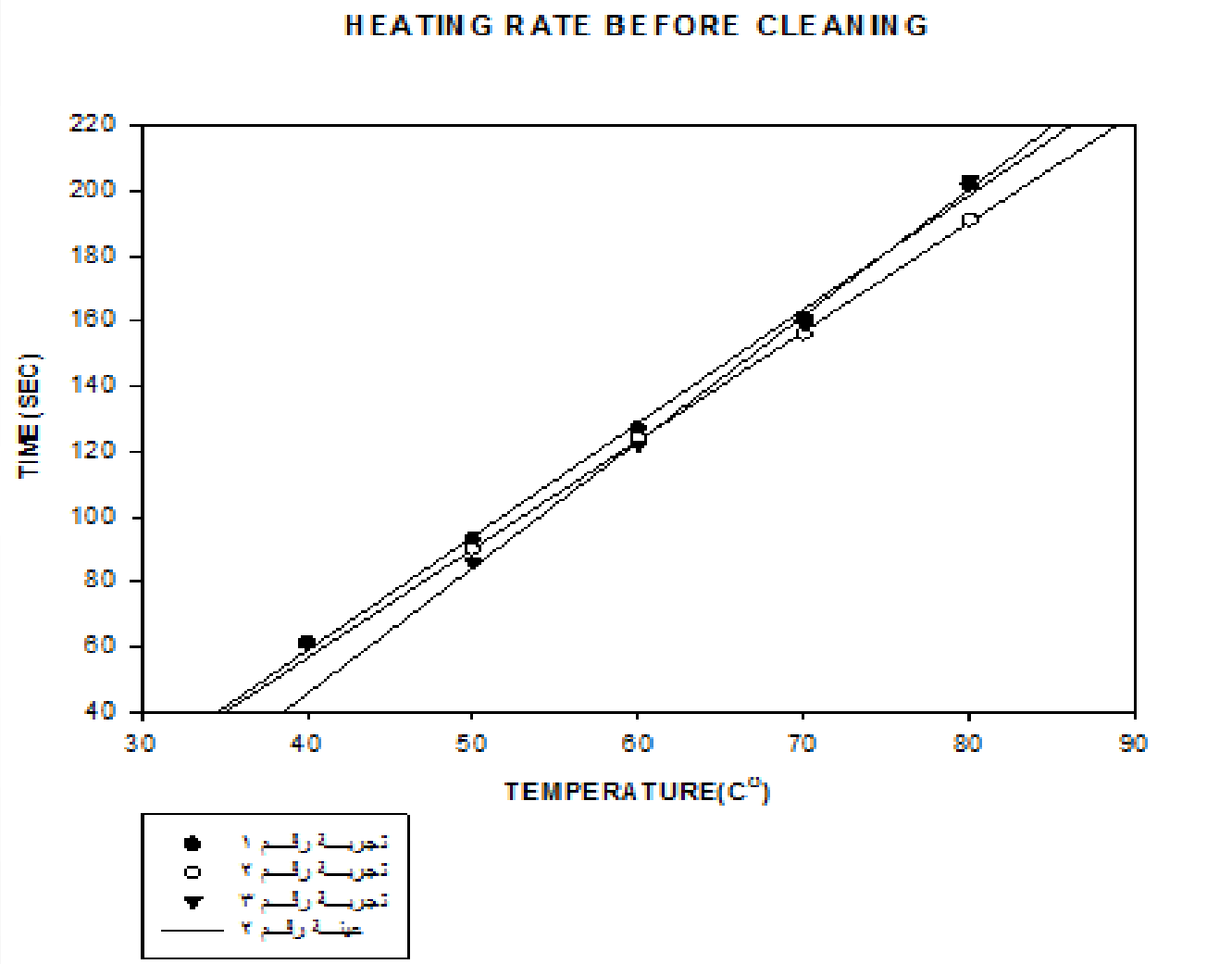
- تم تطبيق خطوات التجربة على العينات قبل وبعد التنظيف وبتسخين السطح الداخلى للعينات بالمعدل الموضح بالرسومات التالية للعينات رقم 3,2,1 على الترتيب قبل وبعد التنظيف والذي يبين معدل التسخين وذلك للحصول على التجارب المتطابقة فى معدل التسخين.

