TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá tác động ngập lụt và đề xuất giải pháp thích ứng cho các thành phố tỉnh Bình Dương - Giai đoạn 2030-2050

Đoàn Thu Hà[1]*, Nguyễn Trung Nam[2]

[1] Trường Đại học Thủy lợi; thuha_ctn@tlu.edu.vn
[2] Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam; nguyentrungnam47v@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thuha_ctn@tlu.edu.vn; Tel.: +84–948172299

Ban Biên tập nhận bài: 5/10/2024; Ngày phản biện xong: 20/11/2024; Ngày đăng bài: 25/4/2025

Tóm tắt: Bình Dương là tỉnh công nghiệp ở phía Nam, có tốc độ thị hóa cao với 5 thành phố tỷ lệ đô thị hóa trên 84,4%. Tình trạng ngập lụt đô thị gia tăng về tần suất và mức độ, ảnh hưởng tới phát triển kinh tế cũng như đời sống xã hội những năm gần đây.Tuy nhiên, nghiên cứu về ngập đô thị cho tỉnh Bình Dương khá hạn chế, điều này dẫn đến thiếu cơ sở khoa học cho xây dựng các giải pháp quản lý lũ ở Bình Dương giai đoạn 2030 và 2050. Ngoài ra, lựa chọn giải pháp cho quản lý ngập đô thị hiện nay còn khoảng trống trong nghiên cứu kết hợp giữa hai nhóm giải pháp công trình và giải pháp dựa vào tự nhiên, mà chủ đạo đề xuất riêng lẻ. Vì vậy, mục tiêu nghiên cứu xác định nguyên nhân, xu thế yếu tố ngây ngập lũ, đồng thời dự báo tác động ngập lũ trên 5 thành phố của tỉnh, từ đó đề xuất giải pháp thích ứng kết hợp giữa giải pháp công trình và giải dựa vào tự nhiên. Phương pháp kiểm định thống kê và mô hình thủy văn - thủy lực được áp dụng. Kết quả cho thấy mưa lớn và triều cường có xu thế ngày càng gia tăng và đây nguyên nhân chính làm tình trạng ngập, và mức độ ngập trầm trọng hơn bởi tình trạng đô thị hóa và biến đổi khí hậu. Nghiên cứu đề xuất ba nhóm giải pháp chính gồm (i) hoàn thiện hệ thống công trình dọc sông chính (ii) cải tạo duy trì các suối thoát nước kết hợp với giải pháp động lực (iii) duy trì khu vực trữ nước dọc sông Sài Gòn.

Từ khóa: Ngập lụt; Thành phố; Đô thị hóa; Triều cường; Mưa lớn; Đồng Nai - Sài Gòn; Bình Dương.

1. Đặt vấn đề

Ngập lụt đô thị ngày càng trở thành vấn đề toàn cầu do ảnh hưởng của quá trình đô thị hóa nhanh và biến đổi khí hậu làm gia tăng về tần suất và cường suất của các trận mưa [1, 2]. Những tiến bộ gần đây trong nghiên cứu về ngập lụt đô thị bao gồm sự phát triển của các mô hình dựa trên nguyên tắc vật lý (thủy văn - thủy lực) tiên tiến và ứng dụng các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo và học máy [2, 3]. Một số mô hình điển hình như HEC-RAS/HMS, MIKE, và SWMM, ngày càng được sử dụng để đánh giá nguy cơ ngập lụt, mặc dù vẫn tồn tại thách thức trong việc thu thập dữ liệu có độ phân giải cao để mô phỏng chính xác 4. Các giải pháp quản lý ngập lụt đô thị phổ biến bao gồm các giải pháp công trình, giải pháp phi công trình có tính đổi mới thiên hướng giảm tác động và dựa vào tự nhiên 4. Giải pháp dựa vào tự nhiên ngày càng được công nhận có triển vọng trong quản lý rủi ro lũ lụt đô thị và thích ứng với biến đổi khí hậu. Các giải pháp như hệ thống thoát nước đô thị bền vững, cơ sở hạ tầng xanh và thành phố bọt biển, có thể thích ứng với lũ lụt do các sự kiện mưa lớn có tần suất cao đồng thời mang lại các lợi ích kinh tế, sinh thái và xã hội [5, 6]. Tuy nhiên, những giải pháp này có thể kém hiệu quả hơn đối với hiện tượng thời tiết cực đoan, và cộng

gộp nhiều yếu tố (lũ, mưa lớn, nước dâng), đòi hỏi phải tích hợp với giải pháp công trình truyền thống 6. Việc tích hợp công nghệ tiên tiến, hạ tầng xanh và kết hợp với các giải pháp công trình xem xét cả yếu tố kinh tế - xã hội là điều cần thiết để xây dựng các chiến lược hiệu quả và toàn diện nhằm tăng cường khả năng chống chịu với ngập lụt đô thị [1, 4].

Ở Việt Nam, ngập lụt đô thị đang trở thành vấn đề nghiêm trọng đặc biệt ở các thành phố lớn như Tp. Hồ Chí Minh, Hà Nội, Đà Nẵng, Cần Thơ, đã gây ra những tổn thất kinh tế, ảnh hưởng chất lượng cuộc sống của người dân và thiệt hại cho cơ sở hạ tầng. Các yếu tố chính góp phần gây ra ngập lụt bao gồm mưa lớn, triều cường, nước biển dâng do biến đổi khí hậu (BĐKH), quá trình đô thị hóa nhanh chóng, và quy hoạch chưa phù hợp. Về mặt phương pháp, ứng dụng mô hình toán thủy văn, thủy lực để đánh giá nguyên nhân và xây dựng giải pháp áp dụng phổ biến trong các nghiên cứu ngập lụt đô thị [7–10]. Giải pháp chống, giảm thiểu và thích ứng ngập lụt đô thị, các giải pháp công trình như cống ngăn triều, đê, trạm bơm hiện nay đóng vai trò chủ đạo trong khi đó các giải pháp về thoát nước đô thị bền vững, giải pháp dựa vào tự nhiên dần được nghiên cứu ở quy mô nhỏ [11, 12]. Một vấn đề còn đang bỏ ngỏ chính là nghiên cứu sự kết hợp giữa các giải pháp công trình có quy mô lớn và các giải pháp dựa vào tự nhiên phân tán quy mô nhỏ để gia tăng hiệu quả chống lũ, thích ứng với biến đổi khí hậu cho khu vực đô thị [11, 13].

Bình Dương được đánh giá là một trong những tỉnh có tốc độ đô thị hóa, công nghiệp hóa nhanh ở Việt Nam, với 65% cơ cấu kinh tế là sản xuất công nghiệp, trong đó số khu và cụm công nghiệp lần lượt là 29 khu và 12 cụm với tổng diện tích 21 ngàn ha. Về mặt đô thị hóa, 5 thành phố của Bình Dương (Thủ Dầu Một, Dĩ An, Thuận An, Tân Uyên và Bến Cát) có tỷ lệ đô thị hóa đều trên 84,4%. Dân số tỉnh Bình Dương là 2.685.513 người năm 2021, mật độ 964 người/km^2 cao hơn mật độ trung bình của cả nước (297 người/km^2), đứng thứ 2 sau TP. Hồ Chí Minh trong vùng Đông Nam Bộ.

Về tác động của ngập lụt đô thị, ngập lụt đô thị có thể gây ra thiệt hại lớn về kinh tế và làm gián đoạn nghiêm trọng đời sống người dân cũng như chức năng đô thị [14, 15]. Xem xét ở khía cạnh kinh tế, cho thấy đối với các đô thị với mức độ đô thị hóa cao, và là nơi tập trung nhiều cụm, khu công nghiệp, thương mại, dịch vụ như TP. Hồ Chí Minh, Bình Dương... mức độ tổn thương do ngập lũ gây ra sẽ là rất lớn. Hiện trạng nghiên cứu ngập lũ ở đô thị tỉnh Bình Dương khá hạn chế, các nghiên cứu ngập chủ yếu trong các quy hoạch ở quy mô lưu vực [16, 17].

