دراسة تجريبية لتقليل المقاومة الهيدروليكية لجريان الماء الاضطرابي في الأنابيب بإضافة البوليميرات

د.موجد هادي عناد
الكليه التقنيه في النجف

محمد حميد جعفر
المعهد التقني – كوفه

الخلاصة

يهدف البحث الى دراسة تاثير اضافة البوليميرات الى الماء، وما يؤول اليه من تغيير معامل الاحتكاك في الانابيب في حالة الجريان الاضطرابي مما ينتج عنه خفض للمقاومة الهيدروليكية للجريان في الانابيب .

استخدمت في التجارب مادة بوليميرية مضافة هي البولي اكريلاميد (PAM) polyacrylamide، ودرس تاثير هذه المادة بتراكيز واطئة (0.005, 0.0130, 0.025 %) على معامل الاحتكاك (λ) . بينت الدراسة ان البولي اكريلاميد (PAM) المضاف يقلل معامل الاحتكاك (λ) بنسب (6.51 – 37.95%) مقارنة مع معامل الاحتكاك للماء قبل الاضافه في حالة الجريان الاضطرابي.

كما تم دراسة تاثير(PAM) المضاف بنسب مختلفة تتراوح بين (0.005 – 0.06%) على نسبة التخفيض المئوية لمعامل الاحتكاك (λ) وبينت الدراسة ان زيادة البوليمر المضاف ادت الى زيادة النسبة المئوية للتخفيض (**Δλ / λ %**) بنسب تراوحت بين 6.51 الى 44.62% اي إنها خفضت معامل الاحتكاك(λ)، وقد توصلت الدراسة الى ان اعلى مقدار للنسبة المئوية للتخفيض (**Δλ / λ %**) كان عند حدود معينة لتراكيز البوليمر سميت بالمثالية (Cp*) وقد تراوحت بين 0.03 و 0.042 وبزيادة هذه التراكيز اخذت النسبة المئوية للتخفيض بالانخفاض اي زيادة معامل الاحتكاك وفيما يلي التراكيز المثالية المرادفة لاعداد رينولدز :

(Re = 25350 & 0.03%, Re =28355& 0.033 % , Re=34981&0.038 % , Re=39360 & 0.039% , Re=44985 &0.042%).

الكلمات المفتاحيه: بوليمر البولي اكريلاميد، معامل الاحتكاك، عدد رينولدز، النسبه المئويه للتخفيض

Experimental study to reduce the hydraulic resistance of water turbulent flow in pipes by polymer additives

Abstract

The aim of this research is to study the effect of polymeric additives to water on friction coefficient change in a turbulent pipe flow which would cause in reduction of drag resistance.

Experiment is done using the polyacrylamide (PAM) as polymeric additive to show the effect of addition of (PAM) with case low concentrations (0.005,0.013 , 0.025%) on the friction factor (λ) . The results show that the addition of (PAM) will reduce (λ) with a range from 6.51 to 37.95% comparable with the friction coefficient (λ) for water before addition in a turbulent flow case.

Also a study of the addition effect of (PAM) with different concentrations between (0.005 – 0.06%) on the reduction percent of (λ) is carried out . The results show increasing the effect of the addition (PAM) cause in increasing the reduction percent **Δλ / λ %** with a range of 6.51 to 44.62% . It is found that the peak values called the optimum values(Cp*)of PAM between 0.03&0.042. Increasing the addition of PAM cause in decreasing the effect of reduction percent with concentrations at several Reynolds number as follows:

(Re = 25350 & 0.03%, Re = 28355& 0.033 % , Re=34981&0.038 % , Re=39360 & 0.039% , Re=44985 &0.042%).

Key Words: Polyacrylamide Polymer (PAM), Friction Factor (λ), Reynolds Number , Reduction percentage Δλ / λ %.

قائمه بالرموز المستخدمه في البحث

الرمز	الوصف	الوحدات
PAM	**Polyacrylamide Polymer**	
λ	**معامل الاحتكاك Friction Factor**	
λ_1	**معامل الاحتكاك للماء**	
λ_2	معامل الاحتكاك عند جريان محلول البولي اكريلاميد.	
Δλ / λ %	**النسبه المئويه لتخفيض معامل الاحتكاك Reduction percentage**	%
Re	**عدد رينولدزReynolds number**	
K	**معامل التجانس للمحلول البوليميري**	
n	**دليل الجريان**	
V	**سرعه الجريان الخطيه**	**m / sec**
μ	**وتمثل القوة الدافعه للمادة اللزجه (المحلول البوليميري)**	
□	**كثافه المحلول**	**Kg/ m^3**
ν	**حجم المحلول**	**m^3**
Δ h	**فرق الضغوط**	**Mpa**
L	**طول انبوب الاختبار**	**m**
D	**قطر انبوب الاختبار**	**m**
Q	**معدل تدفق المحلول**	**m^3 / sec**
C_p	**polymer concentration تركيز المحلول البوليميري**	
LDA	**Laser Doppler Anemometry**	
wppm	**جزء من مليون جزء ماء**	

المقدمة

الطرق العمليه لتقليل المقاومه الهيدروليكيه او خسائر الاحتكاك تعتبر مساله مهمه منـذ فتـره طويله وبالنظر للتطور الحاصل في مجال الصناعه والزراعه ونقل النفط ومشتقاته وكثـرة اسـتخدام المياه في الري والزراعه وفي محطات توليد الطاقه الكهربائيه لا سيما المحطات الحراريـه اصـبح تخفيض المقاومه الهيدروليكيه وزيادة سرعة تدفق السوائل احد اهم الامور العلميه والتكنولوجيه.

وكان اول من اكتشف ظاهرة تقليل الاحتكاك باضافة البوليمرات هو الباحث **(Toms, 1949)** حيث وجد الباحث ان المحلول البولوميري بالماء يقلل من مقاومة الانزلاق للسائل في حالة الجريان الاضطرابي عند ضغط ثابت.

