

استنتاج عامل الاحتكاك الطولي للأنابيب

باستخدام مفاهيم إحصائية

د. عدنان الشيخ حمود

كلية الهندسة الكيميائية والبترولية – جامعة البعث

خلاصة :

يظهر هذا البحث المعادلة الجديدة المستنتجة المهمة لتصميم وتشغيل خط أنابيب نقل السوائل وللتنبؤ بمعدل التدفق. اذ انه من أجل التنبؤ بمعدل التصريف يجب التحديد الدقيق لفاقد الحمولة بسبب الاحتكاك والضيعات في الأنابيب. ومع ذلك، تواجه معادلات معامل احتكاك في الأنابيب الحالية صعوبات في الحصول على المتغيرات الرئيسية أو تلك التي تنطبق فقط على الأنابيب ذات الشروط المحددة. وهكذا في هذه الدراسة تم تطوير معادلة جديدة للتنبؤ بمعاملات احتكاك الأنابيب باستخدام مفاهيم إحصائية (statistically based concepts) والتي تستخدم حاليا في مجالات مختلفة. يمكن الحصول بسهولة على المعلومات الموجودة في المعادلة المقترحة وبسهولة تقديرها.

تتطلب الصيغ الحالية لحساب معامل احتكاك الأنابيب فاقد حمولة الاحتكاك ورقم رينولدز. وعلى عكس الصيغ الموجودة، تتطلب المعادلة المقترحة فقط مواصفات الأنابيب وقيمة الإنتروبيا ومتوسط السرعة. يمكن للمعادلة المطورة التنبؤ بمعامل الاحتكاك باستخدام الخصائص المعروفة ومتوسط السرعة ومواصفات الأنابيب. تظهر نتائج المقارنة مع البيانات التجريبية لـ نيكورداس أن قيم R^2 و RMSE كانت 0.998 و 0.000366 في الأنابيب الملساء، ومن 0.979 إلى 0.994 أو 0.000399 إلى 0.000436 في الأنابيب الخشنة، وتظهر نتائج تحليل نسبة التناقض أن دقة كلا النتائج في الأنابيب الناعمة والأنابيب الخشنة قريبة جداً من الصفر. ستمكن المعادلة المقترحة من تقدير أسهل لمعدلات التدفق.

الكلمات المفتاحية: مفهوم الخصائص العشوائية، عامل الاحتكاك الطولي، التدفق في الأنابيب.

The friction factor Equation for pipes using statistical concepts

Abstract:

In general, this new equation is significant for designing and operating a pipeline to predict flow discharge. In order to predict the flow discharge, accurate determination of the flow loss due to pipe friction is very important. However, existing pipe friction coefficient equations have difficulties in obtaining key variables or those only applicable to pipes with specific conditions. Thus, this study develops a new equation for predicting pipe friction coefficients using statistically based entropy concepts, which are currently being used in various fields. The parameters in the proposed equation can be easily obtained and are easy to estimate. Existing formulas for calculating pipe friction coefficient requires the friction head loss and Reynolds number. Unlike existing formulas, the proposed equation only requires pipe specifications, entropy value and average velocity. The developed equation can predict the friction coefficient by using the well-known entropy, the mean velocity and the pipe specifications. The comparison results with the Nikuradse's experimental data show that the R^2 and RMSE values were 0.998 and 0.000366 in smooth pipe, and 0.979 to 0.994 or 0.000399 to 0.000436 in rough pipe, and the discrepancy ratio analysis results show that the accuracy of both results in smooth and rough pipes is very close to zero. The proposed equation will enable the easier estimation of flow rates.

Keywords: Statistical entropy concept, friction factor, pipe flow, pipe friction coefficient.

1 . المقدمة :

غالباً ما يكون القطر وسرعة التدفق مهم جداً من أجل تحديد معدلات التدفق بدقة في تدفق الأنابيب والاقنية المكشوفة، ولكن أيضاً يكون فاقد الحمولة بسبب الاحتكاك في الأنابيب مهم أيضاً. وكذلك، فإن العامل الأكثر أهمية في حساب فقدان التدفق في الأنابيب هو معاملات الاحتكاك. ان المعادلات الحالية محدودة في التنبؤ الدقيق بعوامل الاحتكاك بسبب خصائص المواد المختلفة المستخدمة في نقل الموائع. لذلك تم التوجه لإيجاد معادلات أكثر شمولاً .

تم إجراء دراسات مع تجارب مختلفة لحساب معامل الاحتكاك. وقد اقترح جونز [1] رقماً جديداً لرينولدز باستخدام معامل الاحتكاك المطبق في الجريان الصفحي من خلال مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من تجربتي تدفق القناة المستطيلة الناعمة وتدفق الأنابيب الدائرية. كما اقترح جونز طريقة للتنبؤ بمعامل الاحتكاك للقناة المستطيلة باستخدام نفس الطريقة المستخدمة للأنبوب الدائري. اما جارسيا وآخرون [2] أشاروا إلى خطأ التنبؤ بمعامل الاحتكاك للتدفقات بدون قوة القص من خلال تحليل المقارنة النسبية بين الطرق المختلفة للتنبؤ بالتدفقات غير النيوتونية في التدفقات المضطربة. قام سو وجوموندسون [3] بقياس هبوط الطاقة من خلال تجارب تدفق الأنابيب المختلفة لتحليل هبوط الطاقة في الجريان لجدار افقي. قام سو وجوموندسون بحساب معامل الاحتكاك من معادلة فاقد الحمولة وقوى الاحتكاك المحسوبة من سرعة الاحتكاك بالقرب من جدار الأنبوب، والتي تحدها نظرية الطبقة الحدية. بالإضافة إلى ذلك، قدم سو وجوموندسون طريقة للتنبؤ بمعامل الاحتكاك من خلال البحث التجريبي.

