

# XÂY DỰNG MÔ HÌNH THIẾT KẾ TỐI ƯU ĐA MỤC TIÊU CHO MẠNG LƯỚI ĐƯỜNG ỐNG CẤP NƯỚC TƯỚI: ÁP DỤNG CHO HỆ THỐNG TƯỚI TRÀ TÂN, LÂM ĐỒNG

Nguyễn Văn Kiên<sup>1</sup>, Đặng Minh Hải<sup>2\*</sup>, Lê Phú Hiến<sup>2</sup>

**Tóm tắt:** Hệ thống cấp nước tưới bằng đường ống đang được ứng dụng ngày càng rộng rãi tại các vùng trung du và miền núi Việt Nam nhờ khả năng tiết kiệm nước, đảm bảo chất lượng và nâng cao hiệu quả quản lý. Tuy nhiên, việc lựa chọn phương án thiết kế tối ưu mạng lưới đường ống nhằm giảm chi phí đầu tư nhưng vẫn đáp ứng yêu cầu về áp lực và lưu lượng là một thách thức cần nghiên cứu. Nghiên cứu này phát triển mô hình MODIP (Multiobjective Optimal Design of Irrigated Pipes) trên cơ sở tích hợp mô hình thủy lực EPANET với giải thuật tiến hóa đa mục tiêu NSGA-II. Phân tích độ nhạy được tiến hành để xác định thông số tối ưu của giải thuật gồm: số quần thể  $N_p = 300$ , số thế hệ  $N_g = 700$ , xác suất lai tạo  $P_c = 0.7$  và xác suất đột biến  $P_m = 0.09$ . Mô hình được áp dụng cho hệ thống tưới Trà Tân, tỉnh Lâm Đồng. Kết quả cho thấy tập hợp các phương án Pareto tối ưu có chi phí đầu tư từ 14,51 đến 16,55 tỷ đồng, sai lệch áp suất từ 5,23% đến 29,71%. Với cùng chi phí 14,68 tỷ đồng, phương án Pareto G cho sai lệch áp suất 33,2% trong khi phương án hiện trạng F là 48,6%. Kết quả chứng minh MODIP là công cụ hiệu quả trong việc tìm kiếm giải pháp thiết kế cân bằng giữa chi phí và hiệu quả thủy lực.

**Từ khóa:** Hệ thống tưới, đường ống, tối ưu hóa, EPANET, NSGA II.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Hệ thống cấp nước tưới bằng đường ống ngày càng được ứng dụng rộng rãi tại các vùng trung du và miền núi Việt Nam nhờ khả năng dẫn nước hiệu quả, tận dụng cột nước cao để mở rộng diện tích tưới, đảm bảo chất lượng nước trong quá trình vận chuyển, chiếm ít diện tích đất, tiết kiệm chi phí quản lý và vận hành, thuận lợi trong việc lắp đặt thiết bị đo nước, khả năng thích ứng cao với điều kiện địa hình, địa chất phức tạp và thiên tai. Trong hệ thống cấp nước bằng đường ống, chi phí cho mạng lưới truyền dẫn và phân phối thường chiếm từ 30% đến 60% chi phí của toàn hệ thống. Vì vậy, việc lựa chọn phương án thiết kế tối ưu mạng lưới đường ống cấp nước tưới có chi phí đầu tư thấp nhưng thỏa mãn tối đa yêu cầu về áp lực và lưu lượng là việc cần phải được nghiên cứu.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu về thiết kế tối ưu mạng lưới cấp nước tưới đã được tiến hành. Một số nghiên cứu sử dụng tối ưu đơn mục tiêu để tìm phương án thiết kế tối ưu cho mạng vòng và/hoặc mạng nhánh. (Gajghate and Mirajkar 2021, Surco et al. 2018). So với tối ưu hóa đơn mục tiêu, phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu cung cấp thông tin toàn diện hơn cho người ra quyết định trong việc lựa chọn thiết kế tối ưu của mạng cấp nước. Cụ thể, Artina et al. (2012) đã cải tiến thuật toán NSGA-II (Deb et al. 2002) để thiết kế tối ưu mạng phân phối nước khi đồng thời xem xét cả chi phí tối thiểu và kiểm soát áp