الدراسات النظرية التي توصل اليها الباحث **(Lumley, 1969)**، تشير الى تاثير جزيئات البوليمير على توزيع الدوامات في الاتجاه الطولي للجريان وان شدة التذبذب الاضطرابي في الاتجاه القطري يتلاشى كما هو متوقع والدراسات النظرية الحديثة تدعم ذلك كما اشار الباحثان (**Hulsen & Kulken , 1997**)

ان البوليميرات العضوية تتكون من وحدات تركيبية عضوية متكررة وهي مواد غزت الاسواق العالمية خاصة البوليميرات المحضرة ولها اهمية كبيرة في مجالات الحياة ومن هذه البوليميرات البولي اوكسي اثيلين حيث يستخدم لتقليل خسائر الاحتكاك في المنظومات الهيدروليكية كما بينت البحوث (**Lumley,1969 ;Povkh, 1979 ; Rabin, 1989**) في هذا المجال وتناول هذا البحث احد هذه البوليميرات وهو البولي اكريلاميدP A M .

ويشير الباحثان (**Wei and Willmarth,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 الاحياء الدقيقة ويقلل عسرة الماء حيث اشار بان افضل نسبة لاستخدامه مع الماء لاغراض زراعية هي (0.005%) وان زيادة هذه النسبة لا تعطي فائدة في مجال الزراعة . وتبرز اهمية البحث من خلال التعرف على تاثير اضافة مادة البولي اكريلاميد على نمط او سلوك تغير معامل الاحتكاك.

ويؤكد الباحثان (**Du and Frisch , 1996**) هذه الخاصية ايضا بدراستهم حول ديناميكية جزيئات البوليمير في الجريان الاضطرابي حيث يشير بان تقليل المقاومة بواسطة جزيئات البوليمير في الطبقة المتاخمة في الجريان الاضطرابي يعتمد على لزوجة السائل الموقعية .

وقد ذكر الباحث (**Sreenivasan and White, 2000**) ان (PAM) يستخدم في صناعة الورق واستخراج المعادن وهو رخيص الثمن، ويتم الحصول عليه بواسطة بلمرة الاكريلاميد بواسطة الجذور الحرة في المحاليل المائية كما وبين الباحث ان استخدام البولي اكريلاميد كمادة بولميرية

مضافة في التجارب يعود الى ان فائدة هذه المادة اكثر من باقي انواع البوليمرات بسبب مقاومتها للانحلال الميكانيكي وهذه الخاصية مهمة من الناحية التطبيقية، لان المحلول البولميري يتعرض باستمرار الى تشوه خاصة في المضخة والانحلال الميكانيكي الحاد يؤدي الى تغيرات غير متوقعه في النتائج .

بين الباحث (**Tobiason, *et al*, 2001**) ان مادة (PAM) تقلل خسائر الاحتكاك في الانابيب ذات التقلصات والتوسعات غير المتوقعه ولكن تزداد خسائر الاحتكاك في التوسع المفاجيء بسبب نشوء الدوامات.

في السنوات الاخيره حصل تقدم كبير في طرق تخفيض هذه المقاومه بواسطة اضافة بعض المواد الى السوائل بنسب معينه فمثلا يشير الباحث (**Chernyuk, *et al* , 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 الانبوب والتي يحدث فيها انحدار كبير في السرعة تخلق او تكون تباين في خواص اللزوجة في الاتجاهين العرضي والطولي .

كما اعتمدا الباحثان**Gyr and Bewersdorff, (2009)** في دراسة لهما مبدا تجارب LDA EXPERIMENTS اي استخدام تقنيات حديثة مثل Laser Doppler Anemometry في فحص الجريان الاضطرابي لمحلول الماء مع البوليمر حيث وجدا ان زيادة اضافة البوليمر بمقدار 435) (wppm تؤدي الى خفض المقاومة الهايدروليكية بسبب السلوك التضعيفي للقص في المائع (the strong shear-thinning behavior of the fluid).

<u>بوليمير البولي اكريلاميد Polyacrylamide (PAM)</u> :

هو مركب كيمياوي له الصيغة الكيمياوية C_3H_5NO ويمتاز بانه مادة بلورية ذات لون ابيض تذوب في الماء والايثانول والايثر . يتحلل البولي اكرلاميد بدون حرارة الى الامونيا بينما يتحلل بالحرارة الى اول وثاني اوكسيد الكاربون واكاسيد النتروجين.

يستخدم في صناعة الورق وعمليات استخراج المعادن من خاماتها وتعاملات المياه الثقيلة وهو رخيص الثمن،**(Tareke, *et al.*, 2002**) ويتم الحصول عليه بواسطة بلمرة الاكريلاميد بواسطة الجذور الحرة في المحاليل المائية ويحضر البولي اكرلاميد صناعيا بالتحليل الهايدروجيني(Hydrolysis) لمادة الاكرلونترايل (Acrylontrile) باستخدام مادة (Nitrilehydratase) ، كما بين ذلك جماعة من العلماء الصينيون.**(Gao, *et al*, 1999)** .

يظهر **جدول رقم(1) وشكل رقم(1)** **[Du, and Frisch, 1996]** الخواص والبناء التركيبي للبولي اكرلاميد على التوالي:

<u>الجانب العملي Experimental Work</u>

لغرض التعرف على نمط او سلوك تغير المقاومة الهيدروليكية او خسائر الاحتكاك عند اضافة المواد البوليميرية الى الماء استخدمت وحدة الاختبار الموضحه في الشكل **رقم (2)** .

والتي تتكون من الاجزاء التالية:

١. Flow meter ويستخدم لقياس سرعة تدفق المحلول في الجهاز.
٢. Test section ويستخدم كمرجع اساس للتجربة حيث يكون قطره معروفا ويدخل في المعادلات الرياضية وتقاس عليه الضغوط ويكون مرجعا لجميع الحسابات.
٣. Pr.gage ويستخدم لقياس الضغوط على الجهاز.
٤. Mixing tank ويستخدم لخلط المادة البوليمرية مع الماء في جهاز الفحص وبالنسبة المحددة.
٥. Pump ويستخدم لدفع المحلول في المنظومة لغرض استكمال القراءات المطلوبة.
٦. Constant reservoir وهو الخزان الثابت الذي يغذي المنظومة بالمحلول بعد ان تحدد كمية الماء والبوليمر.

