

## تصنيع ودراسة اداء الاسطح الانتقائية المستخدمة في اللاقطات الشمسية المسطحة

زينب بهجة كريم

د. قصي جهاد عبد الغفور

د. طالب كشاش مرتضى

استاذ مساعد

استاذ مساعد

قسم هندسة المكنان والمعدات

قسم هندسة المكنان والمعدات

الجامعة التكنولوجية

الجامعة التكنولوجية

### الخلاصة

في هذا البحث تم إجراء دراسة عملية لإختبار الأداء الحراري لأسطح إنتقائية تستخدم في المجمعات الشمسية لأساس من الحديد والحديد المغلون والألمنيوم المتوفر تجارياً، حيث تم عملياً طلاء العينات بطريقتين هما الطلاء الكهربائي والرش الكيميائي الحراري. وتمت مقارنة الأداء الحراري لهذه العينات مع عينة بدون طلاء وعينة أخرى مطلية بطلاء أسود و غير لامع متوفر تجارياً. بالنسبة لعينات الطلاء الكهربائي تم دراسة الأداء بتغيير عدة محددات وهي زمن التغطية بحوض الطلاء، البعد بين القطبين، كثافة التيار الكهربائي ونسبة مساحة وجه واحد للعينة (الوجه الكبير للعينة) الى مساحة وجه واحد للقطب (الوجه الكبير لقطب النيكل). أما عينات الرش الكيميائي الحراري فقد تم طلائها بتغيير زمن الطلاء، ضغط غاز التريذ، البعد بين فتحة المرذد و سطح العينة وكمية الجريان للمحلول المستخدم. بينت النتائج إن أفضل أداء ضمن عينات الحديد يعود للعينة التي تم طلاؤها بطبقتي طلاء، الأولى هي طبقة من الزنك بطلاء كهربائياً حيث كان زمن الطلاء دقيقتين والثانية طبقة من النيكل الأسود وبزمن طلاء قدره (20) دقيقة وبعده بين القطبين (6 cm) وكثافة تيار ( $0.15 \text{ A/dm}^2$ ) ونسبة مساحة وجه واحد للعينة الى مساحة وجه واحد للقطب تساوي (1). إذ بلغت نسبة الزيادة في الخزن الحراري لعينة الطلاء الكهربائي إلى عينة الحديد المغلون بدون طلاء عند بداية فحص اداء العينات (58.23%) وعند نهاية فحصها (44.97%).. بالنسبة لعينات الألمنيوم كان أفضل أداء (كمية الحرارة المخزونة) يعود لعينتين أحدهما عينة بطلاء كهربائي والاخرى عينة برش كيميائي حراري، حيث إن عينة الطلاء الكهربائي قد تم طلاؤها بالنيكل الأسود لمدة (20) دقيقة وباستخدام تيار ذو كثافة ( $0.15 \text{ A/dm}^2$ ) والبعد بين القطبين (6 cm) ونسبة مساحة وجه واحد للعينة الى مساحة وجه واحد للقطب تساوي (1). أما عينة الرش الكيميائي الحراري فقد تم طلاؤها بطبقة من النيكل الأسود عندما كان زمن الطلاء (16) ثانية، والبعد بين فتحة الخزان و سطح العينة (27 cm) و كمية الجريان (4.8 ml/min.) و ضغط غاز التريذ (1 bar) و درجة حرارة سطح العينة ( $290^{\circ}\text{C}$ ).

## Manufacturing and Study the performance of Selective Surfaces that used in flat plate Solar Collectors

**Talib k. murtadha**  
Asst. prof. dr.  
University of Technology  
Mechanical Engineering Department  
[talib\\_km@yahoo.com](mailto:talib_km@yahoo.com)

**Qussay jihad abdul ghafour**  
Asst. prof. dr.  
University of Technology  
Mechanical Engineering Department  
[kaisyqj@yahoo.com](mailto:kaisyqj@yahoo.com)

**Zainab bahjat kareem**  
[zbahjat@yahoo.com](mailto:zbahjat@yahoo.com)

### ABSTRACT

In this research an experimental study has done for testing the thermal performance of selective surfaces used in solar collectors for substrate of iron, galvanized iron and aluminum which are commercially available. The coating process for the samples has done in two ways, the electroplating and the chemical spray pyrolysis. The results of the thermal performance test of these samples are comparing with the thermal performance of a sample without paint and other paint with black paint without shines commercially available. For the electroplated samples, the performance study has done for different immersion time in plating bath, the distance between electrical poles, the current density, and area ratio of the sample plated area to the nickel pole face area. The chemical sprayed pyrolysis samples, study has done for different coating times, atomizing gas pressures, distance between the aperture of atomizer and the sample and the paint mass flow rate. The results showed that the best performance of the iron's samples is the sample which is coated with two layers. The first layer is of zinc done by electroplating where the time of plating is (2 min.) and the second layer is of black nickel done by electroplating, where the time is (20 min.), the distance between the poles is (6 cm), the current density is (0.15 A/dm<sup>2</sup>) and area ratio of the sample plated area to the nickel pole face area is equal to (1). The percentage of the increasing in heat storage of electroplating sample to galvanized iron sample without paint at the beginning of testing the performance of samples and at the end were (58.23% & 44.97%) respectively. For aluminum samples, the best performance was regarded for two samples electroplating sample and chemical spray pyrolysis sample. The best electroplating sample was coated with a layer of black nickel where the time of plating is (20 min.), the distance between the poles is (6 cm), the current density is (0.15 A/dm<sup>2</sup>) and area ratio of the sample plated area to the nickel pole face area is equal to (1). While the best chemical spray pyrolysis sample has been coated with a layer of black nickel where the time of plating is (16 sec.) and the distance between the aperture of the reservoir and the surface of the sample is (27 cm), the amount of flow is (4.8 ml / min.), the atomizing gas pressure is (1 bar) and temperature of the sample surface is (290 °C).

الكلمات الرئيسية:- المجمعات الشمسية، اللاقط المسطح، الاسطح الانتقائية، الطلاء الكهربائي، الرش الكيميائي الحراري.

## المقدمة

تم استخدام الطاقة الشمسية في مجالات شتى من ضمنها السخانات الشمسية ذات الأسطح المستوية التي هي عبارة عن مجمعات شمسية حرارية تقوم بتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة حرارية، وهذه المجمعات إقتصادية وبسيطة في تصميمها ومتطلبات صيانتها، وإن الجزء الأهم لهذه المجمعات هو السطح المستوي الماص الذي يقوم بإمتصاص الأشعة الشمسية وتحويلها الى حرارة ونقلها الى مائع العمل. من أجل ذلك تم التوجه الى صناعة الأسطح الانتقائية والتي هي عبارة عن أسطح ماصة للأشعة الشمسية تكون قيمة الإمتصاصية ( $\alpha$ ) لها أعلى ما يمكن وقيمة الانبعاثية ( $\varepsilon$ ) أقل ما يمكن.

عمد العديد من الباحثين الى تحسين اداء المجمعات الشمسية بطرق عديدة منها :-

1- طلاء السطح الماص بطرق مختلفة منها الطلاء الكهربائي والرش الكيميائي الحراري وغيرهما، ومن المهم مراعاة التصاقية الطلاء بالعينة ومدى مقاومته للظروف الجوية المختلفة.

2- تغيير شكل السطح الماص.

أجرى الباحثان [Gogna & Chopra, 1979] دراسة مفصلة عن التركيب والخواص البصرية والحرارية لسطح انتقائي من النيكل الاسود على اساس من الحديد المغلون وذلك باستخدام طريقة الطلاء الكهربائي وكانت محتويات الحوض ملح النيكل وملح الزنك وايونات الامونيوم وايونات الثايسيانات. تم تغيير محددات الترسيب والتي تشمل الحامضية ( $ph = 4.5 - 6$ ) ودرجة حرارة الحوض ( $Solution\ Temperature = (30-60)^\circ C$ ) وكثافة تيار ( $Current\ Density = (0.5-8) mA/cm^2$ ) وذلك في محاولة لتحسين الخواص البصرية. الشكل (1) يوضح تغير الامتصاصية ( $\alpha$ ) والانبعاثية ( $\varepsilon$ ) مع زمن التغطية بالحوض وسمك الطلاء حيث نلاحظ ان بزيادة سمك الطلاء تزداد الامتصاصية بسرعة الى ان تصل الى قيمة التشبع (Saturation Value) وهي ( $\alpha=0.95$ ) والانبعاثية تزداد بصورة بطيئة لسمك يصل الى ( $0.41\mu m$ ) وبعده تكون الزيادة سريعة، وتم الحصول على امتصاصية مقدارها ( $\alpha=0.94$ ) وانبعاثية قيمتها ( $\varepsilon=0.09$ ) عندما كانت درجة حرارة الحوض ( $40^\circ C$ ) وحامضية المحلول ( $5.8$ ) وكثافة التيار ( $3.5 mA/cm^2$ ).