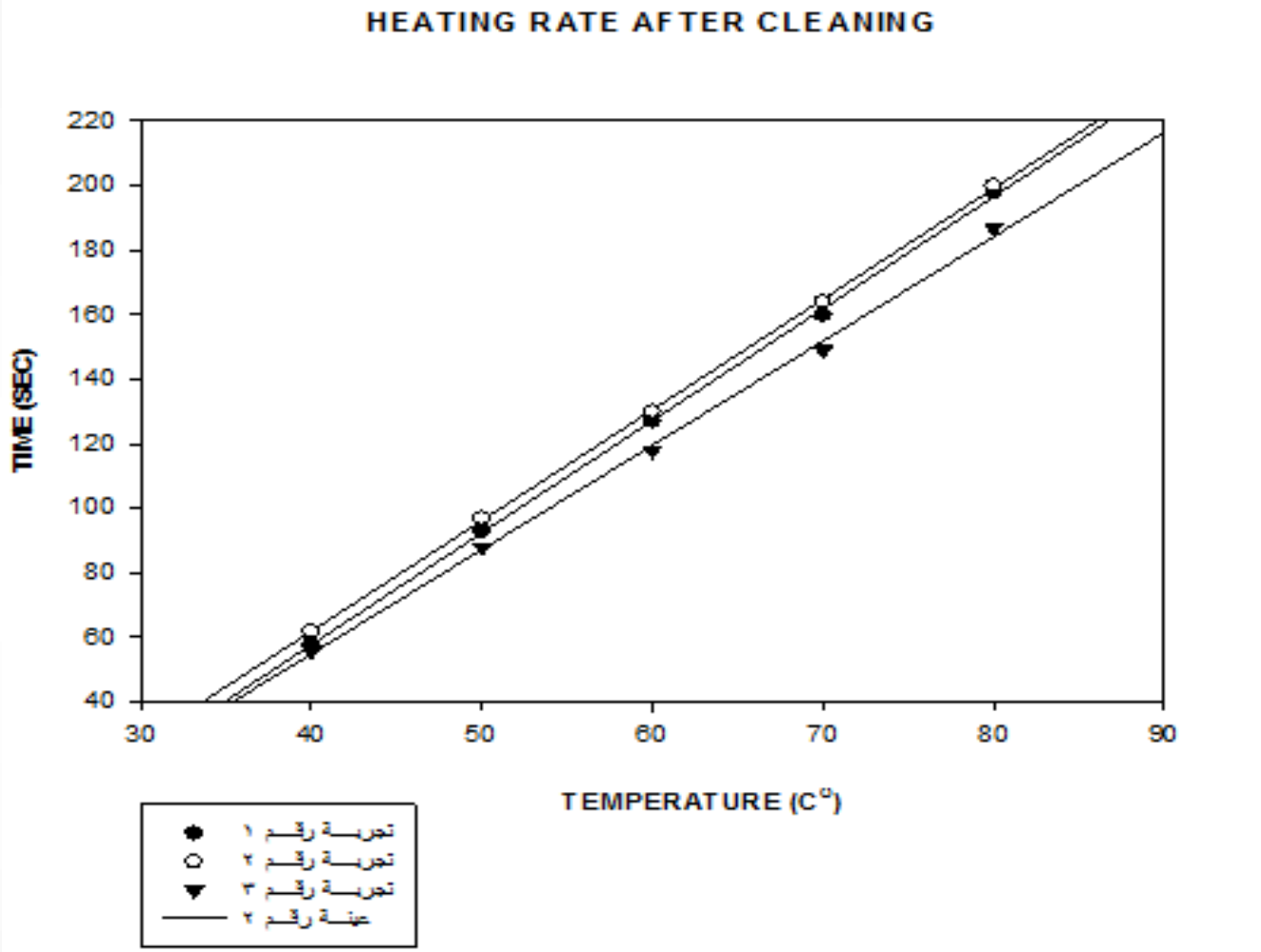
عينة رقم (1)


