دراسة عملية لأنتقال الحرارة بالحمل الحر من لوح اسبستي مستوي [+]

EXPERIMENTAL STUDY OF NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER COEFFICIENT FROM FLAT ASBESTOSE-CEMENT

كفاح حامد هلال [*] عبد الامير داخل زيدان [**] قيس يوسف محمود [**]

المستخلص

يتضمن البحث الحالي دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من لوح اسبستي مستوي يستخدم في البناء والتسقيف ، تم تصنيع جهاز مختبري لاجراء التجارب على لوح بأبعاد (0.45 * 0.45m) مصنوع من مادة الاسبست وجهه المسخن الى الاعلى وبمستويات فيض حراري (W/m^2 87 , 252 , 607 , 1111) وزوايا ميل (0^0 , 15^0 , 30^0 , 45^0)عن العمود .

استخدم الهواء كوسط ناقل للحرارة وايجاد معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر الموضعي والمتوسط وتأثرهما بتغيير الفيض الحراري وزاوية الميل عملياً وبينت النتائج ازدياد معامل انتقال الحرارة بالحمل الموضعي بزيادة الفيض الحراري وزيادة زاوية الميل عن العمود .

وان كمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع كانت بنسبة عالية (93% - 55) من الفيض الحراري المسخن للوح ، اما الحرارة المنتقلة بالحمل الحر تكون بنسبة (4.59% – 45) من الفيض الحراري . تم الحصول على العلاقة التالية بين رقم نسلت الموضعي ورقم رالي الموضعي ولمدى $1 * 10^8 < Ra_x < 3 * 10^8$

$$Nu_x = 1.34 (Ra_x)^{0.179}$$

Abstract:

Natural convection heat transfer from flat asbestose – cement sheet which used in roofing and building constructions was studied experimentally. With air as the working fluid , the effects of heat flux and inclination angle on the local and average heat transfer coefficients were examined . The asbestos cement (0.45 * 0.45m) which heated surface facing upwards , was subjected to constant heat flux at arrange (1111 , 607 , 252 , 87 W/m^2) and the experimental study was done with a range of inclination angles (0^0 , 15^0 , 30^0 , 45^0) from vertical . Results show that the local heat transfer coefficient increase with increasing of heat level or increasing the angle of inclination , Radiation heat transfer take place at (55 – 93%) percent from heat flux which provided to asbestose – cement sheet and convection heat transfer at (45 – 4.59%) percent . The relation between local Nusselt number and local Rayliah number which obtained from experimental results is :

$$Nu_x = 1.34 (Ra_x)^{0.179} \qquad 1 * 10^8 < Ra_x < 3 * 10^8$$

Keywords : Natural convection , Flat sheet , Asbestose- cement

---

[+] تاريخ استلام البحث ٢٠١٠/٧/٤ ،تاريخ قبول النشر ٢٠١١/٤/٧ .

[*] استاذ مساعد/ معهد تكنولوجيا/بغداد

[**] مدرس مساعد/ معهد تكنولوجيا/بغداد

المقدمـــة:

تستخدم السقوف عادة لحماية الابنية من التأثيرات المناخية المحيطة بها ولتقليل الفقدان الحراري من المحـــيط الى الداخل او بالعكس ، هناك انواع مختلفة من السقوف حسب نوع الابنية منها الواح الاسبست السمنتية التي تـــستخدم في التسقيف والبناء لغرض تقليل الحمل الحراري للتدفئة او التبريد وبذلك تقليل كلفة الطاقة المستهلكة للتكييف لكـــون مسألة ترشيد الطاقة من الامور المهمة في الوقت الحاضر [1,2] .

ان انتقال الحرارة خلال هذه الاسطح يتأثر بمعامل انتقال الحرارة بالحمل الحر بين السطح والهواء المحيط به والذي يعتمد على عدد من العوامل منها الفرق في درجات الحرارة ومساحة وخشونة سطح السقف [٣] .

تم دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر لسطح مستوي بعدد كبير من البحوث العملية ، حيث اجرى الباحث [٤] تجارب عملية على صفيحة من الفولاذ بأبعاد (1.2 x 0.9m) سطحها العلوي مسخن واجريت التجارب علـــى المـــاء والهواء كأوساط ناقلة للحرارة وبفيض حراري ثابت ولزوايا ميل (30^0 , 45^0 , 60^0 , 75^0 , 85^0) عن الافـــق ولقـــيم رالي $Ra_x < 10^{16}$. كذلك اســـتخدمت صفيحـــة مـــن ســـبيكة البـــراص مـــن قبل الباحث [٥] ولمدى رقم رالـــي $10^6 < Ra_x < 10^{11}$. وبالابعاد (1cm * 15 * 30) و (1cm* 15 * 15) وجهها المسخن مرة الى الاعلى واخرى الى الاسفل ولشرطي ثبوت الفيض الحراري ودرجة حرارة السطح .

اما الباحث [٦] فقد قام بدراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر بأستخدام صفيحة من مـــادة (phenolic) بأبعـــاد (1 x 0.61m) والماء كوسط ناقل للحرارة في حوض أبعاد (1.83m * 1.83 * 0.76) ثم تـــسخين الوجـــه الـــسفلي كهربائياً بفيض حراري ثابت ، وقد استنتج ان تأثير الحافة (Leading Edge) على توزيعات درجة الحرارة تعتمـــد على رقم كراشوف الموضعي وعلى درجة حرارة السطح وزوايا الميل . كذلك درس الباحث [٧] عملية الحمل الحر من سطح سفلي لصفيحة مربعة (25 cm) في الهواء وفي الماء وتوزيع درجات الحرارة على الـــسطح ولحـــالات وجـــود استطالات معزولة وحالات بدون هذه الاستطالات .

مما سبق نلاحظ ان جميع البحوث التي تم من خلالها دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر لم تـــستخدم الـــواح الاسبست السمنتية على الرغم من استخدامها بكثرة في التسقيف والبناء لذلك فقد تم في هذا البحث ايجاد معامل انتقـــال الحرارة بالحمل الحر الموضعي والمتوسط لصفيحة من الاسبست مسخنة من الاسفل بفيض حراري ثابت ولمدى رالي ($1 * 10^8 < Ra_x < 3 * 10^8$) ، واستخدام الهواء كوسط ناقل للحرارة ولزوايا الميل تتراوح بين (0^0) و (45^0) عـــن العمود لكون اغلب استخدامات هذه الالواح في البناء تكون عمودية و في السقوف اما افقيـــة او مائلـــة بزاويـــة 45^0 ، وايجاد معادلة بين رقم نسلت الموضعي ورقم رالي الموضعي ومقارنتهامع البحوث السابقة ومعرفة تأثير زاوية الميل .