أجرى الباحثان [Madhusudan & Sehgal, 1982] دراسة عملية مفصلة عن التركيب والخواص البصرية والحرارية لسطح إنتقائي من النيكل الأسود على أساس من الحديد المغلون والألمنيوم المتوفرين تجارياً باستخدام طريقة بسيطة وغير مكلفة هي طريقة الرش الكيميائي الحراري، وكانت مكونات محلول الرش هي الثايوريا ونترات النيكل. تم تغيير عدة محددات هي درجة حرارة سطح المسخن الكهربائي، وكمية الجريان، ونسبة الخلط للمحلول، وتم رسم الامتصاصية ( $\alpha$ ) والانبعاثية ( $\varepsilon$ ) ونسبة الامتصاصية الى الانبعاثية ( $\alpha/\varepsilon$ ) بوصفها دالة مع سمك الطلاء كما هو موضح في الشكل (2). بينت النتائج أن أفضل امتصاصية تم الحصول عليها هي ( $\alpha=0.92$ ) عندما كان سمك الطلاء ( $0.23\mu m$ ) والانبعاثية ( $\varepsilon_{100^\circ C}=0.14$ ) لأساس من الألمنيوم، وأن أفضل امتصاصية تم الحصول عليها هي ( $\alpha=0.90$ ) لسمك الطلاء ( $0.25\mu m$ ) والانبعاثية ( $\varepsilon_{100^\circ C}=0.13$ ) لأساس من الحديد المغلون وذلك عندما كانت درجة حرارة سطح المسخن الكهربائي ( $\pm 2^\circ C$ ) ( $290^\circ C$ ) ونسبة خلط المحلول ( $M/2\ Nickel\ nitrate : M/2\ Thiourea$ ) هي ( $1 : 1.28$ ).

قام الباحث [John, 1994] باستخدام الطلاء الكهربائي لترسيب طبقة من النحاس- النيكل الأسود باستخدام محلول الكتروليتي مكونا من كبريتات النيكل ( $40g/l$ ) (Sulphate Nickel) و كبريتات النحاس ( $20g/l$ ) (Copper Sulphate) و خلاص الامونيوم (Ammonium Acetate) ( $15g/l$ ). واجريت عملية الطلاء في محلول عند درجة حرارة ( $35^\circ C$ ) ومقدار حامضية

( $ph=5.5$ ) وتم تجهيز اقطاب جهاز الطلاء بتيار كهربائي كثافته ( $4A/dm^2$ ) وزمن تغطيس (30) ثانية. أظهرت النتائج ان قيمة الامتصاصية للأشعة الشمسية ( $\alpha$ ) تصل إلى (0.98) والانبعاثية الحرارية ( $\epsilon$ ) تصل إلى (0.10).

قام الباحث [Wackelgard, 1998] بدراسة خصائص الطلاء الكهربائي للنیکل الأسود باستخدام محاليل تحتوي على كلوريد النیکل (Nickel Chlorine) وكلوريد الصوديوم (Sodium Chlorine) حيث تم الحصول على امتصاصية ( $\alpha$ ) قيمتها (0.96) وانبعاثية ( $\epsilon$ ) مقدارها (0.10). تم اختبار استقرارية الطلاء تحت ظروف رطوبة عالية وقد وجد أن الامتصاصية تتغير خلال الساعات الأولى من التعرض للرطوبة ولكنها بعد ذلك تستقر، ومن ذلك تم التوصل إلى أن طلاء النیکل الأسود مقاوم لدرجات الحرارة العالية والرطوبة.

مما سبق يتبين ان عملية صناعة الاسطح الانتقائية للاقطات الشمسية ذات الاسطح المستوية امر اساسي لتحسين الاداء، ويهدف البحث الحالي الى بناء منظومة تصنيع اسطح انتقائية لاساس من الحديد والحديد المغلون والالمنيوم المتوفر تجاريا بطريقتين هما الطلاء الكهربائي والرش الكيميائي الحراري وذلك باستخدام محاليل طلاء ذات تراكيز تختلف عن التراكيز المذكورة في البحوث السابقة.

## الجانب العملي

### 1- منظومة الطلاء الكهربائي

- أجزاء منظومة الطلاء الكهربائي المستخدمة موضحة بالشكل (3) وتتكون من الاجزاء التالية:
- 1- مجهز قدرة (Power supply) من النوع الرقمي (Digital) ذو مواصفات (30V) و(3A).
  - 2- حوض (Bath) مصنوع من البلاستيك اسطواني الشكل ذو قطر (17.8 cm) وارتفاع (18 cm).
  - 3- أعمدة تثبيت مصنوعة من البلاستيك لتثبيت كل من القطبين على الحوض.
  - 4- أسلاك توصيل من النحاس.

إن مكونات حوض الطلاء بالنیکل الأسود موضحة بالجدول (1) [وزارة الصناعة والتصنيع العسكري، المعهد المتخصص للصناعات الهندسية، 1989]. في البداية تم تحضير (ا 2.5) من محلول الطلاء وذلك بخلط كل من كلوريد النیکل (Nickel chloride) وكلوريد الامونيوم (Ammonium chloride) وثايوسيانات الصوديوم (Sodium thiocyanate) مع كمية من الماء المقطر حيث إن كل مادة تخلط على حدة، أما كلوريد الزنك (Zinc chloride) يخلط مع كمية من الماء المقطر عند درجة حرارة ( $40^{\circ}C$ ) وبعد التأكد من ذوبان كل مادة جيداً بالماء تم خلطها معاً وقيس الحجم وأضيف الماء المقطر لإكمال الحجم إلى (ا 2.5). بعد ذلك بعدة ساعات قيست حامضية المحلول وكانت بحدود ( $ph=4.3$ ).

### 2- منظومة الرش الكيميائي الحراري (Chemical Thermal Spray Pyrolysis)

تتألف منظومة الرش الكيميائي الحراري من عدة أجهزة بسيطة وهي المرذذ (atomizer) والمسخن الكهربائي والمزدوج الحراري والقارئ الرقمي لدرجة الحرارة وجهاز السيطرة على درجة الحرارة واسطوانة غاز النتروجين ومنظم للتحكم بضغط الغاز، رتبت كما في الشكل (4) بحيث يمكن الاستفادة منها في رش العينات، بالإضافة الى وجود مروحة لإزالة الأبخرة المتكونة من الرش، وإن أهم جزء في هذه المنظومة هو المرذذ الموضح بالشكل (5). صنع المرذذ محلياً من الزجاج الاعتيادي، يحتوي على خزان اسطواني بسعة (110 ml) مفتوح من الأعلى بفتحة قطرها (4 cm) وارتفاعه (9 cm) يوضع فيه المحلول المراد رشه، وهذا الخزان متصل من الأسفل بصمام الغرض منه التحكم بمقدار المحلول الساقط إلى أنبوبة شعرية قطرها (0.1cm)، تحيط هذه الأنبوبة غرفة زجاجية

منتقخة ذات شكل مخروطي مغلقة من جهة الصمام ومفتوحة من الأسفل بحيث تحيط بفتحة الأنبوبة الشعرية لتكون الفتحتان في النهاية بمستوى واحد، وتحتوي الغرفة الزجاجية على فتحة جانبية تسمح بمرور الغاز المضغوط داخلها والذي يعمل على خلخلة الضغط داخل الغرفة الزجاجية وبالتالي تحويل القطرة الساقطة من الأنبوبة الشعرية إلى رذاذ مخروطي الشكل بإتجاه العينة المراد ترسيب المحلول عليها، ومن العوامل المهمة التي يجب مراعاتها في تصميم المرذذ الدقة في أن تكون نهاية الأنبوبة الشعرية في منتصف نهاية الغرفة الزجاجية، وان يكون سطحها الداخلي خاليا من الخدوش أو التكسرات، ويثبت المرذذ على حامل معدني (Holder) يمكن التحكم من خلاله على ارتفاعه العمودي، ويثبت أيضا بالحامل ويكون في أسفل المرذذ قذح الغرض منه جمع قطرات المحلول المناسبة من المرذذ أثناء مدة التحكم بفتح وغلق الصمام.

### 3- تحضير المحلول المستخدم في جهاز الرش الكيميائي الحراري

لتحضير محلول الطلاء بالنيكل الاسود إستعملت مادتا نترات النيكل  $(Ni(NO_3)_2)$  وهي مادة على شكل مسحوق اخضر اللون وزنها الجزيئي  $(182.71 \text{ g/mol})$ ، وكذلك مادة الثايوريا  $(NH_2SCNH_2)$  وهي مادة على شكل مسحوق أبيض اللون وزنها الجزيئي  $(76.12 \text{ g/mol})$ . بنسبة خلط (M/2 Thiourea :M/2 Nickel nitrate) هي (1 : 1.28). تم تحضير محلول الرش بدرجة حرارة الغرفة اذ مزج  $(2.2840 \text{ g})$  من نترات النيكل المذابة في  $(25 \text{ ml})$  من الماء المقطر مع  $(1.2179 \text{ g})$  من الثايوريا المذابة في  $(32 \text{ ml})$  من الماء المقطر. وللحصول على الوزن المراد إذابته للمادتين في أعلاه تم استعمال المعادلة (1) [عوض و آخرون، 1982]:

$$M = (W_t / M_{wt}) \cdot (1000 / V) \quad (1)$$

حيث ان :

M: مولارية المادة  $(\text{mol/l})$  .

