دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر لصفيحة مستطيلة الشكل مسخنة بثبوت درجة الحرارة

د.ابتسام احمد حسن
قسم الكهروميكانيك
الجامعة التكنولوجية

م.م.امير عبد جدوع
قسم الكهروميكانيك
الجامعة التكنولوجية

م.م. محمد حسان جبل
قسم الكهروميكانيك
الجامعة التكنولوجية

الخلاصة:

تم اجراء عدد من التجارب المختبرية لاجل ايجاد علاقة بين رقم نسلت ورقم رالي وكذلك لدراسة تأثير زاوية الميل (Φ) ونسبة تثقيب المساحة (m_A) ومستوى التسخين في معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر من صفائح مستطيلة ذات ثقب مستطيل مسخنة بثبوت درجة الحرارة وبوجود أسطح امتداد، وضمن منطقة الجريان الطباقي لرقم رالي ($10^6 \leq Ra \leq 3.96\times10^6$). نتائج الدراسة بينت إن سمك الطبقة المتاخمة الحرارية (δ) يقل فيما يزداد انحدار درجات الحرارة عند زيادة رقم كراشوف ونسبة التثقيب (m_A) وكذلك عند زيادة زاوية الميل وصولا للوضع العامودي.وان اكبر قيمة لمتوسط رقم نسلت سجلت عند الوضع العمودي ($\Phi=90^o$) واقل مقدارعندما يكون وجه الصفيحة الى الاسفل ($\Phi=180^o$). وتزداد أيضا قيمة رقم نسلت المتوسط بزيادة نسبة التثقيب (m_A) ورقم كراشوف.

وحصل توافق جيد عند مقارنة النتائج العملية للبحث الحالي مع نتائج عملية وعددية لبحوث سابقة.

EXPERIMENTAL STUDY FOR A NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER FROM AN ISOTHERMAL HEATED RECTANGULAR PLATE

ABSTRACT

An experimental investigation to know the effect of inclination angle (Φ), perforation ratio (m) and heating level on the rate of heat transfer by natural convection from isothermal rectangular flat plate (with and without rectangular hole) with extension surface. The experiments covered the laminar region with a range of Rayleigh number of order of 10^6 .

The experimental study included the manufacturing of four rectangular models of aluminum (125mm) length,(64mm) width and (10mm) thickness and perforation ratio (m=0.0,0.2&0.28) respectively with heater for each model, and manufacturing a device allow fine movement of the thermocouple in three dimensions above the models surface with a capability of inclination the models up to (180°) with horizon Practical Experiments achieved by using local measure method for finding the temperature gradient, thermal boundary layer thickness (δ) using thermocouples .The experiment has been done with variable inclination angle from horizon (0°, 30°, 90°, 145°&180°) and four heating level (T_w=50, 70, 90&110°C) in range of Grashof number ($1.632\times10^6 \leq Gr_{Lo} \leq 5.973\times10^6$) for each model.

The results show that the boundary layer thickness (δ) decrease while the temperature gradient increase when Grashof number and perforation ratio (m) increase. The boundary layer thickness (δ) for incline position facing upward is more than facing downward while the temperature gradient is less. The average Nusselt number increases with the increase of inclination of plates facing upward to reach to the higher average Nusselt number at vertical position then decreases with increase of inclination of plates. Also Average Nusselt number value increases with increase of perforation ratio and Grashof Number.

KEY WARDS: Natural convection, Rectangular plate, inclination angle.

المقدمه:

تصرف انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطوح رباعيه الاضلاع ودائرية مسخنة، تراوحت زوايا ميلهاعن الافق (0^o — 180^o) ، قد حظي باهتمام الكثير من الباحثين لانتشاره الواسع في العديد من التطبيقات الصناعية واغلب مجالات إزالة تأثير الحرارة السلبي. لذا اهتم الباحثون بتحسين تصميم كفاءة الأجهزة من ناحية تصرفها الحراري، فعندما يصمم جهاز الكتروني أو كهربائي يكون الاهتمام بجعل الحجم والسعر أقل ما يمكن وهذا يعني احتمالات اكبر لمشاكل ارتفاع درجات الحرارة التي تتطلب أسلوباً أكفأ للتبريد ونقل الحرارة من دون وجود المراوح. لذا فان تطبيق مبادئ وأساسيات انتقال الحرارة بالحمل الحر في التصميم والتصنيع هو الأنسب والأكفأ.ومن اجل التوصل الى معرفة ما هو مناسب ،فقد قام عدد من الباحثين (Pera L.& Gebhart B.1973)بدراسة طبيعة الجريان الحر لانتقال الحرارة و تأثير زاوية الإمالة في جريان الطبقة المتاخمة لانتقال الحرارة بالحمل الحر الطباقي من صفائح من الألمنيوم مستطيلة الشكل أفقية ومائلة عن الأفق بزوايا صغيرة (2^o,4^o,6^o) لشرطي ثبوت درجة الحرارة والفيض الحراري وقد تبين ان إمالة السطح تؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة ونقصان في سمك الطبقة المتاخمة. وكذلك قام الباحثون (AL Arabi M.&Riedy M.1976 , AL Arabi M.& Sakr B. 1988) بدراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر بثبوت درجة الحرارة على صفائح أفقية مربعة ومستطيلة مصنوعه من البراص ودائرية مصنوعه من النيكل(ابعادها كبيرة نسبة الى ابعاد بعض التطبيقات الهندسيه كلوائح الدوائر الكهربائيه لبعض الاجهزة الالكترونية) وجهها العلوي مسخنوبأبعادمختلفة لزوايا ميل متعددة. ووجد إن التحول من الجريان الطبـاقي إلى الجريان الاضطرابي يحدث لرقـم رالي 4×10^7 للحالات التي تم دراستها، وانه لا يوجد تأثير لشكل حافة الصفيحة في قياس متوسط معامل انتقال الحرارة في حالة تساوي الاطوال المميزة لكل من الاشكال المختلفة. وقد حضيت الابعاد الصغيرة نسبيا باهتمام الباحثن لاهميتها في الصناعات الالكترونيه فقد درسةالباحثين (Kobus C.J.&Wedekind G.L. 2001) عمليا انتقال الحرارة بالحمل الحر من أقراص أفقية بأقطار مختلفة $5.2\leq d\leq19.97$ mm وذات درجة حرارة ثابتة لمديات مختلفة لرقم رالي،من اجل الحصول على علاقة لرقم نسلت برقم رالي.

كما اجريت مجموعة من الدراسات العملية والنظرية لصفائح بطول مميز (9.6 cm) لاسطح مستويه واخرى مماثله تم ثقبها من الداخل بثقوب ذات اشكال متعددة تراوحت زوايا الميل فيها عن الافق(0^o – 180^o) بهدف دراسة التصرف الحراري للحمل الحر لتلك الابعاد من الاسطح وكذلك دراسة تأثير ازالة منطقةانفصال الجريان او ما يعرف بالريشة. فقد درست الاقراص والحلقات الافقيه(Waheed A.M. 2001) والمائله (Mohammed J.A. 2002)، والصفائح المربعة ذات الثقب المربع (Ali Th. H. 2007)والدائري (Wassan N. M. 2009)،وقد توصل الباحثين ان لزاوية الميل ونسبة القطع(m_A) تاثير ملحوظ على كمية الحرارة المنتقلة و مقدار متوسط رقم نسلت .

ولان غالبية البحوث السابقة التي تخص الحمل الحر من أسطح درجة حرارتها ثابتة تناولت الحلقات والأقراص الدائرية او المربعة

لذلك اختير في هذا البحث الأسطح المستطيلة والمستطيلة ذات الثقب المستطيل وبنسب تثقيب(m_A) مختلفة ، بطول مميز مقدارة (L_o=94.5mm) التي تدخل في الكثير من تطبيقات سطوح التبادل الحراري. تناول البحث الحالي عمليا قيماً مختلفة من زوايا ميل النماذج (سطوح التبادل الحراري) وضمن حدود منطقة الجريان الطباقي(1.55×106 $\leq Gr_{Lo} \leq$5.88×106) لكون الجريان الذي يحدث فوق الأجزاء الالكترونية غالباً ما يكون جريان طباقي .