suất tại các nút. Một phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu kết hợp với NSGA-III đã được đề xuất để thiết kế tối ưu mạng cấp nước (Huang et al. 2020). Trong các nghiên cứu đã thực hiện ở trên, chỉ một loại vật liệu được sử dụng cho toàn bộ mạng cấp nước thay vì xét đến sự đa dạng của vật liệu và sự đáp ứng yêu cầu về áp suất được coi là ràng buộc mà chưa được coi là hàm mục tiêu. Tại Việt Nam, số lượng nghiên cứu về ứng dụng tối ưu hóa đa mục tiêu trong thiết kế mạng lưới cấp nước tưới còn hạn chế. Dang (2022) đã đề xuất mô hình thiết kế tối ưu đa mục tiêu cho mạng lưới cấp nước tưới dạng nhánh dựa trên giải thuật NSGA II. Do chưa tích hợp giữa giải thuật tối ưu hóa NSGA II với mô hình tính toán thủy lực nên mô hình chỉ phù hợp cho các mạng cấp nước có cấu trúc và chế độ vận hành đơn giản. Để khắc phục các tồn tại trên, việc phát triển một mô hình thiết kế tối ưu tích hợp – vừa mô phỏng chính xác thủy lực, vừa tìm kiếm lời giải tối ưu thỏa mãn nhiều mục tiêu và ràng buộc – là hết sức cần thiết. Mô hình này không chỉ hỗ trợ lựa chọn kích thước và vật liệu ống phù hợp, mà còn góp phần giảm thiểu chi phí, đảm bảo áp lực cấp nước và tăng độ tin cậy hệ thống.

Bài báo này hướng đến hai mục tiêu chính. Thứ nhất, xây dựng mô hình thiết kế tối ưu đa mục tiêu mạng lưới cấp nước tưới MODIP thỏa mãn hai mục tiêu: (1) tối thiểu hóa tổng chi phí đầu tư và quản lý vận hành và (2) tối thiểu hóa sai lệch áp suất tại các nút tiêu thụ chính. Thứ hai, áp dụng mô hình vào thiết kế tối ưu đa mục tiêu cho hệ thống cấp nước tưới Trà Tân tỉnh Lâm Đồng nhằm kiểm chứng và đánh giá hiệu quả của mô hình.

---

<sup>1</sup>Nghiên cứu sinh, Trường Đại học Thủy lợi

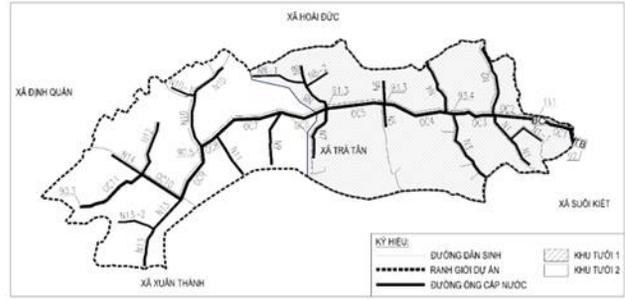
<sup>2</sup>Trường Đại học Thủy lợi

\* Tác giả liên hệ: hai\_ctn@tlu.edu.vn

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vùng nghiên cứu

Hồ Trà Tân nằm trên địa bàn xã Trà Tân, tỉnh Lâm Đồng (Hình 1). Hồ chứa có nhiệm vụ cấp nước tưới cho 300 ha trồng tiêu và điều. Khu tưới có địa hình đồi thấp và thung lũng hẹp, cao độ thay đổi từ +111m đến +90m. Thổ nhưỡng chủ yếu là đất xám trên phù sa cổ nên phù hợp để trồng các loại cây công nghiệp dài ngày như cây tiêu, điều. Lượng mưa hằng năm dao động từ 1800mm đến 2500mm, trong đó có 90% lượng mưa tập trung vào mùa mưa từ tháng 5 đến 10, các tháng còn lại ít mưa nên xuất hiện tình trạng khô hạn. Đặc điểm về địa hình, nguồn nước, cây trồng của khu tưới thuận lợi cho việc sử dụng đường ống trong mạng lưới truyền dẫn và phân phối nước. Theo đó, nước được bơm từ hồ Trà Tân vào mạng lưới đường ống gồm 4.61km ống chính, 6.77km ống cấp 1 và 1.56km ống cấp 2. Khu tưới được chia thành 2 khu vực để áp dụng chế độ tưới luân phiên, khu vực 1 có 148.7ha, khu vực 2 có 151.3ha.