Từ những phân tích trên về hiện trạng nghiên cứu ngập đô thị tại Bình Dương, về khoảng trống trong đánh giá sự kết hợp giữa các giải pháp chống ngập quy mô lớn kết hợp với các giải pháp dựa vào tự nhiên ở Việt Nam, đặc biệt xem xét tới đặc điểm địa phương trong ra quyết định lựa chọn giải pháp. Mục tiêu của nghiên này cứu nhằm làm rõ: (i) xác định nguyên nhân, xu thế của các yếu tố gây ngập lụt trên địa bàn tỉnh Bình Dương; (ii) dự báo tác động ngập lũ lên năm thành phố gồm Dĩ An, Thuận An, Bến Cát, Thủ Dầu Một và Tân Uyên xem xét tới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu nước biển dâng (BĐKH-NBD); (iii) đề xuất giải pháp thích ứng kết hợp giữa giải pháp công trình và giải pháp dựa vào tự nhiên phù hợp với đặc điểm ngập lũ của từng thành phố. Kết quả nghiên cứu kỳ vọng làm cơ sở khoa học trong xây dựng giải pháp quản lý bền vững cho các đô thị tỉnh Bình Dương. Tương tự, áp dụng cho các đô thị, thành phố khác trong áp dụng kết hợp giải pháp công trình và giải pháp dựa vào tự nhiên thích ứng với ngập lụt dưới tác động của phát triển kinh tế và BĐKH.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

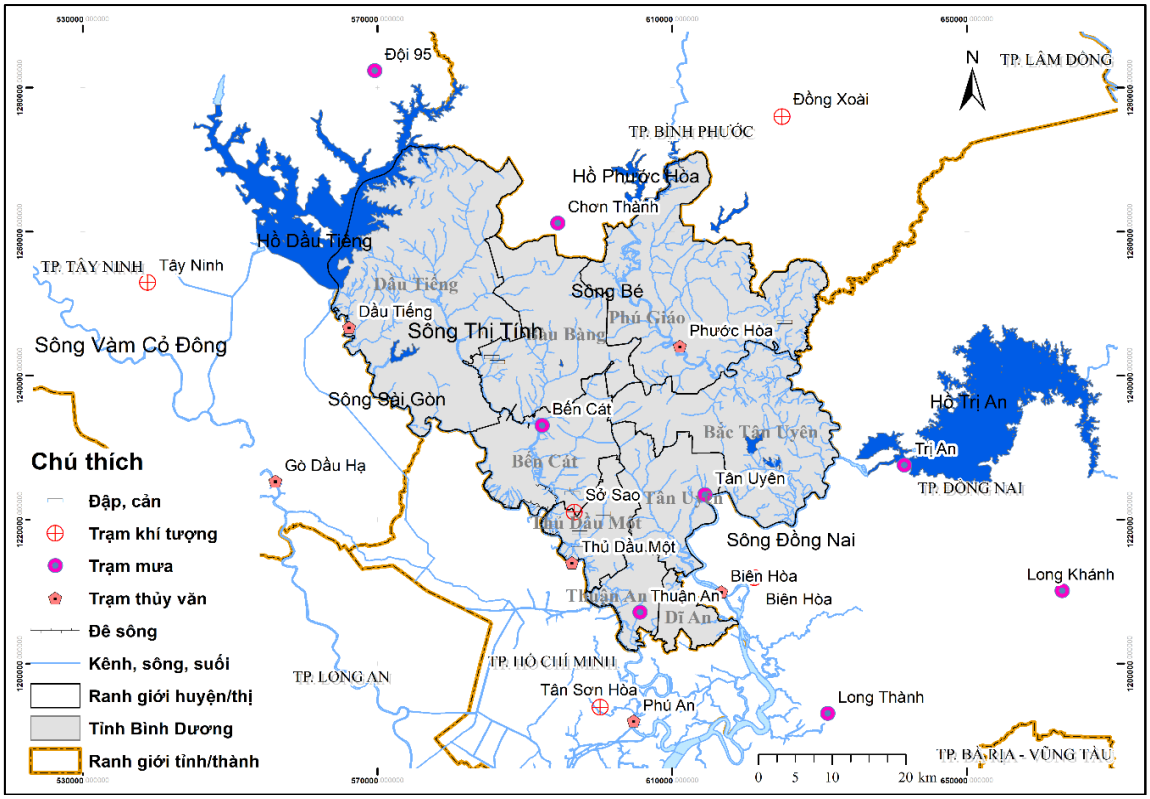
2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Về mặt tự nhiên, Bình Dương thuộc khu vực hạ lưu vực hệ thống sông Đồng Nai - Sài Gòn, với 4 sông lớn chảy qua địa bàn tỉnh (sông Đồng Nai, sông Sài Gòn, sông Bé, và sông Thị Tính). Ngoài ra, suối, và rạch là phụ lưu các sông này phân bố ở các khu vực ven

sông.Về mặt địa hình, có hai dạng địa hình chính: đồi núi thấp và bằng phẳng phân bố chủ đạo trên toàn tỉnh, trong khi đó địa hình núi và thung lũng, bãi bồi có tỷ lệ nhỏ. Dạng bãi bồi phân bố dọc các sông lớn với giá trị cao độ thấp hơn 2,0 m, đây là khu vực có rủi ro cao tác động bởi lũ lụt, ngập triều.

Về hiện trạng hạ tầng thoát nước và thủy lợi, một số khu vực hạ tầng xây dựng đã lâu và thiếu đồng bộ và chưa khép kín giữa các khu vực cũ và mới. Ngoài ra tình trạng các suối, rạch chính bị lấn chiếm không gian dẫn tới giảm khả năng thoát nước [18]. Hạ tầng thủy lợi hiện trạng gồm: đê sông với chiều dài 44,757 km (cao trình từ +1,7-2,2 m) công trình thủy lợi và hạ tầng kỹ thuật thoát nước lần lượt là 38 và 8 công trình. Với hệ thống này, tổng diện tích tưới thiết kế 3.891 ha và 21.338 ha tiêu thoát nước. Nhiệm vụ chính của hạ tầng thủy lợi hiện nay là tưới, tiêu phòng lũ trong sản xuất nông nghiệp, và hỗ trợ tiêu thoát nước cho khu vực đô thị, dân cư và khu, cụm công nghiệp. Đánh giá chung hạ tầng thủy lợi, hỗ trợ tiêu thoát lũ xây dựng khá lâu, và chưa khép khín đặc biệt ở một số khu vực đô thị [19].

Đặc điểm và hiện trạng ngập lụt, các yếu tố gây ngập lụt ở Bình Dương đến từ tác động riêng rẽ và cộng gộp của lũ từ thượng nguồn của lưu vực sông Đồng Nai - Sài Gòn, mưa lớn và triều cường. Nhóm yếu tố làm gia tăng mức độ ngập gồm đô thị hóa, yếu tố biến đổi khí hậu. Trong hơn 20 năm trở lại đây, tình trạng ngập đặc biệt ngập lụt đô thị của Bình Dương có xu hướng gia tăng, với hơn 88 điểm ngập khu vực dân cư, và 13 điểm ngập khu vực nông nghiệp trên toàn tỉnh; và đặc biệt có nhiều điểm ngập nặng và thường xuyên xảy ra khi có mưa lớn, đặc biệt ở các TP. Thuận An, Thủ Dầu Một, Dĩ An [18].

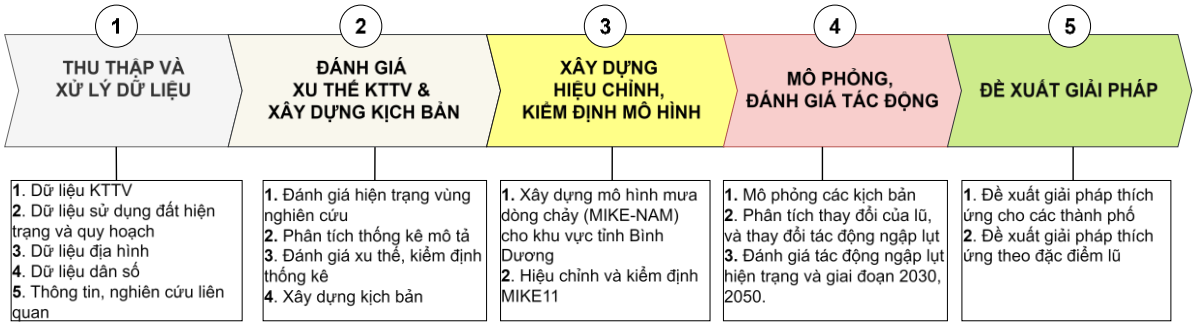


Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Tài liệu sử dụng trong nghiên cứu

Khung nghiên cứu: Nghiên cứu thực hiện qua năm bước chính như trình bày trong 0 gồm: (i) thu thập và xử lý dữ liệu về khí tượng thủy văn (KTTV), số liệu địa hình, sử dụng đất và số liệu dân số để phục vụ đánh tác tác động ngập, cũng như đánh giá xu thế, và xây dựng kiểm định mô hình toán; (ii) kiểm định thống kê xu thế của các yếu tố gây ngập từ đó làm cơ sở xây dựng kịch bản mô phỏng, xây dựng kịch bản cho nghiên cứu; (iii) xây dựng

mô hình mưa dòng chảy (MIKE11-NAM) chi tiết cho các suối tỉnh Bình Dương, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE11; (iv) đánh giá tác động ngập lũ lên dân sinh, sử dụng đất và phân tích đặc điểm ngập lũ; (v) đề xuất giải pháp thích ứng.

