

ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH DỰ BÁO HỆ THỐNG PHÂN PHỐI NƯỚC BỊ Ô NHIỄM

PHẠM THỊ MINH LÀNH

Trường Đại học Kiến Trúc Thành phố Hồ Chí Minh

NGUYỄN QUANG TRƯỜNG

Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Hệ thống phân phối nước (HTPPN) không phải là một hệ thống kín (những vị trí vỡ, đứt gãy, bể chứa, đài nước, trạm bơm...) nên chất ô nhiễm có khả năng xâm nhập vào hệ thống qua các vị trí này. Tổng hợp các nghiên cứu cho thấy khi ba yếu tố ống vỡ, áp suất thấp hoặc âm và nguồn ô nhiễm xảy ra vào cùng một thời điểm thì nguy cơ chất ô nhiễm xâm nhập vào đường ống là hoàn toàn có thể xảy ra. Trên cơ sở lý thuyết logic mờ nghiên cứu phát triển mô hình dự báo nguy cơ HTPPN bị ô nhiễm với các hàm thuộc dạng Gaussian, S - Sigmoidal và Z - Sigmoidal. Mô hình được thiết lập trong phần mềm MATLAB với công cụ thiết kế logic mờ FLD - Fuzzy Logic Design và SIMULINK, kết quả mô hình cho biểu khả năng chất ô nhiễm xâm nhập vào từng đoạn ống cấp nước. Để kiểm chứng khả năng ứng dụng thực tế của mô hình, nghiên cứu thực hiện dự báo nguy cơ ô nhiễm cho HTPPN khu vực HC05 quận Hải Châu thành phố Đà Nẵng.

Từ khóa: ô nhiễm nước, mô hình dự báo, hệ thống phân phối nước, logic mờ, SIMULINK.

Abstracts: Contaminant intrusion into the water distribution system through the leakage (break hole, crack, reservoir, tank, pump station, ...) on the system. Review the research's showed that when three factors pipe break, negative pressure and contamination source appear at the same time that contribute to contaminant intrusions into the pipe. Based on theory of fuzzy logic with the membership function is Gaussian, S - Sigmoidal and Z - Sigmoidal, the predicting model for the Potential of Contaminant Intrusion in Water Distribution Systems is proposed. The model is set up by MATLAB with the fuzzy logic design (FLD) tool and SIMULINK tool, the result of model is the potential contaminant intrusion into the water pipe. The model is verified its ability application in fact by apply for water distribution system of district meter area HC05, Hai Chau district, Da Nang city.

Keywords: Water contamination, predicting model, water distribution system, fuzzy logic, SIMULINK.

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống phân phối nước không phải là một hệ thống kín (những vị trí vỡ, đứt gãy, bể chứa, đài nước, trạm bơm...) nên chất ô nhiễm có khả năng xâm nhập vào hệ thống khi một số các yếu tố nhất định xảy ra vào cùng một thời điểm. Các yếu tố nguy cơ lần lượt được thử nghiệm để xác định khả năng xảy ra ô nhiễm xâm nhập vào môi trường nước bên trong ống bằng các mô hình thí nghiệm, mô phỏng trên phần mềm hay thu thập số liệu thực tế.

Tác giả López-jiménez [1] đã đặt ống dẫn nước có điểm vỡ trên thành ống nằm trong môi

trường nước và thay đổi áp suất bên trong bằng cách điều khiển van. Đồng thời mô phỏng mô hình trên phần mềm ©Fluent Inc, tác giả đã kết luận dù kích thước điểm vỡ rất nhỏ (1,5mm) thì hiện tượng ô nhiễm đi vào trong ống vẫn xảy ra. Phát triển nghiên cứu của tác giả López-jiménez, tác giả Collins [2] đã mô hình hóa sự xâm nhập của dòng chảy ô nhiễm vào ống đặt trong môi trường đất lỗ rỗng bằng phần mềm. Kết quả cho thấy dòng chảy ô nhiễm đi vào ống khi áp suất trong ống nhỏ hơn -1m.