الجانب العملي:

تضمنت الدراسة ايجاد معامل انتقال الحرارة الموضعي والمتوسط عمليا لقيم مختلفة من درجات الحرارة (- 50 ^oc 70 ^oc -90 ^oc -110 ^oc) لسطوح مستطيلة واخرى ذات ثقوب مستطيلة, لزوايا ميل عن الافق (90°,145°,180° Φ =0°,30°,) . لغرض إجراء الدراسة تم تصنيع جهاز مختبري كما مبين **بالشكل 1**، يتضمن اسطح التبادل الحراري (مصنوعة من الالمنيوم النقي) بسمك (10 mm) ،عرض (64mm) ، وطول (125 mm) ،لنسبة مساحة تثقيب مختلفة(m_A = 0, 0.2 ,0.28) مثبتة على اسطح ممتدة حول النماذج وبنفس المستوى لتنظيم جريان الطبقة المتاخمة.وقد استخدمت مزدوجات حرارية من نوع (T) لقياس درجة حرارة اسطح التبادل الحراري والاسطح الممتدة .ولقياس درجة حرارة الهواء فوق سطح التبادل الحراري (الطبقة المتاخمة)فقد تم تصنيع ماسك على شكل (U) لعمل متحسس موازي لسطح النموذج (Cairnie L.R. & Harrison A.J. 1982) . تم تصنيع آلية تحكم لتحريك المتحسس مع الماسك فوق سطح الأنموذج بالابعاد الثلاثة (X,Y & Z) و آلية أخرى للتحكم بأمالة مستوى النماذج والسطح الممتد بزوايا مختلفة عن الافق من °0 الى °180 **.**

تم معايرة جميع اجهزة القياس المستخدمة،وقد وجد ان نسبة الخطأ المحتملة للمزدوجات الحرارية لم تتجاوز (±0.09) ،كذلك تم تحديد اسطح التماثل للحالات المدروسة بالبحث المحورين x وy للاسطح الافقية،والمحور y للاسطح المائلة . تبدأ القياسات بتثبيت النماذج بشكل أفقي ويتم التحكم بزاوية الامالة. بعد تجهيز المسخن بقدرة كهربائية معلومة ،تسجل درجات الحرارة لكل المزدوجات الحرارية ولكل عشرة دقائق حتى الوصول إلى حالة الاستقرار مع السيطرة على درجة حرارة الحيز. بعد ذلك يتم قياس توزيع درجة الحرارة فوق كل نقطة من نقاط القياس، والتي تم تعينها على سطح التبادل الحراري لمسافات متساوية على سطح التبادل الحراري كما موضح **بالشكل 1**C، ولارتفاعات مختلفة محددة لمحور (z) العمودي على السطح وبوساطة تحسس المزدوج الحراري لحين الوصول إلى درجة حرارة المحيط. تسجل درجة حرارة العوازل ودرجة حرارة المحيط. ثم تغلق الدائرة الكهربائية بعد الانتهاء من إجراء التجربة. يعاد تكرار الخطوات المشار إليها لجميع زوايا الميل ولمستويات التسخين المحددة في البحث .

االتحليل النظري والحسابات

درجات الحرارة التي تم تسجيلها في التجارب بوساطة المزدوج الحراري تستخدم لحساب انحدار درجات الحرارة عند نقاط القياس المعينة على سطح التبادل الحراري للحصول على معادلات توزيع درجات الحرارة وبالتالي حساب الميل عند السطح $\left(\frac{dT}{dz}\bigg|_{z=0}\right)$ ، يطبق هذا الميل لحساب معامل انتقال الحرارة الموضعي اذ يتم انتقال الحرارة بالتوصيل لعدم وجود حركة للمائع عند السطح بين الطبقة المماسة للمائع وسطح الأنموذج على وفق قانون فوريير(Fourier's Law) .

وتم حساب معامل انتقال الحرارة الموضعي بالحمل الحر بتطبيق الموازنة الحرارية الآتية:

$$-k_f \frac{dT}{dz}\bigg|_{z=0} = h\,(T_w - T_\infty) \qquad (1)$$

وبترتيب المعادلة (1) نحصل على معامل انتقال الحرارة الموضعي بالشكل الآتي:

$$h = \frac{-k_f \left.\frac{dT}{dz}\right|_{z=0}}{(T_W - T_\infty)} \qquad (2)$$

يمكن حساب متوسط معامل انتقال الحرارة من تكامل معامل انتقال الحرارة الموضعي على سطح التبادل الحراري بالشكل الآتي :

$$\bar{h} = \frac{1}{A}\int_A h.dA \qquad (3)$$

كما تم حساب رقم نسلت الموضعي من المعادلة الآتية :

$$Nu_{L_o} = \frac{h.L_o}{k_f} \qquad (4)$$

وبتعويض المعادلة (2)في المعادلة(4) ينتج:

$$Nu_{L_o} = \frac{-L_o \frac{\partial T}{\partial z}\Big|_{z=0}}{(T_w - T_\infty)} \qquad (5)$$

$$Nu_{L_o} = \frac{d\theta}{dZ}\Big|_{Z=0} \qquad (6)$$

حيث إن

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty} \quad , \quad Z = \frac{z}{L_o}$$

اما متوسط رقم نسلت يحسب من تكامل رقم نسلت الموضعي على سطح التبادل الحراري بالشكل الآتي:

$$\overline{Nu}_{L_o} = \frac{1}{A}\int_A Nu_{L_o}.dA \qquad (7)$$

تم حساب جميع خواص الهواء عند متوسط درجة حرارة الطبقة المتاخمة (T_f) وتسمى درجة حرارة الغشاء كما في المعادلة الآتية:

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2} \qquad (9)$$

$\beta = 1/T_f$

حيث ان

اما المتغيرات اللابعديةالاخرى فقد تم تعريفها كما يلي

$$Gr_{L_o} = \frac{g\beta(T_w - T_\infty).L_o^3}{\upsilon^2} \quad , Pr = \upsilon/\alpha \quad , \quad Ra_{L_o} = Gr_{L_o}.Pr$$

<u>النتائج و المناقشة:</u>

الشكل 2 يوضح توزيع درجات الحرارة لسطح صفيحة مستطيلة (النموذج الاول) في المستويين (Z-) & (Z-X Y) لزاويا تميل عن الأفق ($\Phi = 0^o, 30^o, 90^o, 145^o, 180^o$) ولرقم كراشوف ($Gr_{Lo} = 1.632\times10^6$). لصفيحة مستوية ($\Phi = 0^o$) يظهر الشكل وجود انحدار كبير في توزيع درجات الحرارة فوق السطح عند الحافات الخارجية مقارنةً بمركز الأنموذج. هذا يعني ان أعلى درجة حرارة فوق الصفيحة المستطيلة الأفقية تكون عند خط المركز وتنخفض باتجاه الحافات الخارجية حيث اكبر قوة طفو لجزيئات المائع الأقل كثافة تكون عند خط المركز لذا يتكون الانفصال الحراري. وعند إمالة الأنموذج عن الأفق يزداد الانحدار في درجات الحرارة عند حافتي الأنموذج ومركز السطح ولكن مقدار الزيادة عند الحافة السفلى اكبر من الحافة العليا . وذلك لان منطقة الانفصال الحراري تزحف باتجاه الحافة العليا. يزداد انحدار درجات الحرارة بزيادة زاوية الميل ليصل أعظم قيمة له عند إمالة الأنموذج بزاوية ($\Phi = 90^o$) ثم يتناقص بزيادة زاوية الميل إلى ان يصبح الأنموذج وجهه المسخن إلى الأسفل ($\Phi = 180^o$) اذ يكون الانحدار في توزيع درجات الحرارة اقل مما هو في الوضع المائل. يكون تغير انحدار درجات الحرارة بالاتجاه الجانبي (x-axis) متناظراً للوضع الأفقي ($\Phi = 0^o \& 180^o$) في حين يتغير قليلاً للوضع المائل اذ ان

انحدار درجات الحرارة عند المركز يكون قليلاً ويتدرج باتجاه الجوانب.

اما **الشكل 3 و 4** فقد اظهرت تاثير وجود ثقب عند مركز اسطح التبادل الحراري على توزيع درجات الحرارة على سطح النموذج الثاني (m_A=0.2) والثالث (m_A=0.28)على التوالي. عند الوضع الأفقي للنماذج ووجهها المسخن إلى الأعلى (Φ=0°)، يلاحظ وجود انحدار كبير في درجات الحرارة فوق سطوح النماذج عند الحافات الخارجية في حين يكون اقل فوق الحافات الداخلية للثقب ويزداد بزيادة نسبة التثقيب.عند زيادة الإمالة للنماذج إلى (Φ=30°)، فان انحدار درجات الحرارة يكون أكبر ما يمكن عند الحافة الخارجية السفلى للسطح. ان أعظم قيمة لانحدار درجات الحرارة تكون عند الوضع العمودي (Φ=90°). بزيادة زاوية الميل الى (Φ=145 °)(الوجهه المسخن إلى الأسفل) يتناقص انحدار درجات الحرارة وصولاً إلى حالة التسخين باتجاه الأسفل.عموما يزداد انحدار درجات الحرارة عند الحافات الداخلية للثقب لان اغلب المائع يتصاعد عندها والتي يزداد تأثيرها بزيادة نسبة التثقيب، ويعتمد انحدار درجات الحرارة لزاوية الميل(Φ=180°) على نسب التثقيب أكثر من بقية زوايا الميل .

