تأثير السرعة الكتلية في تحديد أطوال أنظمة الغليان والجريان ثنائي الطور لأنبوب شاقولي مسخن

حسان حلواني

قسم الهندسة النووية، كلية الهندسة الميكانيكية، جامعة حلب

الملخص:

تمت دراسة تأثير تغير السرعة الكتلية في أطوال أنظمة الغليان والجريان ثنائي الطور على طول الأنبوب المولد للبخار لجريان قسري ثنائي الطور منتظم التسخين باتجاه الأعلى عند سيالة حرارية ثابتة، وذلك بعد تحديد أنظمة الغليان والجريان السائدة فيه، باستخدام معادلات تجريبية، وإنشاء خوارزمية توصف نظام الجريان وتحسب المتغيرات على طول الأنبوب لمختلف أنظمة الغليان والجريان السائدة فيه باستخدام لغة الـ Matlab وتُساعد في التنبؤ بهذه الأنظمة. أظهرت النتائج أن التزايد في طول الجزء المائي مع زيادة السرعة الكتلية بثبات المتغيرات الأخرى هو وفق علاقة خطية، بينما التزايد في أطوال اجزاء الغليان السطحي، الغليان السطحي المتطور، وكذلك الغليان الحجمي تتم وفق منحنيات من الدرجة الثانية وتتناقص الأطوال بالتتابع اعتباراً من طول الجزء المائي، الغليان السطحي، الغليان السطحي المتطور، والغليان الحجمي على التوالي. يلاحظ تزايد طول جزء الغليان المتوازن مع زيادة السرعة الكتلية وفق علاقة من الدرجة الثانية، وتناقص ميل المنحنيات مع زيادة السرعة الكتلية أي تزايد أكبر في السرعة الكتلية لتحقيق طول معين من الغليان المتوازن. تم صياغة التطور اللاحق للأبحاث، التي تمكن من اختيار الأطوال المناسبة لمختلف الأنظمة لتلبية الاحتياجات المختلفة في الصناعة التي تستخدم الجريان ثنائي الطور للاستفادة من ميزاتها في شدة انتقال الحرارة، هبوط الضغط.

الكلمات المفتاحية: ثنائي الطور، الغليان السطحي، الغليان السطحي المتطور.

ورد البحث للمجلة بتاريخ 2021/2/8

وقبل للنشر بتاريخ 2021/9/5

The Effect of Mass Velocity in Determining the Lengths of the Two-Phase Boiling and Flow Systems of a Heated Vertical Tube

Hassan Halwani
Dept. of Nuclear Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Aleppo.

Abstract

The effect of mass velocity change on the lengths of boiling and two-phase flow systems along the steam-generating tube of a uniformly heated two-phase forced flow upward at a constant thermal density was studied. This was done after determining the predominant boiling and flowing systems in it, using empirical equations, and creating an algorithm describing Flow system and calculating the variables along the tube for the different boiling and flowing systems predominant in it, using Matlab language to help predict these systems. The results showed that the increase in the lengths of the water fraction with increasing the mass velocity, with the stability of other variables is according to a linear relationship, while the increase in the lengths of the surface boiling fractions, advanced surface boiling, as well as the volumetric boiling is carried out according to second-order curves. The lengths decrease successively from water fraction, surface boiling, advanced surface boiling, volumetric boiling respectively. The length of the balanced boiling fraction increases with increasing the mass velocity according to a second-order relationship, and decreases in the slope of the curves with an increase in the mass velocity, i.e. a greater increase in the mass velocity to achieve a certain length of balanced boiling. The subsequent development of the research has been formulated, enabling the selection of suitable lengths of different systems to meet the different needs in industry that uses two-phase flow to benefit from their advantages in terms of heat transfer intensity, and pressure drop.

Key words: two-phase, surface boiling, advanced surface boiling**.**

Received 8 / 2/2021
Accepted 5 / 9 /2021

الرموز والمصطلحات:

GK – نقطة بداية الغليان السطحي HK– نقطة بداية الغليان السطحي المتقدم

XO – نقطة بداية الغليان الحجمي PB– نقطة بداية الغليان المتوازن

GP– نقطة بداية الجريان المشتت (تحول الجريان الحلقي المشتت إلى مشتت).

X_1– نقطة بداية البخار المشبع.

أطوال أنظمة الغليان والجريان في الأنابيب:

L_{GK} ـ طول الجزء المائي من مدخل الأنبوب حتى نقطة بداية الغليان السطحيGK.

L_{HK}– طول جزء الغليان السطحي في الأنبوب يبدآ من النقطة GK حتى HK.

L_{XO}– طول جزء الغليان السطحي المتقدم في الأنبوب يبدآ من النقطة HK حتى XO.

L_{PB}– طول جزء الغليان الحجمي في الأنبوب يبدآ من النقطة XO حتى PB.

L_{GP}– طول جزء الغليان المتوازن في الأنبوب يبدآ من النقطة XO حتى PB.

L_{X1}– طول جزء الجريان المشتت في الأنبوب يبدآ من النقطة GP حتى X1.

(P h_{in} Rw Q) هذا القوس والموجود على الأشكال المختلفة في النتائج يوضح وجود أربع متغيرات تم استخدامها في برنامج في بيئة الـ Matlab، حيث:

الرقم الأول (1): ضغط الدخول وقيمته ثابتة $P = 3\ MPa$ في البرنامج.

الرقم الثاني(1÷15): إنتالبي الدخول وقيمته $h_{in} = (300 - 1700)\ kJ/kg$ بقفزة 100.

