مجلة جامعة بابل / العلوم الصرفة والتطبيقية / العدد (4) / المجلد (17) : 2009

دراسة مختبرية لتقليل الاحتكاك في الأنابيب بإضافة البوليميرات

هادي عبيد البشر

كلية الهندسة –جامعة واسط

الخلاصة

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

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

كما تم دراسة تأثير(PAM) المضاف بنسب عالية (0.03 – 0.06%) 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 تراكيز (PAM) المثلى التي تراوحت (0.042% , 0.038 , 0.033 , 0.03). ثم تم رسم العلاقات بين عدد 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 coefficient 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 coefficient (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

when (λ) exceeded the optimum values of PAM concentrations (0.03-0.042%) at several Reynold's numbers . A relations have been obtained between Reynold's numbers and (λ) and between the concentrations (C%) with reduction percent of (λ) .

1–المقدمة

الطرق العملية لتقليل المقاومة الهيدروليكية او خسائر الأحتكاك تعتبر مسألة مهمة منذ فتره طويلة وبالنظر للتطور الحاصل في مجال الصناعة والزراعة ونقل النفط ومشتقاته وكثرة استخدام المياه في الري والزراعة وفي محطات توليد الطاقة الكهربائية لا سيما المحطات الحرارية اصبح تخفيض المقاومة الهيدروليكية وزيادة سرعة تدفق السوائل احد اهم الأمور العلمية والتكنولوجية.

في السنوات الأخيرة حصل تقدم كبير في طرق تخفيض هذه المقاومه بواسطة اضافة بعض المواد الى السوائل بنسب معينه فمثلا يشير الباحث (Chernyuk, 2002) 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. حيث يوضح الباحث المذكور ان اضافة البوليمير يسبب زيادة سمك الطبقة التحتية التي تؤدي الى زيادة سرعة الجريان حيث ان جزيئات البوليمير في المنطقة القريبة من جدار الأنبوب والتي يحدث فيها انحدار كبير في السرعة تخلق او تكون تباين في خواص اللزوجة في الأتجاهين العرضي والطولي .

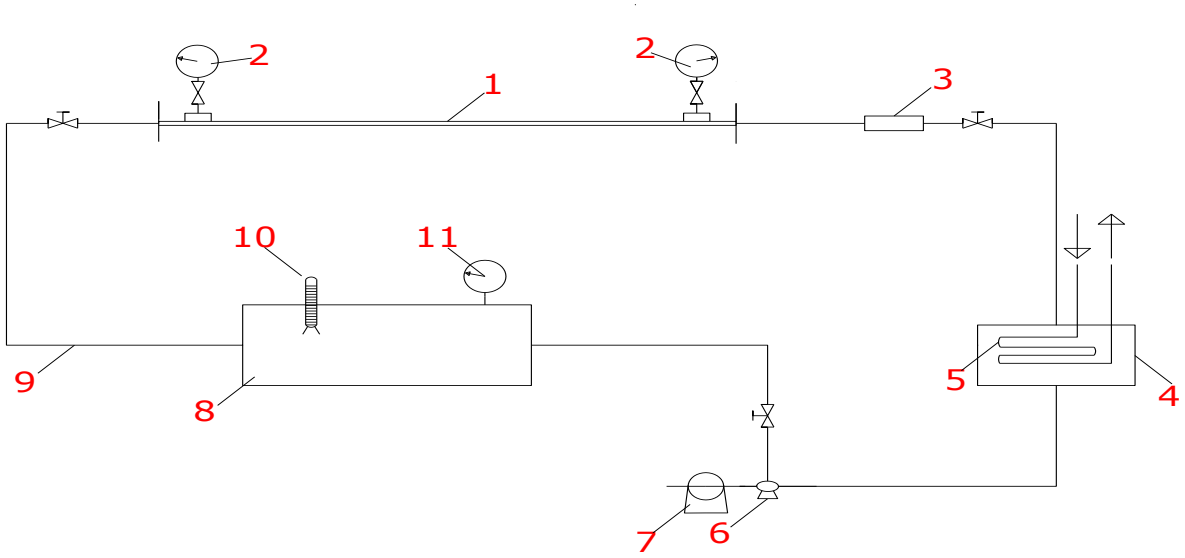
ويؤكد الباحث (Du, 1996) هذه الخاصية ايضاً بدراسته حول ديناميكية جزيئات البوليمير في الجريان الأضطرابي حيث يشير بأن تقليل المقاومة بواسطة جزيئات البوليمير في الطبقة المتاخمة في الجريان الاضطرابي يعتمد على لزوجة السائل الموقعية .

