GIẢI PHÁP CẢI TẠO HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC NHẰM GIẢM NGẬP LỤT KHU CÔNG NGHIỆP CHÂN NÚI BÀ NÀ

Nguyễn Văn Sơn
Trường Đại học Thủy lợi
Phạm Bá Tuấn Anh
Cục Sở hữu Trí tuệ - Bộ Khoa học và Công nghệ
Nguyễn Văn Hồng
Chi cục Thủy lợi và Phòng chống Thiên tai tỉnh Quảng Trị

Tóm tắt: *Ngập lụt là một trong những thách thức lớn đối với sự phát triển bền vững của các khu công nghiệp tại khu vực miền Trung Việt Nam, đặc biệt trong bối cảnh mưa lớn cực đoan và biến đổi khí hậu. Trong đợt lũ tháng 10 vừa qua tại Đà Nẵng, Khánh Hòa đã gây ngập lụt nghiêm trọng cho khu vực này. Điều này cho thấy mức độ cực đoan của thời tiết do biến đổi khí hậu đang tác động mạnh mẽ đến khu vực miền trungViệt Nam. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiện trạng tiêu thoát nước và đề xuất các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước nhằm giảm ngập lụt cho khu công nghiệp Chân núi Bà Nà, thành phố Đà Nẵng.*
Kết quả nghiên cứu cho thấy trong điều kiện hiện trạng, khu vực nghiên cứu xuất hiện ngập lụt trên diện rộng, chủ yếu tập trung dọc các tuyến sông suối và vùng trũng thấp. Sau khi áp dụng các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước, đặc biệt là chỉnh trị và mở rộng lòng suối, tổng diện tích ngập giảm khoảng 73–75% so với hiện trạng, và khu vực quy hoạch khu công nghiệp không còn xảy ra ngập úng ngay cả trong các kịch bản mưa lớn và biến đổi khí hậu. Các kết quả đạt được khẳng định tính hiệu quả và khả thi của các giải pháp đề xuất, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quy hoạch và quản lý rủi ro ngập lụt đối với các khu công nghiệp có điều kiện tự nhiên tương tự.
Từ khóa: *Ngập lụt; hệ thống thoát nước; mô hình MIKE FLOOD; cải tạo lòng suối; biến đổi khí hậu.*

Summary: *Flooding is one of the major challenges to the sustainable development of industrial parks in central Vietnam, particularly in the context of extreme rainfall events and climate change. During the October flood events in Da Nang and Khanh Hoa, severe inundation occurred across the region, highlighting the increasing extremity of weather conditions driven by climate change and their significant impacts on central Vietnam. This study focuses on assessing the existing drainage conditions and proposing drainage system improvement measures to mitigate flooding in Hoa Ninh Industrial Park, Da Nang City.*
The results indicate that under existing conditions, widespread flooding occurs in the study area, mainly along natural river and stream corridors as well as low-lying areas. After implementing drainage system improvement measures, particularly stream channel rehabilitation and enlargement, the total inundated area is reduced by approximately 73–75% compared to the existing condition. Notably, the planned industrial park area remains free from flooding even under extreme rainfall and climate change scenarios. These findings confirm the effectiveness and feasibility of the proposed solutions and provide a scientific basis for flood risk management and drainage planning in industrial parks with similar natural conditions.
Keywords: *Flooding; drainage system; industrial park; stream channel rehabilitation; MIKE FLOOD model; climate change.*

1. MỞ ĐẦU

1.1. Bối cảnh nghiên cứu

Trong bối cảnh công nghiệp hóa và đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ tại Việt Nam, các khu công nghiệp (KCN) ngày càng đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế – xã hội, thu hút đầu tư và tạo việc làm. Tuy nhiên, quá trình hình thành và mở rộng các KCN cũng làm gia tăng áp lực lên hệ thống hạ tầng kỹ thuật, đặc biệt là hệ thống thoát nước mưa. Tại nhiều khu

Ngày nhận bài: 12/12/2025
Ngày thông qua phản biện: 22/01/2026
Ngày duyệt đăng: 04/02/2026

vực, việc san lấp mặt bằng, thay đổi lớp phủ bề mặt và thu hẹp không gian thoát nước tự nhiên đã làm suy giảm khả năng tiêu thoát nước, dẫn đến tình trạng ngập lụt cục bộ và kéo dài trong các đợt mưa lớn.

Đối với khu vực miền Trung Việt Nam, nơi có đặc điểm địa hình dốc, lưu vực nhỏ và chịu ảnh hưởng trực tiếp của mưa lớn tập trung trong thời gian ngắn, nguy cơ ngập lụt ngày càng gia tăng do tác động của biến đổi khí hậu. Trong đợt lũ tháng 10 vừa qua tại Đà Nẵng, Khánh Hòa đã gây ngập lụt nghiêm trọng cho khu vực này. Điều này cho thấy mức độ cực đoan của thời tiết do biến đổi khí hậu đang tác động mạnh mẽ đến khu vực miền trungViệt Nam. Các nghiên cứu gần đây cho thấy tần suất và cường độ các trận mưa cực đoan có xu hướng gia tăng, làm cho các hệ thống thoát nước được thiết kế theo điều kiện truyền thống không còn đáp ứng yêu cầu an toàn. Điều này đặc biệt nghiêm trọng đối với các KCN nằm ở hạ lưu các lưu vực sông suối nhỏ, nơi dòng chảy lũ tập trung nhanh và khả năng điều tiết tự nhiên hạn chế.