Hình 1. Mạng lưới tuyến ống tưới hệ tưới sử dụng nước hồ Trà Tân

### 2.2. Mô hình tối ưu đa mục tiêu

#### 2.2.1. Hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu thứ nhất là tổng chi phí ( $C_p$ ) cho mạng lưới đường ống cấp nước là nhỏ nhất, trong đó:

$$C_p \rightarrow \text{Min}$$

$$C_p = C_c + C_o \quad (1)$$

Theo Hải et al. (2024), chi phí xây dựng ( $C_c$ ) được xác định theo công thức:

$$C_p = \left( \sum_{i=1}^n a D_i^\alpha L_i (1+b)(1+c)(1+\beta \cdot \frac{(1+i)^m - 1}{(1+i)^m}) \right) + \left( \sum_{i=1}^n 9,81 \cdot Q_i \cdot H_i \cdot T_i \cdot a \cdot \frac{(1+i)^m - 1}{(1+i)^m} \right) \quad (2)$$

Trong đó:

$D_i$  là đường kính ống của đoạn ống thứ  $i$  (mm);

$L_i$  là chiều dài đoạn ống thứ  $i$ ;

$a$ ,  $\alpha$  là hệ số được xác định từ phân tích hồi quy cho mỗi loại vật liệu ống trên cơ sở đơn giá vật liệu ống và chi phí lắp đặt;

$b$  là hệ số kể đến chi phí phụ kiện,  $b = 10\%$ ;

$c$  là hệ số kể đến chi phí đào đắp,  $c = 7\% \div 12\%$ ;

$n$  là tổng số đoạn ống của mạng lưới đường ống;

$Q_i$  là lưu lượng tính toán của đoạn ống thứ  $i$ ;

$T_i$  là thời gian làm việc  $Q_i$  tương ứng của đoạn ống thứ  $i$ ;

$m$  là đời sống của dự án,  $m=30$  năm;

$a$  là giá thành trung bình của 1kwh điện, lấy  $a = 2500$  đ/kwh;

$\beta$  là hệ số kể đến kinh phí bảo trì mạng lưới đường ống, thiết bị hằng năm,  $\beta=1.5\% \div 2\%$ , lấy  $\beta=1.5\%$ .

$H_i$  là tổn thất thủy lực của đoạn ống thứ  $i$  được tính theo công thức Hazen Williams như sau:

$$H_i = 10,67 \cdot L_i \cdot Q_i^{1.85} / (C_i^{1.85} \cdot D_i^{4.87}) \quad (3)$$

Trong đó:

$C_i$  là hệ số nhám được xác định bởi vật liệu ống của đoạn ống thứ  $i$ ;

Các hệ số khác đã được giải thích ở trên.

Hàm mục tiêu thứ hai là thỏa mãn tối đa áp suất yêu cầu tại các điểm sử dụng nước. Điều đó có nghĩa là tổng chênh lệch giữa áp suất cấp ( $H_{kn}$ ) và áp suất yêu cầu ( $H_{yc}$ ) tại các điểm lấy nước là nhỏ nhất:

$$\Delta H \rightarrow \text{Min}$$

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n |H_{kn}^i - H_{yc}^i| \quad (4)$$

Trong đó:

$H_{kn}^i$  là áp suất cấp tại nút lấy nước thứ  $i$  (m);

$H_{yc}^i$  là áp suất yêu cầu tại nút lấy nước thứ  $i$  (m).

#### 2.2.2. Ràng buộc

Vận tốc ( $V_i$ ) trong các đoạn ống nằm trong khoảng từ 0.3 m/s đến 3 m/s.

#### 2.2.3. Biến quyết định

Đường kính ống ( $D_i$ ) là biến quyết định và được xác định dựa trên giải thuật di truyền NSGA II để  $C_p$  đạt giá trị nhỏ nhất. Đường kính của đoạn ống sau ( $D_{i+1}$ ) luôn nhỏ hơn đường kính của đoạn ống trước ( $D_i$ ) trên cùng tuyến ống.

### 2.3. Mô hình EPANET

Mô hình EPANET (Lewis A. Rossman 2000) được sử dụng để mô phỏng diễn biến của các đặc trưng thủy lực trong các mạng đường ống có áp với các thành phần như: đường ống, nút, bơm, van và các bể chứa. EPANET có thể mô phỏng dòng chảy trong từng đường ống, áp suất tại từng nút, mực nước trong từng bể trên mạng lưới trong từng bước thời gian của quá trình mô phỏng.