حيث كان طول الانبوب الخاضع للاختبار 2 متر وقطر 25 ملم من الفولاذ المغلون واستخدم البولي اكريلاميد كمادة بوليميرية مضافه .واستخدمنا المعادله:**Draad, (1996)**

$$\mu = K [8V/D]^{n-1} \quad \text{---- (1)}$$

حيث تمثل **K** معامل التجانس للمحلول البوليميري و **n** يمثل دليل الجريان و **V** سرعة الجريان و **D** قطر الانبوب . وتمثل μ القوة الدافعة للمادة اللزجة (المحلول البوليميري) وتحتسب لغرض احتساب عدد رينولد الذي يحتسب بالمعادلة التالية:

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho v}{\mu} \quad \text{----- (2)}$$

اجريت التجارب باضافة المحلول البوليميري بثلاثة تراكيز واطئة (%0.025, 0.013, 0.005) وبعد قياس فرق الضغط في الانبوب بواسطة مقاييس الضغط المثبته على الانبوب الخاضع للاختبار المبينه في الشكل **رقم(1)**

تم حساب معامل الاحتكاك باستخدام معادلة **دار سي وايز باخ (Chernyuk ,2002)**:-

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

وتم مقارنة معامل الاحتكاك (λ) للمحاليل البوليميرية مع معامل الاحتكاك للماء في حالة الجريان الاضطرابي وقيم التصاريف ورقم رينولدز ومعامل الاحتكاك (λ) مبينة في **الجدول رقم (2)** .

تم اتباع الطريقه المفضله لمزج البولي اكريلاميد مع الماء وهي ان يكون بشكل مذاب مع الماء لسهولة الامتزاج والتجانس وهي افضل من ان يكون بشكل حبيبات او مسحوق حيث ذكر ذلك الباحثين (**Wei and Willmarth 1992**) وكانت طريقته هي المثلى. وقد كان حجم الماء المستخدم في التجربه 700 لتر وان البوليمر المحضر خارجا يضاف الى خزان الخلط حسب النسب المبينه في **الجدول رقم (2)** وهي نسب وزنية جرت زيادتها بشكل تدريجي .

C_p[1]=polymer concentration

ولمعرفة تاثير التراكيز العالية لبولي اكيريلاميد Cp% على النسبة المئوية لتخفيض معامل الاحتكاك $\%(\Delta\lambda/\lambda)$ استخدمنا تراكيز اعلى تراوحت بين 0.005% الى 0.06% والقيم موضحة في الجدول **رقم(3)**.

Cp %- هو النسبة المئوية الوزنيه للبوليمر(البولي اكريلاميد) في الماء اي النسبة بين وزن البولي اكريلاميد الى وزن الماء.

$\%\Delta\lambda/\lambda = (\lambda_1 - \lambda_2)/\lambda_1\%$ - هي النسبة المئوية لتخفيض معامل الاحتكاك .

حيث λ_1 - تمثل معامل الاحتكاك للماء المبينه في جدول **رقم(2)**

λ_2 - تمثل معامل الاحتكاك عند جريان محلول البولي اكريلاميد.

النتائج والمناقشه Results & Discussion

تم تحليل نتائج التجارب التي اجريت كما ياتي :-

١. رسمت العلاقة بين عدد رينولدز ومعامل الاحتكاك الموضحة في الشكل رقم (3) باعتبار ان عدد رينولد دالة لمعامل الاحتكاك $\lambda = f(Re)$, وقد كانت علاقة غير خطية ويقل الاحتكاك مع زيادة عدد رينولدز للمحاليل البوليمرية ذات التراكيز الواطئة 0.005% , 0.013% , 0.025% وتاويل ذلك يرجع الى ان حركة المائع تتخذ ثلاثة اشكال من الحركة في ان واحد وهي الحركة الانتقالية المباشرة translation والحركة الدوامية vorticity والحركة التشويهية deformation ، وعليه فان تركيز المادة البوليمرية بالنسب اعلاه تؤدي الى تقليل الحركتين الدوامية والتشوهية وكنتيجة لذلك تنخفض مقاومة الاحتكاك، مما ينعكس على زيادة الجريان للمحلول وصولا الى حد معين من اعداد رينولد (**Graebel, 2001**).

٢. وتمت مقارنة معامل الاحتكاك (λ) للمحاليل البوليميرية الثلاثة اعلاه مع معامل الاحتكاك للماء في حالة الجريان الاضطرابي الموضحة في الجدول رقم (2) .وقد اظهرت النتائج ولسرع اضطرابية مختلفة ولاعداد رينولد من 14989 الى69978 نقصان معامل الاحتكاك لكل تركيز من تراكيز البوليمر الثلاثة مع زيادة عدد رينولد

وزيادة السرع الاضطرابية للمحلول والسبب في ذلك يعود الى تاثير جزيئات البوليمير على توزيع الدوامات في الاتجاه الطولي للجريان كما وتتلاشى شدة التذبذب الاضطرابي في الاتجاه القطري بالاضافة الى تباين في خواص اللزوجة في الاتجاهين العرضي والطولي كما اشار لذلك الباحث **(Lumley, 1969)** .

٣. تم رسم العلاقة بين نسبة التركيز Cp% للبوليمر مع نسبة تخفيض معامل الاحتكاك % Δ λ/ λ كما موضحه في الاشكال (3-8).حيث يلاحظ زيادة تاثير البولي اكريلاميد على زيادة نسبة تخفيض الاحتكاك Δ λ/ λ وتستمر الزيادة مع زيادة نسبة التركيز للبوليمر الى ان تصل الى القيمة العظمى عند القيمة المثالية للتركيز(Cp*) ومع زيادة عدد رينولدز تزداد القيمة المثالية Cp* وكما يلي:-

- عندما يكون عدد رينولدز بين Re = 25350 و Re = 28355 فان Cp* = 0.03%
- عندما يكون عدد رينولدز Re = 34981 فان Cp*= 0.033%
- عندما يكون عدد رينولدز Re = 39360 فان Cp*= 0.038 %
- عندما يكون عدد رينولدز Re = 44985 فان Cp*= 0.042 %

٤. ان زيادة تاثير البولمير واضحة في مجال التركيز من صفر الى قيمة Cp* والسبب يعود الى انه مع زيادة تركيز البولمير في الماء فان قسم من الزخم الاضطرابي يتعرض الى تخفيض او امتصاص تاثير الجزيئات الكبيرة للبولمير المضاف وهذا يؤدي الى زيادة سمك الطبقة التحتية الجدارية التي تؤدي الى زيادة سرعة الجريان كما بين دلك جملة من العلماء والباحثين **(Warholic *et al*,1999)**