HEATING RATE BEFORE CLEANING
TIME (SEC)
200
180
160
140
120
100
80
60
40
30
40
50
60
70
80
90
TEMPERATURE
تجربة رقم ١
تجربة رقم ٢
تجربة رقم ٣
عينة رقم ١

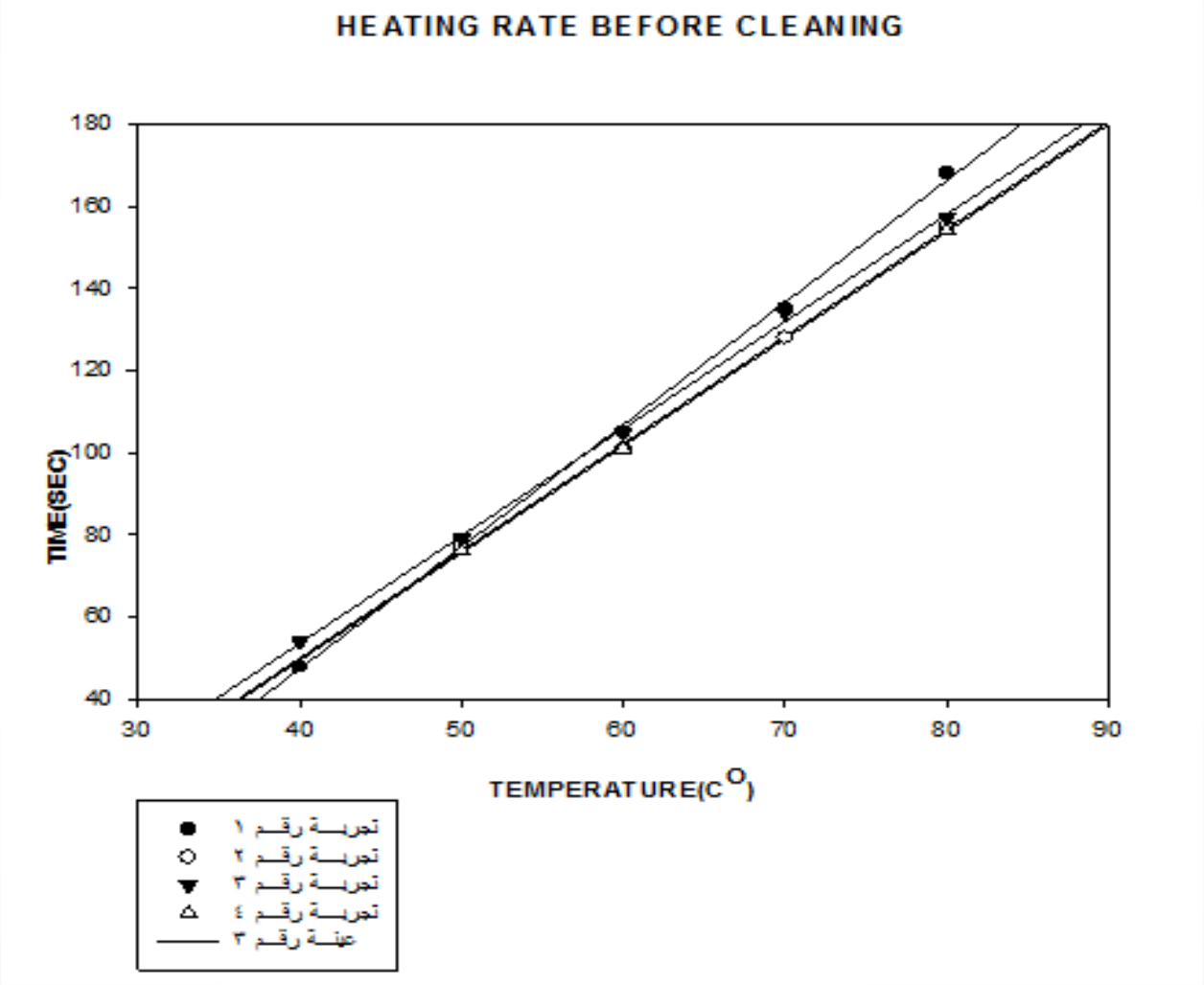

HEATING RATE AFTER CLEANING
TIME (SEC)
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
30
40
50
60
70
80
90
TEMPERATURE(C°)
تجربة رقم ١
تجربة رقم ٢
تجربة رقم ٣
عينة رقم ١