Khu công nghiệp Chân núi Bà Nà nằm tại huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng, chịu ảnh hưởng trực tiếp của hệ thống các lưu vực suối nhỏ có địa hình dốc và khả năng tập trung dòng chảy nhanh. Trong điều kiện hiện trạng, hệ thống thoát nước mưa tại khu vực nghiên cứu chủ yếu dựa vào các tuyến suối và kênh tự nhiên, chưa được cải tạo và chỉnh trị đồng bộ theo quy hoạch phát triển khu công nghiệp. Khi xảy ra các trận mưa lớn, đặc biệt với tần suất 1–2%, dòng chảy lũ từ các lưu vực ngoại vi tập trung nhanh về hạ lưu, làm gia tăng nguy cơ ngập lụt tại khu vực dự án và vùng lân cận.

Bên cạnh đó, quá trình san nền và chuyển đổi mục đích sử dụng đất phục vụ phát triển khu công nghiệp có thể làm thay đổi đáng kể điều kiện dòng chảy mặt và khả năng tiêu thoát nước tự nhiên. Nếu không có các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước phù hợp, nguy cơ ngập lụt sẽ tiếp tục gia tăng, ảnh hưởng đến an toàn hạ tầng kỹ thuật và hoạt động sản xuất. Do đó, việc đánh giá định lượng hiện trạng ngập lụt và nghiên cứu hiệu quả các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước cho khu công nghiệp Chân núi Bà Nà là vấn đề cấp thiết, làm cơ sở khoa học cho công tác thiết kế và quản lý rủi ro ngập lụt trong khu vực.

1.2. Mục tiêu và phạm vi nghiên cứu

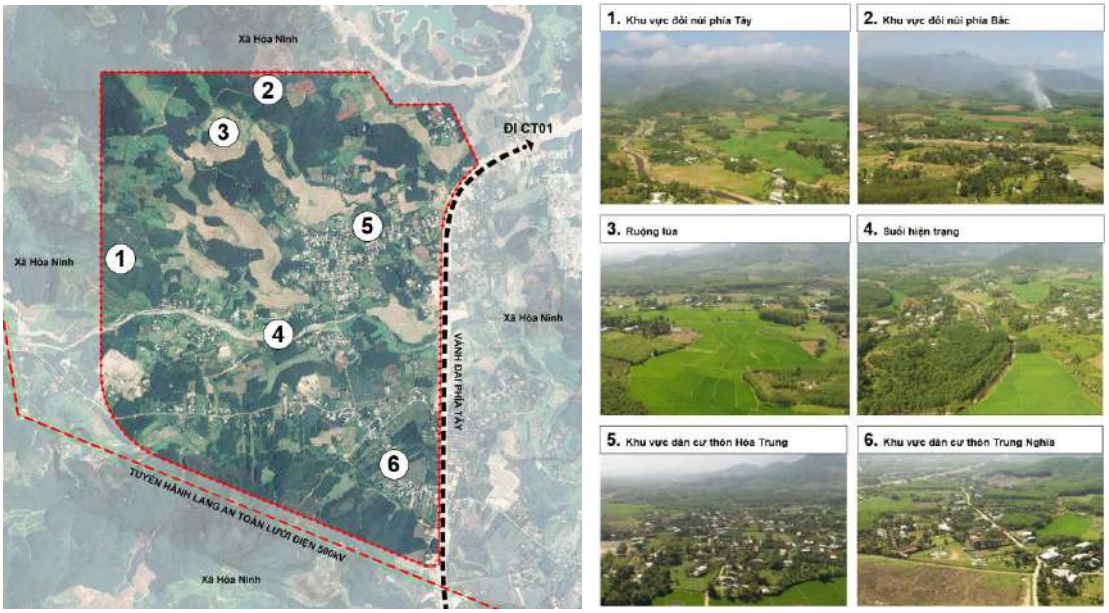
Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá khả năng tiêu thoát nước và mức độ ngập lụt tại khu công nghiệp Chân núi Bà Nà trong điều kiện hiện trạng và sau khi áp dụng các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất và kiểm chứng hiệu quả các giải pháp cải tạo lòng suối và kênh thoát nước chính nhằm giảm diện tích và độ sâu ngập lụt, bảo đảm an toàn cho khu công nghiệp.

