

الموديل الرياضي لتأثير وجود الهواء في الماء عند حدوث الصدمة الهيدروليكية في أنابيب المياه

د. سامي قدسية*

د. أوفسيانكوف ف.ب.**

(قبل للنشر في 2001/6/30)

□□ الملخص □

في هذا العمل قدّم موديل رياضيّ لمعالجة تأثير وجود الهواء المنحل، وغير المنحل في الماء على متغيرات الصدمة الهيدروليكية في أنابيب الماء باستخدام معادلات تفاضلية جزئية من نموذج القطع الزائد ذي التوابع المتغيرة مع تحديد علاقة سرعة انتشار موجة الصدمة الهيدروليكية بوجود الهواء في الماء مأخوذة بعين الاعتبار عوامل الاحتكاك الهيدروليكية دون الأخذ بحالة انفصال استمرارية التيار، بسبب التكيف لعدم حدوثه في حالتنا هذه، بالإضافة إلى التطرق إلى الأسس التي وفقها تم حساب العمليات الديناميكية وفق شبكة مميزات، تحدد حالة تيار الماء، ووضع مخطط صندوقي لهذا الموديل.

* أستاذ - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين.

**أستاذ مساعد في قسم الأتمتة الميكانيكية كلية الأتمتة الميكانيكية والكهربائية جامعة دانيتسك الحكومية التقنية - أوكرانيا

A Mathematical Model about the effect of air presence in water on parameters of water hammer in water pipelines

Dr. Sami Koudsie*
Dr. Ofsianikov V.P**

(Accepted 30/6/2001)

□ ABSTRACT □

We propose (in the present work) a mathematical model to find out the effect of solved and unsolved air in water, on the water hammer parameters inside the water pipelines, using a partial differential equations of variables hyperbola function. This could be done by the determination of the water hammer wave speed distribution in the presence of air in water and the presence of hydraulic friction functions. This is out of considering the column separation fluency due to cavitation, in addition to the bases according to the dynamic operation calculation, and according to the characteristic net determined by the water current case and a flow chart of this model.

* Prof. Department of power Mech. Eng. – Tishreen University.

** Assistant Prof. Department of Mech. Control Outomatic - Danetsk Technical Un. Ukrania.

المقدمة:

تعتبر الطرق، والموديلات الرياضية الأساس في صياغة برامج حسابية من أجل إجراء مقارنة بين التحليل العددي والنتائج المخبرية، أو الميدانية، والحصول على الفائدة المرجوة من المقدم لآلية حدوث الصدمة الهيدروليكية في سائل ثنائي الطور (ماء+هواء) .

مودلة العملية غير المستقرة في تيارات مائية مضغوطة، أو غير مضغوطة، تؤثر على حد سواء على الصدمة الهيدروليكية في الجمل الهيدروليكية القدر روية ، وهذه تبدأ انطلاقاً من المعادلات التفاضلية الجزئية لحركة غير مستقرة لتيار الماء في الأنبوب، مع استخدام مميزات ثابتة معبر عنها من خلال الضاغط، مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير المرونة والاحتكاك على العملية الانتقالية عند حدوث الصدمة الهيدروليكية .

الأعمال الأولى التي تطرقت إلى دراسة حركة غير مستقرة لسائل داخل الأنبوب، تمت من قبل جوكوفسكي [1] في نهاية القرن التاسع عشر. في الوقت الحاضر تجري دراسات كثيرة حول تحليل ظاهرة الصدمة الهيدروليكية [2] التي تتطور باتجاهين:

1- تحقيق موديل أحادي موافق لاقتراح جوكوفسكي.

2- بناء موديلات أكثر دقة بشكل مبدئي لجريانات ثنائية، أو ثلاثية الأطوار [3].

يمكن لأكثر المسائل التقنية المطلقة، والمرتبطة بدراسة جريان السوائل غير المستقرة في الأنبوب، أن تدرس بدقة عالية جداً في إطار موديل أحادي القياس (البعد). في هذه الحالة الجريان غير المستقر داخل الأنبوب، يمكن وصفه بجملة معادلات القطع الزائد على شكل مشتقات جزئية لحركة، واستمرارية التيار كالتالي:

$$\frac{\partial R}{\partial x_i} + \frac{R}{S_{ix}} \times \frac{\partial Q_i}{\partial t} + (A_i \times Q_i \times Q_i / + K) \times R_i \times g = 0 \quad \ddot{u}_i$$

$$\frac{\partial R}{\partial t} + r_i \times C_i^2 \times S_i^{-1} \times \frac{\partial Q_i}{\partial x_i} = 0 \quad \ddot{y}_i$$

$$\ddot{b}_i$$

حيث $p = p(x, t) - p_i$ - الضغط الموزع على الجزء i من الأنبوب.

x_i - إحداثية المقطع i في الأنبوب.

L_i - الطول العام للجزء i من الأنبوب.

t - الزمن.

$S_i = \frac{pd_i^2}{4}$ - مساحة مقطع الأنبوب في الجزء i من الأنبوب.

d_i - قطر الأنبوب في الجزء i من الأنبوب

$Q_i = Q_i(x, t)$ - توزيع غزارة السائل في الجزء i من الأنبوب.

$A_i = \frac{l_i}{2 \times S_i^2 \times d_i \times g}$ - المقاومة النوعية للجزء i من الأنبوب.

r_i - كثافة السائل.

l_i - معامل المقاومة الهيدروليكية في الجزء i من الأنبوب.

g - تسارع الجاذبية الأرضية.

C_i - سرعة انتشار موجة الصدمة الهيدروليكية في الجزء i من الأنبوب.

K - زاوية ميل الجزء i من الأنبوب.

يمكن تحديد حالة التيار في كل جزء من الأنبوب بواسطة معادلتني الحركة والاستمرار، فإذا حسبت سرعة انتشار موجة الصدمة مع الضغط، والعلاقة بين قيمة المقاومة الهيدروليكية مع قيمة السرعة الوسطية للتيار في المقطع المدروس [5,4] فإنه في هذه الحالة، تقسم بارامترات الصدمة الهيدروليكية إلى مجموعتين:

1 - ثوابت غير متعلقة بحالة جريان السائل في الأنبوب.

2 - معامل الاحتكاك الهيدروليكي، وسرعة انتشار موجة الصدمة C_i التي قيمتها تتعلق بالانتشار اللحظي للضغط والغزارة في الأنبوب [5].

