ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
VIỆN TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

Dương Anh Quân

ĐÁNH GIÁ RỦI RO NGẬP LỤT TRONG BỐI CẢNH BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC LÕI ĐÔ THỊ THÀNH PHỐ CẦN THƠ

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC MÔI TRƯỜNG

HÀ NỘI - 2025

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI

VIỆN TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG

Dương Anh Quân

ĐÁNH GIÁ RỦI RO NGẬP LỤT TRONG BỐI CẢNH BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC LÕI ĐÔ THỊ THÀNH PHỐ CẦN THƠ

Chuyên ngành: Môi trường và phát triển bền vững

Mã số: 9440301.04

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC MÔI TRƯỜNG

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS Bùi Ngọc Quý

2. PGS.TS Nguyễn Hiệu

HÀ NỘI - 2025

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, các số liệu, kết quả trong luận án trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào.

Tác giả luận án

Dương Anh Quân

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình nghiên cứu thực hiện luận án, NCS đã nhận được sự giúp đỡ tận tình của hai thầy hướng dẫn khoa học: PGS.TS Bùi Ngọc Quý và PGS.TS Nguyễn Hiệu cùng các thầy cô giáo, cán bộ, giảng viên thuộc Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Quốc gia Hà Nội. NCS cũng xin cảm ơn các thầy cô giáo, đồng nghiệp thuộc Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội, đặc biệt là các đồng nghiệp thuộc Bộ môn Bản đồ, Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, đã đóng góp rất nhiều ý kiến quý báu, hỗ trợ hết mình cho NCS trong việc hoàn thành luận án. NCS còn nhận được nhiều ý kiến trao đổi về chuyên môn cũng như sự hỗ trợ về tài liệu tham khảo của các nhà khoa học trong và ngoài nước, các cơ quan quản lý nhà nước thành phố Cần Thơ. NCS xin trân trọng cảm ơn những sự giúp đỡ quý báu này.

NCS xin trân trọng cảm ơn Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Quốc gia Hà Nội đã tạo mọi điều kiện để NCS hoàn thành bản luận án.

NCS cũng xin trân trọng cảm ơn sự động viên, khích lệ của gia đình, bạn bè, đồng nghiệp trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án này.

Hà Nội, tháng năm 2025

NCS. Dương Anh Quân

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN i
LỜI CẢM ƠN ii
MỤC LỤC iii
DANH MỤC HÌNH ẢNH vi
DANH MỤC BẢNG BIỂU xi
DANH MỤC CÁC KÍ KIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT xiii
MỞ ĐẦU 14
1. Tính cấp thiết 14
2. Mục tiêu nghiên cứu 16
2.1. Mục tiêu chung 16
2.2. Mục tiêu cụ thể 16
3. Nội dung nghiên cứu 17
4. Đối tượng và Phạm vi nghiên cứu 17
4.1. Đối tượng nghiên cứu 17
4.2. Phạm vi nghiên cứu 17
5. Điểm mới của luận án 17
6. Luận điểm bảo vệ 18
7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn 18
7.1. Ý nghĩa khoa học 18
7.2. Ý nghĩa thực tiễn 18
8. Cấu trúc của luận án 18
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU 20
1.1. Các khái niệm cơ bản 20
1.1.1. Khái niệm phát triển bền vững 20
1.1.2. Khái niệm về biến đổi khí hậu và tác động của biến đổi khí hậu 21
1.1.3. Các khái niệm về đánh giá rủi ro thiên tai và các thành phần của rủi ro thiên tai 23
1.1.4.1. Mô hình hóa và mô hình thủy văn và thủy lực 26
1.1.4.2. Khái niệm về điều kiện biên và tần suất hiểm họa 28
1.2. Tổng quan về đánh giá rủi ro thiên tai do ngập lụt trên thế giới 30
1.3. Tình hình nghiên cứu về rủi ro ngập lụt tại Việt Nam 31
1.4. Tổng quan về nghiên cứu rủi ro ngập lụt tại Cần Thơ 33
1.5. Định hướng nghiên cứu 37
1.6. Tiểu kết Chương 1 38
CHƯƠNG 2. KHÁI QUÁT VỀ KHU VỰC NGHIÊN CỨU, CÁCH TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU 40
2.1. Khu vực nghiên cứu và tác động của ngập lụt 40
2.1.1. Khu vực nghiên cứu 40
2.1.2. Các tác nhân gây ngập lụt tại Cần Thơ 41
2.1.3. Đặc điểm lũ lõi Cần Thơ 44
2.1.4. Tác động của lũ lên các lĩnh vực. 45
2.2. Dữ liệu được sử dụng trong đánh giá rủi ro ngập lụt 46
2.2.1. Dữ liệu phục vụ mô hình hóa 46
2.2.2. Dữ liệu phục vụ đánh giá rủi ro về xã hội 47
2.2.3. Dữ liệu phục vụ đánh giá rủi ro về kinh tế 47

2.3. Quy trình đánh giá rủi ro ngập lụt dưới tác động của biến đổi khí hậu 47
2.4. Phương pháp mô hình hóa 49
2.4.1. Các phương pháp mô hình hóa ngập lụt 49
2.4.2. Quy trình mô hình hóa hiện trạng ngập lụt 51
2.4.3. Cấu trúc của mô hình thủy lực lõi đô thị 53
2.4.4. Xác định giá trị đầu vào của mô hình ngập tại Cần Thơ 54
2.4.4.1. Mực nước 54
2.4.4.2. Lượng mưa 57
2.4.4.3. Sụt lún đất.....62
2.4.5. Khảo sát hiện trạng ngập tại Cần Thơ. 62
2.4.6 Mô hình thủy lực của lõi đô thị.....65
2.4.6.1. Các mô hình thủy lực được sử dụng trong mô hình hóa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ.....65
2.4.6.2.Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình 2D lõi đô thị.....68
2.5. Phương pháp đánh giá rủi ro xã hội do ngập lụt.....70
2.5.1. Phương pháp đánh giá Hiểm họa ngập lụt về xã hội 71
2.5.2. Phương pháp xác định mức độ phơi lộ trong rủi ro ngập lụt về xã hội 73
2.5.3. Phương pháp xác định Tính dễ bị tổn thương rủi ro ngập lụt về mặt xã hội 74
2.5.4. Phương pháp tính toán Chỉ số rủi ro lũ lụt đối với xã hội 76
2.5.5. Sơ đồ quy trình đánh giá rủi ro ngập lụt về xã hội 76
2.6. Phương pháp đánh giá rủi ro lũ lụt về kinh tế.....77
2.6.1. Hiểm họa lụt về kinh tế.....77
2.6.2. Mức độ phơi lộ trong đánh giá rủi ro lũ lụt kinh tế 78
2.6.3. Tính dễ bị tổn thương về kinh tế (đường cong thiệt hại).....78
2.6.4. Tính toán rủi ro kinh tế 79
2.7. Phương pháp đánh giá tác động của BĐKH tới rủi ro thiên tai.....81
2.7.1. Các kịch bản biến đổi khí hậu.....81
2.7.2. Xác định các biến đổi về lượng mưa và mực nước theo các mốc thời gian 2030 và 2050 theo kịch bản biến đổi khí hậu 84
2.7.2.1. Những thay đổi về lượng mưa.....84
2.7.2.2 Chế độ dòng chảy và các mực nước theo các mốc thời gian 2030 và 2050 theo kịch bản biến đổi khí hậu 89
2.8. Phương pháp kế thừa. 90
2.9. Phương pháp phân tích không gian trên GIS.....91
2.10. Phương pháp điều tra - thống kê xã hội học 91
2.11. Phương pháp phân tích đa chỉ tiêu dựa trên AHP và so sánh cặp đôi. 91
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN 93
3.1. Kết quả thành lập bản đồ tần suất ngập theo hiện trạng 93
3.2. Đánh giá rủi ro do ngập lụt tới kinh tế - xã hội lõi đô thị Cần Thơ 96
3.2.1. Thiết lập bộ công cụ.....96
3.2.1.1. Dữ liệu đầu vào 105
3.2.1.2 Khảo sát lũ lụt 2020 và 2021.....108
3.2.2. Kết quả đánh giá rủi ro ngập và phân tích rủi ro ngập lụt đối với xã hội...110
3.2.2.1. Kết quả đánh giá Hiểm họa ngập 110
3.2.2.2. Kết quả đánh giá mức độ Phơi lộ 113
3.2.2.3. Kết quả đánh giá Tính dễ bị tổn thương.....114

3.2.2.4. Kết quả đánh giá rủi ro ngập lụt về xã hội 115
3.2.3. Kết quả đánh giá rủi ro ngập lụt về kinh tế.....121
3.3. Kết quả đánh giá rủi ro ngập lụt trong điều kiện biến đổi khí hậu 127
3.3.1. Kết quả đánh giá mức ngập tại các điều kiện biến đổi khí hậu 127
3.3.2. Kết quả đánh giá hiểm họa ngập tại lõi đô thị Cần Thơ. 133
3.3.3. Kết quả đánh giá thiệt hại kinh tế do ngập tại lõi đô thị Cần Thơ.....145
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ 147
1. Kết luận 147
2. Kiến nghị.....149
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG Bố CỐ LIÊN QUAN TỚI LUẬN ÁN 150
TÀI LIỆU THAM KHẢO 151
PHỤ LỤC 162

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1. Các mục tiêu phát triển bền vững (UN 2015) [121] 21

Hình 1.2. Dữ liệu quan trắc biến đổi nhiệt độ bề mặt trái đất trích từ báo cáo của IPCC 2007[59]. 23

Hình 1.3. Các yếu tố của rủi ro thiên tai (IPCC 2012) 24

Hình 1.4. Quá trình xác định tác động của biến đổi khí hậu tới thiên tai 25

Hình 1.5. Quy trình đánh giá rủi ro thiên tai 26

Hình 1.6. Quy trình đánh giá thiệt hại do ngập lụt đô thị tại Hà Nội 33

Hình 1.7. Ngập do triều cường kết hợp mưa tại đường Lý Tự Trọng, Cần Thơ; ngày 23/10/2022; Nguồn: báo điện tử Zing 35

Hình 2.1. Khu vực nghiên cứu 40

Hình 2.2. Mạng lưới sông ngòi, kênh rạch ở hạ lưu Đồng bằng sông Cửu Long 42

Hình 2.3. Số giờ mực nước tại Cần Thơ bằng hoặc vượt ngưỡng hàng năm từ năm 2000 tới 2019 42

Hình 2.4. Lõi đô thị của Cần Thơ 45

Hình 2.5. Nôi dung đánh giá rủi ro ngập lụt dưới tác động của biến đổi khí hậu 48

Hình 2.6. Quy trình đánh giá rủi ro về kinh tế - xã hội 49

Hình 2.7. Hiện trạng ngập khu vực thành phố Cần Thơ từ ảnh Sentinel 1, tháng 11 năm 2020 50

Hình 2.8. Quy trình đánh giá ngập lụt đô thị tại Cần Thơ 52

Hình 2.9. Liên kết giữa các mô hình trong thiết lập mô hình thủy lực lõi đô thị (Tài liệu FRMIS -2023).....53

Hình 2.10. Mực nước cao nhất tại các trạm(Tài liệu FRMIS -2023). 54

Hình 2.11 . Mực nước lớn nhất được ghi nhận hàng năm ở Angkor Borey, Campuchia (1995 - 2015) (Tài liệu FRMIS -2023). 55

Hình 2.12. Lưu lượng lớn nhất mỗi năm trong giai đoạn tháng 9/tháng 10 tại Kratie (Tài liệu FRMIS -2023). 55

Hình 2.13. Mực nước lớn nhất hàng tháng được ghi nhận tại Cần Thơ kể từ năm 2000(Tài liệu FRMIS -2023). 56

Hình 2.14. Vị trí các trạm dự báo kịch bản mực nước (Tài liệu FRMIS -2023). 57

Hình 2.15. Vị trí các trạm đo mưa để dự báo kịch bản mưa (Tài liệu FRMIS -2023).

.....58
Hình 2.16. Lượng mưa ngày tối đa tại các trạm xung quanh khu vực thành phố Cần Thơ (1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023). 58
Hình 2.17. Cần Thơ - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023). 59
Hình 2.18. Ô Môn - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023). 60
Hình 2.19. Núi Sập - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023). 61
Hình 2.20. Long Xuyên - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) 62
Hình 2.21. Khảo sát các tuyến đường bị ngập tại nội đô Cần Thơ.....64
Hình 2.22. Vị trí các điểm khảo sát ngập ngày15/11/2020 65
Hình 2.23. Mô hình thủy lực vùng Đồng bằng sông Cửu Long.....66
Hình 2.24. Lõi đô thị thành phố Cần Thơ.....67
Hình 2.25. Độ sâu mô phỏng tại lõi đô thị ngày 10/10/2018 68
Hình 2.26. Sự kiện mưa được ghi lại 15 phút vào ngày 30 tháng 5 năm 2020 69
Hình 2.27. Kết quả ngập được tính toán từ mô hình 2D khu vực lõi đô thị Cần Thơ (Tài liệu FRMIS - 2023).....70
Hình 2.28. Khung khái niệm về đánh giá rủi ro xã hội 71
Hình 2.29: Nguy cơ lũ lụt xã hội là sự kết hợp giữa độ sâu và vận tốc [27].....72
Hình 2.30. Quy trình xử lý dữ liệu đánh giá rủi ro xã hội 77
Hình 2.31. Ví dụ về hàm thiệt hại.....78
Hình 2.32. Quy trình xử lý dữ liệu đánh giá rủi ro kinh tế.....80
Hình 2.33. Quy trình tính toán hàm thiệt hại.....81
Hình 2.34. Quy trình đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới rủi ngập lụt 84
Hình 2.35. Thay đổi tổng lượng mưa hàng năm (%) từ 1958 tới 2018 ([2].....85
Hình 2.36. Những thay đổi về lượng mưa tối đa trung bình trong 1 ngày, 2050 Horizon, RCP4.5 (trái) và RCP8.5 (phải).....87
Hình 2.37. Những thay đổi về lượng mưa tối đa trung bình trong 5 ngày, 2050 Horizon, RCP 4,5 (trái) và RCP8,5 (phải).....88

Hình 3.1. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 1%, ở thời gian lặp lại là 100 năm 93
Hình 3.2. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 2% ở thời gian lặp lại là 50 năm 94
Hình 3.3. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 5% ở thời gian lặp lại là 20 năm 94
Hình 3.4. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 10% ở thời gian lặp lại là 10 năm 95
Hình 3.5. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 20% ở thời gian lặp lại là 5 năm 95
Hình 3.6 . Bộ công cụ tính toán rủi ro. 96
Hình 3.7: Giao diện công cụ tính toán rủi ro xã hội 97
Hình 3.8. Công cụ tính toán giá trị lớn nhất, nhỏ nhất 98
Hình 3.9: Công cụ 1.3 99
Hình 3.11. Công cụ 1.5. 101
Hình 3.12. Công cụ 1.6 102
Hình 3.13. Công cụ 1.7 103
Hình 3.14. Công cụ tính toán thiệt hại về kinh tế 104
Hình 3.15. Độ sâu ngập lụt lõi đô thị Cần Thơ.....105
Hình 3.16. Hiểm họa ngập lụt lõi đô thị Cần Thơ 106
Hình 3.17 Ví dụ sử dụng đất Thành phố Cần Thơ (tỷ lệ: 1:5000) 106
Hình 3.18. Hàm độ sâu - thiệt hại của các đối tượng 110
Hình 3.19. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 1% 111
Hình 3.20. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 2% 111
Hình 3.21. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 5% 112
Hình 3.22. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 10% 112
Hình 3.23. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 20% 113
Hình 3.24. Mức độ phơi lộ khu vực nghiên cứu.....114
Hình 3.25. Tính dễ bị tổn thương tại khu vực nghiên cứu.....115
Hình 3.26. Rủi ro xã hội theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 1%.....115
Hình 3.27. Rủi ro xã hội theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 2%.....116

Hình 3.28. Rủi ro xã hội theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 5%.....116
Hình 3.29. Rủi ro xã theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 10%.....117
Hình 3.30. Rủi ro xã hội theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 20%.....117
Hình 3.31. Biểu đồ phân bố diện tích chịu rủi ro ngập quận Bình Thủy.....118
Hình 3.32. Biểu đồ phân bố diện tích chịu rủi ro ngập quận Ninh Kiều.....120
Hình 3.33. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 1% 121
Hình 3.34. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 2% 122
Hình 3.35. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 5% 122
Hình 3.36. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 10% 123
Hình 3.37. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 20% 123
Hình 3.38. Biểu đồ thống kê dự đoán thiệt hại kinh tế do lũ tại quận Ninh Kiều 125
Hình 3.39. Biểu đồ thống kê dự đoán thiệt hại kinh tế do lũ tại quận Bình Thủy 126
Hình 3.40. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 1%.....128
Hình 3.41. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 1%.....128
Hình 3.42. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 2%.....129
Hình 3.43. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 2%.....129
Hình 3.44. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 5%.....130
Hình 3.45. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 5%.....130
Hình 3.46. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 10%.....131
Hình 3.47. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 10%.....131
Hình 3.48. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 20%.....132
Hình 3.49. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 20%.....132
Hình 3.50: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập về xã hội tương ứng với kịch bản BĐKH năm 2030. 133
Hình 3.51. Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập về xã hội tương ứng với kịch bản BĐKH năm 2050. 134
Hình 3.53: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với điều kiện 2% 136
Hình 3.54: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với

điều kiện 5% 137
Hình 3.55: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với điều kiện 10% 138
Hình 3.56: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với điều kiện 1% 139
Hình 3.57. Hiểm họa ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 20%.....140
Hình 3.58. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 20% 140
Hình 3.59. Hiểm họa theo kịch bản 2030 của điều kiện 10% 141
Hình 3.60. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 10% 141
Hình 3.61. Hiểm họa ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 5%.....142
Hình 3.62. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 5% 142
Hình 3.63. Hiểm họa ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 2%.....143
Hình 3.64. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 2% 143
Hình 3.65. Hiểm họa ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 1%.....144
Hình 3.66. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 1% 144
Hình 3.67 : Thiệt hại kinh tế do ngập lụt ước tính tại quận Bình Thủy 145
Hình 3.68: Thiệt hại kinh tế do ngập lụt ước tính tại quận Ninh Kiều.....146

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1. Các dự án phát triển đô thị được triển khai ở Cần Thơ trong những năm qua.....36
Bảng 1.2. Các dự án quản lý rủi ro và thích ứng biến đổi khí hậu 36
Bảng 2.1. Cần Thơ - Kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) 59
Bảng 2.2. Ô Môn - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) 60
Bảng 2.3. Núi Sập - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) 60
Bảng 2.4. Long Xuyên - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1980 - 2019).....61
Bảng 2.5. Các yếu tố mảnh vụn cho các mục đích sử dụng khác nhau, độ sâu và vận tốc lũ 72
Bảng 2.6. Phân cấp hiểm họa lũ.....73
Bảng 2.7. Các yếu tố giá trị để đánh giá rủi ro lũ lụt.....73
Bảng 2.8. Chỉ số nhạy cảm rủi ro lũ lụt xã hội 75
Bảng 2.9. Chỉ số năng lực đối phó và thích nghi xã hội rủi ro lũ lụt.....75
Bảng 2.10. Phân cấp SFRI 76
Bảng 2.11 Tóm tắt đặc trưng các kịch bản, mức tăng nhiệt độ so với thời kỳ cơ sở (1986 - 2005) 82
Bảng2.12. Mức biến đổi trung bình của lượng mưa năm % theo kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 theo Báo cáo BĐKH 2020, Bộ TN&MT. 86
Bảng 2.13. Tỷ lệ phần trăm gia tăng lượng mưa hàng năm được dự báo tại Cần Thơ.....86
Bảng 2.14. Độ tăng tỷ lệ lượng mưa cực trị tại thành phố Cần Thơ năm 2050 ...87
Bảng 2.15. Tỷ lệ tăng mưa cực đại trong 1 ngày tối đa theo kịch bản ở Cần Thơ 88
Bảng 2.16. Mức tối đa dự kiến hàng năm dựa trên hồi quy tuyến tính 89
Bảng 2.17. Các biên mực nước tối đa (m) tại Cần Thơ và Long Xuyên.....90
Bảng 3.1: Tổng hợp các loại hình sử dụng đất 106

Bảng 3.2. Các hàm thiệt hại 110
Bảng 3.3. Thống kê diện tích chịu rủi ro ngập tại quận Bình Thủy 119
Bảng 3.4. Thống kê diện tích chịu rủi ro ngập tại quận Ninh Kiều.....120
Bảng 3.5. Thống kê dân cư chịu ảnh hưởng của rủi ro ngập tại Ninh Kiều (người) 120
Bảng 3.6. Thống kê dân cư chịu ảnh hưởng của rủi ro ngập tại Bình Thủy (người) 120
Bảng 3.7 Thống kê thiệt hại kinh tế do lũ tại lõi đô thị Cần Thơ theo đối tượng chịu thiệt hại 124
Bảng 3.8. Thống kê thiệt hại kinh tế đối với ngập lụt trên khu vực quận Ninh Kiều 125
Bảng 3.9. Thống kê thiệt hại kinh tế đối với ngập lụt trên khu vực quận Bình Thủy 126
Bảng 3.10. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 1% 135
Bảng 3.11. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 2% 136
Bảng 3.12. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 5% 136
Bảng 3.13. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 10% 137
Bảng 3.14. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 20% 138
Bảng 3.15. Thiệt hại kinh tế do ngập lụt ước tính tại quận Bình Thủy 145
Bảng 3.16. Thiệt hại kinh tế do ngập lụt ước tính tại quận Ninh Kiều.....146

DANH MỤC CÁC KÍ KIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

BĐKH	Biến đổi Khí hậu
ĐGRRTT	Đánh giá rủi ro thiên tai
NHTG	Ngân Hàng Thế giới
PTBV	Phát triển bền vững
QLRR&UPBĐKH	Quản lý rủi ro và ứng phó biến đổi khí hậu
FRMIS	Hệ thống thông tin quản lý rui ro ngập lụt
GIS	Hệ thống thông tin địa lý
RCP	Kịch bản mức phát thải
IPCC	Ủy ban Liên chính phủ về biến đổi khí hậu

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Ngập lụt là một trong những dạng thiên tai phổ biến nhất trên thế giới cũng như tại Việt Nam [56], đã và đang gây ra những thiệt hại nặng nề không chỉ về kinh tế (thiệt hại về tài sản; Ảnh hưởng phát triển kinh tế, sản xuất,…) và tính mạng con người mà còn gây ra những hậu quả nghiêm trọng khác về môi trường như: ô nhiễm nguồn nước, là nguồn phát sinh các mầm bệnh,... Theo tổ chức phi chính phủ về môi trường Germanwatch (Đức) Việt Nam là một trong những quốc gia chịu tác động lớn nhất của Biến đổi khí hậu, đứng thứ 13 trên 180 quốc gia theo chỉ số rủi ro khí hậu toàn cầu giai đoạn 2000 – 2021 [39] do vậy, các tác động của ngập lụt nói chung và ở nước ta nói riêng sẽ ngày càng nghiêm trọng trong tương lai. Tại Việt Nam ngập lụt được chia thành 2 loại: (1) ngập lụt ở các lưu vực sông do lượng mưa lớn trên lưu vực và ngập lụt cục bộ do mưa hoặc mức nước sông lớn. Dạng ngập lụt lưu vực sông thường gặp ở các hệ thống sông miền Trung với lưu vực thu nước lớn, độ dốc cao dẫn đến dòng chảy tràn trên khu vực đồng bằng cửa sông, (2) ngập cục bộ thường xảy ra ở các khu vực đồng bằng, thành phố có lượng mưa lớn bất thường hoặc/và chịu tác động của triều cường mà hạ tầng thoát nước không đảm bảo khả năng tiêu thoát. Đánh giá rủi ro ngập lụt là hết sức cần thiết, là bước đầu để lập các kế hoạch ứng phó, giảm nhẹ các hậu quả mà nó gây ra. Đánh giá rủi ro ngập lụt nói chung, bao gồm đánh giá tác động xã hội và tác động kinh tế của các trận lũ lụt[57]. Các đánh giá rủi ro, tác động của ngập lụt được xác định trong các điều kiện biến đổi khí hậu nhằm nghiên cứu tác động của BĐKH tới sự phát triển bền vững của từng địa phương. Mỗi địa phương trong cả nước sẽ có các đặc trưng về thiên tai nói chung và ngập lụt nói riêng khác nhau. Đối với các địa phương khu vực Đồng bằng sông Cửu Long, ngập lụt có cả lợi và hại, trong đó, ngập lụt từ lũ thượng nguồn thường đem lại lượng phù sa lớn và lượng nước cần thiết có lợi cho phát triển nông nghiệp, còn ngập lụt do mưa hoặc triều cường lại là một trong những tác nhân gây ảnh hưởng lớn tới sự phát triển của các đô thị trong vùng hạ lưu sông Mê Kông.

Cần Thơ là thủ phủ của khu vực Tây Nam Bộ, sự phát triển của thành phố này phản ánh những chuyển biến kinh tế xã hội của cả vùng kinh tế lớn của Việt Nam. Từ năm 2004, Nghị quyết 45/NQ/TW đã trở thành chính sách quan trọng nhất trong sự phát

triển của Cần Thơ. Sau 15 năm thực hiện Nghị quyết 45 của Bộ Chính trị, đến nay nhiều mục tiêu, định hướng lớn của Nghị quyết 45 đã được triển khai thực hiện đạt kết quả quan trọng. Kinh tế thành phố tăng trưởng khá, giai đoạn 2006-2019 đạt mức bình quân 7,23%/năm, cao hơn mức tăng trung bình cả nước. Tổng sản phẩm bình quân đầu người năm 2024 đạt mức 104,63 triệu đồng/người/năm (tương đương 4.162 USD), tăng 10,34% so với năm 2023, tương ứng với tăng 9,81 triệu đồng. Trong 5 thành phố trực thuộc Trung ương, TP Cần Thơ đứng hạng thứ 5, xếp theo thứ tự tăng dần là Cần Thơ, Đà Nẵng, Hà Nội, TP Hồ Chí Minh và Hải Phòng.. Văn hóa xã hội đạt nhiều tiến bộ, từng bước khẳng định vai trò trung tâm vùng đồng bằng sông Cửu Long ở một số lĩnh vực như: giáo dục - đào tạo, y tế, văn hóa, khoa học- công nghệ, an sinh xã hội được đảm bảo [1]. Năm 2020, Bộ Chính trị đã đưa ra nghị quyết 59 NQ/TW về "Xây dựng và phát triển thành phố Cần Thơ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045" trong đó nhấn mạnh việc phát triển kinh tế, xã hội phải gắn liền với mục tiêu phát triển bền vững và ứng phó biến đổi khí hậu.

Trong các mục tiêu của phát triển bền vững thành phố Cần Thơ, việc ứng phó với tác động của rủi ro thiên tai cũng như ứng phó biến đổi khí hậu là mục tiêu hàng đầu, đòi hỏi sự chung tay của các cơ quan địa phương, các nhà khoa học và người dân thành phố [139]. Đối với thành phố Cần Thơ nói riêng và khu vực Tây Nam Bộ nói chung, việc phát triển đô thị luôn luôn gắn liền với việc ứng phó với lũ lụt, xâm nhập mặn và sạt lở bờ sông, biển cũng như việc sụt giảm phù sa tại các dòng sông chính. Bên cạnh đó, sụt lún đất cũng là một trong những nguyên nhân cơ bản tạo nên những bất lợi của đồng bằng Sông Cửu Long trước tác động của biến đổi khí hậu, đặc biệt là nước biển dâng và các bất thường về lượng mưa [130]. Nhằm đối phó với những vấn đề về biến đổi khí hậu, Chính phủ Việt Nam đã đưa ra Nghị quyết 120/NQ-CP ngày17/02/2017 nhằm đưa ra các quyết sách ứng phó dựa trên khái niệm về "thuận thiên", thích nghi và ứng dụng các phương pháp ứng phó dựa vào tự nhiên. Việc áp dụng nghị quyết 120 đã đem lại những kết quả tích cực cho vùng đồng bằng SCL [138].Tại Hội nghị lần thứ 3 về phát triển bền vững đồng bằng sông Cửu Long thích ứng với biến đổi khí hậu, Thủ tướng chính phủ đã yêu cầu các địa phương và các bộ, ngành chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu. Điều này tạo tiền đề cho các địa phương, trong đó có Cần Thơ xây dựng các quyết sách để đáp ứng các mục tiêu phát triển bền vững, ứng phó BĐKH. Việc xác

định, đánh giá các thiên tai, vấn đề liên quan đến khí hậu luôn là điều kiện tiên quyết để đưa ra các biện pháp thích ứng phù hợp với mục tiêu phát triển.

Trong các thiên tai chủ yếu tại Cần Thơ, ngập lụt là vấn đề chính, xảy ra bởi sự kết hợp giữa lượng mưa lớn, hệ thống thoát nước yếu kém và tác động của triều cường, mực nước sông. Bên cạnh đó, khả năng sụt lún cũng là một vấn đề làm trầm trọng thêm ảnh hưởng của ngập lụt tới thành phố [15]. Để ứng phó với tình trạng ngập lụt, Cần Thơ đã thực hiện nhiều biện pháp, tuy nhiên, đến nay, thực trạng ngập vẫn chưa được giải quyết một cách triệt để. Chính vì vậy, việc đánh giá rủi ro do ngập lụt đô thị tại Cần Thơ là hết sức cần thiết để tạo tiền đề cho các biện pháp ứng phó, thích nghi và đảm bảo các mục tiêu về phát triển bền vững cho thành phố trong điều kiện biến đổi khí hậu[91].

Trong các nghiên cứu trên thế giới và tại Việt Nam, đặc biệt là đối với khu vực Cần Thơ, các nghiên cứu về rủi ro ngập lụt rất đa dạng. Các nghiên cứu này tập trung đánh giá nhiều khía cạnh của ngập lụt, đặc biệt là ngập lụt đô thị. Tuy nhiên, đa phần các nghiên cứu tập trung đánh giá một hoặc một vài yếu tố rủi ro ngập lụt, hoặc chưa đưa ra khung đánh giá mang tính phổ quát, hoặc thiếu các công cụ hỗ trợ quá trình đánh giá rủi ro. Đa phần các nghiên cứu tập trung cho đánh giá hiện trạng ngập lụt mà chưa có nhiều nghiên cứu gắn kết với các kịch bản biến đổi khí hậu và lượng hóa được tác động của nó tới rủi ro ngập lụt tại đô thị. Do đó, việc nghiên cứu xây dựng khung đánh giá và bộ công cụ hỗ trợ đánh giá rủi ro ngập lụt là rất cần thiết. Bên cạnh đó, việc áp dụng khung đánh giá và công cụ hỗ trợ với các biến động giá trị đầu vào của BĐKH hoàn toàn lượng hóa được tác động của BĐKH tới rủi ro ngập lụt đô thị về kinh tế - xã hội. Chính vì vậy nghiên cứu sinh lựa chọn đề tài "Đánh giá rủi ro ngập lụttrong bối cảnh biến đổi khí hậu phục vụ phát triển bền vững lõi đô thị thành phố Cần Thơ" có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Mục tiêu nghiên cứu

2.1. Mục tiêu chung

Đánh giá được rủi ro ngập lụt lõi đô thị thành phố Cần Thơ thích ứng với biến đổi khí hậu theo các kịch bản phục vụ phát triển bền vững.

2.2. Mục tiêu cụ thể

- Khái quát và hệ thống hóa được cơ sở lí luận và thực tiễn về đánh giá rủi ro ngập

lụt đô thị;

- Xây dựng được quy trình, khung đánh giá và công cụ đánh giá rủi ro do ngập lụt tới kinh tế - xã hội của khu vực nghiên cứu ;

- Đánh giá được rủi ro, tác động của ngập lụt tới dân cư, kinh tế xã hội tại lõi đô thị Cần Thơ từ đó xây dựng kịch bản rủi ro ngập lụt trong tương lai với sự biến đổi khí hậu tại lõi đô thị Cần Thơ;

3. Nội dung nghiên cứu

- Tổng quan tình hình nghiên cứu đánh giá rủi ro kinh tế xã hội của ngập lụt đô thị tại Việt Nam và trên thế giới.

- Nghiên cứu cơ sở khoa học của đánh giá rủi ro kinh tế - xã hội của ngập lụt, đặc biệt là ngập lụt đô thị từ đó đề xuất quy trình, công cụ đánh giá rủi ro phù hợp với hiện trạng khu vực nghiên cứu và dữ liệu sẵn có.

- Thực nghiệm đánh giá rủi ro kinh tế xã hội của ngập lụt đô thị tại lõi đô thị thành phố Cần Thơ. Áp dụng các công cụ đánh giá rủi ro để dự báo tác động của biến đổi khí hậu tới kinh tế - xã hội khu vực nghiên cứu.

4. Đối tượng và Phạm vi nghiên cứu

4.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là các vấn đề về Rủi ro kinh tế - xã hội do ngập lụt đô thị dưới tác động của biến đổi khí hậu.

4.2. Phạm vi nghiên cứu

- *Phạm vi về không gian:* Luận án nghiên cứu trong phạm vi không gian của toàn bộ lõi đô thị của thành Phố Cần Thơ bao gồm toàn bộ các phường thuộc quận Ninh Kiều (Ngoài trừ phần phía Nam rạch Cái Sơn của phường An Bình), và phường Bùi Hữu Nghĩa, phần bờ hữu sông Bình Thủy của các phường An Thới, Long Hòa, Long Tuyền thuộc quận Bình Thủy.

Phạm vi về khoa học: Luận án sẽ tập trung nghiên cứu cơ sở khoa học cũng như phân tích và đánh giá rủi ro do ngập lụt đối với các đối tượng dân cư, kinh tế xã hội nói chung và cho lõi của đô thị Cần Thơ nói riêng.

5. Điểm mới của luận án

- Nghiên cứu và xây dựng được bộ công cụ phù hợp đánh giá rủi ro kinh tế - xã hội do ngập lụt gây ra cho lõi đô thị thành phố Cần Thơ.

- Áp dụng bộ công cụ đánh giá rủi ro kinh tế - xã hội do ngập lụt từ đó xác định được các tác động của biến đổi khí hậu tới lõi đô thị của thành phố Cần Thơ.

6. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Mô hình hóa kết hợp GIS là công cụ đánh giá rủi ro ngập lụt hiệu quả, cho phép tự động hóa quá trình đánh giá.

Luận điểm 2: Bộ công cụ đánh giá đã xác định được các động của biến đổi khí hậu tới rủi ro kinh tế xã hội của ngập lụt ở lõi đô thị của thành phố Cần Thơ theo kịch bản biến đổi khí hậu.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

7.1. Ý nghĩa khoa học

- Nghiên cứu góp phần làm rõ cơ sở khoa học về đánh giá rui ro lụt đô thị tại thành phố Cần Thơ, đánh giá xác định các rủi ro kinh tế - xã hội, thiệt hại có thể gây ra bởi ngập lụt đô thị theo các kịch bản biến đổi khí hậu.

- Kết quả nghiên cứu hỗ trợ cho các nhà quy hoạch phát triển đô thị nhanh chóng đưa ra những giải pháp thích ứng kịp thời nhằm nâng cao khả năng chống ngập cho thành phố Cần Thơ cũng như đảm báo các mục tiêu phát triển bền vững trong tương lai.

7.2. Ý nghĩa thực tiễn

- Kết quả nghiên cứu là tài liệu tham khảo có giá trị đối với các nhà quản lý đô thị, phòng chống thiên tai và ứng phó biến đổi khí hậu nhằm mục tiêu phát triển bền vững tại các vùng đô thị ĐBSCL.

- Kết quả đánh giá rủi ro định tính và định lượng có thể hỗ trợ giải pháp thích ứng, giảm nhẹ tình trạng ngập lụt đô thị tại lõi đô thị Cần Thơ nhằm hỗ trợ thành phố trong công tác ứng phó với ngập lụt và biến đổi khí hậu.

8. Cấu trúc của luận án

Luận án được trình bày trong 149 trang, với112 hình, 35 bảng biểu bao gồm phần mở đầu, kết luận - kiến nghị và tài liệu tham khảo và được trình bày trong 3 chương:

Chương 1: Tổng quan các vấn đề nghiên cứu

Chương 2: Khái quát về khu vực nghiên cứu, cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Chương 3: Kết quả nghiên cứu và thảo luận

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Các khái niệm cơ bản

1.1.1. Khái niệm phát triển bền vững

Phát triển bền vững là một trong những mục tiêu lớn nhất của các chương trình phát triển trên thế giới. Từ năm 1992, phát triển bền vững dựa trên khái niệm về "sự bền vững" trở thành trung tâm của các cuộc thảo luận. Đến năm 2012, tại hội nghị Rio+20, khái niệm về phát triển bền vững tiếp tục được củng cố[40]. Tuy nhiên khái niệm về PTBV đã bắt đầu từ trước đó khá lâu.

Năm 1987 đánh dấu một bước phát triển mới của PTBV khi lần đầu tiên, một công thức kết nối chung giữa xã hội, kinh tế và sinh thái được đưa ra tại Hội đồng thế giới về Môi trường và Phát triển [25].Khái niệm về PTBV được đưa ra tại đây và được áp dụng tại Rio 5 năm sau đó. Khái niệm đó được sử dụng rộng rãi trong hàng ngàn các nghiên cứu về PTBV sau này [25]:

"Phát triển bề vững là sự phát có thể đáp ứng được những nhu cầu hiện tại mà không ảnh hưởng, tổn hại đến những khả năng đáp ứng nhu cầu của thế hệ tương lai" [28].