الرقم الثالث(1÷15): السرعة الكتلية وقيمتها $Rw = (400 - 1800)\ kg/m^2 s$ بقفزة 100.

الرقم الرابع(1÷20): السيالة الحرارية وقيمتها $Q = (500 - 2400)\ kW/m^2$ بقفزة 100.

$Rw = \rho w$ تمثل السرعة الكتلية، حيث$\rho(kg/m^2.sec)$ الكتلة النوعية، w (m/sec) السرعة

1. المقدمة:

إن معرفة أنظمة الجريان ثنائي الطور بالغة الأهمية، فهي تختلف عن قرينتها في الجريان أحادي الطور وهي السبب الأهم لحل أي مشكلة تحصل في هذا النوع من الجريان [1]. يتضمن سلوك مزيج السائل– البخار العديد من العلاقات الأساسية اللازمة لحل معادلات حفظ الكتلة والطاقة للجريان ثنائي الطور، التي تعتمد بقوة على أنظمة الجريان ثنائي الطور، لهذا تعتبر معرفة أنظمة الجريان هذه مفيدة وغالباً ما نحتاجها في تحليل ونمذجة أنظمة الجريان ثنائي الطور. تعتبر أنظمة

الجريان ثنائي الطور من أكثر المواضيع غموضاً وصعوبة وقد استمرت دراستها لعدة عقود، وطرق التنبؤ الحالية لا تصف بدقة أنظمة الجريان، أو سلوك الجريان [2]، وتتبع الصعوبة من ظهور تغيرات متنوعة للغاية في بنية وتشكيل مزيج السائل– البخار تقود إلى تغيرات بنيوية تتضمن:

a) اختلاف كثافة الأطوار، كنتيجة لاستجابة الجريان ثنائي الطور بشكل مختلف للقوى، مثل قوى الجاذبية والنابذة.
b) قابلية التشوه مابين الغاز والسائل والتي تسبب في الغالب اندماج وانفصال مستمر.
c) قوى الشد السطحي، التي تحافظ على طور واحد مشتت.

إن أنظمة الجريان ومجالات تواجدها حساسة لخواص المائع، توضع واتجاه وحجم النظام، وكذلك حدوث تغير في الطور...الخ. مع ذلك فمن أجل معظم الحالات المستخدمة على نطاق واسع والشروط المحددة نسبياً (حالة الجريان الأديباتي المستقر، ماء–هواء، وماء– بخار، عبر مقطع منتظم خلال أنابيب شاقولية طويلة أو حزم من القضبان الشاقولية ذات شروط دخول منتظمة) يمكن إيجاد طرق تنبؤ دقيقة لأنظمة الجريان بشكل معقول.

تحتوي الأدبيات العلمية على معلومات وعلاقات من أجل عدد كبير من حالات الأنظمة النوعية، أنواع الموائع. على الرغم من أن التجارب في الغالب تلزم عند استخدام نظام جديد أو مائع جديد ذو أهمية، وحتى في هذه الحالات يمكن استخدام الطرق المتاحة من أجل التحليلات الأولية والحسابات التصميمية.

بعد معرفة أنظمة الغليان والجريان للجريان ثنائي الطور لابد من تحديد أطوال هذه الأنظمة في الأنابيب الشاقولية، حيث أن الأنظمة المختلفة تمتلك مواصفات مختلفة من حيث سحب الحرارة، المقاومة الهيدروليكية، استقرار الجريان، لذا فإن معرفة هذه الأطوال تكتسب أهمية خاصة، وبالتالي معرفة تأثير كافة المتغيرات على هذه الأطوال بما فيها السرعة الكتلية [3]، هو موضوع جوهري وهام، وهذا هو موضوع بحثنا.

2. الدراسة التحليلية لأنظمة الجريان والغليان باستخدام العلاقات التجريبية:

تعتمد دراسة أنظمة الجريان والغليان ثنائي الطور في الأنابيب الشاقولية على تقسيم قناة الجريان إلى ثلاث مناطق [1,4] وفق الآتي:

1) منطقة الجريان أحادي الطور (سائل):

$$h < h_{sl} \quad ; \quad T_w < T_s$$

حيث: T_w – درجة حرارة جدار الأنبوب، T_s – درجة حرارة الإشباع للسائل h_{sl} – إنتالبي السائل المشبع، h – الإنتالبي للجريان ثنائي الطور في المقطع المدروس من القناة.

2) منطقة غليان السائل غير المشبع (منطقة الغليان السطحي):

$$h < h_{sl} \quad ; \quad T_w \geq T_s$$

وتقسم هذه المنطقة إلى قسمين:

a) يبدأ هذا القسم من النقطة X_{GK} (الإنتالبي النسبي)، أي من نهاية منطقة الجريان أحادي الطور (حيث $T_w = T_s$ بداية الغليان السطحي غير المتطور) وينتهي عند النقطة X_{HK} التي توافق نقطة بداية الغليان السطحي المتطور.

b) يبدأ هذا القسم من النقطة الموافقة لبداية الغليان السطحي المتطور X_{HK} وينتهي عند النقطة الموافقة لقيمة إنتالبي نسبي $X_O = 0$ (بداية الغليان الحجمي).