$M_{wt}$ : الوزن الجزيئي للمادة  $(\text{g/mol})$  .

V: حجم الماء المقطر الذي تمت فيه الاذابة  $(\text{ml})$  .

$W_t$ : الوزن المطلوب اذابته  $(\text{g})$ .

وبعد اكمال عملية الإذابة يترك المحلول المحضر لعدة ساعات، وبعدها يكون جاهزا لوضعه في خزان المرذذ.

### 4- طريقة الإختبار

بداية ربطت منظومة الطلاء وتم اخذ قطعة من النيكل وربطت بالقطب الموجب لمجهر الطاقة (P.S.) واما القطب السالب لجهاز (P.S.) فقد ربط بالعينة (النموذج المراد طلاءه). قسمت العينات الى ثلاث مجموعات رئيسية المجموعة الاولى كانت ذات مساحة مساوية تقريبا لمساحة الانود (القطب الموجب) والمجموعة الثانية ذات مساحة تقدر بضعف مساحة الانود والمجموعة الثالثة ذات مساحة تصل الى ثلاثة اضعاف مساحة الانود. اما البعد بين الانود والكاثود تم اخذه بحدود  $(6 \text{ cm})$  ومن ثم قلل الى  $(3 \text{ cm})$  وذلك لدراسة تأثير البعد بين الانود والكاثود على خواص الطلاء.

زمن الطلاء (زمن التغطية بالحوض) هو  $(30)$  دقيقة [وزارة الصناعة والتصنيع العسكري، المعهد المتخصص للصناعات الهندسية، 1989]، ولكن لدراسة تأثير هذا المتغير تم اختبار العينات لزمن تغطية هو  $(40, 30, 20)$  دقيقة. أيضا تم دراسة تأثير تغير كثافة التيار وذلك للمجموعتين الثانية والثالثة فقط لعدم تجانس الطلاء في كليهما. بالنسبة لسبائك الألمنيوم تم دراسة تأثير تغير كل من كثافة التيار و زمن التغطية والبعد بين الانود والكاثود. تم تغطية جميع العينات بعد الانتهاء من طلاؤها بزيت

محركات الديزل وذلك لملء الفجوات التي من الممكن ان تكون قد تكونت وبذلك تعمل كطبقة حماية للطلاء [وزارة الصناعة والتصنيع العسكري ،المعهد المتخصص للصناعات الهندسية، 1989].

## 5- منظومة إختبار أداء العينات

لاختبار اداء العينات تم قياس درجة حرارة سطحها عند بدء تعريضها لاشعة الشمس وبعد تعريضها لاشعة الشمس بفترة زمنية وذلك لحساب كمية الحرارة المخزونة في كل عينة والمقارنة بينها وبين عينة بدون طلاء وأخرى مطلية بطلاء اسود بدون لمعة وتم توجيه المنظومة باتجاه الجنوب. الشكل (6) يوضح المنظومة والتي تتكون من الاجزاء التالية:-

1- إطار حديدي مستطيل الشكل أبعاده (215x83 cm).

2- لوح خشبي أبعاده (190x83 cm).

3- عازل حراري أبعاده (200x93 cm).

4- أربعة قطع حديدية لتثبيت كل من اللوح الخشبي والعازل الحراري على الاطار الحديدي.

5- قاعدة حديدية وعددها (2) على شكل مقلوب حرف (T) تُربط مع الإطار الحديدي بحيث تسمح بحرية حركته حركة دورانية.

تم تثبيت العينات على السطح العازل بمادة لاصقة (السليكون)، وتم قياس درجة حرارة سطحها بعد مرور ساعة، حيث تم أخذ خمسة قراءات لكل عينة بدأ من الساعة (12:00) ظهرا وحتى ما يقارب (04:30) بعد الظهر وتم تقسيم العينات الى مجموعات والمقارنة فيما بينها من حيث كمية الحرارة المخزونة فيها بعد ذلك تم إختيار العينة الفضلى من كل مجموعة والمقارنة فيما بينها لمعرفة العينة الفضلى من حيث الاداء وتحديد ظروف الطلاء الامثل لتحسين اداء هذه العينات، ويوضح الشكل (7) العينات التي تم استخدامها وطريقة طلائها والمتغيرات التي تم استخدامها لكل طريقة طلاء، وتم اجراء (33) عملية فحص لجميع العينات.

## أجهزة القياس المستخدمة

### 1- درجة الحرارة

لقياس درجة الحرارة الماء المراد اذابة كلوريد الزنك (Zinc chloride) فيه تم استخدام مزدوج حراري نوع (K) حيث تم ربطه بجهاز قياس درجة الحرارة ( Digital thermometer ) ذو قناتين كما هو موضح بالشكل(8). ومدى درجات الحرارة الممكن قياسها به يتراوح من ( $4^{\circ}\text{C}$ ) الى ( $1200^{\circ}\text{C}$ )، تم اجراء عملية معايرة له وذلك بوضع متحسس المزدوج الحراري في اناء يحتوي على ماء مقطر مع جريش الثلج فكانت قراءة المحرار الزئبقي ( $0.0^{\circ}\text{C}$ ) اما جهاز قياس درجة الحرارة (Digital thermometer) فكانت قراءته ( $2^{\circ}\text{C}$ ) ومن ثم سخن الماء الى درجة الغليان فكانت قراءة المحرار الزئبقي وجهاز قياس درجة الحرارة ( Digital thermometer) ( $100^{\circ}\text{C}$ ).

من خلال النتائج تم الحصول على معادلة خطية (2) و(3) معتمدة على القراءتين في اعلاه :

$$y = a + bx \quad (2)$$

$$y = 2 + 0.98 x \quad (3)$$

حيث ان:

a هي 2 و b هي 0.98. والشكل (8) يوضح مخطط المعايرة للمزدوج الحراري.

## 2- قياس الحامضية

تم قياس حامضية المحلول المستخدم في الطلاء الكهربائي بجهاز (ph meter) وذلك باخذ عينات من المحلول المستخدم لقياسها بهذا الجهاز كما هو موضح في الشكل (9). تمت معايرة جهاز (ph meter) وذلك بإستخدامه لقياس حامضية محلولين من المحاليل المنظمة (Buffer solutions) قيمة الحامضية لهما هي (4 و 6). بداية تم غسل متحسس الجهاز بالماء المقطر، وبعد ذلك تم تجفيفه حتى لا يؤثر على قيمة الحامضية للمحلول المطلوب فحصه، وضع متحسس الجهاز في وعاء يحتوي على المحلول المنظم الذي قيمة الحامضية له (4) وكانت قراءة الجهاز (4). بعد ذلك تم غسل المتحسس للجهاز بالماء المقطر واعيدت التجربة السابقة ولكن باستخدام المحلول المنظم الذي قيمة الحامضية له (6) وكانت قراءة الجهاز (6)، بعدها تم غسل متحسس الجهاز بالماء المقطر وذلك للمحافظة على نظافته. من ذلك يتضح أن قيمة الحامضية التي يقيسها جهاز (ph meter) هي القيمة الحقيقية لحامضية المحلول المطلوب فحصه.

## 3- قياس كتلة العينات

تم إستخدام ميزان حساس لقياس كتلة العينات ذو دقة قراءة ( $10^{-4}$  g)، وإن لهذا الميزان حيزاً مغلقاً مصنوعاً من البلاستيك مبيناً في الشكل (10) وذلك لمنع دخول دقائق قد تكون موجودة في المحيط الخارجي ولمنع تيارات الهواء من الدخول والتأثير على قراءة الجهاز. هذا الحيز له بابان جانبيين وباب من الاعلى لإدخال العينة منه وإن أقصى وأقل كتلة يمكن قياسها به تصل إلى (220 g) و (0.0005 g) على التوالي، وهناك أيضاً فقاعة هوائية خلف الجهاز حيث تعتبر جزء من معايرة الجهاز، و يجب أن تبقى هذه الفقاعة في الوسط. بعد ذلك تم معايرة الجهاز بوضع عينة قياسية (معلومة الكتلة) كتلتها (200 g) على المنصة داخل الحيز المغلق واغلقت الأبواب، وبعد فترة كانت قراءة الجهاز (200 g). من ذلك يتضح أن القيمة التي يقرؤها الجهاز هي القيمة الحقيقية لكتلة العينة المطلوب فحصها.