٥. عند تجاوز القيمة المثلى للتركيز اي عند Cp > Cp* يكون التاثير المتبادل الهيدروديناميكي للجزيئات الكبيرة للبولمير فيما بعضها وتصادمها مع بعضها بشكل غير مباشر يؤدي الى تكوين او نسج سلاسل جزئية مكونة تشابك الذي يؤدي بدورة الى زيادة لزوجة المحلول في اتجاه الجريان و يؤدي الى تخفيض Δ λ/ λ اي تخفيض تاثير البولمير على المعامل (λ) كما تم تاويله من قبل الباحثين **(Den, 1995)**

الاستنتاجات Conclusions

1. ان مادة البولي اكريلاميد المضاف الى الماء بالنسب الواطئة من 0.005% الى 0.025% تؤدي الى تقليل معامل الاحتكاك فمثلا عند عدد رينولدز Re = 40000 من الشكل رقم (3) انخفض معامل الاحتكاك بالنسب % 34.01 , 23.04 , 10.43 على التوالي .

2. مع زيادة عدد رينولدز من 25350 الى 44985 تزداد نسبة تخفيض معامل الاحتكاك % Δ λ/ λ

من 21.32 الى 44.62 مع ارتفاع القيمة المثلى لتراكيز البوليمر المضاف من 0.03% الى % 0.042 للاسباب التي تم ايرادها في المناقشة انفة الذكر.

3. تقل نسبة تخفيض معامل الاحتكاك او يقل تاثير البولمير المضاف عند تجاوز القيمة المثلى للتراكيز وكما مبين في الاشكال (4-8) عند اعداد رينولدز من 25350 الى 44985 بسبب التصادم والتشابك الجزيئي التي مر ذكرها في النتائج والمناقشة.

4. الاستنتاج ان العلاقة بين نسبة التركيز ونسبة تخفيض الاحتكاك تتبع المعادلات الرياضيه المبينه ادناه وحسب اعداد رينولدز المؤشره ازاء كل منها:-

- عند $25000 < Re < 34000$ فان $\Delta\lambda / \lambda = 3.51x10^{-4}\, Re^{1.5}\, C_p - Re\, C_p$
- عند $34000 < Re < 44900$ فان $\Delta\lambda / \lambda = Re^{0.73} C_p - 0.9 Re\, C_p^{\,2}$
- عند $44900 < Re < 50000$ فان $\Delta\lambda / \lambda = 0.94\, Re\, (0.05 C_p - 0.6\, C_p^{\,2})$

حيث اجرينا حسابات دقيقه في إيجاد هذه المعادلات باستخدام:

(Quadratic Regression Routine on Calculator)

وهذه العلاقات تربط بين نسبة التركيز ونسبة تخفيض الاحتكاك وعدد رينولدز وهي ملائمة لاعداد رينولدز المؤشرة اعلاه .

المصادر

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.

Den Toonder, J.M.J., Drag reduction by polymer additives in a turbulent pipe flow: Laboratory and numerical experiments. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft, Netherlands (1995).

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.

Draad, A.A., (1996) Laminar-turbulent transition in pipe flow for Newtonian and non-Newtonian fluids. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Graebel W. R,(2001),"Engineering Fluid Mechanics" , Hand Book,Taylor &Francis Publishers, N.Y, pp369.

Gao JP, Lin T, Wang W, Yu JG, Yuan SJ, Wang SM. (1999). "Accelerated chemical degradation of polyacrylamide". *Macromolecular Symposia* **144**: 179-185. ISSN 1022-1360

Gyr, A. and Bewersdorff, H.-W. **(2009)**, *Drag Reduction of Turbulent Flows by Additives*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

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.

Tareke E, Rydberg P. Kornbrust, B. A.; Stringer, M. A., Hendriksen, H. V. (2002). "Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs". *J. Agric. Food. Chem.* **50** (17): 4998–5006.
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 .

Toms, B.A., Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tube at large Reynolds numbers. In: *Proceedings 1st International Congress on Rheology.* North Holland, Amsterdam (1949) pp. 135–141.

Warholic, M.D., Schmidt, G.M. and Hanratty, T.J., The influence of a drag-reducing surfactant on a turbulent velocity field. *J. Fluid Mech.* **388** (1999) 1–20.

Warholic, M.D., Massah, H. and Hanratty, T.J., Influence of drag-reducing polymers on a turbulence: effects of Reynolds number, concentration and mixing. *Exp. Fluids* **27** (1999) 461–472.

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

جدول رقم (1) خواص بوليمير البولي اكريلاميد polyacrylamide (PAM)

Molecular formula	C_3H_5NO
Molar mass	71.08 g mol^{-1}
Density	1.13 g/cm^3
Melting point	84.5 °C
Boiling point	- (polymerization)
water in Solubility	2.04 kg/L (25 °C)

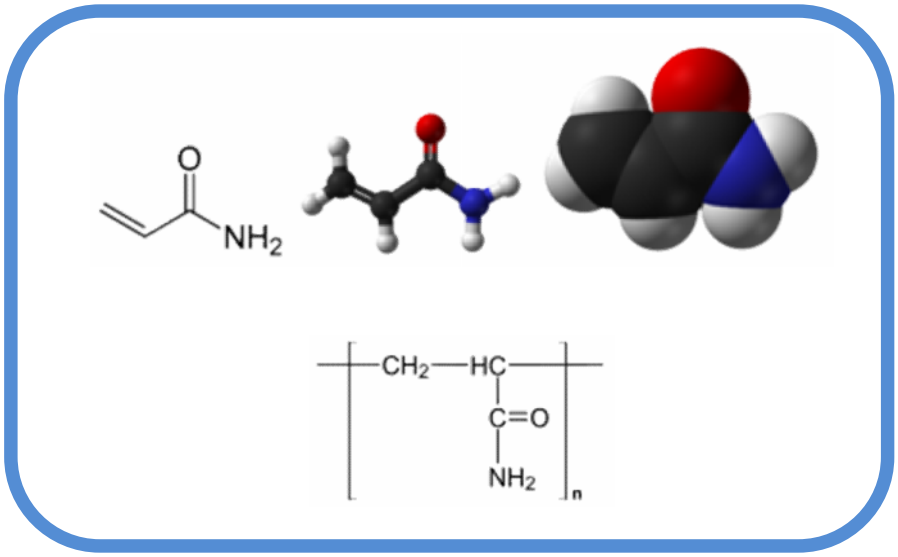
جدول رقم (2) القراءات الخاصه بالمحاليل البوليميريه والماء

