دراسة مختبرية لتقليل الأحتكاك في الأنابيب باضافة البوليميرات[+]

LABORATORY STUDY TO REDUCE FRICTION IN PIPES BY POLYMERIC ADDITIVES

هادي عبيـــد البشـــر[*]

المستخلص

يهدف البحث الى دراسة تأثير اضافة البوليميرات الى الماء على نمط تغير معامل الأحتكاك في الأنابيب في حالة الجريان الاضطرابي .

أستخدمت في التجارب البولي أكريلاميد مادة مضافة بوليميرية تمت دراسة تأثير هذه المادة بتراكيز واطئة (0.005, 0.013, 0.025 %) على معامل الأحتكاك (λ) . بينت الدراسة ان البـــولي أكريلاميـــد (PAM) المضاف يقلل معامل الأحتكاك (λ) بنسب (37.95% – 6.51) مقارنةً مع معامل الأحتكـــاك للماء قبل الأضافة في حالة الجريان الأضطرابي.

كما تمت دراسة تأثير(PAM) المضاف بنسب عالية (0.06% – 0.03) على نسبة تخفيض (λ) وبينت الدراسة زيادة تأثير البوليمر المضاف على تقليل معامل الأحتكاك (λ) بنسب تراوحت بين 21.32 الى 44.62% وأنخفاض تأثير البوليمر المضاف (PAM) على معامل الأحتكاك عند تجاوز قيم تراكيـــز (PAM) المثلى التي تراوحت (0.042% , 0.038 , 0.033 , 0.03) . ثم رسمت العلاقات بين عـــدد رينولدز و معامل الأحتكاك (λ) وبين نسبة تركيز PAM (C%) مع نسبة تخفيض معامل الأحتكاك.

Abstract

The aim of this research was to study the effect of polymeric additives to water on friction factor change in a turbulent pipe flow.

Experiment was done using the polyacrylamide (PAM) as polymeric additive to show the effect of addition of (PAM) with low concentrations (0.005,0.013 , 0.025%) on the friction factor (λ) . The results showed that the addition of (PAM) will reduced (λ) with a range of 6.51 to 37.95% comparable with the friction factor (λ) for water befor addition in a turbulent flow . Also studied the effect of addition (PAM) with high concentrations between(0.03 – 0.06%) on the reduction percent of (λ) .

The results showed increasing the effect of the addition (PAM) on the reduction percent of (λ) with arrange of 21.32 to 44.62% and decreasing the effect of addition (PAM) on (λ) when exceeded the optimum values of PAM concentrations (0.03-0.042%) at several Reynold's numbers . A relations have

[+] تاريخ استلام البحث ٢٠٠٦/٨/١٦ تاريخ قبول النشر ٢٠٠٧/٧/١

[*] مدرس / المعهد التقني / الكوت

been obtained between Reynold's numbers and (λ) and between the concentrations (C%) with reduction percent of (λ) .

المقدمة

الطرق العمليه لتقليل المقاومة الهيدروليكية او خسائر الأحتكاك التي تعد مسألة مهمة منذ فترة طويلة وبالنظر للتطور الحاصل في مجال الصناعة والزراعة ونقل النفط ومشتقاته وكثرة استخدام المياه في الري والزراعه وفي محطات توليد الطاقة الكهربائيةلا سيما المحطات الحرارية فقد اصبح تخفيض المقاومة الهيدروليكية وزيادة سرعة تدفق السوائل احد اهم الأمور العلمية والتكنولوجية.

في السنوات الأخيرة حصل تقدم كبير في طرق تخفيض هذه المقاومة باضافة بعض المواد الى السوائل بنسب معينة فمثلا يشير الباحث [1] الى ان اضافة مادة كاربوكسي مثيل السيليلوز الى الماء يؤدي الى تقليل المقاومة الهيدروليكية بنسبة 15% كما يشير الباحث نفسه الى ان المواد البوليميرية افضل من غيرها من المواد التي تستخدم لهذا الغرض. اذ يوضح الباحث المذكور ان اضافة البوليمير يسبب زيادة سمك الطبقة التحتية التي تؤدي الى زيادة سرعة الجريان ان جزيئات البوليمير في المنطقة القريبة من جدار الأنبوب والتي يحدث فيها انحدار كبير في السرعة تخلق او تكون تباينا في خواص اللزوجة في الأتجاهين العرضي والطولي .

ويؤكد الباحث [2] هذه الخاصية ايضاً بدراسته حول ديناميكية جزيئات البوليمير في الجريان الأضطرابي اذ يشير الى ان تقليل المقاومة بواسطة جزيئات البوليمير في الطبقة المتاخمة في الجريان الاضطرابي يعتمد على لزوجة السائل الموقعية .

والدراسات النظرية التي توصل اليها الباحث [3] تشير الى تأثير جزيئات البوليمير على توزيع الدوامات في الأتجاه الطولي للجريان وان شدة التذبذب الأضطرابي في الأتجاه القطري يتلاشى كما هو متوقع والدراسات النظرية الحديثة تدعم ذلك كما أشار الباحث [4] .