3) منطقة الغليان الحجمي للسائل:

$$h > h_{sl} \quad ; \quad T_w > T_s$$

تقسم هذه المنطقة إلى أربعة أقسام:

a) يبدأ من $X_O = 0$ وينتهي عند النقطة X_{PB} الموافقة للنقطة، حيث يمكن اعتبار التيار ترموديناميكياً متوازناً.

b) يبدأ من النقطة X_{PB} وينتهي بالنقطة X_{GP}، حيث X_{GP} تمثل الإنتالبي النسبي عند نقطة الانتقال من نظام الجريان الحلقي المشتت إلى نظام الجريان المشتت.

c) يبدأ من النقطة X_{GP} وينتهي بالنقطة $X_1 = 1$، حيث $X_1 = 1$ تمثل الإنتالبي النسبي للبخار المشبع.

d) يبدأ من النقطة X_1 وينتهي بمخرج الأنبوب حيث البخار محمصاً sup.

يحدد الإنتالبي النسبي لنقطة بداية الغليان للتيار غير المشبع أو بداية الغليان الغير متطور[5] بالعلاقة التالية:

$$X_{Gk} = \frac{-q \times 43.5 \times Re^{0.2} \times Pr^{0.6}}{\rho w \times r} \qquad (1)$$

من أجل تحديد نقطة حدوث بداية الغليان المتطور للسائل غير المشبع (الإنتالبي النسبي X_{Hk}) تستخدم العلاقة التالية [5]:

$$X_{Hk} = -7.5 \times \frac{q}{\rho w \times r} \times \left(\frac{q \times d_G}{r \times \rho_{sg} \times v_{sL}} \right)^{0.08} \left(\frac{W_0 \times d}{v_{sL}} \right)^{0.2} \qquad (2)$$

حيث:

Re – رقم رينولدز، Pr – رقم برانتل، v_{sL} – الحجم النوعي للسائل المشبع(m^3/kg)، ρ_{sg} – الكتلة النوعية للبخار المشبع (kg/m^3)، W_0 – سرعة تدوير التيار ثنائي الطور(m/s)، r – الحرارة الكامنة للتبخر(kJ/kg)، ρw – السرعة الكتلية للجريان ثنائي الطور $(kg/(m^2.s))$، q – السيالة الحرارية(kW/m^2).

من أجل الجريان ثنائي الطور المتوازن [6] عندما يكون:

$$h_{sL} = h_L \quad ; \quad h_{sg} = h_g \Rightarrow x = X$$

حيث: h_L , h_g – إنتالبي البخار وإنتالبي السائل

h_{sL} , h_{sg} – إنتالبي البخار المشبع وإنتالبي السائل المشبع

x – محتوى البخار الكتلي، X – الإنتالبي النسبي للجريان ثنائي الطور لتحديد x، اقترحت العلاقة التجريبية التالية [2]:

$$\frac{x - X}{(-X_{HV})} = exp\left[-(Y - \lambda Y^3)\right] \qquad (3)$$

حيث:

$$Y = 1 + \frac{X}{(-X_{HV})} \quad ; \quad \lambda = 1 - ln\frac{x_O}{(-X_{HV})}$$

X_{HV} – الإنتالبي النسبي، الموافق لبداية التبخر الفعال. $\mathbf{X}$– الانتالبي النسبي.

x_O – محتوى البخار الكتلي عند المقطع حيث $X = 0$ ، المحددة بواسطة العلاقة:

$$X_{HV} = -17 \times \frac{q}{\overline{\rho w} \times r} \times \left(\frac{\overline{\rho w} \times d}{\mu_{sL}} \right)^{0.2} \qquad (4)$$

$$x_O = -0.2 X_{HV}$$

مع استمرار حركة التيار عبر القناة المسخنة، يسخن السائل وتتساوى درجة حرارة الأطوار في مقطع القناة، وتقترب قيم x و X_{HV} .

تحدد معادلة الإنتالبي النسبي بالعلاقة:

$$X = \frac{h - h_{sL}}{r} \qquad (5)$$

حيث: h – إنتالبي الجريان ثنائي الطور في المقطع المدروس من القناة.

عند غليان الماء غير المشبع ضمن مجال الضغوط $P = 3 - 15\ MPa$ ، السرعة الكتلية $\rho w = 400 - 3000\ kg/(m^2.s)$ والسيالة الحرارية $q = 0.4 - 2.4\ MW/m^2$ ، تحدد قيمة محتوى البخار، التي يمكن عندها اعتبار التيار ترموديناميكياً متوازناً $(X_{pB} \cong x)$ بالاستعانة بالعلاقة:

هذه الطريقة (6)

$$\frac{X_{pB}}{(-X_{HV})} = \frac{1.6}{\sqrt[3]{\lambda}} - \frac{1}{4.8 \times \sqrt[3]{\lambda^2}} - 1$$

صالحة من أجل القنوات ذات التسخين المتماثل عبر طول القناة، وذلك عند الشرط:

(محتوى البخار عند مدخل الأنبوب). $x_{in} < X_{HV}$

حيث: $\overline{\rho w}$ – السرعة الوسطية الكتلية $(kg/m^2.s)$

q – السيالة الحرارية kW/m^2

X – الإنتالبي النسبي.