وقد تم إجراء دراسات التحليل العددي من قبل العديد من الباحثين. روميو وآخرون [4] اقترح طريقة جديدة للتنبؤ بمعامل الاحتكاك بدقة عن طريق تكرار معادلة كولبروك وايت،

مع المعلومات المقدره من الطرق المتعدده غير الخطية. ماكيون وآخرون [5] جمعت بيانات الاحتكاك المتعلقة برقم رينولدز واقترحت معادلة معامل احتكاك جديدة لتدفق رقم رينولدز العالي من خلال تحليل معامل الاحتكاك في الجريان المضطرب. بالإضافة إلى ذلك، اقترح تشينغ [6] معادلة معامل الاحتكاك لمنطقة الانتقال بين الأنايب الملساء والخشنة في التدفقات المضطربة وقام بتعديلها لتطبيقها في تدفق القناة المفتوحة من خلال مقارنات مع نتائج التجربة التي أجراها نيكورادس. اشتق ترينه [7] علاقة بلاسيوس التجريبية لعوامل احتكاك في الجريانات المضطربة ضمن الأنايب . وامتدت إلى سوائل قانون الطاقة غير النيوتونية. كالومينو وآخرون [8] بحث في الدراسة التجريبية والعديية للتدفقات السطحية الحرة في الأنايب الموجهة.

تم تطوير ودمج الدراسات باستخدام أساليب الكمبيوتر. اقترح توني [9] طريقة للتغلب على الطبيعة التكرارية لمعادلة عامل احتكاك أنبوب Colebrook باستخدام خيارات حل (VBA)

Visual Basic for Applications المتوفرة في Microsoft ExcelTM. يتم عرض حاسبة عامل الاحتكاك التي تغطي نظام تدفق السوائل بأكمله معاً ويتم التحقق من صحة النتائج من خلال مقارنة النتائج من مخطط عامل الاحتكاك Moody. كما تم تقديم طريقة حل للمعادلة المضطربة الصريحة لـ Swamee-Jain من خلال استخدام وظائف Microsoft Excel [9] بادبلا وآخرون [10] قام بتوضيح حساسية معامل الاحتكاك بسبب التغيرات في التدفق ودرجة الحرارة من خلال التجارب التي تم إجراؤها في نموذج أولي لخط أنابيب بلاستيكي. نيهجوك وآخرون [11 و12 و13] أجريت دراسات حدودية حسابية لإظهار أن عامل الاحتكاك للأنايب الخشنة هو وظيفة خطية للمسامية.

زاده نجف وآخرون [14] طور معادلة نموذجية بمعلومات، مثل القطر ومتوسط السرعة والخشونة الوسطية، من أجل التنبؤ بدقة بمعاملات الاحتكاك وتحسين النماذج الحالية التي تتطلب رقم رينولدز والخشونة النسبية. ميشرا وآخرون [15] قدر كفاءة وقابلية تطبيق صيغ عامل الاحتكاك الحالية. اقترح دياز - داماسيلو، بلاسينسيا [16] صيغة واضحة جديدة لتقدير عامل الاحتكاك باستخدام ستة خصائص. وفقا لبيريز بوبو وآخرون [17]، تم إجراء مراجعة للارتباطات الواضحة لعامل الاحتكاك بما في ذلك 48 معادلة.

على الرغم من تطوير برامج وأساليب حاسوبية مختلفة لتقدير فاقد احتكاك الأنابيب، فقد وُجد أن الأبحاث غير كافية لحساب معامل احتكاك الأنابيب بشكل دقيق. ولكل حالة مادية قيمة احتكاك تتراوح قيمتها مع قيمتها الخاصة. ومع ذلك، في بعض الأحيان تكون قيم الاحتكاك هذه قديمة أو تم حسابها بشكل خاطئ. المعادلات السابقة الخاصة بمعامل الاحتكاك لها حدود معينة لخشونة الأنبوب أو الجريان. لذلك، من أجل تقدير معامل احتكاك الأنابيب في أي نوع من الخشونة وفي الجريان الصفحي والمضطرب، كما ذكرنا في هذه الدراسة، تم اقتراح معادلة باستخدام الانتروبيا العشوائية لتقدير فاقد الاحتكاك.

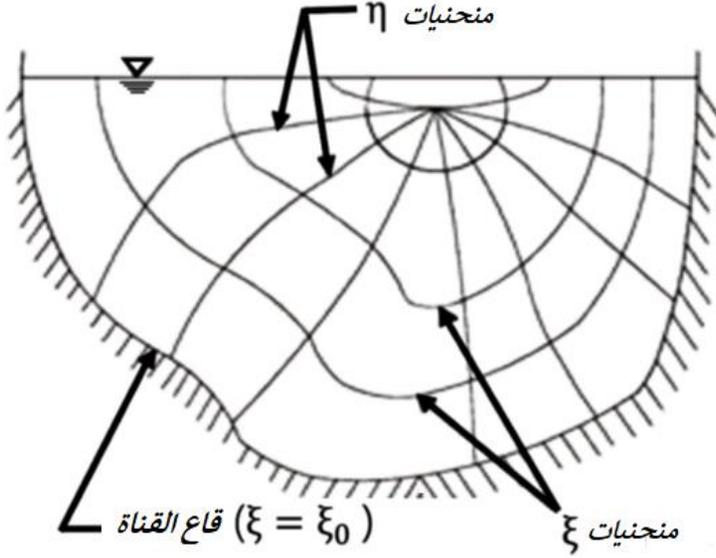
2. المنهجية Methodology :

2.1. سرعة جريان تشيو ومعادلة دارسي - وايسباخ :

قام تشيو [18,19] بتطبيق معادلة الإنتروبيا العشوائية لحساب السرعة المتوسطة والمعادلة المقترحة (1) ، على النحو التالي :

$$u = \frac{u_{max}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{max} - \xi_0} \right] \quad (1)$$

حيث u هي السرعة و u_{max} هي السرعة القصوى، ($0 \leq \xi \leq 1$) هي الإحداثيات المكانية عندما تكون السرعة u ، ξ_0 هي القيم الدنيا لـ ξ التي تحدث عند الطبقة الحدودية للقناة ($u = 0$)، ξ_{max} هي القيم القصوى لـ ξ التي تحدث عند u ، M هي عامل الإنتروبيا العشوائي (انظر الشكل 1)



الشكل (1) $\eta - \xi$ للقناة المكشوفة [ξ و η] هي الاحداثيات المكانية ، تشيو [18]-

[19]

$$K(M) = \phi(M) \cdot M = \frac{M(e^M - e^{M+1} + 1)}{(e^M - 1)} \quad (2)$$

$$\phi(M) = \frac{(e^M - e^{M+1})}{(e^M - 1)} \quad \text{حيث :}$$

$$u = \frac{\bar{u}}{K(M)} \ln \left[1 + (e^M - 1) \left(\frac{y - y_0}{y_{max} - y_0} \right) \right] \quad (3)$$

حيث \bar{u} هي السرعة الوسطية و y هو مستوى الماء بالنسبة لك ، y_0 هو الحد الأدنى لمستوى الماء ، y_{max} هو الحد الأقصى لمستوى الماء.