الجانب العملي:

تم تصنيع نموذج مختبري كما في الشكل (١) يتكون من سطح للتبادل الحراري وهـــو لـــوح مـــستوي مـــن الاسبست والمستخدم عادة في البناء والتسقيف بأبعاد (45cm * 45cm * 0.6cm) ولمعرفة توزيع درجات الحـــرارة عليه استخدمت مزدوجات حرارية من نوع (نحاس – كونستنتان Type(T)) ،تمت معايرتها بأستعمال محرار زئبقي فقد وضع الجزء الحساس للمزدوج الحراري(Thermal junction) مع بصلة المحرار الزئبقي في أناء يحتوي علـــى جريش الثلج المأخوذ من الماء المقطر واخذت القراءة عند(0 ºC) واخذت قراءتهما مرة اخرى في الماء المقطرعنـــد (100 ºC)ويوضح الشكل(٢) نتائج المعايرة لاحدى المزدوجات الحرارية المستخدمة في البحث. تم توزيع المزدوجات

الحرارية على السطح بأكمله وبمسافة (5 cm) بين مزدوج وآخر بالاتجاه الطولي الوسطي للسطح والاتجاه العمودي عليه ، (١١) مزدوج بالاتجاه الطولي و (١١) مزدوج على بعد مسافة (2.5 cm) من الحافة الامامية وكذلك (١١) على بعد مسافة (22.5 cm) ومسافة (42.5 cm) من الحافة الامامية ايضاً (شكل (٣)) .

ثقب لوح الاسبست من الاسفل بثقوب غير نافذة وبعمق (4mm) تقريباً لغرض تثبيت نهاية المزدوجات الحرارية فيه وقياس درجات حرارة سطح التبادل الحراري وهو السطح العلوي للوح الاسبست وتم لف شريط اسبستي بعرض (1 cm) على المزدوجات الحرارية لحمايتها من الحرارة المتولدة من المسخن .

وسخن لوح الاسبست من الاسفل بلف سلك مقاوم من النيكل كروم طوله (6 m) وبقطر (1 mm) ومقاومته ($10\Omega/m$) بانتظام حول لوح من الاسبست مماثل لسطح التبادل الحراري وبخطوات متساوية مقدارها (1/4 لفة / cm) تقريباً وبواقع (١٢) لفة ، يتم تجهيز الطاقة الكهربائية الى المسخن عن طريق محولة متغيرة (Variac) للسيطرة على التيار الكهربائي المجهز وامكانية توفير مدى واسع من قيم الفيض الحراري ، اما قيمة التيار فيتم قياسها بواسطة الاميتر كذلك يربط مقياس فولتية (فولتميتر) على التوازي لقياس الفولتية المجهزة للمسخن ولغرض الحفاظ على استقرار الفولتية وعدم تذبذبها يربط مصدر القدرة الرئيسي بجهاز تثبيت الفولتية (Stabilizer) .

وقد عزل سطح التبادل الحراري من الجهة الخلفية بطبقتين من الزجاج بسمك (0.6 cm) لكل منهما ووضع بعد ذلك صوف زجاجي بسمك (10 cm) لتقليل الحرارة المنتقلة بالتوصيل من الجهة الخلفية ولمعرفة كمية هذه الحرارة المنتقلة وضعت ثلاثة مزدوجات حرارية عند الطبقة الاولى من الزجاج وثلاثة مزدوجات حرارية اخرى بعد طبقة الصوف الزجاجي .

تم تثبيت الاجزاء السابقة داخل اطار خشبي وضع على مسند قابل للحركة ومثبت على حامل ولقياس زاوية الميل ثبتت منقلة على هيكل الحامل الذي تم التأكد من الوضع الافقي والقائم بواسطة استخدام ميزان فقاعة ، ولغرض تجنب التيارات الهوائية وضع الجهاز المختبري ضمن حيز مغلق بأبعاد (2m x 2m x 1.5m) وذلك لمنع التيارات الهوائية من التأثير على انتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح الاختبار .

ولقياس درجة حرارة الهواء المحيط بسطح الاختبار تم وضع مزدوجين حراريين ومحرار زئبقي داخل الحيز المغلق .

قبل اجراء التجارب العملية تم معايرة المزدوجات الحرارية المستخدمة في الجهاز واجراء عدد من التجارب الاولية لمعرفة فترة وصول سطح الاختبار الى حالة الاستقرار والتي لوحظ انها تتغير حسب زاوية الميل ومستوى الفيض الحراري وبصورة عامة يزداد الوقت اللازم للوصول الى الحالة المستقرة بزيادة مستوى الفيض الحراري وزاوية ميل نموذج الاختبار وكذلك التأكد من فاعلية الصوف الزجاجي بتقليل الخسائر بالتوصيل من الجهة الخلفية لسطح الاختبار الى اقل ما يمكن .

الحسابات العملية:

هناك نوعين من الحسابات العملية التي تم اجراؤها في هذا البحث وهي : الحسابات الموضعية التي تجري على مساحة معينة من سطح التبادل الحراري وبمسافة مقدارها (5 cm) بالاتجاه الطولي لسطح الاختبار (أي ما يعادل 2.5 cm على جانبي كل مزدوج حراري) . اما بالاتجاه العرضي فقد تم اختبار مسافة مقدارها (40 cm) من عرض

سطح الاختبار (45 cm) أي اهمال مسافة (2.5 cm) من كل جانب على الامتداد العرض لسطح الاختبار كذلك تم اختيار مسافة (40 cm) على الاتجاه الطولي للتخلص قدر المستطاع من تأثير تيارات الهواء الجانبية لسطح الاختبار .

كمية الحرارة المتولدة في المسخن = الحرارة المنتقلة بالحمل الحر من سطح الاختبار + الحرارة المنتقلة بالاشعاع + الحرارة المنتقلة بالتوصيل عبر طبقتي الزجاج والصوف الزجاجي (الجهة الخلفية لسطح الاختبار) + الحرارة المنتقلة بالتوصيل خلال سمك طبقة الاسبست (بالاتجاه الموازي لاتجاه حركة الهواء) .

$$q_{gen} = I^2 R \qquad \text{-------- (1)}$$

اما الحرارة المتولدة خلال مساحة معينة من سطح الاختبار

$$q_{gen\ x} = \frac{I^2 R}{A_T} * a_x \qquad \text{-------- (2)}$$

يمكن حساب كمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع من المعادلة

$$q_{rad} = \varepsilon\sigma\ a_x F_{xa}(T_x^4 - T_a^4) \qquad \text{-------- (3)}$$

حيث

ε الانبعاثية لسطح الاسبست وتساوي (0.96) حسب المصدر [٨]

F_{xa} معامل الشكل بين سطح الاسبست (المساحة الموضعية) والمحيط ويساوي واحد لكبر مساحة المحيط وصغر المساحة الموضعية .

a_x المساحة الموضعية ($a_x = y \,.\, W_1 = 200\ cm^2$)

بأستخدام قانون فورير لانتقال الحرارة بالتوصيل تحسب الحرارة المنتقلة خلال سمك طبقة الاسبست بسبب عدم تساوي درجات حرارة المساحات الموصفية المتجاورة وكما مبين بالشكل (٤) [٩]

$$q_{cond1} = q_1 + q_2$$

$$q_{cond1} = W_1 D K_{asb} \frac{(T_x - T_{x+1})}{y} + W_1 D K_{asb} \frac{(T_x - T_{x-1})}{y}$$

$$q_{cond1} = \frac{W_1 D K_{asb}}{y} (2T_x - T_{x+1} - T_{x-1}) \qquad \text{-------- (4)}$$