Theo đó, PTBV có thể được xác định bao gồm 2 khái niệm chính:

- Khái niệm về nhu cầu tiêu thụ nói chung và nhu cầu của thế giới đối với tài nguyên nói chung.

- Ý tưởng về sự hạn chế mang tính bắt buộc về công nghệ và tổ chức về khả năng đáp ứng của môi trường đối với nhu cầu hiện tại và tương lai.

Tại Hội nghị thế giới về phát triển bền vững 2002, nhiều thảo luận được đưa ra theo, PTBV trở thành một trong những vấn đề nóng khi các quốc gia đồng ý thực thi Chương trình 21 của hội nghị Rio 1992 [97].

Đến năm 2012, Hội nghị Rio+20 đánh dấu bước chuyển mình mạnh mẽ của thế giới trong PTBV với sự ra đời của các mục tiêu phát triển bền vững (SDGs), sau đó được đưa vào chương trình phát triển của LHQ 2015[121]. Các mục tiêu phát triển bền vững bao gồm 17 mục, 169 tiêu chuẩn và 304 tiêu chí đánh giá liên quan tới 194 quốc gia thành viên LHQ. 17 mục tiêu chính đó được trình bày dưới hình 1.1.

Hình 1.1. Các mục tiêu phát triển bền vững (UN 2015) [121]

Dựa trên các mục tiêu PTBV, các chính sách, thể chế được các quốc gia áp dụng theo điều kiện của từng quốc gia. Các mục tiêu PTBV, vì thế cũng có sự cân nhắc khác nhau giữa các quốc gia trên thế giới [121].Tại Việt Nam, các mục tiêu PTBV cũng được đưa vào trong các kế hoạch hành động của chính phủ từ năm 2017 với 4 khối tập trung được trình bày trong một kế hoạch chiến lược hợp nhất do Chính phủ phối hợp với LHQ xuất bản. Các khối tập trung này bao gồm:

- Khối tập trung 1: Đầu tư vào con người; bao gồm các mục tiêu 1,2,3,4,5,6.
- Khối tập trung 2: Đảm bảo khả năng thích ứng với khí hậu và môi trường bền vững; gồm các mục tiêu 2,5,6,7,9,11,12,13,14,15.
- Khối tập trung 3: Thịnh vượng và hợp tác; bao gồm các mục tiêu 5,8,10,12,17.
- Khối tập trung 4: Thúc đẩy công lý, hoa bình và quản trị toàn diện; gồm các mục tiêu 5,10,16.

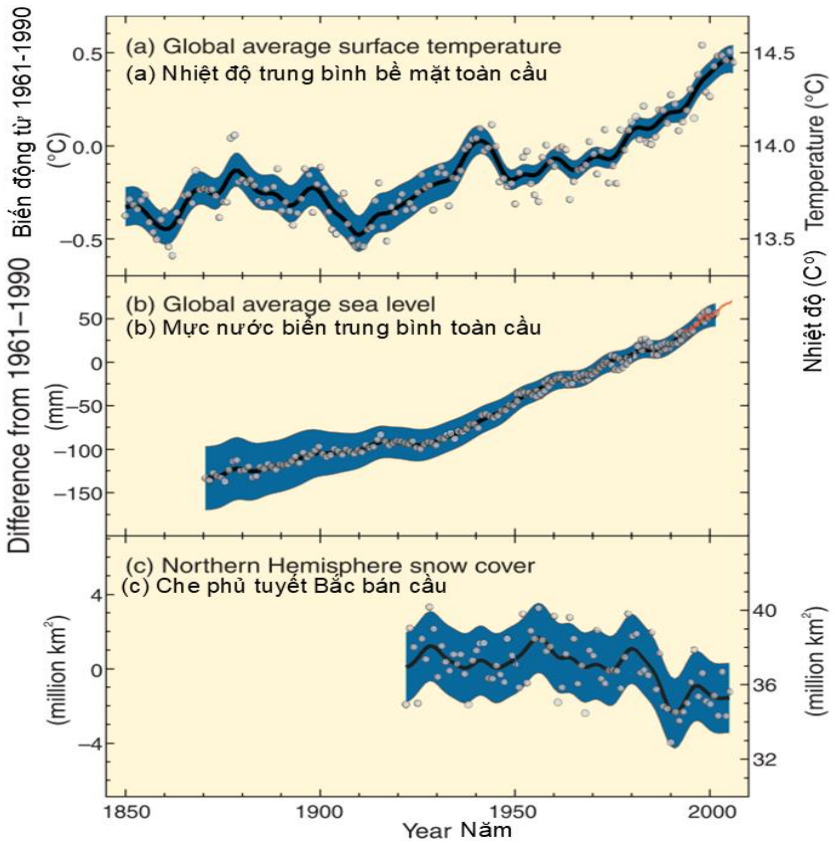
Có thể thấy, xuyên suốt từ các khái niệm ban đầu tới các mục tiêu phát triển bền vững, ứng phó với biến đổi khí hậu cũng như phòng chống giảm nhẹ thiên tai luôn là một trong những mục tiêu quan trọng nhất.

1.1.2. Khái niệm về biến đổi khí hậu và tác động của biến đổi khí hậu

Khí hậu, “climate”, theo định nghĩa của Hiệp hội khí tượng Hoa Kỳ: “Các khía cạnh thay đổi từ từ của hệ thống bề mặt khí quyển - thủy quyển - đất. Nó thường được đặc trưng về giá trị trung bình có thể chấp nhận được của hệ thống khí hậu trong các

khoảng thời gian từ một tháng trở lên, có tính đến sự biến thiên theo thời gian của các đại lượng trung bình này.”[34]. Theo Luật Khí tượng thủy văn 2015, “Khí hậu là tổng hợp các điều kiện thời tiết ở một khu vực nhất định, đặc trưng bởi các đại lượng thống kê dài hạn của các yếu tố khí tượng tại khu vực đó”.

Theo đó, biến đổi khí hậu (BĐKH) được định nghĩa là “sự biến đổi có hệ thống trong việc thống kê các yếu tố khí hậu như nhiệt độ, lượng mưa, gió, khí áp,… qua vài thập niên hoặc dài hơn” [34] hoặc theo Luật Khí tượng thủy văn 2015: “*Biến đổi khí hậu* là sự thay đổi của khí hậu trong một khoảng thời gian dài do tác động của các điều kiện tự nhiên và hoạt động của con người, biểu hiện bởi sự nóng lên toàn cầu, mực nước biển dâng và gia tăng các hiện tượng khí tượng thủy văn cực đoan”. Như vậy, biến đổi khí hậu có thể được đánh giá qua thời gian dài quan sát. Mặc dù còn nhiều tranh luận về nguyên nhân gây ra biến đổi khí hậu, nhưng thực tế về biến đổi khí hậu đã hiện hữu bằng các thống kê rất cụ thể. Từ 1995 đến 2007, nhiệt độ của 13 năm trung bình đã tăng lên 0.18 độ C. Từ báo cáo của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (ICCP) năm 2007[58], chúng ta có thể thấy nhiệt độ bề mặt trái đất đang tăng lên khá nhanh như hình 1.2.



Hình 1.2. Dữ liệu quan trắc biến đổi nhiệt độ bề mặt trái đất trích từ báo cáo của IPCC 2007[59].

Theo báo cáo về quản lý rủi ro của IPCC 2012 [57], BĐKH dẫn đến sự biến đổi lớn về các đại lượng khí hậu trong đó các biến động này được chia làm 2 nhóm: Các hiện tượng cực đoan và thiên tai.

Các hiện tượng cực đoan là khi các biến động thời tiết vượt quá mức trung bình hàng năm. Trong khi đó, **thiên tai** được định nghĩa là các ảnh hưởng tới hoạt động của một cộng đồng hoặc xã hội do các hiện tượng hiểm họa tương tác với các điều kiện dễ bị tổn thương dẫn đến các ảnh hưởng tới con người, tài sản, kinh tế hay môi trường đòi hỏi phải triển khai các biện pháp ứng phó và phục hồiTheo đó, một số dự báo được đưa ra rằng BĐKH sẽ là thách thức lớn nhất đối với tương lai của con người [60].

Biến đổi khí hậu tại Việt Nam.

Trong Báo cáo Đặc biệt của Việt Nam về quản lý rủi ro thiên tai [14] đã đưa ra những kết luận rất rõ ràng về biến đổi khí hậu và tác động của nó tới Việt Nam. Theo đó, BĐKH tại Việt Nam cũng như trên toàn thế giới có sự diễn tiến không đồng đều, nhưng lại là nguyên nhân chính thúc đẩy tần suất, cường độ của các hiện tượng cực đoan thời tiết như bão, lũ, hạn hán, sương muối, nắng nóng… Theo nghiên cứu trên, tần suất các cơn bão lớn đổ bộ vào lãnh thổ Việt Nam có xu hướng tăng lên trong 40 năm qua (1975-2015), bên cạnh đó là các đợt lũ lớn diễn ra trên diện ngày càng rộng và thiệt hại ngày càng tăng. Theo các báo cáo của Tổng cục Phòng chống Thiên tai [11]–[13], thiệt hại từ thiên tai của các năm 2018, 2019 và 2020 lần lượt là 20000 tỉ đồng, ~6800 tỉ đồng và hơn 39000 tỉ đồng. Có thể nói, các thiên tai khí hậu đang là một trong những tác nhân lớn nhất cản trở sự phát triển của kinh tế, xã hội Việt Nam. Bên cạnh thiệt hại về kinh tế, các thiên tai này còn gây ra sự mất mát lớn về con người, sinh kế và môi trường.

1.1.3. Các khái niệm về đánh giá rủi ro thiên tai và các thành phần của rủi ro thiên tai.

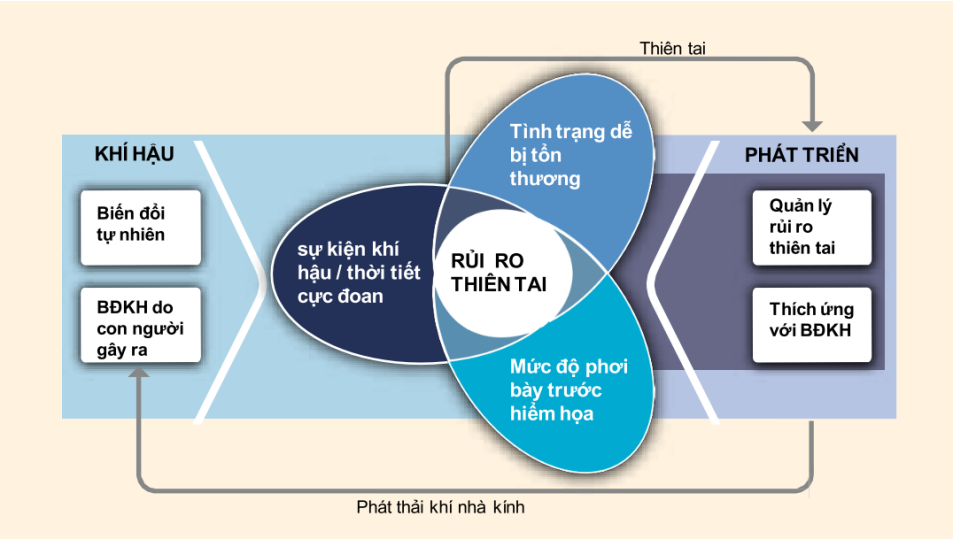
Rủi ro từ các thiên tai tự nhiên là một hàm của hiểm họa tương tác với tính dễ bị tổn thương và các yếu tố hứng chịu [86]. Tuy nhiên trước đó, tại các hội nghị của IPCC vào các năm 2001 và 2007, việc định nghĩa rủi ro được xác định bằng công thức (1.1).

$$R=f(H,V) \qquad (1.1)$$

trong đó R là rủi ro, H là hiểm họa và V là tính dễ bị tổn thương [26], [61].

Ở định nghĩa này Hiểm họa được coi là tác nhân tiềm tàng có thể gây hại cho con người, môi trường, kinh tế xã hội. Các tác nhân này có thể là các yếu tố tự nhiên hoặc tác động nhân tạo. Trong khi đó, tính dễ bị tổn thương được coi là mức độ mà một hệ thống có thể nguy hại hoặc không còn khả năng chịu đựng đó với các tác động của BĐKH bao gồm các biến động thời tiết và các cực đoan. Tính dễ bị tổn thương là hàm của đặc trưng, mức độ và cường độ biến động của các yếu tố khí hậu tới một hệ thống bị phơi lộ, gắn liền với sự nhạy cảm và khả năng ứng phó của hệ thống đó [60]. Các đánh giá này được áp dụng cho tới năm 2012, và được áp dụng trong luật phòng chống thiên tai của một số nước, trong đó có Việt Nam.

Tại hội nghị IPCC 2012[57], các nhà khoa học đã thống nhất được công thức chung để xác định hiểm họa tự nhiên như hình 1.3 [57]:



Hình 1.3. Các yếu tố của rủi ro thiên tai (IPCC 2012)

Theo đó việc đánh giá rủi ro thiên tai tự nhiên bao gồm 3 thành phần chính Hiểm họa, Tính dễ bị tổn thương và Mức độ phơi lộ. Quan hệ giữa Rủi ro và 3 thành phần này được xác định thông qua công thức 1.2.

$$R=f(H,V,E) \qquad (1.2)$$

Trong đó, R là rủi ro; H,V,E lần lượt là Hiểm họa, Tính dễ bị tổn thương và Mức độ phơi lộ.

Theo đó, **hiểm họa** được định nghĩa là khả năng xảy ra một sự kiện vật lý do tự nhiên hoặc nhân tạo có thể dẫn đến sự tổn thất về con người, sức khỏe cũng như gây thiệt hại, tổn thất về vật chất.

Tính dễ bị tổn thương được định nghĩa là xu hướng hoặc khuynh hướng bị ảnh

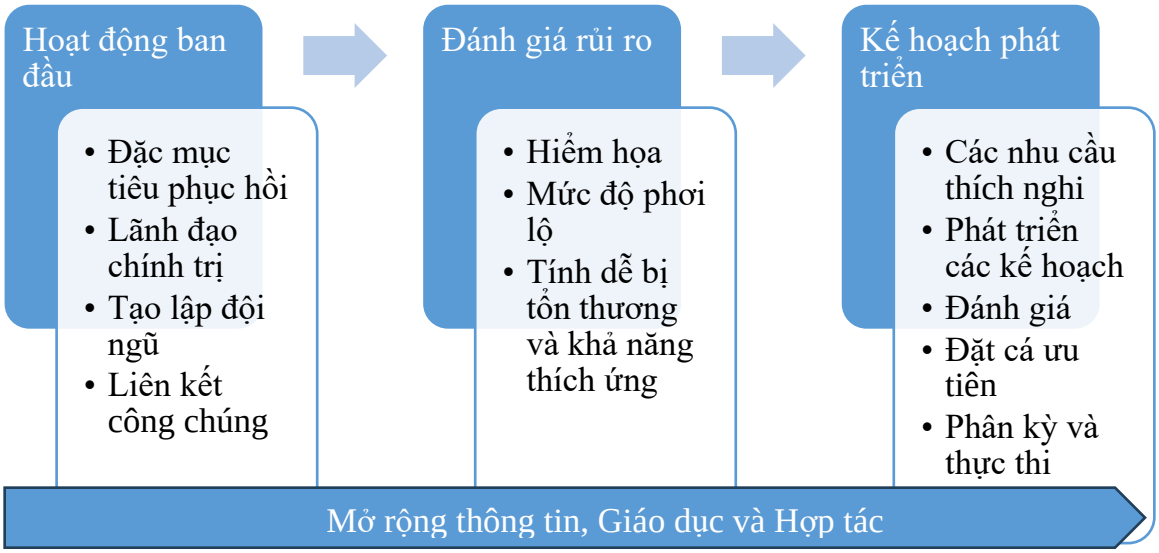
hưởng bất lợi. Khuynh hướng như vậy tạo thành một đặc tính bên trong của yếu tố bị ảnh hưởng. Trong lĩnh vực rủi ro thiên tai, điều này bao gồm các đặc điểm của một người hoặc một nhóm người và hoàn cảnh của họ ảnh hưởng đến khả năng dự đoán, đối phó, chống chọi và phục hồi sau những tác động bất lợi của các sự kiện vật lý [129].

Mức độ phơi lộ là sự xuất hiện của con người, sinh kế, dịch vụ môi trường, tài nguyên, hạ tầng hoặc các giá trị kinh tế, xã hội, văn hóa nằm trong vùng chịu tác động của hiểm họa; do vậy, có thể bị thiệt hại, nguy hiểm [57].

Các khái niệm về 3 thành phần trên là tương đối dễ hiểu nhưng lại khó khăn trong việc đánh giá trong thực tế [120]. Bởi việc phân định các yếu tố của rủi ro thiên tai thường không rõ ràng, các nghiên cứu đánh giá thường được phân ra hai hướng chính là đánh giá định tính và định lượng. Trong cả hai hướng này, GIS đều được sử dụng như một công cụ cực kỳ quan trọng [128].

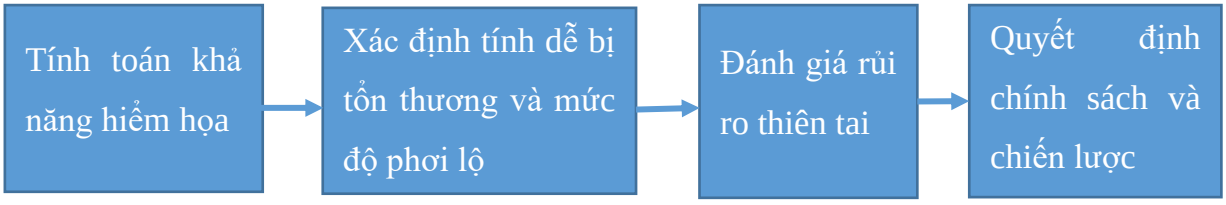
Quá trình đánh giá rủi ro thiên tai:

Dựa trên các khung đánh giá của IPCC [56], [62], ba bước được xác định tác động của biến đổi khí hậu tới các thiên tai như hình 1.4.



Hình 1.4. Quá trình xác định tác động của biến đổi khí hậu tới thiên tai [120].

Như vậy việc đánh giá rủi ro thiên tai trở thành một khâu quan trọng trong quá trình ứng phó biến đổi khí hậu. Dựa vào các thành phần của rủi ro được xác định, một quy trình đánh giá rủi ro thiên tai tổng quát có thể được xác định như hình 1.5:



Hình 1.5. Quy trình đánh giá rủi ro thiên tai[86]

Trong thực tế, khung đánh giá rủi ro thiên tai và các quy trình đánh giá rủi ro thiên tai được áp dụng chung cho đại đa số các thiên tai. Theo đó, tùy thuộc vào dạng, loại hình thiên tai, các yếu tố thành phần của đánh giá rủi ro có thể được xây dựng và xác định bằng nhiều phương pháp khác nhau, nhưng khung đánh giá chung là giống nhau.

Đối với Hiểm họa, các dạng thiên tai thường được phân làm 2 dạng chính: cục bộ và khu vực. Các dạng cục bộ có thể bao gồm các dạng thiên tai có tác động với diện tích nhỏ như lốc, sét; các dạng khu vực có thể bao gồm nhiều dạng như bão, lũ, hạn hán, nhiệt độ cao, mưa lớn,… Hiểm họa thường được đánh giá dựa trên phạm vi, cường độ, thời gian diễn ra, chu kỳ lặp lại,…của dạng thiên tai được đánh giá.

Tính dễ bị tổn thương được đánh giá bằng tổng hợp của 2 khối nhóm chỉ số chính: Độ nhạy và Khả năng chống chịu. Cả 2 nhóm chỉ số này thường được đánh giá thông qua các chỉ số dân sinh - kinh tế - xã hội của khu vực xảy ra thiên tai. Các chỉ số này còn được gọi là các chỉ tiêu đánh giá, được xác định thông qua quá trình phân tích đa chỉ tiêu.

Mức độ phơi lộ của của khu vực chịu thiên tai thường được đánh giá thông qua thống kê, đánh giá về giá trị, thời gian chịu thiên tai của con người và các đối tượng kinh tế xã hội dưới tác động của thiên tai. Đối với khung đánh giá IPCC 2007 thì Mức độ phơi lộ được coi là một hợp phần trong Tính dễ bị tổn thương, tuy nhiên, đối với cập nhật IPCC 2014 và 2020, Mức độ phơi lộ được đánh giá thành một yếu tố độc lập. Điều này có được là do sự phát triển mạnh của các công cụ phân tích và sự sẵn sàng của các dữ liệu hiện nay.

Tùy thuộc vào loại hình thiên tai, các kỹ thuật đánh giá rủi ro sẽ được áp dụng một cách cụ thể. Đánh giá rủi ro phụ thuộc rất lớn vào đặc điểm, tính chất và mức độ sẵn sàng của các dữ liệu.

1.1.4. Các khái niệm chung về mô hình hóa ngập lụt

1.1.4.1. Mô hình hóa và mô hình thủy văn và thủy lực

Mô hình hóa (Modeling)

Mô hình hóa là quá trình xây dựng và sử dụng các mô hình (models) để biểu diễn các hệ thống thực tế hoặc các hiện tượng tự nhiên[19], [51]. Mô hình có thể ở dạng toán học, đồ họa, vật lý, hoặc số học, và được sử dụng để:

- Dự đoán: Dự đoán hành vi hoặc kết quả trong tương lai dựa trên các điều kiện đầu vào.
- Tối ưu hóa: Tìm cách cải thiện hiệu suất hoặc giải pháp tốt nhất cho vấn đề.
- Quyết định: Hỗ trợ đưa ra các quyết định chiến lược hoặc kỹ thuật.

Trong lĩnh vực thủy văn, mô hình hóa thường tập trung vào việc biểu diễn các hiện tượng liên quan đến nước, như mưa, dòng chảy, thoát nước, và các yếu tố khí hậu.

Mô hình thủy văn (Hydrological Modeling)

Mô hình thủy văn là quá trình sử dụng các phương pháp toán học và số học để mô phỏng các quá trình tự nhiên liên quan đến nước trong hệ thống thủy văn[48], bao gồm các đầu vào:

- Mưa: Lượng mưa và sự phân bố theo không gian và thời gian.
- Dòng chảy tràn bề mặt (Surface runoff): Nước chảy trên bề mặt đất.
- Thấm (Infiltration): Nước thấm vào trong đất.
- Bốc hơi và thoát hơi nước (Evaporation and Transpiration): Nước từ mặt đất hoặc từ thực vật chuyển vào không khí.
- Dòng chảy ngầm (Groundwater flow): Chuyển động của nước ngầm trong đất.

Mục tiêu của mô hình thủy văn

- Hiểu và dự báo các hiện tượng thủy văn như lũ lụt, hạn hán.
- Tính toán lượng nước trong các lưu vực sông để quản lý nguồn nước.
- Thiết kế và đánh giá hiệu quả của các công trình thủy lợi.
- Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và hoạt động con người lên chu trình nước.

Phân loại mô hình thủy văn

- Mô hình khái niệm: Sử dụng các khái niệm để mô tả các quá trình thủy văn trong đó áp dụng các phương pháp toán học nhằm biểu diễn mối quan hệ giữa các thành phần của mô hình và dữ liệu.
- Mô hình vật lý: Dựa trên các thực nghiệm xây dựng mô hình.

- Mô hình thống kê: sử dụng các mô hình toán học để mô tả các khái niệm về dữ liệu và tương quan giữa các dữ liệu thủy văn

Mô hình thủy lực (Hydraulic Modeling)

Mô hình thủy lực là một loại mô hình chuyên biệt dùng để biểu diễn và phân tích chuyển động của nước trong các hệ thống tự nhiên (sông, hồ, biển) hoặc nhân tạo (ống dẫn, cống thoát nước, đập)[41]. Mô hình này dựa trên các nguyên lý vật lý, đặc biệt là:

- Cân bằng khối lượng: Nước không bị mất hoặc tạo ra một cách ngẫu nhiên.
- Cân bằng động lượng: Dòng chảy chịu ảnh hưởng bởi trọng lực, áp suất, và lực ma sát.

Phân loại mô hình thủy lực

- Mô hình vật lý: Mô phỏng thực tế trong phòng thí nghiệm, ví dụ như tạo ra một đoạn sông hoặc kênh nhân tạo để nghiên cứu dòng chảy.
- Mô hình toán học: Sử dụng các phương trình toán học (ví dụ: phương trình Navier-Stokes, phương trình Saint-Venant) để biểu diễn dòng chảy.
- Mô hình số (Numerical Models): Sử dụng máy tính và phần mềm để mô phỏng các hoạt động thủy động lực học, chẳng hạn như HEC-RAS, SWMM, MIKE 11/21.

1.1.4.2. Khái niệm về điều kiện biên và tần suất hiểm họa

Điều kiện biên (Boundary Conditions)

Điều kiện biên là các thông tin hoặc dữ liệu đầu vào tại ranh giới của các miền mô phỏng được sử dụng để xác định cách một hệ thống thủy văn hoặc thủy lực tương tác với môi trường xung quanh trong mô hình[48]. Đây là yếu tố quan trọng để mô hình hoạt động chính xác và phù hợp với thực tế.

Trong mô hình thủy văn, điều kiện biên thường bao gồm:

- Lượng mưa: Đầu vào chính của mô hình, có thể từ dữ liệu đo đạc, vệ tinh hoặc giả định dựa trên kịch bản.
- Thảm phủ thực vật: Ảnh hưởng đến quá trình bốc hơi và thấm.
- Đặc điểm đất: Độ thấm, khả năng giữ nước.
- Điều kiện địa hình: Độ dốc, lưu vực, và các đặc điểm tự nhiên.
- Lượng dòng chảy đầu vào/đầu ra: Dòng nước từ thượng nguồn hoặc các lưu vực lân cận.

Trong mô hình thủy lực: Điều kiện biên xác định các ranh giới về mặt vật lý của dòng chảy:

- Điều kiện biên thượng nguồn: Lưu lượng hoặc mực nước tại điểm đầu của dòng chảy.
- Điều kiện biên hạ nguồn: Mực nước hoặc lưu lượng tại điểm cuối, thường gắn liền với điều kiện môi trường như biển hoặc hồ, trong đó điều kiện này là các giá trị cố định hoặc điều kiện động như thủy triều.
- Điều kiện biên mặt bên : Nước chảy vào từ các khu vực lân cận, ví dụ như nước tràn bờ hoặc từ các nhánh sông nhỏ.

Tần suất hiểm họa

Tần suất hiểm họa là xác suất xảy ra các sự kiện tự nhiên nghiêm trọng (như lũ lụt, hạn hán) trong một khoảng thời gian nhất định[93]. Đây là yếu tố quan trọng trong việc phân tích và thiết kế các công trình liên quan đến thủy văn và thủy lực.

Trong mô hình thủy văn, tần suất hiểm họa được áp dụng để mô phỏng các sự kiện cực đoan, chẳng hạn:

- Khoảng thời gian lặp lại một sự kiến ngập lụt trong lịch sử :100 năm,50 năm, 50 2 năm tương ứng với xác suất 1%, 2%, hoặc 50% mỗi năm để xảy ra một sự kiện lũ cụ thể.
- Hạn hán nghiêm trọng: Xác định chuỗi thời gian khô hạn ảnh hưởng đến dòng chảy và tài nguyên nước.

Tần suất hiểm họa thường được xác định thông qua:

- Phân tích thống kê: Sử dụng dữ liệu lịch sử để tính toán xác suất.
- Phân phối xác suất: Ví dụ: Phân phối Gumbel hoặc Log-Pearson Type III cho các sự kiện lũ.

Trong mô hình thủy lực, tần suất hiểm họa được sử dụng để thiết kế và kiểm tra các công trình như:

- Đập, hồ chứa, và kè bảo vệ.
- Hệ thống thoát nước đô thị.
- Các sự kiện như mưa lớn trong vòng 24 giờ (được xác định bằng phương pháp thiết kế mưa) hoặc sự kiện thủy triều cao được đưa vào để đánh giá khả năng chịu đựng của công trình trước các kịch bản cực đoan.

1.2. Tổng quan về đánh giá rủi ro thiên tai do ngập lụt trên thế giới

Lũ lụt là một trong những dạng thiên tai gây nhiều tổn thất nhất trên thế giới, chính vì vậy các nghiên cứu về đánh giá rủi ro do lũ cũng được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Trong việc đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt, các thành phần cũng sẽ bao gồm Hiểm họa, Tính dễ bị tổn thương và Mức độ phơi lộ. Các thành phần này được đánh giá dựa trên khung đánh giá của IPCC [56] nhưng được chuyên biệt hóa dành cho thiên tai ngập lụt. Trong đó, Hiểm họa ngập lụt được xác định bằng đặc điểm của ngập bao gồm mức nước ngập, vận tốc ngập, thời gian ngập và chu kỳ lặp lại của ngập lụt theo khung thời gian.

Dựa trên quy trình đánh giá rủi ro thiên tai chung, đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt có thể được chia thành 2 dạng: định tính và định lượng.

Đối với hướng đánh giá định tính, các yếu tố của rủi ro thiên tai có thể được đánh giá riêng rẽ hoặc gộp chung tùy vào mục đích và mức độ sẵn có của dữ liệu [128]. Một số nghiên cứu khi đánh giá rủi ro sẽ xác định rủi ro bằng hiểm họa tương tác với tình trạng dễ bị tổn thương như nghiên cứu của Chen Yunvà cộng sự [31], [75], nghiên cứu của Mishra và cộng sự [31], [75], hoặc chỉ dựa vào yếu tố hiểm họa như nghiên cứu của Y.Shen và cộng sự [101]. Bên cạnh đó, các yếu tố riêng rẽ của rủi ro lũ lụt còn có thể được xác định một cách riêng rẽ thông qua nhiều phương pháp khác nhau bao gồm phân tích đa chỉ tiêu xác định hiểm họa lũ [74], [98], [100], [132], [133]và mô hình hóa như bằng HEC-RAS [102], Grimaldi và cộng sự bằng mô hình thủy lực liên tục [47]. Mặc dù mô hình thủy lực áp dụng trong đánh giá lũ lụt còn khá nhiều khuyết điểm về độ chính xác, tuy nhiên, nó lại là phương pháp đánh giá sát với thực tế nhất đối với hiểm họa lũ lụt [77].

Các nghiên cứu kỹ lưỡng hơn áp dụng đầy đủ cả 3 yếu tố bao gồm hiểm họa, tình trạng dễ bị tổn thương và mức độ phơi bày trước hiểm họa. Có thể kể đến các nghiên cứu ở cấp độ khu vực nhỏ như nghiên cứu của T. Cai và cộng sự [29] hoặc các khu dân cư tại Thụy Điển của Norén và cộng sự [84], bên cạnh đó là các khu vực rộng hơn như đô thị ven biển trong nghiên cứu của Silva và cộng sự [103], trung lưu và hạ lưu sông như nghiên cứu của Liu và cộng sự [70]. Trong các nghiên cứu này đều ứng dụng GIS để phân tích và xây dựng các bản đồ rủi ro do lũ.

Mặt khác, hướng đánh giá định lượng rủi ro do lũ cũng được nhiều nhà nghiên cứu

quan tâm, trong đó hai yếu tố cơ bản để đánh giá định lượng là hiểm họa lũ lụt và khả năng thiệt hại của đối tượng chịu tác động [76]. Theo hướng này, các nghiên cứu nhiều phần xuất phát từ phương pháp ứng dụng hàm thiệt hại. Phương pháp này rất phổ biến trong các nghiên cứu định lượng, có thể kể đến các nghiên cứu của Ţîncu và cộng sự cho dải đất ven sông [114], Notaro và cộng sự, Dias và cộng sự cho vùng đô thị [36], [85], các nghiên cứu cho những khu vực rộng hơn như của Apel và cộng sự [18], [21], [52], [76].

Cả hai hướng đánh giá rủi ro thiên tai này đều được áp dụng khá rộng rãi trong các nghiên cứu trên thế giới, có thể cho nhiều dạng ngập và nhiều khu vực ngập lụt khác nhau. Đối với khu vực ngập lụt là đô thị, sự khác biệt đến từ đặc điểm về nguồn nước, mức độ thấm bề mặt, hệ thống hạ tầng và các đối tượng chịu tác động đóng vai trò quan trọng trong đánh giá rủi ro do lũ.

Theo thời gian, nhiều vùng đô thị trên thế giới lần lượt trải qua các trận ngập lụt, đặc biệt là đối với các thành phố ở các khu vực ven biển và ven các con sông lớn. Có nhiều yếu tố dẫn đến ngập lụt tại các khu đô thị, bao gồm sự biến động lượng mưa của lưu vực sông, sự nâng lên của mực nước biển, quá trình đô thi hóa, sụt lún đất. Trong khu vực đô thị, mực nước ngập có thể gây ra thiệt hại thấp hơn nhiều so với các khu vực nông thôn hoặc canh tác. Theo Carlos và Chaporo [30], mức độ hiểm họa lũ có thể được chia thành 3 mức:

- Hiểm họa cao: các khu vực có mực nước ngập thường xuyên trên 10cm, có thể gây hại tới giao thông và ảnh hưởng lớn tới các hoạt động của đô thị cũng như gây hại cho các tòa nhà, nội thất.
- Hiểm họa trung bình, mức nước ngập nằm trong khoảng 5-10cm.
- Mức hiểm họa thấp là những khu vực có mức ngập dưới 5cm.

Quy trình đánh giá rủi ro thiên tai cho ngập lụt trong đô thị cũng có những bước tương tự như quy trình đánh giá rủi ro thiên tai chung.

1.3. Tình hình nghiên cứu về rủi ro ngập lụt tại Việt Nam

Tại Việt Nam, các phương pháp đánh giá rủi ro thiên tai được áp dụng nhiều trên các khu vực khác nhau như của Lưu và cộng sự cho khu vực Quảng Nam, Trần và cộng sự cho khu vực Thừa Thiên Huế, Vũ và cộng sự cho khu vực Quảng Ngãi [72], [117], [127]. Bên cạnh đó là các nghiên cứu đánh giá một hoặc một vài yếu tố của rủi ro như

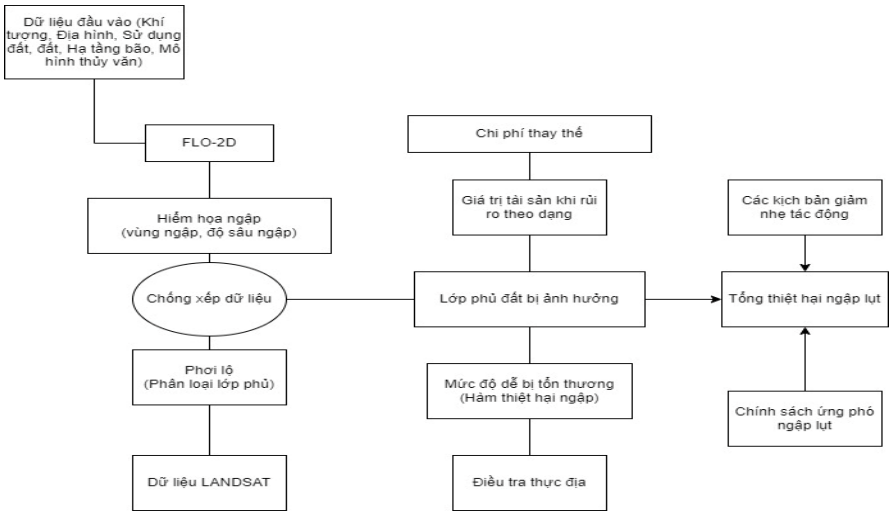
nghiên cứu về tình trạng dễ bị tổn thương của Few và cộng sự tại một số tỉnh miền Trung và đồng bằng SCL [46], Huỳnh và cộng sự tại đới ven bờ theo phương pháp định lượng [68] hoặc xác định bằng phân tích không gian như Nguyễn và cộng sự [81] cho đới bờ biển, Nga và cộng sự cho khu vực Trung bộ [88]. Bên cạnh đó cũng có những nghiên cứu tập trung về xác định tác động của ngập lụt tới sức khỏe [118].

Các nghiên cứu về tính phơi lộ cũng được áp dụng với một số khu vực của Việt Nam như nghiên cứu của Huỳnh và cộng sự về bộ chỉ số phơi lộ định tính [6] về mức độ phơi lộ tại lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn.

Đối với hiểm họa lũ các nghiên cứu chủ yếu tập trung cho lập bản đồ lũ lụt theo hướng ứng dụng mô hình thủy lực nghiên cứu của Phạm xây dựng bản đồ cho tỉnh Ninh Bình [10], Lê cho lưu vực sông Sê San [7], Lê và cộng sự cho Đà Nẵng [50], Vo và cộng sự cũng như Tô và cộng sự cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn [115], [124], Dang và cộng sự cho lưu vực sông Đăk Ba [5], các nghiên cứu trên đều áp dụng phần mềm MIKE để mô hình hóa thủy lực tạo bản đồ hiểm họa lũ hoặc theo hướng ứng dụng ảnh vệ tinh như của Trần [116], Hồ và cộng sự cho Vu Gia - Thu Bồn [49] và GIS như của Vũ và cộng sự cho Quảng Nam [126].