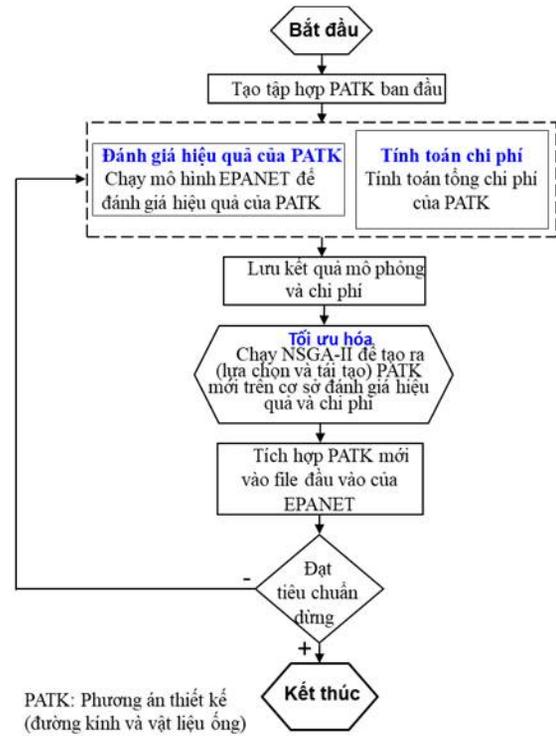
### 2.4. Giải thuật NSGA II

Là một dạng của giải thuật di truyền, NSGA-II là thuật toán được sử dụng rộng rãi và hiệu quả nhất để tìm tập hợp các lời giải cân bằng (*trade-off*) của bài toán tối ưu đa mục tiêu (Deb et al. 2002). Giải thuật NSGA-II có tốc độ tìm lời giải tối ưu nhanh hơn các thuật toán tối ưu khác. Ba đặc trưng chính của giải thuật NSGA-II là: phát triển các tầng lớp ưu tú, sử dụng cơ chế bảo tồn sự đa dạng của lời giải và tập

trung vào các lời giải không vượt trội. Thông số của NSGA-II gồm có kích thước của quần thể ( $N_p$ ), số lượng các thế hệ ( $N_g$ ), xác suất lai tạo ( $P_c$ ) và xác suất biến dị ( $P_m$ ).

### 2.5. Mô hình MODIP

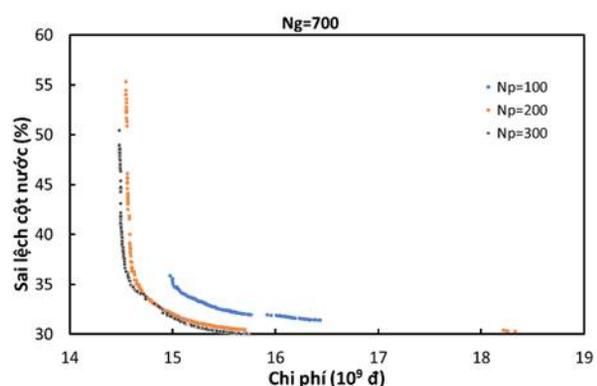
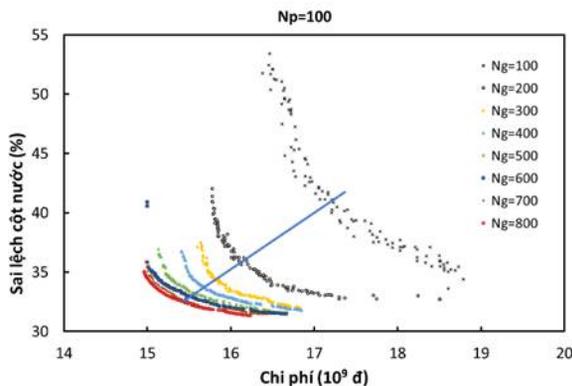
Mô hình MODIP được xây dựng theo sơ đồ khối ở hình 2, gồm năm bước chính. Trước tiên, chuẩn bị dữ liệu đầu vào bao gồm tệp mạng lưới EPANET, tập hợp đường kính (biến đổi từ 32 mm đến 2000 mm) và 5 loại vật liệu ống (DIP (gang), GRP (cốt sợi thủy tinh), HDPE (nhựa cường độ cao), MSP (thép), PVC (nhựa), cùng hệ số nhám, số lượng đoạn ống, số thế hệ tiến hóa tối đa, các ràng buộc kỹ thuật (vận tốc, áp lực) và công thức tính chi phí đầu tư, vận hành. Tiếp theo, khởi tạo quần thể ban đầu bằng cách gán ngẫu nhiên đường kính và vật liệu cho từng đoạn ống. Mỗi phương án được đánh giá thông qua mô phỏng EPANET để xác định các thông số thủy lực, kiểm tra ràng buộc và tính toán các hàm mục tiêu. Quá trình tối ưu hóa theo giải thuật NSGA II được diễn ra lặp lại qua các thao tác chọn lọc, lai ghép, đột biến, hợp nhất quần thể và sắp xếp không vượt trội, kết hợp khoảng cách tích tụ để duy trì đa dạng. Kết quả cuối cùng là tập nghiệm Pareto tối ưu thể hiện sự đánh đổi giữa chi phí và hiệu quả thủy lực. Chương trình MODIP được xây dựng bằng ngôn ngữ Python.