حيث :

K_{asb} = معامل التوصيل الحراري للاسبست ($0.74\ W/m.^0C$) [١١]

D = سمك الاسبست (6 mm)

y = المسافة بين مزدوج واخر (5 cm)

W_1 = عرض لوح الاسبست (40 cm)

اما الحرارة المنتقلة عبر طبقتي الزجاج والصوف الزجاجي وبأتجاه عمودي على اتجاه جريان الهواء فقد وضعت ثلاث مزدوجات حرارية قبل وضع طبقة الزجاج الاولى ومعدل قراءة هذه المزدوجات تكون (T_{W1}) كذلك وضعت ثلاث مزدوجات حرارية من الجهة الخلفية للصوف الزجاجي ومعدل قراءتها (T_{W2}) وعليه تكون معادلة فورير لانتقال الحرارة بالتوصيل هي كما في الشكل (٥)

$$q_{cond2} = y W_1 \frac{(T_{W1} - T_{W2})}{\frac{D_1}{K_{glass}} + \frac{D_1}{K_{glass}} + \frac{D_2}{K_{ins}}} \qquad \text{--------- (5)}$$

حيث

D_1 = سمك لوح الزجاج (6 mm)

D_2 = سمك الصوف الزجاجي (10 cm)

K_{glass} = معامل التوصيل الحراري للزجاج (0.78 W/m.^{0}C) [١١]

K_{ins} = معامل التوصيل الحراري للصوف الزجاجي (0.038 W/m.^{0}C) [١١]

لذلك فأن كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر يمكن حسابها من :

$$q_{gen\,x} = q_{conv\,x} + q_{rad\,x} + q_{cond\,1} + q_{cond\,2} \qquad \text{-------- (6)}$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر الموضعي يكون

$$h_x = \frac{q_{conv\,x}}{a_x (T_x - T_a)} \qquad (W/m^2.k^0) \qquad \text{-------- (7)}$$

اما المجاميع اللابعدية التي تم حسابها في البحث :

$$Nu_x = \frac{h_x W_1}{K_f}$$ رقم نسلت الموضعي -------- (8)

$$Gr_x = \frac{gB(T_x - T_a)\, W_1^3}{\upsilon^2}$$ رقم كراشوف الموضعي -------- (9)

$$Ra_x = Gr_x \,.\, pr$$ رقم رالي الموضعي ------- (10)

$$pr = \mu \cdot Cp / k$$ رقم برانتل ------- (11)

استخدمت درجة حرارة الغشاء (film temperature) لحساب المجاميع اللابعدية السابقة :

$$T_f = \frac{T_x + T_a}{2}$$

ولحساب متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر (h_{av}) :

$$h_{av} = \frac{1}{L_1} \int_0^{L_1} h_x \, dx \qquad \text{-------- (12)}$$

حيث وجدت قيمة التكامل لمعامل انتقال الحرارة بالحمل الحر الموضعي المحسوبة سابقاً واعتمدت هذه القيمة لايجاد المجاميع اللابعدية (Nu) ، (Ra) و (Gr) لسطح التبادل الحراري بأكمله .

المناقشة:

تم اجراء (١٦) تجربة لمستويات مختلفة من الفيض الحراي (87 W/m^2 , 252 , 607 , 1111) ولزوايا ميل (0^0 , 15^0 , 30^0 , 45^0)عن العمود ، وتم أخذ القراءات بعد الوصول الى حالة الاستقرار والتي تتراوح بين (٦-٨) ساعة فكانت النتائج كالتالي :

الشكل (٦) يبين توزيع درجات الحرارة على لوح الاسبست بتغيير الفيض الحراري وثبوت زاوية الميل حيث يلاحظ زيادة درجة الحرارة بزيادة الفيض الحراري لزاوية ميل معينة . عند زاوية ميل (0^0) وفيض حراري معين تكون اعلى درجة حرارة عند (L_x = 22.5 cm) تقريباً وبزيادة زاوية الميل بتغيير موقع اعلى درجة حرارة حيث

يزداد (L_x) لاعلى درجة حرارة بزيادة زاوية الميل زيادة طفيفة . تتفاوت كمية الحرارة المنتقلة من مركز السطح بأتجاه الحافة التي يكون عندها اكبر كمية من الفيض الحراري المنتقل أي اقل درجة حرارة على السطح بسبب تأثير الحافة (Edge effect)الذي يؤدي الى ازدياد معدل حركة المائع واندفاع بعض جزيئاته الساخنة بعيدا عن النموذج ويقل تأثير الحافة على توزيع درجات حرارة السطح بأنخفاض مستوى الفيض الحراري لزيادة كمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع نسبة الى الحرارة المنتقلة بالحمل .

يبين الشكل (٧) توزيع درجات الحرارة على سطح الاختبار بثبوت الفيض الحراري و لزاوية الميل ($0^0 - 45^0$) ، نجد انه بصورة عامة انخفاض في درجات حرارة سطح الاختبار (أي زيادة كمية الفيض الحراري المنتقل) بزيادة زاوية الميل عن العمود ،لانه كما معروف فأنه في الوضع الافقي تكون كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر اعلى مايمكن وذلك لكون قوة الطفو الكلية المسببة لتيارات الحمل والمعتمدة اساساً على التغيير في كثافة المائع هي الفعالة وتقل هذة القوة بزيادة زاوية الميل عن الافق لكون مركبة قوة الطفو الفعالة والتي هي بالتاكيد اقل من القوة الكلية.

ومن النتائج العملية التي تم التوصل اليها ان كمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع تكون تقريباً (54.46%) من الحرارة الكلية المتولدة عند اقل قيمة لها و (79.8%) عند اعلى قيمة لها عندما يكون الفيض الحراري المجهز ($Q = 1111 W/m^2$) . بينما تكون كمية الحرارة المنتقلة بالحمل اقل من الحرارة المنتقلة بالاشعاع وتكون بنسبة (٤٥%) عند اعلى قيمة لها و (٢٠%) عند اوطىء قيمة لها لنفس الفيض الحراري المعتمد ، وهذا يعود الى معامل الانبعاثية العالي للوح الاسبست ($\varepsilon = 0.96$) [١١] ، اما الحرارة المنتقلة بالتوصيل فتكون قليلة جداً ونسبتها (0.79%) من الفيض الحراري أي لا تذكر مقارنة بكمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع والحمل وكما مبين في الشكل (8-A) .

وعند تقليل الفيض الحراري المجهز الى ($87 \ W/m^2$) نلاحظ ان اغلب الحرارة المجهزة تنتقل بالاشعاع ونسبتها (٩٣%) اما الحرارة المنتقلة بالحمل الحر والتوصيل قليلة جداً ونسبتها (4.59% , 2.29%) على التوالي وكما مبين في الشكل (8-B) .