Nghiên cứu thực nghiệm của tác giả Chiara M. Fontanazza và cộng sự cũng khẳng định chất ô

nhằm đi vào đường ống trong khoảng thời gian 40s khi xuất hiện áp suất âm có độ lớn từ 0 đến -10m [3]. Thậm chí theo tác giả Yang [4] bơm chi mất điện đột ngột trong 1s, thời gian dòng van một chiều ở mỗi bơm là 0,1s thì vẫn xuất hiện dòng chảy ô nhiễm xâm nhập qua lỗ rò rỉ.

Các kết quả cho thấy trong thời gian diễn ra áp suất âm ngắn, với các điểm vỡ có kích thước nhỏ thì chất ô nhiễm đều có khả năng đi vào bên trong ống. Như vậy, dự báo nguy cơ chất ô nhiễm có thể xâm nhập vào đường ống được coi như một bài toán gồm 3 biến đầu vào là khả năng ống vỡ, giá trị áp suất âm, mức độ ảnh hưởng của nguồn ô nhiễm và 1 biến đầu ra là khả năng HTPPN bị ô nhiễm.

Trong bài báo này, sẽ sử dụng lý thuyết logic mờ để xây dựng mô hình dự báo nguy cơ hệ thống phân phối nước bị ô nhiễm. Mô hình đề xuất sẽ được áp dụng cho hệ thống phân phối nước thực tế tại quận Hải Châu thành phố Đà Nẵng.

2. PHƯƠNG PHÁP LUẬN

Sử dụng lý thuyết Dempster-Shafer, số D hay logic mờ các nghiên cứu đã ước lượng được nguy cơ HTPPN bị ô nhiễm.

2.1. Lý thuyết Dempster-Shafer

Đánh giá nguy cơ xâm nhập ô nhiễm bằng lý thuyết Dempster-Shafer đã được tác giả Rehan Sadiq ứng dụng trên một đoạn ống làm việc riêng lẻ với mức độ xảy ra ô nhiễm ở các cấp độ không xảy ra-thấp-trung bình-cao [5]. Phương pháp chưa ứng dụng cho HTPPN thực tế vì trong lý thuyết có sử dụng các giá thuyết loại trừ giữa các khả năng xuất hiện yếu tố nguy cơ. Để xuất phần mềm tính toán linh hoạt để cải thiện các giá thuyết có khối lượng bằng 0 trong lý thuyết Dempster-Shafer cũng đã được nghiên cứu, nhưng kết quả vẫn chưa khẳng định khả năng ứng dụng cho mạng thực tế [6].

2.2. Lý thuyết số D

Tác giả Gou và cộng sự [7] đã đưa ra hướng tiếp cận theo phương pháp đánh giá khả năng xảy ra ô nhiễm trong mạng lưới bằng công cụ số D là một đại diện của các thông tin không chắc chắn, được phát triển từ lý thuyết Dempster-Shafer. Ba

yếu tố quyết định sự xâm nhập ô nhiễm vào dòng chảy là: con đường xâm nhập - tỷ lệ vỡ ống trong 1 năm (D1), khả năng xâm nhập - áp suất quá độ trên mạng lưới (D2) và nguồn gây ô nhiễm-ước lượng khoảng cách giữa nguồn gây ô nhiễm và đường ống cấp nước chính (D3), số D sẽ được xem xét cho 3 tập hợp $\{P\}$; $\{NP\}$; $\{P, NP\}$ trong đó P, NP lần lượt là các giá trị có thể hoặc không thể xâm nhập. Từ đó xem xét các kịch bản nhằm đánh giá rủi ro cho một HTPPN, với mỗi kịch bản sẽ cho biết khả năng xảy ra ô nhiễm là cao hay thấp. Phương pháp số D đã đưa ra hệ số riêng cho mỗi yếu tố đánh giá nguy cơ, nghiên cứu mạng tính thực tế cao do thiết lập được miền xác suất trong từng trường hợp cụ thể, tuy nhiên đây cũng là hạn chế của kết quả vì chưa xét tổng hợp nguy cơ.