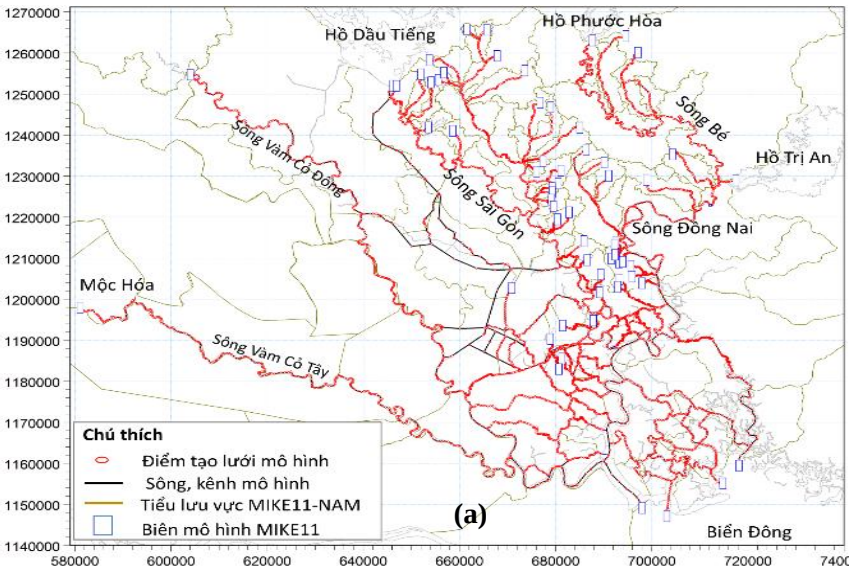


Hình 2. Sơ đồ cấu trúc của nghiên cứu.

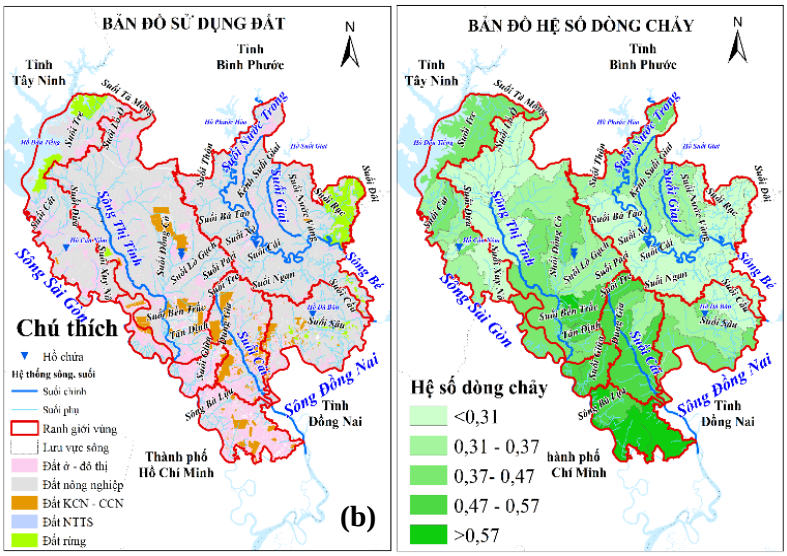
Số liệu, tài liệu sử dụng trong nghiên cứu: Mô hình MIKE gồm (MIKE11 và MIKE11-NAM) phát triển bởi Viện thủy lực Đan Mạch [20, 21]. Mô hình MIKE trong nghiên cứu kế thừa từ mô hình của Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam [22], đối với khu vực tỉnh Bình Dương MIKE11-NAM được chi tiết hóa cho các sông, suối trong tỉnh, có 47 tiểu lưu vực; số liệu xả từ các hồ thượng lưu Dầu Tiếng, Phước Hòa, và Trị An từ 1980-2021; số liệu mực nước triều đặc trưng tại trạm Thủ Dầu Một, Dầu Tiếng, Phú An, Biên Hòa từ 1980-2022; số liệu mực nước triều giờ Thủ Dầu Một, Dầu Tiếng, Phú An, Biên Hòa năm 2019 & 2020; số liệu mưa ngày từ 1980-2021 tại các trạm Sở Sao, Dầu Tiếng, Phước Hòa, Tân Uyên và Thuận An; Bản đồ sử dụng đất năm 2021, số liệu dân số thống kê đến năm 2021.

2.3. Thiết lập mô hình toán

Phạm vi mô hình MIKE11, mô hình xây dựng cho khu vực hạ lưu sông Đồng Nai-Sài Gòn, từ hạ lưu hồ Dầu Tiếng, hồ Phước Hòa, Trị An chảy ra Biển Đông trình bày trong Hình 3a. Cụ thể, mô hình có 126 sông kênh lớn nhỏ, trong đó có các sông lớn như sông Sài Gòn, Đồng Nai, sông Bé, và sông Thị Vải. Biển mô hình gồm: (1) Biên thượng lưu (5 biên) lưu lượng xả từ các hồ Dầu Tiếng, Phước Hòa, Trị An, sông Vàm Cỏ Đông (tính từ mô hình mưa dòng chảy), và sông Vàm Cỏ Tây (tại Mộc Hóa); (2) biên hạ lưu (4 biên) tại các cửa sông Thị Vải, Lòng Tàu, Đồng Tranh, Soài Rạp, số liệu này lấy từ trạm hải văn Vũng Tàu; (3) biên nhập lưu khu giữa từ mô hình MIKE11-NAM, có 111 tiểu lưu vực trong đó đối với nội tỉnh Bình Dương có 47 tiểu lưu vực. Kết quả từ MIKE11-NAM nhập dọc sông, suối theo tỷ lệ lưu vực. Hệ số dòng chảy được xác định từ bản đồ sử dụng đất cho các tiểu lưu vực, như trình bày Hình 3b.



Hình 3. (a) Mạng lưới mô hình MIKE11 và tiểu lưu vực mô hình MIKE 11-NAM vùng nghiên cứu.



Hình 3. (b) Bản đồ sử dụng đất - hệ số dòng chảy các tiểu lưu vực.

2.4. Phương pháp đánh giá xu thế và đánh giá khả năng mô hình toán

Do các đặc trưng số liệu đánh giá xu thế không tuân theo phân phối chuẩn. Vì vậy, phương pháp kiểm định phi tham số gồm kiểm định Mann-Kendall và ước lượng xu thế Sen được lựa chọn để đánh giá xu thế [23]. Đây là những phương pháp phi tham số được dùng phổ biến để xác định xu thế thay đổi các yếu tố khí tượng, thủy văn, hải văn [24, 25].

Kiểm định Mann-Kendall: Kiểm nghiệm Mann-Kendall dạng kiểm định phi tham số [26, 27] chỉ số thống kê Mann-Kendall S được tính bởi.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \text{sign}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Trong đó $\text{sign}(x_i - x_j) \begin{cases} 1 \text{ khi } x_i - x_j > 0 \\ 0 \text{ khi } x_i - x_j = 0 \\ -1 \text{ khi } x_i - x_j < 0 \end{cases}$

Giá trị S > 0 chỉ xu thế tăng, S < 0 chỉ xu thế giảm. Tuy nhiên cần phải tính toán xác xuất đi kèm với S và n để xác định mức ý nghĩa của xu hướng.

Phương sai của S được tính theo công thức:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{g} t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right] \quad (2)$$

Trong đó g là số các nhóm có giá trị giống nhau, t_p là số phần tử thuộc nhóm thứ p. Trường hợp số lượng cỡ mẫu, n > 10, chỉ số thống kê kiểm tra chuẩn, Z_s tính theo công thức sau.

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}}, \text{nếu } S > 0 \\ 0, \text{nếu } S = 0 \\ \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}}, \text{nếu } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Phương pháp ước lượng xu thế Sen (Sen's slope): Đây là phương pháp phi tham số để ước tính xu hướng trong mẫu N cặp số liệu 23.

$$Q_i = \text{median}\left\{\frac{x_j - x_k}{j-k}\right\} \text{ với i=1, 2,.....N} \quad (4)$$

Trong đó x_i, và x_k là số liệu bước thời gian thứ j, và k với (j > k); n: số phần tử trong chuỗi số liệu tính toán.