مما سبق نستنتج ان لوح الاسبست يعتبر باعث جيد للحرارة بالاشعاع عند جميع مستويات الفيض الحراري المستخدمة وتزداد نسبتها بنقصان الفيض الحراري بحيث تصبح تقريباً مساوية له عند المستويات القليلة .

يوضح الشكل (9) العلاقة بين المسافة ومعامل انتقال الحرارة الموضعي بالحمل الحر بثبوت زاوية الميل وتغيير الفيض الحراري حيث يزداد معامل انتقال الحرارة الموضعي بزيادة الفيض الحراري وللزوايا المختلفة . وكذلك يزداد الفيض الحراري عند جانبي لوح الاسبست بينما يصل الى اقل قيمة في وسط اللوح وذلك بسبب التأثيرات الجانبية للهواء (تأثير الحافة Edge effect) . معامل انتقال الحرارة الموضعي المحسوب للفيض ($Q = 87 W/m^2$) يكون قليل جداً لا يكاد يذكر مقارنة مع المستويات الاخرى حيث ان الفيض الحراري المجهز ينتقل وبنسبة كبيرة بالاشعاع وليس بالحمل الحر او التوصيل .

يبين الشكل (10) ان معامل انتقال الحرارة الموضعي يزداد بزيادة زاوية الميل ($0 - 45^0$)عن العمود ويحدث تباين في النتائج بين زاويتي ميل ($30^0 - 45^0$) فعند فيض حراري ($1111 W/m^2$) يكون (h_x) لزاوية ميل (٤٥°) اعلى بينما عند المستويين ($252 W/m^2$, 607) يكون h_x اعلى عند جانبي سطح الاسبست لزاوية ميل (30^0) .

ومن الحسابات العملية التي تم اجراؤها ايضاً حساب متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر حيث يبين الشكل (١١) علاقة (h_{av}) مع زاوية ميل سطح الاختبار فنجد انه يزداد بزيادة مستوى الفيض الحراري المسلط وكذلك زيادة زاوية الميل .

ولأيجاد علاقة تربط رقم رالي الموضعي (Ra_x) ورقم نسلت الموضعي (Nu_x) المحسوبين من النتائج العملية تم رسم الشكل (١٢) حيث يلاحظ زيادة (Nu_x) مع زيادة (Ra_x) ولجميع مستويات الفيض الحراري المستخدمة وزوايا الميل المختلفة وبأستخدام طريقة (LEAST SQUARES METHOD) تم الحصول على العلاقة التالية :

$$Nu_x = 1.34\ (Ra_x)^{0.179} \qquad 1 * 10^8 < Ra_x < 3 * 10^8$$

ولغرض مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث مع بحوث سابقة بين الشكل نتائج السطح المستوي المحسوبة في المصدر [١٠] ومن المعادلة :

$$Nu_x = 0.55\ (Ra_x)^{0.2} \qquad 10^8 < Ra_x < 10^{13}$$

وكذلك النتائج التي تم الحصول عليها من المصدر [١٢] والمعادلة

$$Nu_x = 0.155\ (Ra_x)^{0.333} \qquad Ra_x > 4 * 10^7$$

ومن مقارنة هذه النتائج نجد ان النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث تقع بين معادلتي مصدر [١٠] و [١٢] ، وان البحث الحالي كان اعلى بنسبة(35%) عن مصدر [١٠] وذلك يعود الى انه ابعاد الصفيحة المستخدمة في [١٠] هي (7.32m * 1.83) وقد اهمل تأثير الحافة وتيارات الهواء الجانبية منها بشكل اكبر من لوح الاسبست (0.45m * 0.45) حيث اهمل مسافة (2.5 cm) من جانبي اللوح اما بين البحث الحالي ومصدر [١٢] فأن البحث الحالي اقل بنسبة (55%) عن مصدر[١٢] وتقل هذه النسبة بنقصان Ra_x والفارق سببه ان سطح التبادل الحراري في مصدر [١٢] تحت شرط ثبوت درجة الحرارة ومدى رالي $Ra_x > 4 * 10^7$ والبحث الحالي هو تحت شرط ثبوت الفيض الحراري و $1*10^8 < Ra_x < 3 * 10^8$. وبصورة عامة نجد ان نتائج البحث الحالي تقع بين نتائج البحثين [١٠] و [١٢] وكما موضح في الشكل (١٢) .

الاستنتاجات:

١- تزداد درجات الحرارة الموضعية للوح الاسبست بزيادة الفيض الحراري وثبوت زاوية الميل وايضا في حالة زيادة زاوية الميل عن العمود وثبوت الفيض الحراري .

٢- يعتبر لوح الاسبست باعث جيد للحرارة بالاشعاع عند مستويات الفيض الحراري المستخدمة وتزداد نسبتها الى (93%) بنقصان الفيض الحراري ($Q=87W/m^2$) .

٣- تكون كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر اقل من كمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع وتصل الى (45%) عند اعلى مستوى حراري مستخدم في هذا البحث .

٤- يزداد معامل انتقال الحرارة الموضعي بزيادة الفيض الحراري ولزاوية ميل معينة وكذلك يزداد بزيادة زاوية الميل وثبوت الفيض الحراري .

٥- يزداد متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر مع زيادة زاوية الميل عن العمود ومستوى الفيض الحراري .

الرموز المستخدمة:

a_x	المساحة السطحية الموضعية (m^2)
A_T	المساحة السطحية الكلية (m^2)
D	سمك الاسبست (mm)
D_1	سمك لوح الزجاج (mm)

