انتقال الحرارة الغلياني المتنوي من أنبوب أفقي محسن باستخدام سوائل تشغيلية مختلفة

د.حسين حامد احمد
كلية الهندسة / جامعة الموصل

سارة جمال مجيد
كلية الهندسة / جامعة الموصل

الخلاصة

في هذا البحث تم استقصاء عملي على الغليان الحوضي المتنوي من أنبوب أفقي منفرد حيث أستخدم الماء المقطر والأيثانول بوصفهما سائلي غليان . أجريت التجارب على خمسة أنابيب أحدها سطحه الخارجي أملس بينما الأربعة الأخرى اسطحها الخارجية محسنة بإشكال مختلفة وبقطر خارجي (30 mm) وبطول (71 mm) وتحت ظروف الضغط الجوي ضمن مدى من الفيض الحراري ($14.94 - 67.25\ kW/m^2$). تم دراسة تأثير السائل على خصائص الغليان ومقدار التحسين للأنابيب المحسنة. أظهرت النتائج إن معامل التحسين لجميع الأنابيب عند استخدام الماء المقطر كسائل غليان قد بلغت أعلى قيمة له (2.11) أما عند استخدام الأيثانول فقد كانت أعلى قيمة له هي (1.84)، وقد أظهرت نتائج المقارنة بين نتائج الأنبوب الأملس للدراسة الحالية ونتائج علاقة (Rohsenow) توافقاً جيداً.

الكلمات الدالة : الغليان الحوضي المتنوي، التحسين، سائل الغليان.

Nucleate Boiling Heat transfer From an Enhanced Horizontal Tube Using Different Working Liquids

Dr. Hussain H .Ahmad **Sarah J. Majed**

College of Engineering
University of Mosul

Abstract

In this research, an experimental investigation of nucleate pool boiling from a single horizontal tube has been done , with distilled water and ethanol as working liquids. The tests were carried out on five tubes; one of them has smooth external surface where the other four tubes have enhanced external surfaces of different finish with outer diameter (30 mm) and length (71mm) under atmospheric pressure within the range of heat flux($14.94–67.25 kW/m^2$). The effect of the liquid on the characteristics of boiling and amount of enhancement of enhanced tubes were studied. The results showed that the enhancement factor of all tubes has maximum value with distilled water as boiling liquid equal to (2.11). Where with ethanol, the maximum value was equal to (1.84) .The comparison between results of smooth tube in the present work and results of (Rohsenow correlation) showed a good agreement.

أستلم: 1 – 4 - 2013 قبل: 22 – 10 - 2013

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

قائمة الرموز

الرمز	التعريف	الوحدة
A	المساحة	m^2
C_P	السعة الحرارية النوعية	J/kg.°C
C_{sf}	ثابت يحسب بشكل عملي ويعتمد على نوع السطح و سائل الغليان	----
D	القطر	m
g	التعجيل الأرضي	m/s^2
h	معامل انتقال الحرارة	$W/m^2.°C$
h_{fg}	الحرارة الكامنة للتبخر	J/kg
k	الموصلية الحرارية	W/m.°C
L	الطول	m
N	عامل التنوء	$NK^2m^4/kg.W$
Pr	عدد (Prandtl) = $\mu.C_P/k$	----
Q	القدرة الداخلة	W
q	الفيض الحراري	W/m^2
T	درجة الحرارة	°C
t	الزمن	min.
V	حجم السائل	m^3

الرموز الأغريقية

Δ	الفرق	----
μ	اللزوجة الديناميكية	kg/m.s
ρ	الكثافة الكتلية	kg/m^3
σ	الشد السطحي	N/m
η	معامل التحسين	-----

الرموز السفلية الدليلية

الرمز	التعريف
av.	المعدل
enh.	المُحسن
i	الداخلي
l	السائل
loss	المفقودة
o	الخارجي

الرمز	التعريف
plain	الأملس
s	سطح الأنبوب
sat	التشبع
v	البخار

1:المقدمة

يُعدّ انتقال الحرارة الغلياني من الطرق ذات الكفاءة العالية لانتقال الحرارة ويحدث خلاله تغير في الطور من السائل إلى البخار،وينقسم إلى نوعين: الغليان الحوضي والغليان الجرياني ويحدث النوع الأول عندما يغمر سطح ساخن بسائل وتكون درجة حرارة السطح أعلى من درجة تشبع ذلك السائل وتكون الحركة داخل الحوض ناتجة فقط عن تيارات الحمل الطبيعي وعملية تكّون الفقاعات ونموها ومغادرتها للسطح الساخن وتكون قوى الطفو هي التي تتحكم في الغليان الحوضي وبما أنه لا يحتاج إلى أجزاء متحركة وله كفاءة عالية من الناحية الحرارية والاقتصادية والزيادة الكبيرة في انتقال الحرارة جعل له تطبيقات عملية واسعة. أما النوع الثاني فأن الحمل القسري للجريان هو المتحكم بالحركة[1]، نتيجة للتقدم التكنولوجي السريع ظهرت الحاجة لتحسين انتقال الحرارة حيث إن هناك ثلاث أنواع من تقنيات التحسين وهي :1- تقنيات تحسين سالبة (Passive techniques) وهي تقنية لا تحتاج إلى مصدر خارجي للطاقة و من أمثلتها (السطوح المعالجة والسطوح الممتدة والسطوح الخشنة والأنابيب الملفوفة وأدوات الشد السطحي وأدوات تدوير الجريان).2 –تقنيات

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

تحسين موجبة(Active techniques) حيث تحتاج إلى مصدر خارجي للطاقة ومن أمثلتها (المساعدات الميكانيكية وعمل اهتزاز للسطح أو للسائل وتسليط مجال الكتروني وطرائق الحقن والامتصاص وإضافات للسائل).3-تقنيات تحسين مركبة (Compound techniques) وهي التي تجمع بين نوعين من التحسينات [2].

إن للأسطح المحسنة تطبيقات عملية واسعة في مجال المبادلات الحرارية والطيران والفضاء والتبريد الزمهريري (Cryogenic) والصناعات الكيميائية، فتستعمل في عمليات تصنيع الهايدروكاربونات كما في محطات الإيثلين ومحطات الأمونيا ومحطات تصفية النفط في المراحل النهائية ومحطات تحلية مياه البحر وفي محطات إسالة الغاز الطبيعي (LNG)[3].