Các giá trị N của Q_i được xếp hạng từ thấp nhất đến cao nhất và độ dốc Sen được ước tính như sau:

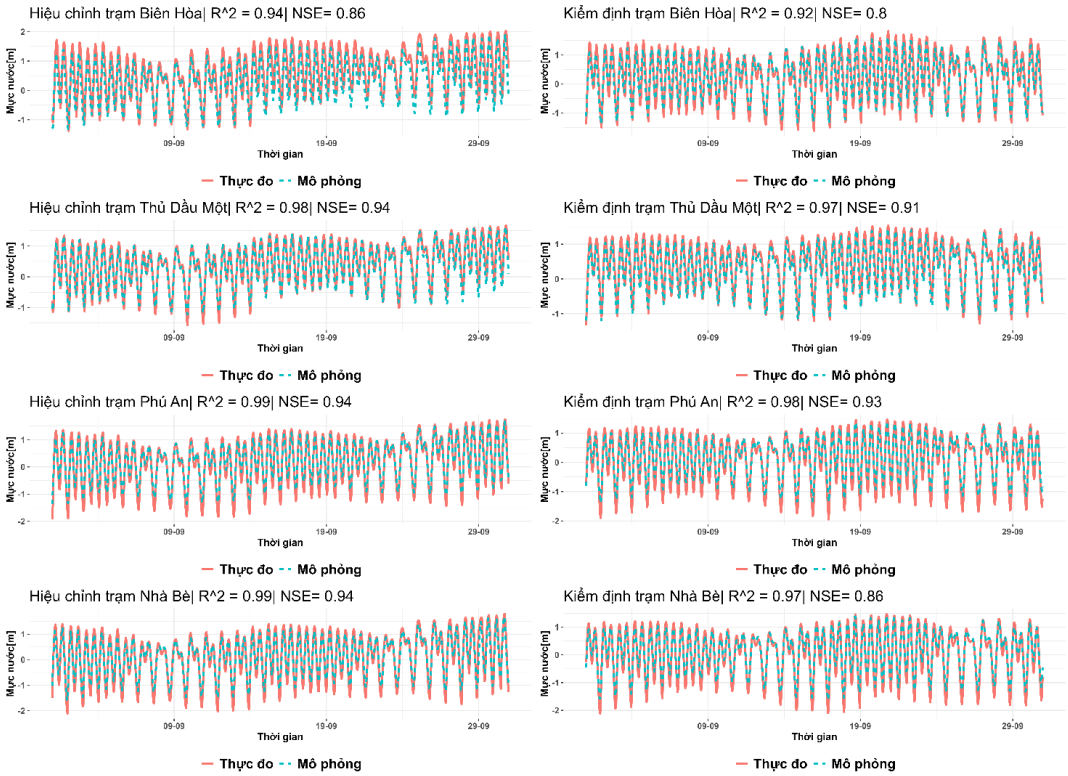
$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{\left[\frac{N+1}{2}\right]}, \text{nếu } N \text{ lẻ} \\ Q_{\frac{n}{2}} + Q_{\frac{N+2}{2}}, \text{nếu } N \text{ chẵn} \end{cases} \quad (5)$$

Giá trị Q_{med} dương phản ánh xu thế gia tăng, và ngược lại.

Đánh giá độ tin cậy của mô hình toán**:** Hệ số tương quan (R^2) và hiệu quả Nash-Sutcliffe (NSE) được sử dụng để kiểm tra mức độ phù hợp của mô hình. Hệ số tương quan (R^2) thể hiện mối quan hệ tuyến tính giữa các giá trị đo đạc và mô phỏng tính toán từ mô hình. Hệ số NSE đo lường mức độ biến thiên quan sát được được giải thích bằng mô phỏng. Giá trị R^2, và NSE tiến đến 1 thì mô hình được xem là đạt mức độ tin cậy tối đa [28].

2.5. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình toán

Mô hình được hiệu chỉnh thời gian mùa lũ 2019 và kiểm định mùa lũ 2020. Hình 4 trình bày so sánh mực nước giờ kết quả hiệu chỉnh và kiểm định tháng 9 tại các trạm Biên Hòa, Thủ Dầu Một, Phú An và Nhà Bè. Kết quả cho tương đồng về pha giữa kết quả mô phỏng và thực đo, giá trị R^2 ở các trạm đều lớn hơn 0,9 trong khi đó NSE lớn hơn 0,8 so sánh với tiêu chí đánh giá mô hình [28]. Kết quả cho thấy mô hình phản ánh tốt chế độ thủy văn, thủy lực, đủ độ tin cậy để ứng dụng mô phỏng các kịch bản trong nghiên cứu.



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định với số liệu thực đo các trạm thủy văn trong vùng nghiên cứu.

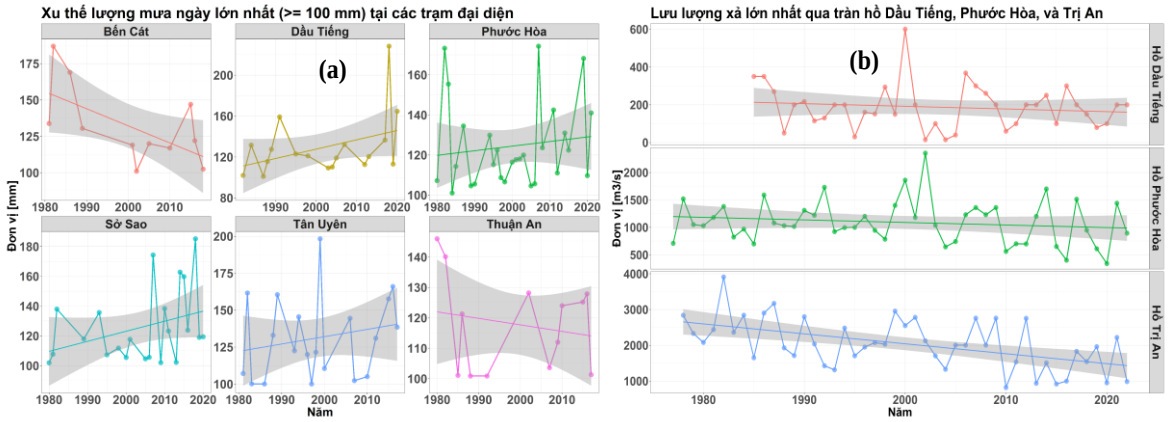
2.6. Thiết lập kịch bản nghiên cứu

Nghiên cứu lựa chọn đánh giá ngập ở tổ hợp tần suất P = 1% xem xét tác động của BĐKH-NBD giai đoạn hiện trạng, 2030 và 2050 xem xét các yếu tố gồm mưa, triều và xả lũ tại P = 1%. Tần suất P = 1% đánh giá tác động nguy cơ ngập lũ lên các đô thị, khu dân cư với yêu cầu bảo vệ cao. Dự báo nước biển dâng khu vực từ Mũi Kê Gà - Mũi Cà Mau theo kịch bản RCP 8.5 năm 2030 tăng 14 cm và 2050 tăng 28 cm. Về lượng mưa cực trị một ngày lớn nhất dự báo tăng phổ biến 15÷25% vào giữa thế kỷ [29].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá xu thế các yếu tố gây ngập

Xu thế mưa cực trị ngày với giá trị lớn hơn 100 mm/24h trình bày trong 0. Trạm Dầu Tiếng, Phước Hòa, Sở Sao, và Tân Uyên có xu hướng gia tăng. Ngược lại, Bến Cát và Thuận An có xu thế giảm. Điều này cho thấy, đa phần tỉnh Bình Dương mưa cực trị có xu hướng gia tăng. Định lượng xu hướng gia tăng của lượng mưa cực trị một ngày lớn nhất, giá trị độ dốc và hằng số tau-value âm tại trạm Bến Cát và Thuận An thể hiện xu thế giảm, với giá trị phần trăm lần lượt là 30% và 1%. Ngược lại, các trạm còn lại độ dốc và hằng số tau-value đều dương cho thấy xu hướng tăng, với tỷ lệ phần trăm tại Dầu Tiếng và Sở Sao lớn nhất trong chuỗi đánh giá lần lượt là 18,3 % và 15% (Bảng 2).



Hình 5. Xu thế lượng mưa ngày lớn nhất trên 100 mm tại một số trạm mưa đại diện (a) và Lưu lượng lớn nhất và lưu lượng xả lớn nhất các hồ Dầu Tiếng, Phước Hòa và Trị An (b).

Xu thế đỉnh lũ từ phía thượng lưu, dòng chảy phía thượng lưu được điều hòa bởi hệ thống hồ chứa bậc thang. Trong đó, ba hồ cuối cùng trong hệ thống bậc thang gồm hồ Trị An trên sông Đồng Nai đi vào hoạt động chính thức từ năm 1991, hồ Dầu Tiếng trên sông Sài Gòn từ năm 1986 và hồ Phước Hòa trên sông Bé từ năm 2012. Lưu lượng xả từ các hồ từ năm 1980 đến năm 2022 cho cả giai đoạn chưa có hồ xây dựng và sau khi đi vào vận hành trình bày trong Hình 5. Tổng quan, có thể thấy trong 42 năm giám sát, lũ năm 2000 là trận lũ có lưu lượng đỉnh lũ ở trên cả 3 sông đều nằm trong ngưỡng giá trị lớn. Trong đó hồ Dầu Tiếng xả với lưu lượng 600 m^3/s, tại trạm thủy văn Phước Hòa lưu lượng ước tính là 1.860 m^3/s và hồ Trị An xả là 2.550 m^3/s. Về mặt xu thế, lưu lượng đỉnh lũ về phía hạ lưu trên các sông có xu thế giảm so sánh trong và cả trước thời kỳ các hồ Trị An, Phước Hòa đi vào hoạt động.