2.3. Lý thuyết Logic mờ

Tác giả Mansour-Rezaei đã sử dụng kỹ thuật phân tích không chắc chắn để ước lượng tiềm năng chất ô nhiễm xâm nhập vào HTPPN [8]. Dựa trên logic mờ xây dựng tiềm năng chất ô nhiễm xâm nhập vào ống gang qua các điểm vỡ. Yếu tố tác động là áp suất thay đổi do đóng van, tác giả xem xét khả năng xuất hiện áp suất thấp hoặc âm. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu chưa được kiểm chứng trên HTPPN thực tế. Bên cạnh đó, dạng hàm thuộc tam giác và hình thang mà tác giả lựa chọn có độ biến thiên không đều đã làm giảm độ chính xác của kết quả.

Với các ưu điểm của logic mờ, nghiên cứu tiếp tục lựa chọn lý thuyết này để xây dựng mô hình dự báo nguy cơ. Để cải thiện độ chính xác của kết quả dự báo nghiên cứu sử dụng các dạng hàm thuộc Gaussian, S Sigmoidal và Z - Sigmoidal. Các hàm thuộc này là những đường cong biến đổi đều và đối xứng theo trục tung nên độ biến thiên của giá trị trên trục hoành rất nhỏ. Mô hình đề xuất cũng được kiểm chứng khả năng ứng dụng trên một HTPPN thực tế.

3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

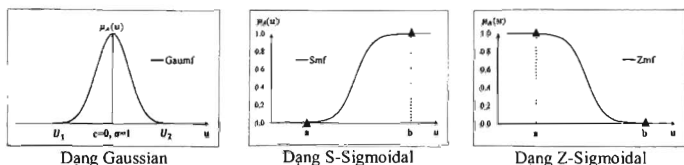
3.1. Cơ sở lý thuyết logic mờ

Trong lý thuyết logic cổ điển, để đo khả năng xuất hiện một biến cố thường sử dụng

xác suất có xảy ra hoặc không xảy ra. Trong khi đó, rất nhiều các thông tin không chắc chắn trong đó các đối tượng có nhiều hơn hai trạng thái để xem xét. Vậy nên, năm 1965 giáo sư Lotfi Zadeh trường đại học California - Mỹ đã đề ra lý thuyết mờ và nhanh chóng được ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu. Lý thuyết được dùng để đánh giá các thông tin không rõ ràng bằng các tập hợp mờ, hàm thuộc và logic mờ.

Tập mờ được phát triển từ khái niệm tập hợp cơ bản được phát biểu như sau: "Tập mờ A trong miền xác định U với các giá trị u thuộc miền U được xác định $A = \{\mu_A(u) | u: u \in U, \mu_A(u) \in [0,1]\}$ trong đó hàm thuộc $\mu_A(u): U \rightarrow [0,1]$ được gọi là độ thuộc của phần tử u thuộc về tập mờ A".

Hình dạng tập mờ phụ thuộc vào các kiểu hàm thuộc khác nhau và trong nghiên cứu này sẽ xem xét các dạng Gaussian, S - Sigmoidal và Z - Sigmoidal như Hình 1.



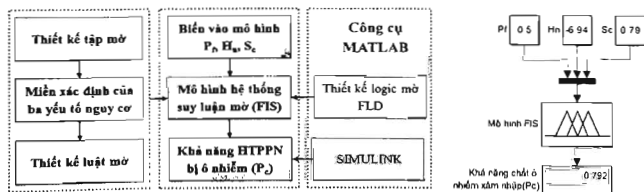
Hình 1. Dạng hàm thuộc của tập mờ

3.2. Mô hình dự báo nguy cơ HTPPN bị ô nhiễm

Trên cơ sở lý thuyết logic mờ, thiết lập mô hình dự báo nguy cơ với ba giá trị đầu vào ở dạng mờ là P_f - khả năng ống vỡ, H_n - giá trị áp suất âm, S_c - mức độ ảnh hưởng của nguồn ô nhiễm. Khối xử lý của mô hình là hệ thống suy luận mờ (FIS - Fuzzy Inference System). Giá trị đầu ra là một giá trị rõ P_c - khả năng chất ô nhiễm xâm nhập vào trong ống cấp nước. Kết hợp với công cụ thiết kế logic mờ FLD (Fuzzy

Logic Design) và SIMULINK nghiên cứu thiết lập mô hình trong phần mềm MATLAB như Hình 3.