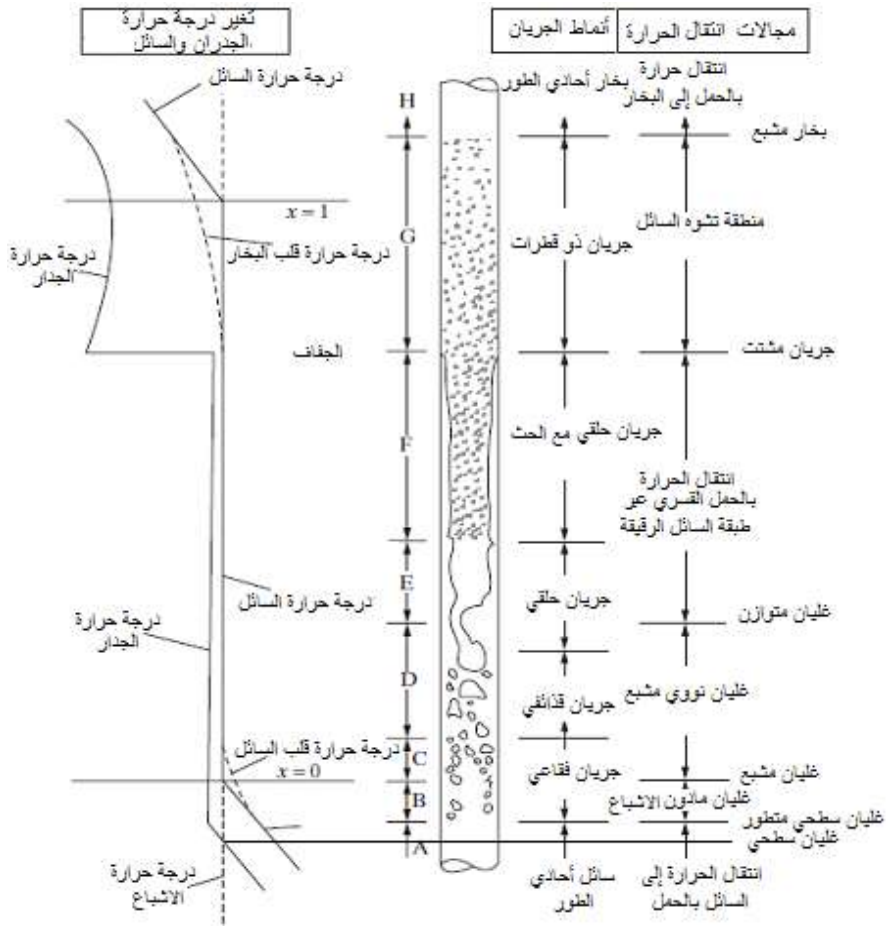
لتحديد المحتوى الحدي الكتلي للبخار x_{GP}. ، المقاس عند نقطة التحول من نظام الحلقي المشتت إلى نظام المشتت، تستخدم الصيغة [7]:

$$x_{GP} = 1 - 0.86 \times exp\left(-\frac{19}{\rho w} \times \sqrt{\frac{\sigma \times \rho_{sL}}{d_{eq}}} \right) \qquad (7)$$

حيث: σ معامل الشد السطحي (N/m)

3. أنظمة الغليان في الجريان القسري:

تعتبر عملية الغليان في الأنابيب بالجريان القسري أكثر صعوبة من الغليان الحر، نظراً للعلاقة الوثيقة بين العمليات الهيدروديناميكية وعمليات انتقال الحرارة بالغليان. يحدث التأثير المتبادل بين الطورين وأنظمة انتقال الحرارة بالغليان، على طول القنوات المسخنة خلال الغليان القسري كنتيجة لارتفاع نسبة البخار. تتطور أنظمة الغليان ثنائي الطور من حيث البنية على امتداد قنوات التسخين بشكل مختلف عما هو في نظام الجريان ثنائي الطور الأديباتي. الشكل المفضل للغليان في الأنابيب، هو الغليان في القنوات الشاقولية ذات الجريان للأعلى. تساعد قوة الطفو في هذا الشكل من القنوات على جريان المزيج، والسرعة النسبية بين الطورين، الناتجة عن فرق الكثافة، تحسن فعلياً عملية انتقال الحرارة. يظهر الشكل (1) تفصيلاً لأنظمة الجريان ولأنظمة انتقال الحرارة في أنبوب شاقولي منتظم التسخين ذو جريان للأعلى، ومعرض لسيالة حرارية معتدلة، حيث المائع على المدخل سائل غير مشبع [1]، كذلك يبين نفس الشكل تغيرات درجات الحرارة لكل من الجدار والسائل. بالقرب



الشكل (1) – أنظمة الغليان والجريان ثنائي الطور في أنبوب شاقولي ذو كثافة حرارية على الجدران معتدلة [1] (Collier & Thome ,1994)

من مدخل الأنبوب، حيث درجة حرارة السائل أدنى بكثير من الإشباع، ولا يسمح بنشوء فقاعات، يكون نظام الجريان سائل أحادي الطور ونظام انتقال الحرارة بالحمل القسري. بمتابعة بداية الغليان تتسلسل أنظمة الجريان، التي تشمل الفقاعي، القذائفي، والحلقي، ويليه الجريان القطري المشتت، وأخيراً نظام جريان أحادي الطور لبخار محمص [1,8,9,10,11]. يختلف نظام الجريان ثنائي الطور الحقيقي بعض الشيء من حيث الشكل عن نظيره في الجريان ثنائي الطور الأديباتي.

4. أهمية البحث وأهدافه:

إن تغيرات أنظمة الغليان والجريان ثنائي الطور في الأنابيب الشاقولية

المرتبطة مع تغير كلٍ من السيالة الحرارية، السرعة الكتلية، قطر الأنبوب، طول الأنبوب، إنتالبي الدخول، الضغط تلعب دوراً هاماً في المنشآت التي تستخدم ميزات ثنائي الطور مثل مولدات البخار، مفاعلات الماء المغلي، أجهزة التبريد الإلكترونية، حيث أن تغير نظام الغليان والجريان وتواجد بعض الأنظمة وغياب بعضها الآخر يعتبر حاسماً من حيث استقرار الجريان ، شدة إنتقال الحرارة ، هبوط الضغط، ظهور أزمة إنتقال الحرارة الأولى والثانية، تحديد التيارات الحرارية الحرجة، احتياطي التيار الحراري الحرج، الإنتقال من الجريان القسري إلى الطبيعي الهام في المفاعلات النووية في حال حدوث عطل، لذلك فإن دراسة تأثير السرعة الكتلية، كونه أحد البارامترات المؤثرة، في تغير أطوال أنظمة الغليان والجريان تعتبر مهمة للغاية.

