

دراسة تجريبية للتخلص من الرغوة الرطبة أثناء جريان السوائل بتقنية ميكانيكية

د. م. احمد محمد الأحمد *

(تاريخ الإيداع ٢٧/٥/٢٠٢٤ . قبل للنشر في ١٤/٧/٢٠٢٤)

□ ملخص □

في هذا البحث قمنا بدراسة إمكانية التخلص من الرغوة الرطبة التي تنشأ عند جريان السوائل اللزجة و متوسطة اللزوجة و ذلك نتيجة وجود طور غازي ضمن الطور السائل بسبب التوتر السطحي (surfactant) و قد قمنا بدراسة تجريبية و اعتمدنا على طريقة ميكانيكية في تحطيم هذه الرغوة حيث تم تثبيت شيكان (chicane) ذو رأس حاد مؤنّف يسهل عملية تفجير الفقاعات الغازية ضمن الجريان و ذلك نتيجة التلامس الميكانيكي. قمنا بدراسة هبوط الضغط على طرفي الشيكان و كذلك دراسة سماكة الفيلم السائل بجوار الجدار السفلي للإنبوب و كذلك تأثير جودة الرغوة (نسبة الطور الغازي إلى الطور السائل) فمن أجل $\beta=85\%$ كان هبوط الضغط أعظميا حوالي (-585 pa/m) و ازدياد سماكة فيلم السائل بعد الشيكان يدل بوضوح على فعالية هذه الطريقة حيث تم تحطيم 50% من الفقاعات تقريبا.

An experimental study of wet foam removal during liquid flow by using a mechanical technique.

(Received 27/5/2024 . Accepted 14/7/2024)

□ ABSTRACT □

In this research, we studied the possibility of getting ride of the wet foam that arises when viscous and medium-viscosity liquids flow as a result of the presence of a gaseous phase within the liquid phase due to surface tension (surfactant). We conducted an experimental study and relied on a mechanical method to destroy this foam, where it was installing a chicane with a sharp, pointed tip which facilitates the process of destroying gas bubbles within the liquids flow as a result of mechanical contact. We studied the pressure drop at both ends of the chicane, as well as the thickness of the liquid film next to the bottom wall of the tube, as well as the effect of foam quality (the ratio of the gas phase to the liquid phase), and the increase in the thickness of the liquid film after the chicane clearly indicates the effectiveness of this method..

مقدمة

تعد الرغوة من الموائع المعقدة والتي تتألف من طورين، طور سائل وطور غازي حيث ينشأ الطور الغازي ضمن الطور السائل ويستقر فيه بفضل التوتر السطحي (surfactant) وتتشكل الرغوة من مجموعة كبيرة من الفقاعات الغازية المترابطة مع بعضها البعض عبر جدران رقيقة جداً من مادة السائل و تقدر سماكتها بالميكرومتر (Tisné, 2004) تسمى هذه الجدران بالفيلم، وتتشكل هذه الجدران فيما بينها شبكة من الأقمية حيث يجري الطور السائل الرئيسي بفعل قوة الجاذبية. نصادف هذه الظاهرة في عدة تطبيقات صناعية مثل: عمليات تكرير البترول، وسوائل إطفاء الحريق، وفي الصناعات الغذائية وتستخدم الرغوة كسوائل تنظيف للدارات الهيدروليكية بفضل لزوجتها. جريان الرغوة يحتل حالياً مكاناً هاماً وي طرح عدة مشاكل في عدة من التطبيقات، فالرغوة تشكل عائقاً للجريان وكذلك تسبب التكيف في المضخات وتسبب ضياعات في الضغط وبالمقابل تستخدم الرغوة في عمليات حفر الآبار كمزيت وفي بعض الصناعات الغذائية فثبات الرغوة دليل على جودة النبيذ على سبيل المثال (Boissonnet, 1998).

إن ما سنهت به هنا دراسة الآثار السلبية لوجود الرغوة التي تعيق الجريان في عمليات ضخ ونقل المنتجات البترولية الخفيفة مثل المازوت والبنزين حيث نلاحظ وبشكل واضح تشكل هذه الرغوة أثناء ضخ هذه المنتجات بشكل كثيف، ويتم التخلص من الرغوة بطريقتين أساسيتين: طريقة كيميائية وطريقة ميكانيكية. الطريقة الكيميائية: تعتمد على إضافات كيميائية تخفض التوتر السطحي مما يؤدي لضعف الغشاء الرغوي و من ثم تحطمه.

الطريقة الميكانيكية : وهي طريقة التحطيم بوجود عائق ذو رأس مؤنّف (شيكان) يقوم بتحطيم الفقاعة ميكانيكياً.

مشكلة البحث و أهميته

إن الرغوة التي تتشكل أثناء عمليات الضخ للسوائل البترولية الخفيفة و المتوسطة اللزوجة تؤدي إلى حدوث ظاهرة التكيف، مما يؤثر سلباً على عملية الضخ بشكل كبير، و كذلك وجود الفقاعات الغازية التي قد تتحد مع بعضها مشكلة جيوب غازية قد تؤدي لإنقطاع الجريان. لذلك تم البحث عن طرق و تقنيات للتخلص من هذه الرغوة و كانت للطريقة الكيميائية فعالية جيدة و لكن الإضافات الكيميائية سوف تؤثر على خواص التركيب الكيميائي للمنتج، لذلك كانت الطريقة الميكانيكية موضوع هذا البحث لها أهمية في هذا المجال كونها لا تغير الخواص الفيزيائية و الكيميائية للمنتج.

هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة التحطيم الميكانيكي لفقاعات الرغوة باستخدام شيكان و دراسة تأثير وجوده على خواص الجريان، و بيان مدى فعالية هذه الطريقة لاستخدامها في أنابيب نقل النفط و أنابيب الضخ.