Xu thế đỉnh triều, tại các trạm như Phú An, Thủ Dầu Một và Biên Hòa đỉnh triều thường xuyên vượt cấp báo động những năm gần đây. Cụ thể, tại Thủ Dầu Một mực nước lớn nhất năm 2021, và 2022 ghi nhận giá trị cực đại lần lượt là 1,74 m và 1,76 m vượt BĐ3 (1,6 m) là 14-16 cm. Tương tự, tại Phú An và Nhà Bè ghi nhận giá trị quanh ngưỡng 1,7 m và vượt BĐ 3 trên 10 cm. Tại trạm Biên Hòa, mực nước lớn nhất từ năm 2016 đến 2021 ghi nhận xấp xỉ BĐ 2 (2,0 m). Kết quả kiểm định xu thế của đỉnh triều bằng phương pháp ước lượng độ dốc Sen và kiểm định Mann-Kendall trình bày trong Bảng 1. Tổng quan chung, giá trị độ dốc và hệ số Tau-value được ghi nhận phổ biến dương ở tất cả các trạm và các đặc trưng. Điều này cho thấy, xu thế gia tăng của các đặc trưng mực nước đỉnh triều ở các trạm trong chuỗi đánh giá, điều này phù hợp với một số nghiên cứu liên quan [30–32]. Riêng trạm Dầu Tiếng, đặc trưng chế độ thủy văn ảnh hưởng trực tiếp bởi vận hành của hồ Dầu Tiếng. Như đã phân tích, những năm gần đây xu thế lưu lượng xả lũ giảm, do đó mực nước lớn nhất tại trạm Dầu Tiếng giảm.

Bảng 1. Kiểm định đỉnh triều bằng phương pháp Mann-Kendall và ước lượng độ dốc Sen.

Trạm	P-value[1]	Độ dốc	Tau-value[2]	Trung bình [m]	Số năm	Tỷ lệ thay đổi [%]	Xu hướng
Biên Hòa	7,33E-08	0,02	0,59	1,72	41	37,75	Tăng
Dầu Tiếng	1,00E+00	0,00	0,00	2,30	21	-0,87	Giảm
Phú An	4,17E-13	0,01	0,80	1,42	41	39,43	Tăng
Thủ Dầu Một	1,30E-04	0,04	0,92	1,56	11	24,74	Tăng

[1] P-value: Hệ số ước tính mức ý nghĩa thống kê của kiểm định, giá trị P xác định liệu xu hướng đó có ý nghĩa thống kê hay không, hay phản ánh mức độ chắc chắn của kiểm định thống kê, với P-value ≤ 0,05 có thể nhận định xu hướng có ý nghĩa thống kê, ngược lại chưa đủ số liệu để khẳng định có hay không, hay chỉ là xu hướng có tính ngẫu nhiên.

[2] Tau-value: Hay còn gọi là Kendall's tau, một thước đo về độ mạnh và hướng của mối quan hệ đơn điệu giữa hai biến, Tau biến đổi từ -1 đến 1, với giá trị gần +1 phản ánh xu hướng gia tăng liên tục, với giá trị 0 không có xu hướng, gần -1 xu hướng giảm liên tục.

Bảng 2. Kết quả kiểm định xu hướng Sen's slope và Mann-Kendall cho mưa ngày ≥ 100 mm.

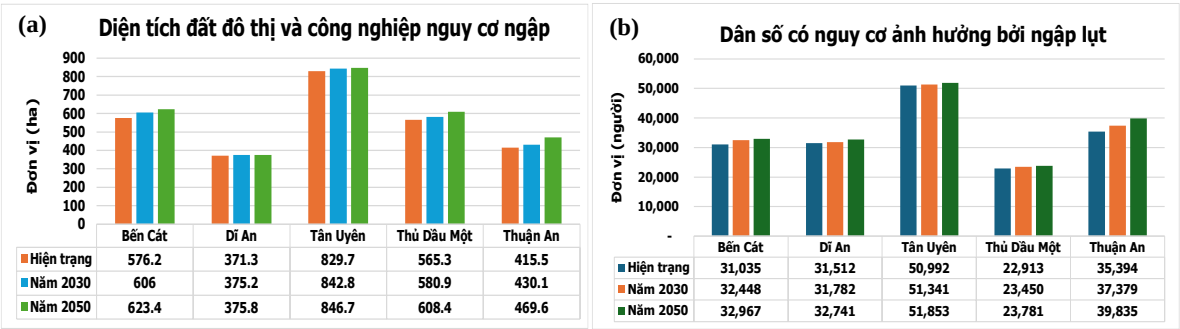
Trạm	P-value	Độ dốc	Tau-value	Trung bình [mm]	Số năm	Tỷ lệ thay đổi [%]	Xu hướng
Bến Cát	0,09	-3,67	-0,42	131,70	11	-30,6	Giảm
Dầu Tiếng	0,13	1,31	0,27	129,29	18	18,3	Tăng
Phước Hòa	0,19	0,48	0,18	124,46	28	10,8	Tăng
Sở Sao	0,14	0,86	0,23	125,63	22	15,0	Tăng
Tân Uyên	0,40	1,10	0,14	131,28	20	16,8	Tăng
Thuận An	0,81	-0,08	-0,06	117,88	13	-0,9	Giảm

3.2. Tác động ngập lũ dự báo đến năm 2030 và 2050

Về diện tích ngập, tổng diện tích ngập ở 5 thành phố khoảng 9.724 ha trong đó TP. Bến Cát có diện tích lớn nhất là 2.884 ha và TP. Thuận An nhỏ nhất là 931 ha ở hiện trạng. Giá trị này dự báo gia tăng 3% và 5% diện tích tương ứng với 10.001 ha và 10.187 ha lần lượt đến năm 2030 và 2050 nếu không thực hiện bất kỳ giải pháp thích ứng. Một số khu vực ngập sâu ven sông và khu vực các suối trong khu vực thành phố với mực ngập trên 1,0 m. Cụ thể, tại TP. Tân Uyên các xã/phường như Thạnh Hội, Bạch Đằng và Thạnh Phước; TP. Thuận An gồm An Thạnh, An Sơn, Vĩnh Phú; TP. Thủ Dầu Một gồm phường Tân An, Chánh Mỹ, Chánh Nghĩa; TP. Dĩ An gồm phường Tân Bình và Bình Thắng (Hình 8, 9).