في ميكانيك الموائع تستخدم معادلة دارسي- وايسباخ لتقدير معامل الاحتكاك والذي يظهر في المعادلة (4) .

$$h_L = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

حيث h_L هو فقدان الحمولة و f هو معامل الاحتكاك و D هو قطر الأنبوب و V هي السرعة و g هو تسارع الجاذبية . وتم تقدير معامل الاحتكاك باستخدام المعادلة الخاصة بسرعة الاحتكاك كما هو موضح في المعادلة (5)

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \sqrt{\frac{8}{f}} \quad (5)$$

حيث : u_* هي سرعة القص

2.2 . تقدير فاقد حمولة الاحتكاك Estimation of the Friction Head Loss

:

في هذا الجزء، تم استخدام معادلة لحساب فاقد حمولة (رأس) الاحتكاك باستخدام معادلة توزيع السرعة ومعادلات فاقد حمولة الاحتكاك . فإذا تم مفاضلة المعادلة (3) فيما يتعلق بتدرج السرعة ، وتم تطبيق $y_0 = 0$ و $y_{max} - y_0 = 1$ فسيتم تمثيل المعادلة على النحو التالي :

$$\left[\frac{du}{dy} \right] = \frac{\bar{u} \cdot (e^M - 1)}{R_h \cdot K(M) \cdot [1 + (e^M - 1) \cdot y]} \quad (6)$$

حيث : R_h هو نصف القطر الهيدروليكي.

أما بالنسبة للسرعة ($u = 0$) عند الطبقة الحدية، فيمكن تعديل المعادلة (6) لتصبح المعادلة (7) :

$$\left[\frac{du}{dy} \right]_{y=y_0} = \frac{\bar{u} \cdot (e^M - 1)}{R_h K(M)} \quad (7)$$

ويمكن تمثيل المعادلة (7) بمعادلة إجهاد القص المعادلة (8)، كما يلي:

$$\tau_0 = \rho v \left[\frac{du}{dy} \right]_{y=y_0} \quad (8)$$

حيث τ_0 هو إجهاد القص السفلي، ρ هي كثافة السائل، v هي اللزوجة الحركية :

$$\tau_0 = \rho v \frac{\bar{u} \cdot (e^M - 1)}{R_h \cdot K(M)} \quad (9)$$

بالإضافة إلى ذلك يمكن تمثيل المعادلة (9) بمعادلة سرعة القص المعادلة (10) :

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (10)$$

$$u_*^2 = v \frac{\bar{u} \cdot (e^M - 1)}{R_h \cdot K(M)} \quad (11)$$

ويمكن تحديد معادلة معامل الاحتكاك من خلال دمج المعادلة (5) في المعادلة (12) التالية للمعادلة (13).

$$f = 8 \frac{u_*^2}{\bar{u}^2} \quad (12)$$

$$f = 8 \frac{v \frac{\bar{u} \cdot (e^M - 1)}{R_h \cdot K(M)}}{\bar{u}^2} \quad (13)$$

معادلة معامل الاحتكاك المقترحة هي كما يلي :

$$f = \frac{8 \cdot v \cdot F(M)}{R_h \cdot \bar{u}} \quad (14)$$

يتم تعريف $F(M)$ كما في المعادلة (15).

$$F(M) = \frac{(e^M - 1)}{K(M)} \quad (15)$$

3. التطبيق :

في هذا البحث تم اقتراح معادلة لحساب معامل احتكاك في الأنابيب. وتم التحقق من المعادلة المقترحة باستخدام بيانات نيكورادس التجريبية [20]. تم تصنيف البيانات إلى نوعين (الأنبوب الأملس والأنبوب الخشن) وتم تحديد كل منهما حسب القطر والخشونة النسبية. ثم تم تحليل البيانات المرصودة والبيانات المحسوبة (المعادلة المقترحة) باستخدام برنامج الاكسل للتجارب المبرمجة .

3.1. أنبوب أملس Smooth Pipe :

تم تصنيف البيانات المقاسة إلى خمسة أقطار هي 1، 2، 3، 5، و10 مدرجة في الجدول 1، حيث يبلغ إجمالي البيانات التجريبية 125 حالة . البيانات المدرجة في الجدول (1) هي : قطر الأنبوب (D) ، نصف القطر الهيدروليكي (R_h) ، سرعة القص