Q m^3 / sec	**V m / sec**	**Re**	**water λ**	**Cp =0.005% λ**	**Cp =0.013% λ**	**Cp =0.025% λ**
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
3.015x10^{-4}	0.914	14989	0.0284	0.0262	0.0276	0.0282
7.03 x10^{-4}	2.133	34981	0.0235	0.0213	0.0188	0.0158
3.24x10^{-4}	0.983	16123	0.0281	0.0259	0.0273	0.0281
7.91 x10^{-4}	2.412	39360	0.0230	0.0206	0.0177	0.0152
3.62 x10^{-4}	1.1	18046	0.0270	0.0257	0.0271	0.0249

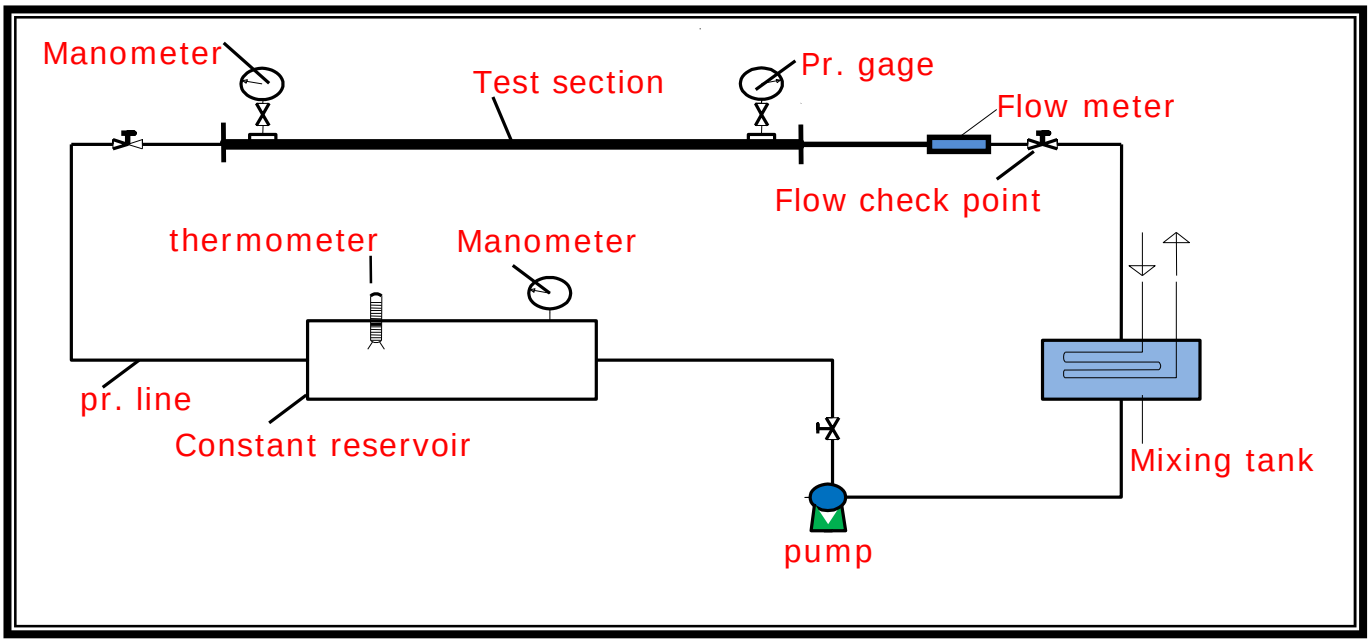
9.05×10^{-4}	2.743	44985	0.0209	0.0189	0.0160	0.0130
9.96×10^{-4}	3.02	4928	0.0215	0.0183	0.0146	0.0100
11.6×10^{-4}	3.514	57630	0.0208	0.0168	0.0129	0.0098
12.3×10^{-4}	3.723	616288	0.0204	0.0164	0.0127	0.0081
12.9×10^{-4}	3.921	64288	0.0202	0.0154	0.0125	0.0076
14.07×10^{-4}	4.297	69978	0.0198	0.0152	0.0115	0.0069