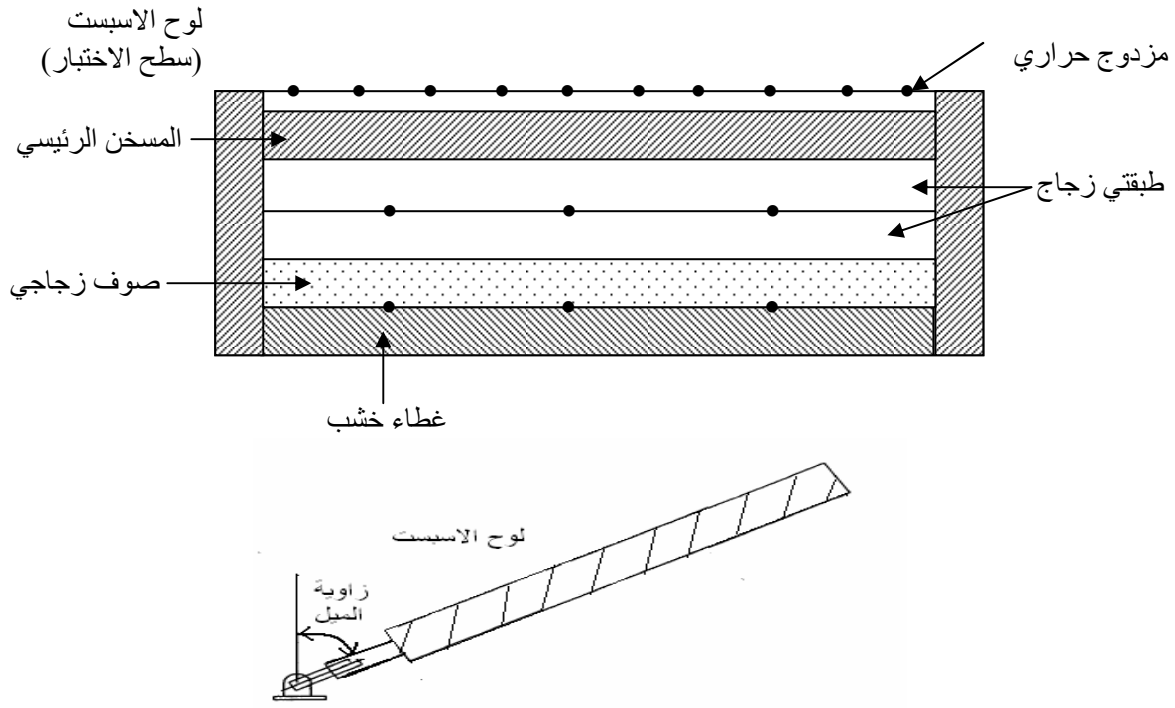
D_2	سمك الصوف الزجاجي (mm)
F_{xa}	معامل الشكل بين سطح الاسبست والمحيط
g	التعجيل الارضي (m/sec^2)
h_x	معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر الموضعي ($W/m^2.{}^0C$)
h_{av}	متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر ($W/m^2.{}^0C$)
I	التيار (Amp.)
K_{glass}	معامل التوصيل الحراري للزجاج ($W/m.{}^0C$)
K_{asb}	معامل التوصيل الحراري للاسبست ($W/m.{}^0C$)
K_{ins}	معامل التوصيل الحراري للصوف الزجاجي ($W/m.{}^0C$)
K_f	معامل التوصيل الحراري للهواء ($W/m.{}^0C$)
L_1	الطول المميز (m)
Q	الفيض الحراري الكلي (W/m^2)
$q_{gen\ x}$	الفيض الحراري الموضعي (W/m^2)
q_{rad}	كمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع (W)
q_{cond1}	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل خلال طبقة الاسبست (W)
q_{cond2}	كمية الحرارة المنتقلة بالتوصيل بشكل عمودي على طبقة الاسبست (W)
$q_{conv\ x}$	كمية الحرارة الموضعية المنتقلة بالحمل الحر (W)
R	المقاومة الكهربائية (ohm)
T_x	درجة الحرارة الموضعية (^0C)
T_a	درجة حرارة الهواء (^0C)
w_1	عرض لوح الاسبست (m)
y	المسافة بين مزدوج حراري وآخر (m)
ε	انبعاثية لوح الاسبست
B	معامل التمدد الحجمي (1/k)
σ	ثابت ستيفان بولتزمان ($W/m^2.k^4$)
υ	اللزوجة الكينماتيكية (m^2/sec)
Pr	رقم برانتل
Gr_x	رقم كراشوف الموضعي
Ra_x	رقم رالي الموضعي
Nu_x	رقم نسلت الموضعي

المصـــادر:

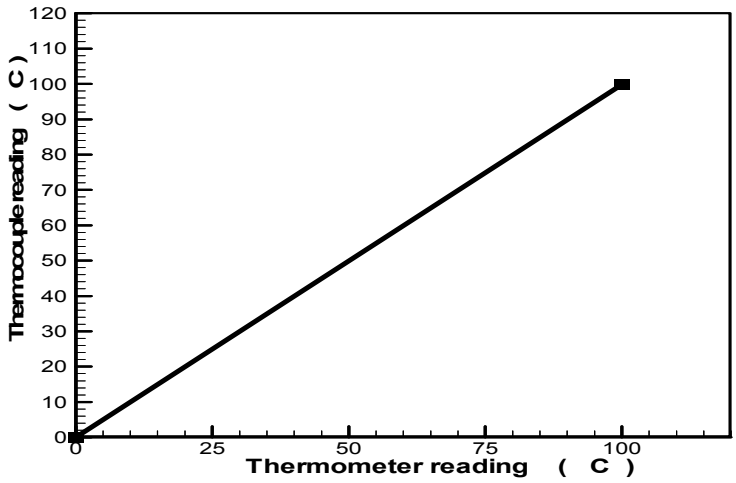
1- Koca A. , Oztap H. and varol y. , "Effects of Geometrical shape of roofs on natural convection for winter conditions" , *proceeding of clima* 2007 WellBeing Lndoors .

2- Zmrhal V. and Drkal F. , " The influence of heat convection on room air temperature " , *17th Air- Conditioning and Ventilation Conference* ,2006 .

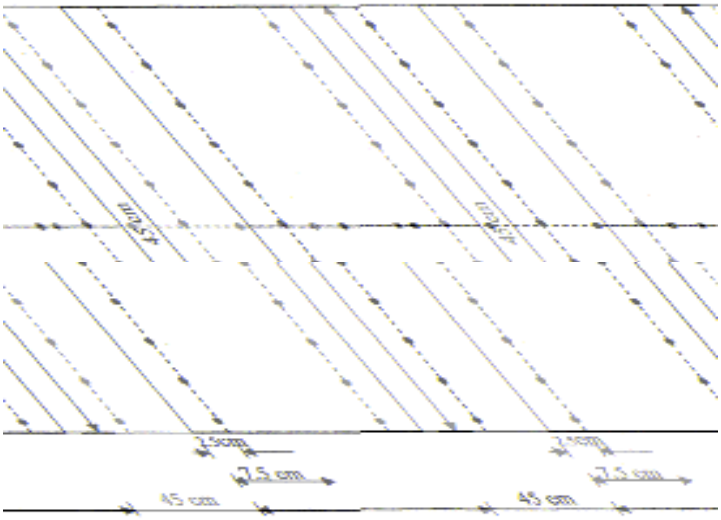
3- Clear R. , Gartlandl L. and Winkelmann F. , "An Emperical correlation for the outside convective Air film coefficient for horizontal roofs " , Environmental Energy Technologies Divison , Jannary 2001 .
4- Vliet G.C. , "Natural convection local heat transfer on constant heat flux inclined surfaces" , ASME J. of Heat Transfer , Vol. 91 , pp 511-516 , 1969 .
5- Fuji T. and Imura H. , "Natural convection local heat transfer from a plate with Arbitrary Inclination " , Int. J. Heat and mass Transfer , Vol. 15 , pp. 755 – 767 , 1972 .
6- Fussey D.E. and Warneford L.P. , "Free Convection from A Downward – Facing inclined Flat plate" , Int. J. Heat and mass Transfer , Vol. 21 , pp. 119 – 126 , 1978 .
7- Hatfield D.W. and Edwards D.K. , "Edge and aspect Ratio Effects on Natural convection from the horizontal heated plate facing Downwards", Int. J. Heat and Mass Transfer , Vol. 24 , pp. 1019 – 1024 , 1981 .
8- Yunus A. "*Heat Transfer A Practical Approach* " McGraw – Hill Book Company , 1998 .
9- Hilal K. H. " *Free convection from wary surface* " , M. Sc. Thesis , University of Technology , Baghdad – Iraq , May 1990 .
10- Vliet G. C , and Ross D.C , , "Turbulent natural convection on upward and downward facing inclined constant heat flux surfaces " , J. of Heat transfer , pp. 549 – 555 , Nov. 1975 . 11- Holman J. P. "*Heat Transfer*" , Sixth Edition , McGraw – Hill Book Company , 1986 .
12- AL- arabi M , El – reidy M. K. , "Natural convection heat transfer from isothermal horizontal plates of different shapes " , Int. J. heat & Mass transfer , Vol.19 , pp.1399 – 1404 , 1976 .