## 4- معايرة جهاز قياس درجة حرارة سطح العينات

لقياس درجة حرارة سطح العينات تم استخدام الجهاز الموضح في الشكل (11) حيث تتراوح مدى درجات الحرارة الممكن قياسها به من ( $50^{\circ}\text{C}$ ) الى ( $700^{\circ}\text{C}$ ) وكانت اسم الشركة المصنعة له (technoterm 5500)، وللتأكد من صحة قراءة الجهاز اجريت عملية المعايرة بوضع متحسس الجهاز في اناء يحتوي على ماء مقطر مع جريش الثلج فكانت قراءة المحرار الزئبقي ( $0.0^{\circ}\text{C}$ ) اما جهاز قياس درجة الحرارة فكانت قراءته ( $1.9^{\circ}\text{C}$ ) و من ثم سخن الماء الى درجة الغليان فكانت قراءة المحرار الزئبقي ( $94^{\circ}\text{C}$ ) و قراءة جهاز قياس درجة الحرارة ( $98.3^{\circ}\text{C}$ ).  
من خلال النتائج تم الحصول على معادلة خطية (4) و (5) معتمدة على القراءتين اعلاه :

$$y = a + bx \quad (4)$$

$$y = - 1.9 + (501/470) x \quad (5)$$

حيث ان:

a هي 1.9 - و b هي (501/470) .

الشكل (11) يوضح مخطط المعايرة لجهاز قياس درجة حرارة سطح العينات.

## حساب النتائج

### 1- معدل كمية الحرارة المخزونة في العينة

تم حساب كمية الحرارة المخزونة في العينات تبعاً للمعادلة التالية:

كمية الحرارة المخزونة في العينة = كمية الحرارة الساقطة على سطحها - كمية الحرارة المفقودة منها وكما في المعاليتين (6) و(7) ادناه:

$$Q = Q_{solar} - Q_{Losses} \quad (6)$$

$$= Q_{solar} - (Q_{Conv.} + Q_{Rad.}) \quad (7)$$

ولكن بسبب تعذر قياس الاشعاع الشمسي والانبعائية للسطح تم استخدام المعادلة (8) التالية:

$$Q = m.C.\Delta T/\Delta t \quad (8)$$

### 2- حساب نسب الزيادة في الخزن الحراري

$$(9) \quad \text{اكبر نسبة زيادة في الخزن الحراري عند بداية فحص اداء العينات} = \left( \frac{\text{أكبر كمية حرارة مخزونة في العينة} - \text{أكبر كمية حرارة مخزونة في العينة بدون طلاء}}{\text{أكبر كمية حرارة مخزونة في العينة}} \right) \times 100\% \quad (9)$$

$$(10) \quad \text{اصغر نسبة زيادة في الخزن الحراري عند نهاية فحص اداء العينات} = \left( \frac{\text{أقل كمية حرارة مخزونة في العينة} - \text{أقل كمية حرارة مخزونة في العينة بدون طلاء}}{\text{اقل كمية حرارة مخزونة في العينة}} \right) \times 100\% \quad (10)$$

## النتائج والمناقشة

تم حساب كمية الحرارة المخزونة في عينات البحث ورسمها مع زمن قياس درجة حرارة سطحها، وتم بداية تقسيم العينات الى مجموعات والمقارنة فيما بينها من حيث كمية الحرارة المخزونة فيها بعد ذلك تم إختيار العينة الفضلى من كل مجموعة والمقارنة فيما بينها لمعرفة العينة الفضلى من حيث الاداء وتحديد ظروف الطلاء الامثل لتحسين اداء هذه العينات، وان ظروف طلاء كل عينة موضحة في الجدول (2). يبين الشكل (12) العلاقة بين كمية الحرارة المخزونة في عينات الحديد (1,2&3) والحديد المغلون (Black paint & Without paint) مع الزمن، وكما نلاحظ من الشكل ان هناك تقارباً في اداء عينات الحديد مما يدل على ان زمن الطلاء (سمك الطلاء) بالزنك والكروم لم يكن له تأثير كبير في اختلاف اداء هذه العينات عن بعضها البعض عند ثبوت زمن الطلاء بالنيكل الاسود (20) دقيقة. ان عينات الحديد سجلت ارتفاع في كمية الحرارة المخزونة فيها ومن ثم هبوطاً سريعاً في هذه الكمية مما يدل على ان قيمة الانبعائية لها عالية مقارنة بقيمتها لعينات الحديد المغلون وقد يرجع ذلك الى وجود طبقة الكروم التي تم ترسيبها على عينات الحديد مما جعل قيمة كمية الحرارة المخزونة فيها اعلى، وان افضل اداء ضمن هذه المجموعة كان للعينة (1)، وإن القيمة السالبة لكمية الحرارة المخزونة في العينات كانت بسبب حدوث انخفاض في درجة حرارة سطحها.

الشكل (13) يوضح العلاقة بين كمية الحرارة المخزونة في العينات (1,11,35,51,Without paint& Black paint) مع الزمن، تم إختيار العينة الفضلى من حيث الاداء من مجموعات سابقة تبعاً لتصنيف العينات مع عينة من الحديد المغلون بدون طلاء والمقارنة فيما بينها، وكما نلاحظ من الشكل ان افضل اداء كان للعينة (11) حيث سجلت اعلى كمية حرارة مخزونة فيها



وان هناك هبوطاً سريعاً في هذه الكمية مما يدل على ان قيمة الانبعائية لها اعلى مما للعينات الاخرى. من ذلك يتبين ان افضل اداء لعينات الحديد بوصفها أسطحاً انتقائية هو بطلائها بطبقة من الزنك بطريقة الطلاء الكهربائي (وليس بطريقة الغلونة) ومن ثم طلائها بالنيكل الاسود بطريقة الطلاء الكهربائي ايضا. نلاحظ ايضا من الهبوط في كمية الحرارة المخزونة للعينات المذكورة سابقا ان قيمة الانبعائية يمكن ان تكون متقاربة فيما بينها ولكن افضل اداء كان يعود للعينة (11) مما يدل على ان قيمة الامتصاصية لها اعلى منها في العينات الاخرى وهذا ما حسن من ادائها، وقد بلغت نسبة الزيادة في الخزن الحراري لهذه العينة (عينة الطلاء الكهربائي) إلى عينة الحديد المغلون بدون طلاء بداية فحص اداء العينات (58.23%) وعند نهاية فحصها (44.97%).. كما نلاحظ من الشكل (13) أن كلما كانت نسبة الاداء عند بداية الفحص أكبر ما يمكن هذا يعني أن اعلى كمية حرارة مخزونة في العينة (11) هو اكبر منها في العينة بدون طلاء اي ان ادائها في هذه الفترة جيد وهناك تحسن في اداء هذه العينة، وأن كلما كانت نسبة الاداء عند نهاية الفحص أقل ما يمكن هذا يعني أن كمية الحرارة المفقودة من العينة (11) أقل منها في العينة بدون طلاء.

الشكل (14) يوضح العلاقة بين كمية الحرارة المخزونة في عينات الالمنيوم ( 54,55,56,57, Without paint& Black ) مع الزمن، وكما نلاحظ من الشكل ان افضل اداء كان للعينة (Without paint) حيث سجلت اعلى كمية حرارة مخزونة فيها مقارنة بالعينات الاخرى، وان هناك هبوطاً سريعاً في كمية الحرارة المخزونة في العينة (Black paint) مما يدل على ان قيمة الانبعائية لها عالية مقارنة بالعينات المتبقية. نلاحظ ايضا ان هناك تقارباً في اداء العينات التي تم طلاؤها بالنيكل الاسود مما يدل على انه لم يكن لتغيير كثافة التيار تأثير كبير على اداء العينات بثبوت زمن الطلاء بالنيكل الاسود (30) دقيقة والبعد بين القطبين (3 cm).

الشكل (15) يوضح العلاقة بين كمية الحرارة المخزونة في عينات الالمنيوم ( 62,66, Without paint& Black paint ) وبين الزمن من مجموعات سابقة تبعا لتصنيف العينات مع عينة من الالمنيوم بدون طلاء والمقارنة فيما بينها، نلاحظ ان افضل اداء كان للعينتين (62&66)، وأن هناك تقارباً شديداً في ادائهما. نلاحظ ايضا من الشكل في اعلاه ان كمية الحرارة المخزونة في العينتين (Black paint&Without paint) في البداية تكون اعلى من كمية الحرارة المخزونة في العينتين (62&66) ولكن بعد ذلك نلاحظ انحداراً سريعاً في كمية الحرارة المخزونة فيهما مما يدل على ان قيمة الانبعائية لهما اعلى من قيمتهما للعينتين (62&66) وهذا ما جعل اداء تلك العينتين أفضل من أداء العينتين الاخرين. من ذلك يتبين أن بالإمكان تحسين أداء عينات الالمنيوم بطريقتين هما اولا طريقة الطلاء الكهربائي وذلك بطلاء العينة من الالمنيوم بالنيكل الاسود لمدة (20) دقيقة باستخدام بعد بين القطبين (6 cm) وكثافة تيار مقداره ( $0.15 \text{ A/dm}^2$ ). ثانيا طريقة الرش الكيميائي الحراري وذلك بطلاء العينة من الالمنيوم بالنيكل الاسود لمدة (16) ثانية والبعد بين فتحة المرذد و سطح العينة (27 cm) وكمية الجريان (4.8 ml/min.) وضغط الغاز (1 bar) ودرجة حرارة سطح العينة ( $290^\circ \text{C}$ ).