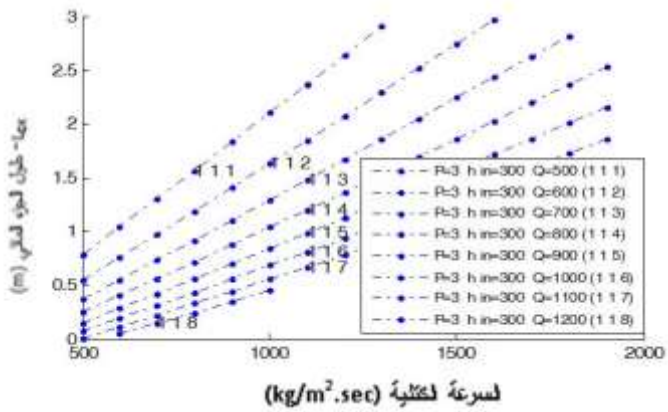
5. طريقة البحث:

يعتمد البحث على إنشاء برمجية في بيئة الـ Matlab لتحديد أنظمة الغليان والجريان لثنائي الطور الماء – البخار وذلك بالاستعانة بمعادلات تجريبية لتحديد بدايات الغليان السطحي، الغليان السطحي المتطور، الغليان الحجمي، الغليان المتوازن، ومن ثم إجراء دراسة تحليلية لتأثير السرعة الكتلية في تحديد أطوال أنظمة الغليان والجريان في أنبوب شاقولي منتظم التسخين.

6. النتائج وتحليلها:

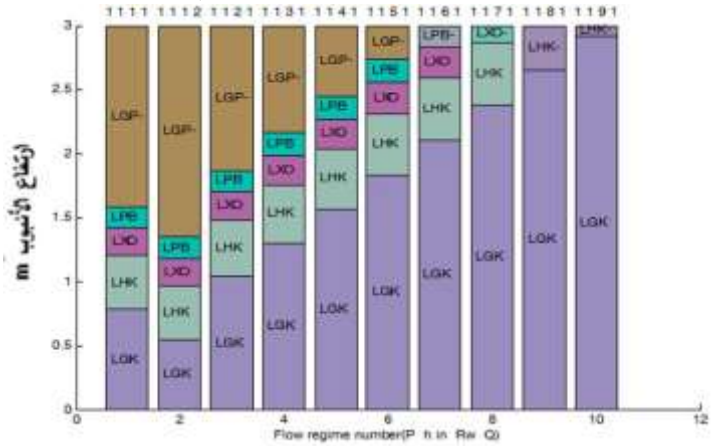
1) علاقة طول الجزء المائي L_{GK} بالسرعة الكتلية:

من ملاحظة الشكل (2) نجد أنه مع زيادة السرعة الكتلية($\rho w\ (Kg/m^2.sec$ بثبات الضغط، إنتالبي الدخول، والسيالة الحرارية يزداد طول الجزء المائي L_{GK} بشكل خطي، ومن أجل قيم أقل للسيالة الحرارية تكون الزيادة أكبر في الطول L_{GK} حيث ميل المنحني أقل من أجل قيم أكبر للسيالة الحرارية، الشكل (3) يشير إلى أن



الشكل (2) – علاقة طول الجزء المائي LGK بالسرعة الكتلية بثبات قيم (P hin)

ومن أجل عدة قيم ثابتة لـ Q الأرقام على المنحني (p hin Q)

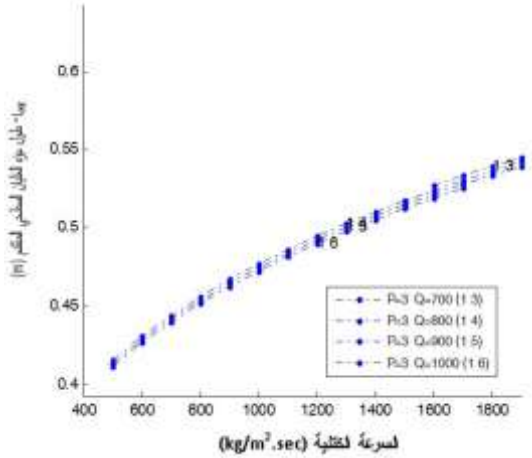


الشكل (3) تمثيل توزع أنظمة الغليان والجريان في الأنابيب

الأنابيب الأول، ومن الثالث وحتى العاشر هي من أجل ضغط، انتالبي دخول، وتسخين حراري ثابتة لجميع هذه الأنابيب، ولكن تختلف في قيم السرعة الكتلية وهي تمثل المنحني (1 1 1) المبين على الشكل (2) وكل أنبوب من الشكل (3) ممثل بنقطة على المنحني (1 1 1). واضح من الشكل (3) أن أطوال الجزء المائي L_{GK} تزداد من الأنبوب الأول (1 1 1) وحتى العاشر (1 9 1 1) (باستثناء الثاني لأن السيالة الحرارية مختلفة).