من المعروف أن سرعة انتشار موجة الصدمة الهيدروليكية في الأنبوب، تتحدد وفق خواص مادة جدار الأنبوب ومعامل مرونة السائل، الذي يتغير وفق تركيز الهواء غير المحلول في الماء، والذي بنتيجته يحدث انطلاق للغازات المنحلة من السائل على شكل فقاعات، أو عند إدخال الهواء على شكل تهوية، أو بشكل مضغوط في الأنبوب. في العمل [5] قدمت نتائج دراسة عملية انطلاق الغاز الموجود في السائل عند حركة غير مستقرة، والعلاقة الموقفة لحساب كمية هذا الغاز، لكن معظم الدارسين عند حل هذه المسألة، يعتبرون أن انخفاض الضغط إلى قيمة ضغط التبخر يساعد على انطلاق الغاز بالكامل من الماء.

يسمح هذا الحل بتبسيط الحسابات دون الإقلال من قيمة النتائج، وهذا ما ساعد fox [5] على افتراض بعض الاهمالات عند تحليل حركة السائل غير المستقر. كذلك Vishnevski [6] ذكر أن نذبذبات الضغط، تؤدي إلى تغير سرعة انتشار موجة الضغط بشكل قفزي، وهذا موافق لاستخدام نفس الفرضية، لذلك إذا أخذ بهذه الاهمالات، فإن قيمة الجزء الحجمي للغاز المنطلق من الماء، يمكن حسابه كالتالي:

$$e_e = \frac{\int_{P_i}^{P_{kp}} P_i^3 P_{kp} \text{ عند } e_1}{\int_{P_i}^{P_{kp}} P_i \dot{a} P_{kp} \text{ عند } e_2} \quad (2)$$

حيث: e_e - الجزء الحجمي للغاز المنطلق من السائل على شكل فقاعات حرة عند الضغط الجوي.

e_1 - الجزء الحجمي للغاز المنحل في الماء.

e_2 - الجزء الحجمي للغاز المتبقي بعد الانحلال في الماء.

P_{cr} - الضغط الحرج الذي يحدث عنده انطلاق للغاز (ضغط التبخر).

قيمة P_{cr} محددة في العمل [2] أما قيم e_1 و e_2 فمحددة في المخطط البياني المقدم في العمل [2]. لحساب جزء الغاز الموجود في السائل على شكل فقاعات حرة عند ضغط اختياري، نقترح أن يحدث التغير في حجم الغاز دون تغير في درجة الحرارة (أي حدوث تحول أيزوتيرمي). تركز هذه النظرية على المخطط البياني المذكور في العمل [5]، وبالتوافق مع قانون بويل - ماريوت يكون لدينا:

$$e_g = \frac{e_e}{p_i + p_a} \quad (3)$$

حيث P_a - الضغط الجوي.

عند إدخال الهواء بشكل مضغوط إلى أنبوب الماء بهدف الحماية من الصدمة الهيدروليكية، فإن الجزء الحجمي للغاز في السائل، يتكون من جزئين:

1 - الجزء الحجمي للغاز المنطلق من السائل.

2 - الجزء الحجمي للغاز المقدم بشكل مضغوط إلى الأنبوب. في هذه الحالة: $e_s(x_1, t) = e_g + e_d(x_1, t)$

$e_s(x_1, t)$ - الحجم الكلي للغاز في السائل

$e_d(x_1, t)$ - الجزء الحجمي للغاز المقدم بشكل مضغوط إلى الأنبوب.

من أجل تيار يحتوي على هواء غير منحل في الماء، كما هو مبين في الأعمال [10,3] فإن قيمة سرعة انتشار موجة الضغط في السائل C_i تحسب من المعادلة التالية:

$$C_i = \sqrt{\frac{w_e (1 - e) \frac{1}{E_e} + \frac{e_s}{P_i + P_a} + \frac{d_i}{d_i} \frac{\ddot{\theta}}{E_T}}{g}} \quad (4)$$

حيث E_e - مودول المرنة الحجمي للسائل، ويساوي $2.03067 \cdot 10^9$ pas

w_e - الوزن النوعي للماء، ويساوي 9810 N/m^3

d_i - سماكة جدار الأنبوب عند i من الأنبوب، يساوي 0.003 m

E_T - مودول المرنة الحجمي لمادة جدار الأنبوب، ويساوي $2.10915 \cdot 10^{11}$ pas

g - تسارع الجاذبية الأرضية يساوي 9.81 m/s^2

إذا قورنت سرعة انتشار موجة الصدمة المعطاة بالعلاقة (4) عند $P_i = P_a$ مع معطيات التجارب المقدمة في العمل [4]، فإن القيمة المحسوبة، ستكون أقل من القيمة الحقيقية.

تعطي العلاقة المقدمة في العمل [4] القيمة الدنيا الممكنة لسرعة انتشار موجة الصدمة في الأنبوب.

ينصح عند تحليل حركة سائل غير مستقر بالتأكد من تحقيق المعادلة التالية:

$$C_i \geq C_{\min}(P_i) \quad (5)$$

في حال عدم إنجاز هذه المعادلة، فإن التوافق مع طريقة الحساب المقدمة في العمل [4]، يمكن الوصول إلى تحقيق المساواة التالية: $C_i = C_{\min}(P_i)$ في هذه الحالة، يمكن تحديد سرعة انتشار موجة الصدمة عند ضغط اختياري للسائل في الأنبوب.

من أجل حساب عوامل الاحتكاك الهيدروليكية λ_i يوجد العديد من المعادلات المعممة، والمتواجدة في الأعمال [7,8,9]. تعتبر معادلة كالبروك، والتشول التالية أكثر المعادلات دقة:

$$\sqrt{\lambda_i} = 2 \lg \left[\frac{2.51}{\text{Re}_i \sqrt{\lambda_i}} + \frac{0.27 D_i}{d_i} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \right] = 0.11 \frac{68}{\text{Re}_i} + \frac{d_i}{D_i} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} \quad (6)$$