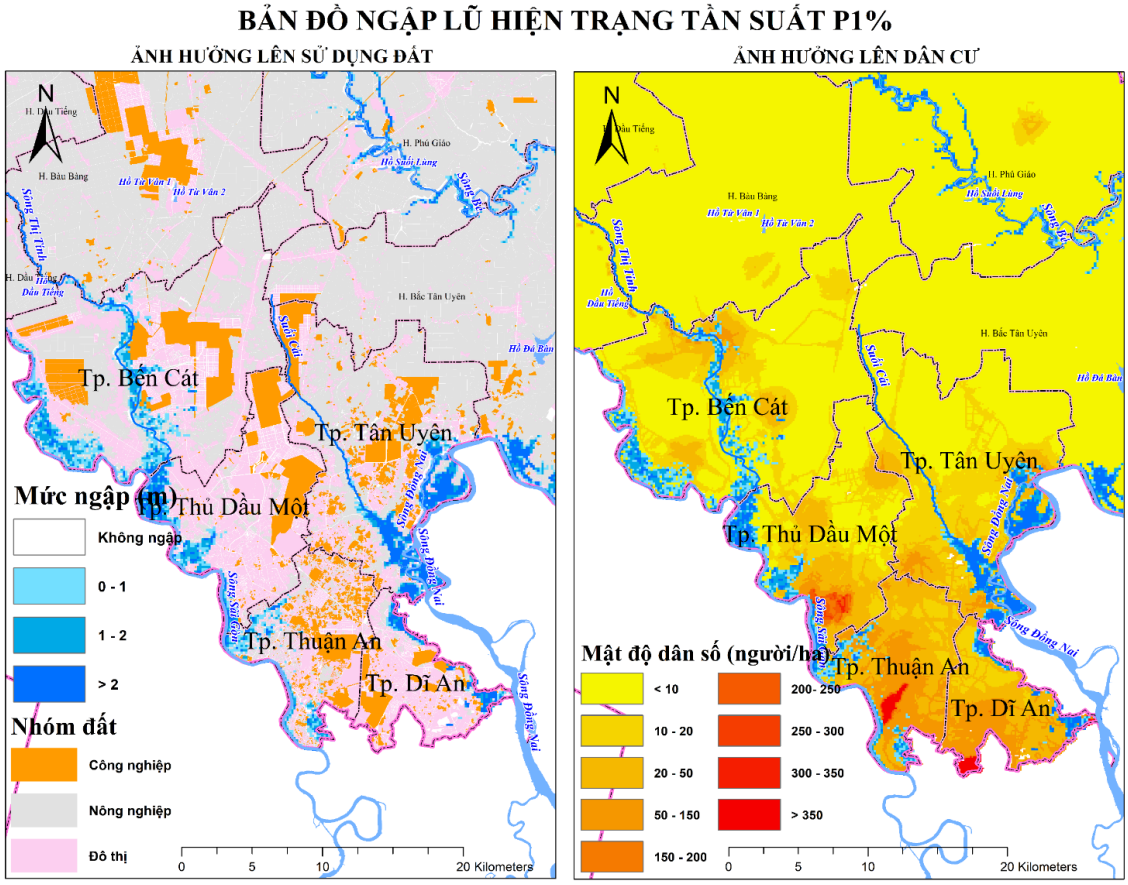
Đánh giá tác động lên dân số, với lũ hiện trạng tổng số người nguy cơ bị ảnh hưởng khoảng 171.846 người, và gia tăng lên 176.400 người năm 2030 và 181.177 người năm 2050. Trong đó TP. Tân Uyên và Thuận An có số người bị ảnh hưởng lớn nhất lần lượt là 50.992 và 35.394 người ở hiện trạng và dự báo gia tăng lên 51.853 và 39.835 người giai đoạn 2050. Có thể thấy, TP. Thuận An mặc dù diện tích ngập nhỏ nhất trong 5 thành phố nhưng do mật độ dân số cao vì vậy số người dự báo nguy cơ ảnh hưởng bởi ngập đứng thứ hai sau TP. Tân Uyên (Hình 7b).

Tác động lên cơ sở hạ tầng đất đô thị và đất công nghiệp trình bày tại **Error! Reference source not found.**a, cụ thể TP.Tân Uyên dự báo có diện tích ảnh hưởng ngập lớn nhất ở hiện trạng là 829,7 ha trong khi đó TP. Dĩ An có diện tích bị tác động nhỏ nhất

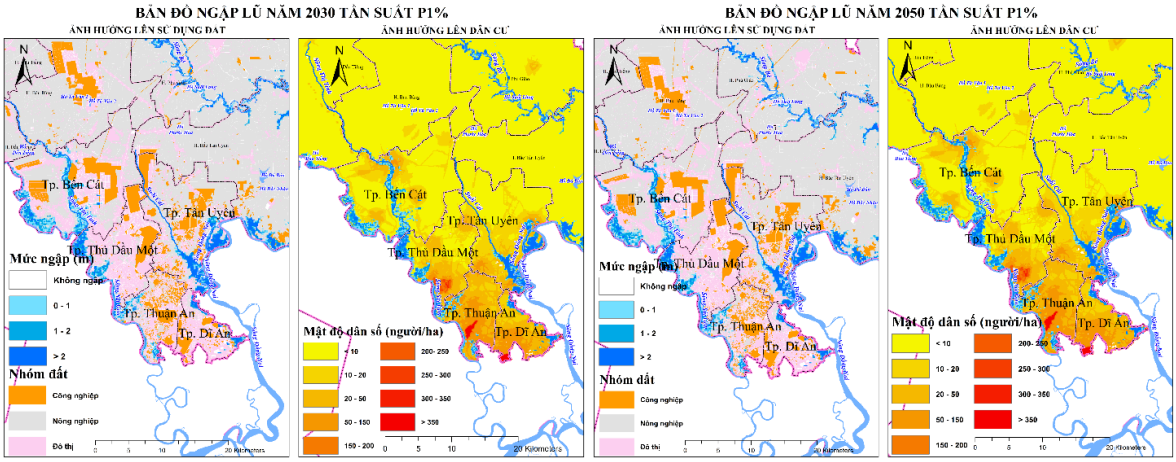


Hình 6. (a) Diện tích đất đô thị và công nghiệp nguy cơ ngập, (b) Dân số có nguy cơ ảnh hưởng bởi ngập lụt.

371,3 ha. Tuy nhiên, tỷ lệ diện tích đất công nghiệp ở TP. Dĩ An bị tác động chiếm hơn 30% tổng diện tích bị tác động trong khi đó ở TP. Tân Uyên chỉ chiếm 2%. Mức độ gia tăng diện tích ngập bị ảnh hưởng của TP. Thuận An dự báo lớn nhất tăng 13% (từ 415,5 ha lên 469,6 ha), và tăng 8% ghi nhận được tại TP. Thủ Dầu Một và Bến Cát. Ngược lại, ở TP. Dĩ An và Tân Uyên mức gia tăng biến động 1-2%.



Hình 7. Bản đồ ngập lũ lên sử dụng đất và dân số ở hiện trạng.



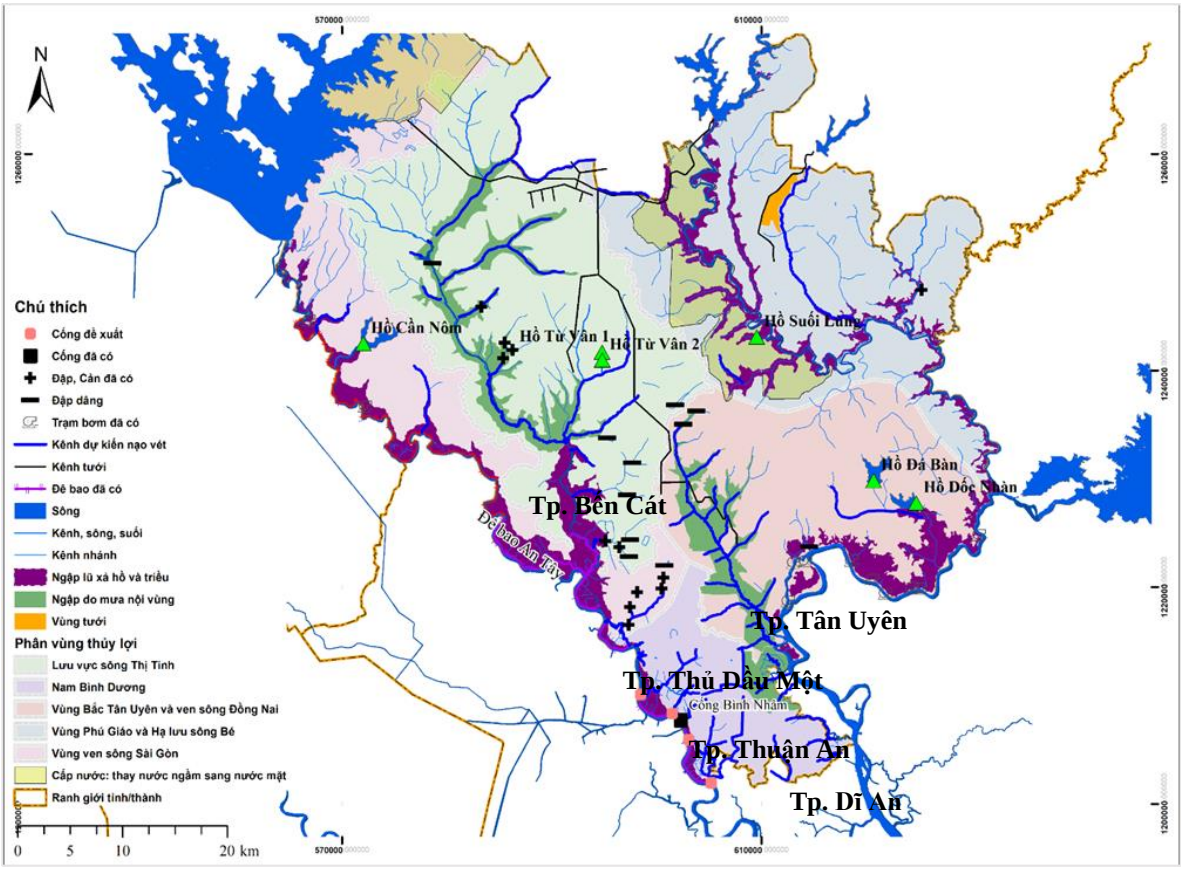
Hình 8. Bản đồ ngập lũ lên sử dụng đất và dân số năm 2030 và năm 2050.