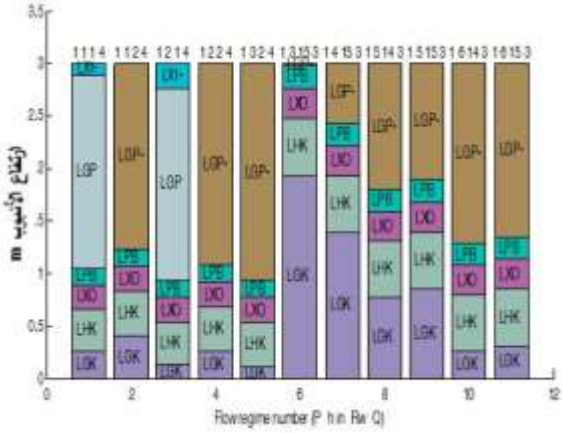
2) علاقة طول جزء الغليان السطحي L_{HK} بالسرعة الكتلية:

تشير المنحنيات على الشكل (4) أن الطول L_{HK} (الذي يمثل طول جزء الغليان السطحي) يزداد وفق منحني من الدرجة الثانية مع زيادة السرعة الكتلية وذلك من أجل



الشكل (4)– علاقة طول جزء الغليان السطحي L_{HK} بالسرعة الكتلية بثبات قيم (P h_{in}) ومن أجل عدة قيم ثابتة لـ Q الأرقام على المنحني (p Q)

قيمة ثابتة للسيالة الحرارية، وبملاحظة المنحنيات "(3 1)، (4 1)، (5 1)، (6 1)" شكل (4) نجد أن هذا التزايد ضئيل، كما يلاحظ من الشكل أنه مع زيادة السيالة الحرارية (6 1) يكون مستوى الطول L_{HK} أقل، مقارنة مع سيالة حرارية أقل (3 1).



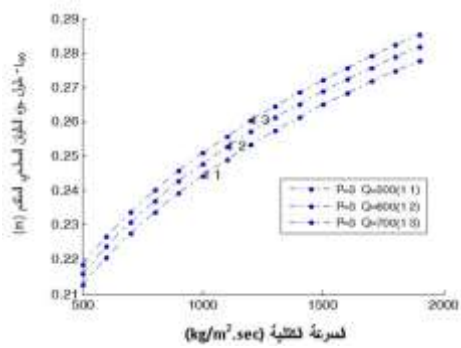
الشكل (5)– تمثيل توزع أنظمة الغليان والجريان في الأنابيب

يبين الشكل (5) أن الأنابيب الثنائية التالية " (4 2 1 1)، (4 1 1 1) "،" (4 2 2 1)، (4 1 2 1) "، " (3 5 15 1)، (3 14 5 1) "، " (3 6 15 1)، (3 14 6 1) " والتي فيها

كل أنبوب يختلف عن الأنبوب الآخر بالسرعة الكتلية وذلك بثبات المتغيرات (p h_{in} Q) يظهر فيها أن طول الجزء L_{HK} يزداد بزيادة السرعة الكتلية (زيادة طفيفة مشابهة للتزايد المبين في منحنيات الشكل (3)). كما يلاحظ أن التزايد في أطوال الجزء المائي L_{GK} مع زيادة السرعة الكتلية هو أكبر مقارنة مع زيادة أطوال الجزء L_{HK} شكل (4).

3) علاقة طول جزء الغليان السطحي المتطور L_{XO} بالسرعة الكتلية:

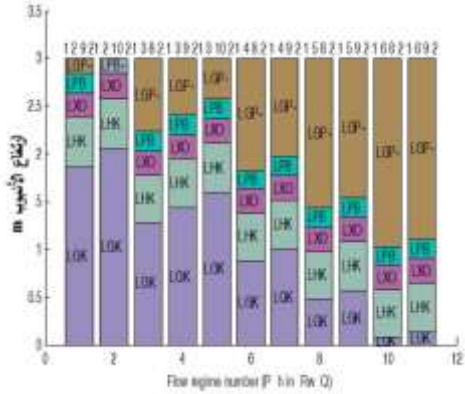
تمثل المنحنيات في الشكل (6) منحنيات من الدرجة الثانية أكثر انحناءً من السابقة، وكما هو واضح من الشكل فإن زيادة السرعة الكتلية تؤدي إلى زيادة طول الجزء L_{XO} وذلك من أجل قيمة ثابتة للسيالة الحرارية، في حين أنه من أجل سرعة كتلية ثابتة فإنه مع زيادة السيالة الحرارية يزداد طول الجزء L_{XO}. وهذا مختلف عما لاحظناه بالنسبة إلى الطول L_{HK} في المنحنيات السابقة حيث يحدث العكس. من الواضح أيضاً أن تزايد الأطوال L_{HK} مع زيادة السرعة الكتلية هو اكبر مقارنة مع أطوال L_{XO}، انظر الاحداثيات الشاقولية في الشكلين (3)، (5)، وكذلك الأطوال الموافقة في الشكل (6).



الشكل (6)– علاقة طول جزء الغليان السطحي المتقدم LXO بالسرعة الكتلية بثبات قيم (P hin) ومن أجل عدة قيم ثابتة لـ Q الأرقام على المنحني (p Q)

الشكل (7) يشير إلى أن مجموعات الأنابيب" (2 10 2 1)، (2 9 2 1) "، " (2 10 3 1)، (2 9 3 1)، (2 8 3 1) "، " (2 9 4 1)، (2 8 4 1) "، " (2 9 5 1)، (2 8 5 1) " ، " (2 9 6 1)، (2 8 6 1) " توضح أن زيادة السرعة الكتلية تؤدي إلى

زيادة الأطوال L_{XO} بثبات باقي المتغيرات، وكذلك فإن تزايد الأطوال L_{GK}، L_{HK} هي أكبر من تزايد الأطوال L_{XO} لكل مجموعات الأنابيب المشار إليها أعلاه.