Hình 2. Sơ đồ khối của mô hình MODIP

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

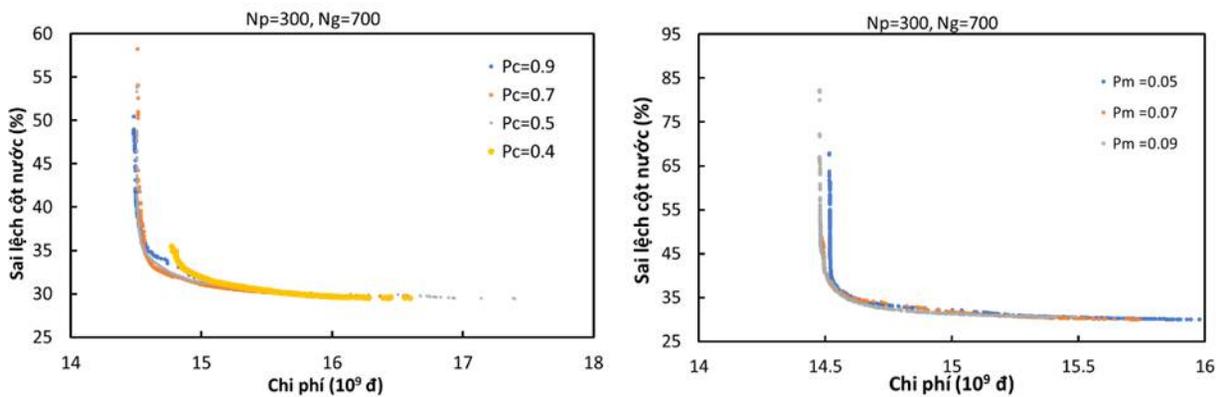
### 3.1. Xác định các thông số của giải thuật NSGA II



Hình 3. Sự thay đổi lời giải pareto theo (a) sự thay đổi thế hệ tiến hóa  $N_g$  và (b) sự thay đổi số lượng quần thể

Số thế hệ ảnh hưởng đến khả năng hội tụ của thuật toán tiến hóa. Qua quan sát Hình 3a, khi tăng từ  $N_g = 500$  lên  $N_g = 700$ , tập nghiệm Pareto mở rộng đáng kể về cả hai mục tiêu tối ưu và đạt được sự phân bố tốt hơn, đặc biệt ở các vùng biên có chi phí thấp. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng lên  $N_g = 800$ , cải thiện về biên giải pháp là không đáng kể trong khi chi phí tính toán tăng lên rõ rệt. Điều này chứng tỏ thuật toán đã đạt trạng thái gần hội tụ ở thế hệ thứ 700. Do đó,  $N_g = 700$  được đề xuất là giá trị hợp lý để đảm bảo hiệu quả tính toán mà vẫn giữ được chất lượng giải pháp.

Quần thể lớn giúp tăng tính đa dạng và khả năng bao phủ không gian nghiệm. Khi tăng từ  $N_p = 100$  lên  $N_p = 200$ , tập nghiệm cải thiện rõ rệt về độ phân bố. Đặc biệt, khi tiếp tục tăng lên  $N_p = 300$ , sự cải thiện càng rõ nét: tập nghiệm mở rộng hơn, xuất hiện nhiều lời giải ưu việt ở cả hai mục tiêu, đồng thời phân bố đồng đều hơn so với  $N_p = 200$ . Mặc dù  $N_p = 400$  có thể tạo ra thêm một vài điểm mới, song lợi ích biên mang lại không tương xứng với chi phí tính toán tăng thêm. Vì vậy,  $N_p = 300$  được lựa chọn là tối ưu, cân bằng giữa chất lượng và hiệu suất tính toán.