الشكل 5 يوضح تغير سمك الطبقة المتاخمة الحرارية (δ) فوق سطح الانموذج الاول في المستوى (X-Y) ولاربع مستويات من التسخين(5.973×10^6, 4.856×10^6, 3.732×10^6, $Gr_{Lo}=1.632\times10^6$)،يمثل السمك (δ) المسافة من السطح الى ان تصبح درجة الحرارة اللابعدية (θ =0.02). عندما تكون(Φ =0°) يكون مقدار (δ) قليل عند الحافات ويزداد باتجاة المركز بسبب قلة كثافة جزيئات الهواء عند مركز النموذج مما يدفع جزيئات الهواء للارتفاع الى الاعلى (مكون مايعرف بمنطقة الريشة) مسببا زيادة كبيرة في سمك الطبقة المتاخمة الحرارية . امالة النموذج يعمل على تحريك منطقة الريشة باتجاة الحافة العليا مسببا زيادة في مقدار(δ) بعد المركز باتجاه الحافة العليا ، في حين ان تأثير الحافة السفلى للأنموذج المائل مشابه لحافات الأنموذج في حالة الوضع الأفقي اذ يكون فيها اقل سمك. ان اقل سمك للطبقة المتاخمة الحرارية (δ) يكون عند الحافة السفلى للوضع العمودي.

عند الوضع الافقي (Φ =180°) يكون تدرج سمك الطبقة المتاخمة الحرارية مابين الحافات الخارجية والمركز اقل من حالة الوضع الافقي(Φ =0°) . زيادة رقم كراشوف يعمل على تقليل سمك الطبقة المتاخمة الحرارية .

أما **الأشكال 6,7** فتبين تغير سمك الطبقة المتاخمة الحرارية في المستوي (Z-Y) فوق سطوح النموذج الثاني والثالث على التوالي .عند الوضع الأفقي للنماذج ووجهها المسخن للأعلى (Φ=0°) يلاحظ ان سمك الطبقة المتاخمة يزداد من الحافات الخارجية باتجاه الحافات الداخلية التي عندها يقل السمك بزيادة نسبة التثقيب، كذالك عند إمالة النماذج اذ يكون لها اقل سمك عند الوضع العمودي (Φ=90°) ثم يزداد بزيادة زاوية الميل وصولاً إلى حالة التسخين باتجاه الأسفل (Φ =180°) حيث تكون سمك الطبقة المتاخمة اكبر عند المقارنة بالوضع المائل، ويلاحظ تغير تدريجي في سمك الطبقة المتاخمة بين الحافات والمركز. فعند الحافات الداخلية يقل سمك الطبقة المتاخمة لان اغلب المائع يتصاعد عندها، ويزداد تأثر الحافات الداخلية بزيادة نسب التثقيب.

الاشكال 8,9&10 توضح تاثير تغير زاوية الميل على توزيع رقم نسلت الموضعي فوق سطح النماذج الثلاثة ، في المستويين (Z-X & Z-Y). عند الوضع الأفقي للأنموذج ووجهه المسخن إلى الأعلى (Φ=0°)، فان أعظم قيمة لرقم نسلت الموضعي تكون عند الحافات الخارجية وتتدرج تلك القيمة لتكون اقل ما يمكن عند المركز. ولكن عند إمالة النماذج تزداد قيمة رقم نسلت الموضعي عند الحافة السفلى اذ تكون أعظم قيمة لها عند الوضع العمودي، وتتدرج لتقل باتجاه الحافة العليا للصفيحة المستوية، اما النماذج المثقوبة فقد تناقص رقم نسلت باتجاه الحافات الداخلية التي عندها تزداد القيمة قليلاً كما يزداد رقم نسلت الموضعي قليلاً عند الحافة العلوية الداخلية للثقب بسبب الجريان الإضافي في الثقب، ثم يقل عند الحافة الخارجية العليا . يكون للوضع العمودي(Φ=90°) أعظم قيم لرقم نسلت الموضعي ثم للزاوية (Φ=145°) والزاوية (Φ=30°) وعلى التوالي. ويكون التغير بتوزيع رقم نسلت الموضعي بالاتجاه الجانبي (x-axis) قليل مقارنة مع (yaxis) حيث تكون اكبر قيمة لرقم نسلت الموضعي عند الجوانب وتتدرج لتقل ثم تزداد عند الحافات الداخلية، وتكون قيمة رقم نسلت الموضعي للوضع المائل في حالة التسخين للأعلى اقل من حالة التسخين للأسفل.

تأثير زاوية الميلان في متوسط رقم نسلت للنماذج ولأرقام كراشوف مختلفة مبينة في **الشكل 11**، اذ يلاحظ زيادة قيمة متوسط رقم نسلت في حالة التسخين إلى الأعلى مع ازدياد الميلان إلى ان يبلغ أعظم قيمة له عند الوضع العمودي (Φ=90º) ثم يقل متوسط رقم نسلت بزيادة زاوية الميلان في حالة التسخين و وجه الصفيحة إلى الأسفل وصولاً إلى الوضع الأفقي (Φ=180º). و كذلك تزداد قيمة رقم نسلت المتوسط بزيادة رقم كراشوف ونسبة التثقيب فتكون أعلى قيمة لرقم نسلت المتوسط في جميع التجارب عند الزاوية (Φ=90º) ولنسبة التثقيب (m=0.28) وعند رقم كراشوف (5.973×10^{6}).

ولايجاد المعادلات التجريبية الخاصة بالحالات التي تناولها البحث وفق النتائج العملية التي تم الحصول عليها فقد تم تمثيل متوسط رقم نسلت مع رقم رالي لابعدياً للصفيحة المستطيلة والمثقبة لمختلف زوايا الميلان بالمعادلة الآتية :

$$\overline{Nu}_{L_o} = C_1 \times Ra^{n} \qquad \textbf{(10)}$$

حيث ان C_1 ثابت تعتمد قيمته على نسب التثقيب وزاوية الميل للأنموذج والثابت n هو أس رقم رالي وقيمته 0.2 ، وقيمة الثابت C_1 تم الحصول عليها باستعمال برنامج (STATISTICA 6.0) الإحصائي ، اما صيغ المعادلات التجريبية للحالات المدروسة فقد تضمنها **الجدول 1 والشكل 12** للنماذج (الأول، الثاني و الثالث)على التوالي ، ويلاحظ ان أعلى قيمة للثابت C_1 تكون عند الوضع العمودي وتقل وصولاً إلى الوضع الأفقي وتزداد بزيادة نسبة التثقيب.

الشكل 13 يوضح زيادة متوسط رقم نسلت بزيادة نسبة القطع عند زوايا ميل مختلفة لسطح التبادل الحراري بثبوت مستوى التسخين. بوجود الثقب يتم التخلص من منطقة الانفصال الحراري التي تتكون عند مركز الصفيحة. **الشكل 14** يظهر توافق جيد لنتائج البحث الحالي مع البحوث السابقة.

الاستنتاجات

- اظهرت نتائج البحث الحالي ما يلي:
- سمك الطبقة المتاخمة الحرارية (δ) للوضع المائل في حالة التسخين باتجاه الأعلى اكبر من حالة التسخين باتجاه الأسفل بينما انحدار درجات الحرارة في حالة التسخين باتجاه الأعلى اقل من حالة التسخين باتجاه الأسفل. وان اكبر سمك للطبقة المتاخمة الحرارية (δ) واقل انحدار لدرجات الحرارة يكون فوق مركز الأنموذج الأول عند الوضع الأفقي (Φ=0º) بينما اقل سمك للطبقة المتاخمة الحرارية (δ) واكبر انحدار لدرجات الحرارة عند الحافة السفلى للأنموذج الثالث (m_A=0.28) عند الوضع العمودي(Φ=90º).
- اكبر قيمة لرقم نسلت الموضعي تكون عند الحافة السفلى للنماذج المائلة بزاوية 90º، وتكون قيمة رقم نسلت الموضعي للوضع المائل في حالة التسخين للأعلى اقل من حالة التسخين للأسفل.
- قيمة متوسط رقم نسلت لجميع النماذج تعتمد على نسبة التثقيب (m_A) وزاوية الميلان (Φ) ورقم كراشوف (Gr_{Lo}) ، اذ تزداد قيمة متوسط رقم نسلت بزيادة نسبة التثقيب فتكون أقصى قيمة له عند الأنموذج الثالث بنسبة تثقيب (m_A=0.28)، وكذلك يزداد متوسط رقم نسلت في حالة التسخين إلى الأعلى مع ازدياد الميلان إلى ان يبلغ أعظم قيمة له عند الوضع العمودي (Φ=90º) ثم يقل متوسط رقم نسلت بزيادة زاوية الميلان في حالة التسخين إلى الأسفل وصولاً إلى الوضع الأفقي (Φ=180º)، وتزداد أيضا قيمة رقم نسلت المتوسط بزيادة رقم كراشوف.
- توافق جيد بين النتائج العملية للبحث الحالي مع نتائج البحوث السابقة.

المصادر:

Abd Y.H. (2005)

Int.J.Heat & Mass Transfer . Vol. 16 , PP. 1131-1145.