Theo định lượng của tác giả, các yếu tố P_c , P_f được đánh giá ở 4 mức độ, mỗi mức độ tương đương với một tập mờ có miền xác định nằm trong khoảng từ 0 đến 1. Tuy nhiên P_c là một giá trị rõ nên các tập mờ tương ứng với một giá trị số nhất định. Hai yếu tố nguy cơ còn lại là H_n và S_c được đánh giá với 3 tập mờ thấp, trung bình và cao như Bảng 1.



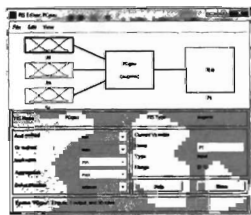
Hình 1. Mô hình dự báo nguy cơ HTPPN bị ô nhiễm

Bảng 1. Ký hiệu tập mờ của các biến vào và ra trong mô hình FIS

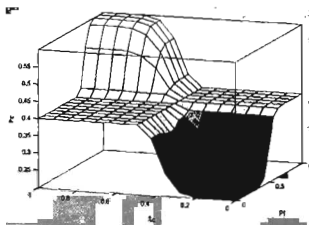
| Biến số | Tập mờ A và miền xác định [U] | | | |
|----------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| | Thấp - Low | Trung bình - Medium | Cao - High | Rất Cao - Very High |
| $P_{\text{đ}}$ | $L_1 [0, 0, 4]$ | $M_1 [0, 2, 0, 6]$ | $H_1 [0, 4, 0, 8]$ | $VH_1 [0, 6, 1, 0]$ |
| $H_{\text{đ}}$ | $L_2 [-5, 0]$ | $M_2 [-7, 5, -2, 5]$ | $H_2 [-10, -5]$ | - |
| $S_{\text{đ}}$ | $L_3 [0, 0, 5]$ | $M_3 [0, 25, 0, 75]$ | $H_3 [0, 5, 1]$ | - |
| P_{c} | $L = 0,25$ | $M = 0,50$ | $H = 0,75$ | $VH = 1$ |

Quy ước giá trị miền xác định (U) trong Bảng 1 của các tập mờ được xác định theo phương pháp đánh giá trực quan. Cụ thể của hàm thuộc thiết lập bằng cách chia đều các khoảng trong miền U để đảm bảo kích thước của các tập mờ là tương đương nhau. Bên cạnh đó các tập mờ được lấy theo tính chất phân bù để đảm bảo các giá trị đưa vào luôn thuộc một tập mờ nhất định và không bị đưa vào tập rỗng. Từ các 4 tập mờ trong yếu tố ống vỡ, 3 tập mờ

trong hai yếu tố còn lại thì tổng số luật mờ là $4 \times 3 \times 3 = 36$ luật. Các luật mờ là cơ sở để ra quyết định cho biến ngõ ra là khả năng đường ống trên HTPPN bị chất ô nhiễm xâm nhập (P_c) vậy nên thiết lập luật mờ tốt thì kết quả đưa ra sẽ có độ chính xác cao. Luật mờ ở dạng nguyên nhân kết quả “Nếu...và...Thì” thể hiện ở dạng 3D trong phần mềm MATLAB như Hình 4. Mệnh đề kết quả P_c được xác định dựa trên nhận định trực quan của người thiết kế.