Phạm vi nghiên cứu tập trung vào các lưu vực ngoại vi có ảnh hưởng trực tiếp đến khu công nghiệp Chân núi Bà Nà, với việc xem xét các kịch bản mưa thiết kế có tần suất 1% và 2%, đồng thời xét đến tác động của biến đổi khí hậu. Phương pháp nghiên cứu chủ yếu dựa trên tính toán thủy văn theo các tiêu chuẩn hiện hành và mô phỏng thủy lực bằng mô hình MIKE FLOOD (kết hợp mô hình một chiều và hai chiều) để đánh giá định lượng hiệu quả của các giải pháp đề xuất.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ DỮ LIỆU

Khu công nghiệp Chân núi Bà Nà nằm trên địa bàn xã Chân núi Bà Nà, huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng, với tổng diện tích quy hoạch khoảng 404,82 ha. Khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng trực tiếp của hệ thống các lưu vực suối nhỏ phân bố xung quanh khu công nghiệp, có đặc điểm địa hình dốc, diện tích lưu vực tương đối nhỏ và khả năng tập trung dòng chảy nhanh. Dòng chảy lũ từ các lưu vực này chủ yếu thoát theo các tuyến suối tự nhiên, sau đó đổ về hạ lưu khu vực dự án.

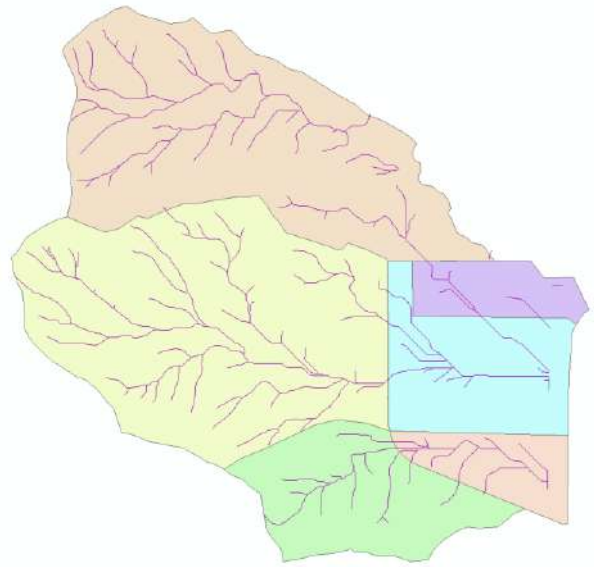
Trong điều kiện hiện trạng, hệ thống thoát nước mưa tại khu vực nghiên cứu chưa được cải tạo đồng bộ, chủ yếu dựa vào địa hình tự nhiên và các tuyến suối hiện hữu. Khi xảy ra các trận mưa lớn, đặc biệt với tần suất 1–2%, lưu lượng lũ từ các lưu vực ngoại vi tập trung nhanh, gây nguy cơ ngập lụt tại các vùng trũng thấp và khu vực hạ lưu, ảnh hưởng đến an toàn hạ tầng kỹ thuật và việc triển khai khu công nghiệp.



Hình 1: Hiện trạng và vị trí khu vực dự án

Dữ liệu phục vụ nghiên cứu bao gồm số liệu khí tượng, thủy văn và địa hình. Số liệu mưa ngày được thu thập từ trạm khí tượng Đà Nẵng với chuỗi số liệu liên tục trong giai đoạn 1976–2023, bảo đảm độ dài và độ tin cậy theo các tiêu chuẩn hiện hành. Trên cơ sở đó, các đặc trưng mưa thiết kế tương ứng với các tần suất 1% và 2% được xác định để phục vụ tính toán dòng chảy lũ.

Dữ liệu địa hình được sử dụng bao gồm bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000 khu vực nghiên cứu và bản đồ địa hình chi tiết tỷ lệ 1:2.000 khu vực dự án, được chuẩn hóa theo hệ tọa độ VN-2000. Ngoài ra, các dữ liệu hiện trạng sử dụng đất, hệ thống giao thông và các công trình thoát nước hiện hữu được thu thập và tích hợp vào mô hình tính toán. Các kịch bản biến đổi khí hậu RCP4.5 và RCP8.5 cũng được xem xét nhằm đánh giá ảnh hưởng của gia tăng lượng mưa cực đoan đến khả năng tiêu thoát nước và mức độ ngập lụt trong khu vực nghiên cứu.



Hình 2: Mạng lưới sông suối lưu vực tính toán

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

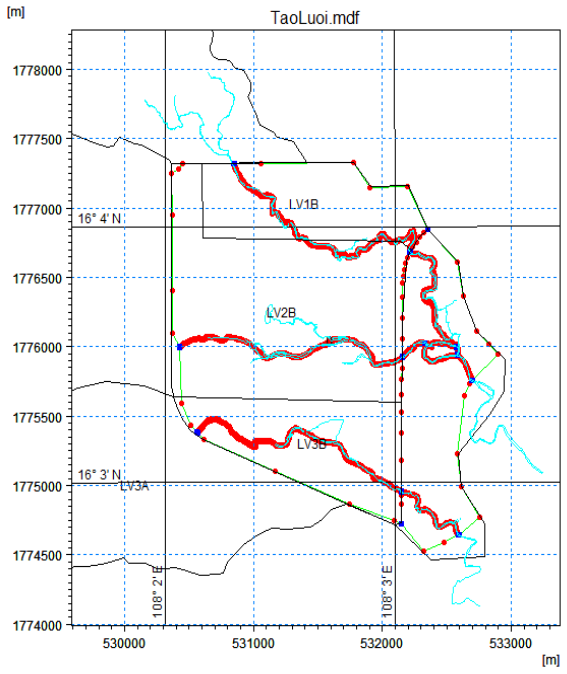
Nghiên cứu được thực hiện theo cách tiếp cận