Waheed A.M. (2001)
"Numerical and Experimental Study of Natural Convection Heat Transfer from Isothermal Horizontal Disks and Rings".M. Sc. Thesis Univ. Technology.

Wassan N. M. (2009)
"Numerical Study For A Three Dimensional Laminar Natural Convection Heat Transfer From An Isothermal Heated Horizontal And Inclined Square Plate And With A Circle Hole".M. Sc. Thesis Univ. Technology.

AL.Arabi M. & Riedy M. (1976)
"Natural Convection Heat Transfer From Isothermal Horizontal Plates of Different Shapes".Int. J.Heat & Mass Transfer . Vol. 19 , PP. 1399-1404.

AL-Arabi M. & Sakr B. (1988)
"Natural Convection Heat Transfer From Inclined Isothermal Plates".
Int. J.Heat & Mass Transfer . Vol. 31 , No. 3 , PP. 559-566.

Ali Th. H. (2007)
"Experimental Study For A Three Dimensional Laminar Natural Convection Heat Transfer From An Isothermal Heated Square Plate".M. Sc. Thesis Univ. Technology.

Cairnie L.R. & Harrison A.J. (1982)
"Natural Convection Adjacent To a Vertical Isothermal Hot Plate with a High Surface-To-Ambient Temperature Difference ".Int. J.Heat & Mass Transfer. Vol. 25, No. 7, PP. 925-934.

Goldstein R.J. & Lau K. (1983)
"Laminar Natural Convection From A Horizontal Plate And The Influence of Plate-Edge Extensions " .J.Fluid Mech. Vol.129 , PP.55-75.

Kobus C.J. & Wedekind G.L. (2001)
"An experimental investigation into natural convection heat transfer from horizontal isothermal circular disks". International Journal of Heat and Mass Transfer PP.3381-3384.

Mohammed J.A. (2002)
"Measurement Of Three Dimensional Natural Convection Heat Transfer From Discs And Rings Facing Upward And Downward At Constant Temperature"M. Sc. Thesis Univ. Baghdad

Pera L.& Gebhart B. (1973)
"Natural Convection Boundary Layer Flow Over Horizontal And Slightly Inclined Surfaces".

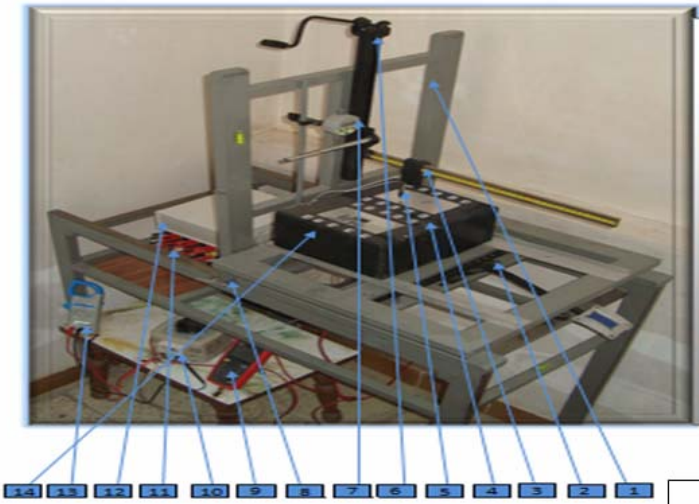
فائمة الرموز:

الرمـز	*تعريفـه*	*وحداتـه*
A	مساحة المستطيل	m^2
D	قطر القرص	m
g	التعجيل الأرضي	m/s^2
Gr_{Lo}	رقم كراشوف على اساس الطول المميز	
h	معامل انتقال الحرارة الموضعي	$W/m^2.^oC$
$\bar{h}$	متوسط معامل انتقال الحرارة	$W/m^2.^oC$
m_A	نسبة التثقيب(نسبة مساحة الثقب إلى مساحة الصفيحة المستطيلة)	----
Nu_{Lo}	رقم نسلت الموضعي على اساس الطول المميز	----
$\overline{Nu_{Lo}}$	متوسط رقم نسلت على اساس الطول المميز	----
Pr	رقم براندتل	----
$R\square_{Lo}$	رقم رالي على اساس الطول المميز	----
T	درجة الحرارة	^oC
T_f	درجة حرارة الغشاء	^oC
T_∞	درجة حرارة الهواء المحيط	^oC
T_w	درجة حرارة السطح المسخن	^oC
w	عرض المستطيل	m
x,y,z	الاحداثيات المتعامدة	m
α	ألانتشارية الحرارية	$\mathbf{m^2/s}$
β	معامل التمدد الحجمي	*1/K*
Φ	زاوية ميلان الصفيحة عن المستوى الأفقي	*Degree*
υ	اللزوجة الكينماتية	m^2/s
P	كثافة المائع	kg/m^3
θ	درجة الحرارة اللابعدية	----
δ	سمك الطبقة المتاخمة الحرارية	*mm*

جدول (1) العلاقة بين متوسط رقم نسلت ورقم رالي.

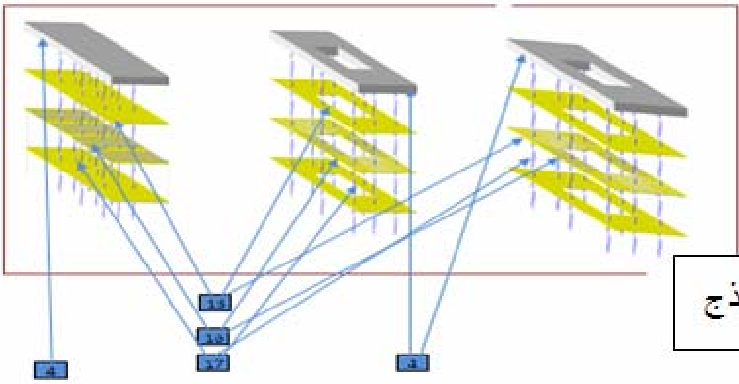
زوايا الميل	الأنموذج الأول	الأنموذج الثاني	الأنموذج الثالث
□$=90^0$	$Nu_{Lo}=1.274\times Ra_{LO}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=1.474\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=1.526\times Ra_{Lo}^{0.2}$
□$=145^0$	$Nu_{Lo}=1.212\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=1.422\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=1.497\times Ra_{Lo}^{0.2}$
□$=30^0$	$Nu_{Lo}=1.119\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=1.294\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=1.332\times Ra_{Lo}^{0.2}$
□$=0^0$	$Nu_{Lo}=0.949\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=0.949\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=0.949\times Ra_{Lo}^{0.2}$
□$=180^0$	$Nu_{Lo}=0.871\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=1.164\times Ra_{Lo}^{0.2}$	$Nu_{Lo}=1.222\times Ra_{Lo}^{0.2}$

ابتسام احمد حسن
امير عبد جدوع
محمد حسان جبل



1=Iron frame
2=Slide of move (left and right)
3=Slide of move (facing and back)
4= Test section (rectangular)
5=Thermocouple prop
6= Slide of move (top and bottom)
7=Digital indicator
8=Angle of move
9=Thermometer
10= Variac
11= Thermocouples
12=Selector switch
13= Multi meter
14= insulation

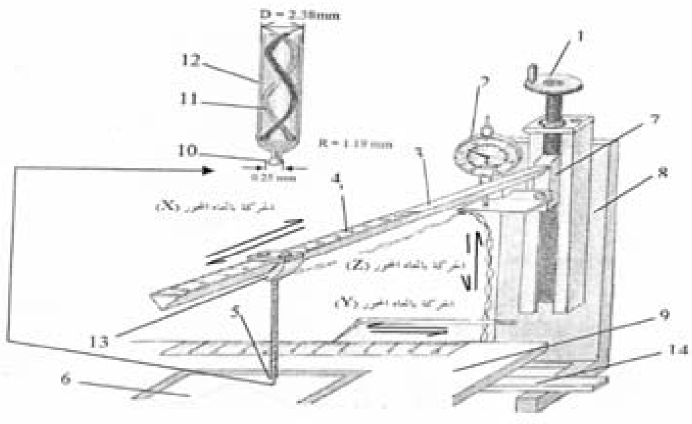
(1A) صورة للجهاز المختبري مع أجهزة القياس