الدراسات المرجعية

لقد اهتم الباحثون بموضوع جريان الرغوة لما لها من أهمية في مجالات متعددة كما بيّنا سابقاً، و قد تنوعت الأبحاث و الدراسات بين دراسات نظرية و عددية و تجريبية و معظم تلك الدراسات كانت تهدف لتحديد خواص جريان الرغوة و العوامل المؤثرة على هذا الجريان و كذلك تم الاهتمام بدراسة استقرار و ثبات الرغوة و أيضاً جودة الرغوة. فقد قام (Hapanowicz, 2024) بإجراء دراسة تجريبية بهدف التنبؤ بهبوط الضغط في نظام جريان الرغوة الرطبة، قد قام بتطبيق نتائج البحث التجريبي لتحديد مجموعة معادلات ناظمة للجريان و قد اعتمد في تجاربه على

التصوير المقطعي في تحديد الأبعاد و السرعة و من خلال قياس هبوط الضغط تم تحديد ثوابت و أسس المعادلات الناظمة لجريان الرغوة.

لقد اهتم (Zhou, 2020) بتوليد تدفق رغوي مستقر و متجانس و قد قام بدراسة خصائص التدفق و نمطه معتمداً على التصوير و المحاكاة العددية و كان الهدف من توليد هذه الرغوة المستقرة تحسين استخدامها في إطفاء الحرائق.

قام (Ajani, 2016) بدراسة العديد من خصائص الرغوة و تأثير تركيز المواد الخافضة للتوتر السطحي على ترحيل الرغوة حيث تم جمع البيانات التجريبية لتدفق الرغوة مستخدماً خمسة مواد خافضة للتوتر السطحي و قد تم تحديد التركيز الأمثل لكل مادة خافضة للتوتر السطحي.

في الصناعات البترولية وظف (Tisné, 2004) الرغوة كمائع مزيت و منظم في حفر الآبار البترولية و قد قام بدراسة أهمية ضخ الرغوة في طبقات الصخور المسامية لاستخلاص النفط.

(Xie, 2004) قدم دراسة هامة لبنية الرغوة و توزيع الفقاعات الغازية و بين أن هذا التوزيع يتعلق بأن واحد بحجم الفقاعة و شكلها و قد اعتمد على الأمواج فوق الصوتية و التصوير الضوئي في قياس أبعاد الفقاعات.

و قد قام كل من (Tanet, 2004) و (Tamura, 1998) بدراسة استقرار الرغوة و قد تبين أن إضافة المواد الخافضة للتوتر السطحي يؤدي لاستقرار و ثبات الرغوة و ذلك بسبب منع الفقاعات من الإندماج مع بعضها البعض و كذلك بسبب تأخير تصريف السائل بين الفقاعات.

(Boissonnet, 1998) بين أهمية استخدام الرغوة كبديلاً فعالاً في إزالة التلوث من الدارات الهيدروليكية في المحطات النووية و قد تطلب ذلك معرفة السلوك الأمثل لتدفق الرغوة عند ملامستها لجدران الأنابيب و قام بتوصيف الفيلم السائل الذي يبلى الجدار و الذي له دور أساسي في تسهيل انزلاق الرغوة.

بعد هذه الدراسة المرجعية حصلنا على بعض المعلومات المهمة حول بنية الرغوة وثباتها بالإضافة إلى بعض العوامل التي يمكن أن تؤثر على سلوكها، وأتاحت لنا هذه الدراسات أيضاً تحديد تأثير العوامل الأساسية الأخرى ، مثل نسبة حجم الغاز و سمك طبقة الجدار المنزلة التي تتحكم بسلوك الجريان الرغوي أثناء التدفق في أنبوب أفقي.

الدراسة النظرية

طريقة تشكل الرغوة:

تعد الرغوة من الموائع المركبة وتتشكل من انتشار فقاعات من غاز ما في سائل ما وهذه الفقاعات تكون منفصلة بغشاء رقيق من مرتبة الميكرن ويسمى الغاز بالطور المنتشر والسائل بالطور المحيط وتتشكل الرغوة بطريقتين أساسيتين (Tante, 2004):

طريقة الانتشار: حيث يختلط الغاز مع الوسط السائل وذلك من خلال الارتجاج أو الاهتزاز أو بواسطة نفخ الغاز في الوسط السائل كما يحصل في نقل وضخ المنتجات البترولية.

طريقة التجميع: حيث يكون الطور المنتشر مذاباً في السائل وعندما يتعرض هذا السائل لانخفاض الضغط فسرعان ما تنفصل جزيئات الغاز المذاب لتشكل الرغوة وتظهر هذه الطريقة في المياه الغازية والبيرة والشمبانيا.

من أجل دراسة جريان الرغوة لا بد من دراسة خواص الجريان ودراسة الفيلم السائل قرب الجدار.

التوتر السطحي في الرغوة:

إن جزيئات المائع الموجودة على السطح الحر للسائل تتأثر بالقوى الناتجة عن جزيئات المائع أسفله مما يجعل السطح مشدوداً للأسفل فيظهر السطح الحر للمائع بشكل غشاء متماسك وتعرف قوى التوتر السطحي γ بأنها معدل تغير الطاقة الداخلية إلى التغير في مساحة السطح:

$$\gamma = \left(\frac{\partial E}{\partial A} \right)_s \quad (1)$$

وبفرض أن فقاعة كروية نصف قطرها (r) فإن تفاضل الضغط يعطى بقانون لابلاس:

$$\Delta P = 2\gamma/r(2)$$

وهذا يبين أن الضغط للفقاعات الكبيرة أصغر من ضغط الفقاعات الصغيرة.