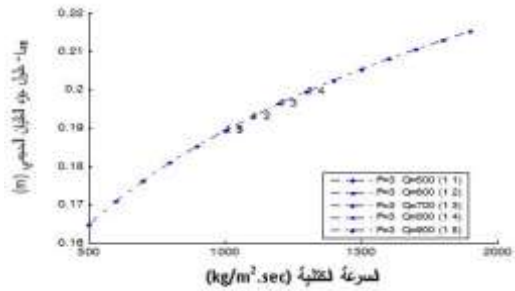


الشكل (7)– تمثيل توزع أنظمة الغليان والجريان في الأنابيب

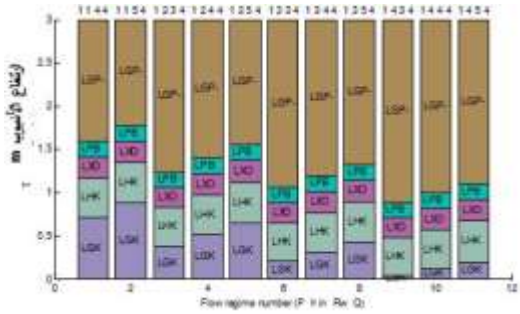
4) علاقة طول جزء الغليان الحجمي L_{PB} بالسرعة الكتلية:

يمثل المنحني شكل(8) العلاقة بين السرعة الكتلية وطول الجزء L_{PB} وكما هو واضح أن المنحني من الدرجة الثانية، حيث يزداد طول الجزء L_{PB} مع زيادة السرعة الكتلية بثبات السيالة الحرارية، كما يلاحظ أن لا تأثير للسيالة الحرارية على الطول L_{PB}، انظر الأنظمة

[(1 1)، (1 2)، (1 3)، (1 4)، (1 5)] متطابقة رغم تغير السيالة الحرارية، حيث أنه في هذه المنطقة يصبح السائل مشبع، ويتم التبخير تحت درجة حرارة ثابتة، وفي نهاية هذا الجزء يبدأ الغليان المتوازن، أي لا يوجد تبادل حراري بين الطورين من جهة وبين الأنبوب والمزيج الملامس له من جهة أخرى.



الشكل (8) – علاقة طول جزء الغليان الحجمي LPB بالسرعة الكتلية بثبات قيم (P hin) ومن أجل عدة قيم ثابتة لـ Q الأرقام على المنحني (p Q)

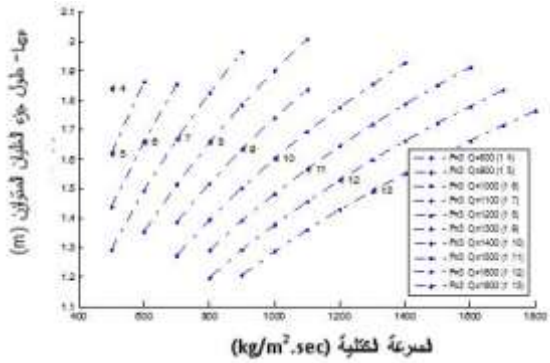


الشكل (9) – تمثيل توزع أنظمة الغليان والجريان في الأنابيب

يمثل الشكل (9) بعض الأنابيب الموافقة لنظام الجريان (4 1) (الذي يمثل (p Q) المبين على الشكل (8) وهي الأنبوبين الأول والثاني "(4 1 5 1)، (4 1 4 1)". لاحظ أيضاً مجموعات الأنابيب كل على حدى" (4 1 5 1)، (4 1 4 1) "، " (1 2 5 4)، (4 1 2 4)، (4 1 2 3)"، " (4 1 3 5)، (4 1 3 4)، (4 1 3 3) "، " (4 1 4 5)، (4 1 4 4)، (4 1 4 3)"، والتي تختلف بالسرعة الكتلية بثبات (p h_{in} Q) لكل مجموعة، توضح أن زيادة السرعة الكتلية تؤدي إلى زيادة طول الجزءLPB، ومن المفيد إيضاح أنه من غير الممكن مقارنة كل المجموعات مع بعضها لأنها تختلف بقيم إنتالبي الدخول.

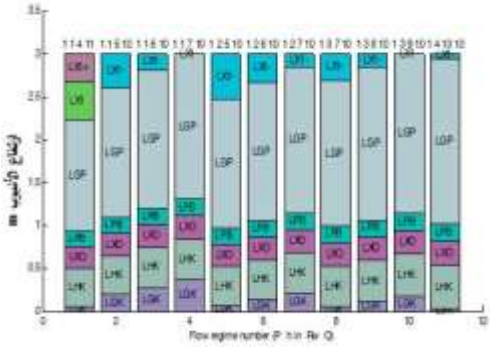
5) علاقة طول جزء الغليان المتوازنLGP بالسرعة الكتلية:

يبين الشكل (10) علاقة طول الجزء LGP بالسرعة الكتلية من أجل قيم متغيرة للكثافة الحرارية، المنحنيات " (4 1)، (5 1)، (6 1)، (7 1)، (8 1) ...." . يلاحظ تزايد الطولLGP مع زيادة السرعة الكتلية من أجل سيالة حرارية ثابتة وفق علاقة من الدرجة الثانية، كما يلاحظ تناقص ميل المنحنيات بزيادة السرعة الكتلية أي ارتفاع مقدار الزيادة في السرعة الكتلية لتحقيق طول LGP معين. يبين الشكل (11) بعض



الشكل (10) –علاقة طول جزء الغليان المتوازن LGP بالسرعة الكتلية، بثبات قيم P, hin ومن أجل عدة قيم ثابتة لـ Q الأرقام على المنحني (p Q)

الأنابيب التي تمثل المنحني "(10 1) " المبين على الشكل (10). الأنابيب "(10 5 1 1)، (10 6 1 1)، (10 7 1 1) تختلف بالسرعة الكتلية بثبات الضغط وإنتالبي الدخول والسيالة الحرارية وهي تمثل ثلاث نقاط من المنحني (10 1). يلاحظ أنه مع زيادة السرعة الكتلية يزداد الطول LGP.