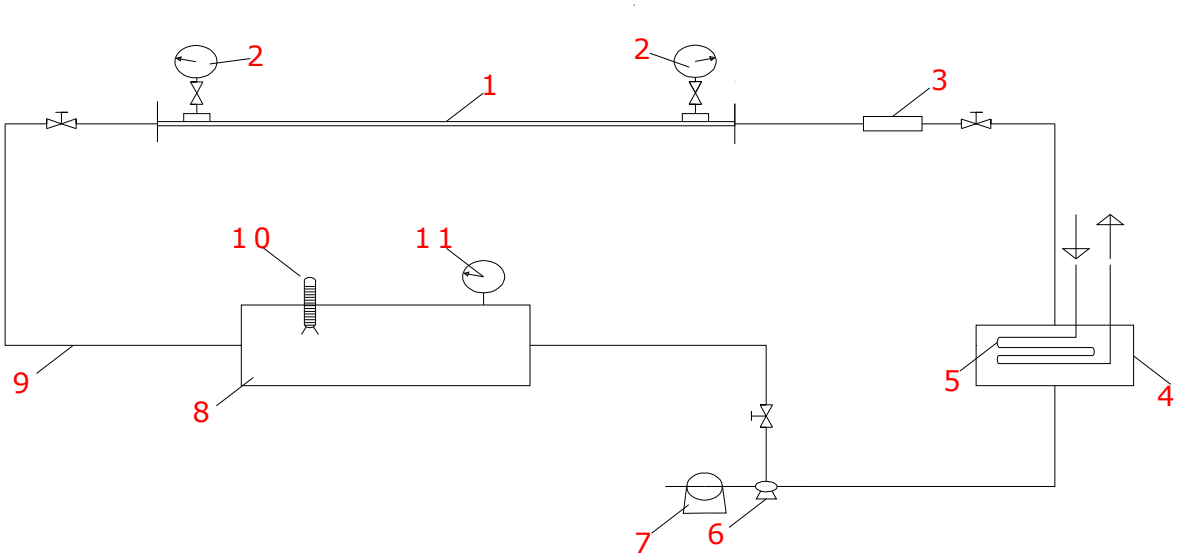
ان البوليميرات العضوية تتكون من وحدات تركيبية عضوية متكررة وهي مواد غزت الأسواق العالمية خاصة البوليميرات المحضرة ولها أهمية كبيرة في مجالات الحياة ومن هذه البوليميرات البولي اوكسي اثيلين ، اذ يستخدم لتقليل خسائر الأحتكاك في المنظومات الهيدروليكية كما بينت البحوث [4,5,6] في هذا المجال .

وتركزهذا البحث على احد هذه البوليميرات وهو البولي اكريلاميد (P A M) ذكر الباحث [7] ان (PAM) يستخدم في صناعة الورق واستخراج المعادن وهو رخيص الثمن، ويتم الحصول عليه بواسطة بلمرة الاكريلاميد بواسطة الجذور الحرة في المحاليل المائية .

وبين الباحث [8] ان مادة (PAM) تقلل خسائر الاحتكاك في الانابيب ذات التقلصات والتوسعات غير المتوقعة ولكن تزداد خسائر الأحتكاك في التوسع المفاجيء بسبب نشوء الدوامات.

ويشير الباحث [9] الى ان (PAM) شديد التجاوب مع الماء ويمتزج معه بشكل تام ويستخدم لمنع او تقليل التعرية في التربة خاصة عند هطول الامطار الغزيرة ، ويستعمل في السيطرة على الغبار وحفظ التربة وتعفير المزروعات كما يستعمل لمنع او تقليل حركة الأحياء الدقيقة ويقلل عسرة الماء فقد اشارالى ان أفضل نسبة لأستخدامه مع الماء لأغراض زراعية هي (0.005%) وان زيادة هذه النسبة لا تعطي فائدة في مجال الزراعة . وتبرز أهمية البحث من خلال التعرف على تأثير اضافة مادة البولي اكريلاميد على نمط او سلوك

تغير معامل الأحتكاك.



شكل رقم (١) منظومة جريان السوائل واجهزة القياس

العمل المختبري

لغرض التعرف على نمط او سلوك تغير المقاومة الهيدروليكية او خسائر الاحتكاك عند اضافة المواد البوليميرية الى الماء استخدمت وحدة الأختبار الموضحة في الشكل رقم (١) .