توزع الفقاعات (بنية الرغوة):

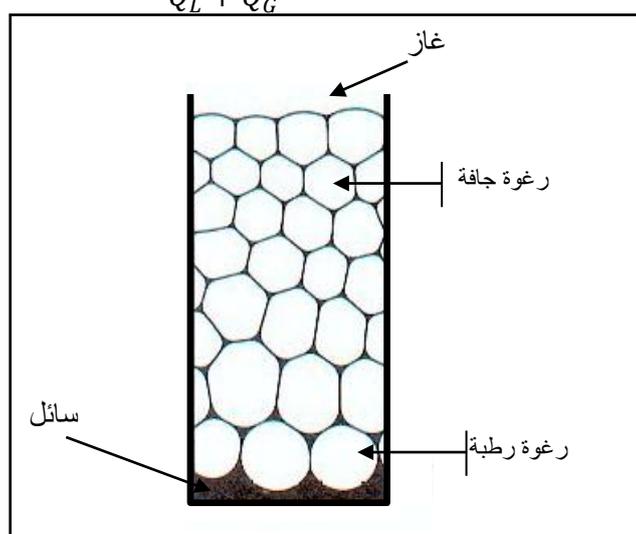
يتعلق توزع الفقاعات بشكل وحجم هذه الفقاعات معاً ومن التقنيات المستخدمة لهذا الغرض تقنيات التصوير الضوئي، والموجات فوق الصوتية وتعتبر تقنية تحليل الصور من التقنيات الحديثة والمستخدمة في تحديد الحجم الوسطي للفقاعة حيث يتم التصوير باستخدام جدران شفافة لمقطع الأنبوب الذي يحصل به الجريان. وتلعب درجة الفراغ دوراً هاماً في توزع الفقاعات والأقنية المتشكلة بين هذه الفقاعات والتي ينساب فيها السائل بفعل الجاذبية حيث تتميز الرغوة الجافة في الأعلى وفي الأسفل الرغوة الرطبة كما هو مبين في الشكل (١). و تعطى درجة الفراغ بالعلاقة:

$$\phi = \frac{V_G}{V_L + V_G} \quad (3)$$

V_G : حجم الغاز و V_L : حجم السائل

وأثناء الجريان يستخدم عامل آخر مشابه لدرجة الفراغ وهو نسبة تدفق الغاز إلى تدفق المزيج

$$\beta = \frac{Q_G}{Q_L + Q_G} \quad (4)$$



الشكل (١): بنية الرغوة و توزع الفقاعات الغازية

إن استقرار الرغوة يعتمد بشكل عام على عدة عوامل أهمها (Turner, 1999):

- تصريف السائل خلال الرغوة: إن قوة الجاذبية والخاصية الشعرية في المحلول الرغوي تؤدي لجريان السائل ضمن شبكة القنوات ما بين الفقاعات من الأعلى إلى الأسفل وهذا التصريف التدريجي يؤدي لإضعاف غشاء الفقاعة وبالنتيجة تحطم هذه الفقاعة.

- تبخر المحلول الرغوي: وهذا يحدث بفعل الحرارة المرتفعة والتي تؤدي لإضعاف الفيلم بين الفقاعات.
دراسة جريان الرغوة:

إن دراسة جريان الرغوة يعتمد على مبدئين:

- دراسة عامة ظاهرياً حيث تعتبر الرغوة كوسط مستمر.

- دراسة تحليلية لبنية الفقاعات كما وردت سابقاً.

في الدراسة الظاهرية لجريان الرغوة سوف تظهر قوى قص ناتج عن لزوجة الرغوة في قلب الوسط الرغوي وكذلك انزلاق المائع الرغوي على فيلم سائل بجوار جدار الأنبوب و الذي له فعل تزييتي.

سرعة الإنزلاق:

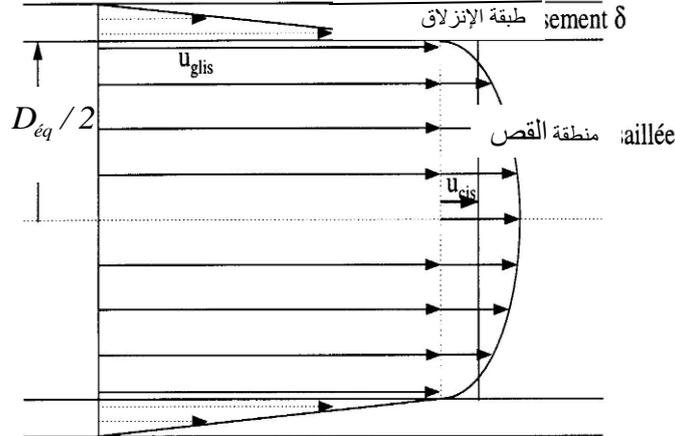
من أجل جريان صفحي مع انزلاق ضمن إنبوب ذو قطر D فإن حقل السرعة يبدو كما في الشكل (٢) حيث U السرعة المتوسطة وتساوي:

$$U = U_{glis} + U_{cis} \quad (5)$$

حيث:

U_{glis} : سرعة الإنزلاق

U_{cis} : سرعة القص



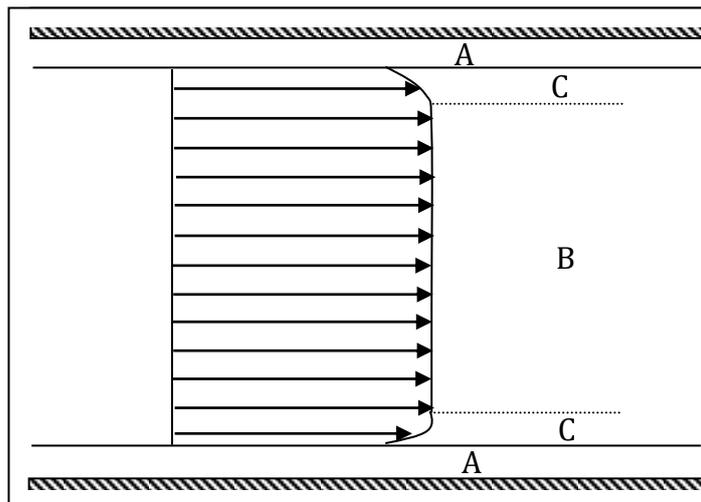
الشكل (٢): بروفيل السرعة لجريان الرغوة الصفحي

في طبقة الفيلم بجوار الأنبوب ذو السماكة (δ) تكون السرعة العظمى مطابقة لسرعة الإنزلاق (U_{glis}) والمائع ينزلق فوق هذا الفيلم بسرعة نسبية (U_{cis}) إن سرعة الإنزلاق (U_{glis}) تعتمد فقط على إجهاد القص قرب الجدار (τ_p)

$$U_{glis} = b\tau_p \quad (7)$$

حيث b هو ثابت يدعى عامل الإنزلاق.