الدراسات النظرية التي توصل اليها الباحث (Hulsen , 1997) 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 (Lumley, 1969). 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 حيث يستخدم لتقليل خسائر الأحتكاك في المنظومات الهيدروليكية كما بينت البحوث (Lumley,1969 ;Povkh, 1979 ; Rabin, 1989) في هذا المجال وتركزهذا البحث على احد هذه البوليميرات وهو البولي اكريلاميد P A M حيث ذكر الباحث (Sreenivasan , 2000) ان (PAM) يستخدم في صناعة الورق واستخراج المعادن وهو رخيص الثمن، ويتم الحصول عليه بواسطة بلمرة الاكريلاميد بواسطة الجذور الحرة في المحاليل المائية بين الباحث (Tobiason, 2001) ان مادة (PAM) تقلل خسائر الاحتكاك في الانابيب ذات التقلصات والتوسعات غير المتوقعه ولكن تزداد خسائر الأحتكاك في التوسع المفاجيء بسبب نشوء الدوامات.

ويشير الباحث (Wei,1992) 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 حيث اشار بأن 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.

2-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 (1) .



1. الجزء الخاضع للاختبار 2. مقاييس الضغط 3. مقياس التدفق 4. خزان
5. مبادل حراري 6. مضخة الطرد المركزي 7. محرك كهربائي 8. الخزان المخمد
9. خط الضغط pressure line 10. مقياس حرارة السائل 11. مانوميتر

شكل رقم (1) منظومة جريان السائل واجهزة القياس

حيث كان طول الأنبوب الخاضع للأختبار 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 المبينه في الشكل رقم(1) تم حساب معامل الأحتكتك باستخدام معادلة دار سي وايز باخ (Chernyuk ,2002) :-

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

وتم 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 (1) .

اتبعنا الطريقه 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 حيث ذكر ذلك الباحث(Wei 1992). وقد كان حجم الماء المستخدم في التجربة 700 لتر وان البوليمر المحضر خارجا يضاف الى الخزان رقم (4) حسب النسب المبينة في الجدول رقم (2) حيث نقوم بزيادة النسب تدريجيا .

جدول رقم (1) القراءات 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	0.0281	0.0259	0.0273	0.0281
$3.62\ x10^{-4}$	1.1	18046	0.0270	0.0257	0.0271	0.0249
$3.96\ x10^{-4}$	1.201	19680	0.0269	0.0257	0.0261	0.0241
$4.94\ x10^{-4}$	1.49	24592	0.0254	0.0255	0.0235	0.0188
$4.97\ x10^{-4}$	1.51	25350	0.0251	0.0235	0.0213	0.0198
$5.71\ x10^{-4}$	1.729	28355	0.0238	0.0220	0.0201	0.0179
$7.03\ x10^{-4}$	2.133	34981	0.0235	0.0213	0.0188	0.0158
$7.91\ x10^{-4}$	2.412	39360	0.0230	0.0206	0.0177	0.0152
$9.05\ x10^{-4}$	2.743	44985	0.0209	0.0189	0.0160	0.0130
$9.96\ x10^{-4}$	3.02	4928	0.0215	0.0183	0.0146	0.0100
$11.6\ x10^{-4}$	3.514	57630	0.0208	0.0168	0.0129	0.0098
$12.3\ x10^{-4}$	3.723	616288	0.0204	0.0164	0.0127	0.0081
$12.9\ x10^{-4}$	3.921	64288	0.0202	0.0154	0.0125	0.0076
$14.07\ x10^{-4}$	4.297	69978	0.0198	0.0152	0.0115	0.0069

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(2)