أجرى الباحثان (Shou) و(Pao) [4] دراسة عملية لخصائص الغليان الحوضي لثلاثة سوائل(الماء المقطر و$R34_a$ و R114) ضمن مدى من الفيض الحراري ($5\text{-}50kW/m^2$)على خمسة أنابيب أحدها أملس والأربعة الأخرى مُحسنة بواسطة أضلاع ،جميع الأنابيب ذات قطر خارجي (27mm) وطول (330mm) وكانت الأضلاع في جميع الأنابيب المُحسنة ذات ارتفاع (4mm) وعرض (15mm) والمسافة بين ضلع و آخر (39.4mm) وعددها ثمانية أضلاع لكل أنبوب ولكن الاختلاف بين الأنابيب الأربعة يكمن في زاوية الضلع (°90،°60 ،°45 ، °30).لقد أشارت النتائج إلى أن جميع الأنابيب المُضلعة قدمت أداء أفضل من الأنبوب الأملس وكان أفضلها الأنبوب الذي تميل أضلاعه بزاوية (°60) حيث كان له أعلى معامل تحسين (1.93) عند استخدام الماء سائل غليان ثم يليه الأنابيب التي زاوية ميل أضلاعها (°30) و(°90) وأخيرا (°45) بمعامل تحسين (1.85) و(1.39) و(1.11) على التوالي وأن معامل التحسين يقل مع ازدياد الفيض الحراري،أما عن تأثير سائل الغليان فقد وُجد بشكل عام أن الماء له أعلى قيم للتحسين ثم يليه (R114) وأخيراً(R134a)، أما الباحث (Rajulu)[5] وزملاؤه فقد أجروا تجارب للغليان الحوضي لأربعة سوائل وهي الماء والأسيتون والأيزوبربانول والأيثانول على خمسة أنابيب مُحسنة من نوع (Reentrant cavity) والتي يُرمز لها برمز (REC) التي لها فوهة زعنفة بشكل حرف (T)، حيث كان قطر الأنبوب (33mm) وطوله (218mm)، أما كثافة الزعانف فيه فكانت (1024fpm) ومُجوف من الداخل لوضع مسخن كهربائي من نوع (Cartridge heater) داخله لتسخينه ضمن مدى يتراوح بين ($11– 42kW/m^2$) . في جميع الأنابيب كان ارتفاع الزعنفة (0.5mm) والمسافة بين قاعدة الزعنفة والتي تليها (0.5mm)، أما الاختلاف بين الأنابيب فكان في المسافة بين فوهات الزعانف (0.5 , 0.4 , 0.3 , 0.25 , 0.2 mm)، كما أجريت التجارب على أنبوب أملس لغرض حساب معامل تحسين انتقال الحرارة للأنابيب (REC).أظهرت النتائج إن معامل التحسين يزداد مع ازدياد الفيض الحراري لجميع السوائل وإن الأنبوب الذي تكون المسافة بين فوهات زعانفه (0.3mm) هو الأفضل أداءاً بالنسبة للأسيتون والأيزوبربانول وبمعامل تحسين (2.26) و(2.65) على التوالي، أما في حالة الماء والأيثانول فإن الأنبوب الذي تكون المسافة بين فوهات زعانفه (0.2mm) هو الأفضل أداءاً بمعامل تحسين (2.55) و(2.53) على التوالي، وإن معامل التحسين في حالة الماء يعتمد بشكل كبير على شكل الزعنفة ولكن في حالة الأسيتون يكون اعتماده أقل. وقام الباحث (Tarrad) [6] بإجراء بحث لدراسة معامل التحسين لأنابيب مُحسنة منفردة خلال غليانها داخل سوائل نقية،حيث أستخدم نوعين من الأنابيب المحسنة هي (Gewa-T) و(Low finned) وخمسة سوائل (R-113 وR-11 والأيثانول والماء والبنتان) وضمن مدى من الفيض الحراري (50 – 10 kW/m^2)، وأعتماداً على نظرية (Buckingham) أوجد علاقة لحساب معامل انتقال الحرارة ومعامل التحسين في منطقة الغليان المتنوي، حيث تبين إن معامل التحسين يعتمد بصورة قوية على شكل الزعنفة للسطح المُحسن والخصائص الفيزيائية لسائل الغليان وقد استنتج العلاقة الآتية:

$$\eta = C_{S,F}\left(\frac{\rho_l\, h_{fg}^{3/2}}{q}\right)^m \left(\frac{C_{pl}\,\sigma}{k_l\, h_{fg}^{0.5}}\right)^n \qquad (1)$$

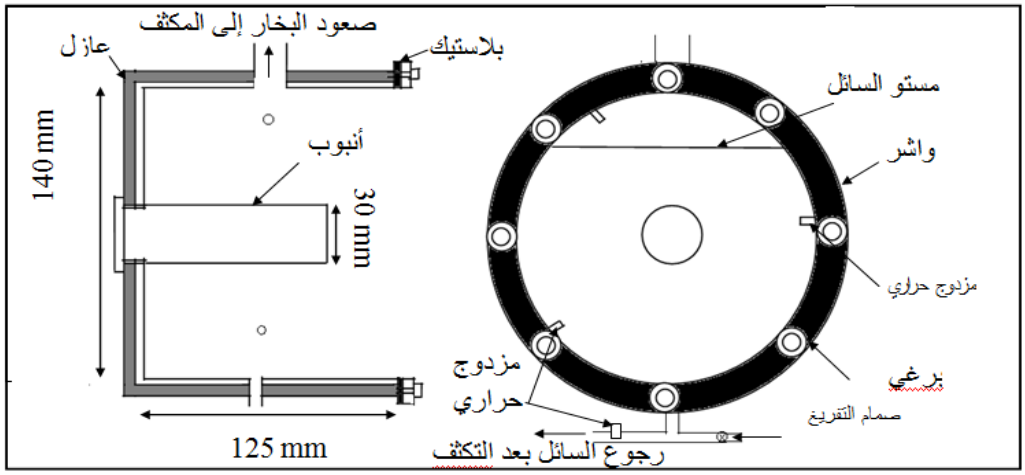
حيث أن (m) و(n) و($C_{S,F}$) ثوابت تحسب عملياً .

من البحوث السابقة يُلاحظ إنه أجريت العديد من البحوث لمقارنة أداء السوائل على الأسطح المحسنة أثناء عملية الغليان الحوضي المتنوي وفي هذه الدراسة سيتم دراسة أشكال أخرى من الأسطح المحسنة فأن الهدف من البحث الحالي هو إجراء دراسة عملية لمعرفة تأثير سائل الغليان على أداء الأنابيب ذات الأسطح المحسنة للغليان الحوضي المتنوي من أنبوب أفقي منفرد حيث استخدم الماء المقطر والأيثانول بوصفهما سائلي غليان ،أما الأنابيب فقد استخدمت أربعة أنابيب ذات أسطح خارجية محسنة بإشكال مختلفة ضمن مدى من الفيض الحراري يتراوح بين ($14.94\ kW/m^2$-$67.25kW/m^2$) وكذلك استخدم أنبوب أملس للمقارنة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

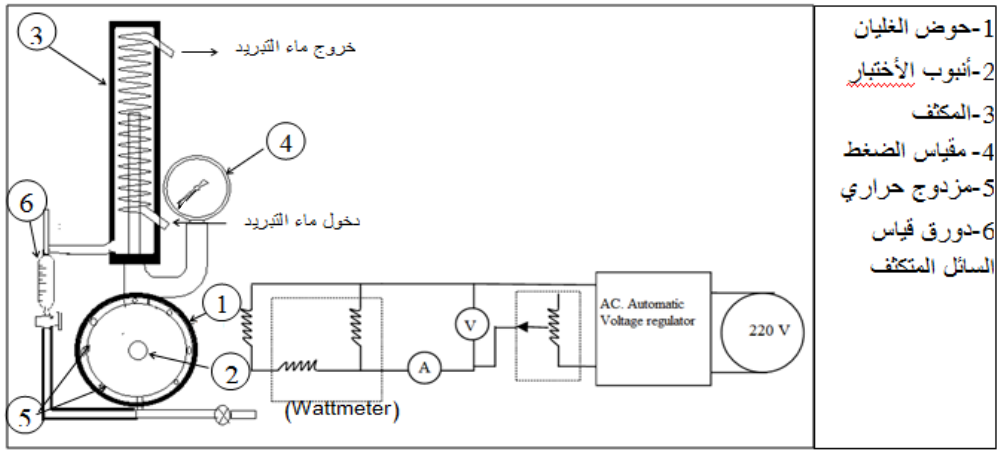
2-جهاز الأختبار

يتكون الجهاز من حوض اسطواني مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ ذي قطر(140mm) وبطول (125mm) مثبت في نهايته الأمامية قطعة من البلاستيك الشفاف المقاوم للحرارة لجعل رؤية عملية الغليان ممكنة ،أما في نهايته الخلفية فتوجد فتحة بقطر (30 mm) مسننة من الداخل لغرض تثبيت أنبوب الاختبار،ومن الأعلى يتصل بمكثف كما مبين في الشكل (1) ولغرض قياس درجة حرارة سائل الغليان داخل الحوض ثُبت مزدوجين حراريين في وسط وأسفل الحوض وأما لقياس درجة حرارة البخار فثُبت مزدوج حراري في أعلى الحوض وقد عزل الحوض بمادة الصوف الزجاجي لتقليل الحرارة المفقودة إلى الخارج.