إذاً إن بروفيل السرعة لهذا الجريان يتألف من ثلاث مناطق كما هو موضح بالشكل (٣)



الشكل (٣): مناطق بروفييل السرعة لجريان الرغوة

المنطقة A: وهي طبقة الإنزلاق حيث يتصرف المائع بمواصفات الموائع النيوتونية حيث يغيب الطور الغازي.
 المنطقة B: و هي منطقة الجريان المكبسي.
 المنطقة C: حيث إجهاد القص يتجاوز عتبة الإجهاد وتنتهي اللزوجة بحدود المنطقة (B) وتعطى سماكة الطبقة الإنزلاقية بالعلاقة:

$$\delta = \mu l \frac{U_m}{\tau_p} = \frac{16. l. Q. \mu l}{\pi D_{eq}^3 \cdot \Delta p} \quad (8)$$

حيث U_m : السرعة الوسطية لجريان الرغوة.

Q : التدفق الحجمي الكلي.

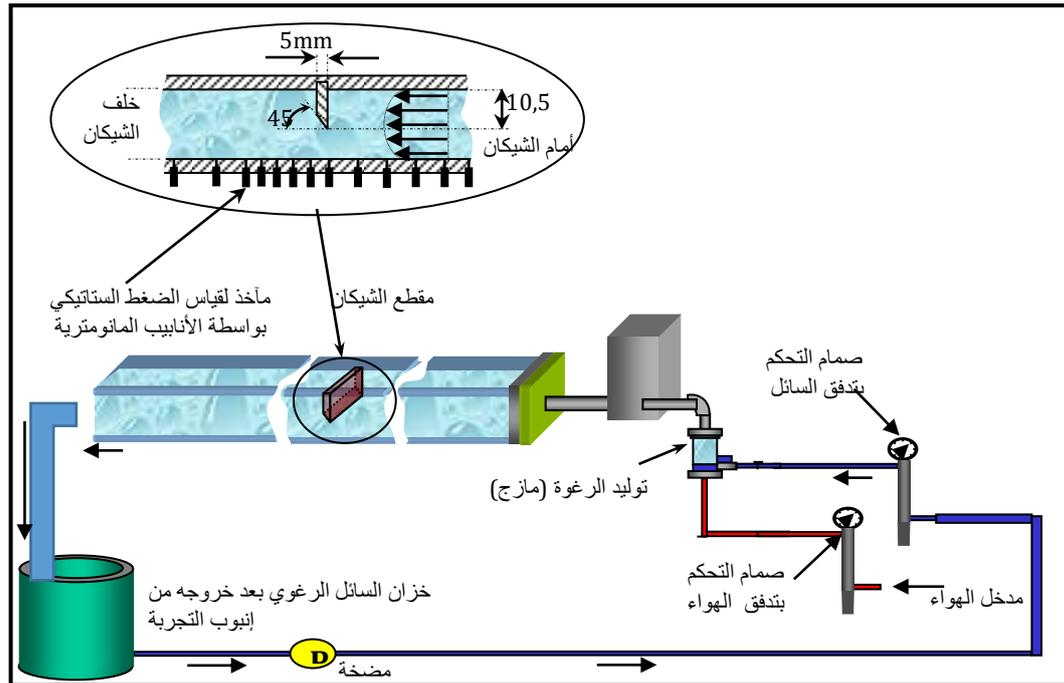
L : المسافة اللازمة لحصول هبوط ضغط قدره ΔP .

D_{eq} : القطر المكافئ للمجرى

μ_L : اللزوجة الديناميكية للمائع الرغوي

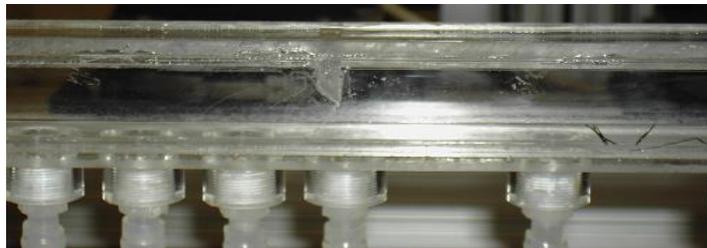
مواد البحث وأجهزة القياس

تم تصميم دارة كما هو مبين بالشكل (٤) مؤلفة من خزان للسائل الرغوي و مضخة السائل و الهواء و مزج الهواء و السائل و صمامي التحكم بالتدفق للهواء و السائل الرغوي و كذلك مجرى شفاف مصنوع من البلكسي كلاس لمراقبة و تصوير الجريان.



الشكل (٤): أجزاء الدارة المستخدمة في التجربة و تسلسلها

قمنا بدراسة تحطيم الرغوة بطريقة ميكانيكية وذلك باستخدام عائق (chican) حيث تم تثبيته معترضاً الجريان داخل الأنبوب من الأعلى والذي تم تأنيف سطحه بزواوية (45°) وذلك لزيادة فعالية التحطيم كما هو موضح بالشكل (٥).



الشكل (٥): موضع الشيكان ضمن مجرى تدفق الرغوة

ومن خلال التجارب سوف نقوم بقياس:

١- ضياعات الضغط أمام العائق (chicane).

٢- ضياعات الضغط خلف العائق.

٣- دراسة تأثير جودة الرغوة.

٤- دراسة سماكة الفيلم بجوار الجدار السفلي.

تم توليد الرغوة باستخدام ماء وسائل صابوني مع ضخ كمية من الهواء بواسطة مضخة هواء، تم قياس التدفق للسائل عن طريق معايرة الصمام، ونفس الأمر بالنسبة لكمية الهواء وبذلك قمنا بتعيين جودة الرغوة (β) أما قياس هبوط الضغط أمام وخلف العائق (الشيكان) تم بواسطة أنابيب مانومترية (شكل ٦) ومن أجل دراسة السرعة قمنا باستخدام كاميرا حيث تم تصوير مجموعة صورة متلاحقة بسرعة (٢٠ صورة في الثانية الواحدة).