حيث D_i - معامل خشونة السطح الداخلي للجزء i من الأنبوب

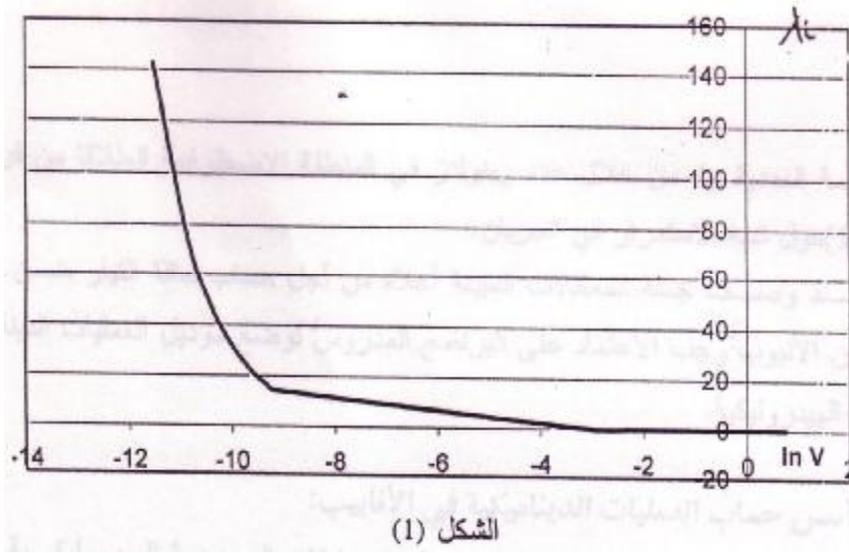
$$\text{Re}_i = \frac{V_{cp_i} > d_i}{n} - \text{عدد رينولدز.}$$

V_{cp_i} - السرعة الوسطية عند الجزء i من الأنبوب.

n - معامل اللزوجة الحركية للسائل.

وجدت هذه المعادلة، وغيرها من المعادلات عن طريق معاملة نتائج التجارب المحصول عليها عند دراسة التيار المستقر للسائل. لاستخدام هذه المعادلات في حالة جريان غير مستقر، اقترح في العمل [6] فرضية، يتعلق فيها جهد احتكاك السائل بجدار الأنبوبة عند جريان غير مستقر بالسرعة الوسطية اللحظية للتيار، وهذه الفرضية مستخدمة كذلك من أجل تيار مستقر [6]. في العمل [10] أعطيت مجموعة كبيرة من نتائج الدراسات على المقاومات الهيدروليكية عند جريان مستقر.

بالتعويض في العلاقة (6) بالقيم المختلفة، يمكن أن نحصل على منحنى المقاومات الهيدروليكية في الأنبوب، كما هو مبين في (الشكل 5-).



في حالة سائل مستمر عند حدوث عملية انتقالية، يمكن الأخذ بقيمة عدد رينولدز المساوي للصفر، أي أنه عند وضع الموديل، وجب دراسة السائل في الحالات الثلاث: الصفحية، والانتقالية، والاضطرابية. يمكن الاستفادة من نتائج العمل [11]، لأنها تعتمد على استخدام الحاسوب لحساب الصدمة الهيدروليكية في الأنابيب وتوافقاً مع الطريقة المعروضة في هذا العمل فان:

$$I_i = \frac{I_{ix} \times R_{ei} \bar{n} R_{en}}{I_{Lpi} \times R_{en} \times R_{ei} \times R_{en}} \quad (7)$$

حيث I_{Li} - معامل الاحتكاك في منطقة الجريان الصفحي.

R_{en} - القيمة العظمى لعدد رينولدز عند احتفاظ التيار بالجريان الصفاحي. $R_{en} = (1000)^{0.0045 \times D_i \times Di}$

I_{Lpi} - معامل الاحتكاك الهيدروليكي في المنطقة الانتقالية، ويساوي:

$$I_{Lpi} = I_{Li} (1 + g_{pi}) + I_{Lii} \times g_{pi} \quad (8)$$

حيث g_{pi} - معامل تداخل التيار في المنطقة الانتقالية

I_i - معامل الاحتكاك في منطقة الجريان الاضطرابي.

عدد رينولدز R_{en} الذي يحدث عنده الانتقال إلى الجريان الاضطرابي يساوي $R_{en} = 1600 \left(\frac{v_i}{D_i} \right)^{0.16}$

حساب المعامل I_i وبالتوافق مع [3] يساعد على تأمين استمرارية التابع $I_i = f_1(R_e)$. تغير عدد رينولدز في كافة المناطق، يلاحظ في جميع التجارب وفق الحساب في الأعمال [8,7] باستعمال العلاقات المحصول عليها، يمكن الأخذ بعلاقة I_i .

تحسب القيمة العددية I_i من خلال عدد رينولدز في المنطقة الاضطرابية انطلاقاً من فرضية تشارني [11] حول شبه الاستمرار في الجريان.

عند وصف جملة المعادلات المبينة أعلاه من أجل حساب حالة التيار ضمن حدود جزء ما من الأنبوب، وجب الاعتماد على البرنامج المدروس، لوضع موديل العمليات الديناميكية في الجمل الهيدروليكية.

أسس حساب العمليات الديناميكية في الأنابيب:

توجد طرق عديدة معروفة لحل معادلات الصدمة الهيدروليكية في الأعمال [4,12] وتحتوي على معلومات عامة وكثيرة عن هذه الطرق.

لحساب البارامترات الهيدروديناميكية لجريان سائل غير مستقر في الأنابيب، تستعمل أحيانا طرق تحليلية [11]، وذلك من أجل معادلات خطية. الطريقة الأساسية لتحليل العملية غير المستقرة في الأنابيب، هي الأخذ بالنماذج المختلفة لمخططات التوزيع، وحلها على الحاسوب. أعطت الأعمال [5,12] نتائج أساسية، وعامة لدراسة الطرق العددية من أجل حل مسائل هيدروليكية أحادية النمط.

تعتمد أسس هذه الطرق على تحليل الحركة غير المستقرة للسائل المتحرك في الأنابيب، والمرتبطة باستخدام طرق فيزيائية - رياضية مبنية على تطور الحل بشكل سلسلة ثنائية وفق المحور الشاقولي، والزمني (طريقة فورييه)، أو استعمال طريقة العناصر النهائية [9] مع تقديم الحل المتتالي للنتائج المحصول عليها نتيجة التحويلات الجبرية للجمل الخطية على الحاسوب.