4=Test section (rectangular)
15=Layers of maica
16=Heaters
17=Thermocouples

(1B) شكل تخطيطي لمكونات النماذج

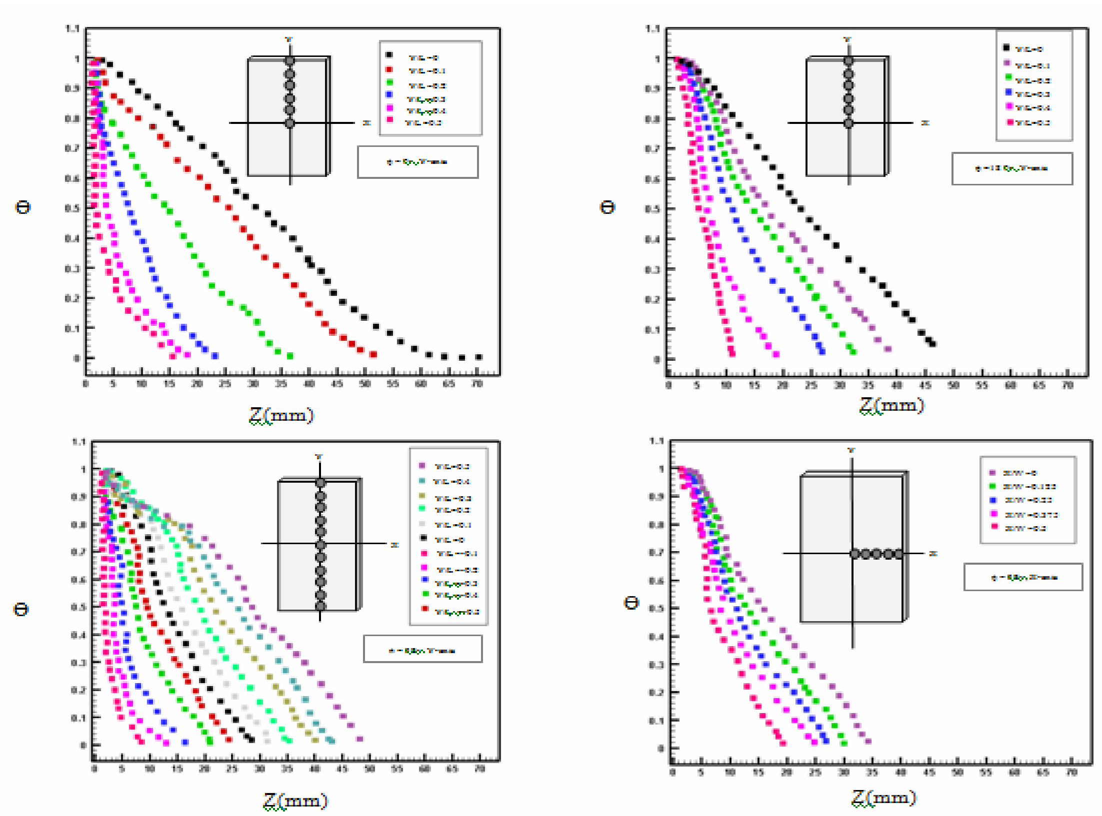
1 رافع لولبي	8 حامل معدني
2 مدرج القيفل	9 سطح خشبي ممتد
3 ذراع فولاذي	10 اتصال المزدوج الحراري
4 مسطرة قيفل	11 اسلاك المزدوج الحراري
5 مزدوج حراري	12 انبوب بلاستيكي
6 صفيحة مستطيلة من الالمنيوم	13 منزلقة انسيابية
7 قطعة حرارية منزلقة	14 مساند معدنية



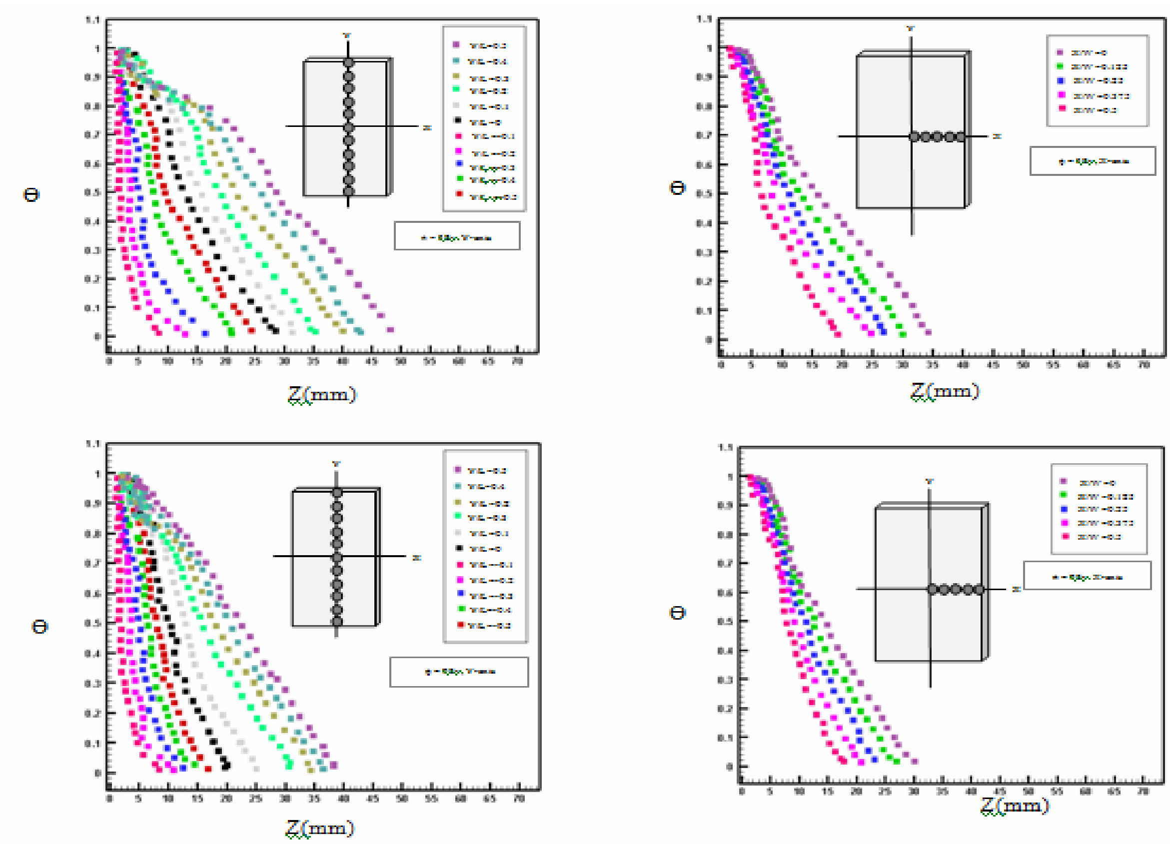
-

(1C) شكل تخطيطي للجهاز

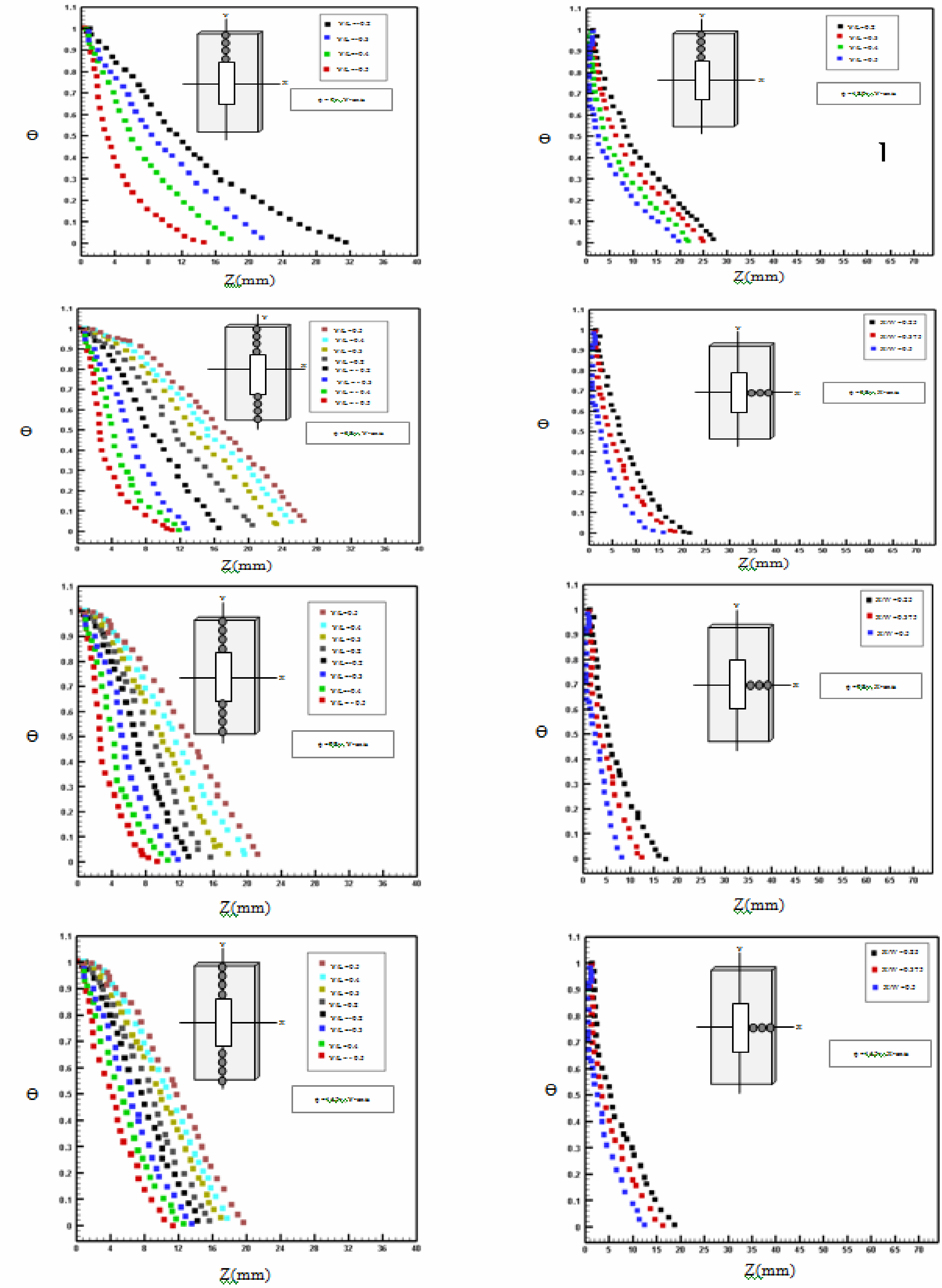
الشكل (1) يوضح أجزاء الجهاز المختبري المستخدم لأجراء القياسات الخاصه بالبحث