Các nghiên cứu về đánh giá rủi ro lũ lụt nói chung tại Việt Nam thường chỉ tập trung tới việc đánh giá một hoặc hai trong các yếu tố của rủi ro. Một số nghiên cứu theo hướng định lượng về tổn thất, thiệt hại kinh tế nhưng chưa có quy trình và công cụ thống nhất, khả năng áp dụng kỹ thuật GIS thấp.

Đối với khu vực đô thị, việc đánh giá ngập lụt thường gặp nhiều khó khăn hơn, nên các nghiên cứu thường chỉ tập trung vào xác định một vài yếu tố của rủi ro như diện ngập [71] hoặc đối với tác động của lũ lụt tới dân cư đô thị [95]. Bên cạnh đó, một nghiên cứu đáng chú ý của Kefi và cộng sự, 2018 [64] đã đưa ra được quy trình đánh giá tổn thất do ngập lụt đô thị tại Hà Nội với những kết quả xuất sắc. Hình 1.6 minh họa các bước của quy trình đánh giá tổn thất do ngập lụt của Kefi và cộng sự. Tuy nhiên, ngay trong nghiên cứu này, các tác giả cũng mới chỉ xây dựng 1 hàm thiệt hại chung tổng thể cho toàn bộ các đối tượng công trình xây dựng.



Hình 1.6. Quy trình đánh giá thiệt hại do ngập lụt đô thị tại Hà Nội [64].

Có thể thấy rằng, các nghiên cứu về đánh giá ngập lụt, đặc biệt là ngập lụt đô thị còn thiếu các nghiên cứu có tính chiều sâu, chi tiết về quy trình, công cụ đánh giá. Thêm nữa là các nghiên cứu về lượng giá thiệt hại mới chỉ tập trung vào một loại đối tượng hoặc một nhóm đối tượng chung mà không có sự phân tách chi tiết tới các nhóm đối tượng cụ thể.

1.4. Tổng quan về nghiên cứu rủi ro ngập lụt tại Cần Thơ

Các nghiên cứu về đánh giá rủi ro do ngập lụt tại Cần Thơ khá phong phú, bao gồm cả các nghiên cứu mang tính định tính và định lượng. Các kỹ thuật công nghệ mới cũng được áp dụng cho các nghiên cứu này.

Về các nghiên cứu xác định diện ngập, mức ngập, các công cụ chủ yếu được áp dụng là mô hình hóa bằng các mô hình thủy lực hoặc sử dụng công nghệ viễn thám chủ động kết hợp với công nghệ GIS. Công nghệ viễn thám chủ động với các nguồn dữ liệu SAR được cung cấp miễn phí là một trong những điều kiện đẩy mạnh các nghiên cứu theo hướng này [66], [67][90] [35]. Tuy nhiên, độ phân giải không gian và thời gian của các dữ liệu viễn thám mới chỉ đáp ứng việc lập bản đồ ngập lụt cho các khu vực nông thôn, đây cũng là hạn chế lớn của công nghệ này. Bên cạnh công nghệ viễn thám, mô hình hóa cũng được Ngô và cộng sự [78] áp dụng để dự báo ngập lụt tại Cần Thơ thông qua mô hình Storm Water Management Model (SWMM). Một hướng tiếp cận mô hình hóa nữa được Takagi, Hiroshi và cộng sự, 2014 và 2016 [104], [105], [107] sử dụng để đánh giá ngập lụt xét trên ảnh hưởng của thủy triều. Trong khi đó Apel và cộng sự lại đưa ra phương pháp kết hợp phân tích lũ do nước sông và nước mưa[20].

Công nghệ GIS cũng được sử dụng trong việc hỗ trợ quản lý nước tại Cần Thơ trong điều kiện biến đổi khí hậu [8], [119], tuy nhiên, các nghiên cứu này vẫn chỉ dừng lại trong các vấn đề về lập bản đồ đơn giản từ cơ sở dữ liệu.

Việc đánh giá rủi ro ngập lụt ở Cần Thơ còn được đề cập tới với việc so sánh các phương pháp quy hoạch không gian nhằm đối phó với ngập lụt của Cần Thơ và các thành phố tương tự tại Đức và Pháp. Nguyen. T.H 2019 [82] đã đưa ra một đánh giá hết sức quan trọng, chi tiết về vấn đề quy hoạch đô thị tại vùng có nguy cơ ngập lụt như Cần Thơ, đó là phải áp dụng các đánh giá rủi ro do ngập lụt chi tiết và đảm bảo được các mục tiêu phát triển bền vững và ứng phó với biến đổi khí hậu. Tran Pham 2017 [9] cũng đã đưa ra nhận định gần với Nguyễn.T.H. Do, Thuy Linh 2020 [113] lại áp dụng một cách tiếp cận khác là Nhận thức sinh thái học trong ứng phó lũ lụt đưa ý tưởng về chuyển đổi lũ lụt thành nguồn lợi về sinh thái cho đô thị. Ngoài ra, các nghiên cứu của T.L.H.Hương và cộng sự 2011 cùng với V. L, Nguyễn và cộng sự 2018 cho thấy quá trình đô thị hóa ảnh hưởng lớn tới các tác động của BĐKH tới thành phố Cần Thơ [54], [83].

Liên quan đến các vấn đề về chất lượng nước ảnh hưởng từ lũ lụt, các nghiên cứu từ Baino-salingay, Maria Luisa cùng Nguyễn và cộng sự [24], [80] cho thấy sự ảnh hưởng lớn của lũ lụt tới chất lượng nước thành phố Cần Thơ. Tại một số điểm của thành phố Cần Thơ, mẫu nước được cung cấp cho thấy chất lượng dưới mức cho phép theo tiêu chuẩn Việt Nam, đặc biệt là về chất lượng vi sinh vật. Một nghiên cứu chuyên sâu hơn nữa của Huỳnh và cộng sự 2019 [55] cho thấy mức độ vi sinh vật, đặc biệt là vi khuẩn có hại trong nước sinh hoạt vào mùa lũ đã vượt quá nhiều so với tiêu chuẩn của Việt Nam.

Ngoài ra, còn một số nghiên cứu về tăng cường năng lực chống chọi của Cần Thơ trước lũ lụt của [92]; [89]; nghiên cứu của Huynh và cộng sự 2020 [53] đã đưa ra được các tiêu chuẩn đánh giá mức độ dễ bị tổn thương do BĐKH tại Cần Thơ và đánh giá tính dễ bị tổn thương tổng hợp từ mức độ phơi lộ, tính nhạy và khả năng chống chịu, tuy nhiên, tuy nhiên, các nghiên cứu này áp dụng khung đánh giá của IPCC 2007 và tương đối cũ so với thời điểm hiện nay. Các nghiên cứu trên thế giới đang đi theo khung đánh giá IPCC AR5 [134], là khung đánh giá toàn diện hơn, cập nhật hơn, hiện đại hơn. Trong luận án này sử dụng khung đánh giá IPCC AR5 để đảm bảo tính cập nhật tốt nhất trong

nghiên cứu.

Một hướng nghiên cứu khác là đánh giá tác động của lũ lụt tới kinh tế xã hội mang tính định lượng cho ngập lụt tại thành phố Cần Thơ. Các nghiên cứu này có thể kể đến là nghiên cứu của Do.T. Chinh và cộng sự 2016, 2017 với các đánh giá về mức độ thiệt hại về kinh tế bằng cách áp dụng các phương pháp phân tích đa biến kết hợp với các kết quả khảo sát thiệt hại [110]–[112], các nghiên cứu này tập trung chủ yếu cho nhóm đối tượng hộ gia đình trong đó chủ yếu về tổn hại tới công trình và các nội thất của nhà ở. Cũng theo hướng đánh giá thiệt hại do lũ, tác giả Vo.T.D 2017 đã sử dụng cách tiếp cận thống kê kinh tế sử dụng hàm hồi quy cho các số liệu hộ gia đình thu thập được [125], nghiên cứu này có dữ liệu khá chi tiết về hộ gia đình nhưng không có các dữ liệu khác về sinh kế, các đối tượng công, nông nghiệp, dịch vụ, thương mại chịu tác động của ngập lụt.

Nhìn chung, các nghiên cứu về ngập lụt nói chung và ngập lụt đô thị nói riêng tại Cần Thơ là khá đa dạng, tuy nhiên, các nghiên cứu còn chưa đưa ra được quy trình toàn diện về đánh giá rủi ro kinh tế và xã hội do ngập lụt đô thị, các nghiên cứu này cũng chưa đưa ra các công cụ tự động hóa đánh giá rủi ro do ngập lụt cũng như việc gắn kết các kịch bản biến đổi khí hậu vào đánh giá rủi ro ngập lụt đô thị còn thiếu.

Hình 1.7. Ngập do triều cường kết hợp mưa tại đường Lý Tự Trọng, Cần Thơ; ngày 23/10/2022; Nguồn: báo điện tử Zing

Bên cạnh các nghiên cứu khoa học, khu vực Cần Thơ cũng đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng từ các dự án tăng cường năng lực chống chọi với biến đổi khí hậu và phát triển bền vững như các dự án của Ngân hàng Thế giới, GIZ, Ngân hàng Phát triển Châu Á.

Các dự án quy hoạch phát triển đô thị của Cần Thơ được Ngân hàng thế giới tài

trợ chủ yếu tập trung vào các vấn đề trong quy hoạch đô thị liên quan tới ngập lụt và quản lý xây dựng yếu kém dẫn đến ảnh hưởng tới hệ sinh thái và môi trường, đặc biệt là môi trường nước. Bảng 1.1 là các dự án phát triển đô thị được triển khai ở Cần thơ trong những năm gần đây [32], [33], [87], [130]

Bảng 1.1. Các dự án phát triển đô thị được triển khai ở Cần Thơ trong những năm qua

Loại dự án	Tên dự án	Nhà tài trợ	Đối tác	Đơn vị quản lý		Thời gian
Dự án hạ tầng	Dự án phát triển đô thị Cần Thơ	NHTG		UBND TP Cần Thơ		2016-2024
Kế hoạch chiến lược	Chiến lược phát triển thành phố Cần Thơ	Liên minh các thành phố	Viện Quy hoạch đô thị và nông thôn quốc gia; NHTG	Bộ Xây dựng		2012
Dự án hạ tầng	Dự án nâng cấp đô thị vùng đồng bằng SCL	NHTG		UBND TP Cần Thơ		2012
Dự án hạ tầng	Dự án nâng cấp đô thị Việt Nam, giai đoạn 2	NHTG		UBND TP Cần Thơ		2009
Dự án hạ tầng	Dự án nâng cấp đô thị Việt Nam	NHTG		UBND TP Cần Thơ		2004

Ngập lụt tại Cần Thơ là kết quả của nước mưa và hệ thống thoát nước yếu kết hợp với triều cường và mực nước sông. Thêm vào đó, sụt lún cũng là một trong những nguyên nhân tăng cường hậu quả ngập úng. Ngoài ra, Cần Thơ còn đối mặt với tình trạng sạt lở bờ sông và xâm nhập mặn. Đây đều là những vấn đề về rủi ro thiên tai được xác định cùng với các tác động của biến đổi khí hậu trong các chiến lược và kế hoạch phòng chống, ứng phó với thiên tai. Do vậy, bên cạnh các dự phát triển đô thị thì cũng có một số các dự án quản lý rủi ro và thích ứng biến đổi khí hậu (QLRR&TƯBĐKH) được triển khai ở Cần Thơ trong những năm qua (bảng 1.2).

Bảng 1.2. Các dự án quản lý rủi ro và thích ứng biến đổi khí hậu

Loại dự án	Tên dự án	Nhà tài trợ	Đối tác	Đơn vị quản lý	Thời gian
Hỗ trợ kỹ thuật	Phát triển và vận hành cơ chế giám sát, thông tin và ứng phó xâm nhập mặn	ACCCRN	ISET	Trung tâm giám sát tài nguyên và môi trường thành phố Cần Thơ	2012-2014

Quy hoạch, kế hoạch	Kế hoạch quản lý rủi ro ngập lụt tổng hợp thành phố Cần Thơ	NHTG	SCE	UBND TP Cần Thơ	2013
Quy hoạch, kế hoạch	Quy hoạch ĐBSCL: Tầm nhìn dài hạn và chiến lược cho đồng bằng an toàn, trù phú.	Chính phủ Hà Lan	Royal Haskoning, Wageningen University, Deltares	BTN-MT, BNN-PTNT	2013
Hỗ trợ kỹ thuật	Nghiên cứu tác động và thích ứng với BĐKH tại ĐBSCL	USAID	ICEM, DAI		2013
Hỗ trợ kỹ thuật	Nghiên cứu tác động và thích ứng với BĐKH tại ĐBSCL	ADB, AUSAID, CCF		BTN-MT	2010-2012
Hỗ trợ kỹ thuật	Thành lập văn phòng biến đổi khí hậu	ACCCRN	ISET	UBND TP Cần Thơ	2010-2012
Hỗ trợ kỹ thuật	Tăng cường năng lực thể chế cho quản lý thiên tai tại Việt Nam	UNDP	Tc Chữ Thập đỏ và ĐH Thủy lợi	UBND TP Cần Thơ	2008-2011
Quy hoạch, kế hoạch	Kế hoạch hành động chống BĐKH của TP Cần Thơ 2010-2015	ACCCRN	SET, CTC, World Bank, MONRE, NISTPASS, SIWRR, CTU	Sở TN-MT	2010
Hỗ trợ kỹ thuật	Đánh giá Hiểm họa, Khả năng chống chịu và tính dễ bị tổn thương đối với BĐKH	ACCCRN	CTC, The Dragon Insitute, The Mê kông Rice Institute, CTU	Sở TN-MT	2009
Quy hoạch, kế hoạch	Kế hoạch hành động chống chịu BĐKH tại địa phương	NHTG; GFDRR		UBND TP Cần Thơ	2009
Hỗ trợ kỹ thuật	Thành lập ủy ban BĐKH Cần Thơ	NHTG		UBND TP Cần Thơ	2009

1.5. Định hướng nghiên cứu

Các nghiên cứu trên cho thấy tình hình ngập lụt ở Cần Thơ là vấn đề thực tế xảy ra nhiều năm qua, và ảnh hưởng không nhỏ tới mục tiêu phát triển bền vững của thành phố. Mặt khác, quá trình biến đổi khí hậu có thể dẫn đến các kịch bản trầm trọng hơn về ngập lụt, đòi hỏi cần có sự đầu tư nghiên cứu sâu hơn nữa. Sụt lún đất cũng là một trong những nguyên nhân gây ngập lụt tại thành phố Cần Thơ, mặc dù chưa có số liệu chính thức, các nghiên cứu đã chỉ ra quá trình sụt lún diễn ra không đồng đều, tập trung những

khu vực khai thác nước ngầm cường độ cao, các khu vực có mật độ xây dựng lớn.

Bên cạnh đó, các nghiên cứu chủ yếu hướng về thực trạng ngập lụt và một số giải pháp nhất định nhưng chưa có sự liên kết rõ ràng với quá trình biến đổi khí hậu và mục tiêu phát triển bền vững. Các nghiên cứu về đánh giá rủi ro ngập lụt đô thị trong nước nói chung và tại Cần Thơ nói riêng còn thiếu các quy trình đánh giá đầy đủ về rủi ro xã hội và rủi ro kinh tế. Bên cạnh đó, nghiên cứu sinh nhận thấy các nghiên cứu chưa tạo lập các bộ công cụ đánh giá rủi ro có thể áp dụng phổ quát.

Điều này mở ra hướng nghiên cứu về xây dựng khung đánh giá rủi ro xã hội và kinh tế. Từ khung đánh giá này, nghiên cứu sinh tạo lập các công cụ kỹ thuật về đánh giá rủi ro ngập lụt có thể áp dụng đánh giá rủi ro ngập lụt ở hiện tại và đối với các kịch bản biến đổi khí hậu tương lai từ đó lượng hóa được các tác động của BĐKH đối với rủi ro kinh tế và xã hội.

Qua các lập luận trên cho thấy, việc xác định hướng nghiên cứu xây dựng khung đánh giá rủi ro ngập lụt phổ quát và bộ công cụ đánh giá rủi ro xã hội và kinh tế có thể được áp dụng rộng rãi và lượng hóa được tác động của biến đổi khí hậu tới rủi ro kinh tế - xã hội tại lõi đô thị Cần Thơ là cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Dựa trên định hướng nghiên cứu, nghiên cứu sinh đã lựa chọn phương pháp kết hợp công nghệ GIS với kết quả mô hình hóa ngập lụt đô thị tại Cần Thơ để xây dựng khung đánh giá rủi ro ngập lụt đô thị và bộ công cụ đánh giá rủi ro kinh tế - xã hội phù hợp với hiện trạng ngập của khu vực nghiên cứu. Khung đánh giá và bộ công cụ được áp dụng cho các kịch bản biến đổi khí hậu được áp dụng theo các báo cáo BĐKH năm 2016 và 2020 nhằm dự báo các tác động về kinh tế - xã hội của BĐHK trong tương lai.

1.6. Tiểu kết Chương 1

Thông qua quá trình phân tích, tổng hợp các nghiên cứu trong và ngoài nước về biến đổi khí hậu, đánh giá rủi ro ngập lụt, đặc biệt là ngập lụt đô thị, nghiên cứu sinh nhận thấy rằng các nghiên cứu về rủi ro lũ lụt và ngập lụt đô thị rất đa dạng và đa chiều. Các tài liệu hiện có cung cấp cái nhìn tổng quan về vấn đề này, đồng thời cho thấy vẫn còn nhiều hướng nghiên cứu tiềm năng, đặc biệt trong bối cảnh Việt Nam. Một trong những hướng đi quan trọng là xây dựng quy trình đánh giá rủi ro ngập lụt đô thị một cách toàn diện, phù hợp với điều kiện dữ liệu tại Việt Nam. Trên cơ sở quy trình này, các công nghệ phân tích không gian và mô hình hóa thủy lực có thể được tích hợp vào

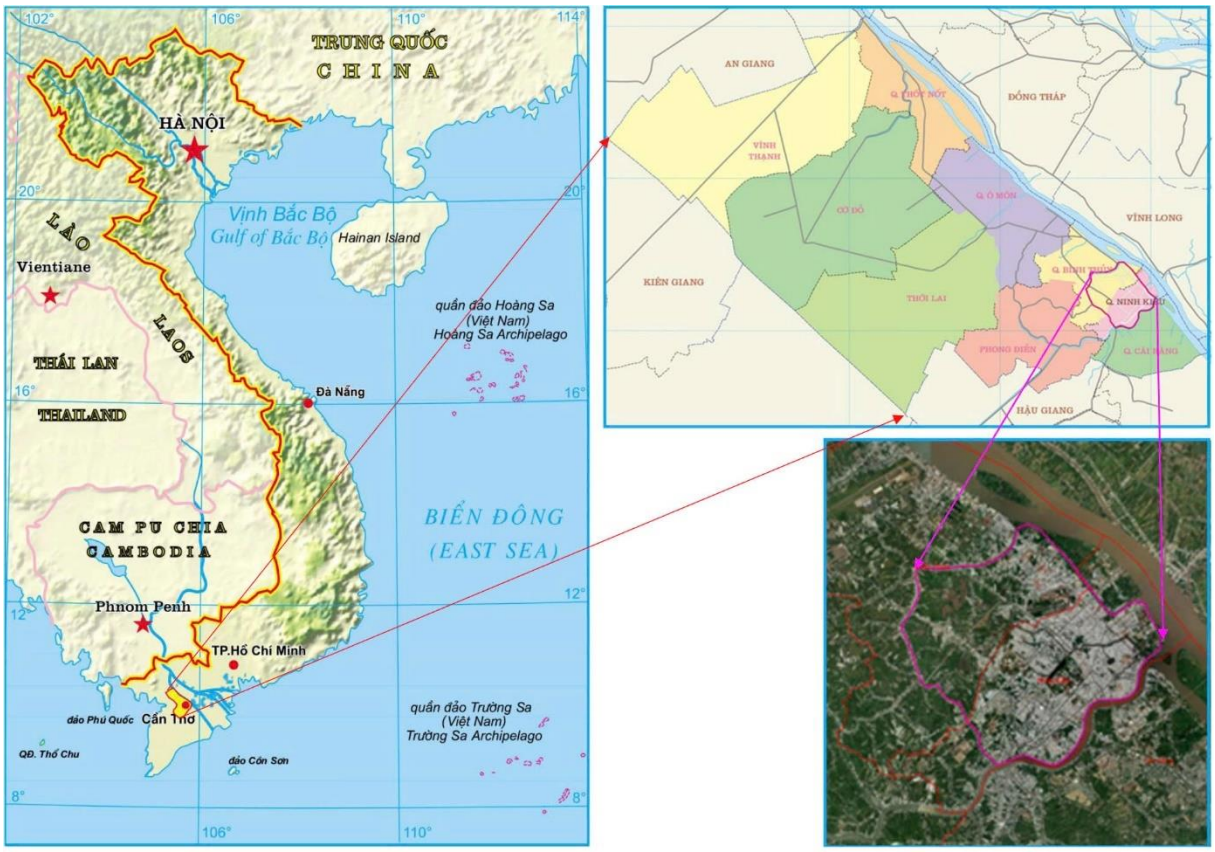
một bộ công cụ nhằm nâng cao tính ứng dụng trong đánh giá rủi ro ngập lụt nói chung và ngập lụt đô thị nói riêng.

CHƯƠNG 2. KHÁI QUÁT VỀ KHU VỰC NGHIÊN CỨU, CÁCH TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu và tác động của ngập lụt

2.1.1. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Cần Thơ nằm ở trung tâm lưu vực sông Cửu Long ($105^0$13’ 38’’ - $105^0$50’ 35’’ và $9^0$55’08’’ - $10^0$19’ 38’’) (hình 2.1). Thành phố có 9 quận bao gồm Ninh Kiều, Bình Thủy, Cái Răng, Phong Điền, Ô Môn, Thới Lai, Thốt Nốt, Cờ Đỏ và Vĩnh Thạnh (hình 1.10). Với dân số ước tính năm 2022 là 1.281.949 người phân bổ trên diện tích khoảng 1.401 m2, với lõi đô thị nằm trên 2 quận Ninh Kiều và Bình Thủy có diện tích khoảng 2500 ha. Khí hậu nhiệt đới là đặc điểm điển hình của thành phố và được phân biệt thành hai mùa mưa và mùa khô rõ rệt. Mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11 và mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình khoảng 27^0. Lượng mưa trung bình khoảng 1.500-1.800 mm. Tổng số giờ nắng là 2.300-2.500 giờ. Độ ẩm khoảng 83% [137].



Hình 2.1. Khu vực nghiên cứu

Lõi đô thị Cần Thơ nằm trên địa bàn quận Ninh Kiều và Bình Thủy, trong đó, vùng trọng điểm phát triển đô thị nằm khu vực hữu ngạn sông Bình Thủy, được xác định bởi ranh giới tự nhiên bao gồm sông Hậu, sông Cần Thơ, rạch Hàng Bàng-Cái Sơn và sông Bình Thủy.

Lõi đô thị của Cần Thơ là khu vực tập trung đô thị lâu đời, là trung tâm kinh tế, chính trị, văn hóa của cả thành phố. Trong khu vực này hiện tượng ngập lụt diễn ra thường xuyên do các nguyên nhân từ thủy triều và lượng mưa lớn. Mặc dù độ sâu ngập không quá lớn nhưng tần suất diễn ra lại rất thường xuyên, ảnh hưởng lớn đến đời sống sinh hoạt và kinh tế của người dân thành phố.

2.1.2. Các tác nhân gây ngập lụt tại Cần Thơ

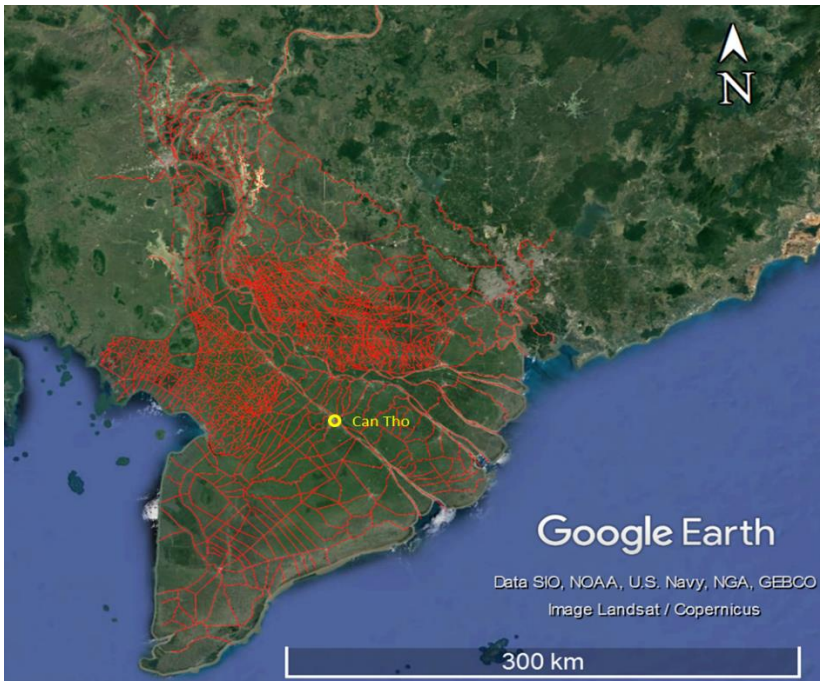
Ngập lụt tại Cần Thơ được xác định bởi 3 nguyên nhân chính bao gồm: (1) Mực nước cao trên các sông, rạch xung quanh; (2) Lượng mưa cục bộ tại thành phố; (3) Tình trạng sụt lún đất .

2.1.2.1. Mực nước

Hệ thống thủy văn xung quanh Cần Thơ rất phức tạp. Sau khi chảy vào Việt Nam, vùng hạ lưu sông Mê Kông có hệ thống sông ngòi dày đặc, chịu tác động mạnh của thủy triều và lũ trên thượng nguồn. Hệ thống thủy văn được chia thành các nhánh thoát nước chính sau:

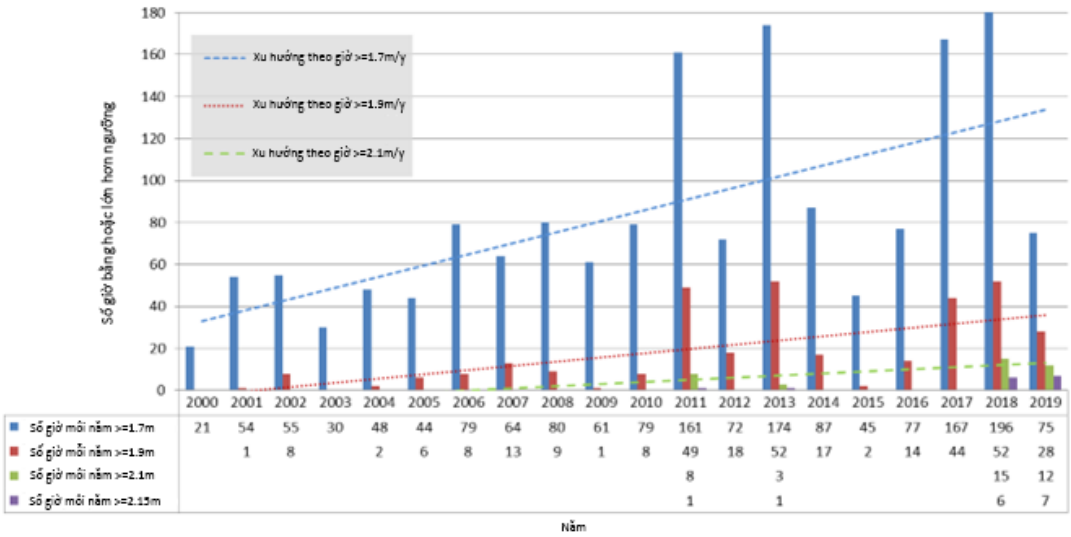
- Sông Tiền, sông Hậu, đổ ra biển Đông;
- Sông Vàm Cỏ bao gồm Vàm Cỏ Đông, Vàm Cỏ Tây cũng đổ ra Biển Đông;
- Sông Giang Thành đổ ra biển Tây.
- Sông Tiền và sông Hậu cũng có các phụ lưu quan trọng là sông Sở Thượng, sông Sở Hạ, sông Trabek, sông Châu Đốc và sông Tà Keo chuyển nước ngập từ vùng ngập Campuchia vào Việt Nam.
- Sông Mỹ Thanh, sông Gành Hào và sông Bồ Đề đổ nước ra biển Đông. Các sông Cái Lớn, Cái Bé, Ông Đốc, Bảy Háp và Cửa Lớn thoát nước ra Biển Tây. Tất cả các tuyến nước nội địa đều là các sông tự nhiên ngắn và có tính liên kết cao và các kênh đào được xây dựng trong vùng thủy triều, trong đó có nhiều dòng chảy hai chiều. Cần Thơ nằm ở vị trí trung tâm trong mạng lưới dòng chảy phức tạp này.

Hình 2.2 cho thấy mạng lưới sông của Đồng bằng sông Cửu Long là những đường màu đỏ và vị trí của thành phố Cần Thơ được thể hiện ký hiệu màu vàng trên bản đồ.



Hình 2.2. Mạng lưới sông ngòi, kênh rạch ở hạ lưu Đồng bằng sông Cửu Long

Mực nước sông tại trạm Cần Thơ được phân tích thông qua việc sử dụng dữ liệu ghi lại hàng giờ cho các năm 2000 - 2019. Các ngưỡng 1,7 m;1,9m; 2,1m và 2,15m đã được chọn dựa trên mức baod động lũ từ 1, 2, 3 và giá trị <mức nước lịch sử. Các trị đo mực nước theo giờ ghi được lớn hơn hoặc bằng giá trị ngưỡng trong mỗi năm đều được tính là vượt ngưỡng cho năm đó. Kết quả phân tích được trình bày thể hiện trong hình 2.3.



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Số giờ mỗi năm >=1.7m	21	54	55	30	48	44	79	64	80	61	79	161	72	174	87	45	77	167	196	75
Số giờ mỗi năm >=1.9m		1	8		2	6	8	13	9	1	8	49	18	52	17	2	14	44	52	28
Số giờ mỗi năm >=2.1m												8		3					15	12
Số giờ mỗi năm >=2.15m												1		1					6	7

Hình 2.3. Số giờ mực nước tại Cần Thơ bằng hoặc vượt ngưỡng hàng năm từ năm

2000 tới 2019

Từ biểu đồ hình 2.3 cho thấy theo thời gian xu hướng mực nước lại tăng lên theo mỗi năm khi dữ liệu ghi lại ở các mức trên ngưỡng 1,7m, 1,9m và 2,1m. Từ biểu đồ hình 2.3 cho thấy trước năm 2011 không ghi nhận mức nước cao trên 2,1m và trong vòng 5 năm đầu (2000-2005) thì ghi nhận mức nước bằng hoặc trên 1,9m trong thời gian 10 giờ. Cả hai năm 2018 và 2019 đều ghi lại mực nước trên 2,1m xảy ra trong nhiều giờ hơn so với bất kỳ năm nào trước đó. Mực nước cao nhất ghi lại được là 2,24m xảy ra vào ngày 30 tháng 9 năm 2019. Ghi nhận của năm 2019 cho thấy các mực nước cao trên 1,9m xảy ra trong thời gian ngắn hơn, so với ở các đợt ngập trung bình trên 1,7m và các mực nước cao xảy ra lâu hơn trong các năm, ngoài năm 2018. Xu hướng từ dữ liệu là rõ ràng cho thấy mực nước đỉnh tại Cần Thơ đang cao lên.

Nguyên nhân có thể do sự kết hợp của các yếu tố bao gồm:

- Một yếu tố của nước biển dâng gây ảnh hưởng đến mực nước tại Trạm Cần Thơ, nơi có thủy triều mạnh;
- Quá trình bồi lắng trên sông có thể ngày càng tăng lên;
- Biến đổi khí hậu có thể làm gia tăng lưu lượng trên sông Hậu làm tăng lưu lượng dòng chảy
- Cao độ các trạm đo Cần Thơ có thể ngày càng thấp hơn do sụt lún đất;
- Khí hậu biến đổi do các yếu tố như những thay đổi trong Chỉ số Dao động Nam ở Thái Bình Dương hoặc Lưỡng cực Ấn Độ Dương có thể ảnh hưởng đến những dữ liệu ghi lại khác nhau trong dải dữ liệu ghi được.

Mặc dù Hình 2.3 cho thấy có mực nước ngày càng có xu hướng tăng thêm nhưng cao độ quy hoạch dự kiến 3m của các tuyến đê tại Cần Thơ sẽ giúp lõi đô thị an toàn không bị tràn đê trong tương lai gần. Tuy nhiên, sẽ có những tác động đến chế độ lũ khi theo thời gian mực nước sông Hậu trên mức tới hạn gây ra ngập lụt ở Cần Thơ.

2.1.2.2. Lượng mưa

Lượng mưa là một trong những tác nhân gây ngập lụt tại Cần Thơ, đặc biệt là đối với lõi đô thị. Lượng mưa cục bộ lớn kết hợp với hệ thống thoát nước kém hiệu quả và khả năng thấm hút thấp khu vực đô thị đã tạo ra các đợt ngập lớn, cục bộ trên các khu vực của thành phố.

Dựa trên số liệu thu thập được có thể thấy rằng trong giai đoạn 1985 - 2017:

- Cần Thơ có nhiều năm có lượng mưa ngày lớn nhất (12 năm), tiếp theo là Long Xuyên (10 năm). Ô Môn và Núi Sập có số năm có lượng mưa lớn nhất lần lượt là 8 năm và 3 năm;

- Lượng mưa ngày lớn nhất 173 mm được ghi nhận tại Long Xuyên, sau đó là Ô Môn (167 mm), Núi Sập (141 mm) và Cần Thơ (132 mm).

- Lượng mưa ngày lớn nhất tới >100m có thể gây úng ngập cục bộ trong khu vực đô thị.

2.1.2.3. Sụt lún đất

Tình trạng sụt lún đất đã diễn ra rộng rãi trên vùng đồng bằng sông Cửu Long, kể cả tại Cần Thơ. Sụt lún đất không chỉ làm giảm cao độ của nền đô thị mà còn thay đổi khả năng chống chọi với nguy cơ ngập lụt. Với nền đô thị trở nên thấp hơn, tình trạng ngập lụt trở nên nghiêm trọng hơn trong các trường hợp ngập lụt. Tuy nhiên, trên thực tế, bên cạnh một số báo cáo của các tổ chức quốc tế, hiện chưa có số liệu sụt lún được công bố chính thức bởi các cơ quan chính phủ. Trong điều kiện hạn chế về thời gian và nguồn số liệu, nghiên cứu sinh không phân tích và áp dụng số liệu sụt lún đất trong đánh giá hiện trạng ngập lụt tại khu vực nghiên cứu.

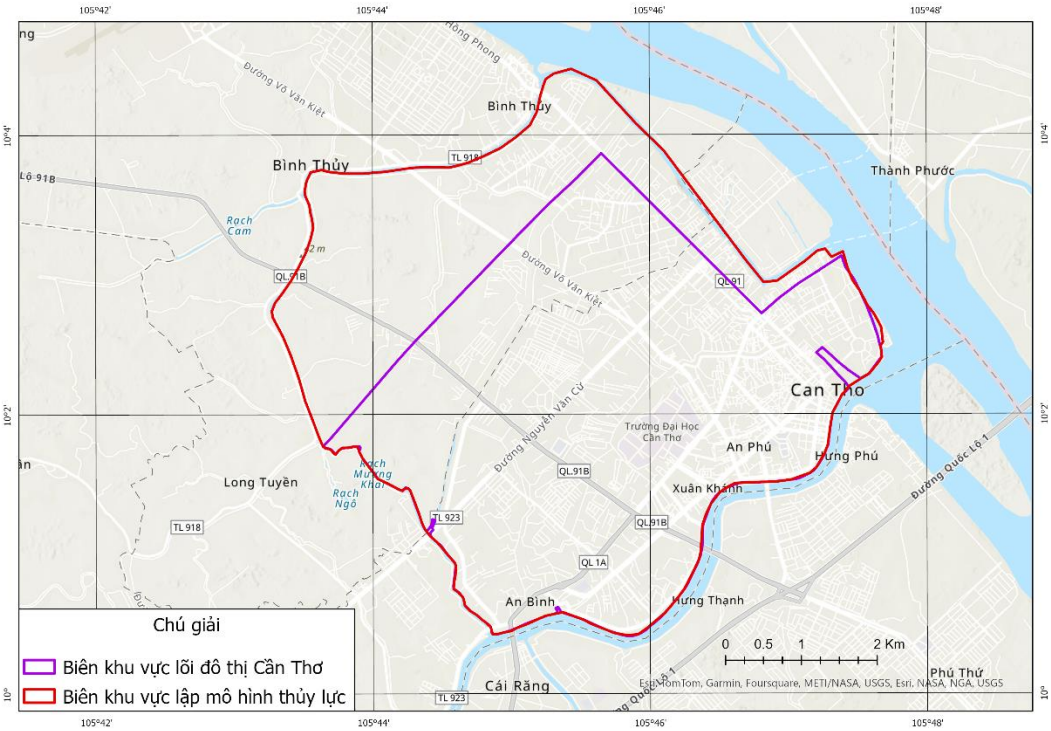
2.1.3. Đặc điểm lũ lõi Cần Thơ

Trên địa bàn TP Cần Thơ có hai nguồn nước lũ chính. Nguồn lũ thứ nhất là mưa cục bộ xảy ra khi lượng mưa lớn vượt quá khả năng thoát nước - đây là vấn đề đặc biệt nghiêm trọng ở lõi đô thị vốn rất phát triển với mạng lưới thoát nước bao gồm các đường ống ngầm và kênh hở. Nguồn lũ thứ hai từ sông Hậu khi mực nước dâng do dòng chảy sông lớn vào mùa gió chướng, mực nước triều dâng cao hoặc kết hợp cả hai. Khi điều này xảy ra, nước sông chảy tràn qua bờ sông hoặc chảy ngược qua mạng lưới đường ống trong khu vực này.