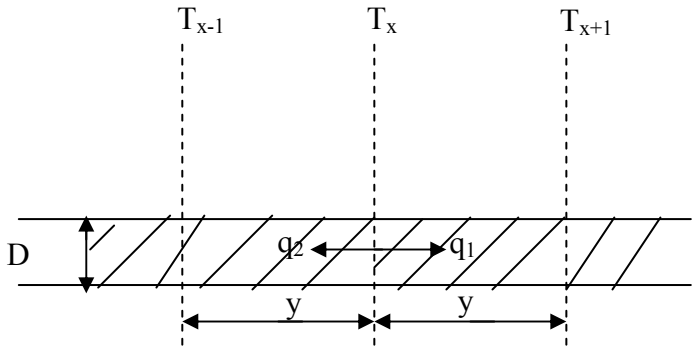
شكل (١) نموذج مختبري لسطح الاختبار



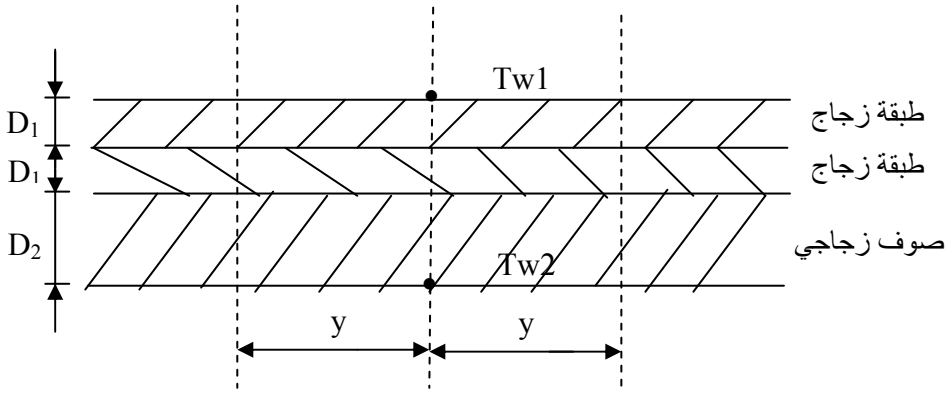
شكل (٢) معايرة المزدوجات الحرارية



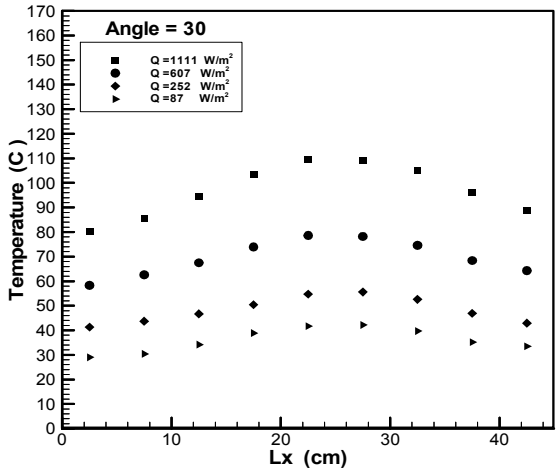
شكل (٣) توزيع المزدوجات الحرارية على السطح بأكمله



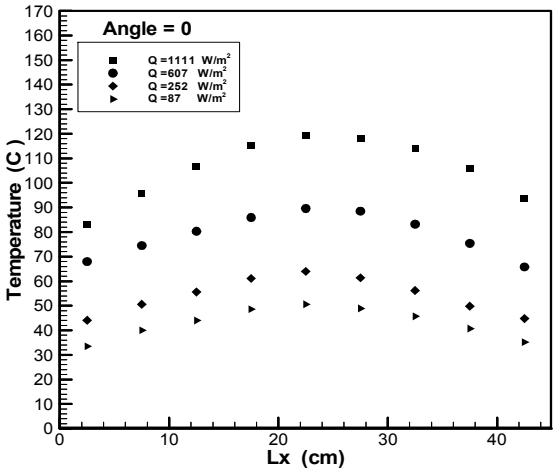
شكل (٤) يوضح الحرارة المنتقلة بالتوصيل خلال سمك لوح الاسبست



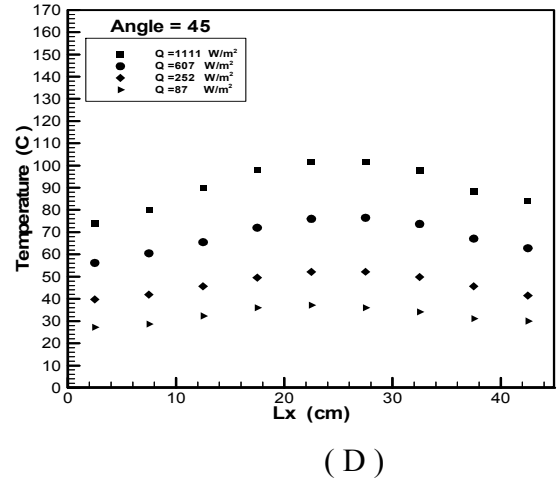
شكل (٥) انتقال الحرارة بالتوصيل بأتجاه عمودي



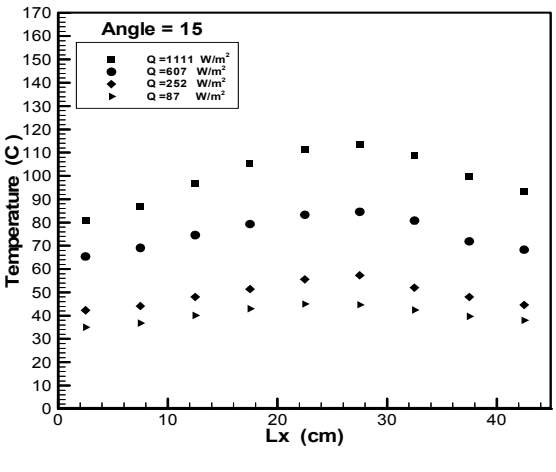
(C)



(A)