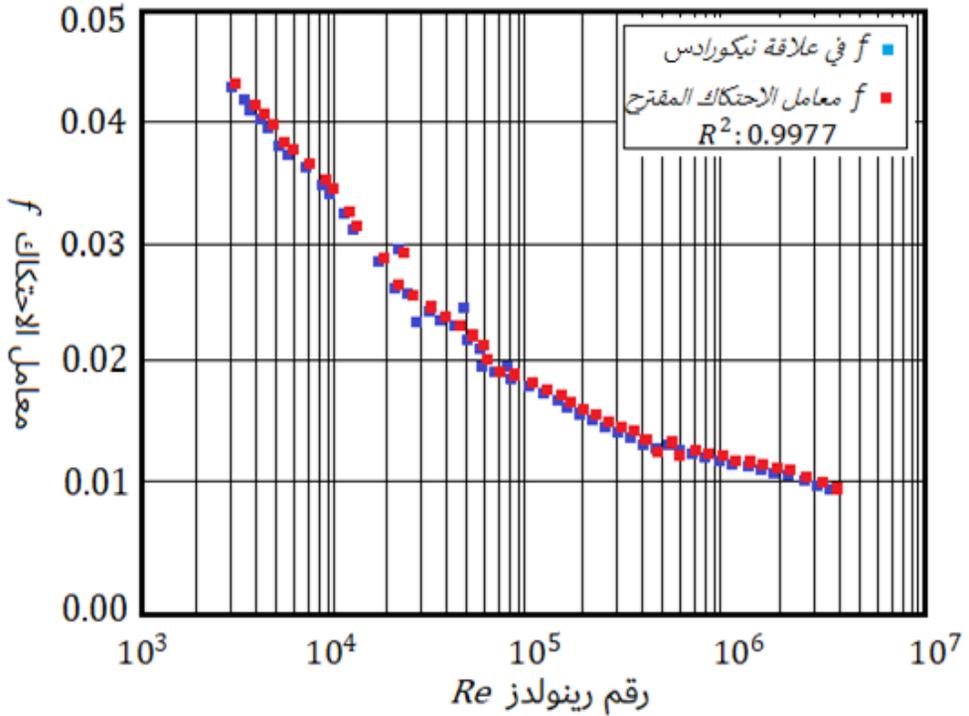
(u_*)، متوسط السرعة (\bar{u}) ، الحد الأقصى لمعدل التدفق، اللزوجة الحركية (ν) ، رقم رينولدز (Re)، ومعامل الاحتكاك (f) :

الجدول (1) مقارنة نتائج عامل الاحتكاك التي تم تحديدها من المعادلة المطورة مع البيانات المقاسة بواسطة معادلة نيكورادس بتجارب على الأنابيب الملساء

D	R_h	u_*	\bar{u}	ν	F(M)	R_e	f
1	0.25	3.124 ~14.206	42.8 ~311	0.014 ~0.0135	4.072 ~12.428	3.07 ~23	0.016692 ~0.042626
2	0.5	6.711 ~46.792	114.6 ~1053	0.0114 ~0.0135	14.555 ~89.625	17 ~182	0.015797 ~0.027434
3	0.75	4.895 ~46.996	91.4 ~1106	0.0114 ~0.0123	15.948 ~130.237	37 ~288	0.01444 ~0.02295
5	1.25	3.857 ~42.657	71.2 ~1082	0.0134 ~0.0081	21.517 ~259.529	29.3 ~670	0.0124344 ~0.0234805
10	2.5	11.234 ~83.999	259 ~2425	0.0122 ~0.007	112.076 ~969.883	238.8 ~3230	0.0095988 ~0.0150519

وتمت مقارنة نتائج معامل الاحتكاك التي تم تحديدها من المعادلة المطورة مع البيانات المقاسة بواسطة معادلة نيكورادس من تجارب الأنابيب الملساء. بعد ذلك، تم تحديد قيم الإنتروبيا $M \downarrow 125$ حالة، مع الأخذ في الاعتبار معدل التدفق وقطر الأنبوب الأملس. من هذه الإنتروبيا M ، تم حساب $F(M)$ باستخدام المعادلة (14) ومن ثم تم تقدير معامل الاحتكاك من المعادلة (15).

تمت مقارنة معاملات الاحتكاك المقدره مع البيانات المقاسة من تجارب نيكورادس كما هو موضح في الشكل 2 و في الجدول 1، تظهر معاملات الاحتكاك المقاسة انخفاضاً عكسياً، بما يتناسب مع قطر الأنبوب. وفي الوقت نفسه، زادت سرعة القص ومتوسط السرعة و $F(M)$ ورقم رينولدز بسرعة مع زيادة القطر.



الشكل (2) - مقارنة معامل الاحتكاك f (أنبوب املس)

وفقاً للجدول 1، كان لأرقام رينولدز نطاق واسع جداً من 3.07 كحد أدنى إلى 3230 كحد أقصى. ولرؤية الرسم البياني في الشكل 2، استخدمنا مقياس اللوغاريتم للمحور الافقي ويبين الشكل 2 أن المعادلة المطورة تماثل بشكل جيد معاملات الاحتكاك في نيكورادس مما يدل على دقة عالية جداً، حيث كانت قيم $R^2 = 0.9977$ (مربع الانحراف المعياري).

3.2. الأنابيب الخشنة Rough Pipe :

وفي حالة تجارب الأنابيب الخشنة التي أجراها نيكورادس، تم تمثيل الخشونة بالرمل الملصق بجدار الأنبوب (خشونة صناعية). تم قياس نيكورادس من إجمالي 362 حالة