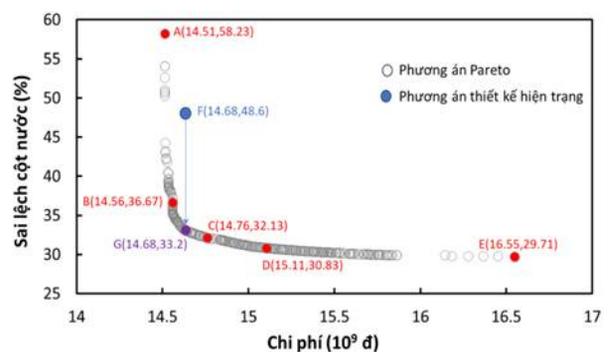
Hình 4. Sự thay đổi lời giải pareto theo (a) sự thay đổi xác suất lai tạo  $P_c$  và (b) sự thay đổi xác suất biến dị  $P_m$

Xác suất lai tạo quyết định mức độ trao đổi thông tin giữa các cá thể, ảnh hưởng đến quá trình khai phá không gian nghiệm. Theo Hình 4a,  $P_c = 0.7$  tạo ra biên Pareto ổn định và có chất lượng tốt, đồng thời hạn chế sự quá lan rộng gây nhiễu thường gặp ở các giá trị  $P_c$  cao hơn như 0.9. Trái lại,  $P_c$  thấp như 0.3 lại làm giảm khả năng kết hợp tốt giữa các giải pháp. Do đó, lựa chọn  $P_c = 0.7$  là hợp lý để đảm bảo cân bằng giữa khai phá và khai thác. Biến dị đóng vai trò duy trì đa dạng di truyền và tránh kẹt tại cực trị cục bộ. Trên Hình 4b, khi  $P_m = 0.09$ , thuật toán duy trì được sự phân bố đồng đều của tập nghiệm mà không gây rối loạn cấu trúc Pareto. Các giá trị thấp hơn ( $P_m = 0.05$ ) có xu hướng giảm khả năng tạo lời giải mới, trong khi các giá trị quá cao lại làm giảm tính ổn định. Vì vậy,  $P_m = 0.09$  là giá trị phù hợp để duy trì sự ổn định và đa dạng lời giải.

### 3.2. Phân tích lựa chọn phương án

Phân tích hình dạng đường cong Pareto cho thấy mối quan hệ đánh đổi giữa chi phí đầu tư và sai lệch cột nước, từ đó giúp xác định các vùng lời giải hiệu quả. Đoạn AB thể hiện hiệu quả cải thiện rõ rệt khi chi phí tăng rất ít (chỉ khoảng 0.3%) nhưng sai lệch cột nước giảm mạnh đến 21.61%. Đây là giai đoạn mà việc đầu tư thêm cho hệ thống mang lại hiệu quả rất lớn về mặt vận hành, đặc biệt là cải thiện áp lực nước tại các nút quan trọng. Tiếp theo, đoạn BC tiếp tục cho thấy xu hướng cải thiện chất lượng dịch vụ với chi phí tăng vừa phải; mức giảm sai lệch cột nước từ 36.67% xuống còn 32.13% cho thấy đây vẫn là vùng lời giải có hiệu quả cao. Tuy nhiên, ở đoạn CD, lợi ích về chất lượng giảm dần khi chi phí tăng nhanh hơn; cụ thể, chi phí tăng thêm 2.37% nhưng chỉ giảm được 1.3% sai lệch cột nước. Điều này phản ánh vùng lợi nhuận biên giảm, cần cân nhắc kỹ lưỡng về hiệu quả đầu tư. Đặc biệt, đoạn DE không còn mang lại hiệu quả rõ rệt: sai lệch cột nước chỉ cải thiện 1.12% trong khi chi phí tăng tới 9.5%. Do đó, đầu tư vượt quá điểm D là không hiệu quả trong bối cảnh cần tối ưu chi phí. So sánh với thiết kế hiện trạng F (HEC n.d.) cho thấy phương án này có chi phí tương đương điểm G (khoảng 14.68 tỷ VNĐ) nhưng sai lệch cột nước lại cao hơn đáng kể (48.6% so với 33.2%). Điều này chứng minh rằng phương án thiết

kế hiện tại không tận dụng được tiềm năng tối ưu trong không gian thiết kế. Từ các phân tích trên, có thể rút ra khuyến nghị rằng các lời giải nằm trong đoạn BC, đặc biệt là tại điểm C (14.76 tỷ VNĐ, 32.13%), là lựa chọn cân bằng hợp lý nhất giữa chi phí đầu tư và chất lượng dịch vụ cấp nước. Đây là vùng lời giải mang tính tối ưu Pareto mạnh, phù hợp cho thiết kế thực tế.