الشكل(2) توزيع درجة الحراره فوق سطح الأنموذج ولعدد كراشوف $Gr_{Lo}=1.632\times10^{6}$

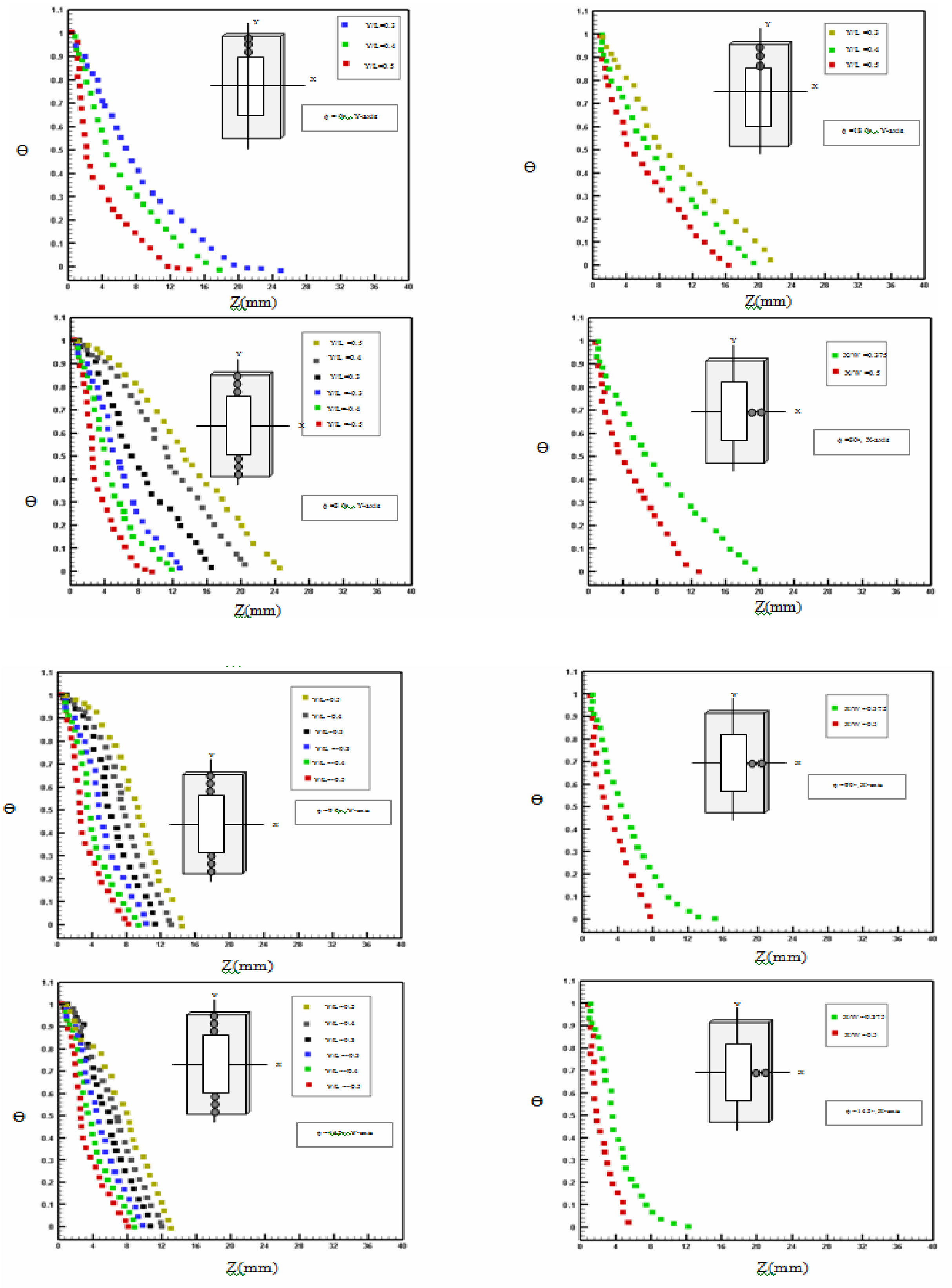


ابتسام احمد حسن
امير عبد جدوع
محمد حسان جبل



الشكل(3) توزيع درجة الحراره فوق سطح الأنموذج ولعدد كراشوف

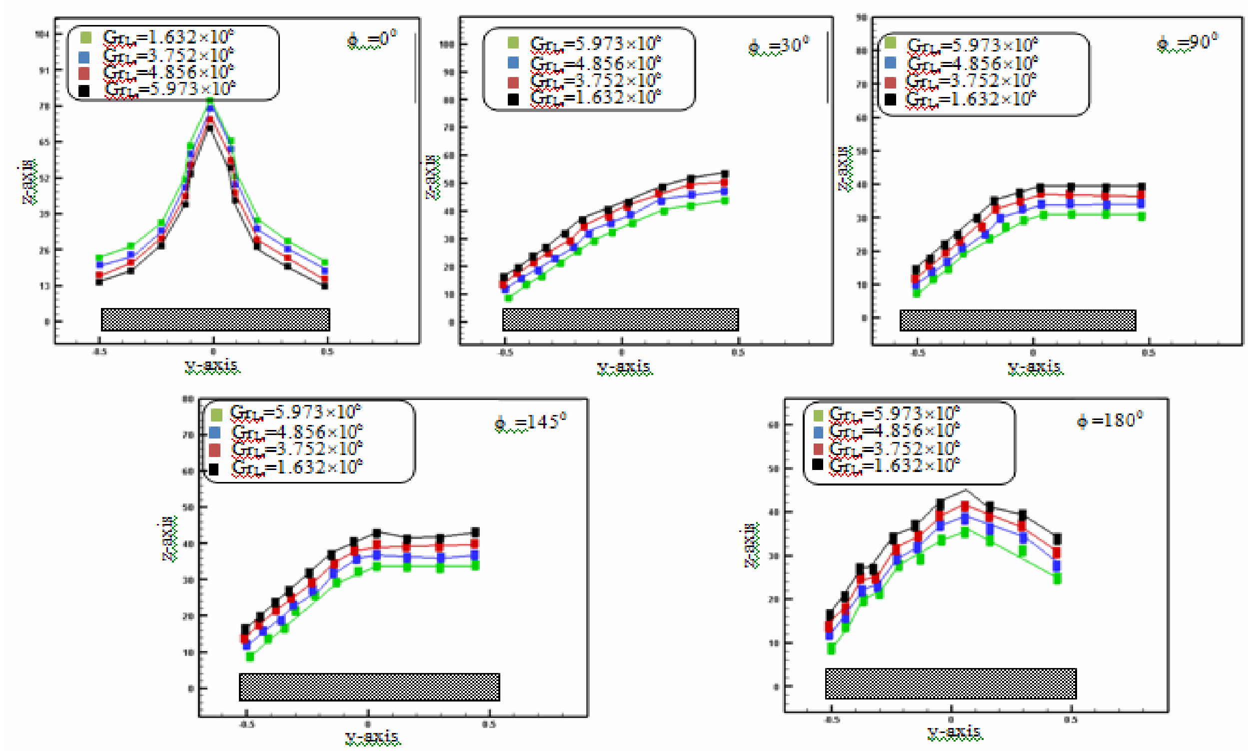
$Gr_{Lo}=1.632\times10^{6}$



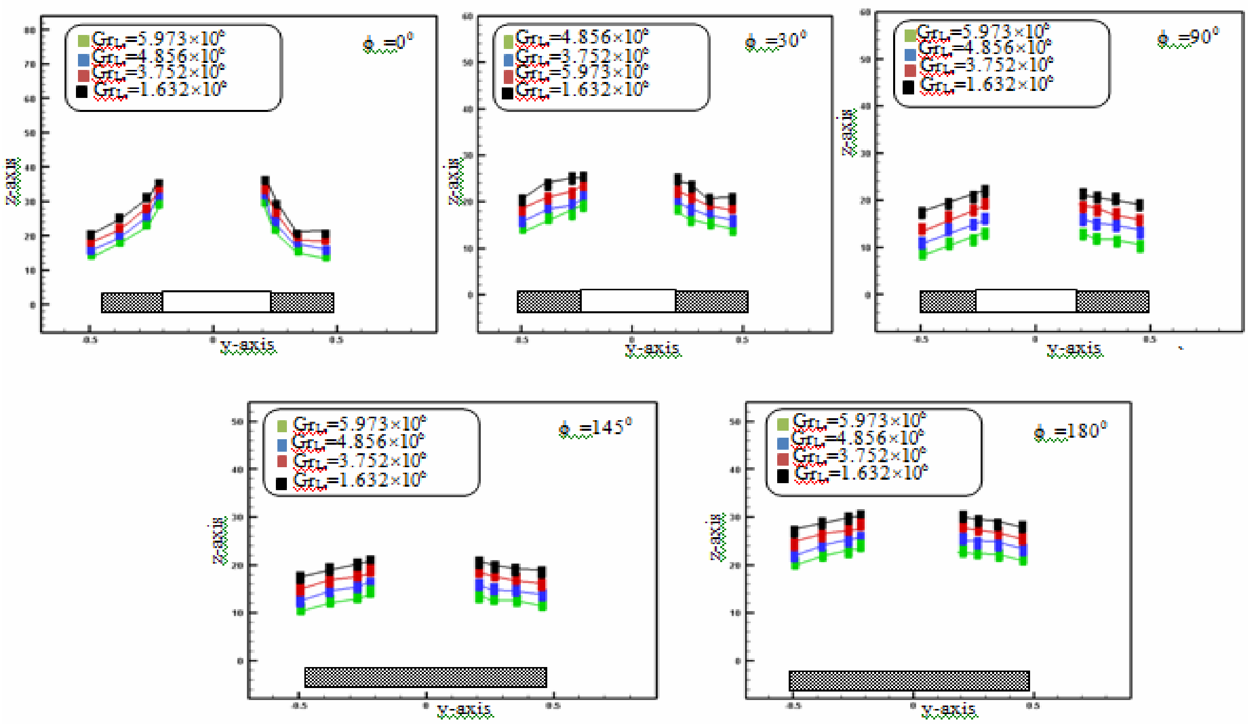
الشكل(4) توزيع درجة الحراره فوق سطح الأنموذج ولعدد كراشوف

$Gr_{Lo}=1.632\times10^{6}$