الشكل (٦): الأنابيب المانومترية المستخدمة في قياس الضغط أمام و خلف الشيكان

تم ضخ السائل بواسطة مضخة عادية (12v) ضمن إنبوب ذو مقطع مربع بطول (4m) ومقطع (50 × 50 mm) حيث تم تثبيت الشيكان في منتصف المسافة من الأعلى. تمت الدراسة من أجل تسعة قيم لـ (β) والتي توافقت التدفقات كما هو معطى بالجدول (١) أما سماكة الفيلم السائل تحت الرغوة فتم تعيينها مباشرة من الصور الملتقطة.

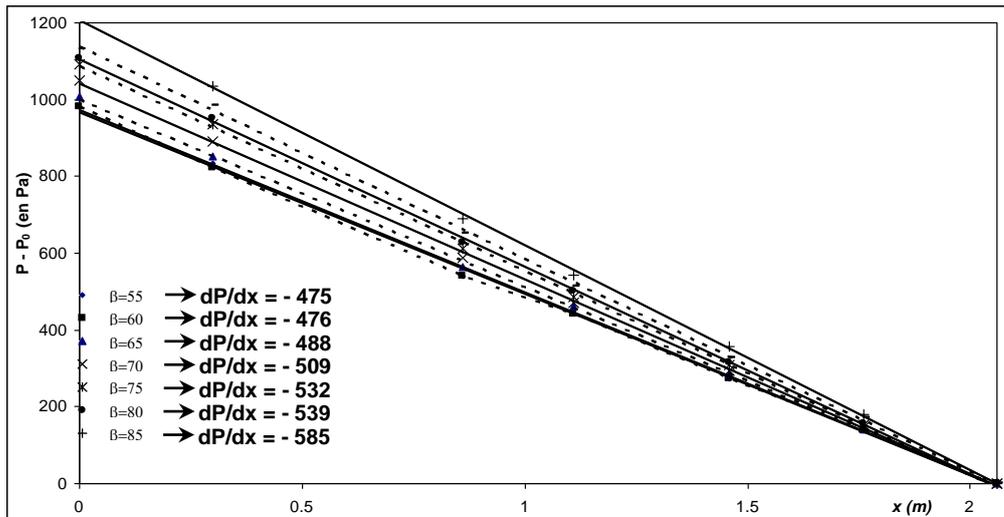
$$\beta = Q_g / (Q_g + Q_l) \quad (9)$$

$Q_g(l/h)$	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
$Q_l(l/h)$	٤١	٣٣,٥	٢٧	٢١,٥	١٦,٥	١٢,٥	٩	٥,٥	٢,٥
$\beta(\%)$	٥٥	٦٠	٦٥	٧٠	٧٥	٨٠	٨٥	٩٠	٩٥

الجدول (١): قيم β الموافقة لتدفقات الغاز و السائل

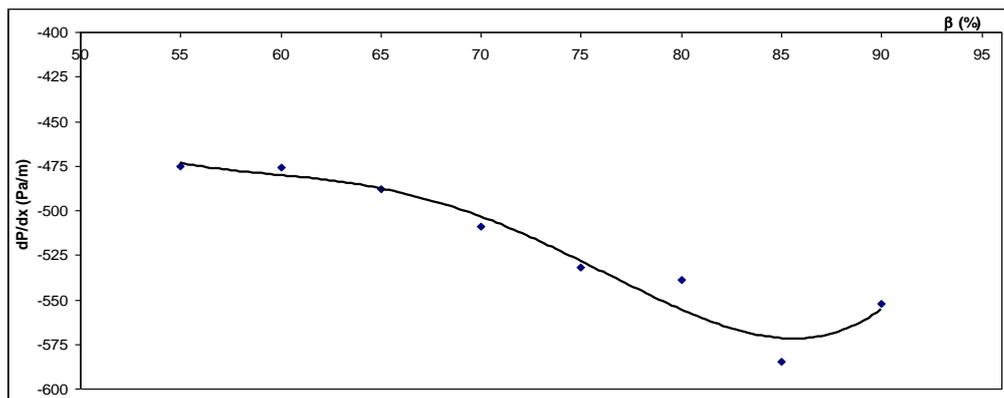
النتائج و المناقشة

سوف نقوم في البداية بعرض نتائج هبوط الضغط في الأنبوب بدون (الشيكان) وبعد ذلك سنعرض النتائج بوجود الشيكان وسنقارن النتائج للحالتين. إن ضياعات القدرة (هبوط الضغط) هي نتيجة لاحتكاك السائل مع جدران الأنبوب (الضياعات الخطية) والتي تتناسب مع طول الأنبوب وخشونة جدرانه وكذلك مع لزوجة السائل أما الضياعات الموضعية فهي نتيجة وجود عوائق تسبب تغير في جهة الجريان مثل (الأكواع والصمامات، التفريعات، والشيكان، ...) تم تعيين هبوط الضغط بسبب الضياعات الخطية والشكل (7) يبين هبوط الضغط تبعاً لجودة الرغوة (β).



الشكل (٧): هبوط الضغط تبعاً لجودة الرغوة على طول المجرى

لقد بدا واضحاً أنه كلما ازدادت جودة الرغوة كلما ازدادت الضياعات الخطية حيث تغير هبوط الضغط من $(475 Pa/m)$ حيث $(\beta = 55\%)$ إلى $(585 Pa/m)$ حيث $(\beta = 85\%)$ كما هو موضح على الشكل (٨)