Trong những năm gần đây, triều cường là nguyên nhân chủ yếu gây ra lũ lụt ở Cần Thơ. Mực nước triều cường cao nhất được ghi nhận đến nay đạt 2,17m vào năm 2020, vượt mức báo động 3 và gây ra đợt ngập nặng nhất trong 10 năm qua ở Cần Thơ. Cần lưu ý rằng sụt lún đất, một vấn đề nghiêm trọng, đặc biệt là xung quanh lõi đô thị, đang dẫn đến mực nước đỉnh triều rõ ràng cao hơn mà không nên nhầm lẫn với "thực tế: mực nước biển dâng cao do biến đổi khí hậu gây ra.

Hiện nay, thành phố Cần Thơ đang tiến hành dự án nâng cấp đô thị trong đó có hệ

thống tường bao ngăn triều, các cống và trạm bơm nhằm khắc phục hiện tượng ngập lụt do thủy triều. Khu vực được bao quanh bởi hệ thống tường ngăn triều và kè đường được xác định là lõi đô thị của thành phố, như Hình 2.4.



Hình 2.4. Lõi đô thị của Cần Thơ

2.1.4. Tác động của lũ lên các lĩnh vực.

Ngập lụt ở lõi đô thị Cần Thơ có tác động cả về kinh tế và xã hội và những rủi ro tương ứng sẽ được đánh giá trong luận án này. Rủi ro lũ lụt xã hội đề cập đến rủi ro đối với người dân và sinh kế của họ. Điều này ảnh hưởng đến cả người dân thành thị và nông thôn[53], [79], [104], [123].

Tác động kinh tế đề cập đến những thiệt hại về tiền tệ do lũ lụt gây ra [69], [111], [112]. Thiệt hại là do các tòa nhà, cơ sở hạ tầng và nông nghiệp bị ngập. Thiệt hại có thể được giảm nhẹ ở cấp độ địa phương bằng các biện pháp phòng chống lũ lụt (chẳng hạn như xây tường chắn lũ xung quanh các tài sản riêng lẻ) và bằng cách thay đổi mô hình cây trồng để tránh các thời điểm lũ lụt có thể dẫn đến thiệt hại hoặc mất mùa trong năm.

Các khu vực đô thị dễ bị ảnh hưởng và nhạy cảm với rủi ro vì tài sản và các hoạt động bị ảnh hưởng bất lợi bởi lũ lụt[54], [106]. Tuy nhiên, các khu vực nông thôn có

thể dựa vào lũ để sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản.

Trong các huyện nông thôn của Cần Thơ có năm thị trấn (thị trấn nhỏ) cung cấp dịch vụ trung tâm cho các xã ở vùng nội địa. Ví dụ, các thị trấn thường là thị trấn thủ phủ của một huyện. Các thị trấn có mật độ dân số và tài sản chịu rủi ro cao hơn. Vị trí của họ ở phía tây của thành phố làm tăng tính dễ bị lũ lụt vì độ cao của đất nhìn chung thấp hơn ở phía đông.

2.2. Dữ liệu được sử dụng trong đánh giá rủi ro ngập lụt

2.2.1. Dữ liệu phục vụ mô hình hóa

Dữ liệu phục vụ mô hình hóa được sử dụng trong việc xây dựng các hợp phần của mô hình ngập thành phố Cần Thơ, trong đó xác định chế độ ngập tại lõi đô thị. Các dữ liệu này được kế thừa từ dự án FRMIS thuộc tổng dự án phát triển đô thị thành phố Cần Thơ:

- Dữ liệu sử dụng trong mô hình mưa rào - dòng chảy

+ Bản đồ sử dụng đất 2020 để xác định các thông số của từng mô hình tiểu lưu vực, bản đồ này được thu thập từ Sở Tài Nguyên và Môi trường.

+ Dữ liệu mưa tại trạm khí tượng Cần Thơ cho lõi đô thị, dữ liệu được thu thập dưới định dạng bảng số liệu, từ 1980 đến 2020 tại trạm KTTV Cần Thơ.

- Dữ liệu sử dụng trong mô hình thoát nước nội đô:

+ Dữ liệu đường ống thoát nước của thành phố, bao gồm mạng lưới, chiều dài, kích thước, loại vật liệu. Dữ liệu này được thu thập từ Công ty Cấp thoát nước thành phố Cần Thơ (WASSCO) và Sở Xây dựng TP Cần Thơ.

+ Dữ liệu về các hố ga, cửa xả trong lõi đô thị bao gồm vị trí, kích thước được thu thập từ WASSCO.

Dữ liệu sử dụng trong mô hình dòng chảy hở 1D:

+ Sơ đồ mạng kênh hở được xây dựng từ dữ liệu quản lý của sở Xây dựng TP Cần Thơ.

+ Các mặt cắt từng kênh được xác định từ dữ liệu mô hình được cấp từ Ban quản lý (BQL) dự án TP Cần Thơ.

+ Địa hình các hồ chứa bao gồm Xáng Thổi và Bún Xáng được xác định từ BQL dự án TP Cần Thơ.

- Dữ liệu được sử dụng trong mô hình dòng chảy tràn 2D:

+ Dữ liệu mô hình số độ cao DEM của thành phố Cần Thơ, độ phân giải 5m, nguồn dữ liệu từ đo LIDAR năm 2009 kết hợp với dữ liệu địa hình 1/2000 thành lập năm 2012 của Bộ Tài nguyên và môi trường.

- Dữ liệu sử dụng trong xác định các điều kiện biên của mô hình

+ Dữ liệu mưa ngày tại 4 trạm đo mưa gồm 4 trạm Cần Thơ, Ô Môn, Núi Sập và Long Xuyên trong giai đoạn 1985 đến 2017.

+ Dữ liệu mực nước sông được lấy từ các trạm thủy văn dọc sông Hậu bao gồm các trạm Angkor Borey, Long Xuyên, Cần Thơ và Đại Ngải từ năm 2000 tới năm 2017

2.2.2. Dữ liệu phục vụ đánh giá rủi ro về xã hội

- Dữ liệu sử dụng trong đánh giá mức độ phơi lộ bao gồm dữ liệu bản đồ hiện trạng sử dụng đất 2020 được thu thập tại Sở Tài nguyên & Môi trường Cần Thơ.

- Dữ liệu sử dụng trong đánh giá mức độ dễ bị tổn thương:

+ Dữ liệu niên giám thống kê của thành phố Cần Thơ năm 2018, 2019 bao gồm cấp thành phố và cấp huyện.

+ Báo cáo kinh tế xã hội 2018-2019-2020.

2.2.3. Dữ liệu phục vụ đánh giá rủi ro về kinh tế

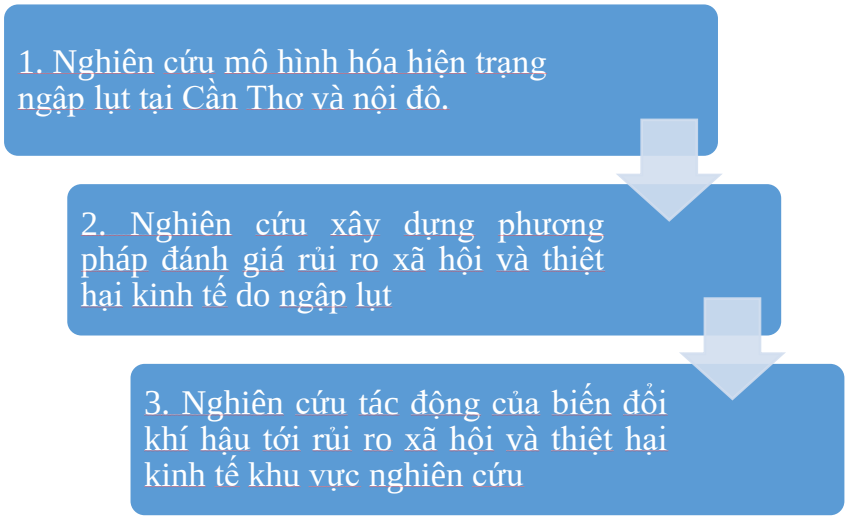
+ Báo cáo hiện trạng ngập của thành phố Cần Thơ năm 2018 và 2019.

+ Dữ liệu sử dụng đất năm 2020.

+ Dữ liệu điều tra hiện trạng ngập và thiệt hại ngập 2021 và 2022

2.3. Quy trình đánh giá rủi ro ngập lụt dưới tác động của biến đổi khí hậu

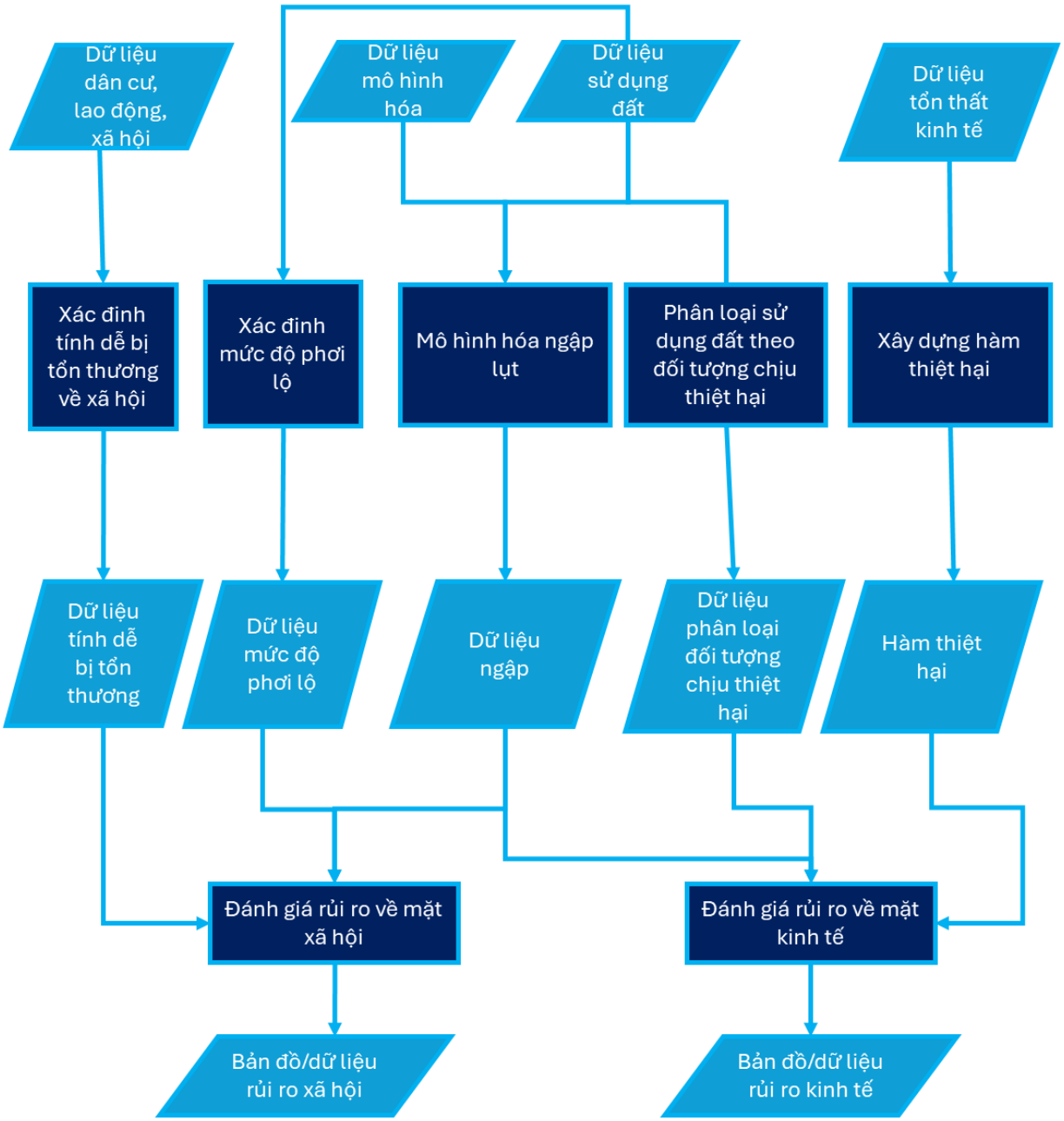
Để xác định được tác động của biến đổi khí hậu tới rủi ro thiên tai ngập lụt của khu vực nội đô thành phố Cần Thơ, trên cơ sở đánh giá các nghiên cứu trong chương 1 luận án đã xây dựng các bước của nội dung nghiên cứu bao gồm 3 phần (hình 2.5).



Hình 2.5. Nôi dung đánh giá rủi ro ngập lụt dưới tác động của biến đổi khí hậu

Theo đó, các bước đánh giá được liên kết chặt chẽ, các kết quả của bước trước sẽ là đầu vào của quá trình nghiên cứu tiếp theo. Các bước đánh giá này được xây dựng dựa trên các phương pháp bao gồm mô hình hóa ngập lụt, đánh giá rủi ro ngập và xác định tác động của biến đổi khí hậu.

Quy trình đánh giá rủi ro thiên tai do ngập lụt về kinh tế - xã hội bao gồm 2 khối đánh giá tương ứng với đánh giá rủi ro về mặt xã hội và lượng giá/đánh giá tổn thất kinh tế được xác định trong hình 2.6 như sau:



Hình 2.6. Quy trình đánh giá rủi ro về kinh tế - xã hội

Trong quy trình đánh giá này, các bước xử lý được cụ thể hóa bằng các phương pháp được trình bày lần lượt ở các mục thuộc chương 2 của luận án. Trong đó, quan trọng nhất, phương pháp đánh giá rủi ro về mặt xã hội và kinh tế được xác định trong phần 2.4 và 2.5. Quy trình đánh giá này được lặp lại với việc mô hình hóa ngập lụt với các điều kiện biến đổi khí hậu cho các năm 2030 và 2050.

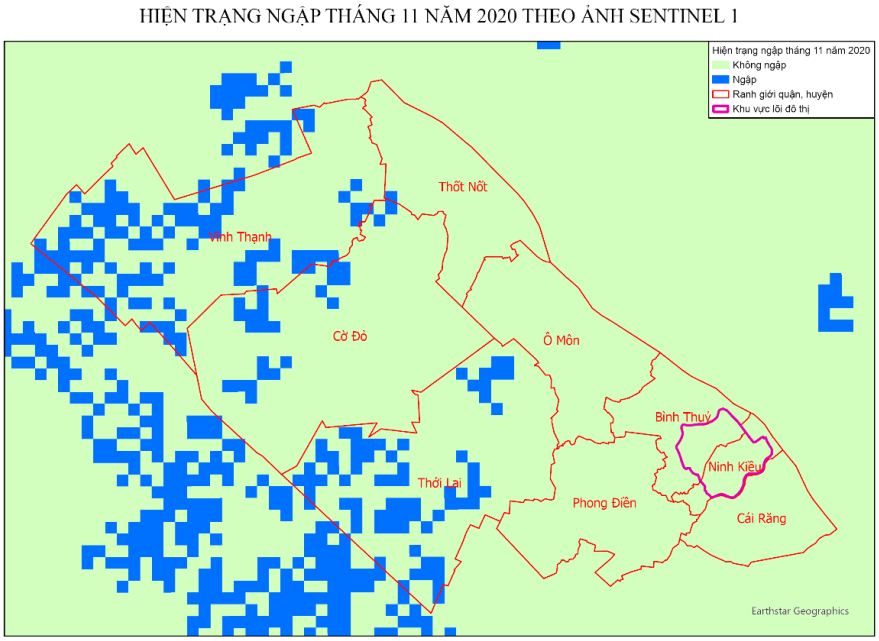
2.4. Phương pháp mô hình hóa

2.4.1. Các phương pháp mô hình hóa ngập lụt

Trong nghiên cứu, đánh giá chế độ ngập lụt, nhiều phương pháp đã được áp dụng với các điều kiện khác nhau. Các phương pháp này có thể được phân chia thành 3 nhóm chính bao gồm: mô hình hóa vùng ngập, phân vùng ngập lụt dựa trên dữ liệu vệ tinh và khảo sát trực tiếp.

Đánh giá chế độ ngập lụt theo phương pháp khảo sát trực tiếp được sử dụng trên hầu hết các khu vực ngập lụt trên thế giới [22], [37]. Đây là phương pháp đơn giản, thực dụng nhất thường được sử dụng và đã trở thành nguồn dữ liệu kiểm chứng và hiệu chỉnh cho các phương pháp đánh giá ngập lụt bằng mô hình khác [17], [99], [109], [122].

Bên cạnh phương pháp đánh giá ngập lụt bằng khảo sát trực tiếp, các phương pháp phân vùng ngập lụt, lập bản đồ ngập lụt cũng được sử dụng khá rộng rãi, đặc biệt là những nghiên cứu trong 10 năm gần đây áp dụng các dữ liệu viễn thám siêu cao tần (SAR) [23], [63], [94], [96], [116]. Đối với phương pháp này, hạn chế lớn nhất luôn là việc "đúng lúc, đúng chỗ" của vệ tinh. Nghiên cứu sinh đã tiến hành thử nghiệm sử dụng ảnh Sentinel 1 và Google Earth Engine để tái tạo tình trạng ngập lụt tại khu vực thành phố Cần Thơ. Kết quả đối sánh giữa mùa khô (tháng 4) và mùa mưa + triều cường (10-11) cho thấy, các khu vực nông thôn, hình ảnh hiện trạng ngập là tương đối rõ, nhưng với khu vực đông dân cư, kết quả không thể hiện được hiện trạng ngập lụt tại khu vực này. Theo hình 2.7 cho thấy, toàn bộ khu vực ngập đều không nằm ở các vùng đô thị.



Hình 2.7. Hiện trạng ngập khu vực thành phố Cần Thơ từ ảnh Sentinel 1, tháng 11 năm 2020

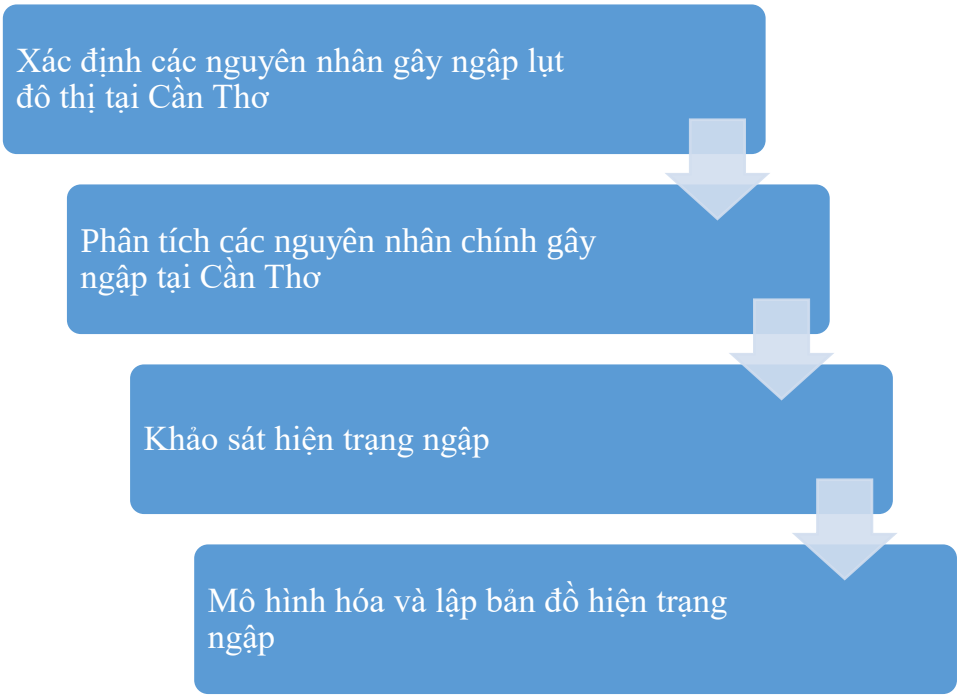
Đối với những trận lụt có diễn biến nhanh, nằm ở khu vực có nhiều đối tượng che khuất như nhà cao tầng, khu dân cư thì dữ liệu ảnh vệ tinh gặp nhiều khó khăn trong theo dõi. Bên cạnh đó, phương pháp này chỉ xác định được các vùng bị ngập, không thể xác định chính xác độ sâu ngập, vận tốc ngập.

Phương pháp đánh giá chế độ ngập lụt thường dùng nhất trong các nghiên cứu về thủy văn là các dạng mô hình hóa, ở đây bao gồm các dạng mô hình thủy lực, mô hình GIS, các dạng mô hình học máy/trí tuệ nhân tạo. Phương pháp này có ưu điểm là dựa vào các dữ liệu quan trắc thực tế, dữ liệu quan sát trái đất và các dữ liệu không gian để mô hình hóa, tái tạo khu vực ngập lụt, tái tạo chế độ thủy văn, tái tạo quá trình ngập lụt [16], [63], [65], [73], [133], [135], [136]. Đối với phương pháp này, các dữ liệu được xử lý, mô hình hóa để tạo thành các sản phẩm đầu ra là các bản đồ ngập, các diễn tiến ngập lụt theo thời gian và các thông số chính của ngập lụt như độ sâu ngập, tốc độ nước chảy, thời gian và diễn tiến. Phương pháp này có ưu điểm lớn về tái tạo chế độ ngập với đầy đủ các thông số quan trọng, tuy nhiên, việc ứng dụng các phương pháp này khá khó khăn đối với các nước đang phát triển, đặc biệt là ở Việt Nam do dữ liệu nền có độ chính xác thấp, cũ hoặc không có sẵn.

Trong luận án, phương pháp đánh giá chế độ ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ được sử dụng là phương pháp mô hình hóa với trọng tâm là kế thừa các kết quả của mô hình thủy lực kết hợp công cụ GIS để xác định các đặc điểm về ngập lụt đô thị tại khu vực nghiên cứu.

2.4.2. Quy trình mô hình hóa hiện trạng ngập lụt

Quy trình mô hình hóa hiện trạng ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ bao gồm 4 giai đoạn chính (hình 2.8.), được kế thừa từ dự án FRMIS.



Hình 2.8. Quy trình đánh giá ngập lụt đô thị tại Cần Thơ

Quá trình mô hình hóa hiện trạng ngập lụt đô thị tại thành phố Cần Thơ được bắt đầu bằng việc xác định các nguyên nhân chính gây ngập lụt đô thị. Giai đoạn tiếp theo là phân tích, làm rõ tác động của từng nguyên nhân tới thực trạng ngập lụt đô thị tại Cần Thơ nhằm đưa ra những cơ sở quan trọng nhất cho việc mô hình hóa ngập lụt, phục vụ công tác đánh giá chi tiết. Chất lượng của việc phân tích tác động trực tiếp tới kết quả của việc mô hình hóa trong đánh giá ngập lụt. Nguyên nhân gây ngập chính tại lõi đô thị Cần Thơ bao gồm 3 tác nhân chính: Lượng mưa tại khu vực, nước từ hệ thống sông/kênh rạch bao quanh thành phố và sụt lún đất tại khu vực này.

Giai đoạn khảo sát được tiến hành trong thời điểm ngập lụt rõ rệt nhất, công tác này cho phép việc đánh giá thông qua mô hình hóa có sự phù hợp đối với thực tế tại khu vực nghiên cứu. Các kết quả khảo sát cũng được đưa vào trong các giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định nhằm đảm bảo tính chính xác của mô hình hóa trong đánh giá hiện trạng ngập lụt.

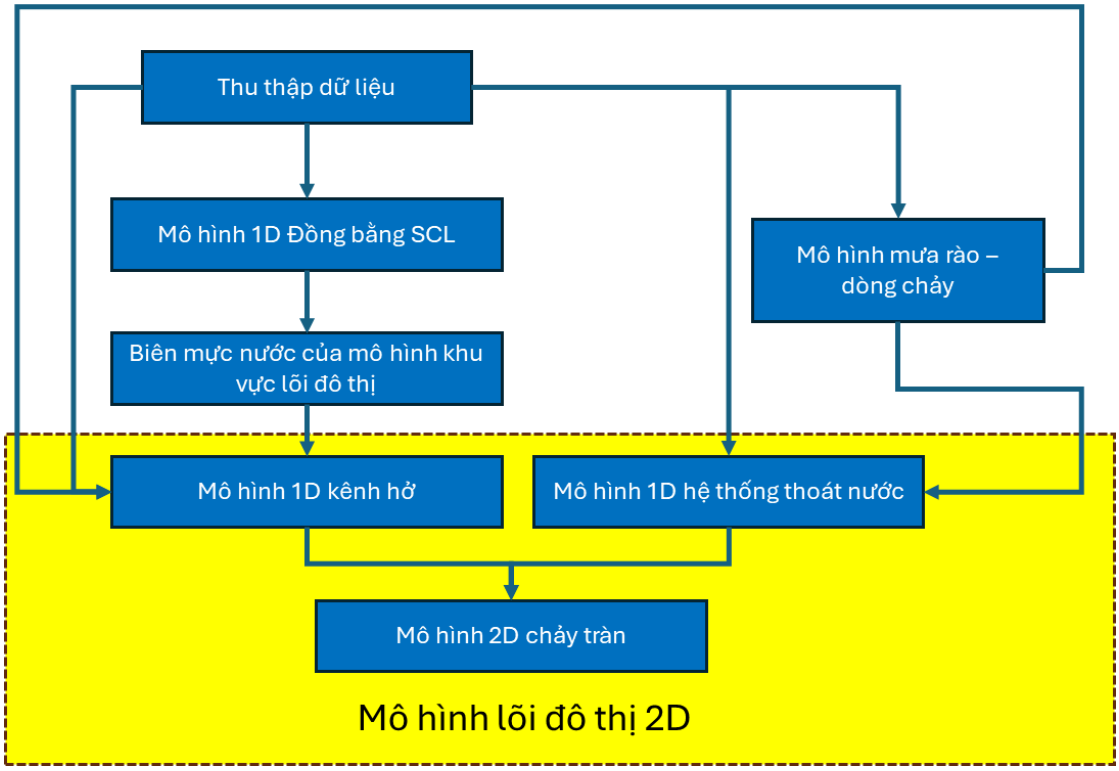
Giai đoạn mô hình hóa và lập bản đồ hiện trạng ngập được tiến hành thông qua hệ thống phần mềm mô hình hóa (MIKE) trong đó sử dụng các dữ liệu và số liệu được cung cấp bởi 3 giai đoạn trước đó. Mô hình hóa yêu cầu mức độ chi tiết của dữ liệu rất lớn, cùng với đó là việc kết nối các mô hình thành phần cần được thống nhất xuyên suốt trong quá trình lập mô hình. Các mô hình thành phần này bao gồm mô hình dòng chảy

1D của Đồng bằng sông Cửu Long, mô hình thoát nước đô thị của Cần Thơ, mô hình mưa rào - dòng chảy được kết hợp để xây dựng mô hình 2D dòng chảy tràn của lõi đô thị Cần Thơ. Để đảm bảo độ chính xác và tin cậy của mô hình, các số liệu thực tế của sự kiện ngập được đưa vào quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Các kết quả của mô hình được chuyển đổi thành các dữ liệu GIS và đưa vào trong cơ sở dữ liệu không gian phục vụ quá trình đánh giá rủi ro do ngập lụt.

2.4.3. Cấu trúc của mô hình thủy lực lõi đô thị

Mô hình thủy lực của lõi đô thị được phát triển bởi dự án FRMIS thuộc Dự án phát triển đô thị thành phố Cần Thơ từ năm 2020 đến năm 2023. Toàn bộ việc xây dựng mô hình thủy lực được thừa kế từ dự án FRMIS của thành phố Cần Thơ.

Mô hình thủy lực được sử dụng bao gồm các mô hình được liên kết như hình 2.9 sau:



Hình 2.9. Liên kết giữa các mô hình trong thiết lập mô hình thủy lực lõi đô thị (Tài liệu FRMIS -2023).

- Mô hình 1D khu vực đồng bằng Sông Cửu Long: Được kế thừa từ Hợp phần đánh giá tiền khả thi thuộc dự án phát triển đô thị Cần Thơ năm 2016, mô hình này được sử dụng để xác định các biên mực nước cho mô hình lõi đô thị của thành phố Cần Thơ.

- Mô hình Mưa rào dòng chảy được phát triển để xác định các thông số đầu vào cho mô hình 1D kênh hở và mô hình hệ thống thoát nước của lõi đô thị.

- Mô hình 1D kênh hở và mô hình thoát nước được liên kết với mô hình chảy tràn 2D để tạo thành mô hình thủy lực của lõi đô thị.

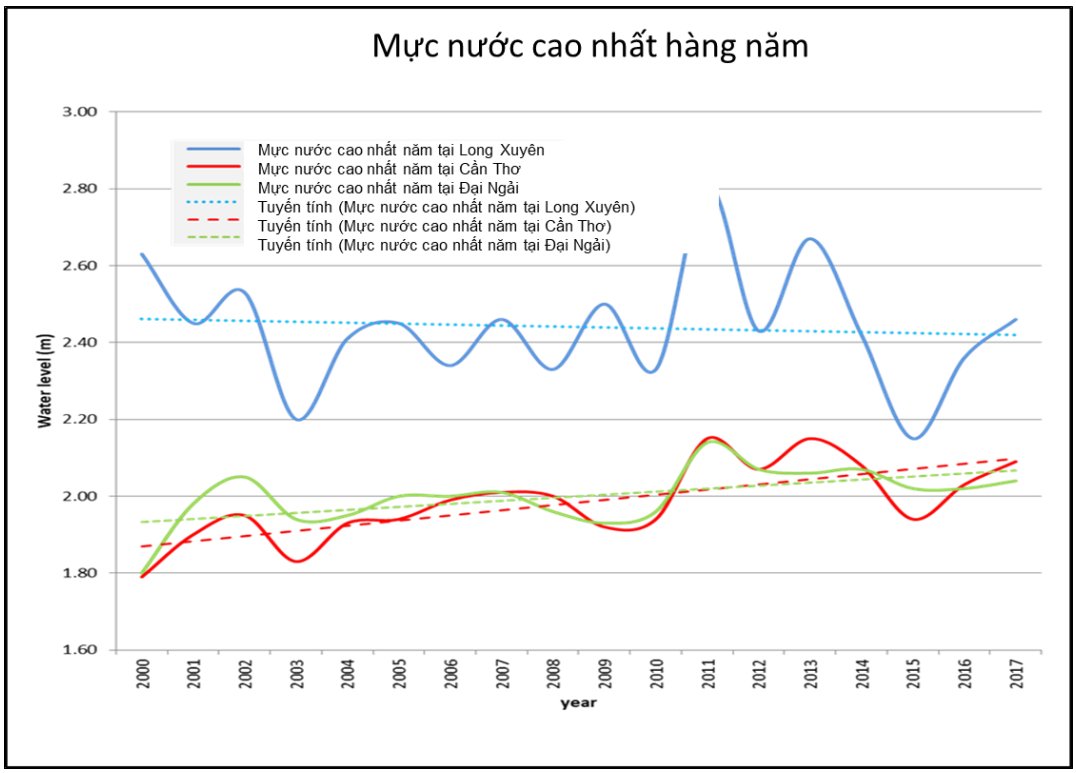
2.4.4. Xác định giá trị đầu vào của mô hình ngập tại Cần Thơ

Sau khi các mô hình được thiết lập, các giá trị đầu vào cần được tính toán cụ thể. Việc tính toán các dữ liệu đầu vào này bao gồm mực nước và lượng mưa trong khu vực nghiên cứu.

2.4.4.1. Mực nước

Các trạm thủy văn cung cấp số liệu để phân tích ảnh hưởng của mực nước trong hệ thống sông Mê Kông đến Cần Thơ, bao gồm Angkor Borey, Katie (Campuchia), Long Xuyên, Cần Thơ và Đại Ngải.

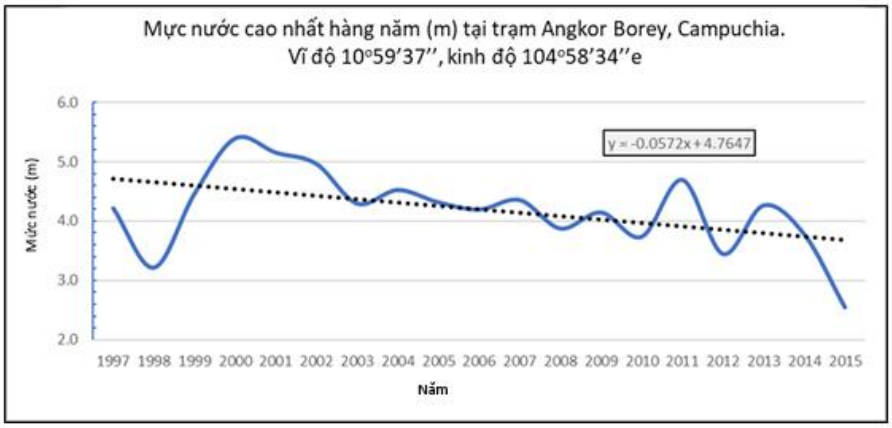
Mực nước lớn nhất ghi nhận hàng năm tại các trạm Long Xuyên, Cần Thơ và Đại Ngải được thể hiện trong hình 2.10.



Hình 2.10. Mực nước cao nhất tại các trạm(Tài liệu FRMIS -2023).

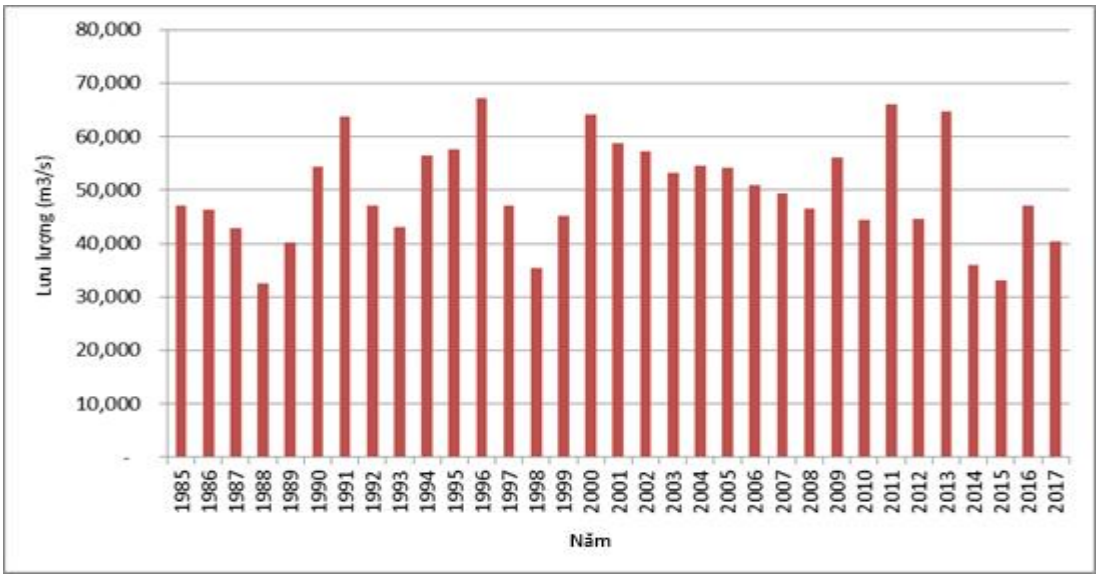
Số liệu đo được tại trạm Cần Thơ có sự tương đồng với trạm Đại Ngải sát cửa sông Hậu. Cả hai trạm đều chịu ảnh hưởng chủ yếu của mực nước thủy triều. Trạm Long

Xuyên vừa bị ảnh hưởng một phần của triều cường, và của chế độ lũ trên hệ thống sông Mê Kông. Lượng nước lũ thường đến vào khoảng tháng 9 hàng năm, ảnh hưởng đến đỉnh tại Long Xuyên nhiều hơn các trạm ở hạ lưu. Trạm Long Xuyên có thể chênh lệch giữa các năm là 0,8 m do sự biến đổi dòng chảy của lũ trên sông Mê Kông. Ảnh hưởng từ nước lũ là khá nhỏ khi so sánh với các trạm ở thượng nguồn nơi mực nước có thể thay đổi nhiều mét (nhiều nhất là 12 mét tại Phnom Penh của Campuchia) Hình 2.11.