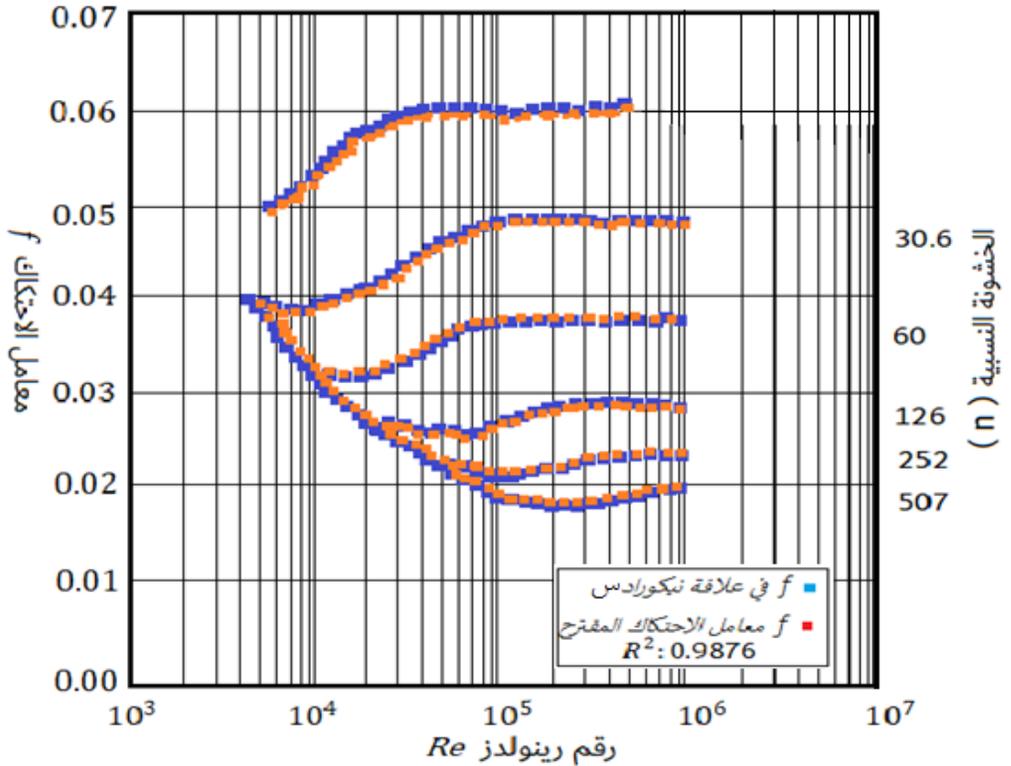
تجربة وتم تصنيفها إلى ستة حالات خشونة نسبية : 30.6، 60، 126، 252، 507، تم تصنيف كل نوع من الخشونة النسبية إلى ثلاثة أقطار 9.94 سم، 4.94 سم، و 2.44 سم. في البيانات حيث الخشونة النسبية $(r/k) = n$ و قطر الأنبوب (D) و نصف القطر الهيدروليكي (R_h) و سرعة القص (u_*) و متوسط السرعة (\bar{u}) و الحد الأقصى لمعدل التدفق $F(M)$ و اللزوجة الحركية (ν) ، رقم رينولدز (Re) ومعامل الاحتكاك (f) مدرجة في الجدول 2 .

الجدول (2) نتائج قياسات نيكورادس لجدران خشنة للحالات الستة

$r/k = n$	D	R_h	u_*	\bar{u}	ν	F(M)	R_e	f
507	9.94	2.485	0.923 ~41.621	15.45 ~845	0.009 ~0.012	11.622 ~586.711	13.0017 ~970.51	0.0171 ~0.0286
252	9.94	2.485	3.753 ~47.724	72.3 ~880	0.0089 ~0.0128	37.815 ~722.652	55.9758 ~979.49	0.0209 ~0.0236
	4.94	1.235	2.578 ~59.494	43.4 ~1104	0.0086 ~0.0132	14.325 ~44.893	16.2181 ~612.35	0.0209 ~0.0282
126	9.94	2.485	7.018 ~49.213	121 ~832	0.0081 ~0.0135	85.427 ~820.413	88.1251 ~970.51	0.026 ~0.0285
	2.474	0.6185	1.597 ~43.793	22.8 ~755	0.128 ~0.133	0.524 ~12.274	2.4917 ~145.881	0.0246 ~0.0393
60	9.8	2.434	6.611 ~60.015	101 ~896	0.0092 ~0.0132	80.32 ~1027.512	74.9894 ~916.22	0.0342 ~0.037
	2.434	0.6085	1.665 ~52.158	23.8 ~795	0.0114 ~0.0128	5.54 ~182.656	4.4978 ~170.216	0.0303 ~0.0392
30.6	9.64	2.41	7.449 ~70.518	99 ~934	0.009 ~0.011	121.686 ~1425.711	85.9014 ~1000	0.0447 ~0.0458
	4.87	1.2175	5.153 ~73.023	70 ~975	0.0105 ~0.0128	36.08 ~634.153	26.6073 ~451.856	0.0426 ~0.0458
	2.434	0.6085	1.704 ~49.616	24.9 ~664	0.0107 ~0.0129	5.738 ~210.841	4.69894 ~151.008	0.0378 ~0.0453
15	4.82	1.205	6.515 ~142.177	75.5 ~1648	0.0072 ~0.0132	51.318 ~1957.896	27.5423 ~1018.59	0.0596 ~0.0608
	2.412	0.603	2.427 ~68.31	30.81 ~788	0.0098 ~0.0126	9.153 ~364.357	5.88844 ~192.752	0.0497 ~0.061

تم تحديد قيم الانتروبيا $M \downarrow 362$ حالة تم فحصها بواسطة نيكورادس مع الأخذ في الاعتبار معدل التدفق وقطر الأنبوب الأملس. قمنا أيضاً بحساب $F(M)$ باستخدام المعادلة (14) وحددنا معامل الاحتكاك من المعادلة (15)

تمت مقارنة معاملات الاحتكاك المحددة مع معاملات الاحتكاك المقاسة من تجارب نيكورادس كما هو موضح في الشكل 3. يوضح الشكل 3 أن سرعة القص المقاسة والسرعة المتوسطة وعدد رينولدز كان لها نطاق معين، لكن معامل احتكاك الأنابيب كان له منطقة في نطاقات ضيقة



الشكل (3) - مقارنة معامل الاحتكاك f (أنبوب خشن) $n = r/k$.

ولرؤية الرسم البياني في الشكل 3 أيضاً استخدمنا مقياس اللوغاريتم للمحور الأفقي. يوضح الشكل 3 أن المعادلة المشتقة تمثل بشكل جيد معاملات الاحتكاك في نيكورادس ، مما يدل على دقة عالية جداً حيث تتراوح قيم R^2 مربع الانحراف المعياري من 0.9796 إلى 0.9941.