الشكل (1) : رسم توضيحي لحوض الغليان وبداخله أنبوب الاختبار ومواقع المزدوجات الحرارية فيه

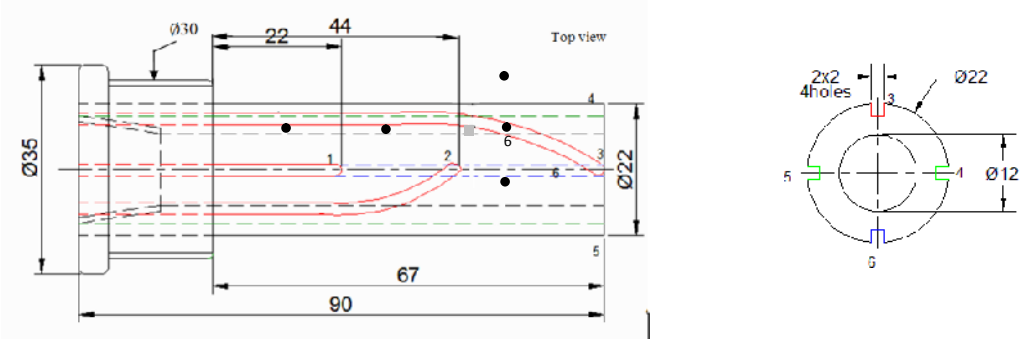
أما المكثف فمصنوع من الزجاج بشكل اسطواني بقطر(32 mm) وبطول(350 mm) يحتوي بداخله أنبوب يمر خلاله البخار الناتج من عملية الغليان ويلتف حول هذا الأنبوب أنبوب لولبي يجري بداخله ماء التبريد ومتصل بفتحتين تقعان أسفل وأعلى المكثف لدخول وخروج ماء التبريد على التوالي.أما السائل المتكثف فيخرج عن طريق فتحة تقع في أسفل المكثف.



الشكل (2):رسم توضيحي للجهاز والدائرة الكهربائية

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

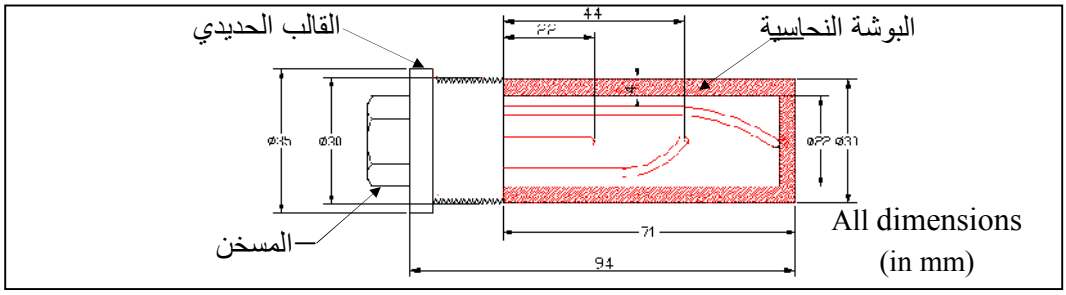
تم التسخين باستخدام مسخن كهربائي من نوع (Cartridge heater) ذي قطر(11mm) وطول (90 mm) مزود في أحدى نهايتيه برأس مسنن لغرض تثبيته داخل أنبوب الاختبار .إن أنبوب الاختبار يتكون من جزئين هما القالب الحديدي والبوشة النحاسية،إن القالب الحديديصُنع ليحتوي المُسخن في داخله ومواضع المزدوجات الحرارية على سطحه الخارجي وتكون إحدى نهايتيه بقطر خارجي(30 mm) وقطر داخلي (18mm) مسننة من الداخل لغرض تثبيت المسخن فيه ومسننة من الخارج كذلك لغرض تثبيته بحوض الغليان وكذلك مزود بحافة خارجية قطرها (35mm). بعد انتهاء الجزء المُسنن الذي يكون طوله (23 mm) يصبح القطر الخارجي للقالب (22mm) أي مساوٍ للقطر الداخلي للبوشة النحاسية وأما قطره الداخلي (12 mm) أي أكثر بقليل من القطر الخارجي للمُسخن ويكون طول هذا الجزء (67 mm). ولغرض وضع المزدوجات الحرارية فقد ثُقبت ستة ثقوب في النهاية الخارجية للقالب الحديدي بقطر(2mm) وتستمر الثقوب خلال الجزء المُسنن من القالب الحديدي وبعد ذلك تُكمل هذه الثقوب بأخاديد ولكن بأطوال مختلفة فالأخدود الذي يقع في الجهة العليا والمشار اليه بالرقم(1) في الشكل(3) يكون مستقيماً وبطول (22 mm)، وأما الأخدودين القريبين منه الذين يقعان على يمينه ويساره والمشار إليهما بالرقمين (2) و(3) على التوالي فيكونان بمسار مُنْحَنٍ لغرض جعل نهايتهما على الخط الطولي نفسه للأخدود الأول(1) وبطول (44 mm) و(67 mm) على التوالي وقد جعلت نهاية الأخدودين الذين يقعان على المحور الطولي نفسه في بداية القالب ووسطه(2,1) متجهة إلى الأعلى لغرض توجيه رأس المزدوجات الحرارية إلى الأعلى، وأما بالنسبة لبقية الأخاديد الموجودة على جانبي القالب الحديدي والمشار إليهما بالرقمين (4,5) وأسفلهُ المشار إليه بالرقم (6) فيكونون بمسار مستقيم وبطول(67 mm) أي إلى نهاية القالب الحديدي.



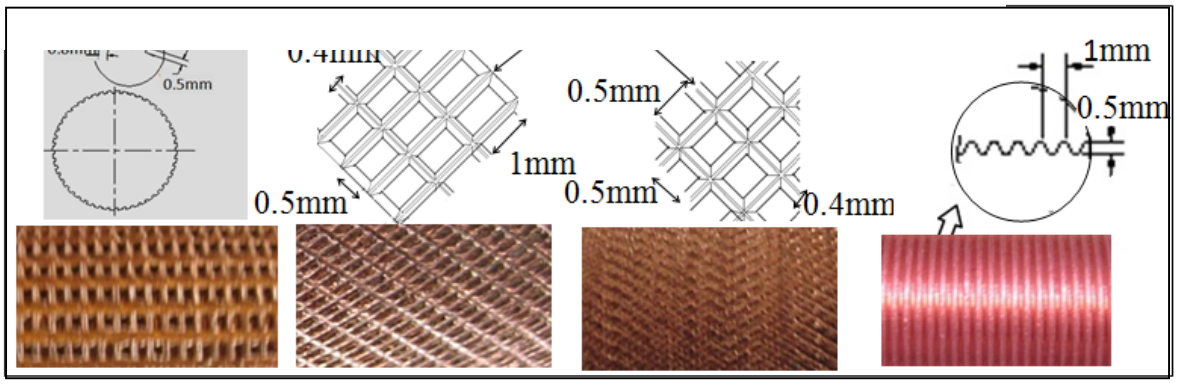
الشكل (3): رسم توضيحي لمواقع المزدوجات الحرارية على سطح القالب الحديدي.