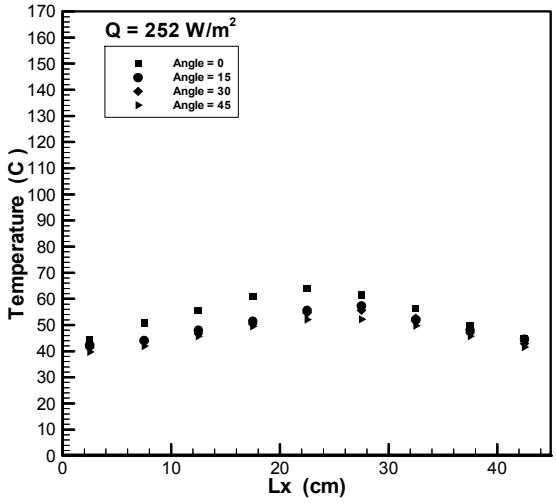


(D)

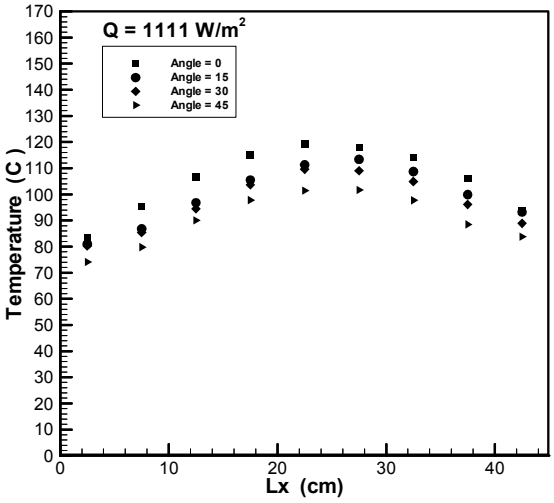


(B)

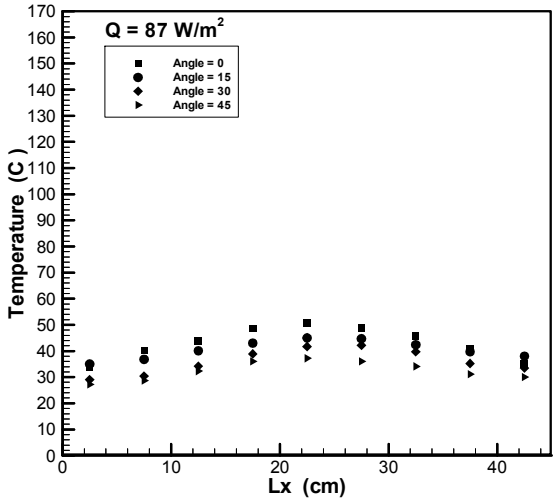
شكل (٦) توزيع درجات حرارة سطح الاختبار بتغيير الفيض الحراري وثبوت زاوية الميل



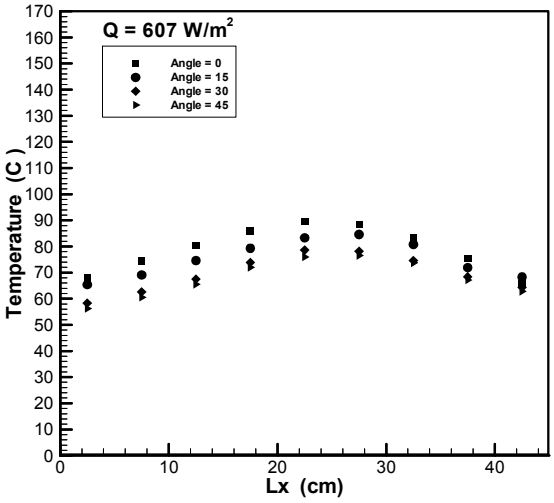
(C)



(A)

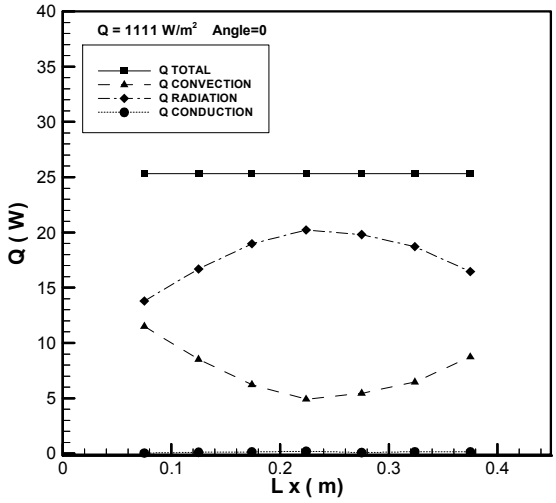


(D)

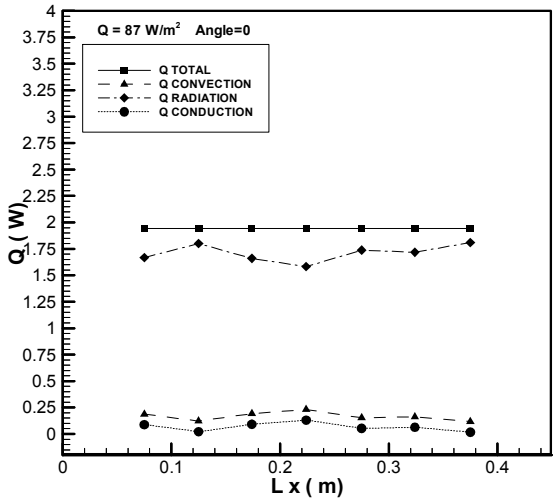


(B)

شكل (٧) توزيع درجات حرارة سطح الاختبار بتغيير زاوية الميل وثبوت الفيض الحراري

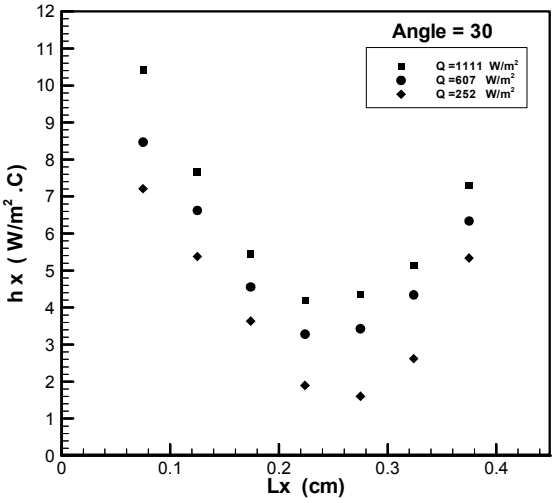


(A)

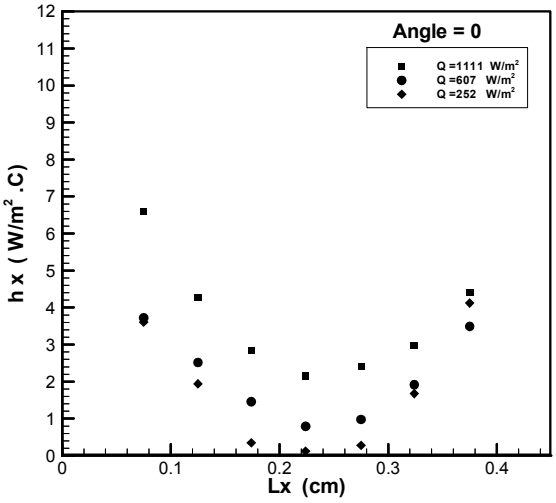


(B)