١. الجزء الخاضع للاختبار

٢. مقاييس الضغط

٣. مقياس التدفق

٤. خزان

٥. مبادل حراري

٦. مضخة الطرد المركزي

٧. محرك كهربائي

٨. الخزان المخمد

٩. خط الضغط pressure line

١٠. مقياس حرارة السائل ١١. مانوميتر

اذ كان طول الأنبوب الخاضع للاختبار 2 متر وبقطر 25 ملمتر من الفولاذ واستخدم البولي اكريلاميد كمادة بوليميرية مضافة .واستخدمنا المعادلة $\mu = K [8V/d]^{n-1}$ حيث K يمثل معامل التجانس للمحلول البوليميري و n يمثل دليل الجريان و V سرعة الجريان و d قطر الأنبوب .اجريت التجارب باضافة

المحلول البوليميري بثلاثة تراكيز واطئة (0.005 , 0.013, 0.025 %) وبعد قياس فرق الضغط في الانبوب بواسطة مقاييس الضغط المثبتة على الأنبوب الخاضع للأختبار المبينة في الشكل رقم(١) تم حساب معامل الاحتكاك باستخدام معادلة دار سي وايز باخ [1] :-

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \qquad (1)$$

وتمت مقارنة معامل الأحتكاك (λ) للمحاليل البوليميرية مع معامل الأحتكاك للماء في حالة الجريان الاضطرابي وقيم التصاريف ورقم رينولدز ومعامل الأحتكاك (λ) مبينة في الجدول رقم (١) .

اتبعنا الطريقة المفضلة لمزج البولي اكريلاميد مع الماء وهي ان يكون بشكل مذاب مع الماء لسهولة الأمتزاج والتجانس وهي افضل من ان يكون بشكل حبيبات او مسحوق فقد ذكر ذلك الباحث[٩] . وقد كان حجم الماء المستخدم في التجربة ٧٠٠ لتر وان البوليمر المحضر خارجا يضاف الى الخزان رقم (٤) حسب النسب المبينة في الجدول رقم (٢) اذ نقوم بزيادة النسب تدريجيا . ولمعرفة تأثير التراكيز العالية لبولي اكيريلاميد C% على النسبة المئوية لتخفيض معامل الأحتكاك $\Delta\lambda/\lambda\%$ استخدمنا تراكيز اعلى تراوحت بين 0.03% الى 0.06% والقيم موضحة في الجدول رقم(٢).

جدول رقم (١): القرآت الخاصة بالمحاليل البوليميرية والماء

Q m^3 / sec	V m / sec	Re	water λ	C=0.005% λ	C=0.013% λ	C=0.025% λ
$3.015x10^{-4}$	0.914	14989	0.0284	0.0262	0.0276	0.0282
$3.24x10^{-4}$	0.983	16123	٠,٠٢٨١	0.0259	0.0273	0.0281
$3.62\ x10^{-4}$	1.1	18046	٠,٠٢٧٠	0.0257	0.0271	0.0249
$3.96\ x10^{-4}$	1.201	19680	٠,٠٢٦٩	0.0257	0.0261	0.0241
$4.94\ x10^{-4}$	1.49	24592	٠,٠٢٥٤	0.0255	0.0235	0.0188
$4.97\ x10^{-4}$	1.51	25350	٠,٠٢٥١	0.023٥	0.021٣	0.01٩٨
$5.71\ x10^{-4}$	1.729	28355	٠,٠٢٣٨	0.022٠	0.0٢٠١	0.0179
$7.03\ x10^{-4}$	2.133	34981	٠,٠٢٣٥	0.0٢١٣	0.01٨٨	0.015٨
$7.91\ x10^{-4}$	2.412	39360	٠,٠٢٣٠	0.020٦	0.017٧	0.01٥٢
$9.05\ x10^{-4}$	2.743	44985	٠,٠٢٠٩	0.01٨٩	0.016٠	0.013٠
$9.96\ x10^{-4}$	3.02	4928	٠,٠٢١٥	0.0183	0.0146	0.0100
$11.6\ x10^{-4}$	3.514	57630	٠,٠٢٠٨	0.0168	0.0129	0.0098
$12.3\ x10^{-4}$	3.723	616288	٠,٠٢٠٤	0.0164	0.0127	0.0081
$12.9\ x10^{-4}$	3.921	64288	٠,٠٢٠٢	0.0154	0.0125	0.0076
$14.07\ x10^{-4}$	4.297	69978	٠,٠١٩٨	0.0152	0.0115	0.0069

جدول رقم (٢) نسب تراكيز المحاليل البوليميرية مع نسب تخفيض المقاومة الهيدروليكية

C%	Re=25350 Δλ / λ %	Re=28355 Δλ / λ %	Re=34981 Δλ / λ %	Re=39360 Δλ / λ %	Re=44985 Δλ / λ %
0	٠	٠	٠	٠	٠
0.005	٦,٥١	٧,٧٤	١٠,٢	٩,٧٤	١٠,٠٢
0.008	٩,٤٥	١١,٢٥	١٤,٤٣	١٤,٣٣	١٤,٥٢
0.01	١١,٨٤	١٤,٠٨	١٧,٢٤	١٨,١١	١٨,٧٢
0.013	١٤,٣١	١٦,٧٥	٢١,٧٣	٢٣,١٢	٢٤,١