جدول رقم (3) نسب تراكيز المحاليل البوليميريه مع نسب تخفيض المقاومه الهيدروليكيه

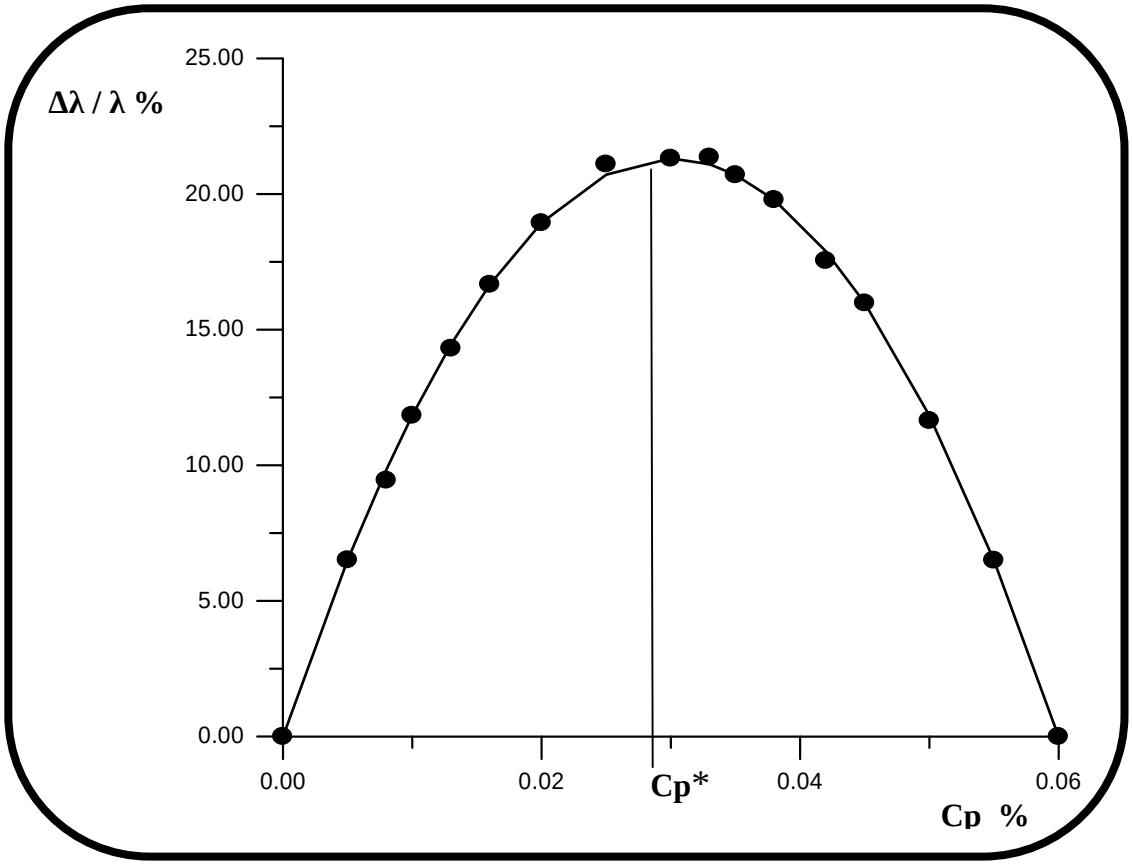
Cp%	Re=25350 Δλ / λ %	Re=28355 Δλ / λ %	Re=34981 Δλ / λ %	Re=39360 Δλ / λ %	Re=44985 Δλ / λ %
0.005	6.51	7.74	10.2	9.74	10.02
0.008	9.45	11.25	14.43	14.33	14.52
0.01	11.84	14.08	17.24	18.11	18.72
0.013	14.31	16.75	21.73	23.12	24.1
0.016	16.67	19.82	25.75	26.35	27.52
0.02	18.94	22.92	29.02	30.14	32.38
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	39.28	44.62
0.045	15.98	18.40	29.80	37.82	44.39
0.05	11.65	14.12	24.78	36.24	42.52
0.055	6.50	7.26	19.07	31.69	40.34
0.06	0	0	11.32	26.95	36.05



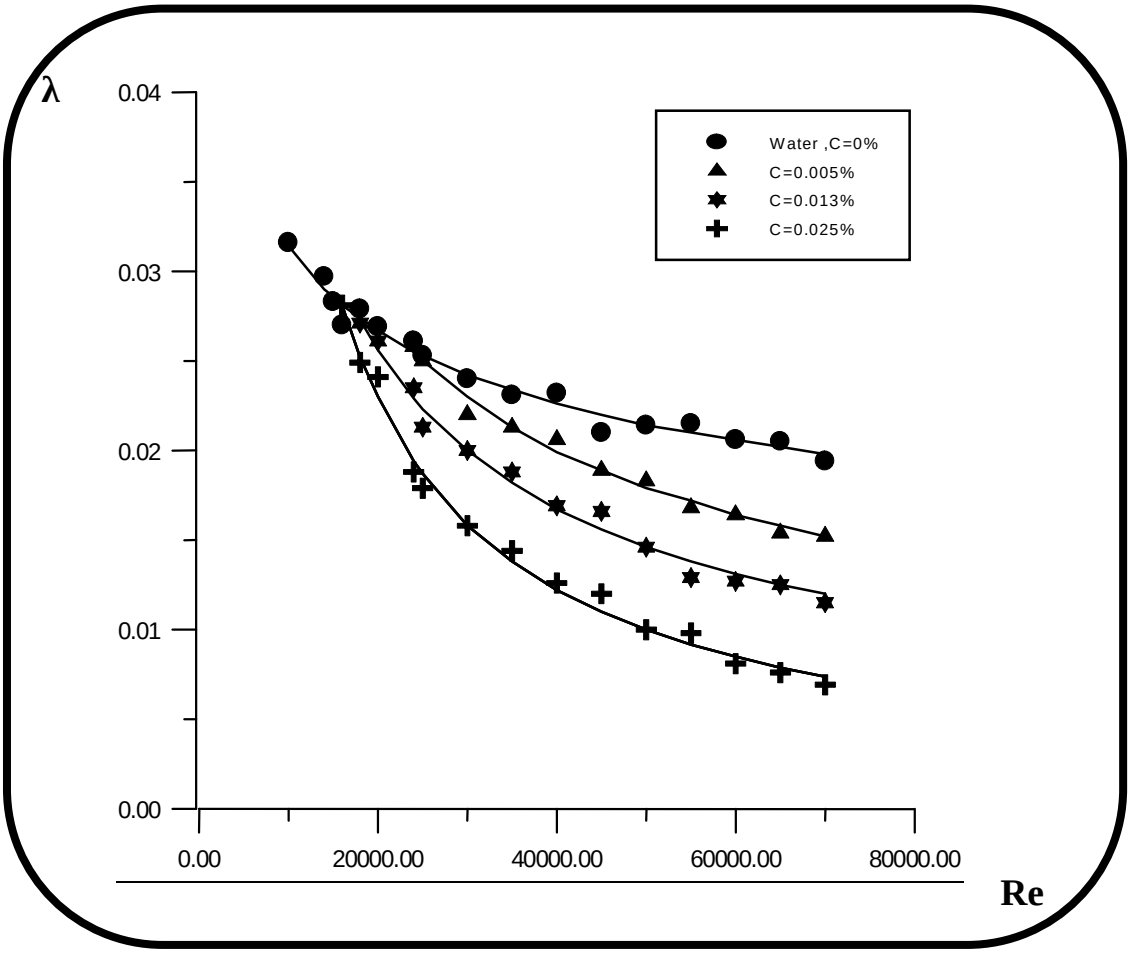
شكل رقم (1) البناء التركيبي لجزيئه البولي اكريلاميد polyacrylamide (PAM)