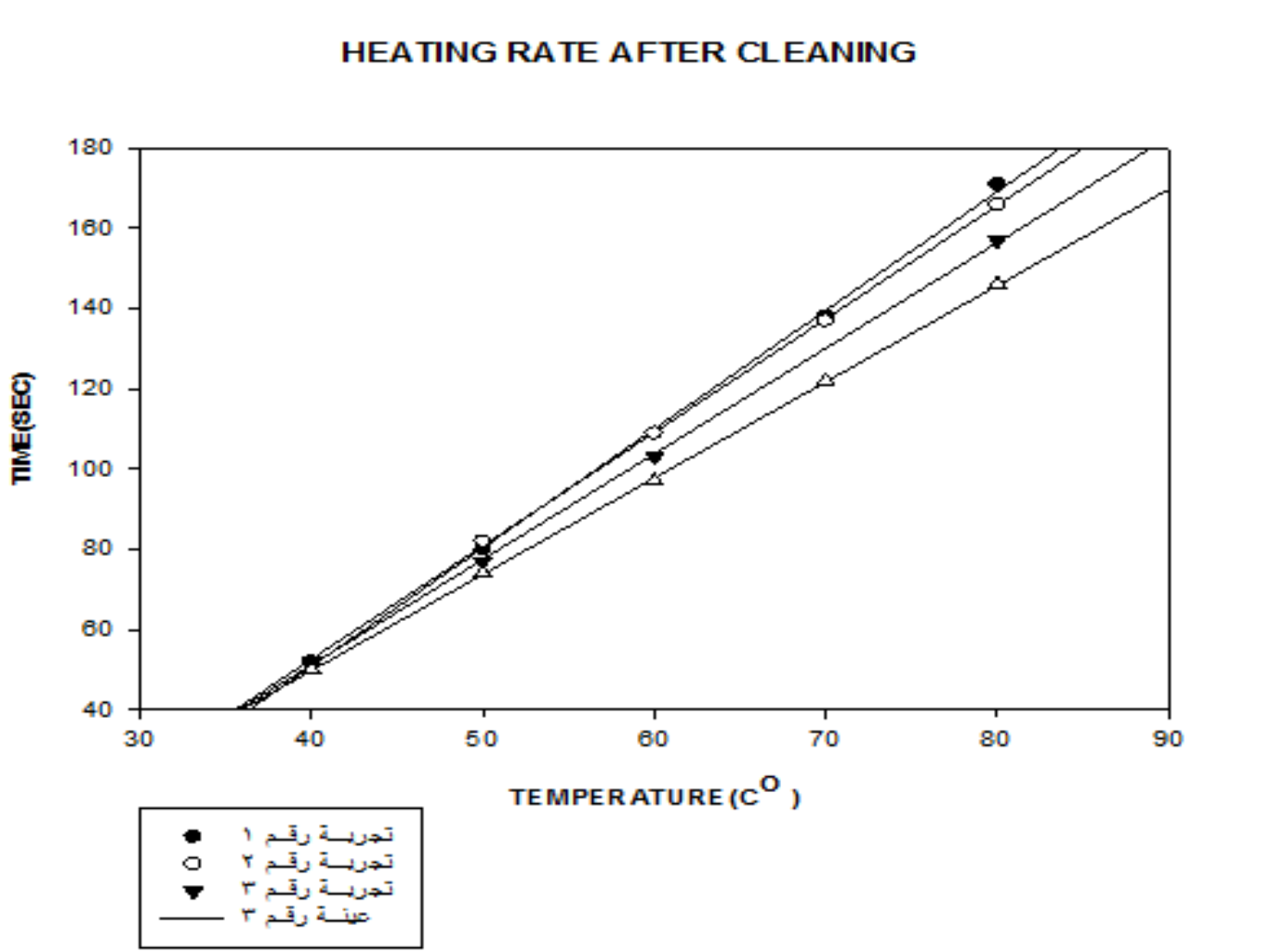
عينة رقم (2)