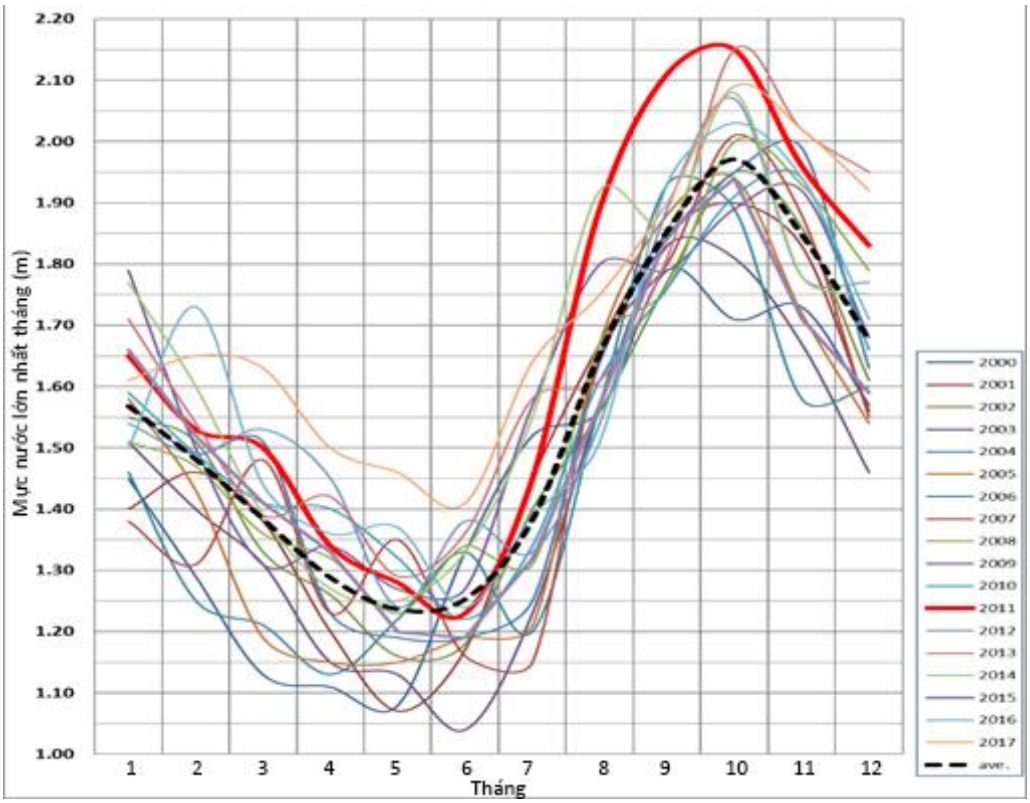
Hình 2.11 . Mực nước lớn nhất được ghi nhận hàng năm ở Angkor Borey, Campuchia (1995 - 2015) (Tài liệu FRMIS -2023).

Từ các dữ liệu quá khứ cho thấy mực nước tại Long Xuyên có xu hướng bị giảm theo xu hướng giảm lưu lượng ở Kratie (Hình 2.11). Từ khoảng năm 2000, bất chấp một số hiện tượng cực đoan, xu hướng giảm lưu lượng tại Kratie là khá rõ ràng. Lưu lượng giảm trong mùa lũ có thể do sự phát triển của các đập tại khu vực thượng nguồn.



Hình 2.12. Lưu lượng lớn nhất mỗi năm trong giai đoạn tháng 9/tháng 10 tại Kratie (Tài liệu FRMIS -2023).

Hình 2.13 cho thấy biểu đồ về sự biến động hàng tháng của mực nước cao nhất tại Cần Thơ. Có thể thấy sự chênh lệch của mức cực đại ghi nhận được vào tháng 10 năm 2011 được thể hiện dưới dạng vạch đỏ đậm trên biểu đồ, đó là năm lũ lớn ở sông Mê Kông, chỉ cao hơn mức trung bình các năm khoảng 0,2m được thể hiện dưới dạng nét đứt, vạch đen. Điều này cho thấy dòng chảy lũ trên hệ thống sông Mê kông chỉ ảnh hưởng hạn chế đến các mực nước tại Cần Thơ, nơi chủ yếu chịu ảnh hưởng bởi mực nước biển khu vực hạ lưu.

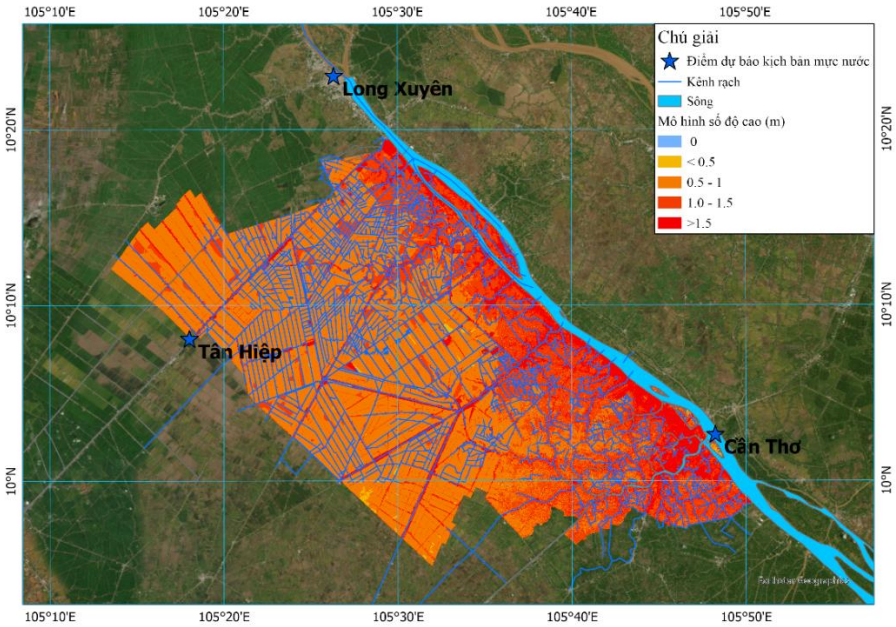


Hình 2.13. Mực nước lớn nhất hàng tháng được ghi nhận tại Cần Thơ kể từ năm 2000(Tài liệu FRMIS -2023).

Việc xác định biên thượng nguồn cho mực nước lũ ở sông Mê kông cho các năm cơ sở trong tương lai là khá khó khăn do chưa có các ước tính chính xác về chế độ dòng chảy trong tương lai trong hệ thống sông Mê kông.

Để thiết lập các giá trị đầu vào về mực nước cho mô hình cho lõi đô thị thành phố Cần Thơ, các mực nước trong các sông và kênh rạch xung quanh thành phố cần được xác định. Trong mô hình, các sông, kênh này đều thông với sông Hậu. Từ đó, để xây dựng đầu vào cho mô hình thủy lực này, mực nước cần được dự báo tại các trạm đo mực

nước Cần Thơ và Long Xuyên (hình 2.14).



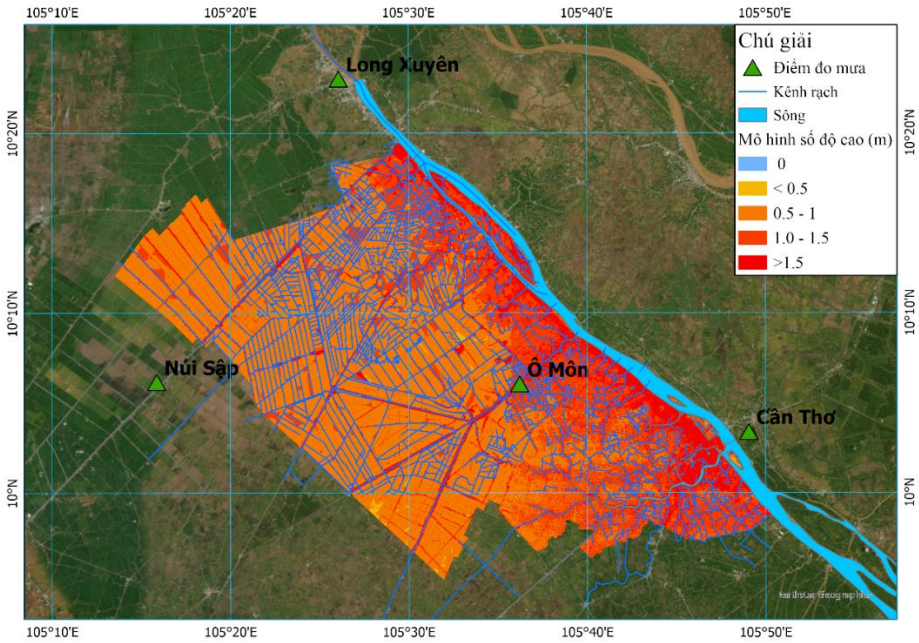
Hình 2.14. Vị trí các trạm dự báo kịch bản mực nước (Tài liệu FRMIS -2023).

Để xác định mực nước tại các biên đầu vào của khu vực thành phố Cần Thơ, dữ án FRMIS đã xây dựng một mô hình Mạng trí tuệ nhân tạo (ANN) nhằm xác định các biên này. Trong đó, mô hình này sử dụng dữ liệu đầu vào từ mực nước tại các trạm xung quanh Cần Thơ với sự kiện điển hình 2011.

Kết quả cho thấy Biên mực nước tại Long Xuyên có thể tới 2.7 m vào tháng 10 và tháng 11, mức nước tại sông Hậu điểm phía bắc của thành phố Cần Thơ trong khoảng thời gian tương ứng có thể lên tới 2.3m (Tài liệu FRMIS -2023).

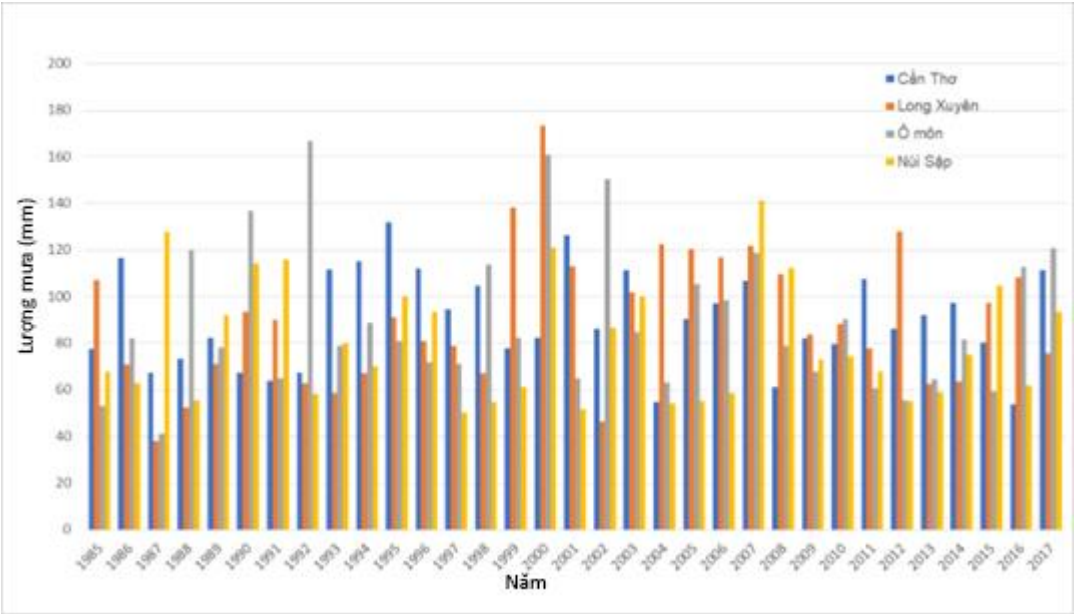
2.4.4.2. Lượng mưa

Toàn khu vực Cần Thơ có cường độ mưa không giống nhau. Do đó, đối với các mô hình thủy văn, cần có dự báo lượng mưa tại các trạm đo mưa gồm Cần Thơ, Ô Môn, Núi Sập và Long Xuyên. Vị trí của các trạm đo mưa được thể hiện trong Hình 2.15.



Hình 2.15. Vị trí các trạm đo mưa để dự báo kịch bản mưa (Tài liệu FRMIS -2023).

Dữ liệu từ bốn trạm đo mưa bao gồm Cần Thơ, Ô Môn, Núi Sập và Long Xuyên (vị trí các trạm phân bố như Hình) được sử dụng được trình bày chi tiết tại các bảng 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 và các hình 2.17, 2.18, 2.19, 2.20. So sánh lượng mưa ngày lớn nhất trong giai đoạn 1985 - 2017 được thể hiện trong Hình 2.16.



Hình 2.16. Lượng mưa ngày tối đa tại các trạm xung quanh khu vực thành phố Cần Thơ (1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023).

Phân tích thống kê dữ liệu lịch sử

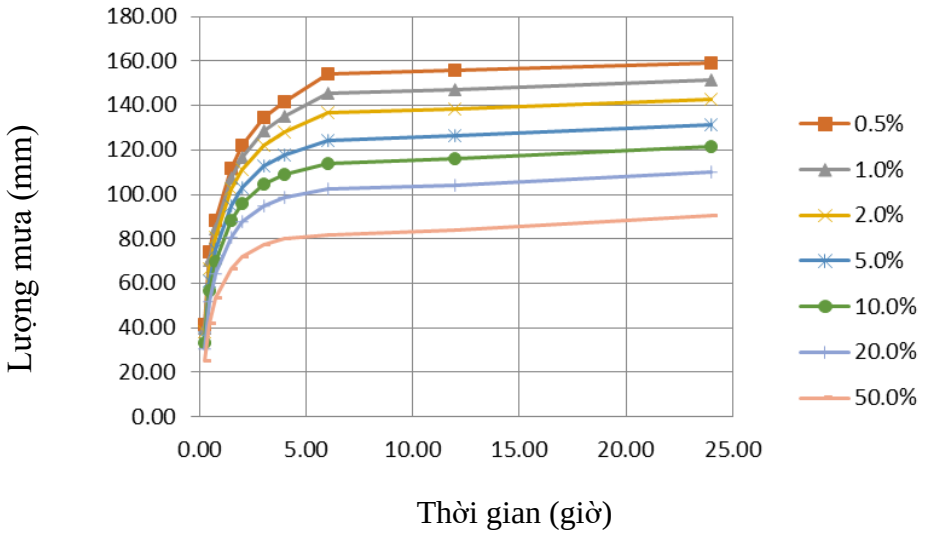
Dữ liệu đo mưa từ bốn trạm thu thập được từ năm 1985 đến năm 2017 đã được

phân tích thống kê. Biểu đồ cường độ -thời lượng - tần số (IDF) được xây dựng bằng hàm Pearson III để làm cơ sở cho các kịch bản lượng mưa trong tương lai. Kết quả phân tích cho từng trạm mưa được thể hiện trong các hình và bảng sau:

- Trạm Cần Thơ: Bảng 2.1 và Hình 2.17;
- Trạm Ô Môn: Bảng 2.2 và Hình 2.18;
- Trạm Núi Sập: Ô Môn - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023).
- Bảng 2.3 và Hình 2.19;
- Trạm Long Xuyên: Bảng 2.4 và Hình 2.20.

Bảng 2.1. Cần Thơ - Kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017)

Thời lượng		Lượng mưa [mm] - Pearson III						
[giờ]	[phút]	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%
0,25	15	41,69	40,03	38,22	35,54	33,19	30,37	25,11
0,50	30	73,92	70,42	66,70	61,34	56,79	51,54	42,26
0,75	45	88,25	84,60	80,68	74,96	70,01	64,19	53,61
1,50	90	111,84	107,23	102,24	94,85	88,39	80,70	66,37
2,00	120	122,01	116,87	111,33	103,17	96,07	87,65	72,14
3,00	180	134,56	128,53	122,06	112,59	104,42	94,82	77,37
4,00	240	141,89	135,22	128,11	117,78	108,93	98,64	80,22
6,00	360	154,08	145,74	136,98	124,51	114,07	102,23	81,92
12,00	720	155,70	147,37	138,62	126,19	115,81	104,05	83,97
24,00	1440	159,05	151,24	143,00	131,20	121,28	109,94	90,27

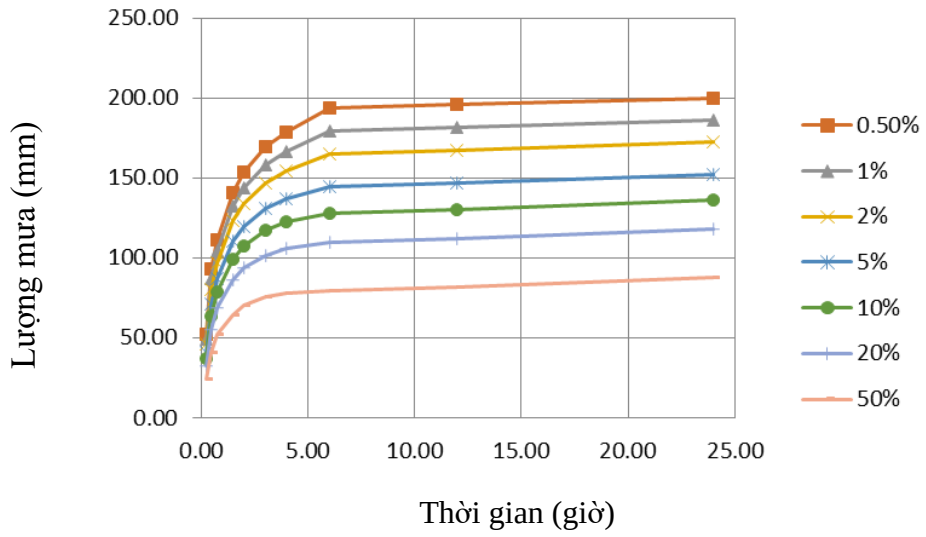


Hình 2.17. Cần Thơ - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017)

(Tài liệu FRMIS -2023).

Bảng 2.2. Ô Môn - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017)

Thời lượng		Lượng mưa [mm] - Pearson III						
[giờ]	[phút]	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%
0,25	15	52,46	49,37	46,07	41,31	37,27	32,60	24,47
0,50	30	93,02	86,85	80,40	71,30	63,76	55,33	41,18
0,75	45	111,06	104,34	97,25	87,13	78,61	68,91	52,25
1,50	90	140,74	132,25	123,24	110,24	99,24	86,63	64,68
2,00	120	153,54	144,14	134,2	119,91	107,87	94,09	70,3
3,00	180	169,33	158,52	147,13	130,86	117,24	101,79	75,4
4,00	240	178,56	166,77	154,42	136,9	122,31	105,89	78,18
6,00	360	193,9	179,74	165,11	144,72	128,08	109,75	79,83
12,00	720	195,94	181,75	167,09	146,67	130,03	111,7	81,83
24,00	1440	200,15	186,53	172,37	152,49	136,17	118,02	87,97

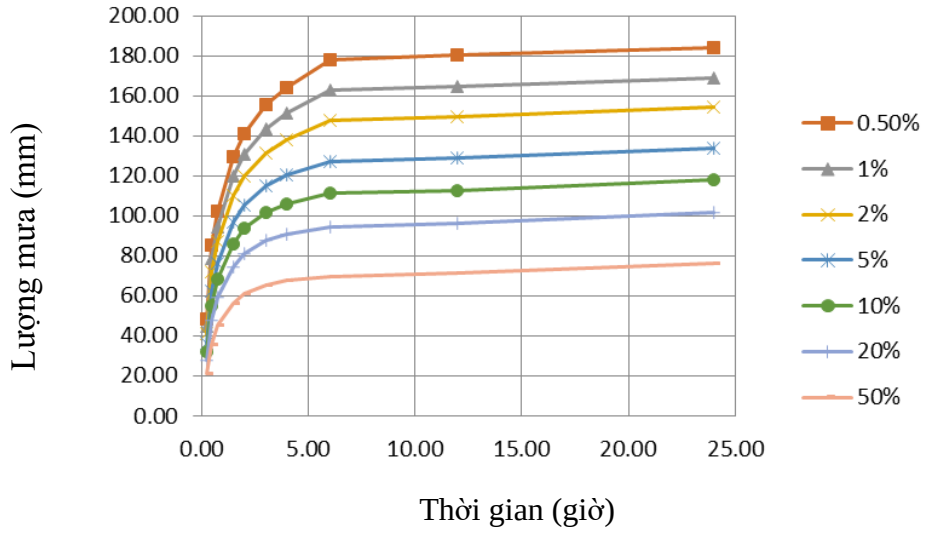


Hình 2.18. Ô Môn - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023).

Bảng 2.3. Núi Sập - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017)

Thời lượng		Lượng mưa [mm] - Pearson III						
[giờ]	[phút]	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%
0,25	15	48,23	44,79	41,22	36,31	32,35	28,05	21,31
0,50	30	85,52	78,79	71,94	62,66	55,35	47,61	35,87
0,75	45	102,10	94,65	87,02	76,58	68,24	59,30	45,50
1,50	90	129,39	119,97	110,28	96,90	86,15	74,55	56,33
2,00	120	141,16	130,75	120,08	105,4	93,64	80,97	61,23
3,00	180	155,68	143,8	131,66	115,02	101,78	87,59	65,67
4,00	240	164,16	151,28	138,18	120,32	106,17	91,12	68,09

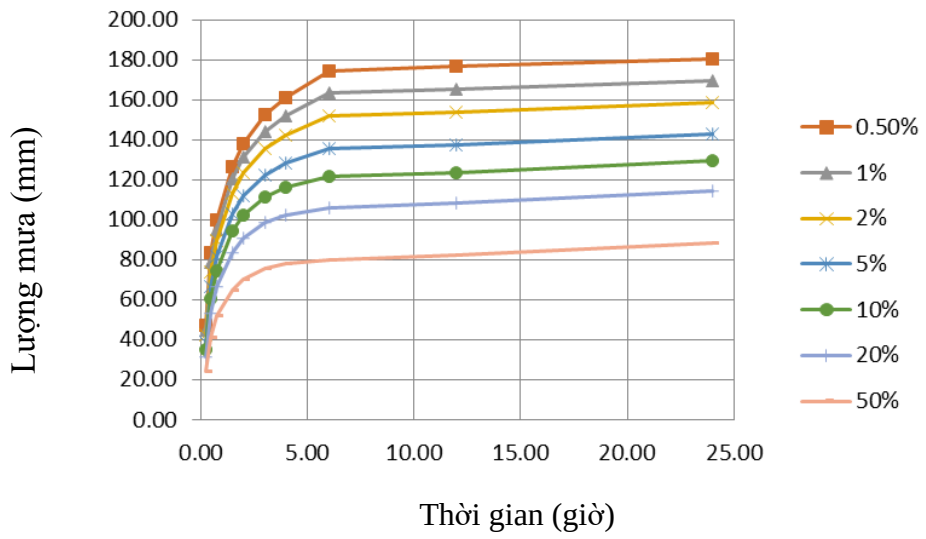
Thời lượng		Lượng mưa [mm] - Pearson III						
[giờ]	[phút]	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%
6,00	360	178,26	163,05	147,75	127,2	111,18	94,44	69,53
12,00	720	180,14	164,88	149,52	128,91	112,88	96,12	71,27
24,00	1440	184,01	169,21	154,24	134,03	118,21	101,56	76,62



Hình 2.19. Núi Sập - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023).

Bảng 2.4. Long Xuyên - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1980 - 2019)

Thời lượng		Lượng mưa [mm] - Pearson III						
[giờ]	[phút]	0,5%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%
0,25	15	47,26	44,91	42,38	38,65	35,40	31,56	24,55
0,50	30	83,79	79,01	73,96	66,70	60,57	53,56	41,32
0,75	45	100,04	94,92	89,46	81,51	74,68	66,70	52,42
1,50	90	126,78	120,32	113,36	103,14	94,28	83,86	64,89
2,00	120	138,31	131,13	123,44	112,19	102,47	91,08	70,53
3,00	180	152,53	144,21	135,34	122,43	111,38	98,53	75,65
4,00	240	160,84	151,72	142,05	128,07	116,19	102,5	78,43
6,00	360	174,66	163,52	151,88	135,39	121,67	106,23	80,09
12,00	720	176,5	165,35	153,7	137,22	123,53	108,12	82,1
24,00	1440	180,29	169,7	158,56	142,67	129,36	114,24	88,26



Hình 2.20. Long Xuyên - kết quả phân tích thống kê lượng mưa (số liệu: 1985 - 2017) (Tài liệu FRMIS -2023).

2.4.4.3. Sụt lún đất

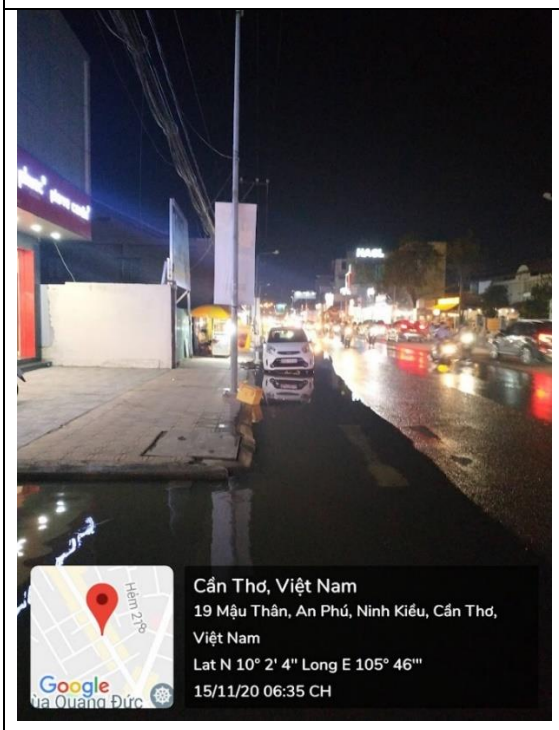
Tình trạng sụt lún đất đã xảy ra trên khắp đồng bằng sông Cửu Long, kể cả ở Cần Thơ. Sụt lún đất ảnh hưởng đến cao độ nền thành phố và làm thay đổi khả năng ứng phó của hệ thống khi có nguy cơ ngập lụt, bởi vì cao độ nền càng thấp thì tình hình ngập lụt càng nghiêm trọng khi ở trong cùng một trận ngập lụt. Tuy có một số báo cáo của các tổ chức quốc tế có tính toán đến mức độ sụt lún đất ở Cần Thơ, nhưng các báo cáo này không được kiểm định bởi các cơ quan có chức năng nên các số liệu này không được đưa vào trong mô hình. Nếu có số liệu sụt lún đất chính thức, các số liệu này sẽ được đưa vào để hiệu chỉnh mô hình số độ cao cho thời điểm hiện tại và có thể sử dụng dữ liệu tốc độ lún để dự báo mức độ sụt lún trong tương lai và hiệu chỉnh các mô hình số độ cao tương ứng cho các mốc thời gian đánh giá của kỳ tương lai. Các mô hình số độ cao được hiệu chỉnh này sẽ được đưa vào mô hình thủy lực để tính toán mức độ ngập tương ứng.

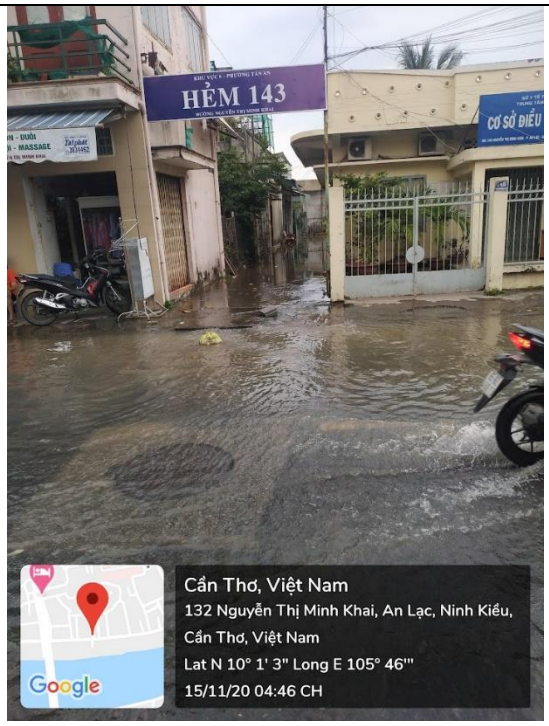
2.4.5. Khảo sát hiện trạng ngập tại Cần Thơ.

Để triển khai các nội dung nghiên cứu luận án đã tiến hành khảo sát hiện trạng ngập lụt tại Cần Thơ vào tháng 11 năm 2020 tại thời điểm triều cường lớn nhất trong năm, sau đó đã tiến hành khảo sát bổ sung trong mùa triều cường của các năm 2021 và 2022. Công tác khảo sát được tiến hành dọc các tuyến đường thường xuyên xảy ra ngập lụt tại Cần Thơ, bao gồm 41 tuyến phố chính nằm trên khu vực quận Ninh Kiều và Bình

Thủy.

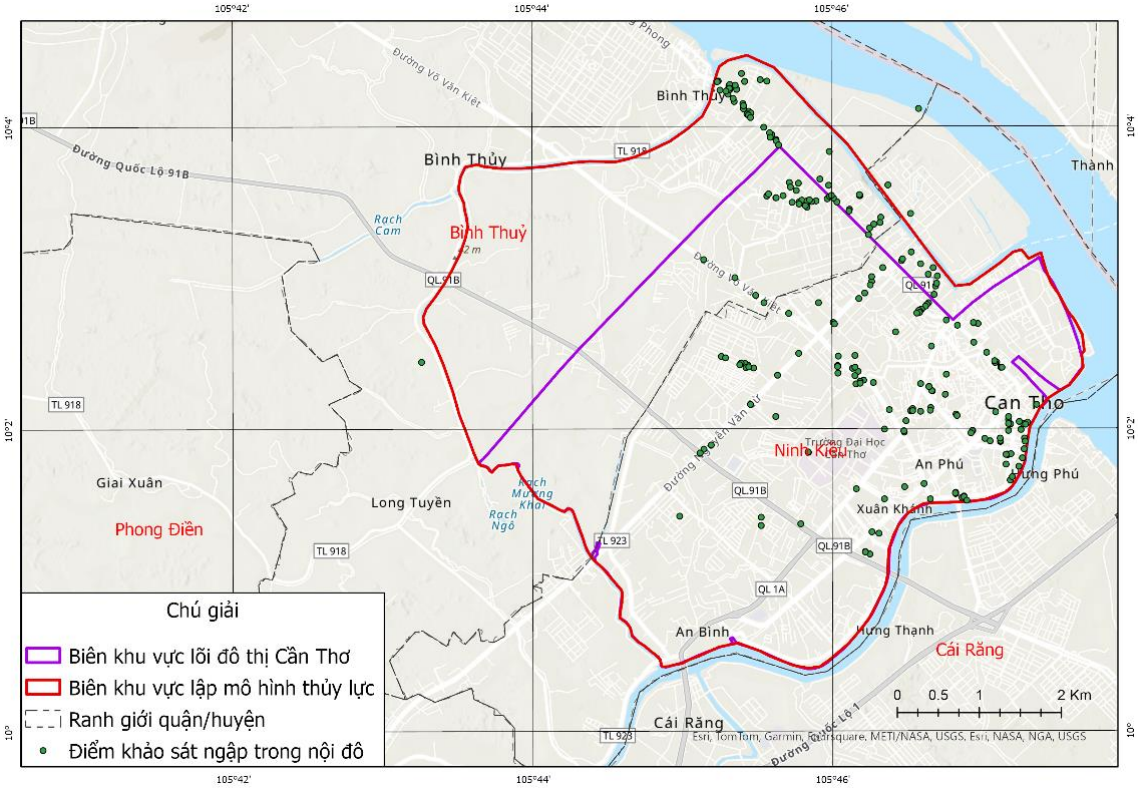
Cần Thơ, Việt Nam
125 Đường 30 Tháng 4, Xuân Khánh, Ninh Kiều, Cần Thơ, Việt Nam
Lat N 10° 1' 4" Long E 105° 46'''
15/11/20 05:01 CH
Google


Cần Thơ, Việt Nam
19 Mậu Thân, An Phú, Ninh Kiều, Cần Thơ, Việt Nam
Lat N 10° 2' 4" Long E 105° 46'''
15/11/20 06:35 CH
Google


HẺM 143
Cần Thơ, Việt Nam
132 Nguyễn Thị Minh Khai, An Lạc, Ninh Kiều, Cần Thơ, Việt Nam
Lat N 10° 1' 3" Long E 105° 46'''
15/11/20 04:46 CH
Google

Hình 2.21. Khảo sát các tuyến đường bị ngập tại nội đô Cần Thơ

Kết quả khảo sát cho thấy các tuyến đường ngập sâu từ 0.1 đến 0.7m, nguyên nhân chủ yếu từ việc nước sông dâng cao tràn qua các khu vực ven bờ trũng thấp như khu vực ven sông Cần Thơ và ven sông Hậu như đường Nguyễn Thị Minh Khai, đường Cách Mạng Tháng Tám, các khu vực xung quanh các hồ Bún Sáng, Xáng Thổi. Bên cạnh đó là các tuyến đường bị ngập khi nước sông thông qua hệ thống cống thoát đẩy lên đường gây ngập như các tuyến đường thuộc quận Ninh Kiều bao gồm phường Tân An, Xuân Khánh, An Phú. Kết quả khảo sát được đưa lên trên bản đồ khảo sát ngập tại hình 2.22, số liệu khảo sát được trình bày tại phục lục 5.



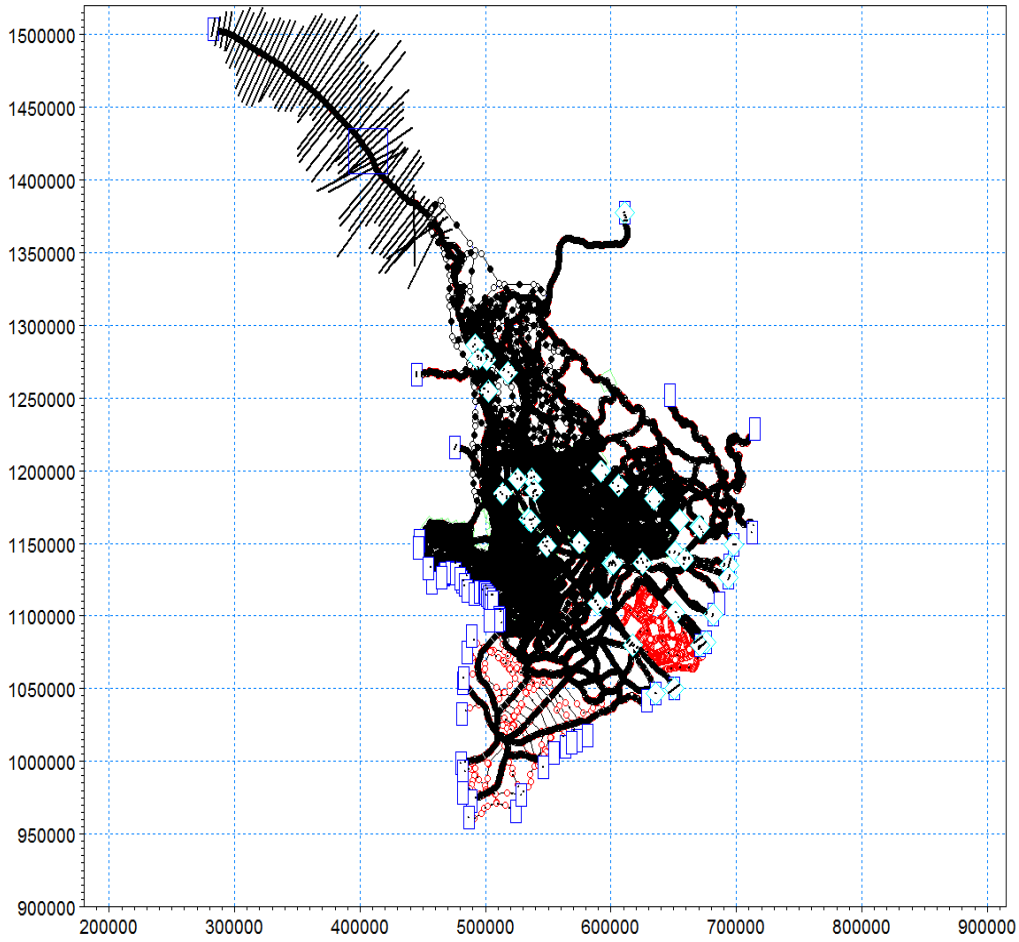
Hình 2.22. Vị trí các điểm khảo sát ngập ngày15/11/2020

2.4.6 Mô hình thủy lực của lõi đô thị

2.4.6.1. Các mô hình thủy lực được sử dụng trong mô hình hóa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ

Mô hình thủy lực vùng đồng bằng sông Cửu Long

Mô hình thủy lực vùng ĐBSCL được sử dụng dựa trên cơ sở của sản phẩm mô hình của "Dự án Giảm nhẹ thiên tai (WB4) với sự kiện lũ 2018. Phần mở rộng của mô hình đồng bằng sông Cửu Long được trình bày trong hình 2.23 với ranh giới trên từ Kratie và Biển Hồ chảy xuống Biển Đông và Biển Tây. Mô hình này được sử dụng để xác lập các biên mực nước tại cho mô hình lõi đô thị thành phố Cần Thơ.