0.016	١٦,٦٧	١٩,٨٢	٢٥,٧٥	٢٦,٣٥	٢٧,٥٢
0.02	١٨,٩٤	٢٢,٩٢	٢٩,٠٢	٣٠,١٤	٣٢,٣٨
0.025	٢١,١	٢٤,٦٣	٣٢,٦٥	٣٤,١٢	٣٧,٩٥
0.03	٢١,٣٢	٢٥,٣٤	٣٤,٠٦	٣٦,٣٣	٤٠,٩٨
0.033	٢١,٣٦	٢٥,٣٥	٣٤,٣٥	٣٨,٣٢	٤٢,٥٧
0.035	٢٠,٧١	٢٤,٦٢	٣٣,٩	٣٩,٣٨	٤٢,٩٦
0.038	١٩,٧٩	٢٣,٢١	٣٣,٥٥	٣٩,٦٣	٤٤,٢١
0.042	١٧,٥٥	٢١,٢٧	٣١,٢٤	٣٩,١٨	٤٤,٦٢
0.045	١٥,٩٨	١٨,٤	٢٩,٨	٣٧,٨٢	٤٤,٣٩
0.05	١١,٦٥	١٤,١٢	٢٤,٧٨	٣٦,٢٤	٤٢,٥٢
0.055	٦,٥	٧,٢٦	١٩,٠٧	٣١,٦٩	٤٠,٣٤
0.06	٠	٠	١١,٣٢	٢٦,٩٥	٣٦,٠٥

ونسبة التخفيض لمعامل الأحتكاك هي :- $\Delta\lambda / \lambda = (\lambda_1 - \lambda_2) / \lambda_1$

حيث λ_1 – تمثل معامل الأحتكاك للماء المبينة في جدول رقم(١)

λ_2 – تمثل معامل الأحتكاك عند جريان محلول البولي اكريلاميد

ان استخدام البولي اكريلاميد كمادة بولميرية مضافة في التجارب يعود الى ان فائدة هذه المادة اكثر من باقي انواع البوليمرات بسبب مقاومتها للأنحلال الميكانيكي فقد بين ذلك الباحث[7] وهذه مهمة لأن المحلول البولميري يتعرض باستمرار الى تشوه خاصة في المضخة والانحلال الميكانيكي الحاد يؤدي الى تغيرات غير متوقعة في النتائج . C % –هو النسبة المئوية الوزنية للبولي اكريلاميد في الماء أي النسبة بين وزن البولي اكريلاميد الى وزن الماء.

<u>النتائج والمناقشة</u>

تم تحليل نتائج التجارب التي اجريت كما يأتي :-

١. رسمت العلاقة بين عدد رينولدز ومعامل الأحتكاك الموضحة في الشكل رقم (٢) λ =f(Re)وهي علاقة غير خطية ويقل الأحتكاك مع زيادة عدد رينولدز للمحاليل البوليمرية ذات التراكيز الواطئة 0.005% , 0.013% , 0.025% .

٢. تمت مقارنة معامل الأحتكاك (λ) للمحاليل البوليميرية الثلاثة اعلاه مع معامل الأحتكاك للماء في حالة الجريان الاضطرابي الموضحة في الشكل رقم (٢) .

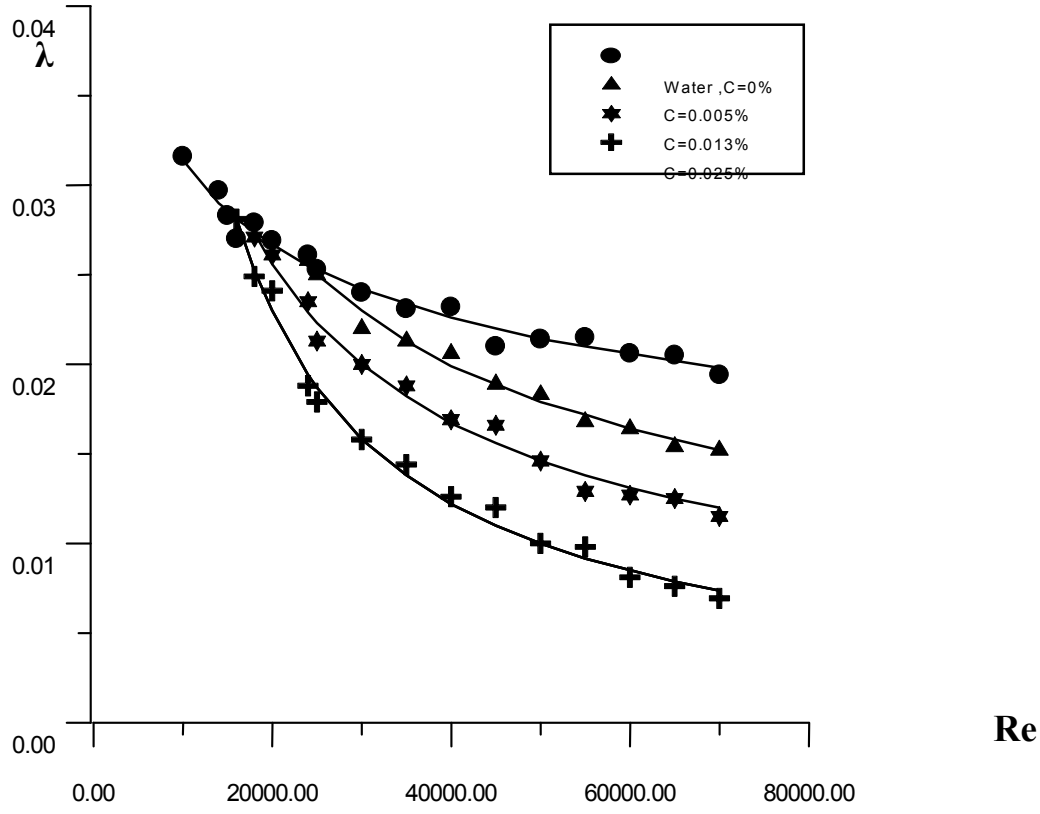
٣. تم رسم العلاقة بين نسبة التركيز C% مع نسبة تخفيض معامل الأحتكاك $\Delta\lambda/\lambda$ % كما موضحة في الأشكال (٧-٣).حيث يلاحظ زيادة تأثير البولي اكريلاميد على زيادة نسبة تخفيض الأحتكاك $\Delta\lambda/\lambda$ وتستمر الزيادة مع زيادة نسبة التركيز للبوليمر الى ان تصل الى القيمة العظمى عند القيمة المثلى للتركيز(C*) ومع زيادة عدد رينولدز تزداد القيمة المثلى C* وكما يلي:-