HEATING RATE BEFORE CLEANING
TIME (SEC)
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
30
40
50
60
70
80
90
TEMPERATURE(C°)
تجربة رقم ١
تجربة رقم ٢
تجربة رقم ٣
عينة رقم ٢


HEATING RATE AFTER CLEANING
TIME (SEC)
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
30
40
50
60
70
80
90
TEMPERATURE (C°)
تجربـــة رقـــم ١
تجربـــة رقـــم ٢
تجربـــة رقـــم ٣
عينـــة رقـــم ٢

عينة رقم (3)

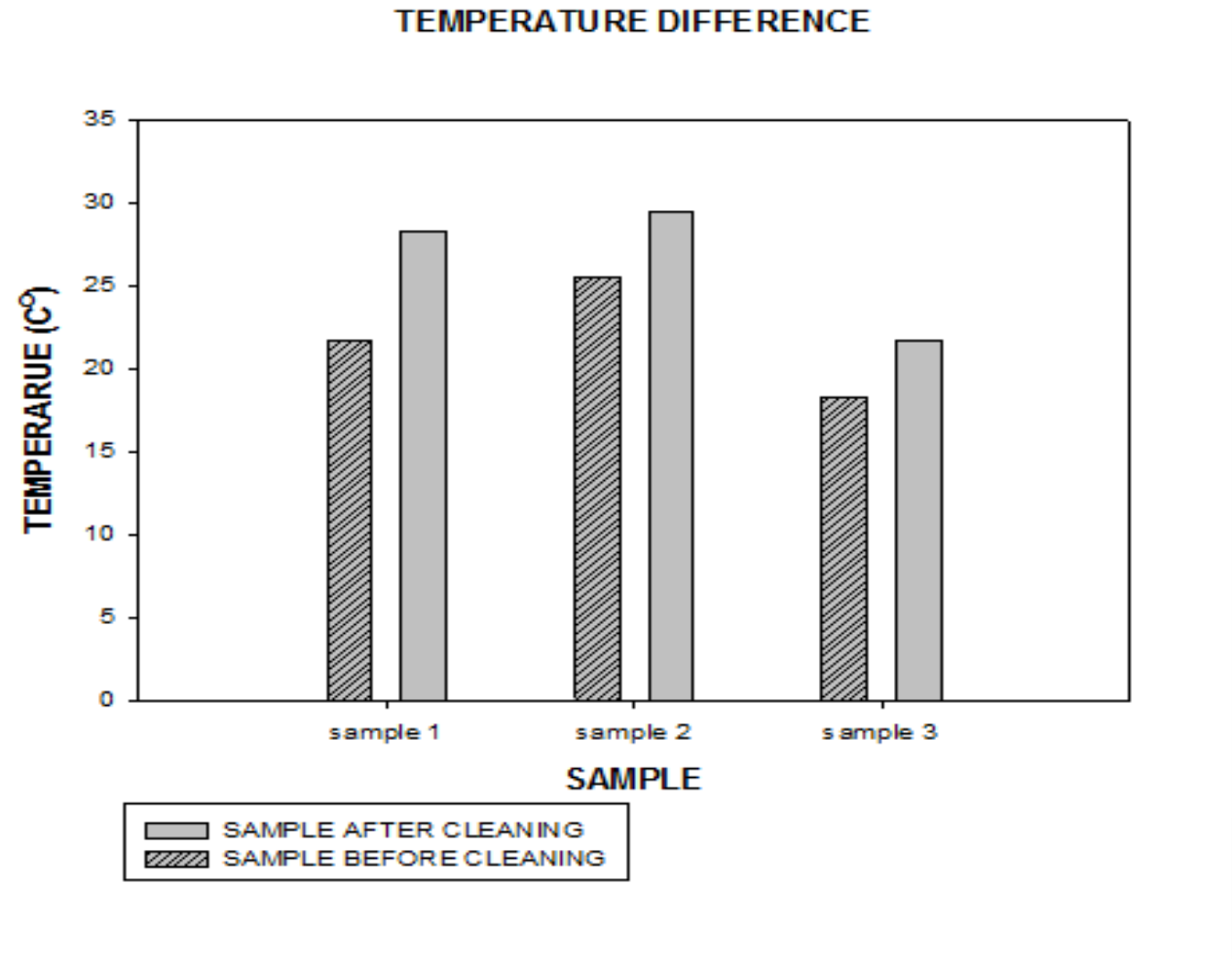

HEATING RATE BEFORE CLEANING
TIME(SEC)
180
160
140
120
100
80
60
40
30
40
50
60
70
80
90
TEMPERATURE(C O)
تجربة رقم ١
تجربة رقم ٢
تجربة رقم ٣
تجربة رقم ٤
عينة رقم ٣


HEATING RATE AFTER CLEANING
TIME(SEC)
180
160
140
120
100
80
60
40
30
40
50
60
70
80
90
TEMPERATURE (C^O)
تجربة رقم ١
تجربة رقم ٢
تجربة رقم ٣
عينة رقم ٣