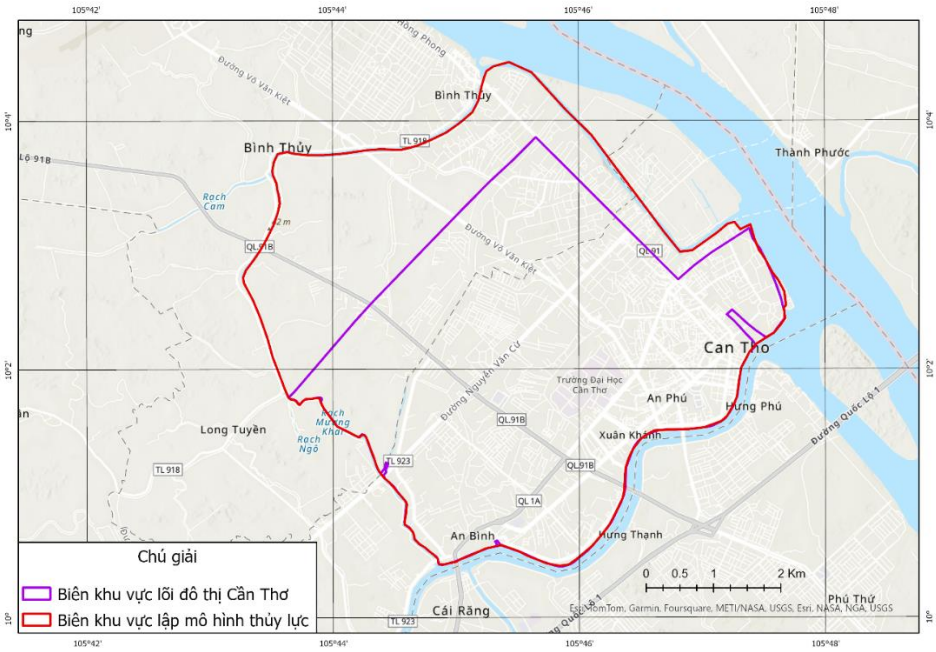
Hình 2.23. Mô hình thủy lực vùng Đồng bằng sông Cửu Long

Mô-đun MIKE 11 HD của mô hình thủy lực vùng Đồng bằng sông Cửu Long bao gồm 4 biên lưu lượng ở thượng nguồn bao gồm: Biển Hồ, Kratie, Dầu Tiếng và Trị An. 57 biên mực nước triều hạ lưu như sau: Lòng Tàu, Vàm Cỏ, Mê Công, Cửa Đại, Ba Lai, Hàm Luông, Cổ Chiên, sông Hậu (Bassac), Trần Đề, Mỹ Thanh, một số đường biên giới nước thuộc kênh rạch ở Cà Mau và bán đảo Kiên Giang.

Sau khi mô phỏng với mô hình thủy lực vùng ĐBSCL, các điều kiện biên cho mô hình lõi đô thị được rút ra từ kết quả mô hình ĐBSCL.

Mô hình thủy lực vùng lõi đô thị

Diện tích lõi của thành phố Cần Thơ khoảng 2400 ha. Tuy nhiên, do điều kiện biên của mô hình thủy lực, phạm vi của mô hình đã được mở rộng ra sông Bình Thủy ở phía Bắc, Cái Sơn và rạch Mương Khai ở phía Tây, sông Khai Luông ở phía Đông và sông Cần Thơ ở phía Nam (hình 2.23).



Hình 2.24. Lõi đô thị thành phố Cần Thơ

Mô hình 2D của lõi đô thị của Cần Thơ bao gồm mô hình 1D kênh hở được kết hợp với mô hình 1D của hệ thống thoát nước tạo thành mô hình chảy tràn 2D.

Thông thường, dòng chảy sẽ bắt nguồn từ sông Bình Thủy, sông Cần Thơ rồi đổ về sông Hậu. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của thủy triều Biển Đông, mực nước sông Hậu tại Cần Thơ và các kênh trong hệ thống dao động theo thủy triều ngay cả khi lũ ở thượng nguồn sông Cửu Long. Do đó, điều kiện biên của hệ thống phải là mực nước của các sông xung quanh, trong trường hợp này là từ sông Bình Thủy, sông Cần Thơ và sông Hậu. Các mực nước ranh giới này được lấy từ mô hình đồng bằng sông Cửu Long. Mối tương quan với dữ liệu mực nước tại sông Hậu đã được phân tích và mối quan hệ khá chặt giữa mực nước tại Cần Thơ và các biên của mô hình lõi đô thị được tìm thấy đã được áp dụng để tính toán các điều kiện biên mực nước cho mô hình lõi đô thị để mô phỏng kịch bản.

Trong mô hình này, hệ thống tường bao chống ngập của Cần Thơ đã được cập nhật. Trên thực tế, việc vận hành hệ thống này đã được thử nghiệm lần đầu vào ngày 1/11/2023, kết quả ban đầu cho thấy hệ thống tường bao này đã phát huy hiệu quả tốt trong ngăn ngừa ngập lụt tại lõi đô thị.

Mô hình 2D lõi đô thị được phát triển trong dự án FRMIS, kết quả của mô hình này là các dữ liệu điểm ngập được hình thành dạng mạng lưới 2D (Mesh) với thuộc tính dữ liệu chính là độ sâu ngập. Việc vận hành mô hình này được thực hiện trên phần mềm

Mike Operation.

2.4.6.2.Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình 2D lõi đô thị

Hiệu chỉnh

Báo cáo của Công ty Cấp thoát nước Cần Thơ đã công bố diện tích và độ sâu mực nước tại một số tuyến đường nội thành thành phố. Trong bản tin diễn biến lũ năm 2018, mực nước buổi chiều trên sông Hậu các ngày sau:

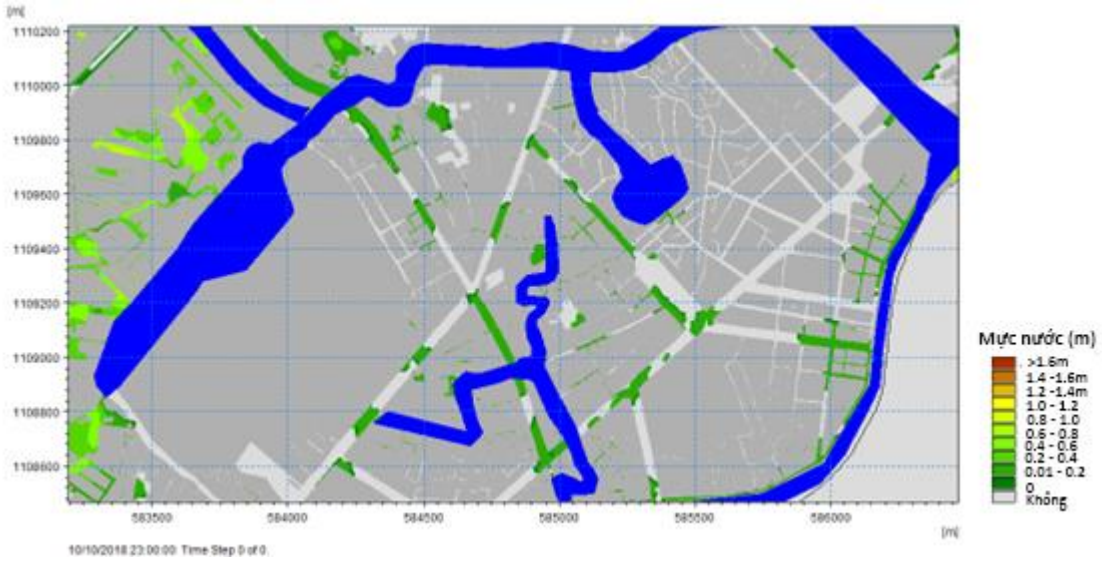
- Ngày 10/10/2018, mực nước cao nhất trên sông Hậu lúc 5 giờ 30 là 2,23m; Lúc 18h là 2,20m;

- Ngày 11/10/2018, mực nước cao nhất trên sông Hậu lúc 5 giờ 30 là 2,20m; lúc 18h30 là 2,15m;

- Ngày 12/10/2018, mực nước cao nhất trên sông Hậu lúc 6 giờ 30 phút là 2,13m; Lúc 19 giờ 30 phút là 2,08m;

- Ngày 13/10/2018, mực nước cao nhất trên sông Hậu lúc 7h là 1,93m; lúc 20:00 phút là 1,90 phút.

Do đó, mực nước cao nhất xuất hiện trong thời kỳ là 2,23m (ngày 10/10/2018), là mực nước cao nhất kể từ năm 1978 đến nay xuất hiện trên địa bàn TP Cần Thơ. So với cao độ trung bình của thành phố Cần Thơ hiện nay nằm trong khoảng H = 1,2 - 1,8m thì hầu như toàn bộ khu vực thành phố Cần Thơ đã bị ngập (chiếm hơn 97% diện tích toàn thành phố, trừ đường cao tốc, một số tuyến đường, khu dân cư mới được nâng cấp và đầu tư xây dựng mới trên địa bàn, do vậy, triều cường ngày 10/10/2018 được sử dụng để hiệu chỉnh.

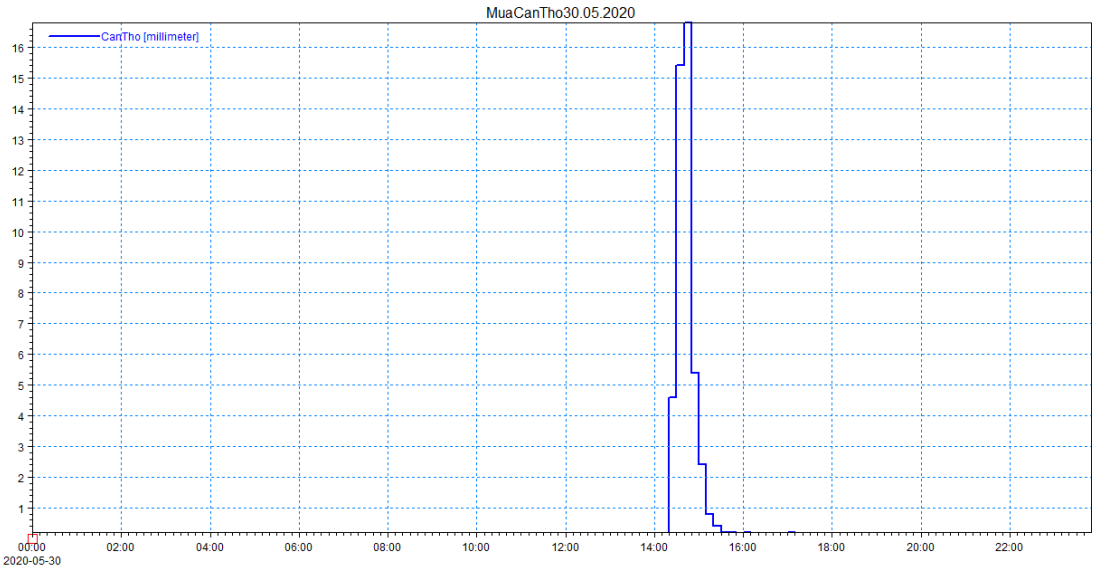


Hình 2.25. Độ sâu mô phỏng tại lõi đô thị ngày 10/10/2018

Theo báo cáo của Xí nghiệp cấp thoát nước (Công ty cổ phần Cấp thoát nước Cần Thơ), tại các khu vực nội thành, tình trạng ngập nặng xảy ra hầu hết ở các tuyến đường thuộc quận Ninh Kiều, Bình Thủy vào thời điểm đỉnh triều cường là 2,23m. Trên địa bàn quận Ninh Kiều có khoảng 60 tuyến đường chính bị ngập, với 107 điểm ngập. Mức độ ngập sâu tính từ mặt đường từ 0,1m đến 0,65m, thời gian ngập từ 2 đến 4 giờ. Có 14 tuyến đường có mức độ ngập từ 0,4m đến 0,65m, trong đó, đường Mậu Thân (0,6m), Quang Trung (0,65m), Phạm Ngũ Lão (0,45m), đường 30/4 (0,45m), Trần Văn Giàu (0.5m)... Thông tin này được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình 2D với phần đối sánh tới dữ liệu độ sâu mô phỏng được trình bày tại hình 2.25.

Kiểm định

Vào ngày 30 tháng 5 năm 2020, một trận mưa đã diễn ra từ 14:20 giờ đến 17:30 giờ với tổng lượng mưa đo được là 45,2 mm. Lượng mưa và gió giật mạnh xảy ra từ 14h25 đến 15h chiều theo số liệu từ Đài Khí tượng Thủy văn thành phố Cần Thơ (hình 2.26).

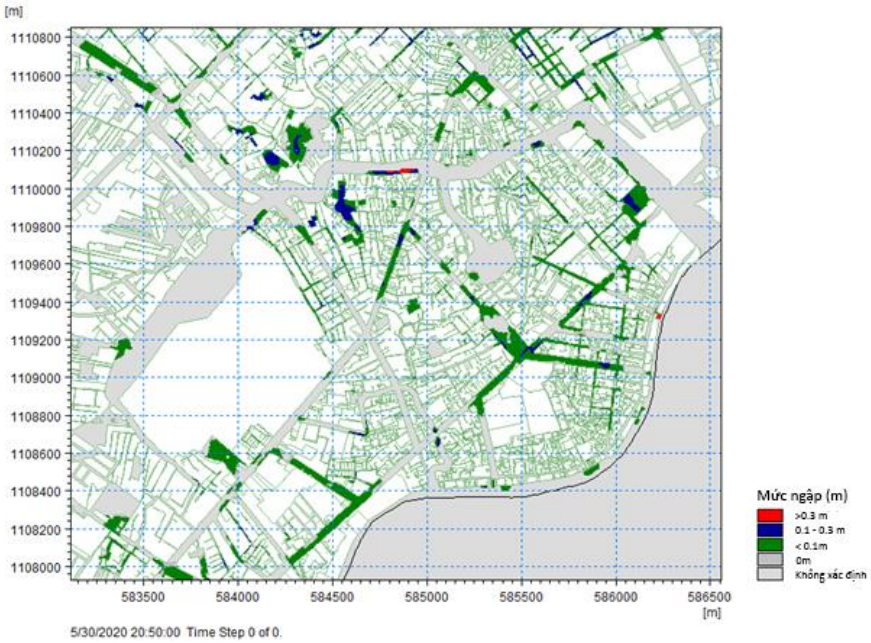


Hình 2.26. Sự kiện mưa được ghi lại 15 phút vào ngày 30 tháng 5 năm 2020

Do sự kiện cực đoan này, nhiều tuyến đường đã bị ngập nặng trong thời gian báo cáo. Dữ liệu về sự kiện mưa lớn đã được thu thập để kiểm định đã được ghi lại vào ngày 30 tháng 5 năm 2020.

Trận mưa này có tổng lượng mưa là 45 mm trong gần 2 giờ. Trong đợt này, vùng đồng bằng sông Cửu Long thủy triều không cao , mực nước lớn nhất tại trạm Cần Thơ là 1,35m. Do đó, thành phố bị ngập lụt không phải do triều cường gây ra mà chỉ do mưa

cường độ lớn, trong thời gian ngắn. Dữ liệu ngập được đưa ra từ mô hình (hình 2.27) có độ tương đồng tốt với báo cáo ngập của địa phương.

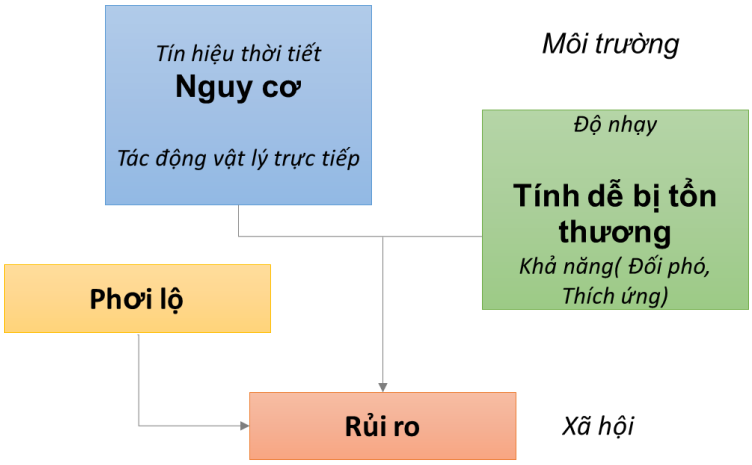


Hình 2.27. Kết quả ngập được tính toán từ mô hình 2D khu vực lõi đô thị Cần Thơ (Tài liệu FRMIS - 2023)

Một số vị trí báo cáo tình trạng ngập lụt kéo dài từ 30 phút đến 1,5 giờ do hệ thống thoát nước kém. Một số nơi khác bị ngập do hệ thống thoát nước bị tắc nghẽn gây ngập lụt cục bộ. Một số vị trí ngập sâu như đường 30/4, đường 3-2, Trần Văn Hoài, Cách Mạng Tháng 8, Trần Hưng Đạo, Lý Tự Trọng, Nguyễn Trãi, Xô Viết Nghệ Tĩnh, mực nước sâu 10 - 30 cm (theo báo cáo của WASCCO). Một số vị trí ngập trong thực tế, nhưng không xuất hiện trong kết quả mô hình là do rác làm tắc các đầu vào của hệ thống cống ngầm thoát nước đô thị.

2.5. Phương pháp đánh giá rủi ro xã hội do ngập lụt

Ngân hàng Thế giới và các cơ quan khác, đặc biệt là Tổ chức Hợp tác Quốc tế Đức (GIZ) đã áp dụng phương pháp đánh giá rủi ro lũ lụt xã hội được nêu trong Báo cáo Đánh giá Lần thứ Năm (AR5) [62] của Ủy ban Liên Chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC) như trong hình 2.28 ([134]).



Hình 2.28. Khung khái niệm về đánh giá rủi ro xã hội

Trong quá trình triển khai thực hiện nghiên cứu, luận án đã tiến hành xây dựng và một bộ công cụ được phát triển bao gồm các công cụ hỗ trợ đánh giá rủi ro xã hội và rủi ro kinh tế. Bộ công cụ được xây dựng và lập trình dựa trên ngôn ngữ Python trong môi trường GIS (mục 3.4.1 Chương 3).

Bộ công cụ được xây dựng bao gồm:

(1) Nhóm công cụ Tính toán rủi ro ngập về mặt xã hội gồm:

- Công cụ tính toán rủi ro xã hội;
- Công cụ tính toán giá trị lớn nhất - nhỏ nhất của các kịch bản;
- Công cụ chuẩn hóa kết quả phân tích;
- Công cụ hỗ trợ thống kê rủi ro;
- Công cụ liên kết bảng thống kê và xuất dữ liệu;
- Công cụ hỗ trợ thống kê rủi ro cho các đối tượng điểm;
- Công cụ thống kê đối tượng điểm hạ tầng ảnh hưởng rủi ro theo xã/phường.

(2) Nhóm các công cụ tính toán thiệt hại kinh tế.

Bộ công cụ được xây dựng trên cơ sở ngôn ngữ lập trình Python, với các phương pháp và quy trình cũng như thuật toán được trình bày trong chương 2 và 3 của luận án. Các thành phần của rủi ro ngập lụt bao gồm Hiểm họa, Mức độ phơi lộ và Tính dễ bị tổn thương sẽ được tính toán chi tiết, độc lập dựa trên các phương pháp được trình bày trong mục 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3, mã Code và các chức năng của bộ công cụ được trình bày chi tiết trong Phụ lục 4.

2.5.1. Phương pháp đánh giá Hiểm họa ngập lụt về xã hội

Nguy cơ hoặc hiểm họa lũ lụt đối với con người thường được xác định là sự kết

hợp giữa độ sâu ngập và vận tốc nước lũ. Cơ quan Môi trường Vương quốc Anh [27] định nghĩa nguy cơ lũ lụt (đối với người dân) như trong công thức 2.1.

H = d * (v+0,5) +DF (2.1)

Trong đó:

• H = nguy hiểm

• v = vận tốc

• d - chiều sâu

• DF = hệ số vụn

Mức độ hiểm họa được phân loại như 4 cấp (hình 2.29). Qua đánh giá và khảo sát thực địa cho thấy độ sâu ngập lụt tại thành phố Cần Thơ không vượt quá 2 mét cùng với địa hình bằng phẳng, vận tốc giới hạn ở mức 1-1,5 m/s nên hệ số vụn được tính toán tùy thuộc vào độ sâu lũ (bảng 2.5).

Bảng 2.5. Các yếu tố mảnh vụn cho các mục đích sử dụng khác nhau, độ sâu và vận tốc lũ

Độ sâu	DF
0 đến 0.25m	0.5
>0.25m	1.0

HR	Depth of flooding - d (m)												
	DF = 0.5				DF = 1								
Velocity v (m/s)	0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00	1.50	2.00	2.50
0.0	0.03 + 0.5 = 0.53	0.05 + 0.5 = 0.55	0.10 + 0.5 = 0.60	0.13 + 0.5 = 0.63	0.15 + 1.0 = 1.15	0.20 + 1.0 = 1.20	0.25 + 1.0 = 1.25	0.30 + 1.0 = 1.30	0.40 + 1.0 = 1.40	0.50 + 1.0 = 1.50	0.75 + 1.0 = 1.75	1.00 + 1.0 = 2.00	1.25 + 1.0 = 2.25
0.1	0.03 + 0.5 = 0.53	0.06 + 0.5 = 0.56	0.12 + 0.5 = 0.62	0.15 + 0.5 = 0.65	0.18 + 1.0 = 1.18	0.24 + 1.0 = 1.24	0.30 + 1.0 = 1.30	0.36 + 1.0 = 1.36	0.48 + 1.0 = 1.48	0.60 + 1.0 = 1.60	0.90 + 1.0 = 1.90	1.20 + 1.0 = 2.20	1.50 + 1.0 = 2.55
0.3	0.04 + 0.5 = 0.54	0.08 + 0.5 = 0.58	0.15 + 0.5 = 0.65	0.19 + 0.5 = 0.69	0.23 + 1.0 = 1.23	0.30 + 1.0 = 1.30	0.38 + 1.0 = 1.38	0.45 + 1.0 = 1.45	0.60 + 1.0 = 1.60	0.75 + 1.0 = 1.75	1.13 + 1.0 = 2.13	1.50 + 1.0 = 2.50	1.88 + 1.0 = 2.88
0.5	0.05 + 0.5 = 0.55	0.10 + 0.5 = 0.60	0.20 + 0.5 = 0.70	0.25 + 0.5 = 0.75	0.30 + 1.0 = 1.30	0.40 + 1.0 = 1.40	0.50 + 1.0 = 1.50	0.60 + 1.0 = 1.60	0.80 + 1.0 = 1.80	1.00 + 1.0 = 2.00	1.50 + 1.0 = 2.50	2.00 + 1.0 = 3.00	2.50 + 1.0 = 3.50
1.0	0.08 + 0.5 = 0.58	0.15 + 0.5 = 0.65	0.30 + 0.5 = 0.80	0.38 + 0.5 = 0.88	0.45 + 1.0 = 1.45	0.60 + 1.0 = 1.60	0.75 + 1.0 = 1.75	0.90 + 1.0 = 1.90	1.20 + 1.0 = 2.20	1.50 + 1.0 = 2.50	2.25 + 1.0 = 3.25	3.00 + 1.0 = 4.00	3.75 + 1.0 = 4.75
1.5	0.10 + 0.5 = 0.60	0.20 + 0.5 = 0.70	0.40 + 0.5 = 0.90	0.50 + 0.5 = 1.00	0.60 + 1.0 = 1.60	0.80 + 1.0 = 1.80	1.00 + 1.0 = 2.00	1.20 + 1.0 = 2.20	1.60 + 1.0 = 2.60	2.00 + 1.0 = 3.00	3.00 + 1.0 = 4.00	4.00 + 1.0 = 5.00	5.00 + 1.0 = 6.00
2.0	0.13 + 0.5 = 0.63	0.25 + 0.5 = 0.75	0.50 + 0.5 = 1.00	0.63 + 0.5 = 1.13	0.75 + 1.0 = 1.75	1.00 + 1.0 = 2.00	1.25 + 1.0 = 2.25	1.50 + 1.0 = 2.50	2.00 + 1.0 = 3.00	3.50	4.75	6.00	7.25
2.5	0.15 + 0.5 = 0.65	0.30 + 0.5 = 0.80	0.60 + 0.5 = 1.10	0.75 + 0.5 = 1.25	0.90 + 1.0 = 1.90	1.20 + 1.0 = 2.20	1.50 + 1.0 = 2.50	1.80 + 1.0 = 2.80	3.40	4.00	5.50	7.00	8.50
3.0	0.18 + 0.5 = 0.68	0.35 + 0.5 = 0.85	0.70 + 0.5 = 1.20	0.88 + 0.5 = 1.38	1.05 + 1.0 = 2.05	1.40 + 1.0 = 2.40	1.75 + 1.0 = 2.75	3.10	3.80	4.50	6.25	8.00	9.75
3.5	0.20 + 0.5 = 0.70	0.40 + 0.5 = 0.90	0.80 + 0.5 = 1.30	1.00 + 0.5 = 1.50	1.20 + 1.0 = 2.20	1.60 + 1.0 = 2.60	3.00	3.40	4.20	5.00	7.00	9.00	11.00
4.0	0.23 + 0.5 = 0.73	0.45 + 0.5 = 0.95	0.90 + 0.5 = 1.40	1.13 + 0.5 = 1.63	1.35 + 1.0 = 2.35	1.80 + 1.0 = 2.80	3.25	3.70	4.60	5.50	7.75	10.00	12.25
4.5	0.25 + 0.5 = 0.75	0.50 + 0.5 = 1.00	1.00 + 0.5 = 1.50	1.25 + 0.5 = 1.75	1.50 + 1.0 = 2.50	2.00 + 1.0 = 3.00	3.50	4.00	5.00	6.00	8.50	11.00	13.50
5.0	0.28 + 0.5 = 0.78	0.60 + 0.5 = 1.10	1.10 + 0.5 = 1.60	1.38 + 0.5 = 1.88	1.65 + 1.0 = 2.65	3.20	3.75	4.30	5.40	6.50	9.25	12.00	14.75

Hình 2.29: Nguy cơ lũ lụt xã hội là sự kết hợp giữa độ sâu và vận tốc [27]

Bảng 2.6. Phân cấp hiểm họa lũ

Mức độ hiểm họa lũ	Mức độ	Hiểm họa tác động tới con người
<0.75	Thấp	Hiểm họa rất thấp - Lưu ý
0.75-1.25	Trung bình	Nguy hiểm với một số người- bao gồm trẻ em, người già
1.25-2	Cao	Nguy hiểm với đa số - bao gồm hầu hết mọi người
>2	Rất cao	Nguy hiểm với toàn bộ, bao gồm cả các dịch vụ khẩn cấp

2.5.2. Phương pháp xác định mức độ phơi lộ trong rủi ro ngập lụt về xã hội

Để đánh giá Mức độ phơi lộ, UNDP và WB [14], [131] đã đưa ra phương pháp đánh giá định tính bao gồm việc xác định Mức độ phơi lộ dựa trên mức độ quan trọng của các đối tượng chịu tác động từ thiên tai. Tuy nhiên, phương pháp này mang tính chất khá chủ quan, thiếu kiểm soát. Chính vì vậy, trong luận án, phương pháp xác định Mức độ phơi lộ được sử dụng sẽ dựa trên giá trị tương đối của các đối tượng với ngập lụt. Mỗi loại hình sử dụng đất sẽ có các đặc trưng về phơi lộ dựa trên giá trị có thể gặp rủi ro ngập lụt mỗi ngày của từng loại hình, các giá trị này bao gồm giá trị tài sản, giá trị về hoạt động xã hội và khả năng tác động tới người dân. Từ đó, các hệ số phơi lộ của từng loại đất sẽ được xác định (bảng 2.7).

Bảng 2.7. Các yếu tố giá trị để đánh giá rủi ro lũ lụt

STT	Sử dụng đất	Giá trị	Yếu tố tiếp xúc (Er)
1	Khu dân cư	Rất cao	1.0
2	Thương mại	Cao	0.5
3	Dịch vụ sinh kế	Cao	0.5
4	Công nghiệp	Cao	12
5	Cơ quan Chính Phủ	Rất cao	1.0
6	Giáo dục	Cao	12
7	Y tế, xã hội	Rất cao	1.0
8	Đường giao thông	Rất cao	1.0
9	Không đánh giá	Không	0

STT	Sử dụng đất	Giá trị	Yếu tố tiếp xúc (Er)
10	Trồng lúa	Trung bình	0.2
11	Cây lâu năm	Trung bình	0.2
12	Cây trồng hàng năm	Thấp	0.1
13	Nuôi trồng thủy sản	Cao	0.5
14	Nông nghiệp trong lõi đô thị	Cao	0.5

2.5.3. Phương pháp xác định Tính dễ bị tổn thương rủi ro ngập lụt về mặt xã hội

Có rất nhiều định nghĩa về tình trạng dễ bị tổn thương do rủi ro lũ lụt xã hội. Là một phép đo định tính, nó thường được xây dựng bằng cách xem xét một số chỉ số, mỗi chỉ số được liên kết với các trọng số tương ứng tùy thuộc vào tầm quan trọng tương đối của chỉ số cụ thể.

Định nghĩa tổng thể được thông qua ở đây là từ một nghiên cứu gần đây ở Tây Ban Nha [108], tương tự như các nghiên cứu tương tự khác, định nghĩa chỉ số dễ bị tổn thương do lũ lụt xã hội (*SFVI*) trên thang điểm từ 0-1 là một hàm của hai yếu tố đối lập:

S = mức độ nhạy cảm của tính dễ bị tổn thương xã hội đối với các chỉ số sự kiện lũ lụt, và

C = khả năng đối phó và thích ứng

SFVI sau đó được tính như

$$SFVI = \frac{S}{C} \quad (2.2)$$

Trong đó *S*, độ nhạy được định nghĩa là:

$$s = \sum_{i=0}^{m} vi * wi \quad (2.3)$$

Và *C*, năng lực đối phó và thích nghi được định nghĩa là:

$$C = \sum_{j=0}^{n} vj * wj \quad (2.4)$$

vi, vj là giá trị của từng chỉ số (được tính theo thang điểm từ 0-1);

wi, wj là trọng số của từng chỉ số (được tính theo thang điểm từ 0-1);

m, n là số chỉ tiêu.

Giá trị của mỗi chỉ số được chuẩn hóa bằng cách sử dụng các hàm biến đổi tuyến tính như sau:

$$Y = \frac{X - Xmin}{Xmax - Xmin} \quad (2.5)$$

Y là giá trị chuẩn hóa; *X* là giá trị chỉ báo, *Xmax* và *Xmin* lần lượt là giá trị tối đa và tối thiểu có thể (hoặc được ấn định) của chỉ báo.

Mỗi chỉ số được tính trọng số, theo mức độ quan trọng được đánh giá của nó. Đây là nhận định chủ quan và có thể được đánh giá thông qua xếp hạng đơn giản về tầm quan trọng tương đối (so sánh theo cặp) của từng chỉ số. Dựa trên đánh giá dữ liệu có sẵn, các chỉ số và trọng số về Độ nhạy và Năng lực đối phó và thích nghi sau đây được đề xuất trong Bảng 2.8 và Bảng 2.9.

Bảng 2.8. Chỉ số nhạy cảm rủi ro lũ lụt xã hội

Chỉ số		Giá trị chuẩn hóa v_i (phạm vi)	Trọng số (w_i)	Tỉ lệ không gian
Dân số độ tuổi	% trẻ em =(Dân số dưới 14 tuổi/tổng dân số)x100		0.22	Niêm giám thống kê (Xã)
	% người cao tuổi =(Số người trên 65 tuổi/tổng dân số)x100		0.28	Niêm giám thống kê (Xã)
Dân số giới tính	% phụ nữ =(dân số nữ/tổng dân số)x100	0% - 0 100% - 1	0.18	Niêm giám thống kê (Xã)
Mật độ dân số	Mật độ dân số = Tổng dân số/diện tích	Min = 0 Max = 1	0.22	Niêm giám thống kê (Xã)
Giáo dục	Số giáo viên trên 1000 học sinh tiểu học và mẫu giáo	Min = 0 Max = 1	0.10	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)

Bảng 2.9. Chỉ số năng lực đối phó và thích nghi xã hội rủi ro lũ lụt

Chỉ số		Giá trị chuẩn hóa v_i (phạm vi)	Trọng số (w_i)	Tỉ lệ không gian
thông tin liên lạc	% số hộ có điện thoại=(hộ có điện thoại/Tổng số hộ)x100	0% - 0 100% - 1	0.07	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)
	% Hộ có internet= (Hộ có internet/tổng số hộ)x100	0% - 0 100% - 1	0.07	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)
Các dịch vụ khẩn cấp	Số cán bộ y tế trên 10000 dân= (Số bác sĩ, y tá/tổng dân số)x10000	Min = 0 Max = 1	0.07	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)
Ghi chép lịch sử về thảm họa	CÓ/KHÔNG	Yes - 1 No - 0	0.05	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)
Hệ thống báo	CÓ/KHÔNG		0.12	Niêm giám

động				thống kê (Quận, huyện)
Kế hoạch khẩn cấp	CÓ/KHÔNG		0.12	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)
khoan khẩn cấp	CÓ/KHÔNG		0.12	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)
Các tuyến đường sơ tán	CÓ/KHÔNG		0.12	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)
Khóa học và tài liệu giới thiệu	CÓ/KHÔNG		0.10	Niêm giám thống kê (Quận, huyện)

2.5.4. Phương pháp tính toán Chỉ số rủi ro lũ lụt đối với xã hội

Rủi ro lũ lụt xã hội được tính toán như một chỉ số tổng hợp từ hiểm họa lũ lụt, hệ số phơi lộ và tính dễ bị tổn thương.

Chỉ số rủi ro lũ lụt xã hội (SFRI) = H * Er * SFVI (2.6)

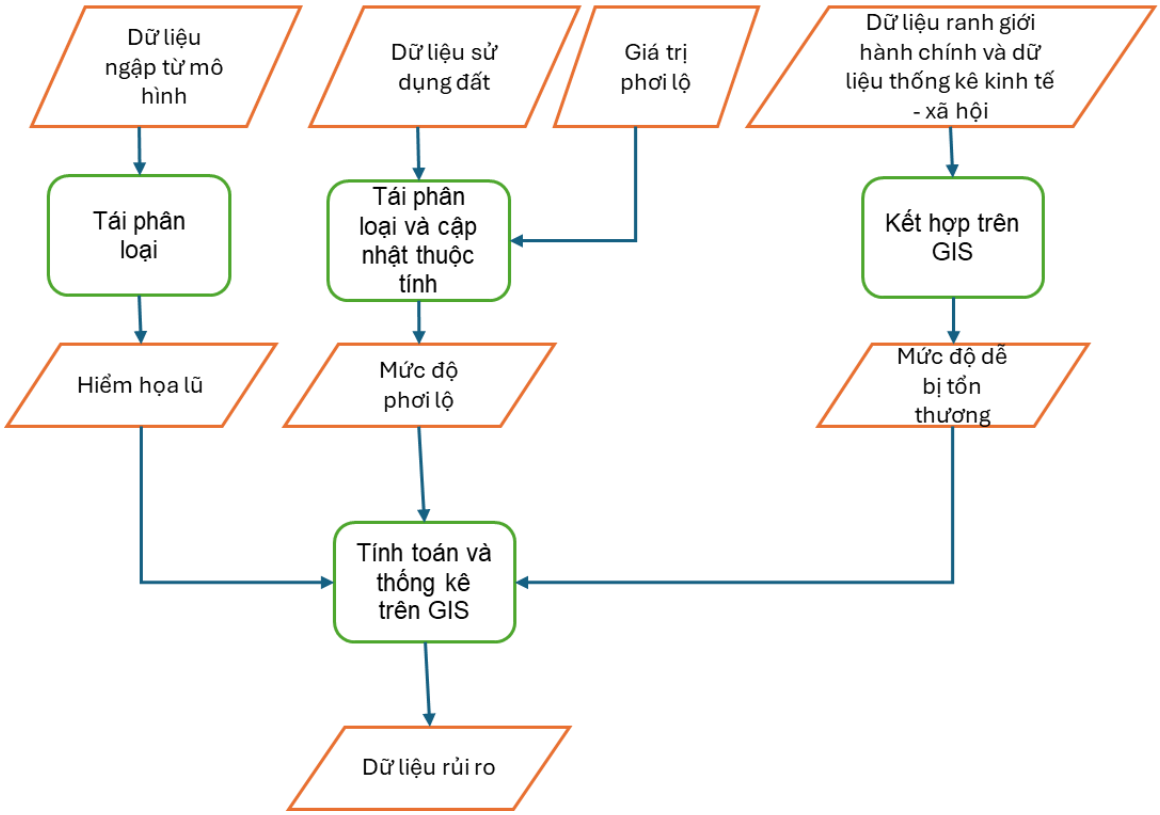
SFRI được phân cấp làm 4 mức độ như bảng 2.10

Bảng 2.10. Phân cấp SFRI

SFRI	**Đánh giá rủi ro**
0.0-0.25	Thấp
0.25 - 0.50	Trung bình
0.50-0.75	Cao
0.75-1.00	Rất cao

2.5.5. Sơ đồ quy trình đánh giá rủi ro ngập lụt về xã hội

Từ các công thức lý thuyết, luận án đã xây dựng quy trình xử lý dữ liệu trong công cụ đánh giá rủi ro xã hội (hình 2.30).



Hình 2.30. Quy trình xử lý dữ liệu đánh giá rủi ro xã hội

Các yếu tố cấu thành của rủi ro về mặt xã hội như tính dễ bị tổn thương, mức độ phơi lộ, hiểm họa ngập lụt được đưa vào theo các nhánh riêng rẽ với các đầu vào khác nhau. Sau đó, các dữ liệu này được kết hợp để tạo thành dữ liệu rủi ro về xã hội.

2.6. Phương pháp đánh giá rủi ro lũ lụt về kinh tế

Đánh giá rủi ro về kinh tế là một đánh giá định lượng ước tính thiệt hại bằng tiền đối với tài sản cố định như tài sản và cơ sở hạ tầng. Rủi ro kinh tế (thiệt hại) liên quan chủ yếu đến độ sâu ngập.