أما الجزء الثاني من الأنبوب فهو البوشة النحاسية التي تُعدّ السطح الخارجي للأنبوب وتكون بقطر داخلي وخارجي (22 mm)و(30 mm) على التوالي وبطول (71 mm)حيث يتم إدخال القالب الحديدي داخل البوشة النحاسية عن طريق تسليط الضغط عليها والشكل(4) يمثل رسم توضيحي لأنبوب الاختبار وبداخله المسخن. فقد تم صنع خَمْس بوش نحاسية ولكل منها سطح خارجي مختلف لغرض دراسة تأثير شكل السطح الخارجي للأنبوب على خصائص الغليان الحوضي المتنوي حيث كان أحد الأسطح أملس ورمز لأنبوبه بـ(Tube 1) ويعتبر مرجع لمقارنة أداء الأسطح الأخرى،أما سطح البوشة الثانية فقد جُعل له زعانف بشكل لولبي ذات عرض (0.5mm) وبعمق (0.5mm) وبخطوة (1mm)ورُمز لأنبوبه بـ(Tube2) بينما البوشة الثالثة فقد احتوى سطحها على خطوط متقاطعة بزاوية (45°) مكونة أشكال هرمية مقطوعة من الأعلى وكان طول القاعدة السفلى للشكل الهرمي (0.5mm)وعرضها(0.5mm)وارتفاعه (0.35mm) ورُمز للأنبوب بـ(Tube3)،أما بالنسبة لسطح البوشة الرابعة فإنه مشابه للسطح الخارجي للأنبوب(Tube3) ولكن الأشكال الشبه الهرمية ذات أبعاد أكبر فكان طول القاعدة السفلى (1mm) وعرض (0.5mm) وبارتفاع (0.4mm) ورُمز للأنبوب بـ (Tube 4)، وللبوشة الخامسة سطح يحتوي على زعانف بشكل لولبي مشابهة لتلك الموجودة على السطح الخارجي للأنبوب (Tube2) لكنها مُقسمة طوليا بخطوط ذات عرض (0.8mm) وبعمق (0.5mm) والخطوة بين هذه الخطوط تساوي (1.2mm)ورُمز للأنبوب بـ(Tube5).الشكل (5) يبين الأسطح الخارجية للأنابيب الاربعة المحسنة.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل (4): رسم توضيحي لأنبوب الاختبار وبداخله المسخن.



الشكل (5): الأسطح الخارجية للأنابيب الأربعة المحسنة.

أن الطاقة الكهربائية زودت باستخدام مثبت فولتية لتفادي التذبذب الحاصل في تجهيزها ومن ثم تُغير القدرة الداخلة باستخدام مغير فولتية ويتم قراءتها عن طريق جهاز قياس القدرة (Wattmeter).

3-النتائج والمناقشة

3-1 تأثير شكل السطح الخارجي للأنبوب على الفرق بين درجة حرارة سطح الأنبوب ودرجة تشبع السائل

تبدأ الأسطح المُحسنة الغليان بقيمة لفرق درجات حرارة بين سطح الأنبوب ودرجة التشبع للسائل (ΔT_{sat}) أقل مما عليه في حالة الأنبوب (Tube 1) سواء أستخدم الماء المقطر أو الإيثانول سائل غليان كما مبين في الشكل (6)، إذ تحسب (ΔT_{sat}) من المعادلة (2) وإن درجة حرارة سطح الأنبوب تحسب عن طريق إيجاد معدل قياس المزدوجات الحرارية الستة الموزعة داخل الأنبوب ومن ثم تحسب درجة حرارة سطح الأنبوب عن طريق معادلة التوصيل الحراري كما مبين في المعادلة (3) و(4) [8,7]:

$$\Delta T_{sat} = T_s - T_{sat} \quad (2)$$

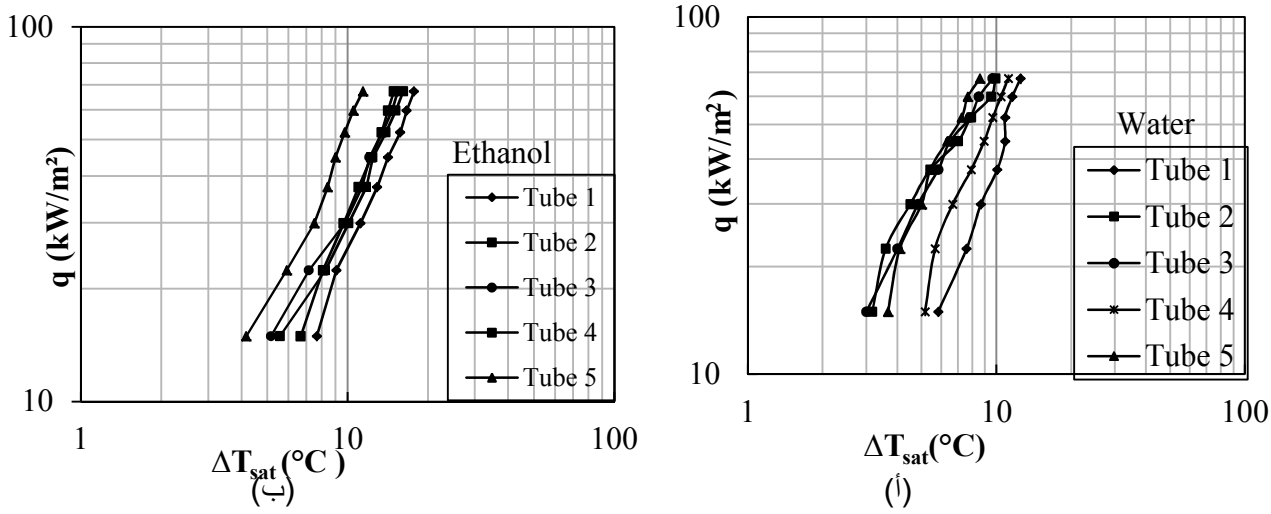
$$T_{av.} = \frac{\Sigma T}{6} \quad (3)$$

$$T_s = T_{av.} - Q\,(\ln(D_o/D_i)\,/2\,\pi L\,k) \quad (4)$$

أما الفيض الحراري فيحسب من المعادلة (5)[10,9]

$$q = \frac{Q}{\pi D_0 L} \quad (5)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل (6):تغير الفرق بين درجة حرارة سطح الأنبوب ودرجة تشبع السائل مع الفيض الحراري مقارنة بين جميع الأنابيب.