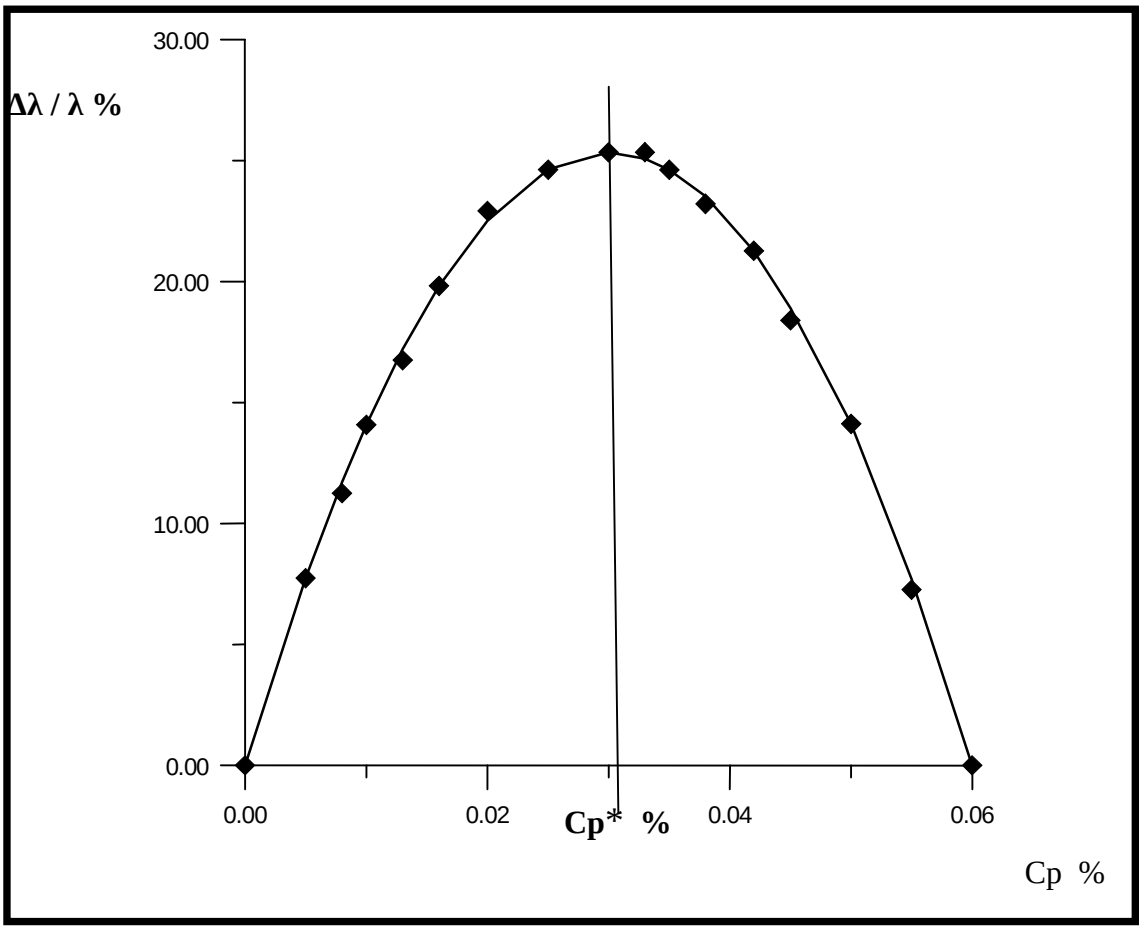
شكل رقم (2) منظومه جريان السائل واجهزة القياس



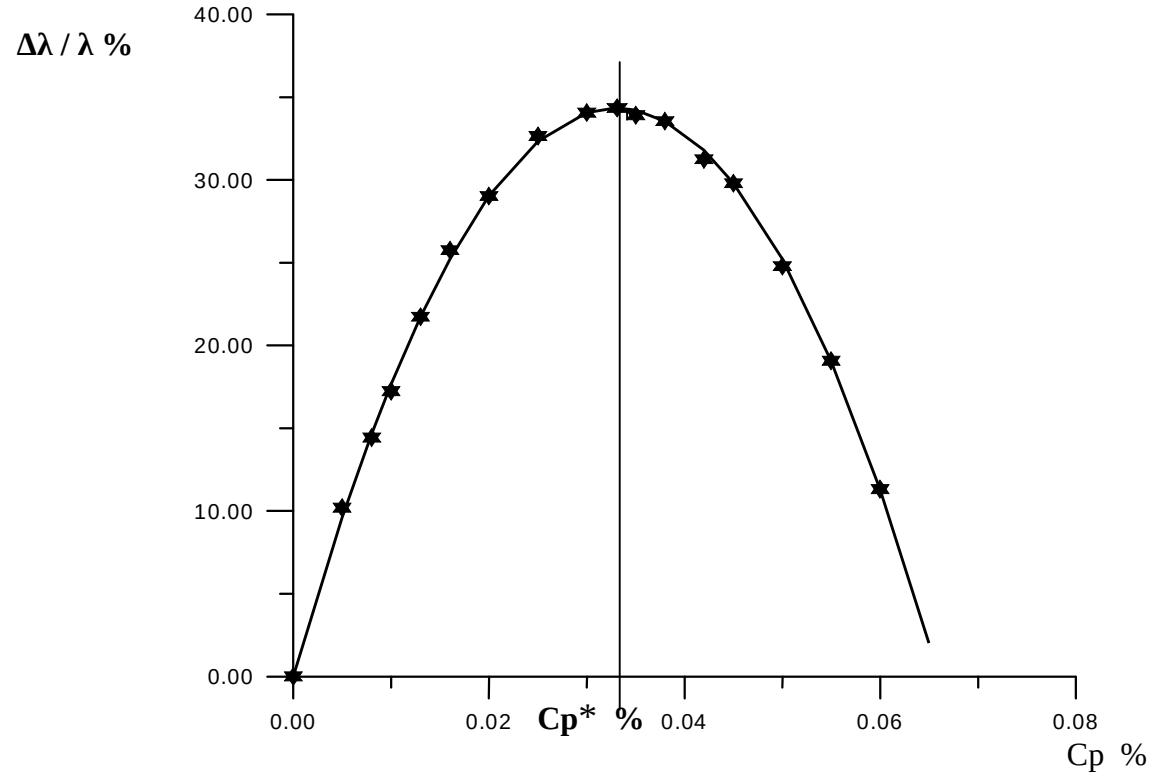
شكل رقم (3) العلاقه بين عدد رينولدز ومعامل الأحتكاك عند جريان المحاليل البوليميريه والماء