Dự báo tác động ngập lũ ở năm thành phố giai đoạn 2030 và 2050 cho thấy ngập lũ có xu hướng gia tăng tác động lên dân cư, khu vực đô thị, công nghiệp với mức độ rủi ro lũ ở các thành phố khác nhau. Cụ thể, TP. Tân Uyên dự báo có diện tích ngập lớn nhất phổ biến là đất đô thị, trong khi đó TP. Dĩ An có diện tích đất công nghiệp dự báo ảnh hưởng lớn nhất. Mức gia tăng diện tích bị tác động ngập lũ đến năm 2050 trong kịch bản mô phỏng dự

báo TP. Thuận An có giá trị gia tăng lớn nhất 14%, tiếp đến TP. Thủ Dầu Một và Bến Cát ở mức 8%. Ngược lại, Tân Uyên và Dĩ An thay đổi không nhiều. Tác động lên dân cư, Tân Uyên, và Thuận An là hai thành phố có số người dự báo bị tác động lớn nhất; trong đó mặc dù diện tích ngập lũ nhỏ nhất trong năm thành phố nhưng do mật độ dân số cao nên mức độ tác động lên dân cư ở TP.Thuận An đứng thứ hai sau TP. Tân Uyên.

3.3. Đề xuất các giải pháp thích ứng giảm thiểu tác động ngập lũ

Kết quả phân tích tác động cho thấy mặc dù một số khu vực có tuyến đê dọc sông Sài Gòn, Thị Tính tuy nhiên cao trình đỉnh đê không đảm bảo chống lũ theo kịch bản tính toán và hệ thống đê chưa kép kín. Vì vậy, lũ trên sông tràn vào khu vực thấp của các thành phố gây ngập. Ngoài ra, năng lực thoát của các suối không đảm bảo nên gây ngập một số khu vực cục bộ trong thành phố như đã phân tích (Hình 9).



Hình 9. Phân vùng thủy lợi và các nguyên nhân gây ngập.

Điều này cho thấy, giải pháp tổng thể giảm thiểu tác động của ngập lũ, cần xem xét nâng cấp hoàn thiện tuyến phòng thủ dọc sông (đê, tường chắn, cống ngăn triều...), kết hợp duy trì không gian thoát nước, giải pháp động lực và giải pháp dựa vào tự nhiên các khu trữ phân tán vùng trũng. Trong nghiên cứu này đề xuất cần kết hợp đồng bộ giải pháp công trình và giải pháp phi công trình như áp dụng giải pháp dựa vào tự nhiên (NbS) như phục hồi dòng chảy tự nhiên của suối, rạch; hồ điều hòa; gia tăng khả năng thấm; gia tăng tham gia của cộng đồng; hạ tầng xanh như mái nhà xanh, tường xanh.. hay các giải pháp của hệ thống tiêu thoát nước đô thị bền vững (SUDs) cũng là một thành phần của NbS, thiên hướng phù hợp cho các khu vực đã đô thị hóa với không gian hạn chế. Trong khi đó, cái giải pháp NbS dường như gặp thách thức ở các đô thị hiện hữu và phù hợp hơn cho các đô thị mới [13]. Do đó, trong nghiên cứu này dựa trên đặc điểm ngập, điều kiện tự nhiên, hiện trạng và định hướng sử dụng đất sẽ đề xuất kết hợp giữa NbS, SUDs với giải pháp công trình cho mỗi đô thị khác nhau, chi tiết trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Đề xuất giải pháp kết hợp giữa giải pháp công trình và phi công trình cho từng thành phố.

Thành phố	Giải pháp công trình	Giải pháp phi công trình
Bến Cát	- Lên đê kết hợp giao thông từ cửa sông Thị Tính tới thị trấn Mỹ Phước	- Nạo vét suối như (Cầu Định, Ông Tề, Chà Vi, Cầu Quan) - Khu vực trữ chậm lũ ven sông Sài Gòn - Duy trì hồ điều hòa - Kiểm soát hệ số dòng chảy nhỏ hơn 0.45
Thủ Dầu Một	- Kép kín và nâng cấp đê dọc sông Sài Gòn đảm bảo chống lũ P1%. - Giải pháp bơm hỗ trợ	- Nạo vét rạch tự nhiên (Suối Giữa - Bưng Cầu - rạch Bà Cô, Bưng Biệp - Suối Cát, Rạch Bà Lụa, Ông Đành, Thầy Năng, Thủ Ngữ, rạch Trầu) - Áp dụng các giải pháp SUDs gia tăng khả năng thấm bề mặt
Thuận An	- Hoàn thiện tuyến đê An Sơn -Lái Thiêu - Xây dựng cống ngăn triều (Vĩnh Bình, Lái Thiêu, Vàm Búng, Bà Lụa)	- Nâng cấp các rạch Rạch Ông Bố, Cầu Miễu, Vĩnh Bình, rạch Lái Thiêu, Thầy Năm, Rạch Bà Lụa - Xây dựng quy trình vận hành kết hợp giữ hệ thống bảo vệ bên ngoài (đê, cống ngăn triều) và không gian trữ bên trong - Áp dụng các giải pháp SUDs gia tăng khả năng thấm bề mặt
Dĩ An	- Xây dựng cống ngăn triều - Nâng cốt nền	- Nâng cấp nạo vét suối Cây Trường, suối Ông Ngởi, suối sâu Tân Thắng, suối Bình Thắng, sông Ngọc - rạch Bà Lồ, rạch Bà Khâm, rạch Cái Cầu (suối Xiệp), suối Nhum - Phối hợp với Tp. Biên Hòa của Đồng Nai trong kiểm soát lũ từ sông Đồng Nai - Áp dụng các giải pháp SUDs gia tăng khả năng thấm bề mặt
Tân Uyên	- Khép kín đê bao bảo vệ cù lao Thạnh Hội, và Bạch Đằng; và dọc suối Cái lên tới 3-4 km đi về phía thượng lưu	- Áp dụng NbS cho khu vực đô thị mới, kiểm soát hệ số dòng chảy nhỏ hơn 0,4

4. Kết luận

Nguyên nhân gây ngập lũ ở khu vực đô thị tỉnh Bình Dương gồm mưa lớn, triều cường và lũ trên lưu vực. Các yếu tố này tác động riêng rẽ, công gộp kết hợp với tác động gia tăng của quá trình đô thị hóa và BĐKH làm cho tần suất và mức độ ngập lũ gia tăng. Nghiên cứu đã chỉ ra mưa lớn và triều cường gia tăng trong giai đoạn hai thập niên gần đây và là hai nguyên nhân phổ biến gây ngập lũ ở các thành phố trong tỉnh Bình Dương; trong khi đó lũ từ thượng lưu cơ bản được kiểm soát tốt những năm gần đây.

Giải pháp đề xuất để giảm thiểu tác động và thích ứng với tác động của ngập lũ, xây dựng kết hợp giữa giải pháp công trình và phi công trình phù hợp các yếu tố tự nhiên của từng thành phố. Nhóm giải pháp đề xuất gồm gồm hoàn thiện tuyến phòng lũ dọc sông (đê, tường chắn, cống ngăn triều...), kết hợp duy trì, cải tạo không gian thoát nước của trục thoát nước, giải pháp động lực và giải pháp dựa vào tự nhiên duy trì khu trữ vùng trũng ven sông Sài Gòn để trữ lũ.