تنشأ في العمليات الانتقالية داخل الأنبوب موجات صدمية، تدعى بالجريانات المتقطعة. تحدث عند شروط محددة تحولات في الجريان من الاستمرارية إلى المتقطعة. يمكن تفسير هذه العمليات الانتقالية بالتالي: نرى من العلاقة (4) أن سرعة انتشار موجة الصدمة، تتعلق بضغط السائل، أي أن $C_i = f_i(R_i)$ ، لذلك أية موجة عنصرية متحركة من مجال الضغوط العالية، تحتوي على سرعات كبيرة، تساعد على اللحاق بالموجة المنتشرة إلى منطقة الضغط الأصغر، وهذا يؤدي بالتالي إلى تحريك الموجة على طول الأنبوب وفق جبهة على شكل منحنى، إلا أن انتشار الضغط $p_i(x_i, t)$ في الأنبوب لا يمكن وصفه بتابع أحادي القيمة، وهذا يعني انه عند دراسة الصدمة الهيدروليكية يجب الأخذ بإمكانية انقطاع استمرارية التيار عند حل جملة المعادلات (1)، واختيار طرق الحل، التي تسمح بالتحديد الصحيح لوضع جهات موجات الصدمة.

تبين الأعمال [11,10] أنه لحل معادلات الصدمة الهيدروليكية، يجب استعمال طريقة المميزات، التي تعتمد على طريقة تعدد الشبكات. أيضا من المعروف في الأعمال [4,5]، أنه لتحليل جريانات متقطعة من السليم دراسة معادلة الصدمة الهيدروليكية بطريقة شبكة المميزات، التي يمكن الأخذ بها كأساس لطريقة تكامل جملة المعادلات في [4,1] عند استعمال برنامج لتحليل العمليات الديناميكية.

الشكل الأول: يتضمن شروط حدية عند بداية الأنبوب، وهذه تتحدد وفق شكل ضاغط مميزات المضخة، التي توصف بالمعادلة غير الخطية [13,12] بشكل عام:

$$Q_i(0, t) = Q_n(t) \quad (9)$$

$$R_i(0, t) = R_n(t) \quad \text{وبشكل مطابق}$$

حيث $R_i(0, t) -$ الضغط المتشكل بواسطة المضخة.

$$Q_n(t) - \text{غزارة المضخة.}$$

الشكل الثاني: يتحدد بشروط حدية في النقاط التي تحدث فيها تغيرات بالنسبة لأي بارامتر تصميمي من الأنبوب وبالتالي العلاقات التالية محققة من أجل:

$$R_i(L_i, t) = R_{i+1}(0, t) \quad (10)$$

$$Q_i(L_i, t) = Q_{i+1}(0, t)$$

الشكل الثالث: عبارة عن شروط حدية، تتشكل في تلك النقاط من الأنبوب، حيث تتواجد المقامات المكانية، في هذه الحالة الشروط الحدية، تتحدد وفق المعادلات التالية:

$$R_i(L_i, t) = R_{i+1}(0, t) + r \times g \times a_i \times Q_i(L_i, t) \times Q_{i+1}(0, t) \times Q_i(L_i, t) = Q_{i+1}(0, t) \quad (11)$$

حيث $Q_i -$ المقاومة المتركزة في أجزاء الأنبوب.

يرتبط الضغط، والغزارة في نهاية الأنبوب بالعلاقة التالية:

$$R_N(L_N, t) = r \times g \times a_{N \times} \times Q_N(L_N, t) \times Q_N(L_N, t) \quad (12)$$

حيث a_N - المقاومة المكافئة لاستهلاك الطاقة الهيدروليكية عند نهاية الأنبوب.

N - رقم الجزء الأخير من الأنبوب.

تعتبر المعادلة (12) صحيحة في تلك الحالة عندما $Q_N(L_N, t) \neq 0$ وبالتالي الضغط عند نهاية الأنبوب، يؤخذ مساويا

للصفر أي أن: $R_N(L_N, t) = 0$ عندما $Q_N(L_N, t) = 0$

يتم التحقق من شروط الحفاظ على استمرارية التيار عند الحساب في النقاط المسماة " نقاط المراقبة ": $R_i(L_i, t) \neq 0$ و

$$R_{i+1}(0, t) \neq 0$$

فإذا لم ينجز هذا التحقق، أو التحديد فان الضغط عند نهاية الجزء i ، وبداية الجزء $i+1$ يؤخذ مساويا لضغط إشباع

البخار (ضغط التبخر) عند درجة حرارة السائل T_e حيث:

$$R_i(L_i, t) = R_{i+1}(0, t) = R_v \quad (13)$$

حيث R_v - ضغط تبخر الماء (ضغط الأبخرة المشبعة للماء).

تعتبر المعادلة (12) شرطا حديا بشكل موافق لنهاية الجزء i وبداية الجزء $i+1$ وذلك حتى تحقق:

$$V_i = \int_{t_n}^{t_k} Q_i(L_i, t) \times Q_0(0, t) dt \quad (14)$$

حيث V_i - حجم حجيرة، أو فقاعة الغاز.

t_n - زمن عدم إنجاز المعادلة (14).

t_k - زمن اختفاء حجيرة الغاز من الماء

بحسب هذا الزمن من الشرط $V_i = 0$.

تعتبر نقاط المراقبة نقاطا من الأنبوب، وتؤخذ بالاعتبار عند تحديد بارامترات الجملة الهيدروليكية كنقاط حدية [4]

تحدد الشروط الأولية في الأنبوب بشكل مشابه:

$$R_i(x_i, 0) = f_{R0i}(x_i) \quad (15)$$

$$Q_i(x_i, 0) = f_{Q0i}(x_i)$$

حيث $f_{P0i}(x_i)$ - تابع يعبر عن الانتشار الأولى للضغط في الأنبوب.

$f_{Q0i}(x_i)$ - تابع يعبر عن الانتشار الأولى للغزارة في الأنبوب.

عند دراسة العمليات الانتقالية في الجمل الهيدروليكية (كقاعدة)، يمكن اعتبار العمليات الانتقالية مبتدئه من نظام عمل

مستقر لجريان السائل. في هذه الحالة تكون: $f_{Q_0} = Q_0$.

يمكن تحديد قيمة Q_0 من المعادلة التالية:

$$R_h(Q_0, 0) = r \times g \times \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{e_i} \times L_i + \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{\phi} \times Q_0^2 + \sum_{i=1}^N L_i \times R_i \times \frac{\dot{y}}{b} \quad (16)$$

يتحدد التوزيع البدائي للضغط في الأنبوب بالعلاقة التالية:

$$(17) f_{R_0}(x_i) = R_h(0, 0) - r \times g \times \sum_{j=1}^{i-1} \frac{a_j}{e_j} \times L_j + \sum_{j=1}^{i-1} \frac{a_j}{\phi} \times Q_0^2 + \sum_{j=1}^{i-1} L_j \times R_j + A_i \times X_i \times Q_0^2 + R_i \times X_i \times \frac{\dot{y}}{b}$$

حيث i - رقم جزء الأنبوب.