định lượng, kết hợp giữa tính toán thủy văn theo các tiêu chuẩn hiện hành và mô phỏng thủy lực bằng mô hình toán. Trên cơ sở phân tích điều kiện tự nhiên, hiện trạng hệ thống thoát nước và đặc trưng các lưu vực ngoại vi, nghiên cứu xây dựng các kịch bản tính toán tương ứng với điều kiện hiện trạng và phương án cải tạo hệ thống thoát nước. Hiệu quả của các giải pháp cải tạo được đánh giá thông qua so sánh định lượng phạm vi và độ sâu ngập lụt giữa các kịch bản mô phỏng.

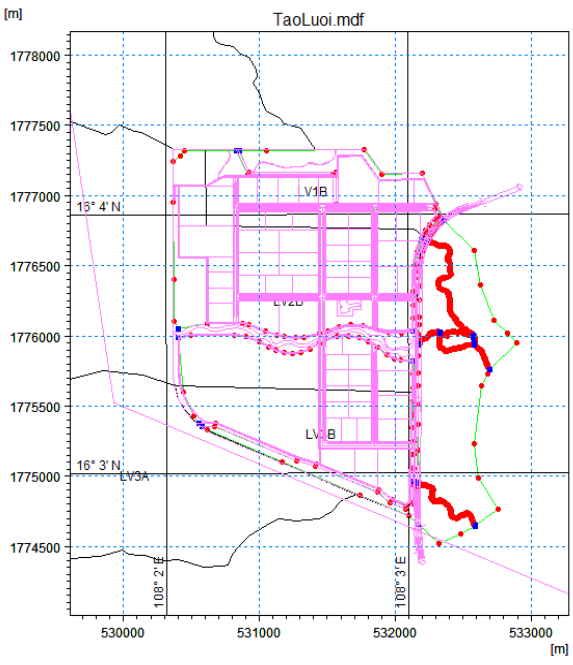
Mưa thiết kế được xác định từ chuỗi số liệu mưa ngày quan trắc tại trạm khí tượng Đà Nẵng trong giai đoạn 1976–2023. Trên cơ sở phân tích tần suất, lượng mưa 1 ngày lớn nhất tương ứng với các tần suất P = 1% và P = 2% được lựa chọn làm đầu vào cho tính toán dòng chảy lũ. Ngoài ra, các kịch bản mưa có xét đến tác động của biến đổi khí hậu theo RCP4.5 và RCP8.5 cũng được xem xét nhằm đánh giá mức độ gia tăng nguy cơ ngập lụt trong tương lai.

Đối với các lưu vực có diện tích nhỏ, phương pháp cường độ giới hạn theo tiêu chuẩn TCVN 13615:2022 được áp dụng để tính toán lưu lượng đỉnh lũ, tổng lượng lũ và thời gian lũ. Kết quả tính toán được xác định cho các tần suất P = 1% và P = 2%, làm cơ sở xây dựng các đường quá trình lũ đầu vào cho mô hình thủy lực.

Quá trình mô phỏng ngập lụt được thực hiện bằng mô hình MIKE FLOOD, kết hợp mô hình thủy lực một chiều MIKE 11 và mô hình thủy lực hai chiều MIKE 21.



Hình 3: Thiết lập lưới tính 2 chiều hiện trạng



Hình 4: Thiết lập lưới tính 2 chiều theo điều kiện quy hoạch

Các kịch bản mô phỏng được xây dựng bao gồm: (i) kịch bản địa hình hiện trạng và (ii) kịch bản địa hình sau cải tạo hệ thống thoát nước. Đối với mỗi kịch bản, mô phỏng được thực hiện tương ứng với các tần suất mưa P = 1% và P = 2%, đồng thời xét đến các kịch bản biến đổi khí hậu. Kết quả mô phỏng được phân tích thông qua các chỉ tiêu như phạm vi ngập, độ sâu ngập và sự phân bố không gian ngập lụt. Trên cơ sở đó, hiệu quả của các giải pháp

cải tạo hệ thống thoát nước được đánh giá một cách định lượng.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Kết quả tính toán thủy văn

Kết quả tính toán thủy văn cho các lưu vực ngoại vi ảnh hưởng đến khu công nghiệp Chân núi Bà Nà được xác định trên cơ sở mưa thiết kế với các tần suất P = 1% và P = 2%, sử dụng phương pháp cường độ giới hạn theo TCVN 13615:2022. Các thông số hình thái lưu vực được xác định từ dữ liệu địa hình số và tích hợp vào quá trình tính toán nhằm phản ánh đúng đặc điểm tự nhiên của khu vực nghiên cứu.