Hình 3. Thiết kế logic mờ bằng công cụ FLD

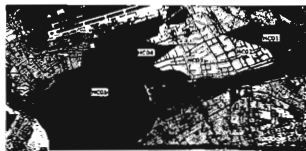


Hình 4. Luật mờ trong mô hình FIS

3.3. Ứng dụng mô hình đề xuất cho HTPPN khu vực HC05, quận Hải Châu, thành phố Đà Nẵng

HTPPN quận Hải Châu được quản lý theo 5 khu vực cấp nước (DMA) từ HC01 đến HC05, các DMA được phân tách bằng các van khóa và đồng hồ tổng. Mỗi khu vực có hai đến ba nguồn cấp nước, DMA HC05 nằm ở vị trí nguồn cấp nước vào của quận Hải Châu, là khu vực cung cấp nước rộng nhất so với các DMA còn lại, vậy

nên nghiên cứu lựa chọn DMA này để dự báo nguy cơ HTPPN bị ô nhiễm.



Hình 5. HTPPN khu vực HC05 quận Hải Châu

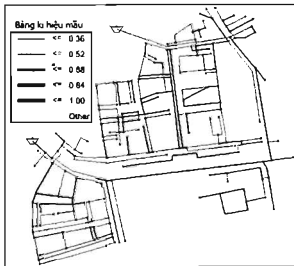
Bảng 2. Dữ liệu điển hình đưa vào mô hình dự báo HTPPN bị ô nhiễm

| Id | P_f (%) | H_n (m) | S_c (%) | Id | P_f (%) | H_n (m) | S_c (%) |
|----|-----------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 33,90 | -9,98 | 39,44 | 8 | 7,98 | -9,98 | 59,78 |
| 2 | 3,20 | -3,16 | 16,50 | 9 | 7,00 | -9,98 | 87,84 |
| 3 | 37,90 | -9,98 | 89,73 | 10 | 7,00 | -9,98 | 5,24 |
| 4 | 29,50 | -9,98 | 89,23 | 11 | 4,74 | -1,39 | 2,32 |
| 5 | 1,80 | -9,98 | 84,51 | 12 | 64,21 | -9,98 | 20,52 |
| 6 | 1,80 | -9,98 | 59,70 | 13 | 64,21 | -9,98 | 57,77 |
| 7 | 4,00 | -9,98 | 41,77 | | | | |

Dữ liệu Bảng 2 về khả năng ồng vỡ (P_f), giá trị áp suất âm có khả năng xuất hiện trên từng ống cấp nước (H_n) và ước lượng khả năng ảnh hưởng của nguồn ô nhiễm tới ống cấp nước (S_c) được lấy theo tài liệu [9]. Bảng giá trị được lưu trong các file excel, sau đó nhập vào mô hình dự báo HTPPN bị nhiễm đã xây dựng trong MATLAB. Kết quả mô hình cho biết khả năng ô nhiễm của từng ống như Hình 6. Màu xanh lá cho thấy các ống có nguy cơ ô nhiễm thấp (nhỏ hơn 36%), màu xanh lam và xanh nước biển cho biết giá trị nguy cơ nằm trong khoảng trung bình từ 36% đến 52%, màu tím dự báo ống có nguy cơ cao từ 68% đến 84% và khả năng ô

nhiễm lớn hơn 84% và nhỏ hơn hoặc bằng 100% cho các ống có màu đỏ.

Theo hồ sơ kiểm định chất lượng nước của công ty cổ phần cấp nước Đà Nẵng thì công tác kiểm tra chất lượng nước trên đường ống được thực hiện bằng cách lấy mẫu nước định kỳ và phân tích kiểm tra ba chỉ tiêu độ đục, hàm lượng Clo dư và lượng Ecoli trong nước theo quy chuẩn QCVN 01:2009/BYT của Bộ Y Tế. Bộ phận kiểm định chất lượng nước của công ty trong 1 tháng kiểm tra 8 lần, mỗi lần lấy mẫu tại 10 điểm khác nhau đại diện cho từng khu vực cấp nước, có khoảng hơn 100 điểm lấy mẫu trong 1 năm.