يمكن إنجاز عدم المساواة التالية عند أية قيمة X_i .

$$\dot{\mathbf{a}}_i^{i+1} L_i \times X_i \times L_i + \dot{\mathbf{a}}_i^{i+1} L_i \quad (18)$$

حيث $J = 1,2,3,4 \dots N$

إذا اعتبر التوزيع الأولي للضغط، والغزارة في الأنبوب أنه نتيجة للتأثير على التيار، أو أية عوامل أخرى في اللحظة الزمنية السابقة $t = 0$ فإن تحديد قيمهم، يتم من خلال حل جملة المعادلات (1).

تحدد هذه الطريقة الشروط الأولية، التي تسمح بتحليل العمليات الحاصلة في الأنبوب عند تغير بعض بارامترات الجملة الهيدروليكية في لحظات زمنية مختلفة. عند حصول حوادث مثل تشغيل، أو توقف المضخات المتحكم بها، أو تحريك الحواجز، أو إدخال الهواء إلى مختلف أجزاء الأنبوب وهكذا.

يمكن اعتبار هذه الوضعية عند حل شبيه بهذا، أو عند حصول حوادث متتالية في اللحظة التي لم تستقر فيها حالة التيار. مثل هذه الحالات تحدث بشكل كاف، وغالبا ما تصادف عند الاستثمار العملي للجمال الهيدروليكية مثل التوقف الاوتوماتيكي للمحرك الكهربائي المزود بمضخة عند الإقلاع أو أثناء العمل.

معادلات الصدمة الهيدروليكية وفق شبكة المميزات:

عند مكاملة جملة المعادلات (1)، وجب الأخذ بعين الاعتبار كلا من العلاقة I_i من عدد رينولدز، وسرعة انتشار موجة الصدمة من ضغط السائل. الطابع غير الخطي للشروط الحدية النهائية للجزء التصميمي للأنبوب، يمكن التوصل إليه بالطرق العددية فقط.

تعتبر طريقة المميزات، كما أشير أعلاه طريقة عامة لحل المعادلات غير الخطية للصدمة الهيدروليكية [5] فمن أجل استعمال هذه الطريقة على شكل معادلات تفاضلية جزئية، يمكن الانتقال من جملة المعادلات في [5] إلى المعادلات المميزة في [13]، وإيجاد العلاقة بين بارامترات التيار على الخطوط المميزة.

تعطي الطريقة الخلية، وطريقة المضروب غير المحددة [5,11] علاقات تربط إحدائيات نقاط الأنبوب باللحظات الزمنية إلا أن تغير بارامترات التيار في هذه النقاط، وفي هذه اللحظات الزمنية، تتميز بمعادلات تفاضلية عادية.

نحصل على اتجاه المعادلات المميزة بعدم القيام بالعمليات التحويلية المطلوبة كالتالي:

$$\pm \frac{dx_i}{dt} = C_i^\pm + \frac{Q_i}{S_i} \quad (19)$$

وكذلك نحصل على المعادلات المترابطة بين تزايد الضغط، والغزارة على المميزات:

$$\pm \frac{dp_i}{dt} + m_i \frac{dQ_i}{dt} + C_i (A_i \overline{Q_x} \times Q / + R_i) \quad (20)$$

نحدد المعادلة (20) لمجموعتين من الخطوط المميزة في جملة الإحدائيات x, t . الخطوط C_i^+ والمعكوسة C_i^- .

حيث $\bar{p}(x,t) = \bar{P}_i -$ انتشار الضغط وفق المميزات.

$\bar{Q}(x,t) = \bar{Q}_i -$ انتشار الغزارة على المميزات، بالإضافة إلى أن:

$$\bar{t}_i \hat{C}_i^+, C_i^- \text{ و } \bar{X}_i \hat{C}_i^+, C_i^-$$

جملة المعادلات (20) المشتركة مع (19) محققة فقط وفق المميزات. من أجل حل جملة المعادلات (1) وجب البحث عن شبكة، تنشأ في جملة الإحدائيات (x,t) ، وذلك بواسطة الخطوط C_i^+, C_i^- .

يمكن ظهور موجات صدمية عند حدوث عمليات انتقالية في الأنبوب، لذلك عند بناء شبكة المميزات، وجب تأمين ثبات

القوانين المطابقة للحساب [5] لتحقيق هذا وجب إنجاز شروط Coranta-Fredriges .

$$Dx \times Dt^3 C_{\max} + V_{\max} \quad (21)$$

حيث Dx - خطوة شبكة المميزات وفق إحدائيات فراغية.

Dt - خطوة زمنية في شبكة المميزات وفق إحدائيات زمنية.

V_{\max} - السرعة الأعظمية الممكنة لجريان السائل في الأنبوب.

C_{\max} - السرعة الأعظمية الممكنة لموجة الصدمة في الأنبوب وتساوي:

$$C_{\max} = V_{\max} \sqrt{r \times \frac{\partial \rho}{\partial E_e} + \frac{d_i}{d_i} \frac{\partial \rho}{\partial E_T}}^{-1} \quad (22)$$

عند حل معادلة الصدمة الهيدروليكية من الشكل (19) و(20) بواسطة شبكة المميزات، فإن التفاضلات تستبدل بتزايدات نهائية عندها، وحسب طريقة التكامل $\int_{Q_i}^{Q_i + \Delta Q} A_i \times Q_i \times \frac{\partial Q_i}{\partial t} \times dt$ والحاسب لقيم ضياعات الضغط على الاحتكاك. تقسم مخططات التوزيع من أجل المعادلة (19) إلى مخططات دقة من الدرجة الأولى، والثانية والثالثة [13] كما بينت الدراسات في العمل [2] انه عند إيجاد موديل العمليات الانتقالية، وجب القيام بالحساب التالي:

$$\int_{Q_i}^{Q_i + \Delta Q} A_i \times Q_i \times dt \gg A_i \times Q_{cp} \times \Delta Q \quad (23)$$