Kết quả cho thấy lưu lượng đỉnh lũ thiết kế có sự khác biệt rõ rệt giữa các lưu vực, phụ thuộc chủ yếu vào diện tích lưu vực, độ dốc địa hình và chiều dài mạng lưới sông suối. Đối với tần suất P = 1%, lưu lượng đỉnh lũ lớn nhất xuất hiện tại lưu vực LV2A với giá trị khoảng 188,0 m^3/s, tiếp theo là lưu vực LV1A đạt khoảng 140,7 m^3/s. Các lưu vực còn lại có lưu lượng đỉnh lũ dao động trong khoảng từ 27,9 đến 78,3 m^3/s. Khi xét tần suất P = 2%, lưu lượng đỉnh lũ giảm tương ứng, với giá trị lớn nhất tại lưu vực LV2A khoảng 163,3 m^3/s và tại lưu vực LV1A khoảng 122,5 m^3/s.

Ngoài lưu lượng đỉnh lũ, các đặc trưng thủy văn khác như tổng lượng lũ và thời gian lũ cũng được xác định cho từng lưu vực. Tổng lượng lũ có xu hướng tăng theo diện tích lưu vực, trong khi thời gian lũ tương đối ngắn, phản ánh đặc điểm tập trung dòng chảy nhanh của các lưu vực nhỏ có địa hình dốc tại khu vực miền Trung. Khi xét đến các kịch bản biến đổi khí hậu, đặc biệt với kịch bản RCP4.5 và RCP8.5, lưu lượng đỉnh lũ thiết kế có xu hướng gia tăng, cho thấy nguy cơ ngập lụt trong khu vực nghiên cứu có thể trở nên nghiêm trọng hơn nếu không áp dụng các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước phù hợp.

Nhìn chung, kết quả tính toán thủy văn cung cấp cơ sở định lượng quan trọng cho việc xây dựng các kịch bản mô phỏng thủy lực và đánh giá hiệu quả của các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước nhằm giảm ngập lụt cho khu công nghiệp Chân núi Bà Nà.

4.2. Kết quả mô phỏng ngập lụt trong điều kiện hiện trạng

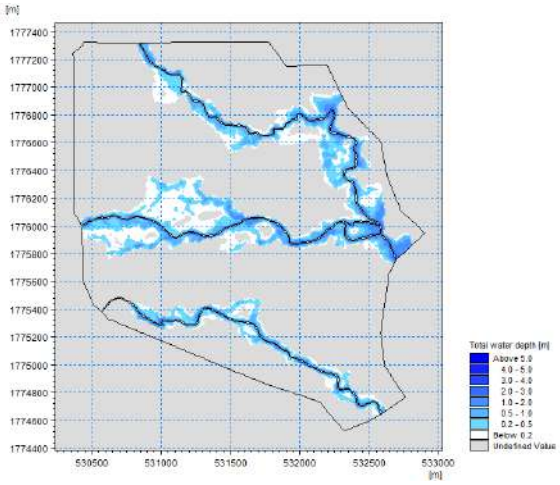
Kết quả mô phỏng ngập lụt trong điều kiện hiện trạng được thực hiện bằng mô hình MIKE FLOOD (kết hợp MIKE 11 và MIKE 21) cho các kịch bản mưa thiết kế với tần suất P = 2% và P = 1%. Các kết quả cho thấy phạm vi và mức độ ngập lụt chịu ảnh hưởng mạnh bởi đặc điểm địa hình dốc, khả năng tập trung dòng chảy nhanh của các lưu vực ngoại vi và sự hạn chế của hệ thống thoát nước tự nhiên chưa được cải tạo.

Đối với kịch bản lũ tần suất P = 2%, tổng diện tích ngập trong khu vực nghiên cứu đạt khoảng 100,6 ha. Ngập lụt chủ yếu tập trung dọc theo các tuyến sông, suối và tại các vùng trũng thấp ở hạ lưu. Trong đó, diện tích ngập nông dưới 0,5 m chiếm tỷ lệ lớn nhất, phản ánh hiện tượng ngập tràn diện rộng nhưng với độ sâu không lớn; các khu vực ngập sâu trên 1,0 m chỉ chiếm tỷ lệ nhỏ và xảy ra cục bộ tại một số vị trí ven sông.