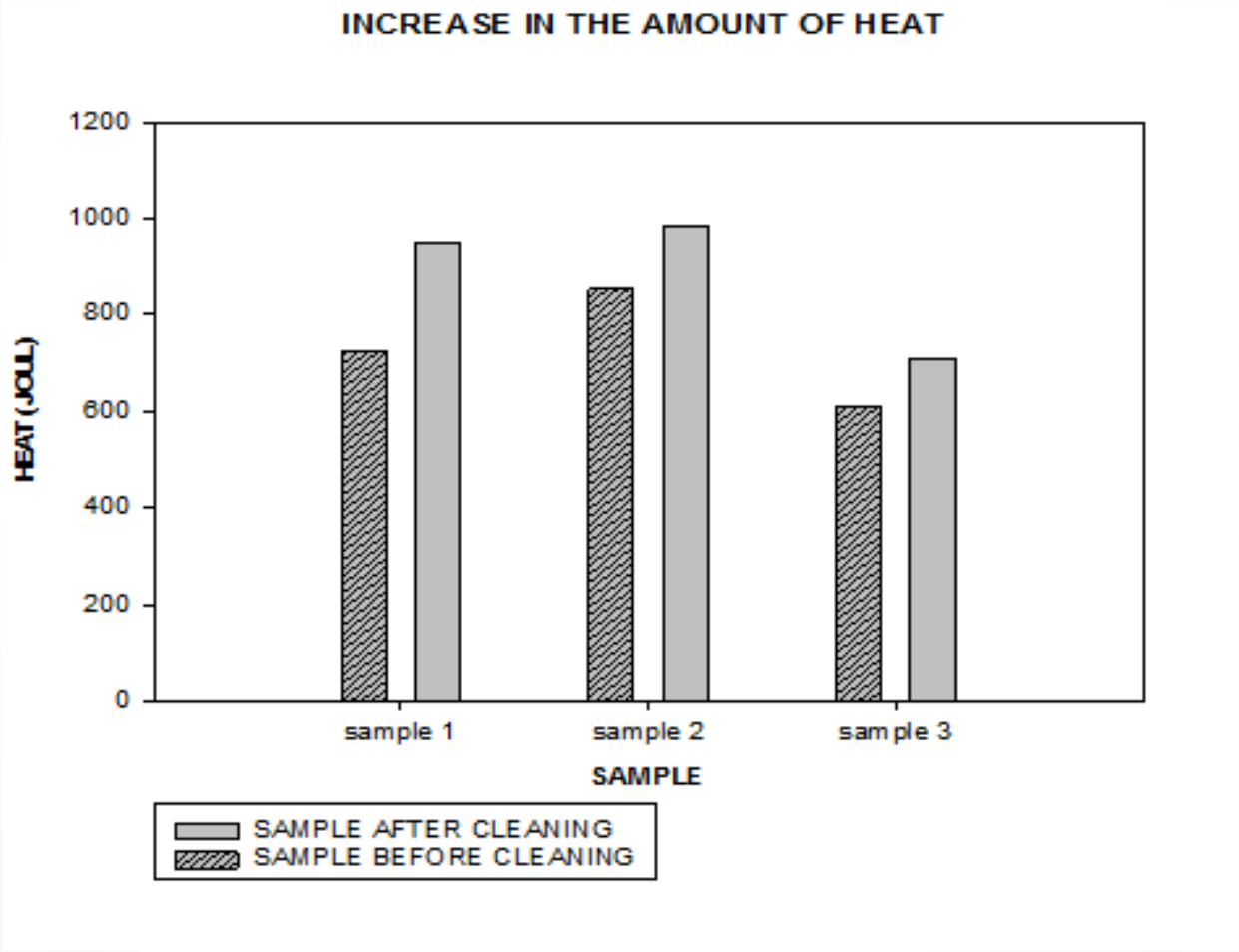
متوسطات نتائج العينات

رقم العينة	عينة رقم 1		عينة رقم 2		عينة رقم 3	
المتوسط	قبل التنظيف	بعد التنظيف	قبل التنظيف	بعد التنظيف	قبل التنظيف	ا بعد التنظيف
الفرق فى درجة حرارة المياه	2.2	2.8	2,6	3,00	1,8	2,2
كمية الحرارة (جول)	725,7	947,5	852,7	986,5	612,00	711
معدل انتقال الحرارة (وات)	4,1	5,00	4,3	5,1	3,9	4,6