الشكل (11) – تغير أنظمة الجريان على طول الأنبوب – كل أنبوب يمثل نقطة من المنحنيات المبينة على الشكل (10)

7. النتائج والتوصيات:

- يزداد طول الجزء المائي LGK بشكل خطي مع زيادة السرعة الكتلية بثبات الضغط، إنتالبي الدخول، والكثافة الحرارية.
- يزداد الطول LHK (الذي يمثل طول جزء الغليان السطحي) وفق منحني من الدرجة الثانية مع زيادة السرعة الكتلية وذلك من أجل قيمة ثابتة للسيالة الحرارية.

كما يلاحظ أن التزايد في أطوال الجزء المائي L_{GK} مع زيادة السرعة الكتلية هو أكبر مقارنة مع زيادة أطوال الجزء L_{HK}.

- تؤدي زيادة السرعة الكتلية إلى زيادة الأطوال L_{XO} بثبات باقي المتغيرات، وكذلك فإن تزايد الأطوال L_{GK}، L_{HK} هي أكبر من تزايد الأطوال L_{XO}.
- يزداد طول الجزء L_{PB} مع زيادة السرعة الكتلية بثبات السيالة الحرارية وفق منحني من الدرجة الثانية.
- زيادة السرعة الكتلية من أجل سيالة حرارية ثابتة وفق علاقة من الدرجة الثانية.
- يمكن الاستفادة من العلاقات التجريبية لتحديد بداية الغليان السطحي، السطحي المتقدم، الحجمي، الحجمي المتقدم، التوازني وضمن المجالات التي تستخدم فيها، في دراسة تأثير البارامترات المختلفة في تغير أنظمة الغليان والجريان لثنائي الطور.
- في الدراسات اللاحقة ينصح بشكل مسبق وحسب متطلبات مجالات الصناعة المختلفة التي تستخدم الجريانات ثنائية الطور تحديد أطوال أنظمة الغليان والجريان المختلفة أولاً ومن ثم يجري العمل على اختيار البارامترات المناسبة لتحقيق هذه الأطوال، وهذا يتطلب عملاً شاقاً ولكن مفيداً جداً.
- يمكن تطوير هذا النوع من الدراسات باستخدام الطرق العددية، ولكن بعد ادخال تعديلات وصياغة حديثة للقوانين الناظمة لهذه الجريانات سواء النظرية آو التجريبية.

References

1. GHIAASIAAN, M. S.; Two-Phase Flow Boiling and Condensation in Conventional and Miniature Systems. First ed., Cambridge University Press-2008, 613.
2. R.Dabirian; L.Thompson; R.Mohan; O.Shohan, Pressure – Minization Method for prediction of Two – phase – Flow splitting ,Oil – Gas Fac 5 (05) October 2016.
3. E.A.Chimmv; F.V.Ronshin; O.A.Kabov, Regimes of two – phase flow in miro – and minichannls, May 2015, Thermophysics And Arechanics 22(3): 265- 284.

4. PETUKHOV, B.S., GENIN, L. G., GOVALIOV, S.A.; Heat Transfer of Nuclear Power Units; second ed. Power Atom Press Moscow. 1986,472.
5. GRIGORIEV, V.A., ZORIN V.M.; Atomic Thermal Electric Stations; Handbook, Energy Press ,Moscow, 1982, 624.
6. POLYANIN, L.N. ,IBRAHIMOV, M.X.,SOBILOV,G.E.; Heat Transfer in Nuclear Reactors. Energy Press ,Moscow,1982, 88.
7. GALCHENCO,E.F.,CERGEIEV,V.V.; Generalized Data of Boundary Steam Content ,Teploenergetica vol.3-Moscow 1983, p158-159.
8. ABEDINI, S. H.; A Thesis Presented to the Faculty of The Graduate College at the University of Nebraska In Partial Fulfillment of Requirements For the Degree of Master of Science ,A Numerical Investigation of Two Phase Solar-Collector Pipe, Lincoln, Nebraska, May, 2012, 87.
9. STEVANVIC, V. Professor Sanja Prica Research Assistant MASLOVIć B. Research Assistant University of Belgrade Faculty of Mechanical Engineering, Multi-Fluid Model Predictions of Gas-Liquid Two-Phase Flows in Vertical Tubes , VOL. 35, No 4, FME Transactions, 2007, 173-181.
10. BUONGIORNO, J. Associate Professor of Nuclear Science and Engineering 22.06 Engineering of Nuclear Systems MIT Department of Nuclear Science and Engineering Notes on Two-Phase Flow, Boiling Heat Transfer, and Boiling Crisis in PWRs and BWRs JB / Fall 2010, 34.

11. GONZALEZ, J. Z.; Thesis Doctoral ,Water Evaporation in Tubes: Analytical Approach For The Subcooled Flow Boiling Region and
Development of A Method For Evaluation and Sizing Evaporators ,Madrid, December 2009, 190.