- عندما يكون عدد رينولدز بين Re = 25350 و Re = 28355 فان C* = 0.03%
- عندما يكون عدد رينولدز Re = 34981 فان C*= 0.033%

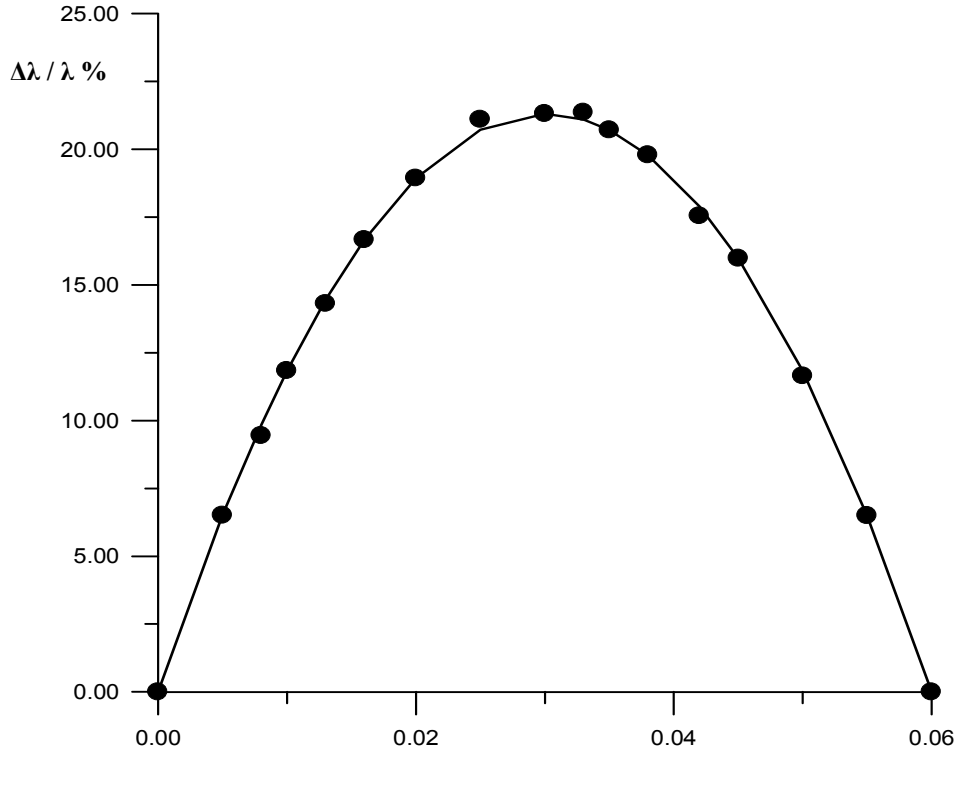
- عندما يكون عدد رينولدز Re = 39360 فان C*= 0.038 %
- عندما يكون عدد رينولدز Re = 44985 فان C*= 0.042 %

٤. ان زيادة تأثير البولمير واضحة في مجال التركيز من (C* – O) والسبب يعود الى انه مع زيادة تركيز البولمير في الماء فان قسم من الزخم الاضطرابي يتعرض الى تخفيض أو امتصاص تأثير الجزيئات الكبيرة للبولمير المضاف وهذا يؤدي الى زيادة سمك الطبقة التحتية الجدارية التي تؤدي الى زيادة سرعة الجريان .