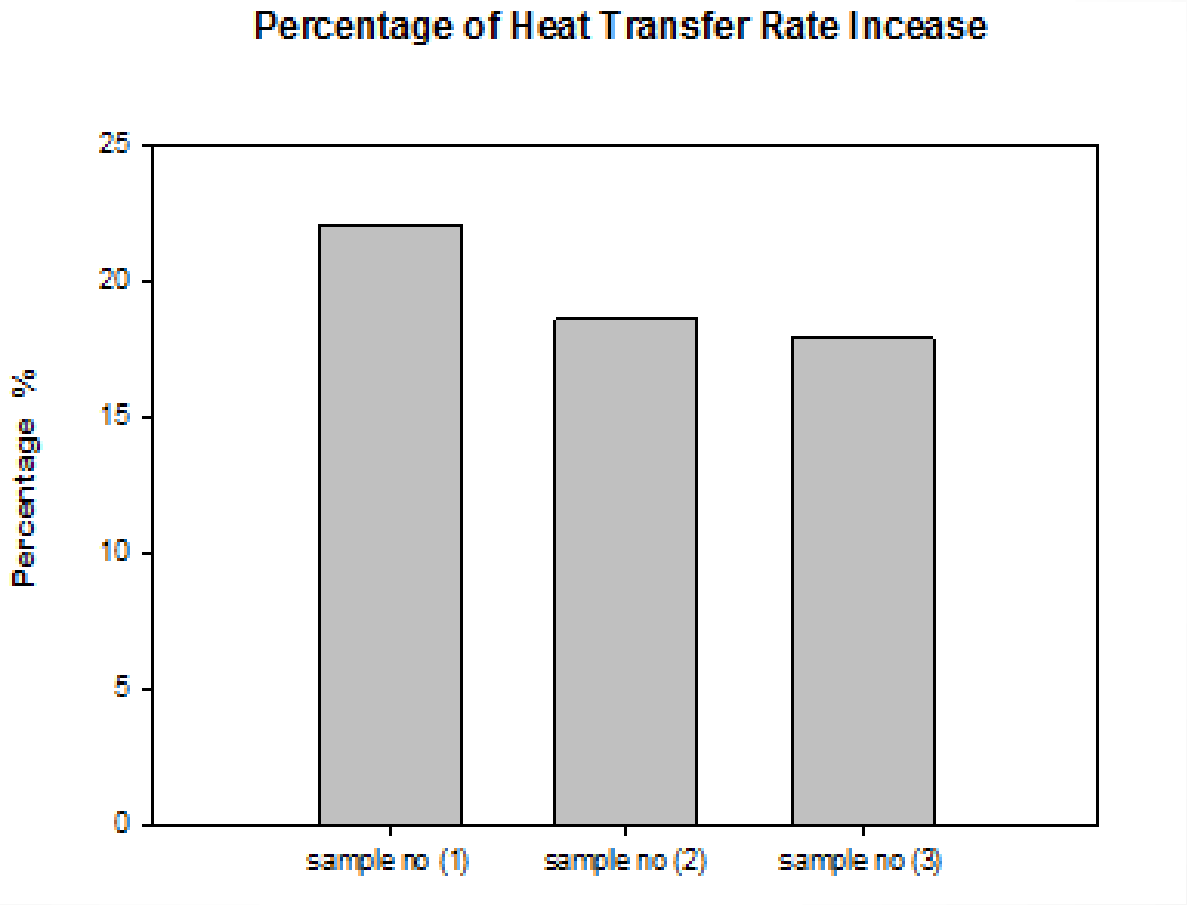
الزيادة فى فرق درجات حرارة المياه



الزيادة فى كمية الحرارة المنتقلة



النسب المئويةللزيادة فى معدل انتقال الحرارة للعينات الثلاث



الاستنتاجات ومناقشة نتائج البحث

1- الآن أصبح من الممكن باستخدام هذا الجهاز المصنع بالكامل من خامات وامكانيات مصرية قياس معدل انتقال الحرارة للمواسير فى صورتها التجارية بما يعنى التقييم الفعلى للمعدات قبل الشراء والحصول على أعلى معدات التبادل الحرارى كفاءة وعلى رأسها المراجل البخارية .

2- لا حاجة إلى عينات ذات أبعاد خاصة لإجراء القياسات أو معالجة لأسطح العينات قبل القياس مما يعنى تقليل تكاليف اجراء التجارب إلى أقل مايمكن.

3- لا حاجة إلى معايرة الجهاز لعدم اعتماده على أجهزة تحليل أو مكونات دقيقة من المحتمل أن يحدث انحراف فى دقتها بعد فترة زمنية من التشغيل.