إن الشكل (6) يبين منحني الغليان للأنابيب الخمسة عند استخدام الماء المقطر والايثانول سائلي غليان حيث إن منحني الغليان يمثل الفيض الحراري مقابل(ΔT_{sat}) ويستخدم لتحديد قابلية السطح لنقل الحرارة خلال عملية الغليان [11] يُلاحظ إن جميع منحنيات الأنابيب المُحسنة تقع إلى يسار منحني الأنبوب (Tube 1) وذلك بسبب إن الأسطح المُحسنة تعمل على زيادة مواقع التنوء وبالتالي المساعدة على تكوين فقاعات البخار وبدء الغليان المتنوي بقيمة (ΔT_{sat}) أقل مما يتطلبه الأنبوب الأملس فضلاً عن أنها تعمل على زيادة مساحة السطح الخارجي للأنبوب وإن قيمة (ΔT_{sat})عند الأنبوب الواحد تزداد كلما زاد الفيض الحراري ويعود ذلك إلى أن الزيادة في الفيض الحراري يسبب زيادة في معدل نقل الحرارة مما يتطلب زيادة في درجة حرارة الأنبوب [7,10].يبين الشكل (6-أ) إن في حالة استخدام الماء سائل غليان فعند الفيض الحراري الواطئ يمتلك الأنبوب(Tube3) أقل قيمة ل(ΔT_{sat}) وذلك بسبب أنه حتى الفيض الحراري الواطئ كفيل بتفعيل مواقع التنوء بشكل كبير نتيجة لطبيعة سطحه الخارجي الذي يحتوي على مواقع تنوء صغيرة الحجم واما في الفيض

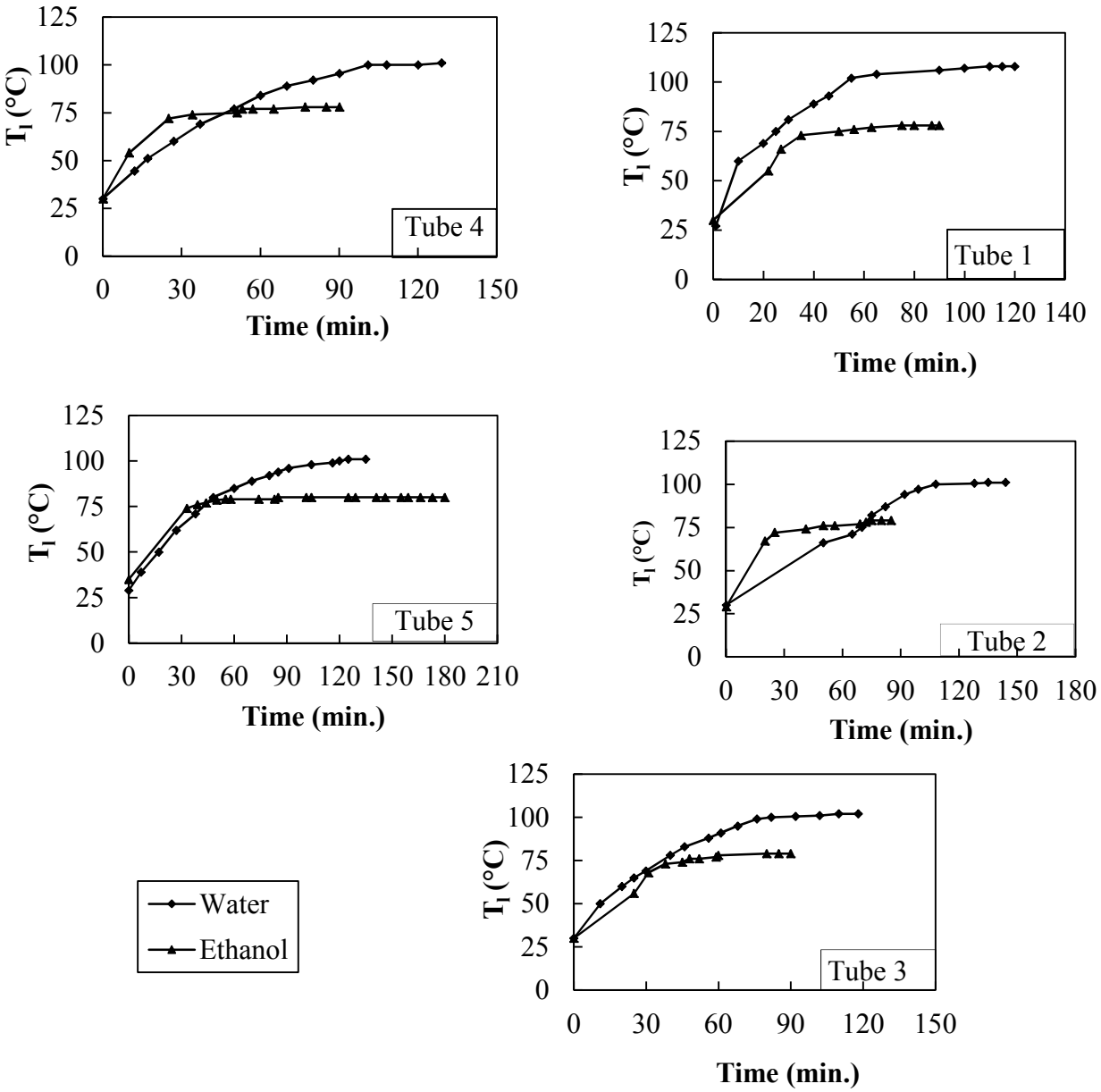
الحراري المتوسط فأن الأنبوب(Tube2) يمتلك أقل قيمة(ΔT_{sat}) واما في الفيض الحراري العالي فأن الأنبوب(Tube5) يمتلك أقل قيمة(ΔT_{sat}) ويعود ذلك إلى شكل التحسين الموجود على سطحه الخارجي بحيث لا يحدث اندماج كبير بين أعمدة فقاعات البخار عند ارتفاع الفيض الحراري الذي يعمل على عرقلة عملية دخول السائل إلى السطح وبالتالي ارتفاع درجة حرارته .أما في حالة استخدام الأيثانول سائل غليان فإن الأنبوب الذي له أقل قيمة من(ΔT_{sat}) عند استخدام الأيثانول بوصفه سائل غليان هو الأنبوب (Tube 5)كما مبين في الشكل (6-ب) وضمن جميع المدى المستخدم من الفيض الحراري ويعود ذلك إلى شكل التحسين الموجود على سطحه الخارجي ثم تأتي الأنابيب (Tube3) و(Tube2)أما أقلها تحسن هو الأنبوب (Tube 4).