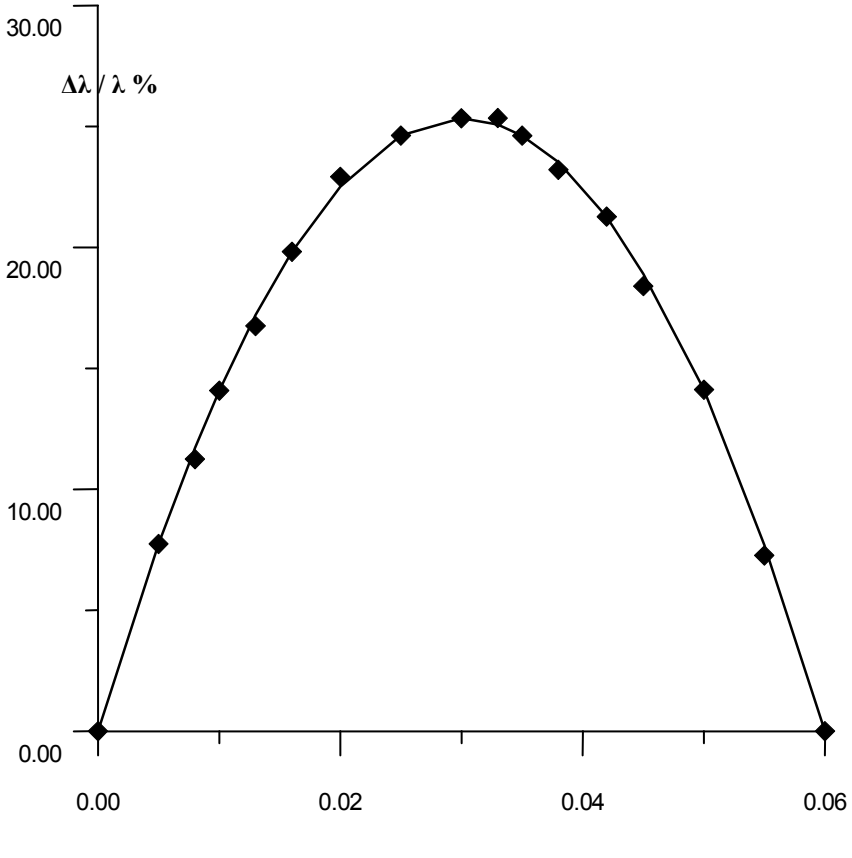
٥. عند تجاوز القيمة المثلى للتركيز أي عند C > C* يكون التاثير المتبادل الهيدروديناميكي للجزيئات الكبيرة للبولمير فيما بينها وتصادمها مع بعضها بشكل غير مباشر يؤدي الى حبك او نسج سلاسل جزئية مكونة تشابك الذي يؤدي بدوره الى زيادة لزوجة المحلول في اتجاه الجريان و يؤدي الى نخفيض λ / λ Δ أي تخفيض تأثير البولمير على المعامل (λ) كما مبين في الأشكال (٣-٧)



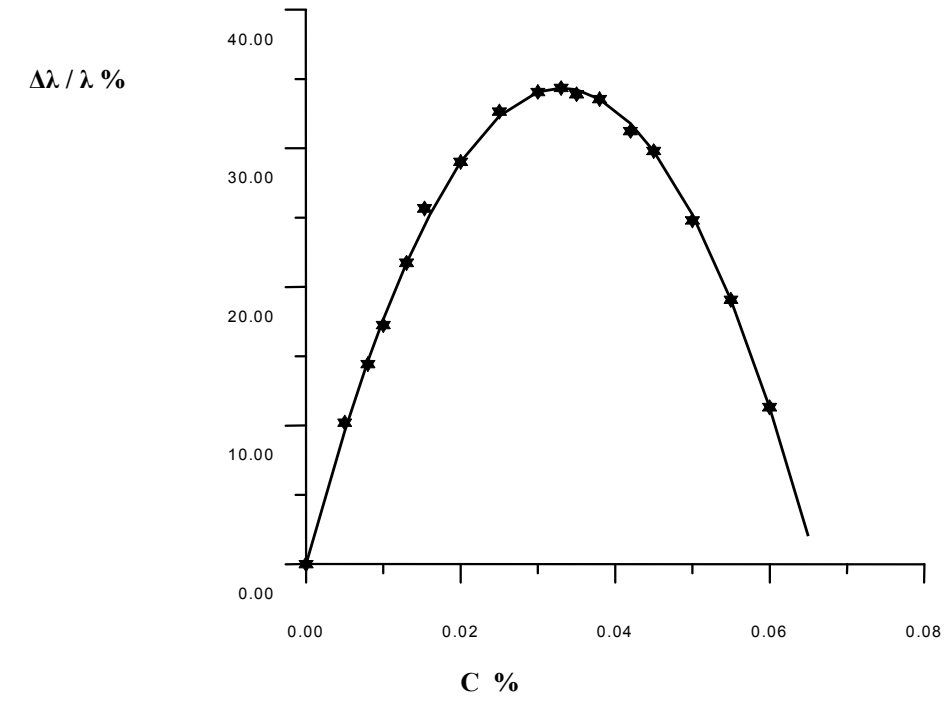
شكل رقم (٢): العلاقه بين عدد رينولدز ومعامل الأحتكاك عند جريان المحاليل البوليميرية والماء



