



جامعة الموصل
كلية الهندسة

النمذجة العددية والمحاكاة لظاهرة المطرقة المائية في الانابيب

زكريا زينل محسن قنبر

رسالة ماجستير

علوم في هندسة السدود والموارد المائية / السدود والموارد المائية

بإشراف

م.د. سهد سالم الياس

م.د. زياد أيوب سليمان

المخلص

تعتبر ظاهرة المطرقة المائية من أحد أخطر المشاكل الهيدروليكية التي تواجه خطوط أنابيب نقل المياه، بسبب تغير المفاجئ في سرعة الجريان كإغلاق المفاجئ للصمام، مما ينتج في ضوئها تحول الطاقة الحركية إلى طاقة ضغط التي تنتشر عبر المنظومة على شكل موجات ضغط وبسرعات عالية جداً إلى أن تتلاشى بسبب فقدان الطاقة. ظهرت الطرق العددية كأداة قوية لمحاكاة ظاهرة المطرقة المائية لكون من الصعب إن لم يكن من المستحيل حل المعادلات الحاكمة للظاهرة تحليلياً بشكل كامل، إضافة إلى ذلك فإن التطور الكبير في تكنولوجيا الحاسوب وفر البيئة المناسبة لاستخدام هذه الطرق بفعالية أكبر. تقدم هذه الدراسة منهجية شاملة للنمذجة العددية للمطرقة المائية في أنظمة خطوط الأنابيب الناتجة عن إغلاق الصمام ضمن نظام هيدروليكي متكون من (خزان-أنبوب-صمام) باستخدام طريقة الخصائص مع نماذج الاحتكاك المستقر وغير مستقر. تركزت الدراسة على نماذج الاحتكاك غير المستقرة القائمة على التعجيل الآني (IAB) Instantaneous Acceleration-Based بنوعيه (1-k IAB و 2-k IAB) والذي يتم استخدامه لوصف سلوك الجريان الانتقالي في أنظمة خطوط الأنابيب أثناء حدوث المطرقة المائية. تتضمن المنهجية تطوير نماذج رياضية بالاعتماد على المعادلات الحاكمة الخاصة بديناميكية السوائل، المحاكاة العددية باستخدام النماذج المقترحة، تطوير نموذج محسّن مشتق من نموذج 2-k IAB، والتحقق من صحة نتائج النماذج بالاعتماد على اثنا عشر من البيانات التجريبية من أربعة مصادر مختبرية مختلفة. تقارن الدراسة أداء نماذج الاحتكاك المستقرة وغير المستقرة وتكشف عن محدودية وقوة كل منها في محاكاة موجات الضغط الناتجة عن المطرقة المائية. كما تناقش الدراسة المعايير الأساسية لاختيار قيم معامل التعجيل الزماني k_{ut} عند استخدام سرعة الموجة التي تم الحصول عليها من المعادلة أو عند استخدام متوسط سرعة الموجة للبيانات التجريبية. أظهرت النتائج العددية أن النموذج الأفضل والأكثر توافقاً مع البيانات التجريبية هو النموذج المطور في هذه الرسالة Improved 2-k IAB ثم يليه نموذجي 2-k IAB و 1-k IAB. وأخيراً النموذج الأقل دقة نموذج الاحتكاك المستقر. تم التحقق من صحة ذلك في ضوء استخدام الطريقة الإحصائية (Normalized Root Mean Squared Error (NRMSE)، حيث أظهرت النتائج أن متوسط قيم NRMSE لنموذج Improved 2-k IAB هو (0.091) بينما لنماذج 2-k IAB و 1-k IAB والمستقر هو (0.1095 و 0.1413 و 0.2049) على التوالي.

يمكن أن تكون المنهجية المقدمة في هذه الورقة أداة قيمة لتحليل وتصميم أنظمة الأنابيب التي تخضع لظاهرة المطرقة المائية. إنها توفر رؤى حول خصائص الجريان الانتقالي الناتج عن إغلاق الصمام وتساعد في تحديد التدابير المناسبة للتخفيف لمنع نظام الأنابيب من التلف. علاوة على ذلك، تم إنشاء برنامج حاسوبي متكامل لمحاكاة ظاهرة المطرقة المائية عن طريق استخدام نماذج الاحتكاك المستخدمة في هذه الدراسة وطرحه مجاناً ضمن مخرجات هذه الدراسة لتجنيب الباحث تعقيدات لغات البرمجة عند المحاكاة.

University of Mosul
College of Engineering



Numerical Modeling and Simulation of Water Hammer Phenomenon in Pipelines

Zakariya Zainel Mohsin

M.Sc. Thesis in
Dams & Water Resource Engineering / Dams and Water Resources

Supervised by:

Lecturer

Dr. Zeyad Ayoob Sulaiman

Lecturer

Dr. Sahad Salim Elyass

Abstract

The water hammer phenomenon is considered one of the most dangerous hydraulic problems encountered in water pipeline systems. This occurs due to sudden changes in flow velocity, such as the abrupt closing of a valve, resulting in the conversion of kinetic energy into pressure energy, which propagates through the system in the form of pressure waves at extremely high speeds until it dissipates due to energy loss. Numerical methods have emerged as a powerful tool for simulating the water hammer phenomenon since it is difficult, if not impossible, to solve the governing equations of the phenomenon analytically. Additionally, the significant advancement in computer technology has provided an ideal environment for using these methods more effectively. This study introduces a comprehensive methodology for numerical modeling of water hammer in pipeline systems, resulting from valve closure within a hydraulic system consisting of a reservoir, pipe, and valve, using the method of characteristics (MOC) along with steady and unsteady friction models. The focus of this research is on Instantaneous Acceleration-Based (IAB) unsteady friction models, specifically the 1-k IAB and 2-k IAB types, which are used to describe the behavior of transient flow in pipeline systems during water hammer events. The methodology includes the development of mathematical models based on governing fluid dynamics equations, numerical modeling using the proposed models, the development of an improved model derived from the 2-k IAB model, and model validation against 12 experimental datasets from four different laboratory sources. The study compares the performance of steady and unsteady friction models, revealing the limitations and strengths of each in simulating

pressure waves resulting from water hammer events. Additionally, the study discusses the fundamental criteria for choosing k_{ut} values when using the wave speed obtained from the equation or when using the average wave speed from the experimental data. The numerical results show that the best and most compatible model with the experimental data is the improved 2-k IAB model developed in this thesis, followed by the 2-k IAB and 1-k IAB models, and finally, the least accurate model is the steady friction model. This was validated using the Normalized Root Mean Squared Error (NRMSE) statistical method, where the results showed that the average NRMSE values for the Improved 2-k IAB model is (0.091), while for the 2-k IAB, 1-k IAB, and Steady models, it is (0.1095, 0.1413, and 0.2049) respectively. The methodology presented in this study can serve as a valuable tool for analyzing and designing pipeline systems subject to water hammer phenomena. It provides insights into transient flow characteristics induced by valve closure and assists in identifying appropriate mitigation measures to prevent pipeline system damage. Furthermore, an integrated computer program was developed to simulate the water hammer phenomenon using the friction models used in this study, and it is offered for free as part of the outputs of this study, sparing researchers the complexities of programming languages during simulation.