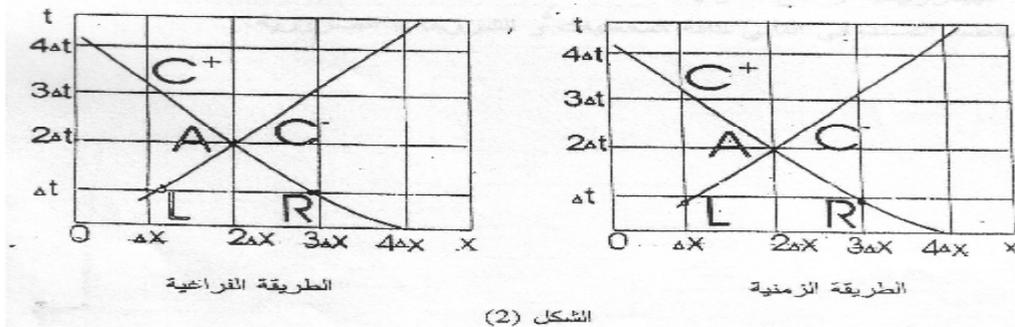
حيث Q_{cp} تحسب كالتالي:

$$Q_{cp} = \frac{Q(x, t) + Q(x + \Delta x, t - \Delta t)}{2} \quad (24)$$

لحساب قيمة Q_{cp} بالعلاقة المعطية سابقا، تنظم عملية تقريبية كما في [12].

بما أن سرعة انتشار موجة الصدمة الهيدروليكية، تحسب وفق (4) فإن الخطوط المميزة C_1^+, C_1^- لا تعتبر خطوطا مستقيمة في جملة الإحداثيات (x, t) ، وهذا ملحوظ لأول مرة في البحث العلمي الوارد في العمل [6] لأنه عند حساب الصدمة الهيدروليكية، وجب القيام بعملية مرحلية لمعرفة قيم بارامترات التيار في عقد شبكة المميزات، لذلك عند مودولة العمليات الانتقالية بطريقة المميزات، تتحدد حالة التيار في النقاط الموزعة بانتظام على طول الأعظمين في اللحظات الزمنية المعروفة، فإذا درست العمليات من خلال سرعة انتشار موجة الضغط المتغيرة، فإنه عند إنجاز الشرط الأساسي $\Delta x = c \times \Delta t$ فإن شبكة المميزات، لن تكون على شكل زاوية قائمة.

توجد طريقتان مرحليتان مختلفتان عند استعمال طريقة المميزات - الطرق الزمنية، والفراغية [5]. من أجل الحصول على قوانين ثابتة، وفعاله عند الحساب، وجب استخدام، أما الطريقة الفراغية عند $\Delta x_i = C \times \Delta t$ أو الطريقة الزمنية المرحلية $\Delta t = C_{ix} \times \Delta x$ (الشكل - 5).



الشكل (2)

تعتبر الطريقة الفراغية المرحلية الأفضل، والأكثر استعمالا. لأنها تعطي فكرة جيدة عن الحالة الجديدة لتيار السائل وفق كامل طول الأنبوب في هذه وتلك اللحظة الزمنية، لذلك استعملت هذه الطريقة في البرنامج المصمم والمرفق.

من أجل تصميم جملة هيدروليكية، وجب استعمال طريقة المميزات لوضع موديل للعمليات الانتقالية، وتأمين عملية أوتوماتيكية.

تسمح الوسائل الحديثة المستعملة لبناء برامج، وتصميم أماكن عملية من أجل جمل هيدروليكية، يتم فيها تحليل العمليات الديناميكية في الأنابيب، وهذا يعتبر جزءاً من العملية الملزمة لبناء جمل هيدروليكية كاملة.

تتخصر المتطلبات الضرورية، والأساسية لهذه البرامج في ضرورة اختيار مخططات لجمل هيدروليكية منجزة، ومن أجل نتائج المودلة لتأمين عملية مرحلية للوصول إلى العناصر المنفصلة من المخططات الهيدروليكية .

يعتبر التحكم عن بعد من الوسائل المرغوب بها للوصول إلى نتائج العمل التي تسمح بعرض هذه النتائج عند استعمال

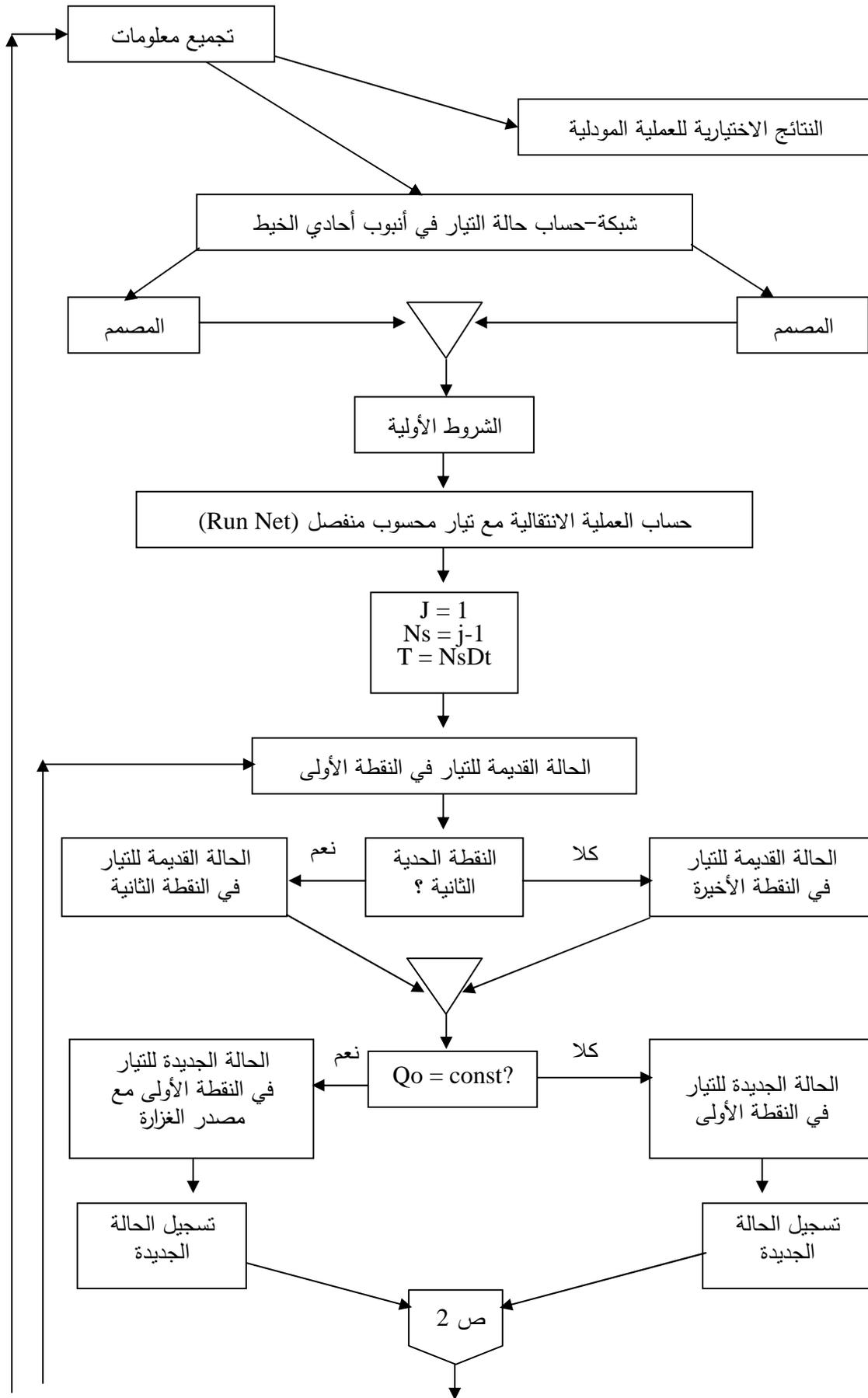
تكنولوجيا الانترنت من أجل دراسة متطلبات كثيرة، مع فرز النتائج كما في العمل [6] عدا ذلك يؤمن هذا الموديل حل