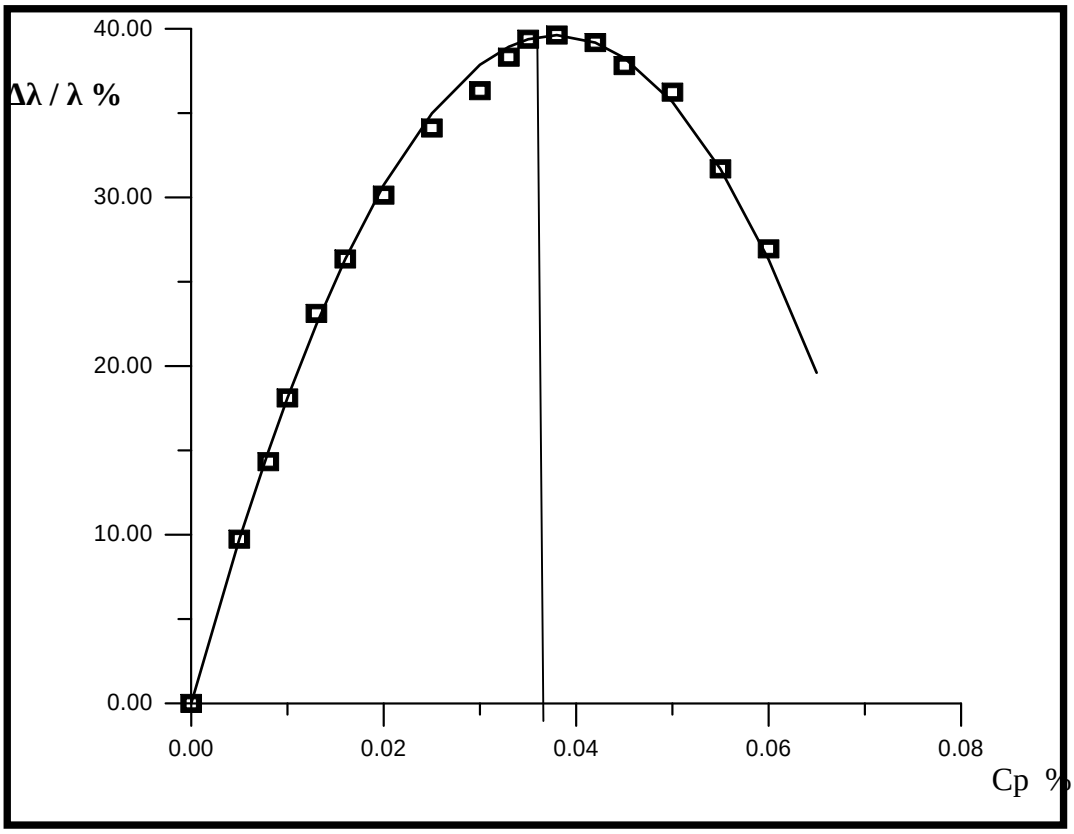
شكل رقم (4) العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 25350



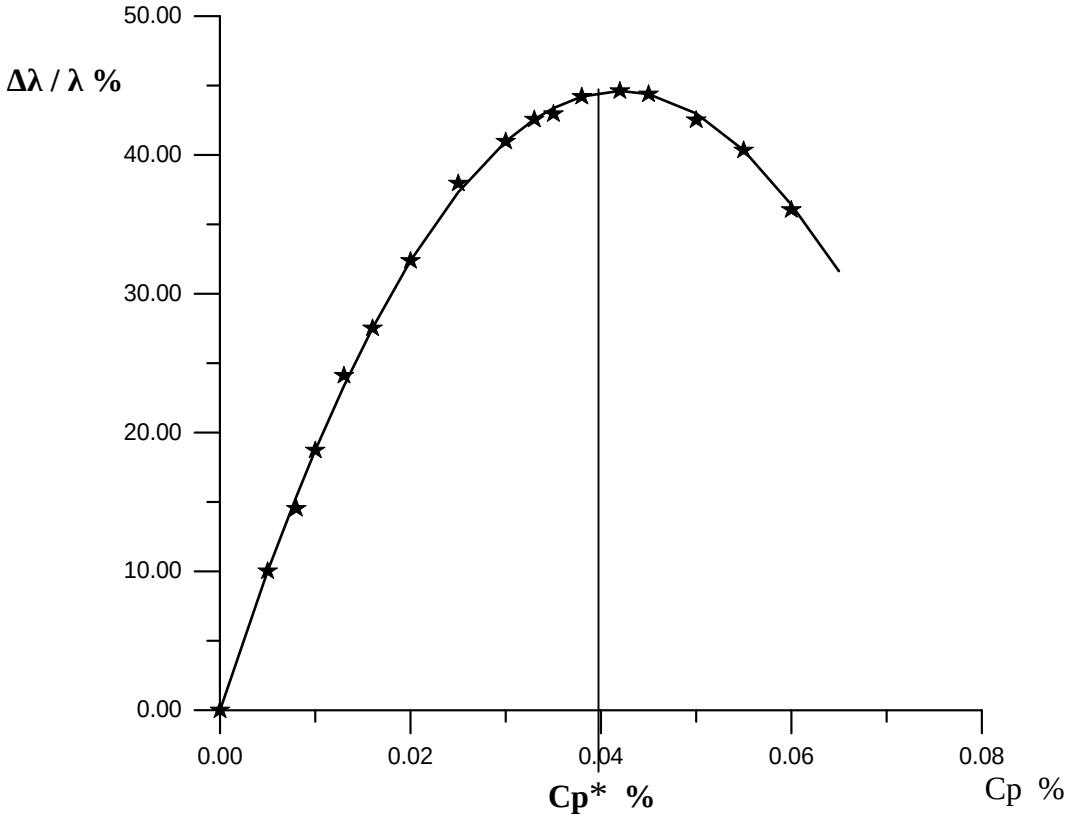
شكل رقم (5) العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 28355



شكل رقم (6) العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 34981



شكل رقم (7) العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاكعند Re = 39360



شكل رقم (8) العلاقه بين نسبة تركيز البولي اكريلاميد ونسبة تخفيض معامل الأحتكاك عند Re = 44985