2.6.1. Hiểm họa lụt về kinh tế

Rủi ro lũ lụt kinh tế đối với cơ sở hạ tầng cố định chỉ liên quan đến độ sâu ngập lụt và do đó đây là mối nguy hiểm duy nhất được xem xét trong khu vực nghiên cứu. Đối với thiệt hại nông nghiệp, thời gian ngập lụt (trên một ngưỡng nhất định) có thể quan trọng nhưng việc xác định tác động của thời gian ngập trong các khảo sát là không khả thi, do vậy trong luận án, chỉ xét đến tác động của độ sâu ngập.

Mức độ hiểm họa lũ lụt (độ sâu) cho các kịch bản khác nhau, được tạo trực tiếp từ mô hình thủy động lực học. Các dữ liệu về độ sâu ngập được xây dựng bao gồm các

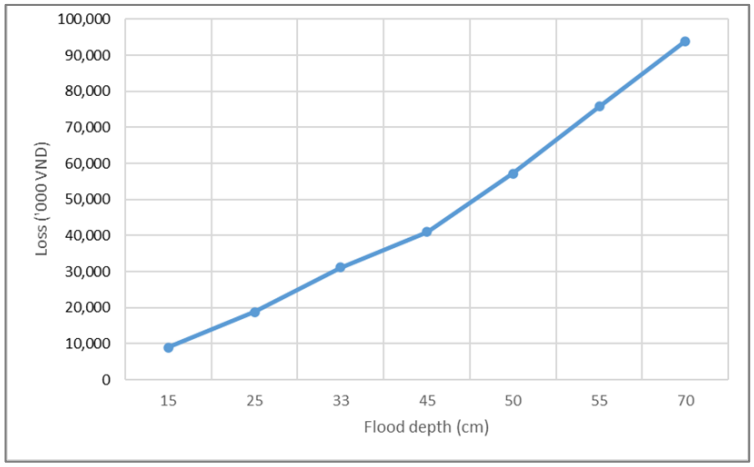
kịch bản 1%, 2%, 5%, 10% và 20% (mục 3.1).

2.6.2. Mức độ phơi lộ trong đánh giá rủi ro lũ lụt kinh tế

Mức độ phơi lộ trong đánh giá rủi ro lũ lụt về kinh tế được xác định dựa trên dữ liệu sử dụng đất. Mỗi loại hình sử dụng đất sẽ có mức độ thiệt hại khác nhau đối với các mức ngập tương ứng. Mức độ phơi lộ ở đây có liên quan trực tiếp, chặt chẽ tới tính dễ bị tổn thương. Các dữ liệu về mức độ thiệt hại này được xác định thông qua các kết quả khảo sát thiệt hại do lũ tại khu vực nghiên cứu.

2.6.3. Tính dễ bị tổn thương về kinh tế (đường cong thiệt hại)

Mỗi đối tượng kinh tế, xã hội nằm trong vùng tác động của lũ lụt đều chịu các tác động khác nhau, phụ thuộc vào bản chất của đối tượng đó và mức độ, cường độ ngập [42]–[45]. Do đó, thiệt hại tại bất kỳ vị trí nào phụ thuộc vào đặc điểm của tài sản bị ảnh hưởng và độ sâu của lũ lụt. Tính dễ bị tổn thương về kinh tế do thiệt hại do lũ lụt đối với một công trình phụ thuộc rất nhiều vào độ sâu ngập lụt tối đa. Độ sâu ngập lụt cao hơn luôn được cho là có liên quan đến sự gia tăng thiệt hại do lũ lụt [18]. Tại một số điểm, nước sẽ sâu đến mức gây ra thiệt hại tối đa có thể. Mối quan hệ giữa độ sâu ngập lụt và thiệt hại (đường cong độ sâu - thiệt hại) thể hiện tính dễ bị tổn thương về kinh tế của một công trình nhất định và thường có dạng như trong Hình 2.31.



Hình 2.31. Ví dụ về hàm thiệt hại

Hình 2.31 cho thấy một biểu đồ mẫu về mức độ thiệt hại tối đa có thể xảy ra so với độ sâu ngập lụt đối với cấu trúc nhà ở của một hộ gia đình. Để tính toán giá trị tiền tệ của thiệt hại, giá trị này được nhân với mức độ thiệt hại của từng loại tài sản và được tổng hợp trên toàn bộ khu vực bị ngập lụt.

Để định lượng thiệt hại lũ lụt từ một sự kiện lũ lụt nhất định, các mối quan hệ độ sâu ngập - thiệt hại được xác định với các tài sản, đối tượng khác nhau dựa trên loại hình sử dụng đất. Các đối tượng sử dụng đất sẽ được phân loại thành các nhóm có chung tính chất, giá trị. Đối với khu vực nghiên cứu, các đối tượng sử dụng đất được phân loại thành 11 nhóm đối tượng bao gồm: thương mại, kinh doanh, công nghiệp, cơ quan chính phủ, y tế, giáo dục, đất trồng lúa, cây hàng năm, cây lâu năm, nuôi trồng thủy sản, đất ở và khu vực không đánh giá. Mối quan hệ giữa độ sâu ngập và mức độ thiệt hại của từng loại đối tượng được khảo sát trực tiếp trên thực địa. Từ kết quả khảo sát, mối quan hệ này được thống kê, tổng hợp thành các hàm số tương ứng cho mỗi nhóm đối tượng.

2.6.4. Tính toán rủi ro kinh tế

Rủi ro kinh tế có thể được tính toán cho các sự kiện lịch sử hoặc các kịch bản ngập lụt khác nhau. Đối với nghiên cứu này, các kết quả mô hình hóa ngập lụt bao gồm các kịch bản: 1%, 2%, 5%, 10% và 20% tương ứng với thời đoạn lặp lại tối đa của một đợt ngập bao gồm 100 năm, 50 năm, 20 năm, 10 năm và 5 năm.

Thiệt hại kinh tế cho một trận lụt thường gặp hàng năm được tính dựa vào phương pháp Monter-Carlo[38] với công thức 2.7 như sau:

$$AEEL = \int_0^{pmax} D(p)dp \qquad (2.7)$$

Trong đó:

AEEL = Tổn thất kinh tế hàng năm (triệu đồng/năm)

P = Tần suất lũ (1/năm)

D (p) = Thiệt hại do lũ ứng với tần suất (triệu đồng)

p_{max} = Xác suất lớn nhất của thiệt hại kinh tế (1/năm)

Các dữ liệu đầu vào bao gồm:

- Dữ liệu ngập là kết quả của việc chạy mô hình thủy lực, bao gồm các bản đồ ngập theo 5 kịch bản tương ứng.

- Dữ liệu sử dụng đất được phân nhóm theo các nhóm chịu thiệt hại, bao gồm 11 nhóm.

- Các hàm thiệt hại được xây dựng từ quá trình điều tra thiệt hại ngập lụt.

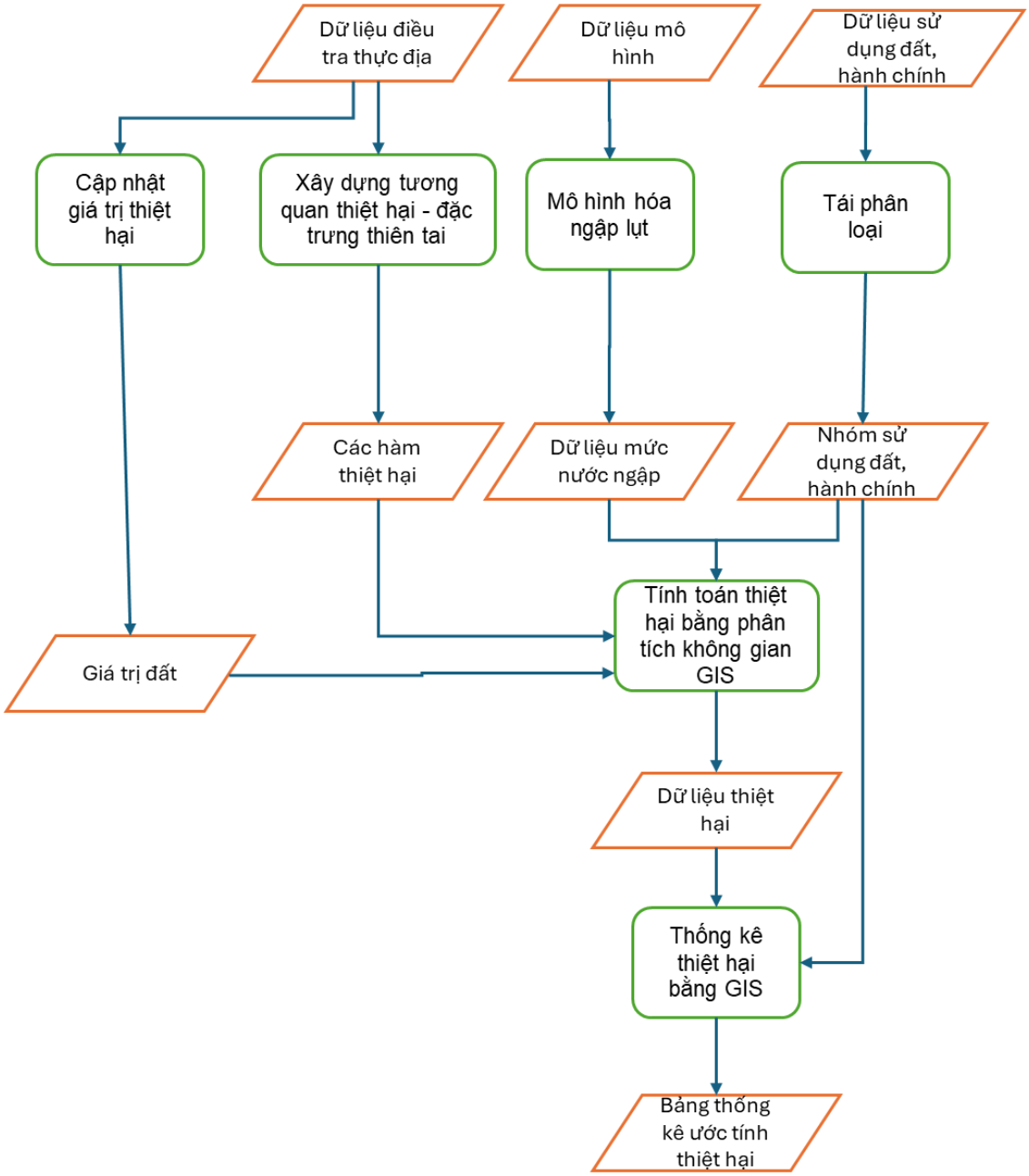
Các dữ liệu đầu vào được tính toán trong môi trường GIS. Kết quả được trình bày dưới dạng các bản đồ thiệt hại kinh tế và các bảng tổng hợp dữ liệu thiệt hại theo từng

kịch bản ngập.

Tổng thiệt hại kinh tế cũng có thể được tính toán cho bất kỳ sự kiện lịch sử cụ thể nào sau khi các dữ liệu độ sâu của lũ lụt được tạo ra từ mô hình thủy lực. Kết quả của tính toán rủi ro kinh tế được trình bày bao gồm các dữ liệu đầu vào được xử lý, các hàm thiệt hại, các bản đồ và thống kê tổn thất kinh tế theo từng kịch bản ngập, được trình bày trong mục 3.2 của chương 3.

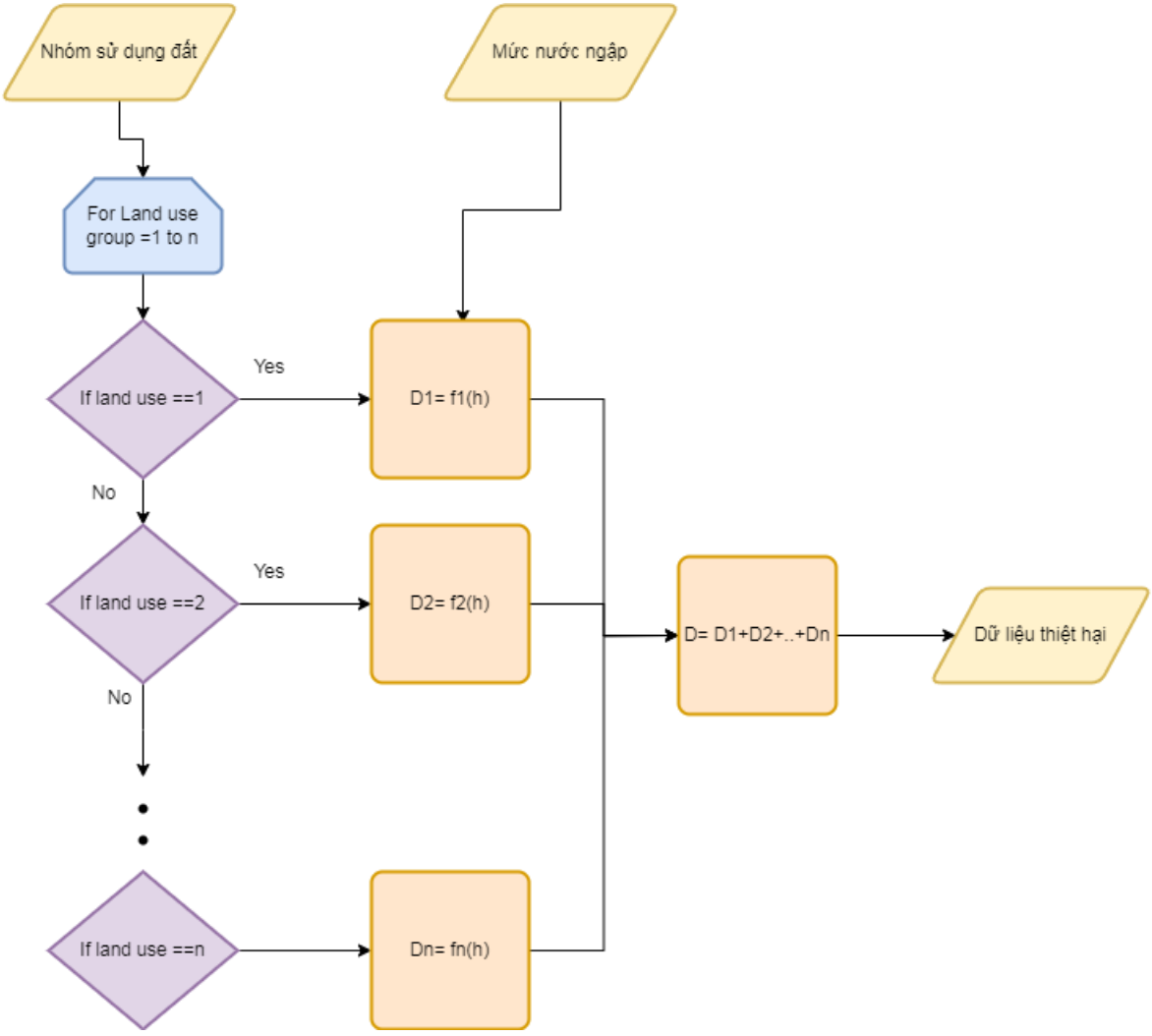
2.6.5. Quy trình xử lý dữ liệu đánh giá rủi ro lũ lụt về kinh tế

Quy trình xử lý rủi ro về kinh tế được trình bày trong minh họa sau:



Hình 2.32. Quy trình xử lý dữ liệu đánh giá rủi ro kinh tế

Bên cạnh đó, các hàm thiệt hại được xử lý theo quy trình như sau:



Hình 2.33. Quy trình tính toán hàm thiệt hại

2.7. Phương pháp đánh giá tác động của BĐKH tới rủi ro thiên tai.

2.7.1. Các kịch bản biến đổi khí hậu

Năm 2013, Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC) [56] đã công bố các kịch bản cập nhật về biến đổi khí hậu, dựa trên các Đường tập trung đại diện khí nhà kính (RCP).

Bốn kịch bản RCP chính đã được xây dựng, từ kịch bản RCP 8.5 đến kịch bản RCP 2.6. Có thể mô tả các kịch bản như bảng 2.11 sau:

Bảng 2.11 Tóm tắt đặc trưng các kịch bản, mức tăng nhiệt độ so với thời kỳ cơ sở (1986 - 2005)

RCP	Bức xạ tác động năm 2100	Nồng độ CO2 năm 2100 (ppm)	Tăng nhiệt độ toàn cầu (°C) vào năm 2100 so với thời kỳ cơ sở (1986-2005)	Đặc điểm đường phân bố cưỡng bức bức xạ tới năm 2100	Kịch bản SRES tương đương
RCP8.5	8,5 W/m^2	1370	4,9	Tăng liên tục	A1F1
RCP6.0	6,0 W/m^2	850	3,0	Tăng dần rồi ổn định	B2
RCP4.5	4,5 W/m^2	650	2,4	Tăng dần rồi ổn định	B1
RCP2.6	2,6 W/m^2	490	1,5	Đạt cực đại 3,0 W/m^2 rồi giảm	Không có

Nguồn: Kịch bản biến đổi khí hậu Việt Nam 2020 – Bộ TN&MT

Để hiểu rõ hơn về tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) ở Việt Nam, Bộ Tài nguyên và Môi trường (Bộ TN&MT) đã thực hiện nghiên cứu BĐKH và nước biển dâng cho Việt Nam vào năm 2016, và sau đó là năm 2020. Báo cáo của Bộ TN&MT năm 2016 và 2020 [2] và khuyến nghị xem xét các kịch bản của hai trong số các lộ trình như sau:

- **Kịch bản RCP4.5:** áp dụng cho các tiêu chuẩn thiết kế của các công trình và quy hoạch/kế hoạch ngắn hạn;
- **Kịch bản RCP8.5:** áp dụng cho các công trình vĩnh viễn và quy hoạch/kế hoạch dài hạn.

Trong đó, dữ liệu dự báo cho đầu thế kỷ từ đến năm 2045 là tương tự nhau giữa 2 báo cáo 2016[2] và 2020[3]. Theo đó, đối với kịch bản BĐKH năm 2030 nghiên cứu sẽ áp dụng kịch bản BĐKH đầu thế kỉ được xác định trong báo cáo năm 2016[2], khi xét tới kịch bản biến đổi khi hậu 2050, nghiên cứu sẽ xem xét tới kịch bản biến đổi khí hậu giữa thế kỷ của báo cáo 2020[3].

Đồng bằng sông Cửu Long bao gồm cả Cần Thơ sẽ chịu tác động của BĐKH trong biên thời gian này (các năm 2025, 2030 và 2050). Ảnh hưởng của BĐKH ở Cần Thơ sẽ được xem xét dưới góc độ của một số thông số BĐKH tác động đến biên khi chúng thay đổi giá trị theo biên thời gian. Các thông số được xem xét là:

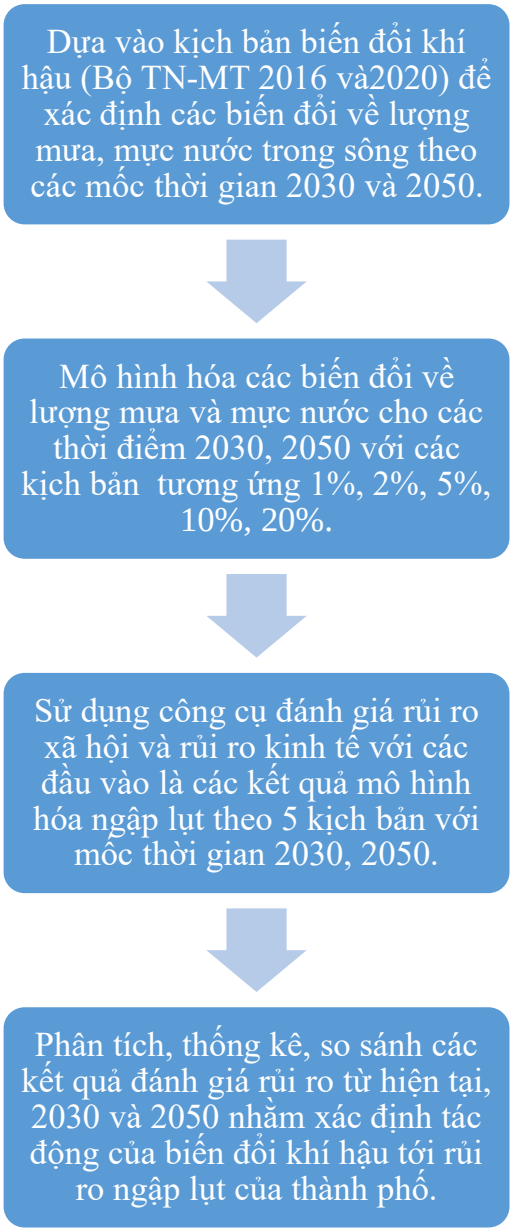
Lượng mưa do ảnh hưởng của BĐKH - phân bố lượng mưa theo thời gian và không gian tại Cần Thơ;

Mực nước bị ảnh hưởng bởi BĐKH và nước biển dâng - trên sông Hậu và hệ

thống sông Mê Kông. Điều này bao gồm: những thay đổi trong chế độ xả của sông Mê KôngMê kông do BĐKH, sự thay đổi của mực nước biển do BĐKH và nguy cơ gia tăng triều cường do ngày càng nhiều lốc xoáy lớn gây ra bởi BĐKH. Mực nước trong lõi đô thị Cần Thơ và Cần Thơ bị ảnh hưởng bởi BĐKH do thay đổi chế độ mưa;

Nhiệt độ và các thông số khí hậu khác - BĐKH sẽ có tác động đến chế độ khí hậu tại Cần Thơ. Tuy nhiên, sự thay đổi về nhiệt độ và các thông số khác như độ ẩm tương đối không được coi là yếu tố quan trọng trong việc thay đổi điều kiện biên, do vậy trong luận án không đề cập đến yếu tố này.

Trong quá trình nghiên cứu, tác động của biến đổi khí hậu cụ thể được lượng hóa thông qua 4 bước: (hình 2.34).



Hình 2.34. Quy trình đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới rủi ngập lụt

Quy trình đánh giá tác động sử dụng các dữ liệu và bản đồ được trích xuất từ báo cáo của Bộ Tài nguyên và Môi trường. Trong đó, các dữ liệu được trích xuất sẽ được nội suy cho các mốc đánh giá bao gồm các năm 2030 và 2050. Các dữ liệu bao gồm lượng mưa, mực nước sông. Các dữ liệu này sẽ là các dữ liệu đầu vào cho các bước tiếp theo.

Bước thứ hai trong quy trình đánh giá là việc áp dụng các dữ liệu đầu vào theo các kịch bản biến đổi khí hậu cho mô hình ngập lụt đã được xây dựng sẵn tại khu vực nghiên cứu. Kết quả của bước này sẽ là các dữ liệu độ sâu ngập và các dữ liệu Hiểm họa lũ lụt. Các kết quả này là dữ liệu đầu vào cho bước tiếp theo của quy trình đánh giá tác động của BĐKH.

Bước thứ 3 là việc lặp lại quy trình đánh giá rủi ro do lũ đối với kinh tế và xã hội cho từng kịch bản BĐHK, bao gồm các kịch bản 1%, 2%, 3%, 5%, 10%, 20% của các mốc thời gian năm 2030 và 2050. Kết quả của bước này là các dữ liệu đánh giá rủi ro dưới dạng các bản đồ/dữ liệu không gian bao gồm: .

- Bản đồ mức nước ngập của 5 kịch bản cho năm 2030, 5 kịch bản cho trường hợp BĐKH mốc năm 2050.

- Bản đồ Hiểm họa ngập của 5 kịch bản cho năm 2030, 5 kịch bản cho trường hợp BĐKH mốc năm 2050.

- Bản đồ Rủi ro ngập về xã hội của 5 kịch bản cho năm 2030, 5 kịch bản cho mỗi trường hợp BĐKH mốc năm 2050.

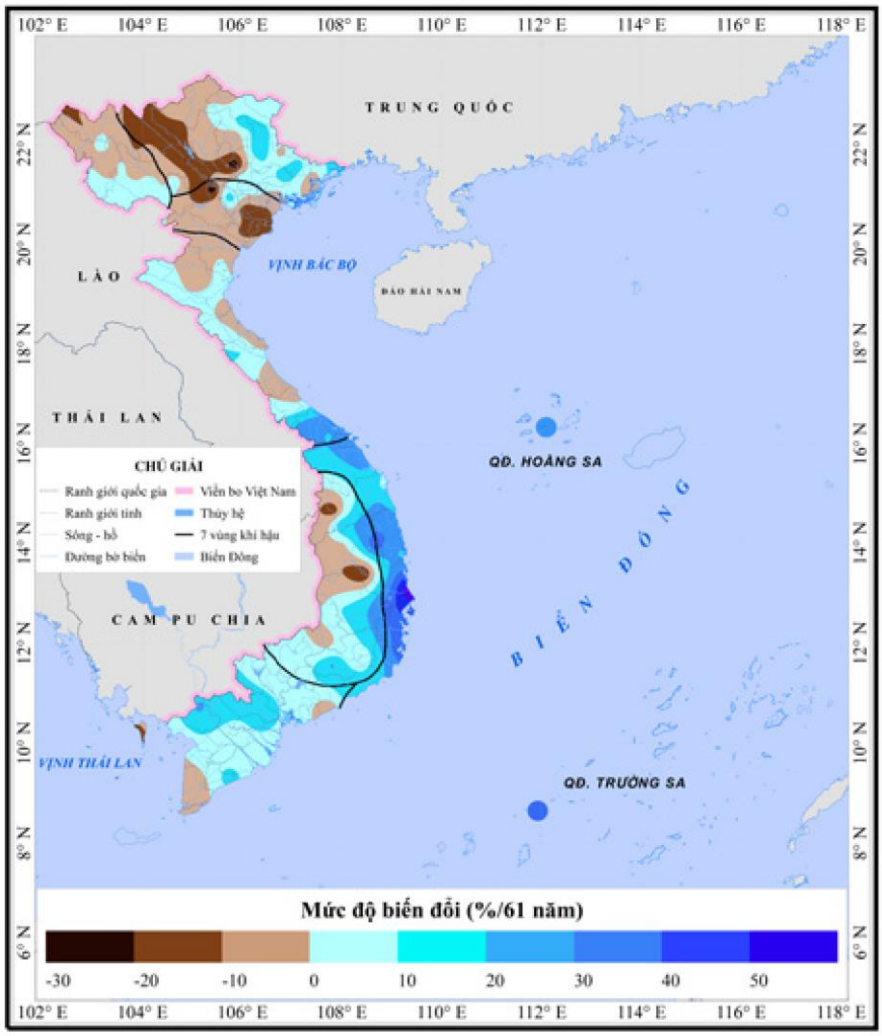
Bản đồ Ước tính thiệt hại kinh tế của 5 kịch bản cho 2030, 5 kịch bản cho trường hợp BĐKH mốc năm 2050.

Bước cuối cùng bao gồm các công việc phân tích, thống kê, so sánh kết quả đánh giá rủi ro lũ lụt bao gồm cả về xã hội và về kinh tế của thời gian hiện tại và 2 mốc thời gian của BĐKH (năm 2030 và năm 2050). Bước này sẽ đưa ra các kết quả so sánh, xác định được tác động của BĐKH tới rủi ro lũ lụt tại khu vực nghiên cứu.

2.7.2. Xác định các biến đổi về lượng mưa và mực nước theo các mốc thời gian 2030 và 2050 theo kịch bản biến đổi khí hậu

2.7.2.1. Những thay đổi về lượng mưa

Khu vực phía Nam của Việt Nam, lượng mưa hàng năm có xu hướng tăng từ 6 - 9% trong giai đoạn 1958 - 2018 (61 năm) [2], [3]. Tuy nhiên, từ Hình 2.35 có thể thấy Cần Thơ nằm trong khu vực có lượng mưa ít thay đổi theo thời kỳ, thậm chí lượng mưa tại đây có thể giảm nhẹ.



Hình 2.35. Thay đổi tổng lượng mưa hàng năm (%) từ 1958 tới 2018 ([2]

Dựa trên các Kịch bản từ nghiên cứu Kịch bản về Biến đổi khí hậu và Nước biển dâng cho Việt Nam do Bộ TN&MT lập năm 2016 và 2020[2], [3], tính trung bình của một số mô hình biến đổi khí hậu Bảng 2.30 cho thấy tỷ lệ phần trăm lượng mưa trong giai đoạn 2025 và 2050 đối với RCP 4.5 và RCP 8.5. Thời kỳ cơ sở của năm 2018 được sử dụng trong báo cáo của Bộ TNMT ban hành năm 2020 [3]

Kịch bản biến đổi khí hậu cho năm 2030 đã được nội suy theo biên năm 2025 với dữ liệu từ báo cáo năm 2016 và năm 2050 được tính toán từ kịch bản nêu trong báo cáo năm 2020 của Bộ TN&MT từ bảng này. Lượng mưa như được hiển thị cho các biên và

hai kịch bản RCP dự kiến sẽ tăng lên, tuy nhiên, sự gia tăng cường độ mưa trong các cơn mưa bão, chứ không phải là tổng mức tăng hàng năm, có tác động nhiều nhất đến biên mô hình. Mức biến động mưa trung bình năm của Cần Thơ được tính toán trong kịch bản biến đổi khí hậu 2020 của Bộ TN&MT được cung cấp như Bảng2.12

Bảng2.12. Mức biến đổi trung bình của lượng mưa năm % theo kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 theo Báo cáo BĐKH 2020, Bộ TN&MT.

Tỉnh, thành phố	Kịch bản RCP4.5		Kịch bản RCP8.5	
	2046-2065	2080-2099	2046-2065	2080-2099
Cần Thơ	16,3 (0,8 ÷ 28.5)	12,5 (1,4 ÷ 22,0)	20,3 (12,4 ÷ 31,2)	21,2 (13,0 ÷ 35,3)

Bảng 2.13. Tỷ lệ phần trăm gia tăng lượng mưa hàng năm được dự báo tại Cần Thơ

	Kịch bản RCP 4.5			**Kịch bản RCP 8.5**		
Biên	**2025 (Tăng trong thời điểm 2016-2035)**	**2030 (Nội suy)**	**2050 (Tăng trong thời điểm 2046 -2065)**	**2025 (Tăng trong thời điểm 2016 - 2035)**	**2030 (nội suy)**	**2050 (Tăng trong thời điểm 2046 - 2065)**
Tỉ lệ tăng lượng mưa (%) tại Cần Thơ	10,5%	11%	17%	10,7%	13,2%	22%

Mặc dù sự gia tăng lượng mưa hàng năm của Cần Thơ dự kiến sẽ không ảnh hưởng nhiều đến điều kiện biên, nhưng sự thay đổi của các hiện tượng mưa cực đoan có khả năng thay đổi điều kiện biên về ngập lụt ở Cần Thơ.

Hai thời kỳ mưa đã được xem xét, đó là: lượng mưa tăng lên trong 1 ngày và lượng mưa tăng lên trong 5 ngày. Các số liệu sau đây cho thấy về mặt không gian những thay đổi về cường độ bão trên khắp Việt Nam dự kiến ở đường chân trời năm 2050. Vị trí của Cần Thơ được đánh dấu trên mỗi bản đồ để tham khảo. Lượng mưa tối đa trong 1 ngày vào năm 2050 đối với RCP4.5 và RCP8.5 được thể hiện trong Hình 2.35. Trong

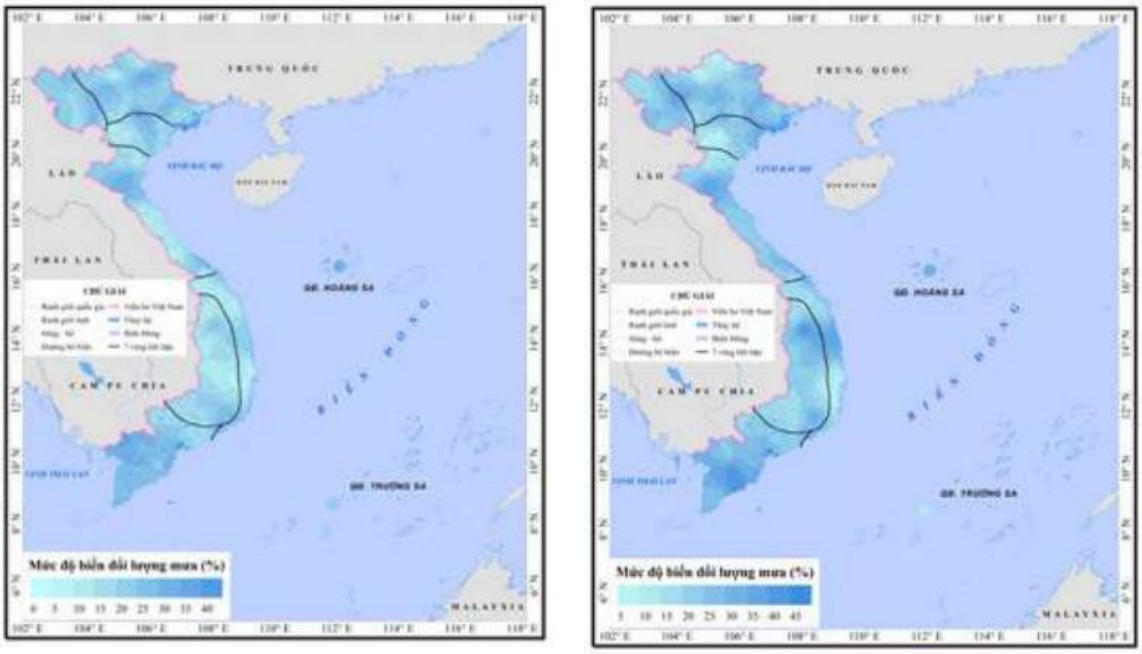
khi lượng mưa tối đa trong 5 ngày vào năm 2050 đối với RCP4.5 và RCP8.5 được thể hiện trong Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển đang cho Việt Nam của Bộ TN&MT theo hình 2.35Các dữ liệu này được xem xét cho các kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5 như có thể thấy trong bảng 2.14.

Mức tăng trích xuất cho khu vực Cần Thơ từ Báo cáo của Bộ TN&MT Bản đồ cường độ mưa và dựa trên biên cơ sở năm 2015. Đối với cả hai mức tăng lượng mưa bão trong 1 ngày đối với RCP 4.5 dự kiến là khoảng 50% trong khi đối với RCP 8.5, mức tăng này lên 60% vào năm 2050. Tỷ lệ phần trăm tăng tương tự được dự kiến đối với lượng mưa bão 5 ngày cho biên năm 2050. Mức tăng có thể được nội suy cho các biên cơ sở 2025 và 2030.

Bảng 2.14. Độ tăng tỷ lệ lượng mưa cực trị tại thành phố Cần Thơ năm 2050

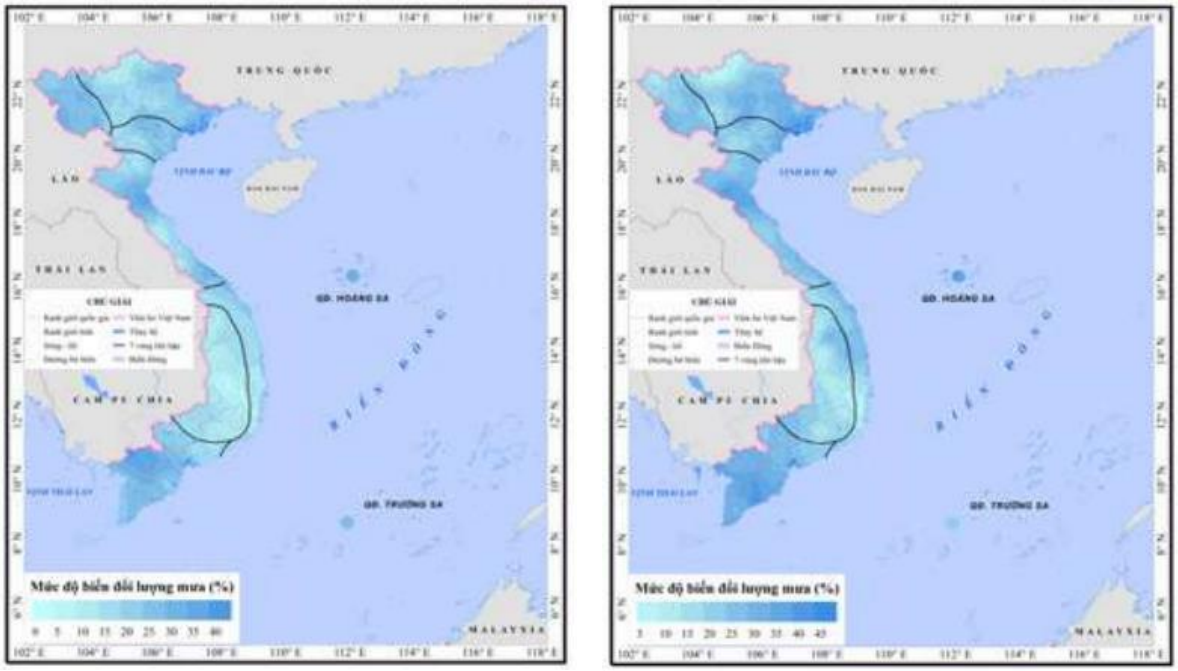
Biên 2050	Kịch bản RCP 4.5	Kịch bản RCP 8.5
Lượng mưa 1 ngày tăng (%) tại Cần Thơ	50%	60%
Lượng mưa 5 ngày tăng (%) tại Cần Thơ	50%	50%

Nguồn: Kịch bản biến đổi khí hậu - Bộ TN&MT 20, Biên cơ sở 2018.