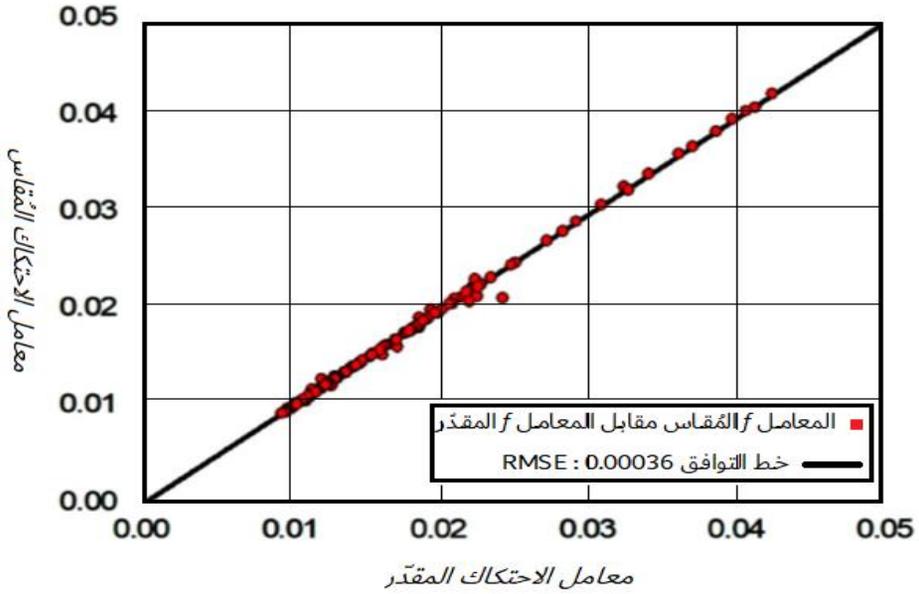
3.3 RMSE (الجذر لمربع الخطأ المتوسط) :

إن RMSE هو المقياس المعياري، وهو الفرق بين القيم التي تتبأ بها النموذج والقيم الفعلية المرصودة. كما يمكن RMSE من دمج القدرة التنبؤية في وحدة قياس واحدة. يتم تعريف RMSE لتنبؤ النموذج للمتغير المقدر $X_{est,i}$ على أنه الجذر التربيعي لمعادلة مربع الخطأ المتوسط كما توضح المعادلو (16).

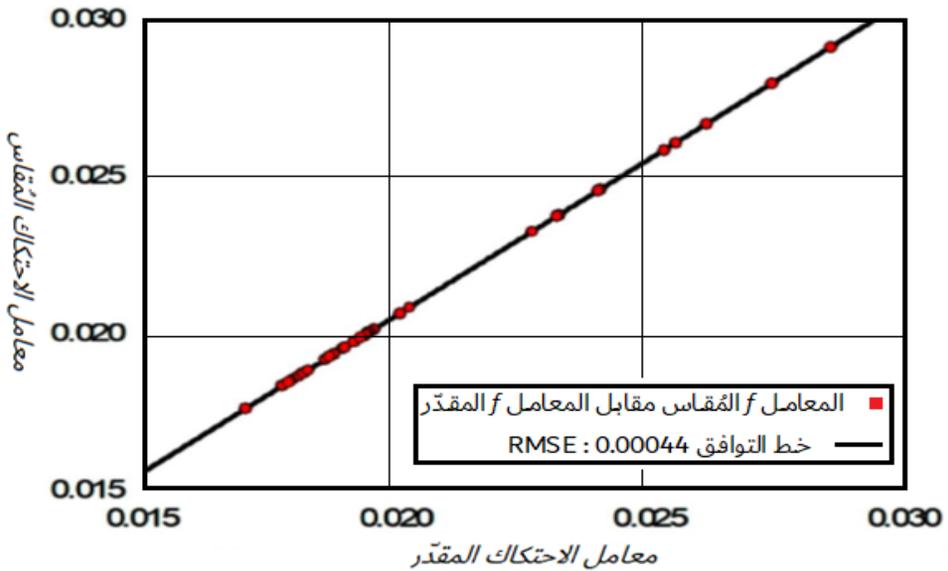
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{est,i})^2}{n}} \quad (16)$$

4. النتائج والمناقشة :

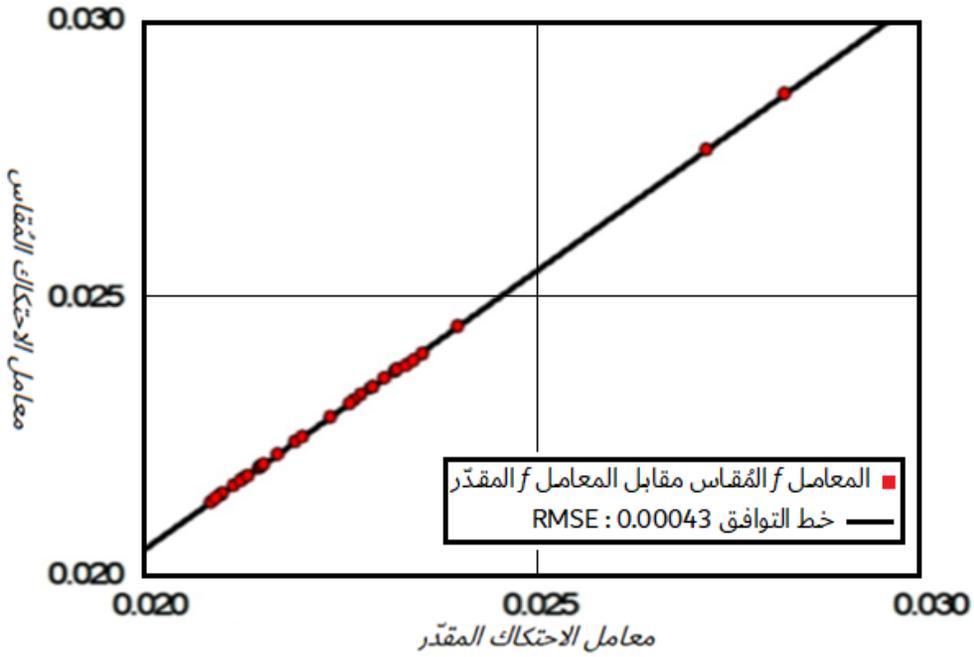
تمت مقارنة معاملات الاحتكاك المحددة للأنايب مع تلك التي تم قياسها بواسطة نيكورادس ، كما هو موضح في الشكل 4 والشكل 5 والشكل 6 والشكل 7 والشكل 8 كانت كل قيم RMSE المحددة منخفضة جداً من 0.000366 إلى 0.000436 مبين في الجدول 3.