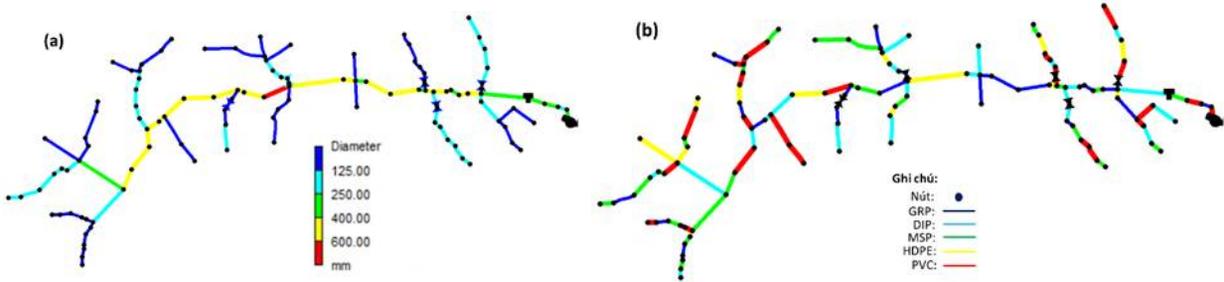


Hình 5. Đường cong pareto giữa chi phí và sai lệch áp suất tại các điểm cấp nước

Bảng 1 so sánh giữa phương án thiết kế hiện trạng và phương án Pareto G có thể nhận thấy sự khác biệt rõ rệt cả về phân bố kích cỡ đường kính lẫn vật liệu ống sử dụng. Phương án hiện trạng chủ yếu dựa vào một loại vật liệu duy nhất là HDPE, tập trung số lượng ống lớn ở nhóm đường kính nhỏ hơn hoặc bằng 125 mm và trung bình từ 251–400 mm, trong khi hoàn toàn không có ống đường kính lớn trên 400 mm. Điều này giúp hệ thống đơn giản trong quản lý và thi công nhưng lại hạn chế về tính linh hoạt và khả năng tối ưu chi phí đầu tư dài hạn. Ngược lại, phương án Pareto G thể hiện tính đa dạng cao khi kết hợp đồng thời năm loại vật liệu (DIP, GRP, HDPE, MSP, PVC), phân bố rộng trong hầu hết các nhóm đường kính. Đáng chú ý, số lượng ống ở nhóm 251–400 mm được giảm đáng kể và thay thế bằng sự xuất hiện của ống lớn hơn ở nhóm 401–600 mm. Cách bố trí này không chỉ duy trì được ưu thế của các ống nhỏ để đảm bảo tính kinh tế, mà còn bổ sung các ống đường kính lớn nhằm cải thiện khả năng

điều tiết, đáp ứng tốt hơn các biến động về nhu cầu cấp nước. Như vậy, phương án Pareto G cho thấy sự cân

bằng giữa chi phí, độ bền và tính linh hoạt vận hành của mạng lưới.



Hình 6. Đường kính (a) và vật liệu (b) của các đoạn ống trong phương án Pareto G

Bảng 1. So sánh phương án Pareto G và phương án thiết kế hiện trạng F

Đường kính (mm)	Phương án Pareto G						Phương án thiết kế hiện trạng F
	DIP	GRP	HDPE	MSP	PVC	Tổng	HDPE
≤125	14	10	7	15	19	65	66
126–250	2	4	3	2	5	16	13
251–400	3	5	1	4	1	14	28
401–600	4	3	2	2	1	12	0

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng thành công mô hình thiết kế tối ưu đa mục tiêu MODIP, tích hợp mô phỏng thủy lực EPANET với giải thuật NSGA-II, nhằm tìm kiếm phương án thiết kế cân bằng giữa chi phí đầu tư và hiệu quả thủy lực. Ứng dụng cho hệ thống tưới Trà Tân (Lâm Đồng) cho thấy mô hình tạo ra tập hợp các phương án Pareto có chi phí trong khoảng 14,51–16,55 tỷ đồng và sai lệch áp lực từ 5,23% đến 29,71%. Đặc biệt, với cùng mức chi phí khoảng 14,68 tỷ đồng, phương án Pareto G giúp giảm sai lệch áp lực xuống