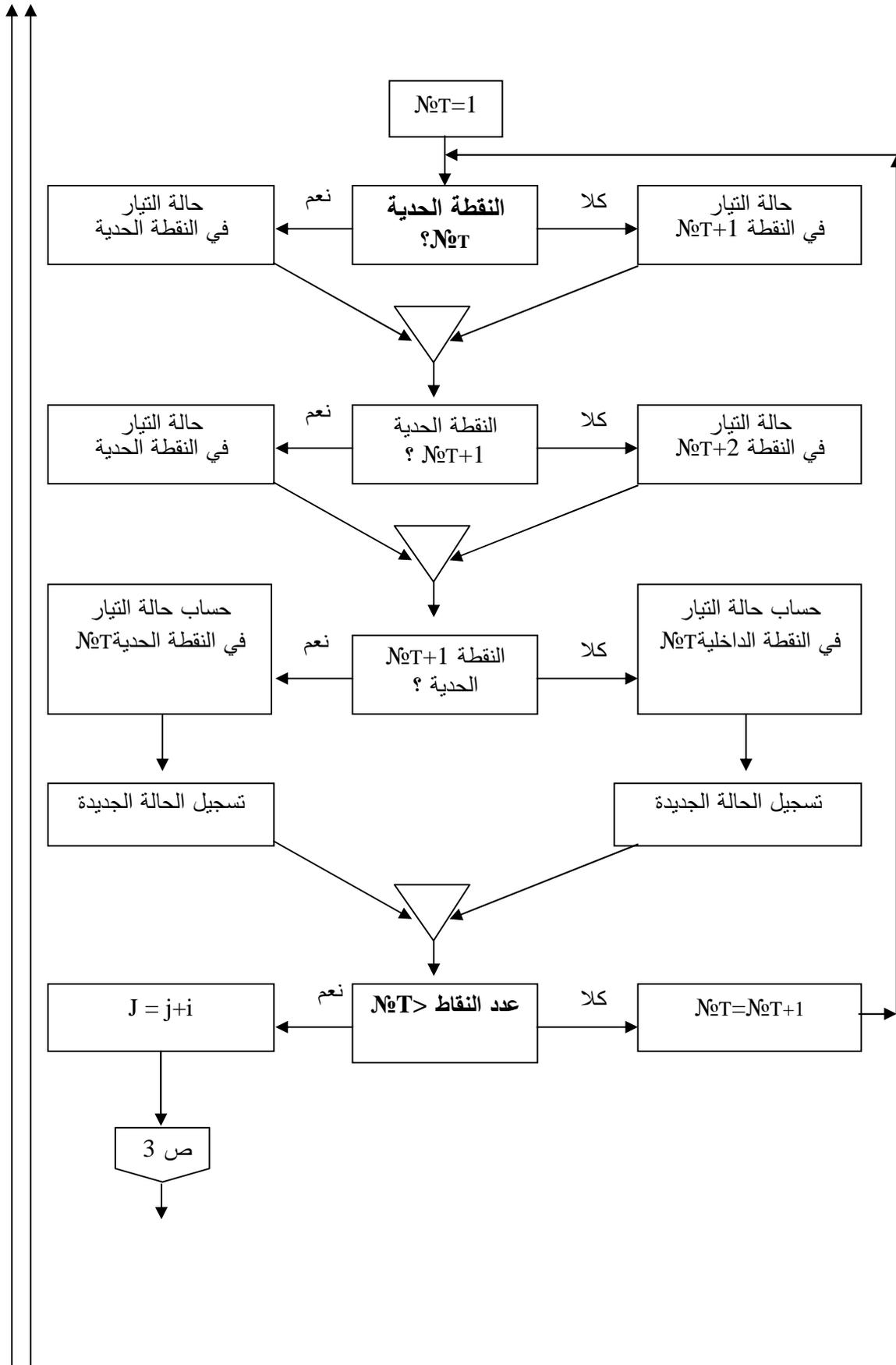
الموضوع بشكل تقريبي، وقياسي صرف لإنشاء البرنامج الذي يعطي إمكانية بناء ملحقات منتشرة ، لكن لم يقصد بهذا إنهاء