جدول رقم (2) 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	0	0	0	0	0
0.005	6.51	7.74	10.2	9.74	10.02
0.008	9.45	11.25	14.43	14.33	14.52
0.01	11.84	14.08	17.24	18.11	18.72
0.013	14.31	16.75	21.73	23.12	24.1
0.016	16.67	19.82	25.75	26.35	27.52
0.02	18.94	22.92	29.02	30.14	32.38
0.025	21.1	24.63	32.65	34.12	37.95
0.03	21.32	25.34	34.06	36.33	40.98
0.033	21.36	25.35	34.35	38.32	42.57
0.035	20.71	24.62	33.9	39.38	42.96
0.038	19.79	23.21	33.55	39.63	44.21
0.042	17.55	21.27	31.24	39.18	44.62
0.045	15.98	18.4	29.8	37.82	44.39
0.05	11.65	14.12	24.78	36.24	42.52
0.055	6.5	7.26	19.07	31.69	40.34
0.06	0	0	11.32	26.95	36.05

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

حيث λ_1 – تمثل معامل الأحتكاك للماء المبينه في جدول رقم(1)

λ_2 – تمثل معامل الأحتكاك عند جريان محلول البولي اكريلاميد

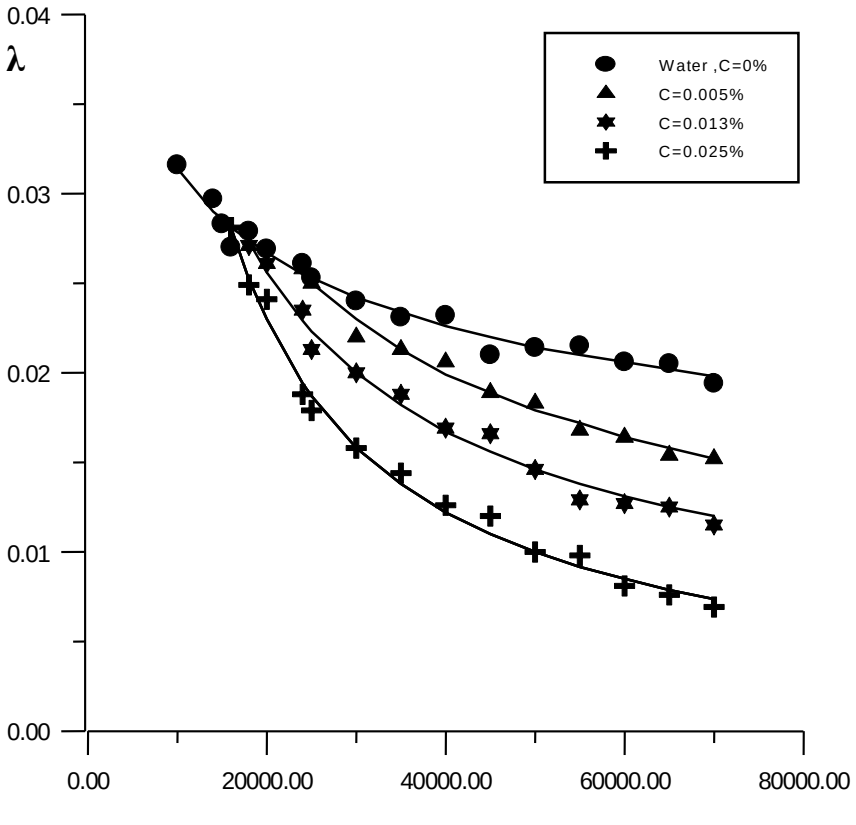
ان استخدام البولي اكريلاميد كمادة بولميرية مضافة في التجارب يعود الى ان فائدة هذه المادة اكثر من باقي انواع البوليمرات بسبب مقاومتها للأنحلال الميكانيكي حيث بين ذلك الباحث "(Sreenivasan, 2000) وهذه مهمة لأن المحلول البولميري يتعرض باستمرار الى تشوه خاصة في المضخة

والانحلال الميكانيكي الحاد يؤدي الى تغيرات غير متوقعه في النتائج . % C–هو النسبة المئوية الوزنية للبولي اكريلاميد في الماء أي النسبة بين وزن البولي اكريلاميد الى وزن الماء.