الشكل (٨): هبوط الضغط تبعاً لجودة الرغوة على مسافة (1.25m) من طول الأنبوب

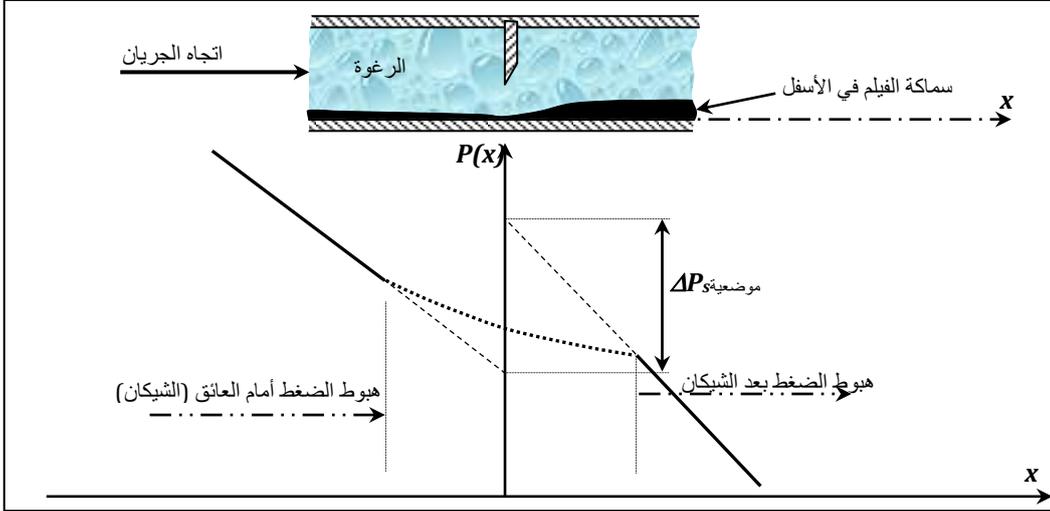
وبالمقارنة مع هبوط الضغط في نفس شروط التجربة لجريان الماء (في نفس الأنبوب وب نفس السرعة) نرى أن هبوط الضغط حوالي $(-0,65 Pa/m)$ أي أن ضياعات الطاقة بفعل الإحتكاك عند جريان الرغوة تقدر بحوالي (800 – 900) ضعف مما يحدث عند جريان الماء بطور وحيد وهذه الخاصية تعطي للرغوة أهمية كبيرة في بعض التطبيقات الصناعية مثل تنظيف الأنابيب.

ومن جهة أخرى فإنه عند تدفق ثابت للجريان فإن تدرج الضغط $(\frac{dP}{dx})$ يصبح أكبر عندما تزداد قيمة (β) حتى قيمة حدية تقريبية $(\beta = 85\%)$ حيث تصبح الرغوة في طور الانتقال من الحالة الرطبة إلى الحالة الجافة ولذلك ينخفض تدرج الضغط عند هذه القيمة الحدية بشكل بسيط.

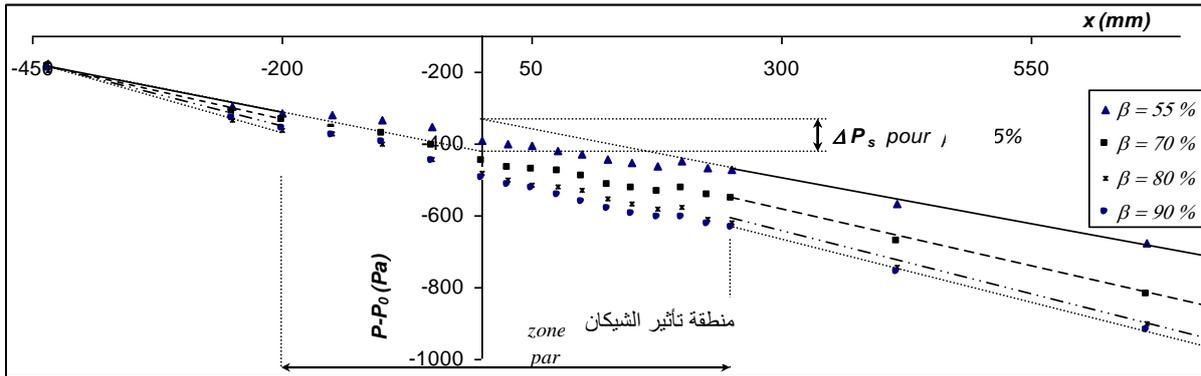
دراسة هبوط الضغط الموضعي على طرفي (الشيكان)

إن وجود الشيكان المثبت داخل الأنبوب من الأعلى سوف يسبب تغيرات هامة في جريان الرغوة وقد تم قياس هبوط الضغط على طرفي الشيكان (أمام الشيكان وخلفه)، وكذلك تم قياس الضغط الموضعي الموضح بالشكل (٩) بواسطة الأنابيب المانومترية، نلاحظ أن وجود الشيكان قد أظهر منطقة تأثير (موضحة على

الشكل (١٠) على هبوط الضغط قد تم تعيين (ΔP_s) من أجل كل قيمة أمام وخلف الشيكان كما هو موضح على الشكل (١٠).



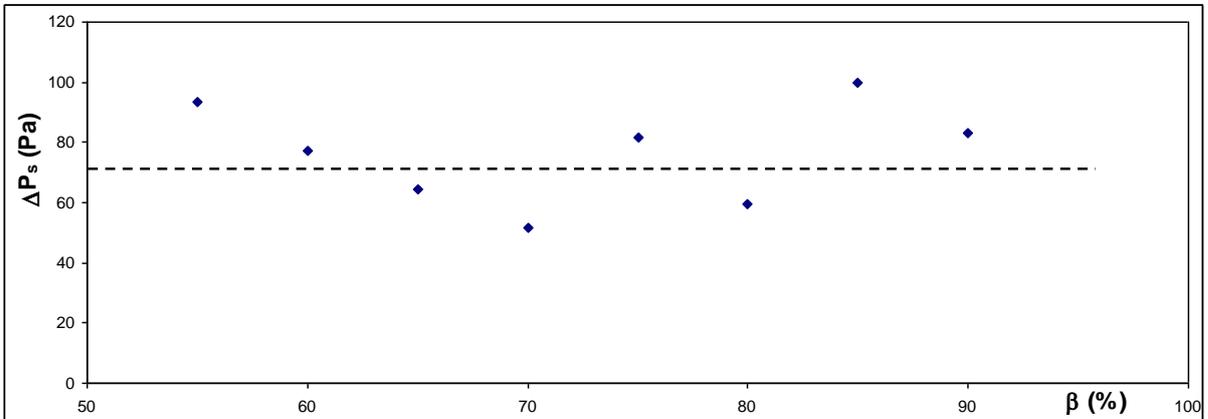
الشكل (٩): توضيح قياس الضغط الموضعي ΔP_s