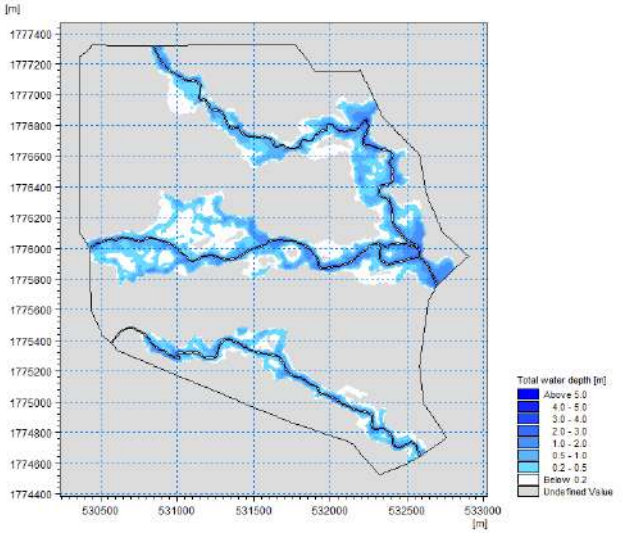
Khi xét kịch bản lũ tần suất P = 1%, phạm vi ngập lụt có xu hướng mở rộng, với tổng diện tích ngập tăng lên khoảng 108,0 ha. So với kịch bản P = 2%, cả diện tích và độ sâu ngập đều gia tăng, đặc biệt tại các vùng trũng và khu vực hạ lưu hệ thống suối. Tuy nhiên, ngập sâu trên 2,0 m vẫn chiếm tỷ lệ rất nhỏ, cho thấy ngập lụt trong điều kiện hiện trạng chủ yếu là ngập nông nhưng xảy ra trên diện rộng.

Kết quả mô phỏng cũng cho thấy sự phân bố ngập lụt có tính không gian rõ rệt, tập trung theo hành lang các tuyến thoát nước tự nhiên. Điều này phản ánh vai trò chi phối của hệ thống suối hiện hữu trong việc dẫn dòng và tiêu thoát lũ, đồng thời cho thấy những hạn chế của hệ thống hiện trạng khi phải tiếp nhận

đồng thời dòng chảy lũ từ nhiều lưu vực ngoại vi. Các kết quả này là cơ sở quan trọng để đánh giá mức độ rủi ro ngập lụt hiện tại và làm nền so sánh cho việc phân tích hiệu quả của các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước trong các kịch bản tiếp theo.



Hình 5: Kết quả ngập lụt kịch lũ tần suất 2% - Địa hình hiện trạng



Hình 6: Kết quả ngập lụt kịch bản lũ tần suất 1% RCP 4.5 - Địa hình hiện trạng

4.3. Kết quả mô phỏng ngập lụt sau khi cải tạo hệ thống thoát nước

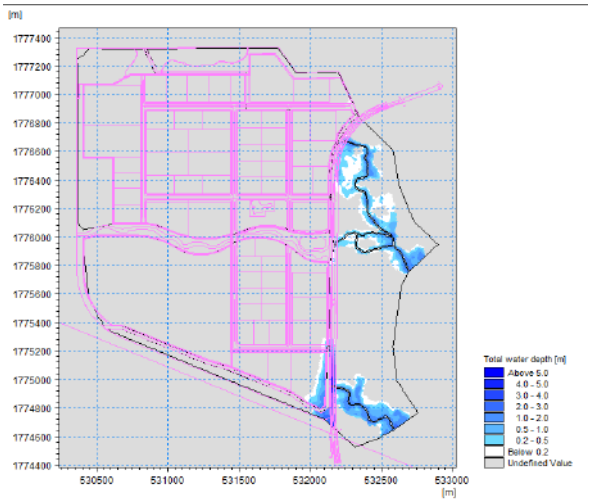
Kết quả mô phỏng ngập lụt sau khi áp dụng các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước cho thấy sự cải thiện rõ rệt về khả năng tiêu thoát nước trong khu vực nghiên cứu. Các giải pháp cải tạo chủ yếu bao gồm mở rộng và chỉnh trị lòng suối, cải thiện khả năng dẫn dòng của các tuyến kênh thoát nước chính, đồng thời bảo đảm sự kết nối đồng bộ giữa hệ thống thoát nước trong khu công nghiệp và các lưu vực ngoại vi.

Đối với kịch bản lũ tần suất P = 2%, tổng diện tích ngập trong khu vực nghiên cứu giảm xuống còn khoảng 24,5 ha, tương ứng mức giảm xấp xỉ 75% so với điều kiện hiện trạng. Phạm vi ngập lụt chủ yếu tập trung ở khu vực hạ lưu vùng mô phỏng, trong khi phần lớn diện tích khu công nghiệp không còn xuất hiện hiện tượng ngập úng. Độ sâu ngập phổ biến nhỏ hơn 0,5 m, các khu vực ngập sâu trên 1,5 m chỉ còn xảy ra cục bộ với diện tích rất hạn chế.