Hình 6. Kết quả dự báo nguy cơ ống cấp nước bị ô nhiễm



Hình 7. Vị trí lấy mẫu thường xuyên không đảm bảo chất lượng quy định

Các mẫu kiểm tra ở đầu ra của nhà máy thì đều đạt chuẩn và đảm bảo sạch nhưng những

mẫu kiểm tra trên đường ống thì vẫn có mẫu không đạt, theo thống kê từ số liệu cung cấp của

công ty cấp nước Đà Nẵng thì số mẫu có lượng Clo dư thấp hoặc bằng 0 và độ đục cao trong năm 2014 và 2015 là hơn 100 mẫu, một số khu vực lấy mẫu thường xuyên không đạt được đánh dấu trong Hình 7. Nhìn chung, những đoạn ống mô hình dự báo có khả năng bị ô nhiễm thấp thì thực tế cũng không có đánh dấu về mẫu nước không đạt chất lượng. Trên một số tuyến ống truyền dẫn được mô hình dự báo giá trị P_c cao vì các tuyến này nằm gần cống thoát nước chính của thành phố và có nguy cơ bề vỡ cao. Mặc dù nước trong ống không đạt chất lượng có thể không phải do chất ô nhiễm bên ngoài xâm nhập nhưng với việc áp dụng mô hình để xuất của nghiên cứu cũng dự báo được một phần khả năng xuất hiện ô nhiễm của từng ống, đây là một trong những cơ sở để giám sát chất lượng nước.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở mô hình suy luận mờ FIS sử dụng tập mờ dạng Gaussian, Sigmoidal S và Sigmoidal Z nghiên cứu để xuất mô hình dự báo ô nhiễm đồng thời kiểm chứng phương pháp đề xuất bằng HTPPN thực tế. Mô hình đã dự báo được khả năng ô nhiễm trên từng đoạn ống của HTPPN và các giá trị này tương đồng với kết quả kiểm tra, đánh giá chất lượng nước thực tế trên mạng lưới. Kết hợp với công cụ SIMULINK, mô hình đề xuất đạt được kết quả chính xác và tránh được những sai số chủ quan trong quá trình suy diễn mờ. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở để mô phỏng quá trình lan truyền chất ô nhiễm vào bên trong ống cấp nước cũng như đánh giá tính dễ bị tổn thương của một HTPPN.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số T - KTXD-2018-57.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] P. A. López-jiménez and J. Morad-rodríguez, "3D computational model of external intrusion in a pipe across defects," in 2010

International Congress on Environmental Modelling and software, 2010.

[2] S. Fox, W. Shepherd, R. Collins, and J. Boxall, "Experimental proof of contaminant ingress into a leaking pipe during a transient event," *Procedia Eng.*, vol. 70, pp. 668–677, 2014.

[3] G. F. Chiara M. Fontanazza, Vincenza Notaro, Valeria Puleo, Paolo Nicolosi, "Contaminant intrusion through leaks," *Procedia Eng.*, vol. 119, no. Computer control for water industry, pp. 426–433, 2015.

[4] J. Yang, M. W. LeChevallier, P. F. M. Teunis, and M. Xu, "Managing risks from virus intrusion into water distribution systems due to pressure transients," *J. Water Health*, vol. 9, no. 2, pp. 291–305, 2011.

[5] R. Sadiq, Y. Kleiner, and B. Rajani, "Estimating risk of contaminant intrusion in distribution networks using fuzzy rule-based modeling Estimating Risk of Contaminant Intrusion in Distribution Networks Using Fuzzy Rule-Based Modeling," pp. 318–327, 2006.

[6] Y. Deng, W. Jiang, and R. Sadiq, "Modeling contaminant intrusion in water distribution networks: A new similarity-based DST method," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 1, pp. 571–578, Jan. 2011.

[7] L. Gou, Y. Deng, R. Sadiq, and S. Mahadevan, "Modeling contaminant intrusion in water distribution networks based on D numbers," *CoRR*, vol. abs/1404.0. 2014.

[8] S. Mansour-Rezaei, G. Naser, and R. Sadiq, "Predicting the potential of contaminant intrusion in water distribution systems," no. February, pp. 105–115, 2014.

[9] Phạm Thị Minh Lành, "Đề xuất mô hình dự báo hệ thống phân phối nước bị ô nhiễm", Thành phố Hồ Chí Minh, 2018.

Người phân biện: TS. Lê Đức Thường
Phân biện xong: 28/12/2019