الشكل (١٠): منطقة تأثير الشيكان على الضغط الموضعي عند سرعة جريان 2m/s

بينما الشكل (١١) تأثير القيمة (β) جودة الريوة على هبوط الضغط الموضعي (ΔP_s) ويبدو أن تأثير (β)

جودة الريوة ليس لها تأثير يذكر على قيمة (ΔP_s)



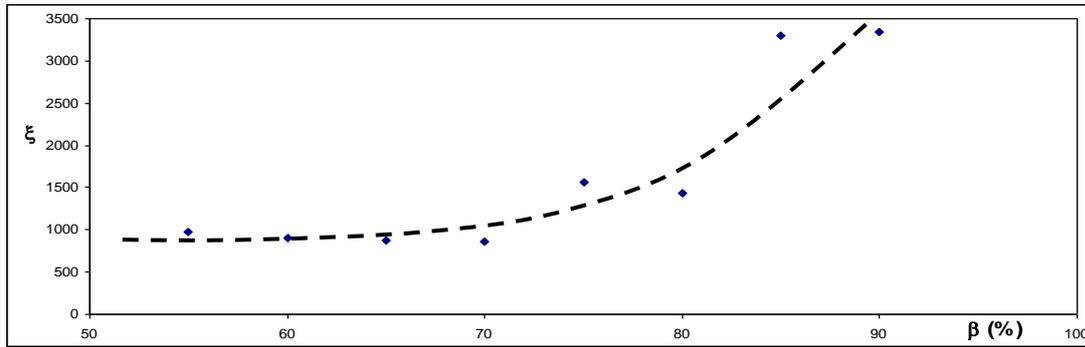
الشكل (١١): تأثير جودة الريوة على هبوط الضغط الموضعي

ويمكن تعيين عامل الضياعات الموضعية للشيكان من العلاقة

$$H_s = \xi \frac{V^2}{2g} \quad \xi = \frac{H_s}{V^2/2g} = \frac{\Delta P_s}{\frac{1}{2} p_m V^2} \quad (10)$$

$$p_m = \beta p_g + (1 - \beta) p_L \quad (11)$$

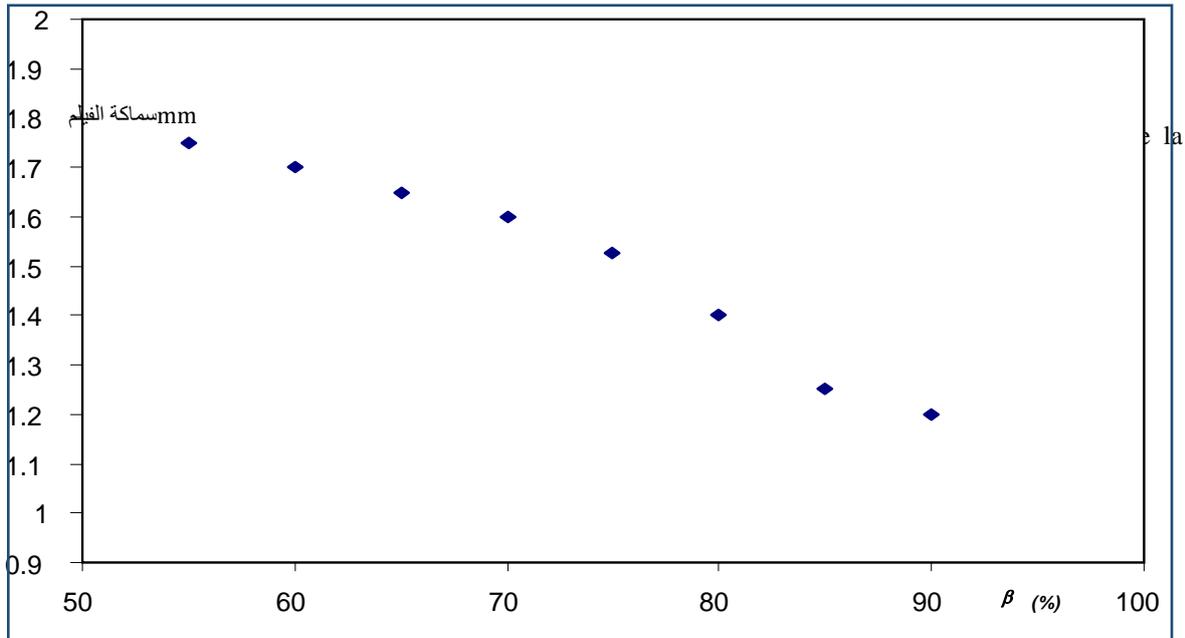
وقد تم تمثيل العلاقة بين (β و ξ) بالشكل (١٢) و نلاحظ ازدياد قيمة عامل الضياعات الموضعية بتحسن جودة الرغوة.



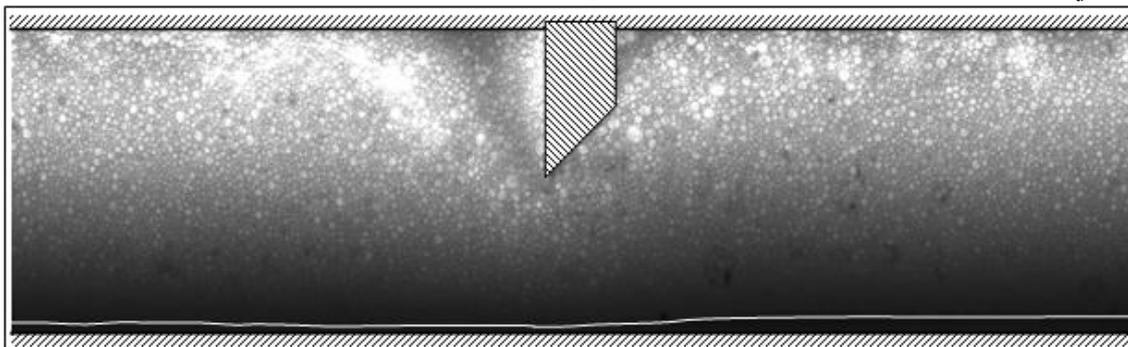
الشكل (١٢): تأثير جودة الرغوة على عامل الضياعات الموضعية للشيكان