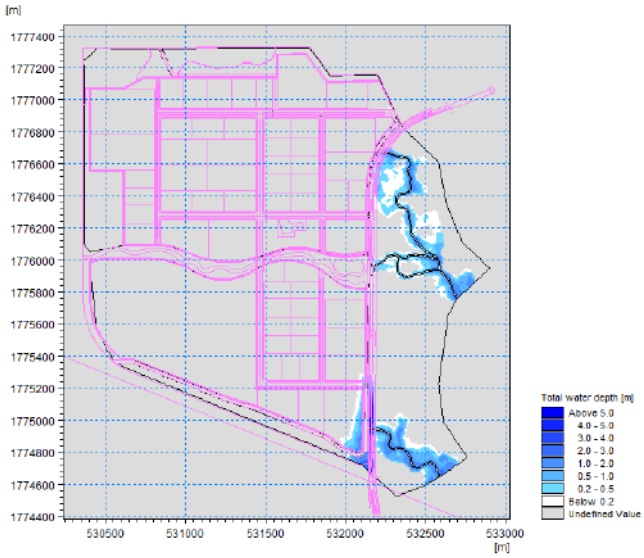
Với kịch bản lũ tần suất P = 1%, tổng diện tích ngập sau cải tạo đạt khoảng 28,5–29,2 ha, giảm khoảng 73% so với diện tích ngập trong điều kiện hiện trạng. Kết quả cho thấy không chỉ phạm vi ngập được thu hẹp đáng kể mà độ sâu ngập cũng giảm rõ rệt trên toàn khu vực nghiên cứu. Các khu vực ngập sâu trên 2,0 m gần như được loại bỏ, trong khi ngập nông dưới 0,5 m chiếm tỷ lệ chủ yếu và phân bố rải rác ở một số vị trí hạ lưu.

Khi xét đến các kịch bản biến đổi khí hậu, mặc dù lưu lượng lũ thiết kế có xu hướng gia tăng, hệ thống thoát nước sau cải tạo vẫn duy trì hiệu quả tiêu thoát nước tốt. Diện tích và độ sâu ngập tăng không đáng kể so với các kịch bản không xét biến đổi khí hậu, và khu vực quy hoạch khu công nghiệp vẫn không xuất hiện hiện tượng ngập úng hay đọng nước. Điều này cho thấy các giải pháp cải tạo được đề xuất có tính ổn định và khả năng thích ứng cao trước những bất định do biến đổi khí hậu.

Nhìn chung, kết quả mô phỏng khẳng định rằng việc cải tạo hệ thống thoát nước, đặc biệt là chỉnh trị và mở rộng lòng suối, đã làm giảm đáng kể mức độ ngập lụt và nâng cao khả năng tiêu thoát nước cho khu công nghiệp Chân núi Bà Nà. Đây là cơ sở khoa học quan trọng cho việc lựa chọn và triển khai các giải pháp kỹ thuật nhằm bảo đảm an toàn hạ tầng và phát triển bền vững khu công nghiệp trong điều kiện mưa lớn và biến đổi khí hậu.



Hình 7: Kết quả ngập lụt kịch lũ tần suất 1% - Địa hình xây dựng RCP4.5



Hình 8: Kết quả ngập lụt kịch lũ tần suất 1% - Địa hình xây dựng RCP8.5

4.4. So sánh và lượng hóa hiệu quả của các giải pháp cải tạo

Trên cơ sở kết quả mô phỏng ngập lụt trong điều kiện hiện trạng và sau khi cải tạo hệ thống thoát nước, hiệu quả của các giải pháp đề xuất được lượng hóa thông qua so sánh phạm vi và độ sâu ngập lụt giữa các kịch bản tính toán. Kết quả cho thấy các giải pháp cải tạo đã mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm ngập lụt cho khu vực nghiên cứu.

Đối với kịch bản lũ tần suất P = 2%, tổng diện tích ngập giảm từ khoảng 100,6 ha trong điều kiện hiện trạng xuống còn khoảng 24,5 ha sau cải tạo, tương ứng mức giảm xấp xỉ 75%. Không chỉ phạm vi ngập được thu hẹp đáng kể, mà độ sâu ngập cũng giảm rõ rệt, với phần lớn diện tích ngập còn lại có độ sâu nhỏ hơn 0,5 m. Các khu vực ngập sâu trên 1,5 m gần như được loại bỏ và chỉ còn xuất hiện cục bộ tại một số vị trí hạ lưu.

Với kịch bản lũ tần suất P = 1%, tổng diện tích ngập trong điều kiện hiện trạng khoảng 108,0 ha, trong khi sau cải tạo chỉ còn khoảng 28,5–29,2 ha, tương ứng mức giảm khoảng 73%. Đặc biệt, khu vực quy hoạch khu công nghiệp không còn xuất hiện hiện tượng ngập úng hay đọng nước, cho thấy các giải pháp cải tạo đã đáp ứng yêu cầu an toàn thoát nước đối với hạ tầng công nghiệp trong các điều kiện mưa lớn.

Khi xét đến các kịch bản biến đổi khí hậu, mặc dù lưu lượng lũ thiết kế gia tăng, hiệu quả giảm ngập của hệ thống sau cải tạo vẫn được duy trì. Diện tích ngập có tăng nhẹ so với các kịch bản không xét biến đổi khí hậu, song mức gia tăng này không đáng kể và không làm thay đổi xu thế chung là giảm mạnh phạm vi và độ sâu ngập so với điều kiện hiện trạng. Điều này cho thấy các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước có khả năng thích ứng tương đối tốt trước tác động của biến đổi khí hậu.

Tổng hợp các kết quả so sánh cho thấy việc cải tạo và chỉnh trị hệ thống thoát nước, đặc biệt là mở rộng lòng suối và nâng cao khả năng dẫn dòng, đã góp phần nâng cao đáng kể năng lực tiêu thoát nước cho khu vực nghiên cứu. Các kết quả lượng hóa này là minh chứng rõ ràng cho hiệu quả kỹ thuật của các giải pháp đề xuất và cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy cho việc áp dụng trong quy hoạch và thiết kế các khu công nghiệp có điều kiện tự nhiên tương tự.

5. THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước, đặc biệt là chỉnh trị và mở rộng lòng suối, đã mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm ngập lụt cho khu công nghiệp Chân núi Bà Nà. Việc giảm mạnh cả phạm vi và độ sâu ngập lụt trong các kịch bản mưa thiết kế có và không xét đến biến đổi khí hậu cho thấy vai trò then chốt của hệ thống thoát nước tự nhiên khi được cải tạo và tích hợp hợp lý với quy hoạch sử dụng đất khu công nghiệp. Các kết quả này khẳng định rằng đối với các khu vực có đặc điểm lưu vực nhỏ, địa hình dốc và khả năng tập trung dòng chảy nhanh như khu vực nghiên cứu, giải pháp ưu tiên cải tạo tuyến thoát nước chính là hướng tiếp cận phù hợp và hiệu quả.

So sánh với các nghiên cứu trước đây về ngập lụt đô thị và khu công nghiệp, kết quả của nghiên cứu này cho thấy xu thế tương đồng về hiệu quả của các giải pháp chỉnh trị kênh, suối trong việc nâng cao khả năng tiêu thoát lũ. Tuy nhiên, điểm khác biệt của nghiên cứu nằm ở việc lượng hóa rõ ràng mức độ giảm ngập thông qua mô phỏng thủy lực kết hợp một chiều và hai chiều, cho phép đánh giá đồng thời cả quá trình dòng chảy trong lòng dẫn và ngập tràn bề mặt. Điều này giúp phản ánh đầy đủ hơn các tương tác thủy lực phức tạp trong khu vực nghiên cứu, vốn khó có thể đánh giá chính xác nếu chỉ sử dụng các phương pháp tính toán truyền thống.

Việc xét đến các kịch bản biến đổi khí hậu trong nghiên cứu cho thấy mặc dù lưu lượng lũ thiết kế có xu hướng gia tăng, hệ thống thoát nước sau cải tạo vẫn duy trì được hiệu quả tiêu thoát tương đối ổn định. Điều này gợi ý rằng các giải pháp cải tạo được đề xuất không chỉ đáp ứng yêu cầu trong điều kiện hiện tại mà còn có khả năng thích ứng nhất định trước các bất định của khí hậu trong tương lai. Tuy vậy, mức độ thích ứng này vẫn phụ thuộc vào giả định về kịch bản mưa và các điều kiện biên trong mô hình, do đó cần được tiếp tục kiểm chứng khi có thêm số liệu quan trắc thực tế.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tiến hành đánh giá toàn diện hiện trạng tiêu thoát nước và mức độ ngập lụt tại khu công nghiệp Chân núi Bà Nà trên cơ sở phân tích thủy văn, tính toán dòng chảy lũ và mô phỏng thủy lực bằng mô hình MIKE FLOOD (kết hợp mô hình một chiều và hai chiều). Kết quả cho thấy trong điều kiện hiện trạng, khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng đáng kể của ngập lụt khi xảy ra các trận mưa lớn với tần suất 1–2%, với phạm vi ngập rộng và tập trung chủ yếu dọc các tuyến sông suối và vùng trũng thấp ở hạ lưu.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã đề xuất và đánh giá hiệu quả các giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước, trong đó trọng tâm là chỉnh trị và mở rộng lòng suối nhằm nâng cao khả năng dẫn dòng và tiêu thoát lũ. Kết quả mô phỏng cho thấy các giải pháp cải tạo đã làm giảm đáng kể cả phạm vi và độ sâu ngập lụt. Cụ thể, tổng diện tích ngập giảm khoảng 73–75% so với điều kiện hiện trạng đối với các kịch bản mưa thiết kế, và khu vực quy hoạch khu công nghiệp không còn xuất hiện hiện tượng ngập úng hay đọng nước sau khi cải tạo.

Khi xét đến tác động của biến đổi khí hậu thông qua các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5,

mặc dù lưu lượng lũ thiết kế có xu hướng gia tăng, hệ thống thoát nước sau cải tạo vẫn duy trì được hiệu quả tiêu thoát tương đối ổn định. Điều này cho thấy các giải pháp đề xuất không chỉ phù hợp với điều kiện hiện tại mà còn có khả năng thích ứng nhất định trước những bất định của khí hậu trong tương lai.

Nhìn chung, nghiên cứu đã chứng minh tính hiệu quả và tính khả thi của giải pháp cải tạo hệ thống thoát nước trong việc giảm ngập lụt cho khu công nghiệp Chân núi Bà Nà. Các kết quả đạt được cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy cho công tác quy hoạch, thiết kế và quản lý rủi ro ngập lụt tại các khu công nghiệp có điều kiện tự nhiên tương tự, đồng thời góp phần định hướng phát triển hạ tầng thoát nước theo hướng bền vững trong bối cảnh biến đổi khí hậu.