3-2 تأثير سائل الغليان على زمن الوصول إلى حالة الأستقرار

إن الشكل (7) يوضح إن الماء يحتاج زمناً أطول للوصول إلى حالة الاستقرار من الذي يحتاجه الأيثانول ويعود ذلك لعدة أسباب وهي أن الماء يمتلك سعة حرارة نوعية أعلى من الأيثانول أي أنه يحتاج كمية حرارة أعلى من تلك التي يحتاجها الأيثانول لرفع درجة حرارته درجة سيليزية واحدة [12] وكذلك يعتمد على درجة الغليان والكثافة فكلما زادت قيمتهما زاد الزمن المطلوب للوصول إلى حالة الاستقرار كما من في المعادلة(2) وتكون قيمتهما أعلى عند الماء.

$$t = \rho \cdot V \cdot C_{Pl} \cdot \frac{(T_{sat}-T_i)}{Q-Q_{loss}} \qquad (2)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



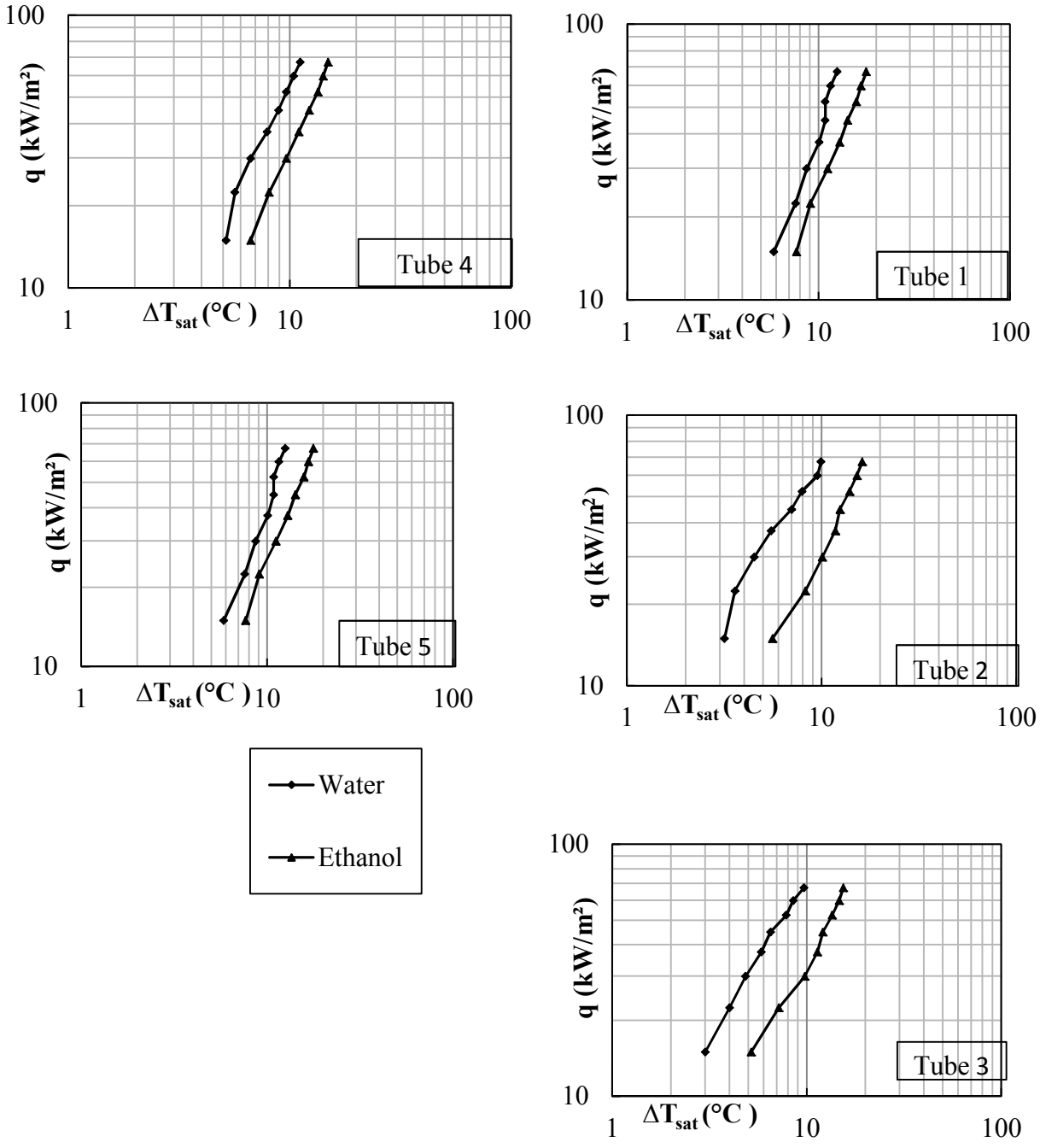
الشكل (7):مقارنة بين الفرق بين درجة حرارة سطح الأنبوب ودرجة تشبع السائل مع زمن وصول الماء والأيثانول إلى حالة الاستقرار عند جميع الأنابيب .

3-3 تأثير نوع السائل على (ΔT_{sat}) اللازمة لبدء الغليان

إن الشكل (8) يظهر مقارنة بين قيم (ΔT_{sat}) للماء والأيثانول في جميع الأنابيب فيُلاحظ إن الأيثانول في جميع الأنابيب استلزم (ΔT_{sat}) أكبر من الماء للغليان يعود ذلك إلى خاصية قابلية الترطيب فإن الأيثانول يُعدّ من السوائل التي تمتلك شداً سطحياً قليلاً وعندما يكون الشد السطحي قليل تكون قابلية ترطيب السائل للسطح عالية فيقوم الأيثانول بترطيب سطح الأنبوب بشكل جيد ولهذا تُغمر الفجوات الموجودة على سطح الأنبوب بالأيثانول مما يحتاج (ΔT_{sat})أكبر لجعلها مواقع تنوء فعالة [13] وكذلك يعتمد على الحرارة الكامنة للتبخر ودرجة الغليان وكثافة البخار هذا ما يبينه عامل التنوء (N)(Nucleation parameter) كماموضح في المعادلة (7) [8]

$$N = \frac{\sigma T_{sat}}{\rho_v h_{fg}} \quad (7)$$

www.manaraa.com



الشكل (8): تغير الفرق بين درجة حرارة سطح الأنبوب ودرجة سائل الغليان مع الفيض الحراري مقارنة بين الماء والأيثانول

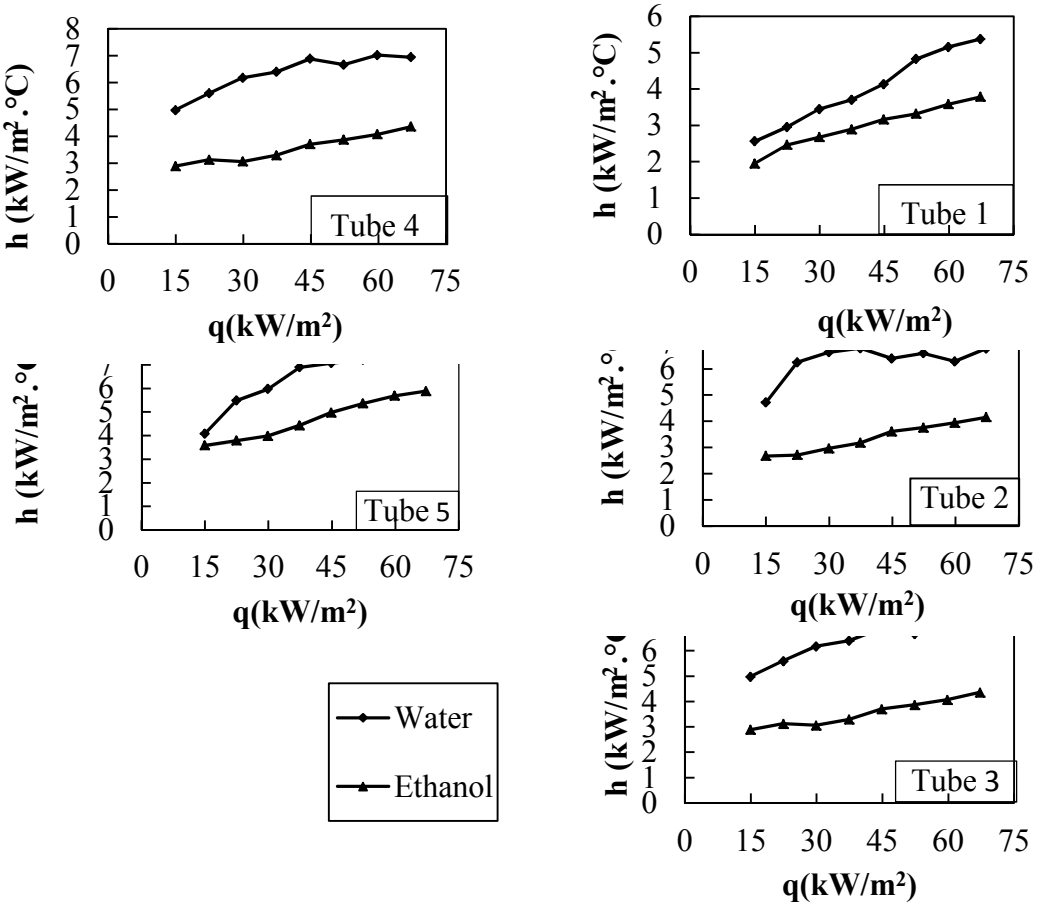
3-4 تأثير السائل المُستخدم على معامل انتقال الحرارة