سماكة الفيلم السائل تحت الجريان أسفل الانبوب

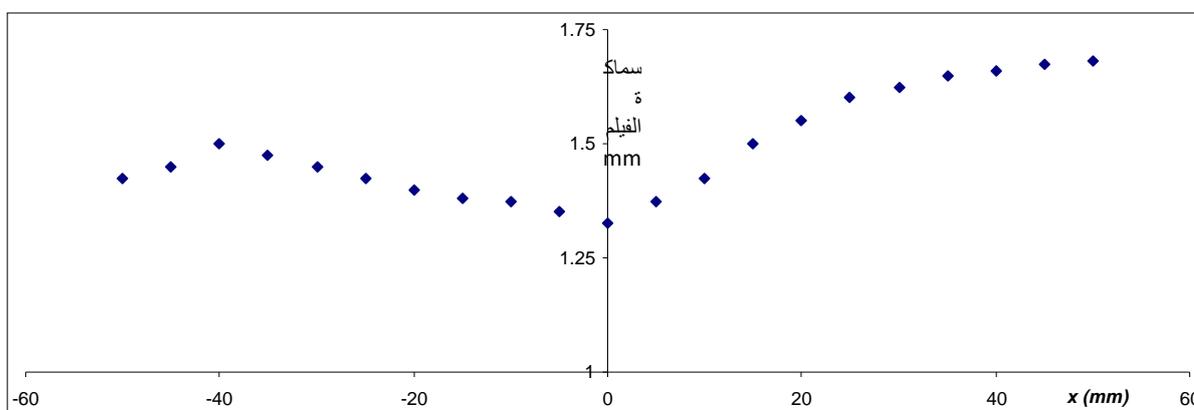
قمنا بقياس سماكة الفيلم بعد الشيكان بحوالي (4cm) من أجل عدة قيم لجودة الرغوة (β) و كانت نتيجة القياس موضحة على الشكل (١٣) حيث كان من الواضح أن زيادة جودة الرغوة أدت لنقصان في سماكة الفيلم السائل حيث أن زيادة جودة الرغوة تتطلب انقاص الطور السائل.



و من أجل تبيان فعالية الشيكان في تحطيم الرغوة تم قياس سماكة الفيلم قبل و بعد الشيكان و بدأ واضحا ازدياد في سماكة الفيلم السائل بعد الشيكان كما هو موضح بالشكلين (١٤) و (١٥)



الشكل (١٤): ازدياد سماكة الفيلم السائل أسفل الجريان



الشكل (١٥): سماكة الفيلم السائل أسفل الجريان قبل و بعد الشيكان

الاستنتاجات و التوصيات

- إن هبوط الضغط يعتمد بشكل أساسي على جودة الرغوة (β) ويتبين أن زيادة قيمة (β) أدت لزيادة هبوط الضغط، فزيادة (β) بمقدار (30%) أدى لهبوط الضغط بمقدار (115 pa/m).
- إن وجود الرغوة أدى لزيادة هبوط الضغط بحوالي [900 – 700] مرة عما هو عليه عند جريان الماء فقط.
- إن الضياعات الموضعية أمام الشيكان أكبر من الضياعات خلف الشيكان حيث أن وجود الشيكان يشكل عائق أمام الجريان
- تم لحظ زيادة في سماكة الفيلم السائل أسفل الأنبوب وهذا ما يؤكد أن وجود الشيكان قد ساهم في تحطيم هذه الفقاعات حيث ترسب الجزء المائي فيها أسفل الأنبوب لتزداد معها سماكة الفيلم السائل.
- نوصي بإجراء الدراسة باستخدام أكثر من شيكان واحد و دراسة تأثير وجودها على هبوط الضغط و تحطيم الرغوة.

المراجع

- [1] Hapanowicz. P, Szydłowska. A , Żak. K, A method of predicting the two-phase liquid-liquid flow resistance in a horizontal pipe with a layer of metal foam, International Journal of Multiphase Flow, Volume 171, January 2024.
- [2] Zhou. P, Xu Zhang, Yang. Z, Study on the flow characteristics of nitrogen gasfoam in horizontal foam generator, International Journal of Multiphase Flow, Volume 129, August 2020.
- [3] Ajani. P, Kelkar. M, Sarica. C, Pereyra. E, Foam flow in vertical gas wells under liquid loading: Critical velocity and pressure drop prediction, International Journal of Multiphase Flow, Volume 87, December 2016.
- [4] TISNE P., DOUBLIEZ L., ALOUI F., Determination of the slip layer thickness for a wet foam flow, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, Vol. 246, pp. 21-29, 2004.
- [5] XIE W., NEETHLING S. J., CILLIERS J. J., A novel approach for estimating the average bubble size for foam flowing in vertical columns, Chemical Engineering Science, Vol. 59, pp.81-86, 2004.
- [6] XIE W., NEETHLING S. J., CILLIERS J. J., A novel approach for estimating the average bubble size for foam flowing in vertical columns, Chemical Engineering Science, Vol. 59, pp.81-86, 2004.
- [7] TAN S. N., FORNASIERO D., SEDEV R., RALSTON J, The role of surfactant structure on foam behaviour, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 263, Issues 1-3, pp.233-238, 2005.
- [8] BOISSONNET G., Etude expérimentale d'un mousse humide en écoulement en conduite horizontale de section rectangulaire, Thèse de Doctorat, Univ de Nantes, 1998.
- [9] TAMURA T., TAKEUCHI Y., KANEKO Y., J. Colloid Interface Sci. Vol. 206, 1998.
- [10] TURNER D., DLUGOGORSKI B., PALMER T., Factors affecting the stability of foamed concentrated emulsions, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol 150, 171-184, 1999