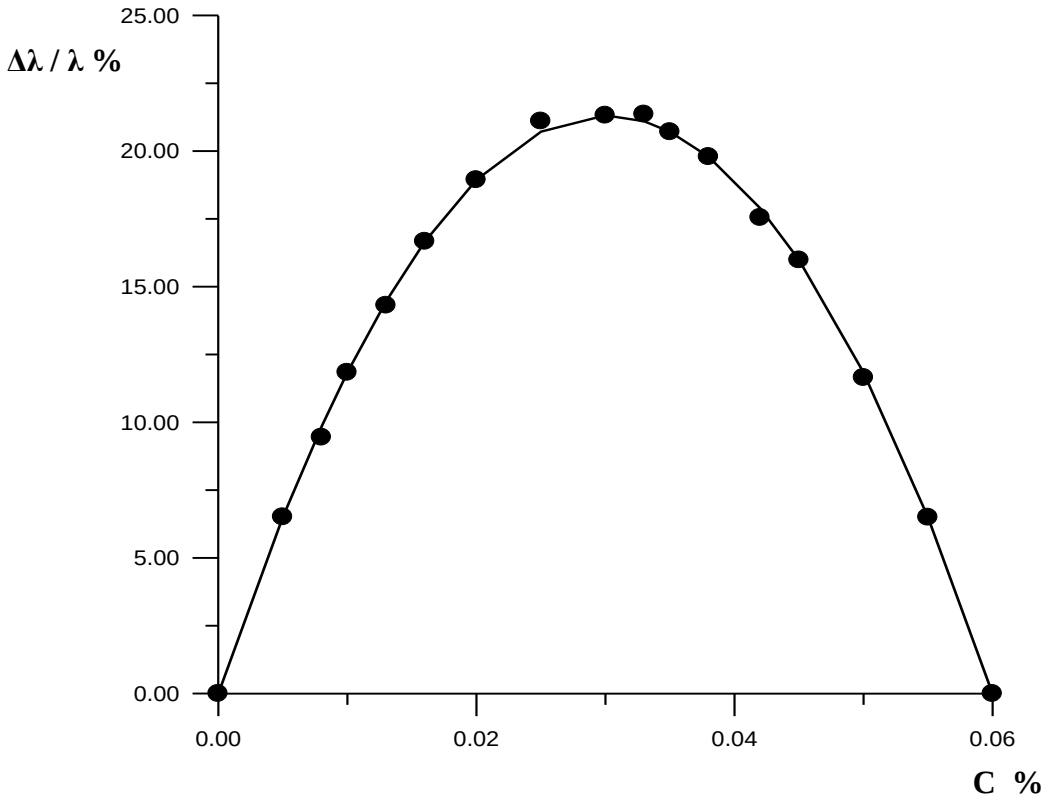
3–النتائج والمناقشة

تم تحليل نتائج التجارب التي اجريت كما يأتي :–

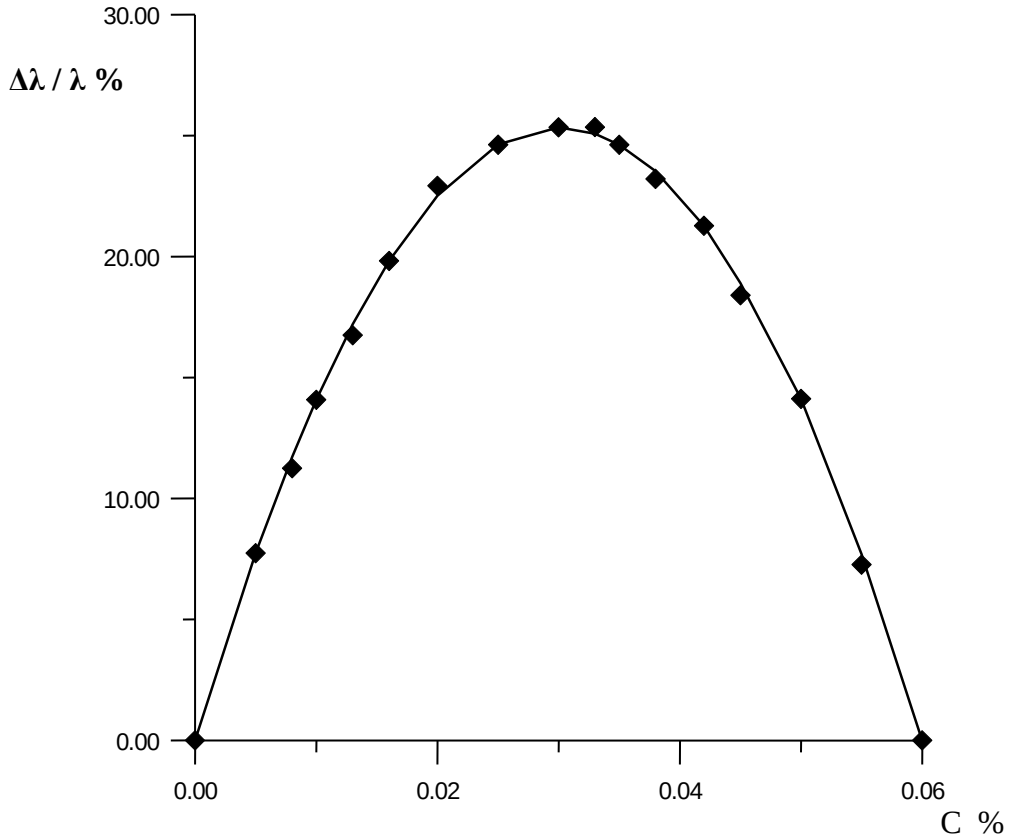
1. رسمت العلاقة بين عدد رينولدز ومعامل الأحتكاك الموضحة في الشكل رقم (2) λ =f(Re)وهي علاقة غير خطية ويقل الأحتكاك مع زيادة عدد رينولدز للمحاليل البوليمرية ذات التراكيز الواطئة 0.005% , 0.013% , 0.025% .
2. تم مقارنة معامل الأحتكاك (λ) للمحاليل البوليميرية الثلاثة اعلاه مع معامل الأحتكاك للماء في حالة الجريان الاضطرابي الموضحة في الشكل رقم (2) .
3. تم رسم العلاقة بين نسبة التركيز C% مع نسبة تخفيض معامل الأحتكاك % $\Delta \lambda / \lambda$ كما موضحه في الأشكال (7–3).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 %