33,2%, thấp hơn nhiều so với phương án hiện trạng (48,6%). Các kết quả này khẳng định MODIP là công cụ hiệu quả trong việc lựa chọn phương án thiết kế đường ống tưới vừa tiết kiệm chi phí, vừa đảm bảo yêu cầu thủy lực. Mô hình có thể hỗ trợ đáng kể cho công tác quy hoạch và quản lý hệ thống tưới bằng đường ống tại Việt Nam. Trong tương lai, nghiên cứu có thể mở rộng để xem xét thêm các mục tiêu khác như tuổi thọ đường ống, độ tin cậy cấp nước và hiệu quả kinh tế - xã hội, nhằm hoàn thiện hơn công cụ hỗ trợ ra quyết định trong thiết kế và vận hành hệ thống tưới hiện đại.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hải, Đ. M., V. Ki, V. N. Quỳnh, and L. Phú. 2024. "Xác định đường kính kinh tế của đường ống trong hệ thống cấp nước tưới bằng động lực." Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 91.
- HEC. n.d. Báo cáo NCKT dự án tưới Trà Tân, tỉnh Lâm Đồng.
- Artina, S., C. Bragalli, A. Marchi, G. Erbacci, and M. Rivi. 2012. "Contribution of parallel NSGA-II in optimal design of water distribution networks." J. Hydroinformatics, 14 (2): 310–323. <https://doi.org/10.2166/hydro.2011.014>.
- Dang, M. H. 2022. "An integrated method for multi-objective optimal design of a piped irrigation network." Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 4 (35).
- Deb, K., A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan. 2002. "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II." IEEE Trans. Evol. Comput., 6 (2): 182–197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>.
- Gajghate, P. W., and A. B. Mirajkar. 2021. "Irrigation pipe distribution network optimization with Jaya Algorithm: A hybrid approach." Water Supply, 21 (7): 3570–3583. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.122>.
- Huang, Y., F. Zheng, H. F. Duan, and Q. Zhang. 2020. "Multi-Objective Optimal Design of Water Distribution Networks Accounting for Transient Impacts." Water Resour. Manag., 34 (4): 1517–1534. Water Resources Management. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02517-4>.
- Lewis A. Rossman. 2000. Epanet 2 users manual. U.S. Environ. Prot. Agency.
- Surco, D. F., T. P. B. Vecchi, and M. A. S. S. Ravagnani. 2018. "Optimization of water distribution networks using a modified particle swarm optimization algorithm." Water Supply, 18 (2): 660–678. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.148>.

**Abstract:**  
**DEVELOPING A MULTI- OBJECTIVE OPTIMAL DESIGN MODEL  
FOR PIPED IRRIGATION SYSTEMS: APPLUCATION TO THE TRATAN  
IRRIGATION SYSTEM, LAMDONG PROVINCE**

*Pipeline-based irrigation systems are increasingly implemented in the midland and mountainous regions of Vietnam due to their advantages in water saving, quality assurance, and management efficiency. However, selecting an optimal pipeline network design that minimizes investment cost while meeting hydraulic requirements for pressure and flow remains a critical challenge. This study proposes the MODIP (Multiobjective Optimal Design of Irrigated Pipes) framework, which integrates the EPANET hydraulic simulation model with the NSGA-II multi-objective evolutionary algorithm. Sensitivity analysis was conducted to determine the optimal algorithm parameters, including population size ( $N_p = 300$ ), number of generations ( $N_g = 700$ ), crossover probability ( $P_c = 0.7$ ), and mutation probability ( $P_m = 0.09$ ). The model was applied to the Trà Tân irrigation system in Lâm Đồng Province, Vietnam. Results indicated that the Pareto-optimal design set achieved investment costs ranging from 14.51 to 16.55 billion VND, with pressure deviations between 5.23% and 29.71%. The most efficient investment alternatives were concentrated in section AB. At an identical cost of 14.68 billion VND, Pareto solution G yielded a pressure deviation of 33.2%, whereas the current design solution F exhibited 48.6%. These findings confirm that MODIP is an effective decision-support tool for identifying irrigation pipeline designs that balance reduced investment costs with enhanced hydraulic performance.*

**Keywords:** Irrigation systems, pipe, optimization, EPANET, NSGA II.

---

*Ngày nhận bài: 19/10/2025*

*Ngày chấp nhận đăng: 17/11/2025*