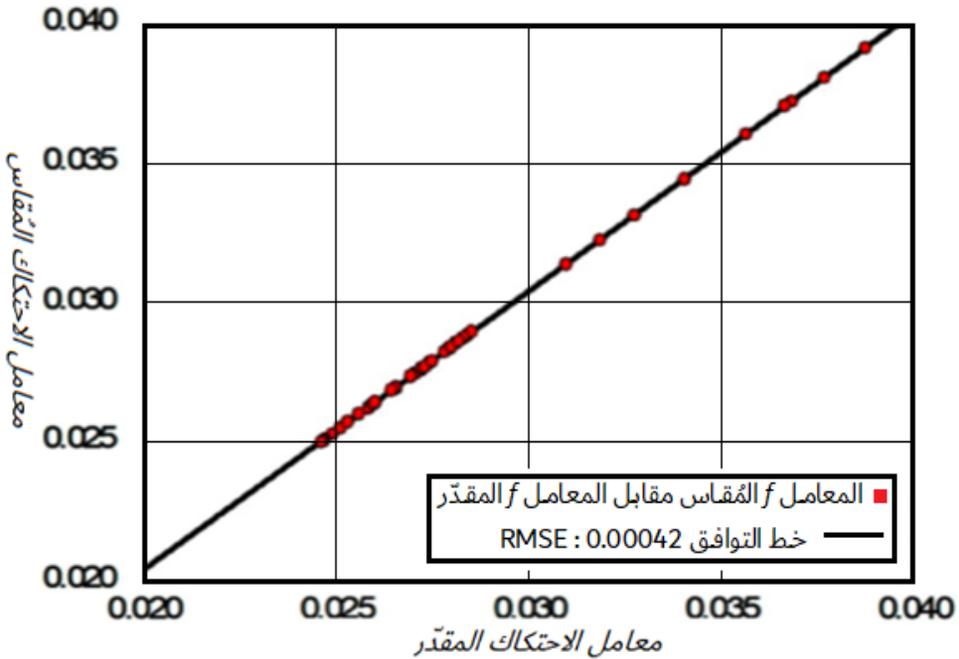
الشكل (4) مقارنة وتحقق من معامل الاحتكاك المقدر (أنبوب أملس)



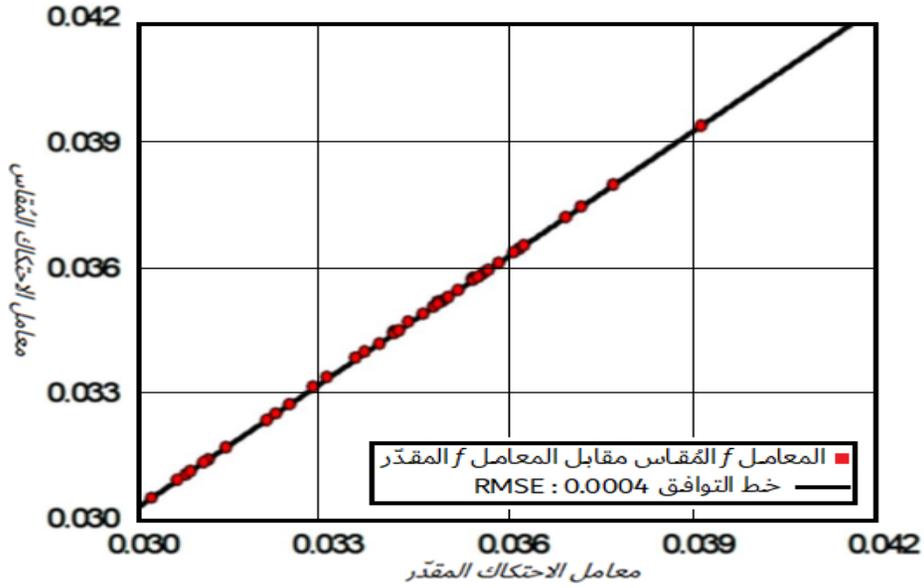
الشكل (5) مقارنة و تحقق من معامل الاحتكاك (أنبوب خشن $n = 507$)



الشكل (6) مقارنة و تحقق من معامل الاحتكاك (أنبوب خشن $n = 252$)



الشكل (7) مقارنة و تحقق من معامل الاحتكاك (أنبوب خشن $n = 126$)



الشكل (8) مقارنة و تحقق من معامل الاحتكاك (أنبوب خشن $n = 60$)

الجدول (3) مقارنة معاملات الاحتكاك المحددة للجدران مع تلك التي تم قياسها

		R ²	RMSE
جدار أملس		0.9977	0.000366
جدار خشن	507	0.9923	0.000436
	252	0.9796	0.000434
	126	0.9886	0.000423
	60	0.9875	0.000399
	30.6	0.9941	0.000433
	15	0.9846	0.000420

استخدم في هذه الدراسة طريقة نسبة التناقض وهي طريقة التحليل الإحصائي لحساب النسبة بين معاملات المعادلة المقاسة والمحددة (17) .

$$\log \left(\frac{\text{estimated } f}{\text{measured } f} \right) = \text{constant} \quad (17)$$

يتم تصنيف كل قيد محسوب بترتيب تصاعدي ثم يتم التعبير عنه كنسبة مئوية من قسم معين. إذا كانت القيمة أكبر من 0 ، فهذا يعني الإفراط في التحديد، وإذا كانت أقل من 0، فهذا يعني نقص التحديد.

وتمت مقارنة معاملات الاحتكاك المحددة مع نتائج نيكورادس، وتبين أن نتائج نسبة التناقض في المعادلة المقترحة تم توزيعها جميعها بالقرب من 0 وفي حالة الأنبوب الأملس، وجد أنها منخفضة للغاية قريب من 0 في نطاق 0.055 إلى 0.029 في حالة الأنبوب الخشن، يتم توزيعه في نطاق -0.011 إلى 0.003.000 ويميل إلى اهماله ، لكن التوزيع الإجمالي قريب جداً إلى الصفر.

5. الاستنتاجات : Conclusions

اقترح في هذه الدراسة معادلة جديدة باستخدام معادلة السرعة المتوسطة المبنية على الإنترنتوبيا العشوائية لتقدير معامل احتكاك الأنايب، وهو عامل مهم جداً لتحديد فقد احتكاك الأنايب والضيعات الطولية .