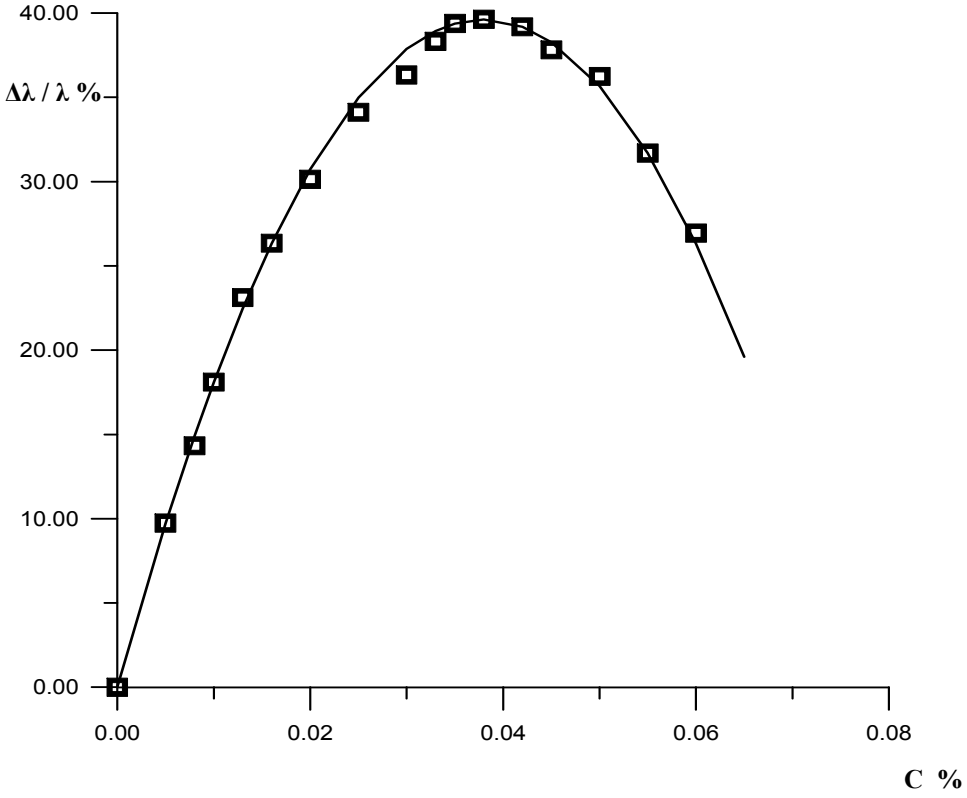
شكل رقم (٣) :العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 25350



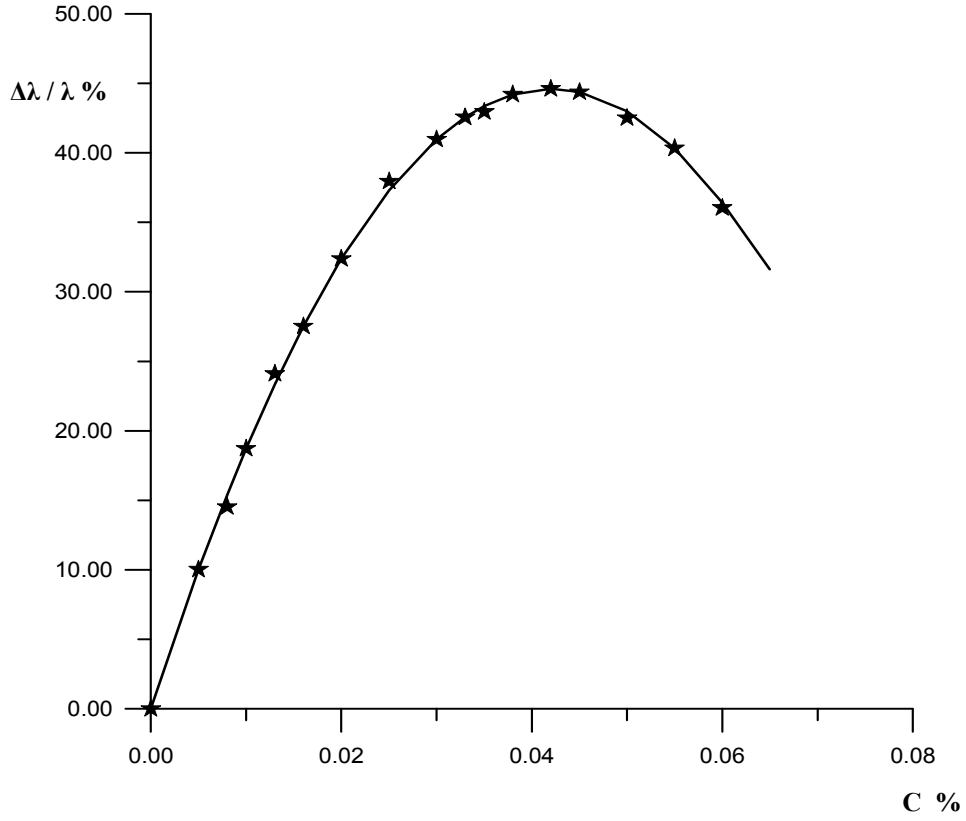
شكل رقم (٤) :العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 28350