### الإستنتاجات

من خلال هذه الدراسة تم إستنتاج ما يأتي:-

1- إمكانية تحسين أداء عينات الحديد، حيث كانت أفضل عينة هي التي تم طلاؤها اولا بطبقة من الزنك طلاءً كهربائياً حيث كان زمن الطلاء دقيقتين وثنائياً بطبقة من النيكل الأسود وزمن الطلاء كان (20) دقيقة والبعد بين القطبين (6 cm) وكثافة التيار ( $0.15 \text{ A/dm}^2$ ) ونسبة مساحة وجه واحد للعينة الى مساحة وجه واحد للقطب تساوي (1)، إذ بلغت نسبة زيادة الخزن الحراري لعينة الطلاء الكهربائي الى عينة الحديد المغلون بدون طلاء عند بداية فحص اداء العينات (58.23%) وعند نهاية فحصها (44.97%).

- 2- إمكانية تحسين أداء عينات الالمنيوم، حيث كان أفضل أداء (كمية الحرارة المخزونة) لعينات الالمنيوم يعود لعينتين تم طلاء احدهما بطريقة الكهربيائي والثانية بطريقة الرش الكهربيائي الحراري. حيث ان عينة الطلاء الكهربيائي قد تم طلاؤها بالنيكل الاسود لمدة (20) دقيقة باستخدام كثافة تيار مقدارها ( $0.15 \text{ A/dm}^2$ ) والبعد بين القطبين (6 cm) ونسبة مساحة وجه واحد للعينة الى مساحة وجه واحد للقطب تساوي (1)، وأما عينة الرش الكهربيائي الحراري فقد تم طلاؤها بطبقة من النيكل الأسود عندما كان زمن الطلاء (16) ثانية، والبعد بين فتحة الخزان وسطح العينة (27 cm) و كمية الجريان (4.8 ml/min.) و ضغط الغاز (1 bar) و درجة حرارة سطح العينة ( $290^{\circ}\text{C}$ ).
- 3- أن العينات التي تم طلاؤها بطلاء اسود بدون لمعة (متوفر تجاريا) لها امتصاصية عالية وانبعائية عالية ايضا حيث ان الانحدار السريع في كمية الحرارة المخزونة في العينة والموضح في الاشكال (13 و 14 و 15) تدل على ذلك.

## المصادر

- P.K.Gogna and K.L.Chopra,"Structure – dependant thermal and optical properties of black nickel coatings",Thin Solid Film, 57(1979)299-302.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040609079901676>.
- M. Madhusudana and H.K. Sehgal ,"spray-deposited black nickel selective absorber surfaces for solar thermal conversion ", Applied 10(1982)65-74.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0306261982900605>.
- هادي كاظم عوض، صالح محمد سعيد، جواد سلمان البديري، عبد الكريم هاشم الشلال، "الأساسيات النظرية للتحليل الكمي والوزني والحجمي للكيمياء التحليلية اللاعضوية"،مديرية دار الكتب للطباعة والنشر. الموصل (1982).
- وزارة الصناعة والتصنيع العسكري،المعهد المتخصص للصناعات الهندسية،"دليل الطلاء الكهربيائي للمعادن"،دائرة التعامل الكيمياوي،بغداد (1989) .
- S. John , "Black nickel-copper solar selective coatings", spie digital library, proc.SPIE, vol.2255,(1994)137-148.  
<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=969218>
- Wackelgard E. ,"Characterization of black nickel solar absorber coatings electroplated in a nickel chlorine aqueous solution ",Journal title , solar energy material and solar cells 56(1998) 35- 44.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024898001135>

## الرموز المستخدمة

الرمز	المعنى	الوحدة
$\alpha$	الامتصاصية	-----
$\varepsilon$	الانبعاثية	-----
T	درجة الحرارة	$^{\circ}\text{C}$
Q	كمية الحرارة المخزونة في العينة	kW



kg	كتلة العينة	m
kJ/kg.°C	الحرارة النوعية لمعدن العينة	C
°C	الفرق بين درجة حرارة سطح العينة في اي وقت ودرجة حرارة سطحها الابتدائية	$\Delta T$
sec.	الفرق بين زمن فحص درجة حرارة سطح العينة في اي وقت وزمن فحص درجة حرارة سطحها الابتدائية	$\Delta t$

## المصطلحات المستخدمة

المصطلح	المعنى
التخميد	هو عملية طلاء العينة بطبقة من الزنك ومن ثم بالكروم طلاء كهربائياً
الاساس	هو عملية طلاء العينة بطبقة من الزنك طلاء كهربائياً

## جدول (1)

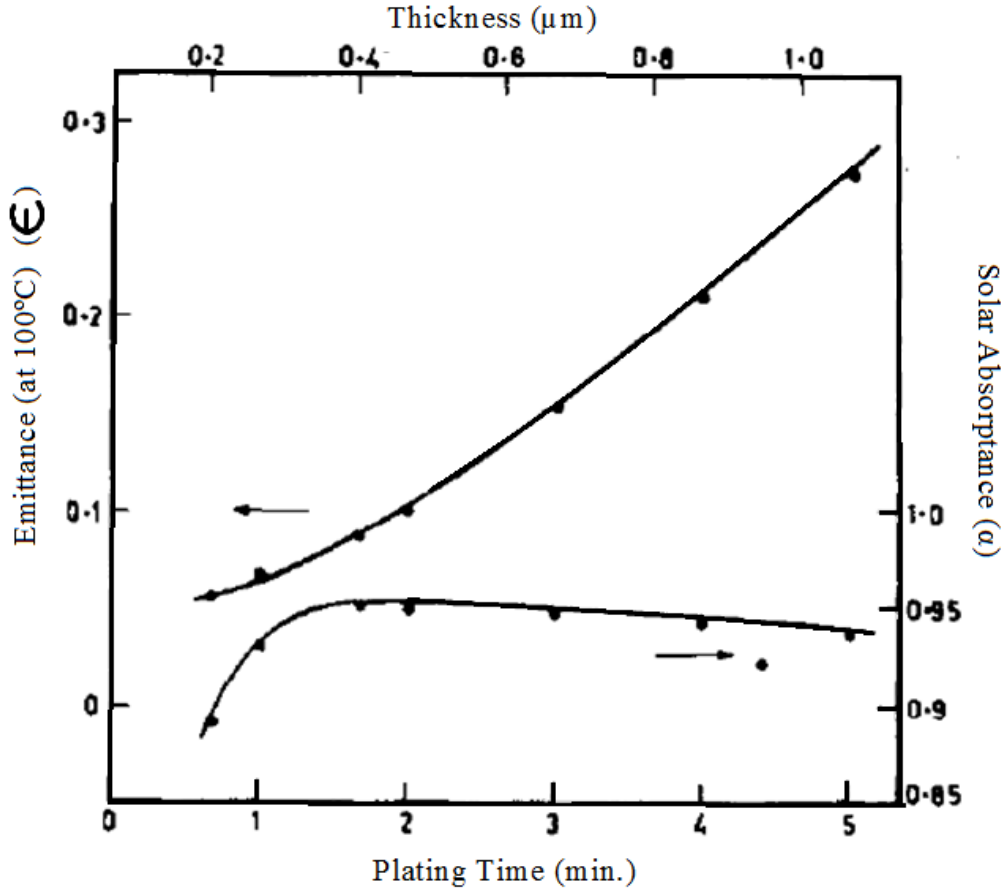
مكونات وظروف الطلاء بالنيكل الاسود

المادة المستخدمة	الكمية (g/L)
كلوريد النيكل $NiCl_2 \cdot 6H_2O$	75
كلوريد الامونيوم $NH_4Cl$	30
كلوريد الزنك $ZnCl_2$	30
ثايوسيانات الصوديوم $NaCNS$	15
ظروف الطلاء	
درجة الحموضة PH	5.5 – 3.5
درجة الحرارة	درجة حرارة الغرفة
كثافة التيار	0.15 ( A /dm <sup>2</sup> )