استخدمت المعادلة المقترحة عامل $F(M)$ المشتق من خلال الجمع بين صيغة دارسي- وايسباخ لفاقد حمولة الاحتكاك ومعادلة سرعة القص ومعادلة السرعة المتوسطة لتشيو .

بالإضافة إلى ذلك، يمكن حساب المعادلة المقترحة بكل بساطة وسهولة باستخدام فقط مواصفات الأنايب وقيم الإنترنتوبيا M ومتوسط السرعة دون معرفة فقدان حمولة الاحتكاك ورقم رينولدز .

أظهرت نتائج التقييم أن المعادلة المقترحة تمثل بشكل جيد بيانات نيكورادس المقاسة وكذلك قيمة R^2 كانت 0.998 للأنايبب الملساء و 0.979 إلى ~0.994 للأنايبب الخشنة. بالإضافة إلى ذلك، تم تحديد RMSE ليكون 0.00036 للأنايبب الملساء ومن 0.00039 إلى 0.00044 للأنايبب الخشنة.

تتراوح نسبة التناقض من 0.055 إلى 0.029. للأنايبب الملساء وتتراوح من 0.011 إلى 0.003 في حالة الأنايبب الخشنة. ومن خلال هذه الدراسات التقييمية، كانت دقة المعادلة المقترحة عالية وبسيطة في التطبيقات.

وهذا يوضح أن المعادلة المقترحة يمكن تطبيقها على قيم خشونة الأنايبب المختلفة والتدفق الصفحي والمضطرب.

من المتوقع أن تمكن معادلة معامل احتكاك الأنايبب المقترحة في هذه الدراسة من التقدير المناسب لمعدلات التدفق إلى حد أكبر من المعادلات الحالية.

بالإضافة إلى ذلك، سيكون من الممكن تطوير طريقة جديدة لحساب معاملات الخشونة من خلال البحث المستمر على المعادلة المقترحة.

كذلك سيكون من الممكن أيضاً الرد على رقم رينولدز من خلال دراسة طريقة تطبيق $F(M)$ المستخدمة في المعادلة المقترحة .

References

1. Jones O.C. An improvement in the calculation of turbulent friction in rectangular ducts. *J. Fluids Eng.* 1976;98:173–180. doi: 10.1115/1.3448250.
2. Garcia E.J., Steffe J.F. Comparison of friction factor equations for non-Newtonian fluids in pipe flow. *J. Food Process. Eng.* 1986;9:93–120. doi: 10.1111/j.1745-4530.1986.tb00120.x.
3. Su Z., Gudmundsson J.S. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers; Houston, TX, USA: 1994. Friction factor of perforation roughness in pipes.
4. Romeo E., Royo C., Monzón A. Improved explicit equations for estimation of the friction factor in rough and smooth pipes. *Chem. Eng. J.* 2002;86:369–374. doi: 10.1016/S1385-8947(01)00254-6.
5. McKeon B.J., Swanson C.J., Zagarola M.V., Donnelly R.J., Smits A.J. Friction factors for smooth pipe flow. *J. Fluid Mech.* 2004;511:41–44. doi: 10.1017/S0022112004009796.
6. Cheng N.S. Formulas for friction factor in transitional regimes. *J. Hydraul. Eng.* 2008;134:1357–1362. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:9(1357).
7. Trinh K.T. On the Blasius correlation for friction factors. arXiv. 20101007.2466]
8. Calomino F., Alfonsi G., Gaudio R., Ippolito A.D., Lauria A., Tafarojnoruz A., Artese S. Experimental and numerical study of

- free-surface flows in a corrugated pipe. *Water*. 2018;10:638. doi: 10.3390/w10050638.
9. Tonye K.J. A computer program for pipe friction factor calculation. *Int. J. Eng. Technol.* 2012;2:266–269.
10. Padilla E.A., Begovich O., Pizano-Moreno A. Fluid Dynamics in Physics, Engineering and Environmental Application. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 2013. Friction Coefficient in plastic pipelines; pp. 449–454
11. Neihguk D., Munjal M.L., Prasad A. Friction factor for perforated pipes; Proceedings of the COMSOL Conference 2015; Pune, India. 17 November 2015. [[Google Scholar](#)]
12. Liakopoulos A., Sofos F., Karakasidis T.E. Friction factor in nanochannel flows. *Microfluid. Nanofluidics*. 2016;20:24. doi: 10.1007/s10404-015-1699-5. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
13. Ramos F., Cruz D., Anbarlooei H. New friction factor and mean velocity profile for turbulent pipe flow at extreme Reynolds number. *Bull. Am. Phys. Soc.* 2018;63:13. [[Google Scholar](#)]
14. Najafzadeh M., Shiri J., Sadeghi G., Ghaei A. Prediction of the friction factor in pipes using model tree. *ISH J. Hydraul. Eng.* 2018;24:9–15. doi: 10.1080/09715010.2017.1333926. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
15. Mishra M., Deshpande A., Kumar B. Hydrologic Modeling. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany: 2018. Performance appraisal of friction factor estimators; pp. 475–498

16. Díaz-Damacillo L., Plascencia G. A new six parameter model to estimate the friction factor. *AICHE J.* 2019;65:1144–1148. doi: 10.1002/aic.16535.
17. Pérez-Pupo J.R., Navarro-Ojeda M.N., Pérez-Guerrero J.N., Batista-Zaldívar M.A. On the explicit expressions for the determination of the friction factor in turbulent regime. *Rev. Mex. Ing. Química.* 2020;19:313–334. doi: 10.24275/rmiq/Fen497.
18. Chiu C.L. Velocity distribution in open channel flow. *J. Hydraul. Eng.* 1988;115:576–594. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1989)115:5(576).
19. Chiu C.L. Application of entropy concept in open-channel flow study. *J. Hydraul. Eng.* 1989;117:615–628. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1991)117:5(615).
20. Nikuradse J. *Laws of Flow in Rough Pipes.* Translation of *Stromungsgesetze in Rauhen Rohren.* Nikuradse, Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. NACA; Washington, DC, USA: 1933. NACA Technical Memorandum 1292.