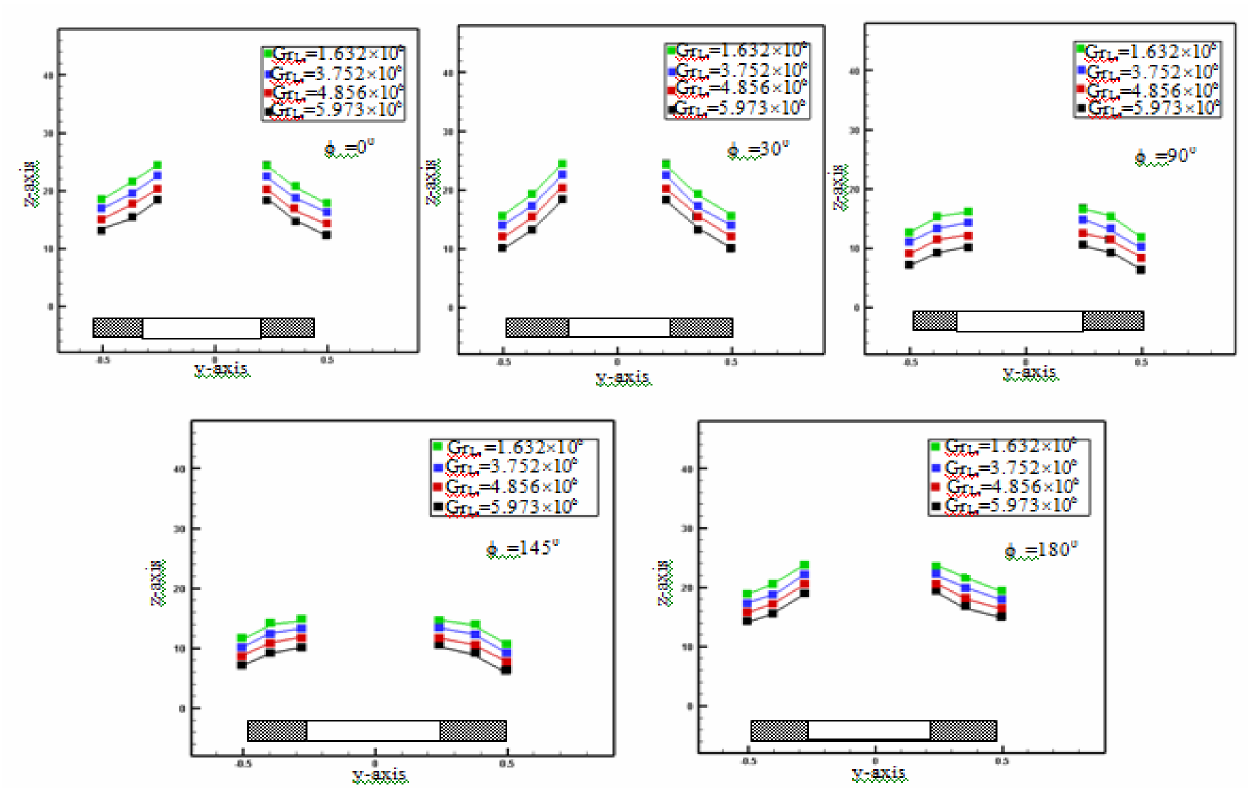
ابتسام احمد حسن
امير عبد جدوع
محمد حسان جبل



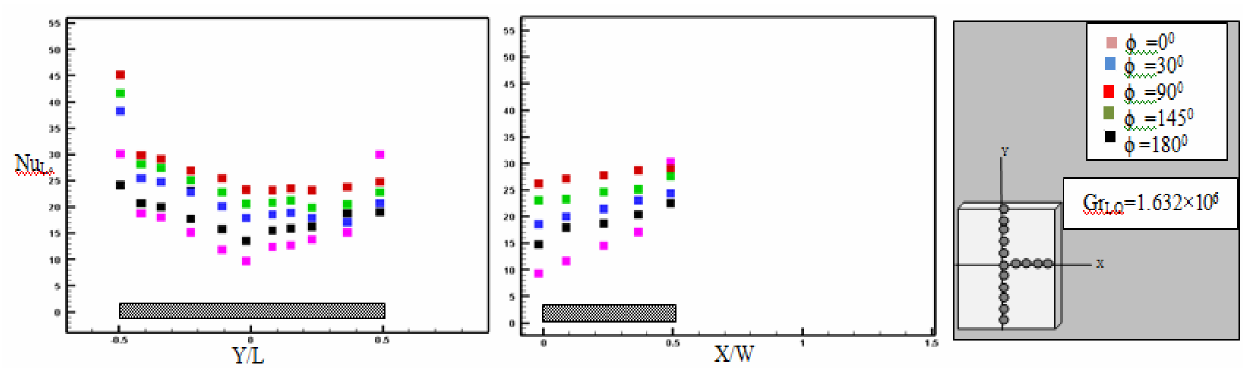
شكل(5) سمك الطبقة المتاخمة الحرارية المقاس عملياً فوق سطح الأنموذجالأول ولأرقم كراشوف مختلفة



شكل(6) سمك الطبقة المتاخمة الحرارية المقاس عملياً فوق سطح الأنموذج الثاني ولأرقم كراشوف مختلفة

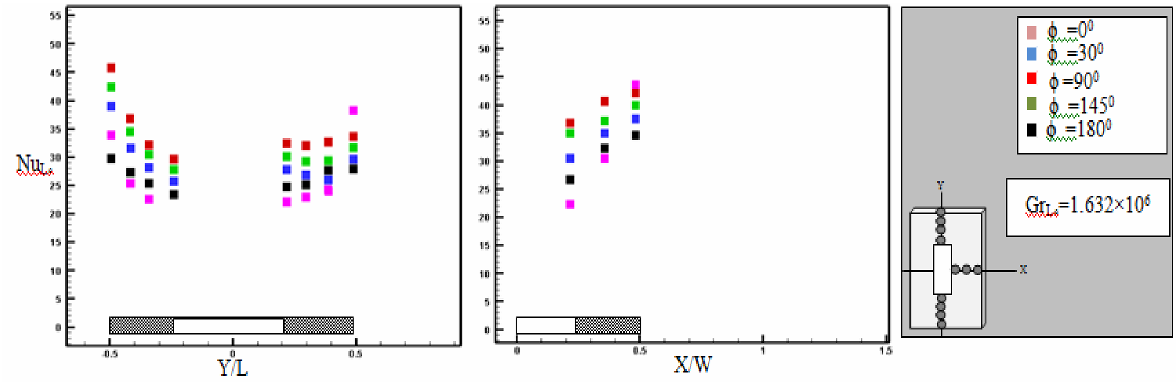


شكل(7) سمك الطبقة المتاخمة الحرارية المقاس عملياً فوق سطح الأنموذج الثالث ولأرقم كراشوف مختلفة