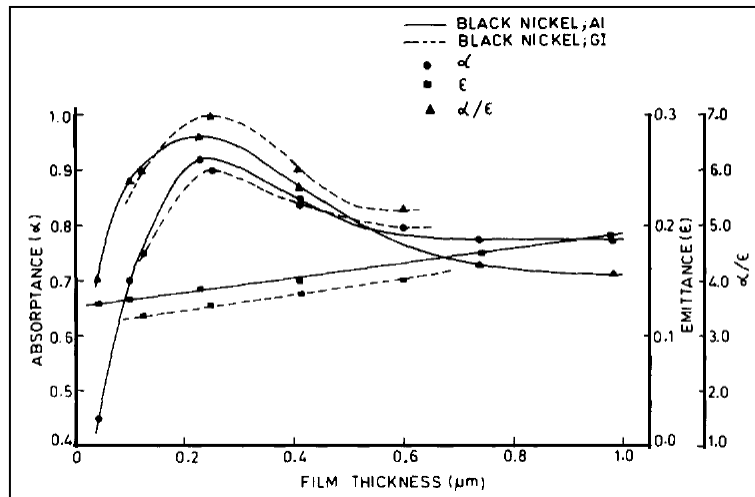
## جدول (2)

مواصفات العينات التي تم طلاؤها

رقم العينة	نوعها	البعد بين القطبين في عملية الطلاء الكهربائي (cm)	كثافة التيار ( $A/dm^2$ )	زمن الطلاء بالنيكل الاسود (min.)
1	حديد (تخميد(2))	6	0.15	20
2	حديد (تخميد(4))	6	0.15	20
3	حديد (تخميد(8))	6	0.15	20
11	حديد (اساس(2))	6	0.15	20
35	حديد مغلون	3	0.15	30
54	المنيوم	3	0.15	30
55	المنيوم	3	0.25	30
56	المنيوم	3	0.35	30
57	المنيوم	3	0.45	30
62	المنيوم	6	0.15	20
رقم العينة	نوعها	البعد بين العينة وفتحة خزان الجهاز في عملية الرش الكيميائي الحراري (cm)	زمن الرش (min. :sec.)	كمية الجريان لمحلول الرش (ml/min.)
51	حديد مغلون	22	0:15	4.16
66	المنيوم	27	0:16	4.8



شكل(1): تغير الامتصاصية ( $\alpha$ ) والانبعائية ( $\epsilon$ ) مع زمن التغطية بالحوض وسمك الطلاء [Gogna & Chopra, 1979]

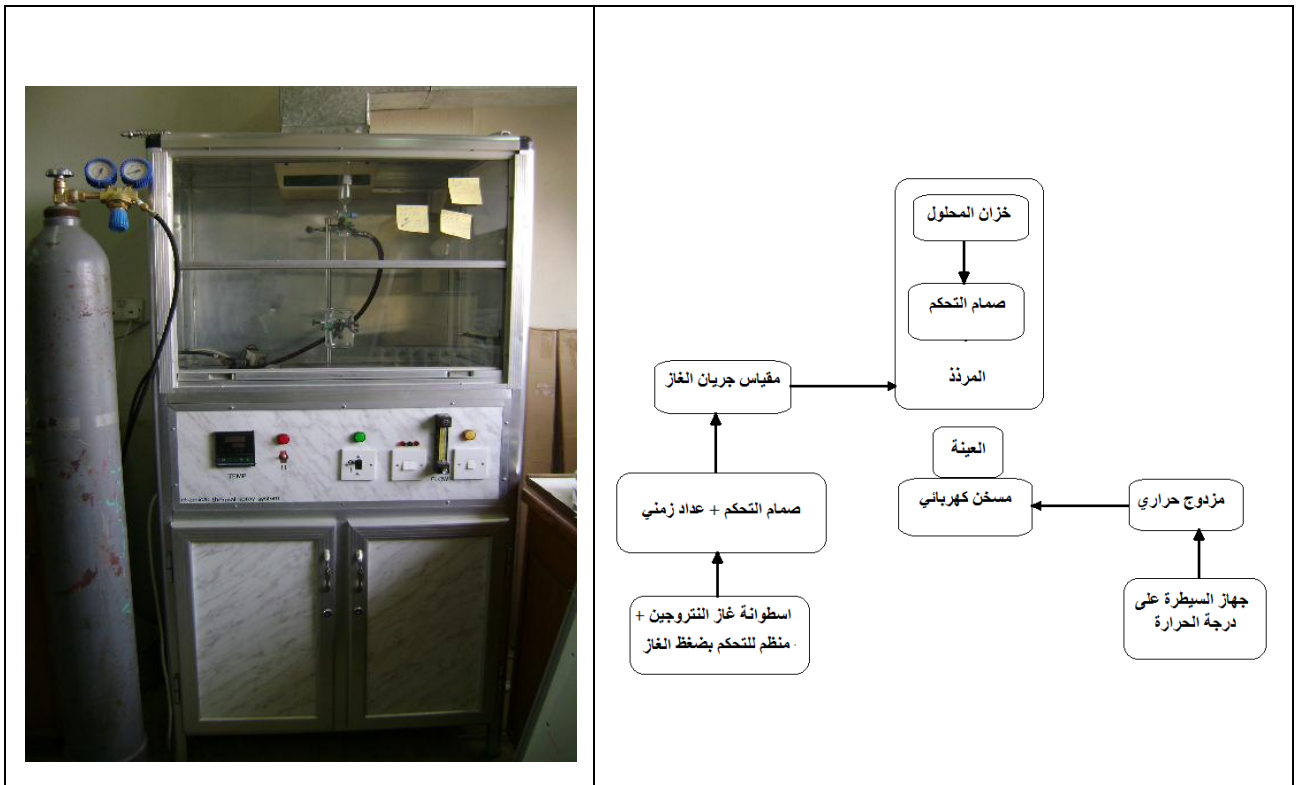


شكل (2): تغير الامتصاصية والانبعائية ونسبة الامتصاصية الى الانبعائية مع سمك الطلاء عند نسبة خلط (1 : 1.28)

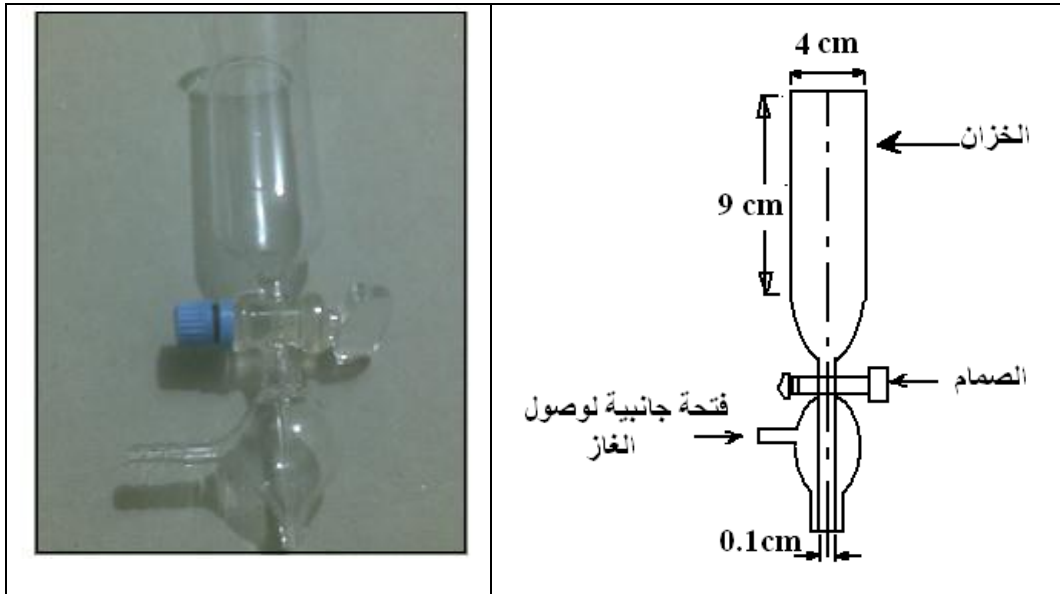
درجة حرارة سطح المسخن الكهربائي (290 °C) [Madhusudan & Sehgal, 1982]