4. 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 .
5. عند تجاوز القيمة المثلى للتركيز أي عند C > C* يكون التاثير المتبادل الهيدروديناميكي للجزيئات الكبيرة للبولمير فيما بعضها وتصادمها مع بعضها بشكل غير مباشر يؤدي الى حبك او نسج سلاسل جزئية مكونة تشابك الذي يؤدي بدورة الى زيادة لزوجة المحلول في اتجاه الجريان و يؤدي الى نخفيض λ $\Delta \lambda /$ أي تخفيض تأثير البولمير على المعامل (λ) كما مبين في الأشكال (3–7)



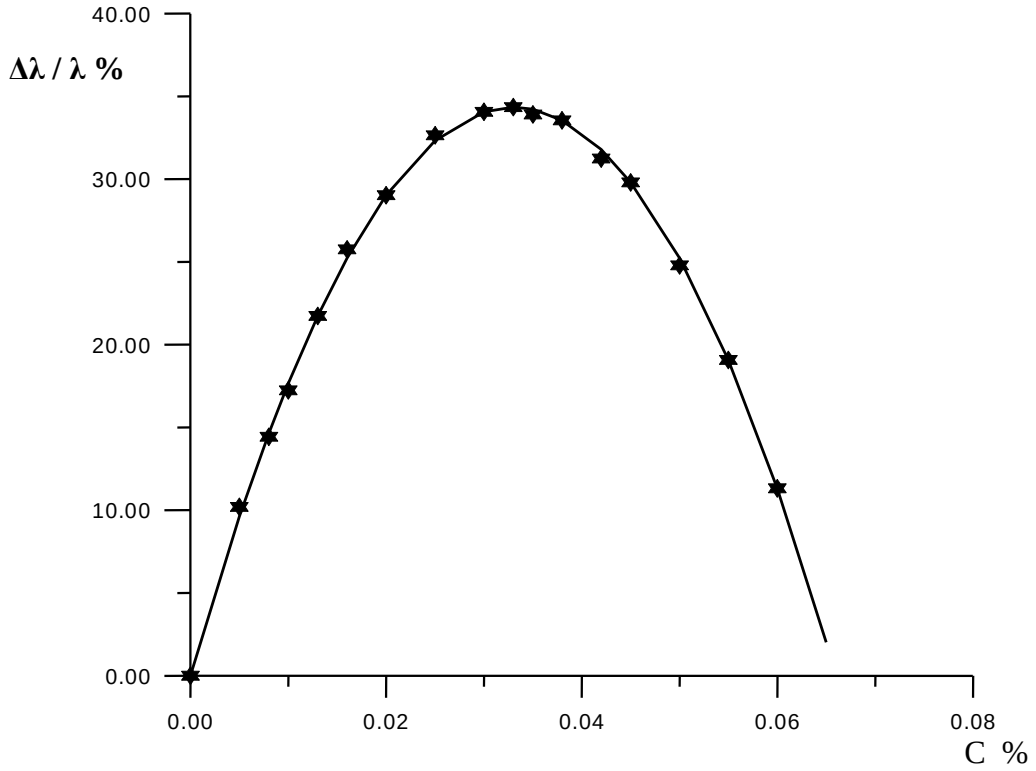
شكل رقم (2) العلاقه بين عدد رينولدز ومعامل الأحتكاك عند جريان المحاليل البوليميريه والماء