Nghiên cứu này đã tìm ra được nguyên nhân, phân tích xu thế các yếu tố ngây ngập lụt và bước đầu dự báo tác động ngập lũ lên năm thành phố theo kịch bản tần suất P1% giai đoạn 2030 và 2050 từ đó đề xuất các giải pháp thích ứng. Một số yếu tố chưa xem xét trong nghiên cứu này như đánh giá năng lực tiêu thoát của hệ thống thoát nước độ thị, kết nối với hệ thống thoát nước tự nhiên. Nghiên cứu chi tiết cho từng lưu vực độc lập theo từng thành phố dựa trên nền tảng nghiên cứu lưu vực là điều cần thiết để kiểm tra các giải pháp đề xuất một cách cụ thể. Vấn đề này sẽ được tiếp tục làm rõ trong những nghiên cứu tiếp theo.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.T.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: D.T.H., N.T.N.; Xử lý số liệu, mô phỏng, phân tích số liệu: N.T.N.; Viết bản thảo bài báo: D.T.H., N.T.N.; Chỉnh sửa bài báo: D.T.H.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Aghaloo, K.; Sharifi, A.; Habibzadeh, N.; Ali, T.; Chiu, Y.R. How nature-based solutions can enhance urban resilience to flooding and climate change and provide other co-benefits: A systematic review and taxonomy. *Urban For. Urban Greening* **2024**, *95*, 128320. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128320.
2. Agonafir, C.; Lakhankar, T.; Khanbilvardi, R.; Krakauer, N.; Radell, D.; Devineni, N. A review of recent advances in urban flood research. *Water Secur.* **2023**, *19*, 100141. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasec.2023.100141.
3. Dharmarathne, G.; Waduge, A.O.; Bogahawaththa, M.; Rathnayake, U.; Meddage, D.P.P. Adapting cities to the surge: A comprehensive review of climate-induced urban flooding. *Results Eng.* **2024**, *22*, 102123. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102123.
4. Giang, N.V.; Dat, N.T. Solutions to deal with flooding by using green buildings in Vietnamese urban areas from Japanese experience. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **2020**, *869(7*), 072001. https://doi.org/10.1088/1757-899X/869/7/072001.
5. Guo, K.; Guan, M.; Yu, D. Urban surface water flood modelling - A comprehensive review of current models and future challenges. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2021**, *25(5)*, 2843–2860. https://doi.org/10.5194/hess-25-2843-2021.
6. Huang, Y.; Tian, Z.; Ke, Q.; Liu, J.; Irannezhad, M.; Fan, D.; Hou, M.; Sun, L. Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management. *WIREs Water* **2020**, *7(3)*, 1421. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wat2.1421.
7. Phùng, H.L.T.; Phùng, N.K.; Hiền, L.T. Đánh giá tác động của một số yếu tố tự nhiên và nhân sinh đến ngập lụt thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *704*, 8–19. https://doi.org/10.36335/VNJHM.2019(704).8-19.
8. Manandhar, B.; Cui, S.; Wang, L.; Shrestha, S. Urban flood hazard assessment and management practices in South Asia: A review. *Land* **2023**, *12*, 627. https://doi.org/10.3390/land12030627.
9. My, N.H.D.; Tuấn, T.H.; Toledo-Gallegos, V.M.; Börger, T.; Tuấn, Đ.D.A. Phân tích lợi ích - chi phí cho giải pháp hạ tầng xanh nhằm giảm thiểu rủi ro ngập lụt ở Thành phố Cần Thơ. *Tạp chí Kinh tế và Phát triển* **2023**, *313*, 80–90. https://doi.org/10.33301/JED.VI.1198.
10. Nguyen, M.T.; Sebesvari, Z.; Souvignet, M.; Bachofer, F.; Braun, A.; Garschagen, M.; Schinkel, U.; Yang, L.E.; Nguyen, L.H.K.; Hochschild, V.; Assmann, A.; Hagenlocher, M. Understanding and assessing flood risk in Vietnam: Current status, persisting gaps, and future directions. *J. Flood Risk Manage.* **2021**, *14(2*), 12689. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfr3.12689.
11. Rana, A.; Zhu, Q.; Detken, A.; Whalley, K.; Castet, C. Strengthening climate-resilient development and transformation in Viet Nam. *Clim. Change* **2022**, *170(1)*, 4. https://doi.org/10.1007/s10584-021-03290-y.
12. Scheiber, L.; David, C.G.; Jalloul, M.H.; Visscher, J.; Nguyen, H.Q.; Leitold, R.; Diez, J.R.; Schlurmann, T. Low-regret climate change adaptation in coastal megacities – evaluating large-scale flood protection and small-scale rainwater detention measures for Ho Chi Minh City, Vietnam. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2023**, *23(6)*, 2333–2347. https://doi.org/10.5194/nhess-23-2333-2023.

13. Sagala, S.; Murwindarti, A.; Avila, B.E.; Rosyidie, A.; Azhari, D. Sustainable urban drainage system (SUDS) as nature based solutions approach for flood risk management in high-density urban settlement. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2022**, *986(1)*, 012055.
14. Thiện, T.Đ.; Linh, Đ.T.; Gấm, V.T.; Thư, N.T.; Chiến, H.C. Thực trạng ngập úng đô thị Hà Nội giai đoạn 2012-2022. *Tạp chí Kiến trúc* **2023**, *2*, 72–75.
15. UNISDR. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, 2015.
16. Vo, N.D.P.; Huynh, T.T.T.; Vo, T.D. Potential application of LID techniques to reduce urban flooding in different rainfall pattern, case study for Quy Nhon, Vietnam. In P. Gourbesville and G. Caignaert (Eds) Advances in Hydroinformatics. Singapore: Springer Singapore, 2023, pp. 517–526.
17. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. Quy hoạch phòng, chống thiên tai và thủy lợi thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2023.
18. Viện Quy hoạch Xây dựng Miền Nam, Quy hoạch Cao độ nền - Thoát nước mặt đô thị Bình Dương đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2021.
19. Chi cục Thủy lợi tỉnh Bình Dương. Báo cáo: Kết quả kiểm tra công trình thủy lợi, đê bao, phòng chống thiên tai, tiêu thoát nước trong mưa lũ năm 2022, 2022.
20. DHI. MIKE 11: User Guide - A modelling system for Rivers and Channels, 2014.
21. Clilverd, H.M.; Thompson, J.R.; Heppell, C.M.; Sayer, C.D.; Axmacher, J.C. Coupled hydrological/hydraulic modelling of river restoration impacts and floodplain hydrodynamics. *River Res. Appl.* **2016**, *32(9)*, 1927–1948. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/rra.3036.
22. Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam. Quy hoạch tổng thể thủy lợi vùng Đông Nam Bộ giai đoạn đến 2030 và định hướng đến năm 2050 thích ứng với biến đổi khí hậu, nước biển dâng, 2018.
23. Sen, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, *63(324)*, 1379–1389.
24. Hưng, P.M. Nghiên cứu đánh giá xu hướng biến động lượng mưa lớn nhất theo các thời đoạn khác nhau giai đoạn 1975-2021, tỉnh Vĩnh Phúc. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*.
25. Frimpong, B.F.; Koranteng, A.; Molkenthin, F. Analysis of temperature variability utilising Mann-Kendall and Sen's slope estimator tests in the Accra and Kumasi Metropolises in Ghana, *Environ. Syst. Res.* **2022**, *11(1)*, 24. https://doi.org/10.1186/s40068-022-00269-1.
26. Kendall, M.G. Rank correlation methods, 1955.
27. Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* **1945**, *13(3)*, 245–259. https://doi.org/10.2307/1907187.
28. McCuen, R.H.; Knight, Z.; Cutter, A.C. Evaluation of the Nash–Sutcliffe efficiency index. *J. Hydrol. Eng.* **2006**, *11*. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:6(597).
29. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu, 2020.
30. Quỳnh, N.P. Đánh giá biến động mực nước và ngập lụt vùng hạ lưu sông Sài Gòn dưới tác động của đô thị hóa, xây dựng công trình chống ngập và xả lũ các hồ chứa nước thượng lưu. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 2018.
31. Ngân hàng Phát triển Châu Á (ADB). Thành phố Hồ Chí Minh thích nghi với biến đổi khí hậu, 2010.
32. Giang, N.N.H.; Quang, C.N.X.; Long, D.T.; Ky, P.D.; Vu, N.D.; Tran, D.D. Statistical and hydrological evaluations of water dynamics in the lower Sai Gon-Dong Nai River, Vietnam. *Water* **2022**, *14(1)*. https://doi.org/10.3390/w14010130.

Assessment of flooding impact and investigation of adaptive measures for cities in Binh Duong Province, 2030-2050

Doan Thu Ha[1]*, Nguyen Trung Nam[2]

[1] Thuyloi University; thuha_ctn@tlu.edu.vn; trunghieu.ma@hotmail.com
[2] Southern Institute of Water Resources Planning; nguyentrungnam47v@gmail.com

Abstract: Binh Duong Province, an industrial hub in southern Vietnam, has a high urbanization rate exceeding 84.4%. In recent years, the province has encountered a significant challenge of urban flooding with increasing frequency and intensity, which adversely affects socio-economic activities. Despite its importance, there is a noticeable gap of urban flooding research in Binh Duong, resulting in a lack of scientific basic for formulating the flood management for the 2030 and 2050 planning horizons. Moreover, research on integrating structural and nature-based solution remains limited, as current proposals predominantly focus on these approaches in isolation. This study aimed to investigate the causes, trends, and potential mitigation measures for impacts of flooding in five highly urbanized cities in Binh Duong. Statistical trend tests and hydraulic modeling method were employed in the study. The results revealed that predominant causes of urban flooding were found intensified heavy rainfall and high tides, exacerbated by climate change and rapid urban development. To tackle this issue, it necessitates a multi-faceted approach includes enhancing flood defenses along major rivers such as Sai Gon, Dong Nai and Thi Tinh, maintaining drainage capacity in smaller watercourses within cities, integrating pumping stations in areas constrained by spatial limitations, and preserving floodplains along Saigon River.

Keywords: Flooding; City; Urbanization; Heavy rainfall; High tide; Dong Nai - Sai Gon; Binh Duong.