شكل (3): اجزاء منظومة الطلاء الكهربائي



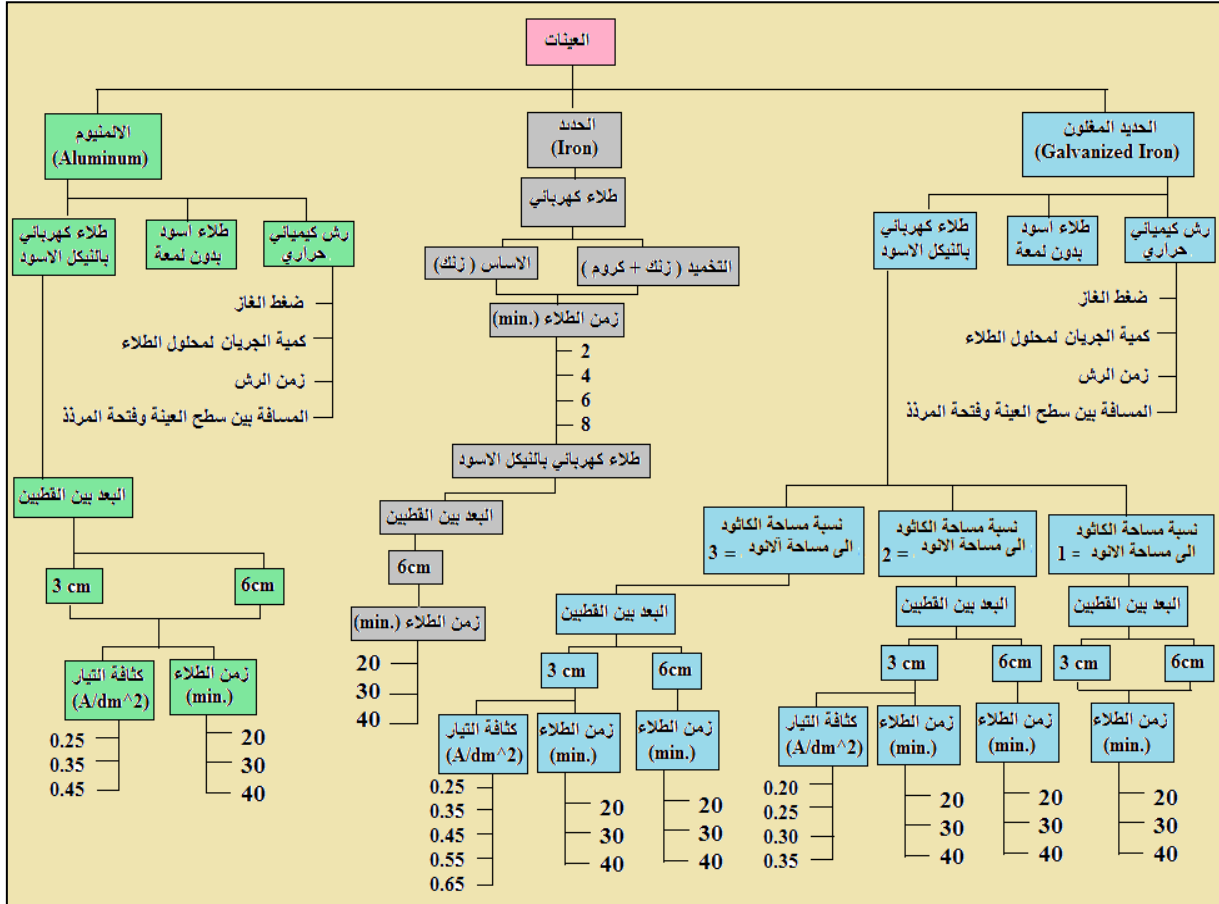
شكل (4): مراحل عمل منظومة الرش الكيميائي الحراري المستعملة في العمل الحالي مع صورة فوتوغرافية للمنظومة



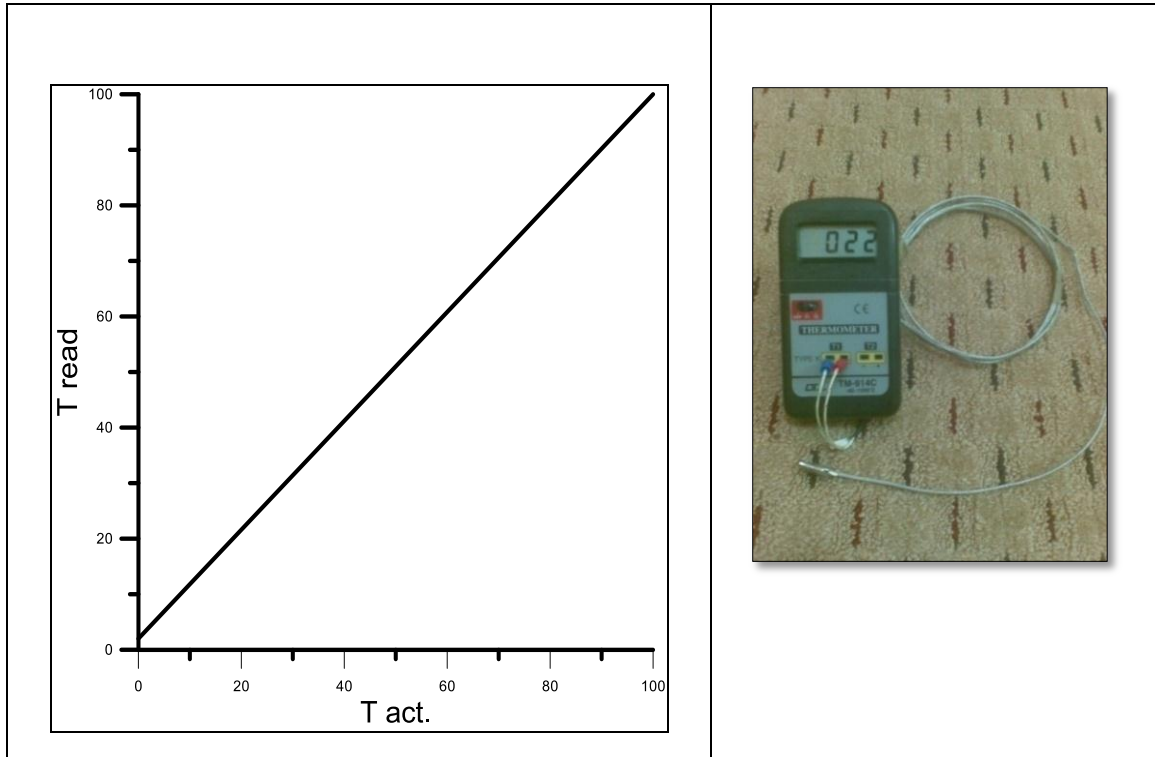
شكل (5): مخطط توضيحي للمرزد مع صورة فوتوغرافية له



شكل (6): منظومة اختبار اداء العينات



شكل (7): العينات التي تم استخدامها وطريقة طلائها والمتغيرات المستخدمة تبعا لكل طريقة طلاء



شكل (8): معايرة المزدوج الحراري مع صورة فوتوغرافية له بعد ربطه بجهاز قياس درجة الحرارة ( Digital thermometer )

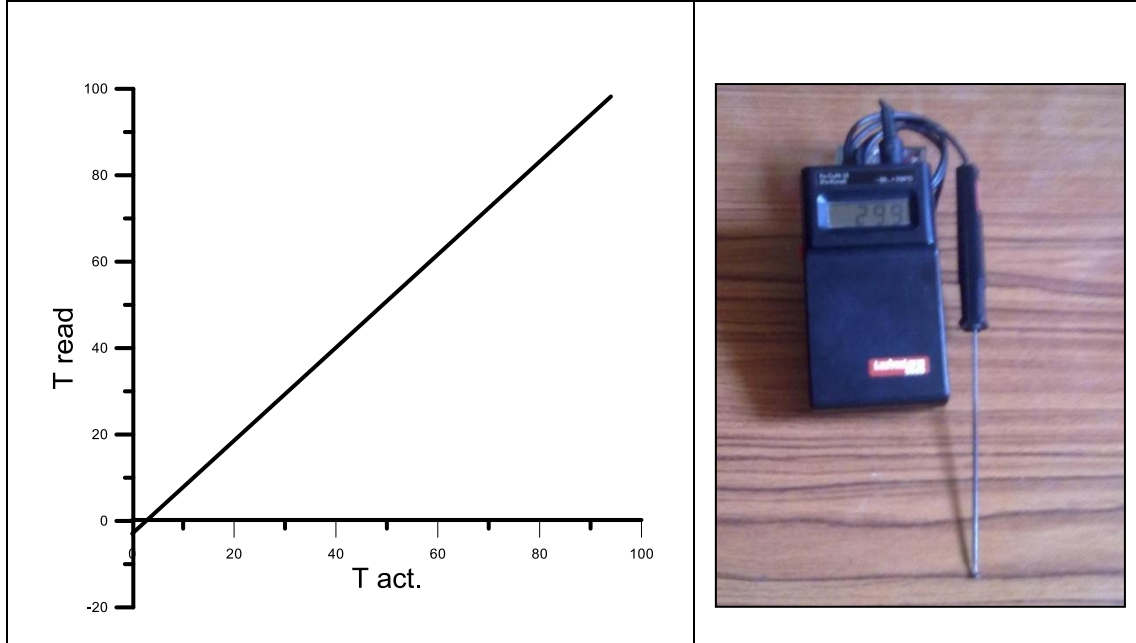




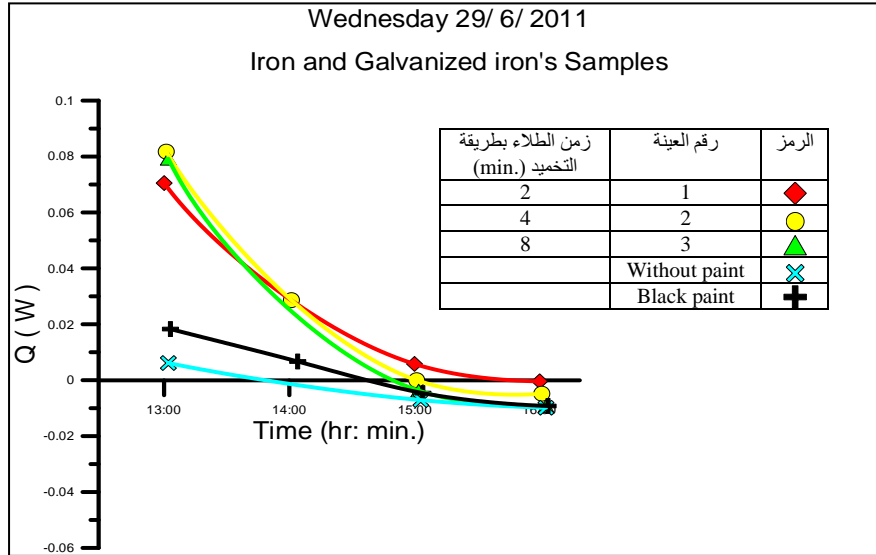
شكل (9): جهاز قياس الحمضية (ph meter)