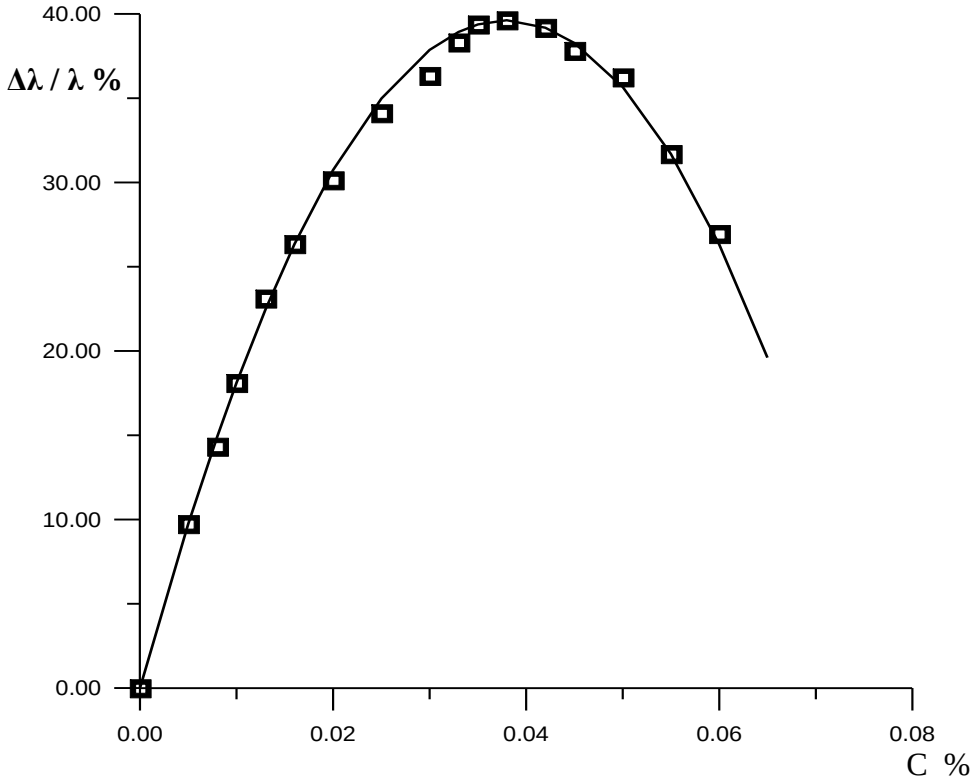
شكل رقم (3) العلاقة بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاك عند Re = 25350