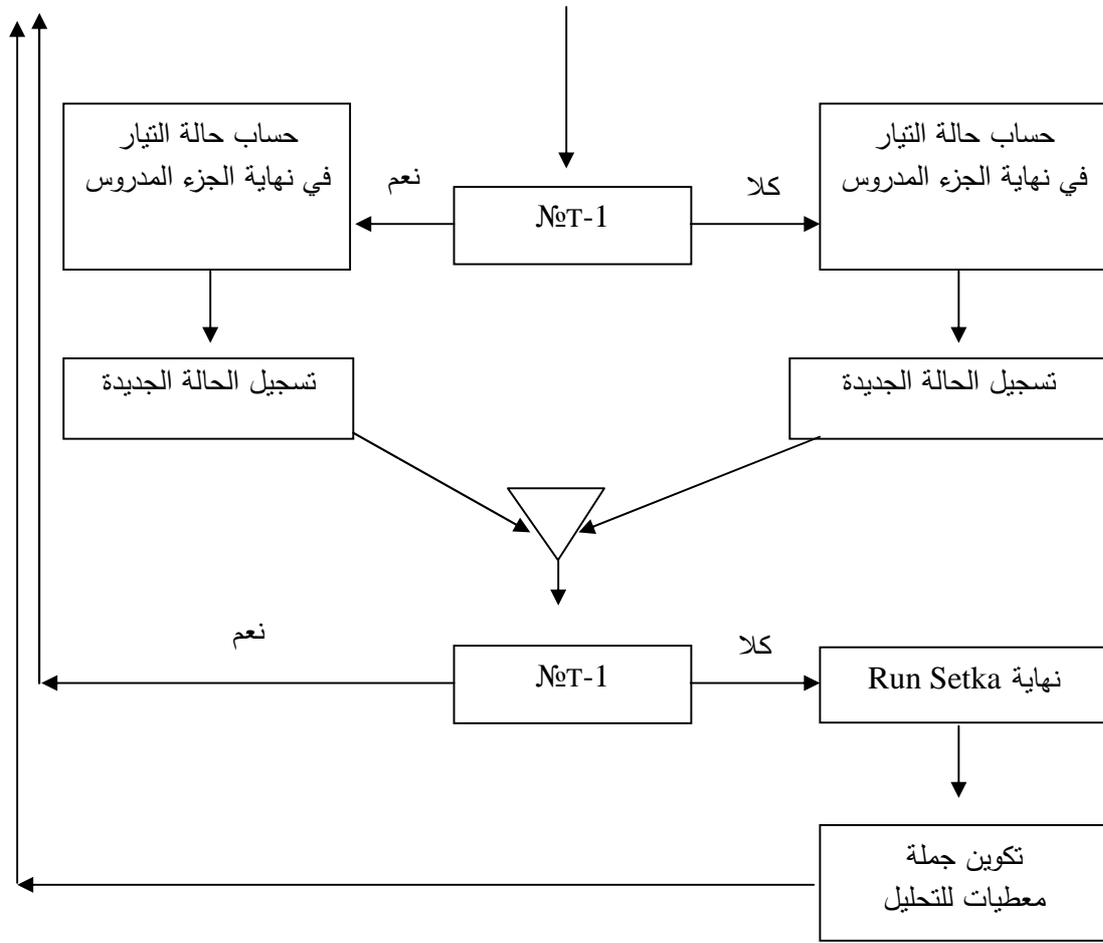
التصميم بل اقتراح من وجهة نظرنا، يعمل على تقديم موديل أساسي لتصميم جملة بنيوماتيكية آخذه بالاعتبار إمكانية

استعمال الهواء من أجل حماية الجملة الهيدروليكية من الصدمة الهيدروليكية، ومنع حدوثها.

يبين المخطط الصندوقي التالي كافة المعطيات، والشروحات الضرورية.







النتائج:

- 1-الموديل الرياضي ساعد في وضع برنامج حسابي للمقارنة مع النتائج المخبرية .
- 2-بمساعدة الموديل الرياضي يمكن الحصول على منحنى تغير سرعة انتشار موجة الصدمة عند نسب مختلفة لوجود الهواء في الماء .
- 3-بمساعدة الموديل الرياضي، تم الحصول على منحنى الاحتكاك الهيدروليكي لخليط مضغوط (ماء+هواء) يتحرك في الأنبوب .
- 4-تم وضع مخطط صندوقي للموديل المبين أعلاه من أجل نقاط موزعة بانتظام على طول الأنبوب في اللحظات الزمنية المعروفة .

المراجع:

-
- [1]- جوكوفسكي ن.ي.(عن الصدمة الهيدروليكية في أنابيب نقل المياه) - اصدار القياسات الحكومية -1949.
 - [2]- غودسون ف (الطرق العامة لمودلة العمليات الانتقالية في الخطوط الهيدروليكية) -أعمال مجموعة المهندسين الامريكيين -1972-رقم 2.
 - [3]- الموديل الرياضي ساعد في وضع برنامج حسابي للمقارنة مع النتائج المخبرية.
 - [4]- آليشيف ف.م.وغيره.(عن سرعة انتشار موجة الصدمة الهيدروليكية في خليط) م.ج.م.ي.1985.
 - [5]- فوكس د.أ.(التحليل الهيدروليكي للتيارات غير المستقرة في الأنابيب)-موسكو -دار الطاقة -1981.
 - [6]- فيشنيفسكي ك.يا.(حساب العملية غير المستقرة لحركة الماء المضغوط في الأنبوب باعتبار الهواء غير المنحل في الماء) -دراسة المنشآت الهيدروليكية -موسكو -1982.
 - [7]- آلتشول أ.د.(المقاومات الهيدروليكية) - موسكو - نيدرا -1982.
 - [8]- روزنبرغ اي. غ.(العلاقة بين إجهادات الاحتكاك عند جريان اضطرابي غير مستقر) -أعمال معهد موسكو للكيمياء التقنية، والصناعة الغازية -1986.
 - [9]- كونور د.وغيره.(طريقة الدفع النهائية في ميكانيك السوائل)-موسكو-دار بناء السفن -1979.
 - [10]- لاماييف ب.ف.وغيره.(العمليات المستقرة والانتقالية في الجمل الهيدروليكية المعقدة) -لينينغراد -الهيدروليك والصرف-1981-الجزء 25-رقم 10.
 - [11]- تشارني اي.أ.(الحركة غير المستقرة للسوائل الطبيعية في الأنابيب)-موسكو-نيدرا -1975.
 - [12]- ستريتر ف.(الطرق العددية في حساب الجريانات غير المستقرة)-أعمال مجموعة المهندسين الميكانيكيين الامريكيين -1975.
 - [13]- بورانزكي ي.وغيره.(استخدام طريقة المميزات لحساب الصدمة الهيدروليكية باعتبار الضياعات الهيدروليكية) - 1981-الجزء 25-رقم 10.