4- سهولة حل المعادلات الرياضية الخاصة بالنموذج وعدم الحاجة إلى قاعدة بيانات كبيرة كما هو الحال فى معظم طرق قياس الخواص الحرارية والتى قد تحتاج إلى الحاسوب.

- 5- استخدام الماء كمادة ماصة للحرارة وهى آمنة الاستخدام ,متوفرة وذات خواص معلومة عند كل الظروف وتوفر أيضاً محاكاة معملية للوسط المحيط بمواسير المراجل البخارية.

- 6- الحساسية العالية للجهاز حيث أن كل زيادة بمقدار 0.1 مئوية فى درجة الحرارة يعطى زيادة بمقدارحوالى 34 ضعف فى قيمة الطاقة المحسوبة وذلك باعتبار المقدار (m Cp) للماء مقدار ثابت (4,18 x80) = 334,4 مما يزيد من امكانية رصد أى تغير ولو بسيط فى مقدار الطاقة المنتقلة.

- 7- الزيادة فى معدل الانتقال الحرارى للمواسير بعد التنظيف حوالى 20% مما يستوجب ضرورة التفكير فى ايجاد حلول جديدة مبتكرة وفعالة لتنظيف المراجل البخارية من نوعية مواسير اللهب من جهة المياه وذلك لما لوحظ من تأثير طبقة الرواسب على الانتقال الحرارى للمواسير .