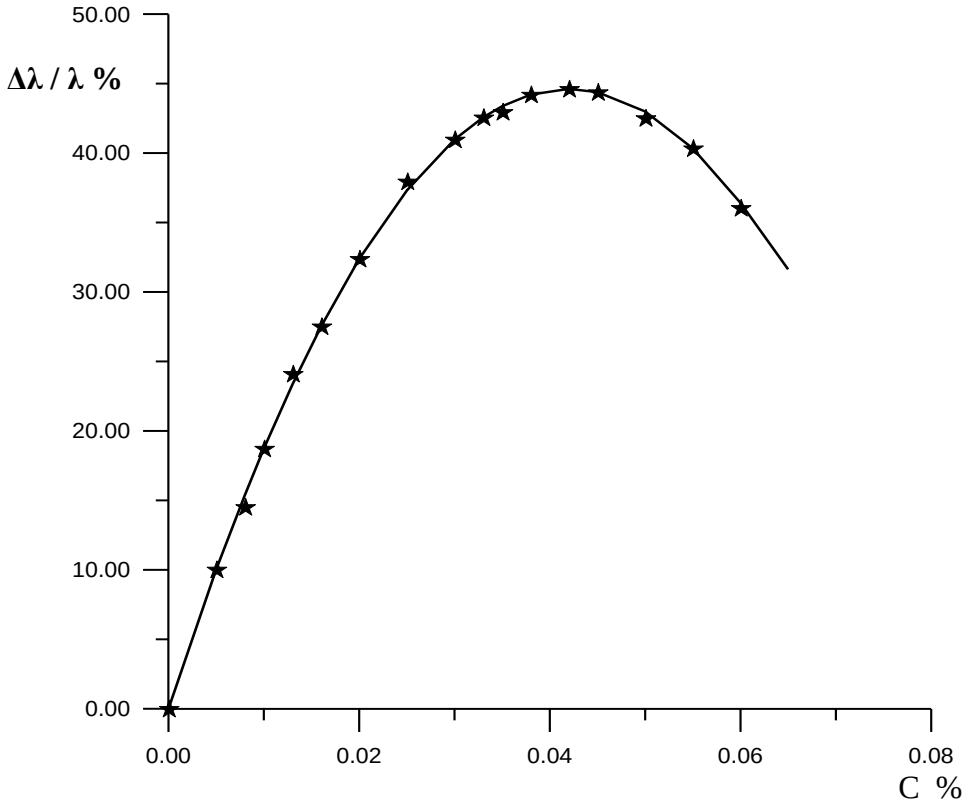
شكل رقم (4) العلاقة بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاك عند Re = 28355



شكل رقم (5) العلاقة بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاك عند Re = 34981



شكل رقم (6) العلاقة بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاك عند Re = 39360



شكل رقم (7) العلاقة بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاك عند Re = 44985

4-الاستنتاجات

1. 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 (2) ان معامل الأحتكاك انخفض بالنسب % 34.01 , 23.04 , 10.43 على التوالي .
2. مع زيادة عدد رينولدز من 25350 الى 44985 تزداد نسبة تخفيض معامل الأحتكاك % $\Delta \lambda / \lambda$ من 21.32الى 44.62 مع ارتفاع القيمة المثلى لتراكيز البوليمر المضاف من 0.03% الى % 0.042
3. تقل نسبة تخفيض معامل الأحتكاك او يقل تأثير البولمير المضاف عند تجاوز القيمة المثلى للتراكيز وكما مبين في الأشكال (7-3) عند اعداد رينولدز من 25350 الى 44985 بسبب التصادم والتشابك الجزيئي التي مر ذكرها في النتائج .
4. الأستنتاج ان العلاقة بين نسبة التركيز ونسبة تخفيض الأحتكاك تتبع المعادلات الرياضيه المبينه ادناه وحسب اعداد رينولدز المؤشرة ازاء كل منها:-

عند $25000 < Re < 34000$ فأن $\Delta\lambda / \lambda = 3.51x10^{-4} Re^{1.5} C - ReC^2$

- عند $34000 < Re < 44900$ فأن $\Delta\lambda / \lambda = Re^{0.73}C - 0.9Re\, C^2$

- عند $44900 < Re < 50000$ فأن $\Delta\lambda / \lambda = 0.94\, Re\, (0.05C - 0.6\, C^2)$

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

References

Chernyuk, V.V, Pitsishin, B.S, Orel, V.L, (2002). "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.

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

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

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

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

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

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

Tobiason, E.K, Jenkins, E, Molash, E and Rush, S, (2001) . "Polymer use and testing for erosion and sediment control of construction sites" .*Erosion control*.Pp90-101,January/February .

Wei, T and Willmarth, W.W, (1992). "Modifying turbulent structure with drag-reducing polymer additives in turbulent channel flow" ,*J Fluid Mech.* Vol. 245, pp619-641 .