شكل رقم (٥): العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 34981



شكل رقم (٦) :العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 39360



شكل رقم (٧): العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 44985

<u>الاستنتاجات</u>

١. ان مادة البولي اكريلاميد المضاف الى الماء بالنسب الواطئة من 0.005% الى 0.025% تؤدي الى تقليل معامل الأحتكاك فمثلاً عند عدد رينولدز Re = 40000 من الشكل رقم (٢) ان معامل الأحتكاك انخفض بالنسب % 34.01 , 23.04 , 10.43 على التوالي .

٢. مع زيادة عدد رينولدز من 25350 الى 44985 تزداد نسبة تخفيض معامل الأحتكاك % Δ λ/ λ من ٢١,٣٢الى 44.62 مع ارتفاع القيمة المثلى لتراكيز البوليمر المضاف من 0.03% الى 0.042 .

٣. تقل نسبة تخفيض معامل الأحتكاك او يقل تأثير البولمير المضاف عند تجاوز القيمة المثلى للتراكيز وكما مبين في الأشكال (٧-٣) عند اعداد رينولدز من 25350 الى 44985 بسبب التصادم والتشابك الجزيئي التي مر ذكرها في النتائج .

٤. الأستنتاج ان العلاقة بين نسبة التركيز ونسبة تخفيض الأحتكاك تتبع المعادلات الرياضية المبينة ادناه وحسب اعداد رينولدز المؤشرة ازاء كل منها:-

$$\Delta\lambda / \lambda = 3.51 \times 10^{-4} \, Re^{1.5} \, C - ReC^2 \quad \text{فأن} \quad ٢٥٠٠٠ < Re < ٣٤٠٠٠ \quad \text{عند}$$

$$\Delta\lambda / \lambda = Re^{0.73} C - 0.9 Re \, C^2 \quad \text{فأن} \quad ٣٤٠٠٠ < Re < ٤٤٩٠٠ \quad \text{عند} -$$

$$\Delta\lambda / \lambda = 0.94 \, Re \, (0.05C - 0.6 \, C^2) \quad \text{فأن} \quad ٤٤٩٠٠ < Re < ٥٠٠٠٠ \quad \text{عند} -$$

فقد اجرينا حسابات دقيقة في ايجاد هذه المعادلات وهي تربط بين نسبة التركيز ونسبة تخفيض الأحتكاك وعدد رينولدز وهي ملائمة لأعداد رينولدز المؤشرة اعلاه .

المصادر

1- Povkh,E.L "Technical Hydromechanics" ,Leningrad .pp 343-346,1976 1.

2- LumleyJ.L Drag reduction by additives.*Ann.Rev.Fluid Mech*. Vol.1 . pp 367-374,1969.

3- Rabin,Y,Zielinska,B.J, "Scale dependent enhancement and damping of vorticity disturbances by polymers in elongational flow" .Phys. Rev.Lett. vol.63,pp 512-518,1989

4- Sreenivasan,K.R.,White,C.M ,"The Onset of drag reduction by dilute polymer additives and maximum drag reduction asymptote" .*J.Fluid Mech*.409,pp 149-164,2000.

5-Wei,T and Willmarth, W.W, " Modifing turbulent structure with drag-reducing polymer additives in turbulent channel flow" ,*J Fluid Mech.* Vol245, pp619-641 1992.

6- Hulsen,M.A ,Kulken,G.D ." Drag reduction by polymer additives in a turbulent pipe flow" ,*J.Fluid Mech.* Vol.337,pp193-231,1997.

7-.Du,Y.Y,and Frisch,H.L ," In Physical properties of polymers" ,Hand book, edited by J.E.Mark . AIP press,Woodbury ,N.Y.,pp241-248,1996.

8-.Chernyuk,V.V, Pitsishin,B.S,Orel,V.L, " Influence of PAM additives on the head loss in abrupt contraction and expansions of pipes" , *J.of Engineering Physics and thermo physics*.vol.75,No.4,pp910-919,2002.

9-Tobiason,E.K, Jenkins,E,Molash,E and Rush,S , " Polymer use and testing for erosion and sediment control of construction sites" .*Erosion control*