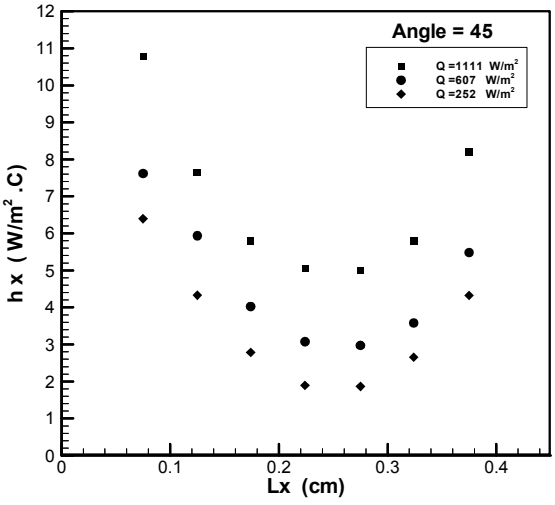
شكل (٨) العلاقة بين المسافة والحرارة المنتقلة بالحمل الحر والتوصيل والاشعاع



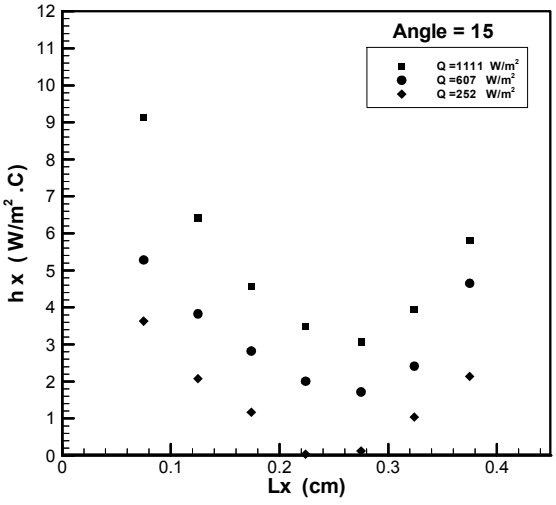
(C)



(A)

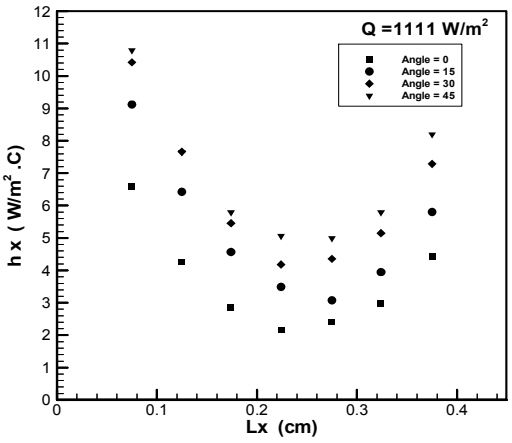


(D)

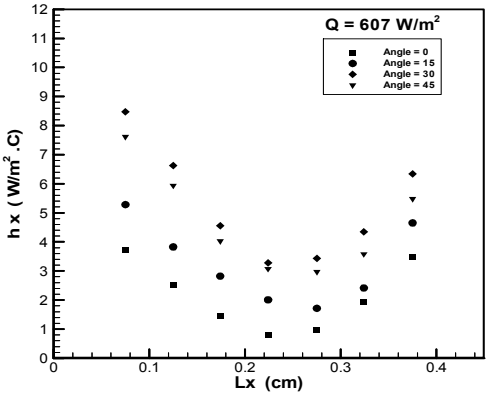


(B)

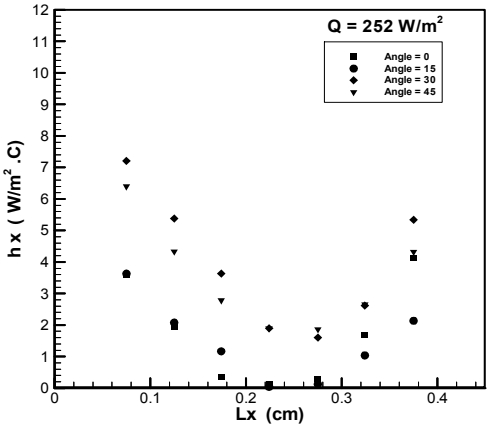
شكل (٩) العلاقة بين المسافة ومعامل انتقال الحرارة بالحمل الحر الموضعي بثبوت زاوية الميل وتغيير الفيض الحراري



(A)

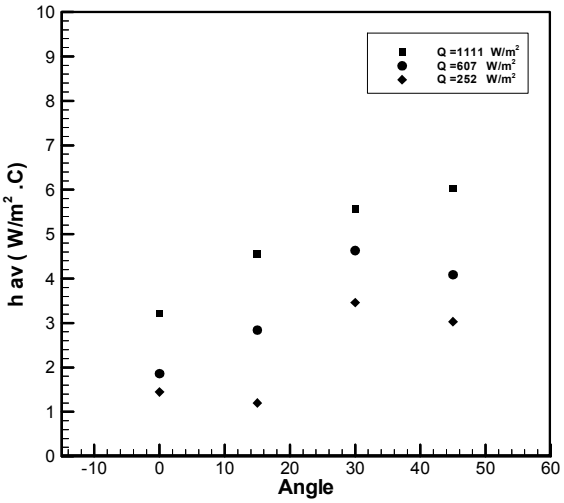


(B)

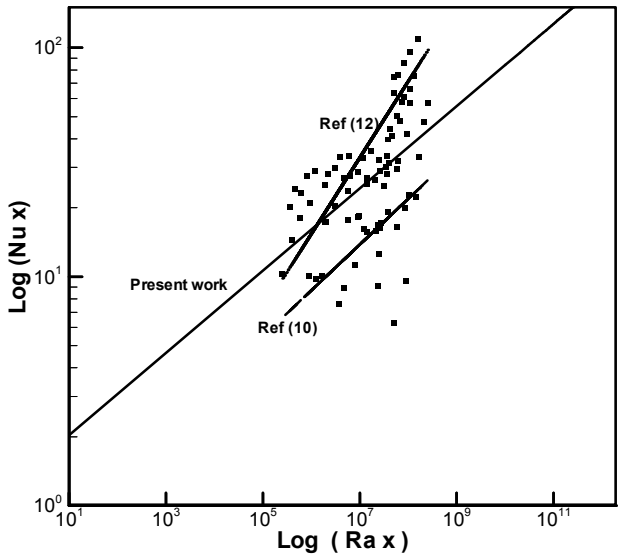


(C)

شكل (١٠) العلاقة بين المسافة ومعامل انتقال الحرارة بالحمل الحر الموضعي بثبوت الفيض الحراري وتغيير زاوية الميل



شكل (١١) العلاقة بين متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر مع زاوية الميل



شكل (١٢) العلاقة بين رقم نسلت الموضعي ورقم رالي الموضعي