إن دراسة الغليان المتنوي تتطلب حساب معامل انتقال الحرارة لأنه العامل المهم في تصميم أجهزة انتقال الحرارة الغلياني حيث أنه يؤثر بشكل مباشر على المساحة المطلوبة ووزن وكلفة الأجهزة التي يحدث فيها انتقال حرارة غلياني . يحسب معامل انتقال الحرارة عن طريق المعادلة الآتية :

$$h = \frac{q}{\Delta T_{sat}} \qquad (8)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

إن معامل انتقال الحرارة الغلياني يعتمد كثيراً على الخواص الفيزيائية للسائل ويظهر الشكل (9) أن قيم معامل انتقال الحرارة للماء أكبر من تلك التي يمتلكها الأيثانول في جميع الأنابيب ويعود ذلك لامتلاك موصلية حرارية عالية وحرارة نوعية عالية وكثافة عالية مقارنة مع الأيثانول وكل هذا يعمل على زيادة معامل انتقال الحرارة .



الشكل(9):مقارنة بين معامل انتقال الحرارة للماء وللأيثانول عند جميع الأنابيب.

3-5 تأثير نوع سائل الغليان على معامل التحسين

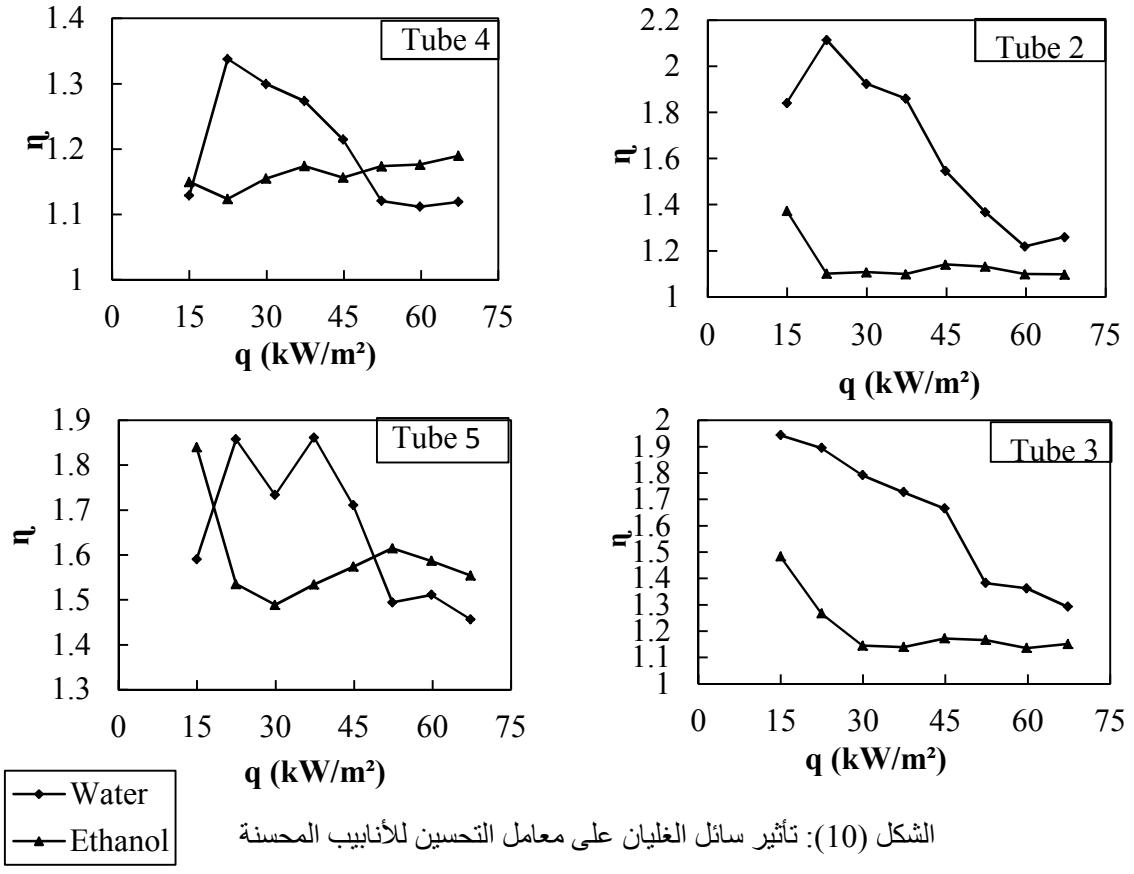
لمعرفة مدى التحسن الحاصل في انتقال الحرارة الناتج عن استخدام الأسطح المُحسنة يتم حساب معامل التحسين (η)والذي يساوي معامل انتقال الحرارة للأنبوب المُحسن مقسوماً على معامل انتقال الحرارة للأنبوب الأملس [9,14,5,6] كما مبين في المعادلتين الآتيتين :

$$\eta = \frac{h_{enh.}}{h_{plain}} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{\Delta T_{Plain}}{\Delta T_{enh.}} \quad (10)$$

أظهرت النتائج بأن معامل التحسين للماء كان أعلى من الأيثانول كما مبين في الشكل (10)إذ يمتلك الماء حرارة كامنة للتبخر وكثافة وموصلية حرارية وسعة حرارية نوعية وشداً سطحياً أعلى مما للأيثانول [8] وكذلك يعتمد معامل التحسين على معامل التقاء السطح بالسائل (C_{sf}).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



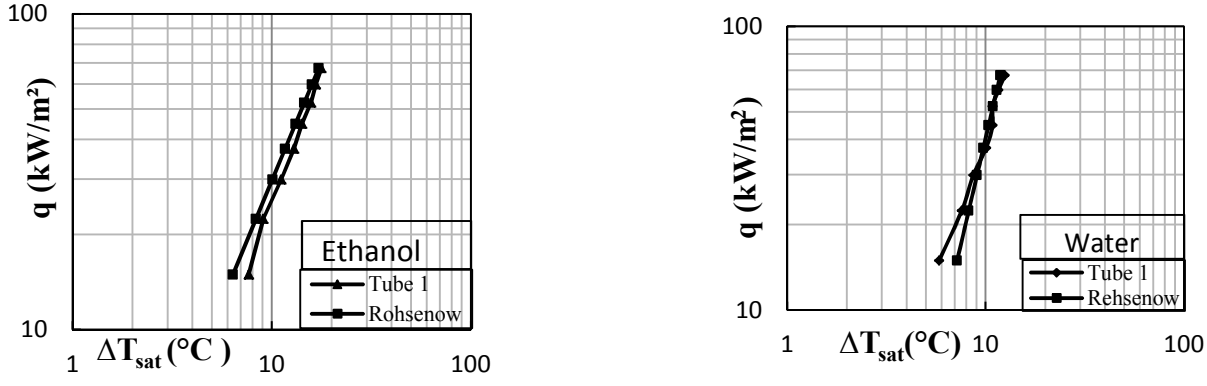
الشكل (10): تأثير سائل الغليان على معامل التحسين للأنابيب المحسنة