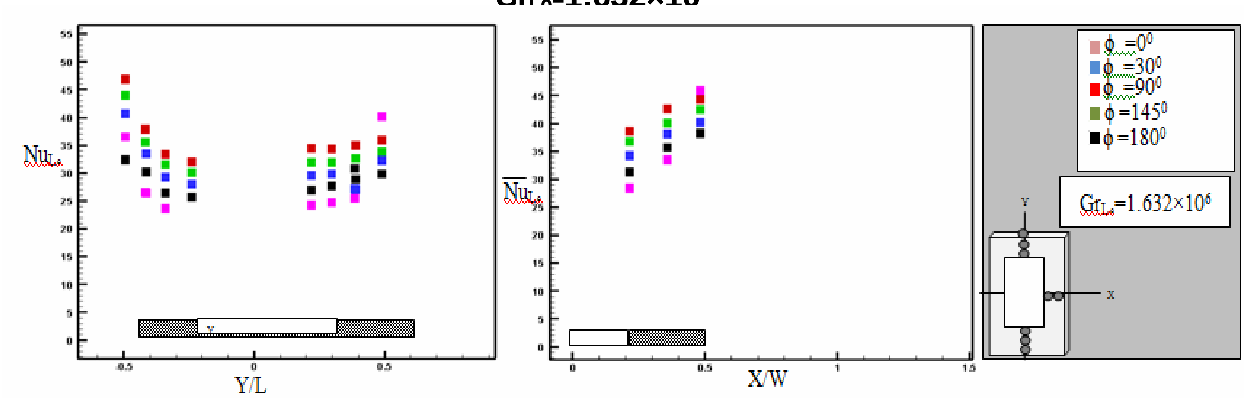
شكل(8) توزيع رقم نسلت الموضعي فوق سطح الأنموذج الأول ولعدد كراشوف

$Gr_{Lo}=1.632\times10^{6}$



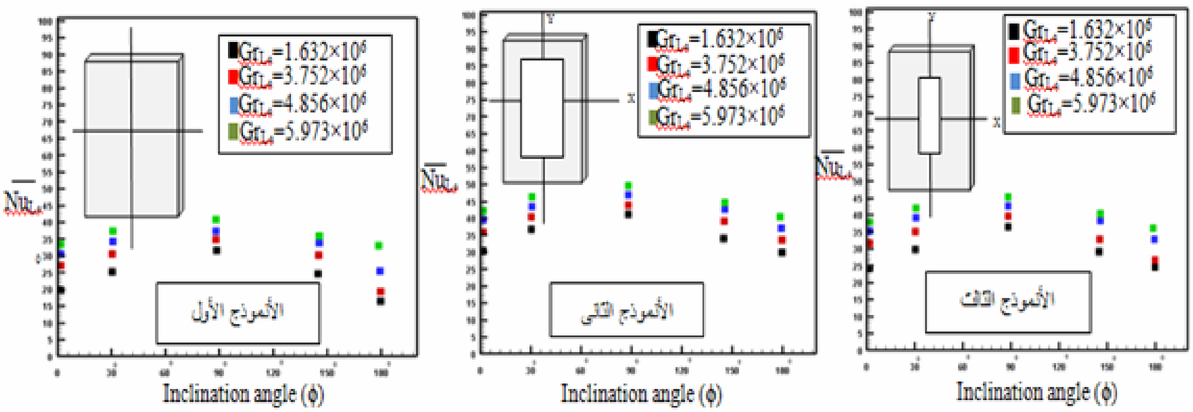
شكل(9) توزيع رقم نسلت الموضعي فوق سطح الأنموذج الثاني ولعدد كراشوف

Gr_{Lo}=1.632×10^6

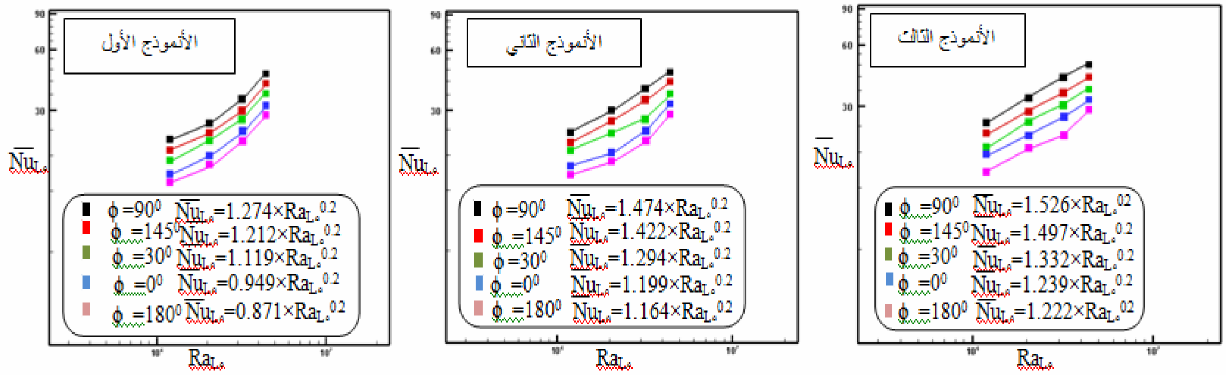


شكل(10) توزيع رقم نسلت الموضعي فوق سطح الأنموذج الثالث ولعدد كراشوف

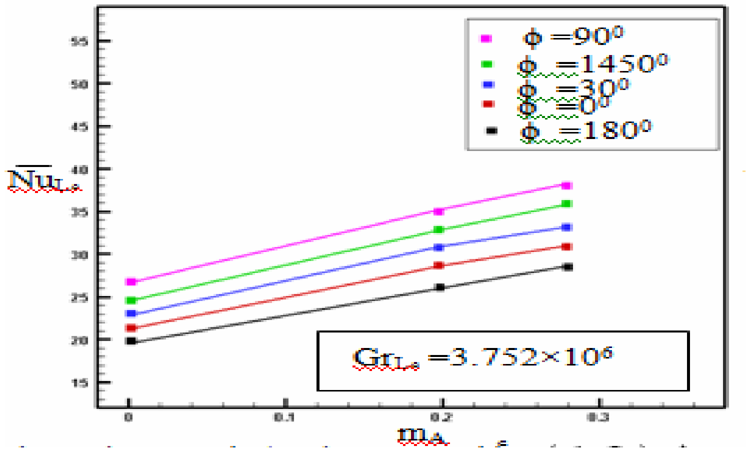
$Gr_{Lo=}$1.632×10^6



شكل(11) تأثير زاوية الميل عن الأفق على متوسط رقم نسلت للأنموذج الاول والثاني والثالث

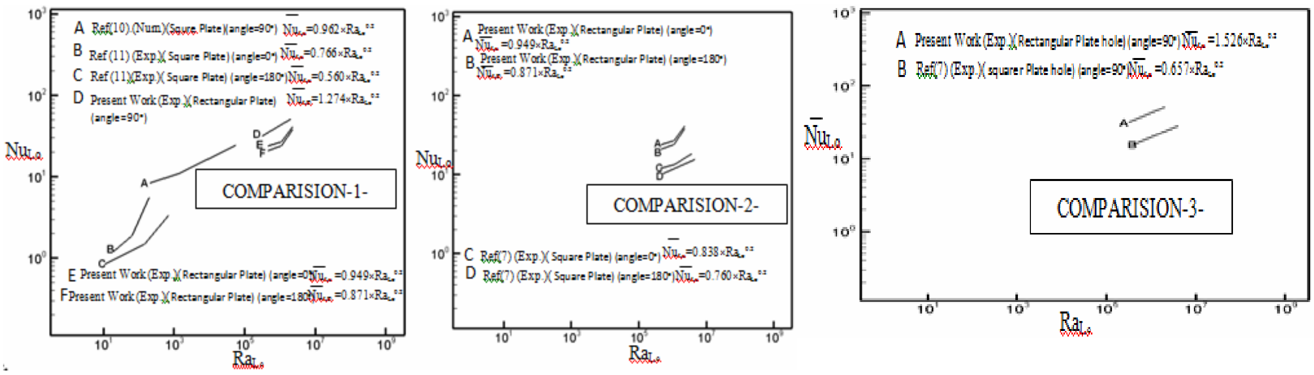


شكل(12) علاقة متوسط رقم نسلت مع رقم رالي للأنموذج الاول والثاني والثالث



.

شكل(13) تاثير نسبة التثقيب(m_A)على متوسط رقم النسلط



الشكل (14)(1، 3&2)مقارنة متوسط رقم نسلت مع دراسات عملية وعدديه سابقة