شكل (10): ميزان حساس لقياس الكتلة

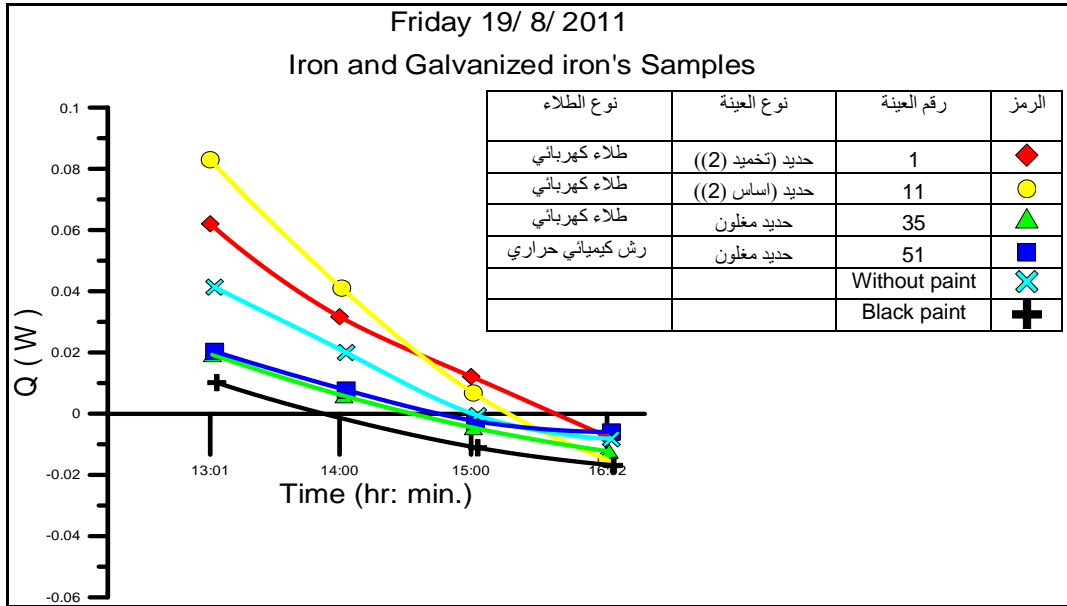


شكل (11): معايرة جهاز قياس درجة حرارة سطح العينات مع صورة فوتوغرافية له

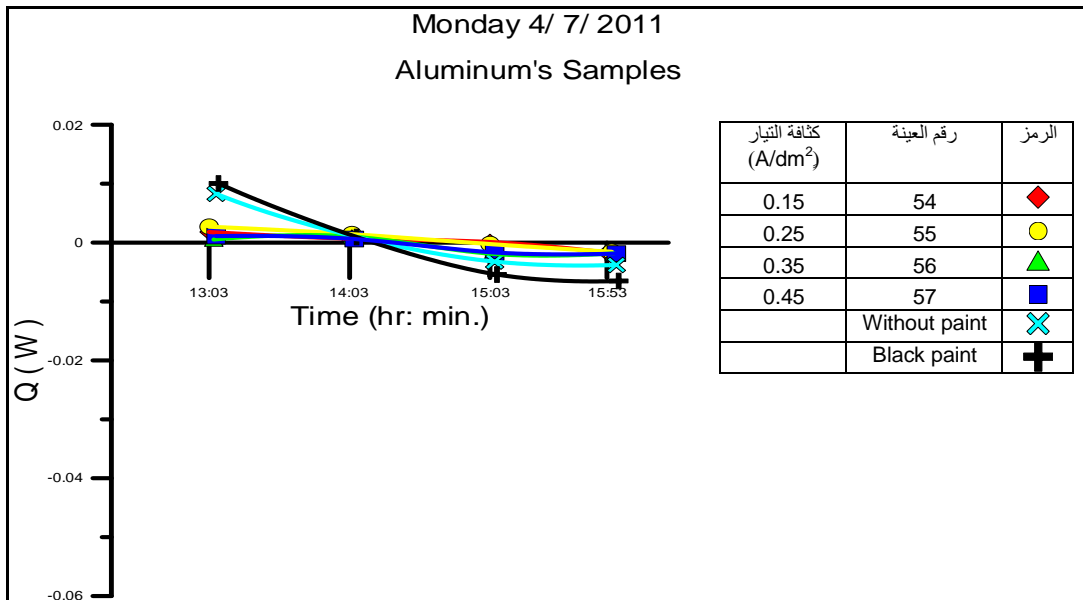


شكل (12): تغير كمية الحرارة المخزونة في عينات الطلاء الكهربائي (1,2&3) والعينتين

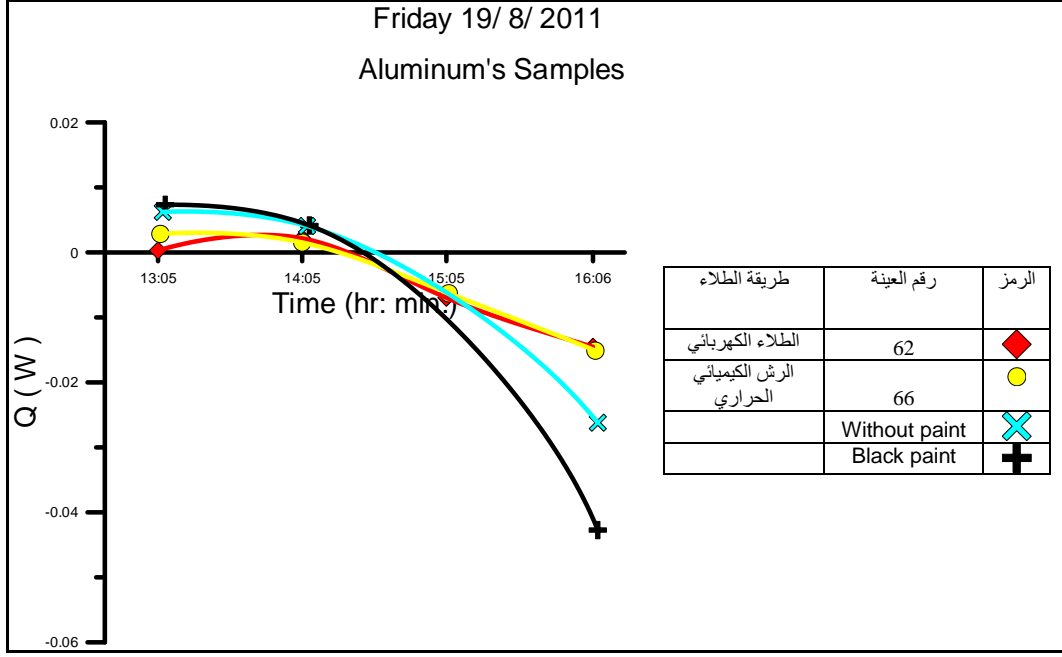
(Black paint & Without paint) مع الزمن بثبوت زمن الطلاء بالنيكل الاسود (20) دقيقة وكثافة التيار (0.15 A/dm<sup>2</sup>) والبعد بين القطبين (6 cm)



شكل (13): تغير كمية الحرارة المخزونة في العينات (1,11,35,51,Without paint & Black paint) مع الزمن



شكل (14): تغير كمية الحرارة المخزونة في عينات الطلاء الكهربائي (54,55,56&57) والعينتين (Black paint & Without paint) مع الزمن بثبوت زمن الطلاء بالنيكل الاسود (30) دقيقة والبعد بين القطبين (3cm)



شكل (15): تغير كمية الحرارة المخزونة في العينات (62,66, Without paint & Black paint) مع الزمن