3-6 مقارنة نتائج البحث الحالي مع علاقة (Rohsenow)

إن مقارنة النتائج المستحصلة من البحث الحالي للأنبوب الأملس (Tube 1) مع علاقة (Rohsenow) المتمثلة في المعادلة (11) :

$$\Delta T_{sat} = C_{sf}\frac{h_{fg}}{C_{Pl}}\left|\frac{q}{\mu_l h_{fg}}\left(\frac{\sigma}{g(\rho_l-\rho_v)}\right)^{1/2}\right|^{n} Pr_l^{m+1} \qquad (11)$$

حيث (n) تساوي (0.33) و(m) تساوي (0.7) لكل السوائل ماعدا الماء (m=0)، التي يظهرها الشكل (11) يبين أن هناك توافق كبير بين نتائج البحث الحالي سواءً عند استخدام الماء المقطر او الايثانول سائل غليان والنتائج الظاهرة من علاقة (Rohsenow)[1].



الشكل (11): مقارنة نتائج البحث الحالي مع علاقه (Rohsenow).

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

4-الاستنتاجات

تم إجراء دراسة عملية لمقارنة خصائص الغليان الحوضي المتنوي للماء والأيثانول من أنبوب أفقي منفرد حيث أجريت التجارب على أنبوب أملس وأربعة أنابيب محسنة السطح الخارجي وقد أشارت النتائج إلى ما يلي :

1. تحتاج الأنابيب المُحسنة إلى قيمة(ΔT_{sat}) أقل من تلك التي يحتاجها الأنبوب الأملس عند القيمة نفسها من الفيض الحراري.
2. عند جميع الأنابيب يصل الأيثانول حالة الأستقرار قبل وصول الماء إليها.
3. الماء في جميع الأنابيب استلزم قيمة ل(ΔT_{sat}) أقل من الأيثانول.
4. معامل انتقال الحرارة للماء أكبر من معامل انتقال الحرارة للأيثانول عند جميع الأنابيب وضمن جميع المدى المستخدم من الفيض الحراري وفي كلا السائلين يزداد معامل انتقال الحرارة عند زيادة الفيض الحراري .
5. إن معامل التحسين في حالة الماء يصل قيمته العليا عندما تكون جميع مواقع التنوء فعالة ومازال حجم فقاعات البخار صغيراً نسبياً ولكن بعد ذلك يقل كلما زاد الفيض الحراري.
6. إن معامل التحسين في حالة الأيثانول يكون عند قيمته العليا في الفيض الحراري الواطئ ثم يبدأ بالانخفاض كلما زاد الفيض الحراري
7. إن معامل التحسين في حالة استخدام الماء يكون للأنبوب (Tube 3) أعلى معامل تحسين يصل إلى (1.93) في الفيض الحراري الواطئ بينما في الفيض الحراري العالي يصبح الأنبوب (Tube 2) هو الأفضل بمعامل تحسين يصل إلى (2.11)، و أما عند الفيض الحراري العالي فإن الأنبوب (Tube 5) يكون له أعلى معامل تحسين يصل إلى (1.55).أما في حالة استخدام الأيثانول فإن الأنبوب (Tube 5) كان له أعلى معامل تحسين ضمن جميع المدى المستخدم من الفيض الحراري ووصلت أعلى قيمة له (1.84)في الفيض الحراري الواطئ.
8. قدمت الأنابيب المحسنة معامل تحسين أعلى في حالة استخدام الماء سائل غليان.

5-المصادر

1- Tong, L. S. and Tang, Y. S., "Boiling heat transfer and two phase flow ", Second Edition, Published by Taylor and francis (1997) .

2- Bergles ,A.E. "High flux processes through enhanced heat transfer" the 5th International Conference on Boiling Heat Transfer, Montego Bay, Jamaica, (2003).

3- Shekriladze, I.G.," Boiling Heat Transfer: Mechanisms, Models, Correlations and the Lines of Further Research", The Open Mechanical Engineering Journal, Vol. 2, (2008), pp 104-127.

4- Shou, S.H. , Pao, T.H. "Nucleate boiling characteristics of R-l 14, distended water (H_20) and R-134a on plain and rib-roughened tube geometries", International Journal heat mass transfer , Vol. 37, No3, (1994) , pp 1423- 1432

5- Rajulu, K.G., Kumar, R., Mohanty, B., Varma, H. K., " Enhancement of nucleate pool boiling heat transfer coefficient by reentrant cavity surfaces ", International Journal of Heat Mass Transfer, Vol. 41, (2004),pp. 127–132.

6- Tarrad, A.H. , "A simplified correlation for the prediction of nucleate pool boiling performance of single integral enhanced tubes boiling pure liquids at atmospheric pressure", Journal of Engineering and Development, Vol. 11, No. 3, (2007),pp.131-148 .

7- Bhaumik, S. , Ayarwal, V.K. , Gupta, S. " A generalized correlation of nucleate pool boiling of liquids ", Indian journal of chemical technology , Vol. 11,(2004), pp 719-725.

8- Perry, G.D." Effect of oil on the onset of nucleate pool boiling of R-124 from a single horizontal tube ",M.SC Thesis, Naval postgraduate school Monterey, California ,(1993) .

9- Tarrad, A.H. and Burnside, B. M., " Pool boiling tests on plain and enhanced tubes using a wide-bolling-range mixture" Journal of Experimental heat transfer, vol. 6, (1993) , pp. 83-96.

10- Bergles, A. E. , Jensen, M. K. , Somerscales, E. F., Curcio, L. A., Trewin, R.R., "Enhanced shell-and-tube heat exchangers for the power and process industries" ,Rensselaer Polytechnica Institute Troy, New York (1994).

11- Sarafraz, M.M., Peyghambarzadeh, S.M., Fazel, A., " Experimental studies on nucleate pool boiling heat transfer to ethanol/MEG/DEG ternary mixture as a new coolant" Islamic Azad University, Mahshahr, Iran (2012)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

12- Witharana, S., "Boiling of refrigerants on enhanced surfaces and boiling of nanofluids", M.SC. Thesis, The Royal Institute of Technology, (2003) .
13- Shou, S.H. , Pao, T.H. "Nucleate boiling characteristics of R-l 14, distended water (H_20) and R-134a on plain and rib-roughened tube geometries", International Journal heat mass transfer , Vol. 37, No3, (1994) , pp 1423- 1432
14- Jung, D., An, K., Park, J., " Nucleate boiling heat transfer coefficients of HCFC22,HFC134a, HFC125, and HFC32 on various enhanced tubes", International Journal of Refrigeration, Vol. 27, (2004), pp. 202–206 .

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com