Nguồn: Kịch bản biến đổi khí hậu 2020- Bộ TN&MT[2]

Hình 2.36. Những thay đổi về lượng mưa tối đa trung bình trong 1 ngày, 2050 Horizon, RCP4.5 (trái) và RCP8.5 (phải)



Nguồn: Kịch bản biến đổi khí hậu 2020 - Bộ TN&MT[2]

Hình 2.37. Những thay đổi về lượng mưa tối đa trung bình trong 5 ngày, 2050 Horizon, RCP 4,5 (trái) và RCP8,5 (phải)

Đối với biên năm 2025 dự kiến có thể sẽ có tỉ lệ gia tăng nhỏ, trong phạm vi biến số thông thường. Đối với sự kiện năm 2030, lượng mưa 1 ngày và 5 ngày có thể tăng khoảng 28.5% (RCP 4.5) và 31.2% (RCP 8.5). Điều này sẽ ảnh hưởng đến biên lập mô hình trong 10 năm. Đến năm 2050, sự gia tăng lượng mưa trong 5 ngày được dự báo là 50% đối với cả RCP 4,5 và 8,5 như có thể thấy trong Bảng 2.15.

Bảng cho thấy phần trăm thay đổi về lượng mưa trong 1 ngày đối với các biên lập mô hình. Các cơn bão trong 1 ngày có tầm quan trọng đối với việc lập mô hình thoát nước mưa do bão 1 ngày bao gồm toàn bộ chu kỳ thủy triều và hầu hết ngập lụt được tạo ra bởi lượng mưa trùng hợp và triều cường tại lõi đô thị thành phố Cần Thơ. Khi triều xuống thì tình trạng ngập lụt hết.

Bảng 2.15. Tỷ lệ tăng mưa cực đại trong 1 ngày tối đa theo kịch bản ở Cần Thơ

	2025	**2030**	**2050**
Lượng mưa tăng (%) _RCP8,5	10,0%	15,0%	31.2%
Lượng mưa tăng (%) _RCP4,5	8,3%	11,0%	28.5%

Thời kỳ cơ sở: 2018

Các yếu tố biến đổi khí hậu khác như sự gia tăng nhiệt độ và thay đổi độ ẩm tương đối dự kiến sẽ không ảnh hưởng đến biên lập mô hình.

2.7.2.2 Chế độ dòng chảy và các mực nước theo các mốc thời gian 2030 và 2050 theo kịch bản biến đổi khí hậu

Mực nước trong tương lai được xác định bằng phương pháp hồi quy dựa trên dữ liệu thống kê trong mục 2.14 và thể hiện các kết quả như trong bảng 2.16.

Bảng 2.16. Mức tối đa dự kiến hàng năm dựa trên hồi quy tuyến tính

Tên trạm	**Dự kiến mức nước tối đa hàng năm trong các năm cơ sở)**			
	2020	**2025**	**2030**	**2050**
Angkor Borey	3,45	3,16	2,87	1,73
Long xuyên	2,41	2,40	2,39	2,34
Cần Thơ	2,14	2,21	2,27	2,54
Đại Ngãi	2,09	2,13	2,17	2,33

Từ bảng 2.15 cho thấy các trạm đo mực nước tại khu vực thượng nguồn tại Angkor Borey và Long Xuyên, nơi bị ảnh hưởng nhiều hơn bởi chế độ lũ hàng năm ở sông Mê kông, được dự kiến là sẽ giảm từ năm 2020 đến năm 2050 với mức tối đa hàng năm khoảng 1,7 m tại Angkor Khoan và 0,08 m tại Long Xuyên). Mức giảm tối đa hàng năm ở thượng nguồn theo thời gian được thể hiện rõ hơn tại trạm cấp Angkor Borey (kỷ lục 1995 đến 2015) ở Campuchia, cách Long Xuyên 75 km về phía thượng lưu.

Ngược lại,các trạm tại Cần Thơ và Đại Ngải gần biển hơn và là các trạm chi phối thủy triều và mực nước biển. Điều này cho thấy mực nước sông tối đa được dự báo sẽ tăng lên do ảnh hưởng của thủy triều (Cần Thơ dự kiến tăng 0,3 m từ năm 2020 đến năm 2050).

Mặc dù dự báo phân tích hồi quy được trình bày ở trên cho thấy các xu hướng hiện tại ở mức tối đa, nhưng điều này không nhất thiết có nghĩa là các xu hướng sẽ tiếp tục trong tương lai và cần phải xem xét một cách thận trọng, đặc biệt là tại Angkor Borey, nơi dường như không có khả năng xảy ra xu hướng tương tự có thể tiếp tục từ năm 2015 đến năm 2050.

Dựa trên phân tích dữ liệu lịch sử, các điểm sau đây đã xuất hiện liên quan đến các điều kiện biên:

- Chế độ lũ lụt theo mùa trên hệ thống sông Mê Kông tại Cần Thơ không phải là một thành phần có ảnh hưởng lớn của mực nước sông gần Cần Thơ, thành phần chính tác động đến mực nước ở Cần Thơ là ảnh hưởng của mực nước biển, đặc biệt là thành phần thủy triều;

- Ước tính về những thay đổi trong tương lai của mực nước lũ trong hệ thống sông Mê Kông do những thay đổi trong quản lý nước như bổ sung các công trình thủy điện được cho là không làm tăng mực nước lũ tối đa. Tuy nhiên, chế độ lũ theo mùa sẽ bị thay đổi do lượng nước gia tăng lưu lượng và mực nước vào đầu mùa mưa (tháng 5 và tháng 6) đồng thời giảm đỉnh lũ trong thời kỳ đỉnh lũ vào tháng 9;

- Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến dòng chảy của toàn bộ hệ thống sông Mê Kông là tồn tại nhưng rất khó xác minh chi tiết đặc biệt là đối với các tác động từ các nước thượng nguồn. Tuy nhiên, nhìn chung ảnh hưởng của BĐKH tới dòng chảy không có khả năng làm tăng đáng kể các mực nước của sông Hậu tại Cần Thơ.

Bảng 2.17. Các biên mực nước tối đa (m) tại Cần Thơ và Long Xuyên

Xác suất:	**1%**	**2%**	**5%**	**10%**	**20%**	**50%**
2025 - RCP4.5/RCP8.5 (giống nhau)						
Cần Thơ	2,63	2,33	2,01	1,92	1,84	1,73
Long Xuyên	3,27	3,11	2,91	2,75	2,61	2,40
2030 - RCP4.5/RCP8.5 (giống nhau)						
Cần Thơ	2,64	2,34	2,03	1,93	1,85	1,74
Long Xuyên	3,28	3,12	2,91	2,76	2,62	2,41
2050 - RCP4.5						
Cần Thơ	2,74	2,44	2,13	2,04	1,95	1,84
Long Xuyên	3,31	3,15	2,95	2,81	2,68	2,48
2050 - RCP8.5						
Cần Thơ	2,74	2,44	2,13	2,04	1,95	1,84
Long Xuyên	3,31	3,15	2,95	2,81	2,68	2,48

Lưu ý: Mặc dù kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 năm 2050 có mực nước biển dâng khác nhau nhưng kết quả ở Long Xuyên và Cần Thơ là giống nhau.

2.8. Phương pháp kế thừa.

Khi xây dựng khung đánh giá rủi ro ngập lụt cho lõi đô thị thành phố Cần Thơ, việc xác định khu vực ngập lụt, các đặc trưng của nó là việc hết sức quan trọng. Tuy nhiên, đối với đặc điểm đô thị của Cần Thơ, các phương pháp như viễn thám hoặc xây dựng bản đồ từ điều tra thực địa đều không đảm bảo kết quả đầy đủ hoặc không khả thi. Phương pháp mô hình hóa bằng mô hình thủy lực cho thấy sự vượt trội về mọi mặt từ

dữ liệu kết quả và khả năng tính toán cho các diễn biến tương lai đối với các kịch bản BĐKH. Trong luận án, nghiên cứu sinh đã kế thừa các kết quả xây dựng mô hình thủy lực từ dự án xây dựng Hệ thống quản lý rủi ro ngập lụt (FRMIS) thuộc Dự án phát triển thành phố Cần Thơ và tăng cường năng lực thích ứng của đô thị. Mô hình thủy lực được xây dựng trên hệ thống MIKE Operation và các kết quả được quy cập rộng rãi trên các API của dự án.

2.9. Phương pháp phân tích không gian trên GIS.

Phương pháp phân tích không gian được áp dụng rộng rãi trong các nghiên cứu đánh giá rủi ro thiên tai, đặc biệt là ngập lụt. Phương pháp phân tích không gian trong GIS được áp dụng trong luận án bao gồm nhiều hạng mục được trình bày dưới đây.

- Thu thập và xử lý dữ liệu không gian: Các dữ liệu được xử lý bao gồm các dữ liệu về mô hình số độ cao, mạng lưới thủy văn, hệ thống thoát nước, các dữ liệu sử dụng đất phục vụ cho việc mô hình hóa ngập lụt.
- Xây dựng các chỉ tiêu về tính dễ bị tổn thương bao gồm các chỉ tiêu về độ nhạy và khả năng chống chịu.
- Chồng xếp các lớp dữ liệu và thực hiện các phép tính toán không gian phục vụ cho kết hợp các yếu tố của rủi ro ngập lụt.
- Phân tích, thống kê không gian cho các kết quả đánh giá rủi ro ngập lụt về kinh tế - xã hội.
- Lập bản đồ ngập, các yếu tố của rủi ro kinh tế - xã hội.

2.10. Phương pháp điều tra - thống kê xã hội học

Phương pháp điều tra - thống kê xã hội học được áp dụng rộng rãi trong đánh giá rủi ro. Phương pháp này giúp thu thập, điều tra dữ liệu về hiện trạng ngập và các tác động về kinh tế - xã hội của ngập lụt. Trong luận án, phương pháp này được áp dụng:

- Điều tra hiện trạng ngập lụt.
- Điều tra khảo sát tác động kinh tế - xã hội của ngập lụt tới các đối tượng trong khu vực nghiên cứu.
- Thống kê, xây dựng tương quan giữa thiệt hại kinh tế và độ sâu ngập trong xây dựng các hàm thiệt hại.

2.11. Phương pháp phân tích đa chỉ tiêu dựa trên AHP và so sánh cặp đôi.

Phương pháp AHP (Analytic Hierarchy Process) do Thomas L. Saaty phát triển vào những năm 1970 là một công cụ hỗ trợ ra quyết định đa tiêu chí. AHP giúp phân tích và xác định trọng số của các chỉ tiêu trong một hệ thống phức tạp bằng cách sử dụng so sánh cặp đôi (pairwise comparison). So sánh cặp đôi là quá trình đánh giá tầm quan trọng tương đối giữa hai chỉ tiêu tại một thời điểm, từ đó xây dựng ma trận so sánh và tính toán trọng số.

Trong nghiên cứu này, AHP được sử dụng để xác định trọng số cho hai nhóm chỉ tiêu: nhóm chỉ số nhạy cảm gồm 5 chỉ tiêu và nhóm nặng lực chống chịu của tính dễ bị tổn thương gồm 9 chỉ tiêu. Quy trình thực hiện bao gồm các bước chính sau:

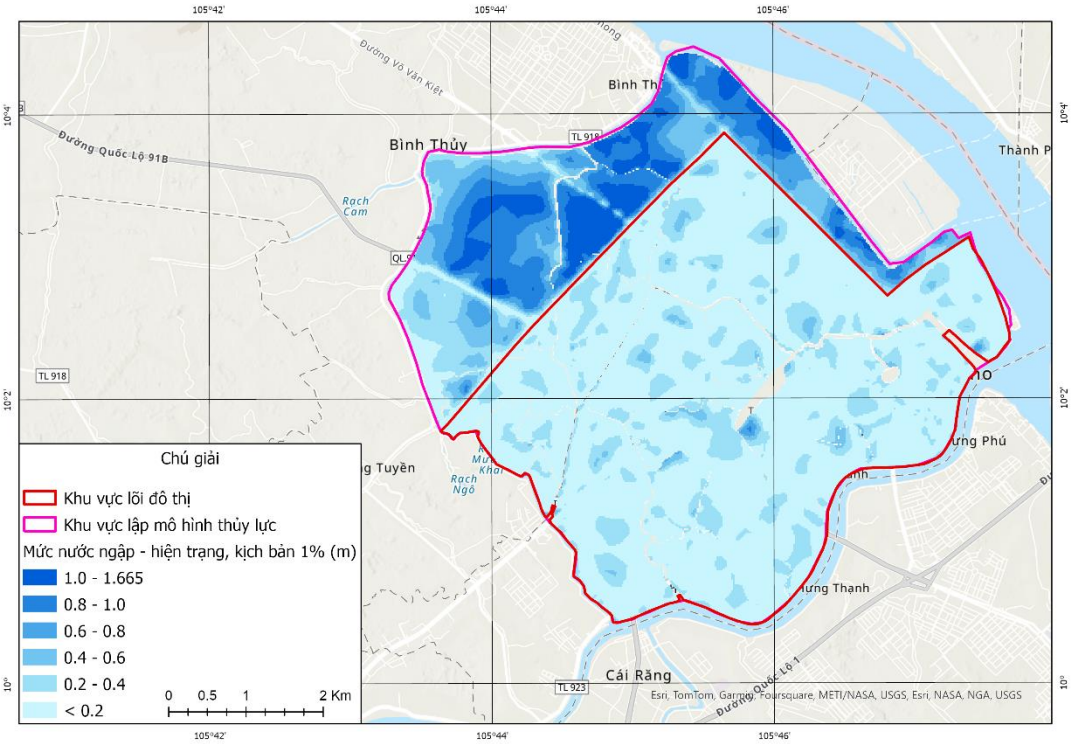
- Xác định hệ thống phân cấp (hierarchy) của các chỉ tiêu.
- Thực hiện so sánh cặp đôi giữa các chỉ tiêu.
- Xây dựng ma trận so sánh cặp đôi.
- Tính toán trọng số và kiểm tra tính nhất quán của các đánh giá.

Các bước thực hiện được xử lý với phần mềm PriEST với sự góp ý của các chuyên gia về đánh giá rủi ro, khi tượng thủy văn trong dự án FRMIS.

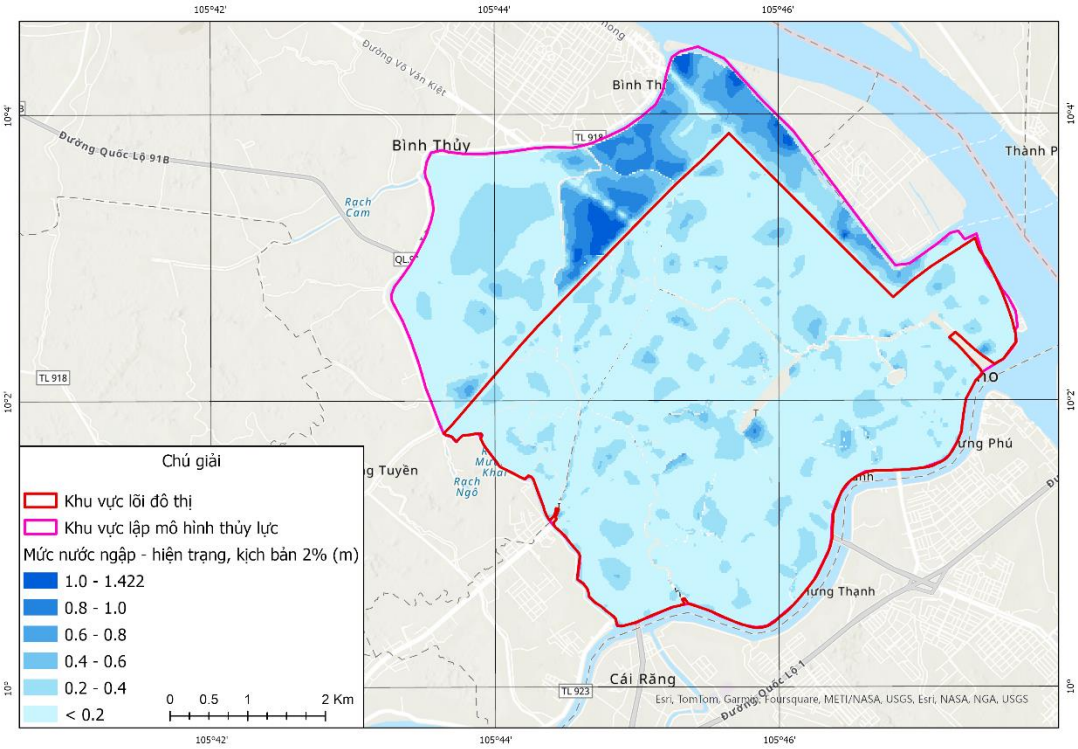
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thành lập bản đồ tần suất ngập theo hiện trạng

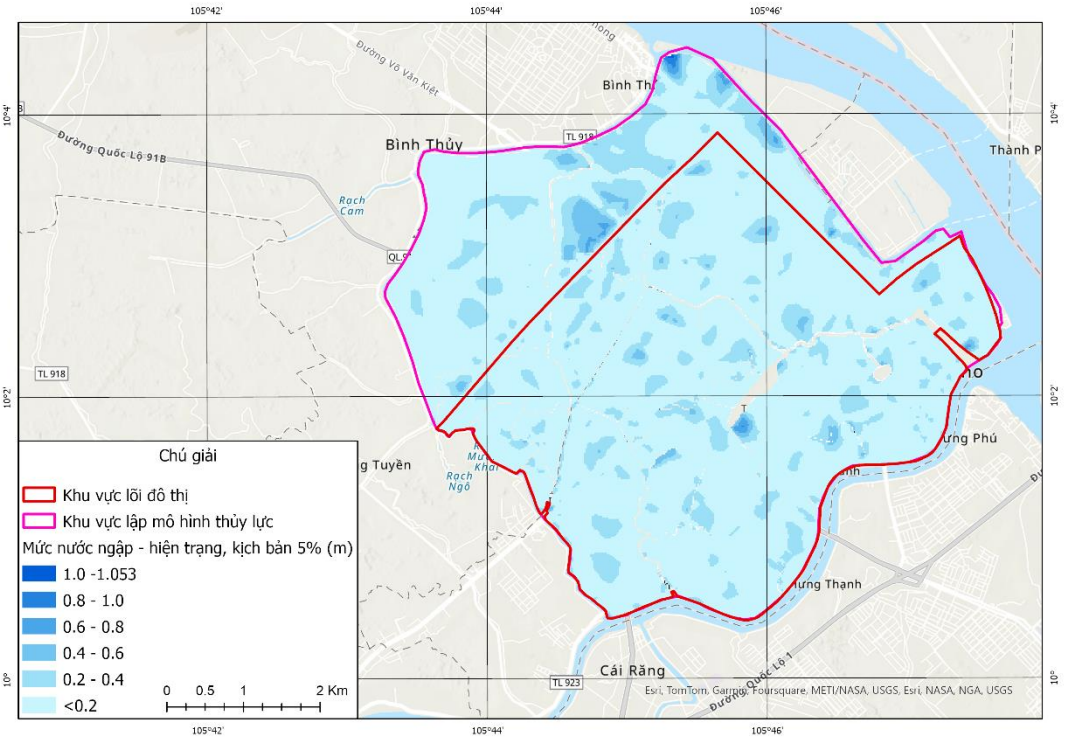
Kết quả của việc mô hình hóa cho thấy khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng lớn của ngập lụt đô thị. Các bản đồ ngập được xây dựng dựa trên các kịch bản (20%, 10%, 5%, 2%, 1%) tương ứng mức nước ngập xảy ra với các điều kiện lặp lại từ 5 năm, 10 năm, 20 năm, 50 năm và 100 năm. Theo đó các điều kiện về lượng mưa, mức triều được tổ hợp theo các thống kê quá khứ để xác định các điều kiện biên của mô hình.



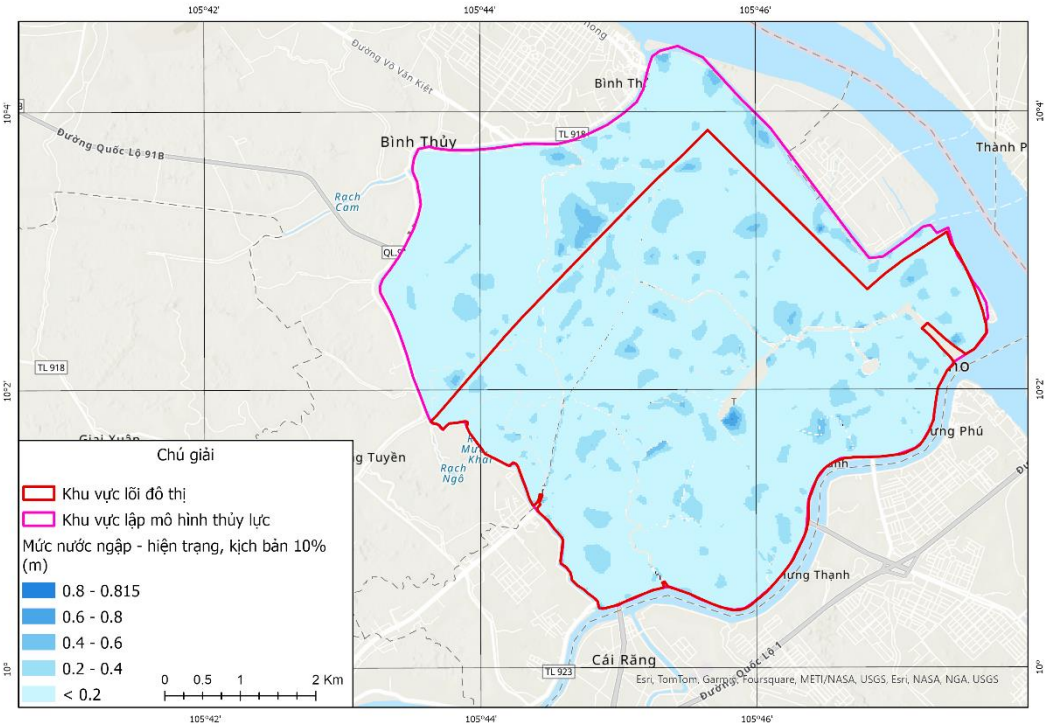
Hình 3.1. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 1%, ở thời gian lặp lại là 100 năm



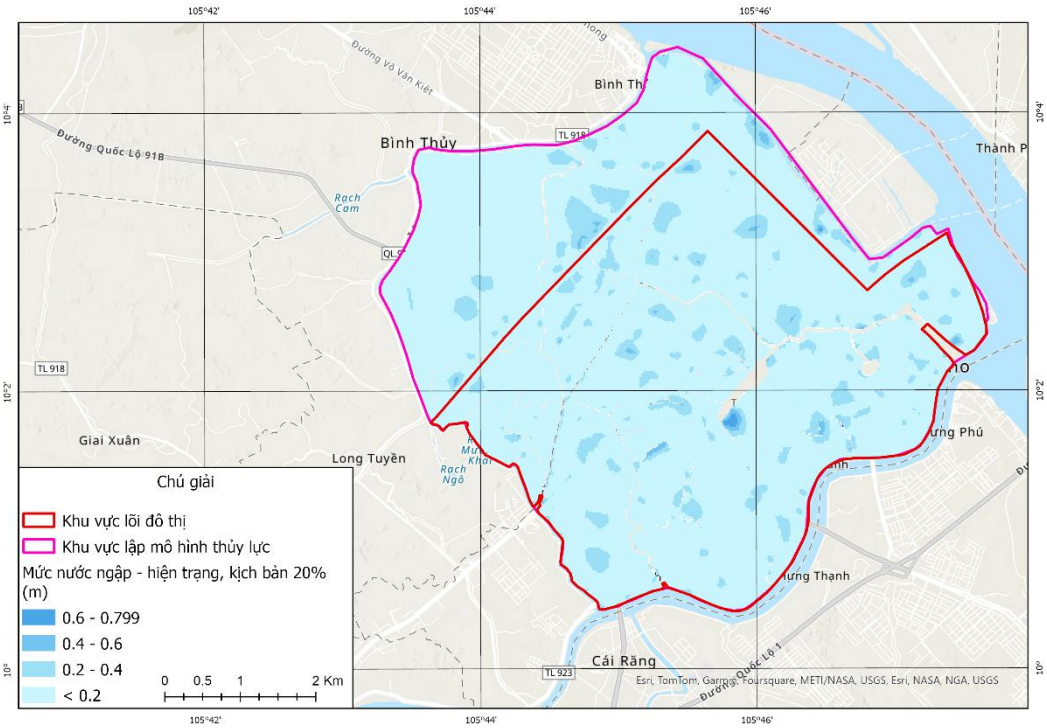
Hình 3.2. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 2% ở thời gian lặp lại là 50 năm



Hình 3.3. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 5% ở thời gian lặp lại là 20 năm



Hình 3.4. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 10% ở thời gian lặp lại là 10 năm



Hình 3.5. Bản đồ ngập lụt theo kịch bản tần suất 20% ở thời gian lặp lại là 5 năm

Từ các kết quả trên cho thấy, lõi đô thị Cần Thơ có khả năng bị ngập nhẹ với các

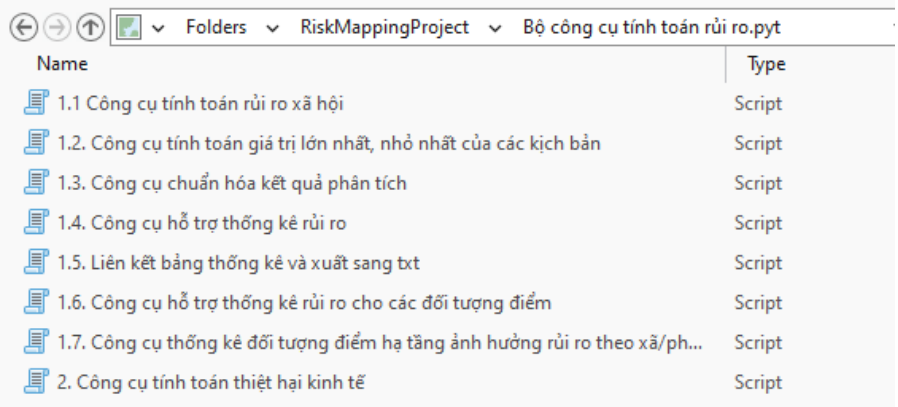
trận mưa có mức độ lặp lại là 5 năm, tăng dần theo các thời đoạn khắc nghiệt hơn. Hệ thống cống ngăn triều đã phát huy tác dụng khá tốt trong việc giảm nhẹ khả năng ngập lụt của khu vực nội đô. Tuy nhiên, khi có mưa xảy ra đồng thời với thời điểm triều cao, khả năng ngập lụt vẫn có thể xảy ra trên diện rộng. Khu vực phía Bắc và Đông Bắc của khu vực nghiên cứu có độ cao tương đối lớn so với khu vực phía Nam và phía Đông, tuy nhiên, do nằm ngoài khu vực được bảo vệ bởi hệ thống chống ngập của thành phố nên vẫn có độ ngập sâu hơn.

3.2. Đánh giá rủi ro do ngập lụt tới kinh tế - xã hội lõi đô thị Cần Thơ

3.2.1. Thiết lập bộ công cụ

Các chức năng của bộ công cụ bao gồm một loạt các phân tích, tự động hóa các thao tác phân tích không gian để đánh giá rủi ro về xã hôi và rủi ro về kinh tế. Bộ công cụ được nghiên cứu sinh lập trình trên ngôn ngữ Python sử dụng các thư viện hàm dựng sẵn. Trong đó, thư viện phân tích không gian được cung cấp bởi ESRI là Arcpy; các thư viện xử lý số học và logic trong Python như Numpy, SA…

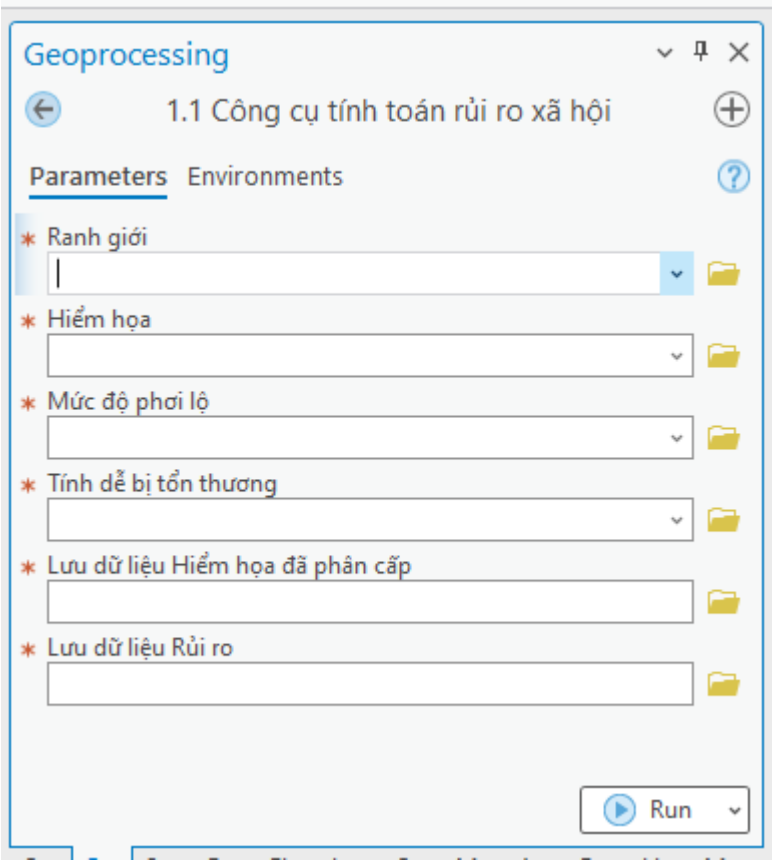
Các công cụ bao gồm 2 nhóm công cụ trong đó 7 công cụ hỗ trợ tính toán rủi ro về mặt xã hội và 1 công cụ cho tính toán thiệt hại về mặt kinh tế như hình 3.6.



Hình 3.6 . Bộ công cụ tính toán rủi ro.

Công cụ 1.1. Công cụ tính toán rủi ro xã hội.

Giao diện của công cụ này được trình bày tại hình 3.7



Hình 3.7: Giao diện công cụ tính toán rủi ro xã hội

- Mục đích: tính toán rủi ro xã hội
- Đầu vào:

+ Ranh giới khu vực nghiên cứu ở dạng vector.

+ Dữ liệu hiểm họa ở dạng raster.

+ Dữ liệu mức độ phơi lộ ở dạng raster

+ Dữ liệu tính dễ bị tổn thương ở dạng raster.

- Xử lý: Các dữ liệu đầu vào được kết hợp bằng hàm Raster Calculator và được cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu. Sau đó các dữ liệu đầu ra được lưu lại ở định dạng raster.

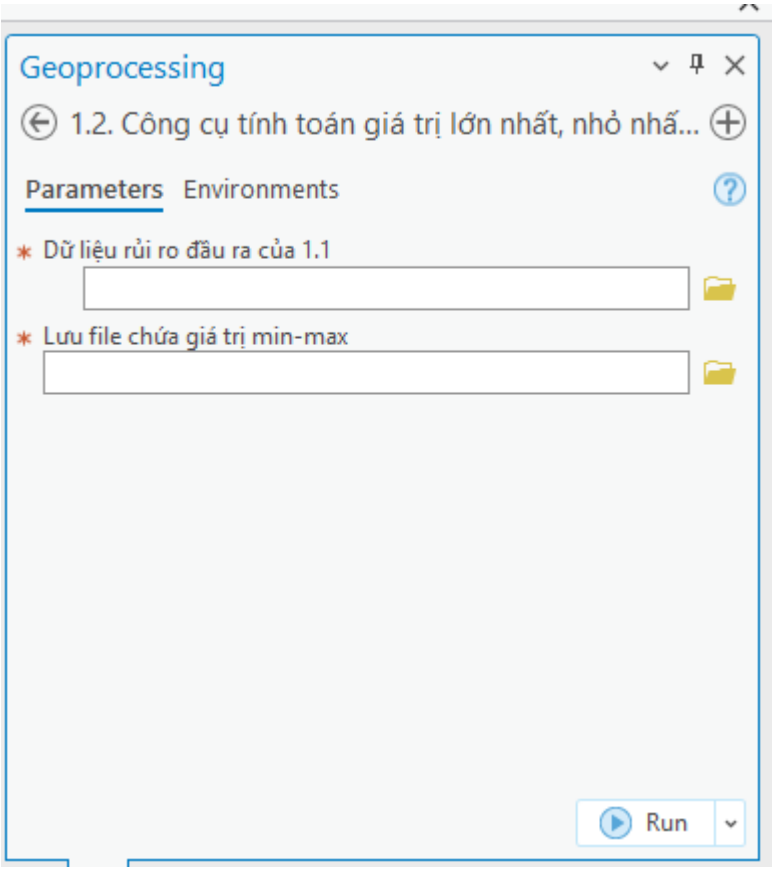
- Đầu ra:

+ Dữ liệu hiểm họa đã phân loại: là dữ liệu hiểm họa được phân loại theo 4 cấp độ theo cách phân cấp tại Hình 2.29 của chương 2.

+ Dữ liệu rủi ro xã hội được lưu trữ dưới dang raster chưa "tái chuẩn hóa và phân loại".

Công cụ 1.2. Công cụ tính toán giá trị lớn nhất và nhỏ nhất

- Giao diện của công cụ này được trình bày trong hình 3.8.



Hình 3.8. Công cụ tính toán giá trị lớn nhất, nhỏ nhất

- Mục đích: Khi tái chuẩn hóa các dữ liệu rủi ro của nhiều kịch bản điều kiện biên đầu vào khác nhau thì cần có các mốc chuẩn để đảm bảo việc tái chuẩn hóa được chính xác, Các mốc này bao gồm số liệu rủi ro cao nhất và thấp nhất trong toàn bộ các kịch bản rủi ro được đưa vào chuẩn hóa.

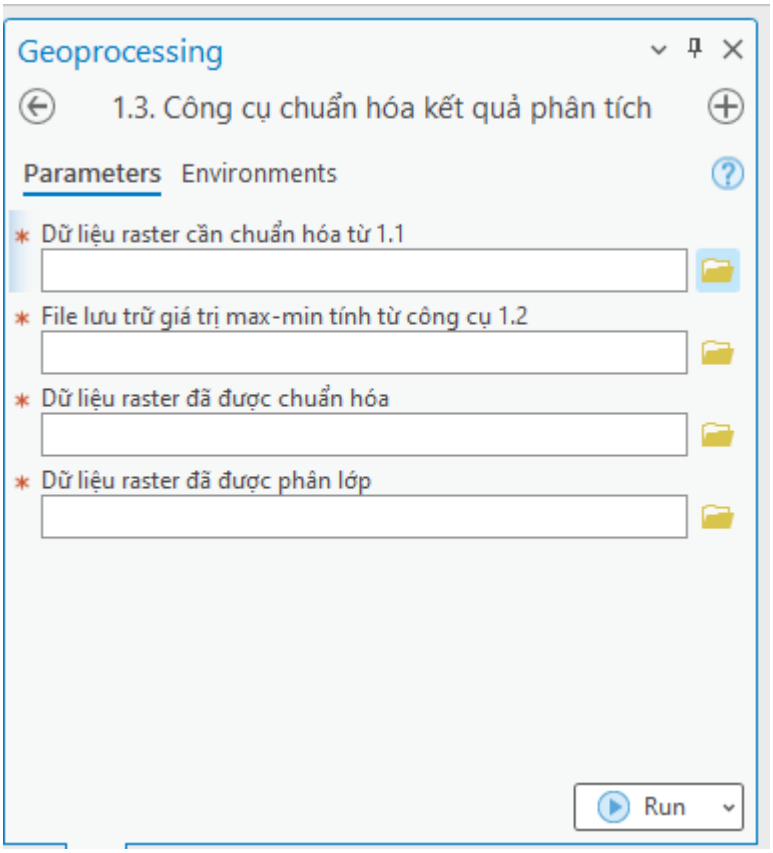
- Đầu vào: Đầu vào của công cụ này là một loạt các dữ liệu rủi ro xã hội của các kịch bản ngập khác nhau.

- Xử lý: Việc tìm giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của một tập hợp dữ liệu được xử lý bởi hàm thống kê không gian đối với các lớp dữ liệu.

- Đầu ra: đầu ra của công cụ này là một file bao gồm 2 giá trị rủi ro lớn nhất và nhỏ nhất của các kịch bản ngập.

Công cụ 1.3. Công cụ chuẩn hóa kết quả phân tích rủi ro

- Giao diện công cụ này được trình bày trong hình 3.9:



Hình 3.9: Công cụ 1.3

- Mục đích: Công cụ này được xây dựng nhằm "tái chuẩn hóa" các dữ liệu rủi ro xã hội được tạo ra từ công cụ 1.1. Theo đó, các dữ liệu này sẽ được chuẩn hóa về mức từ 0 đến 1. Điều này phục vụ cho việc phân cấp rủi ro xã hội đối với từng kịch bản ngập.

- Đầu vào:

+ Dữ liệu raster cần chuẩn hóa chính là dữ liệu rủi ro xã hội của các kịch bản ngập tạo ra từ công cụ 1.1. Dữ liệu này cũng có thể là các dữ liệu cần chuẩn hóa khác.

+ File lưu trữ giá trị max - min từ công cụ 1.2.

- Xử lý: Chuẩn hóa các dữ liệu đầu vào bằng hàm toán học theo công thức 2.5.

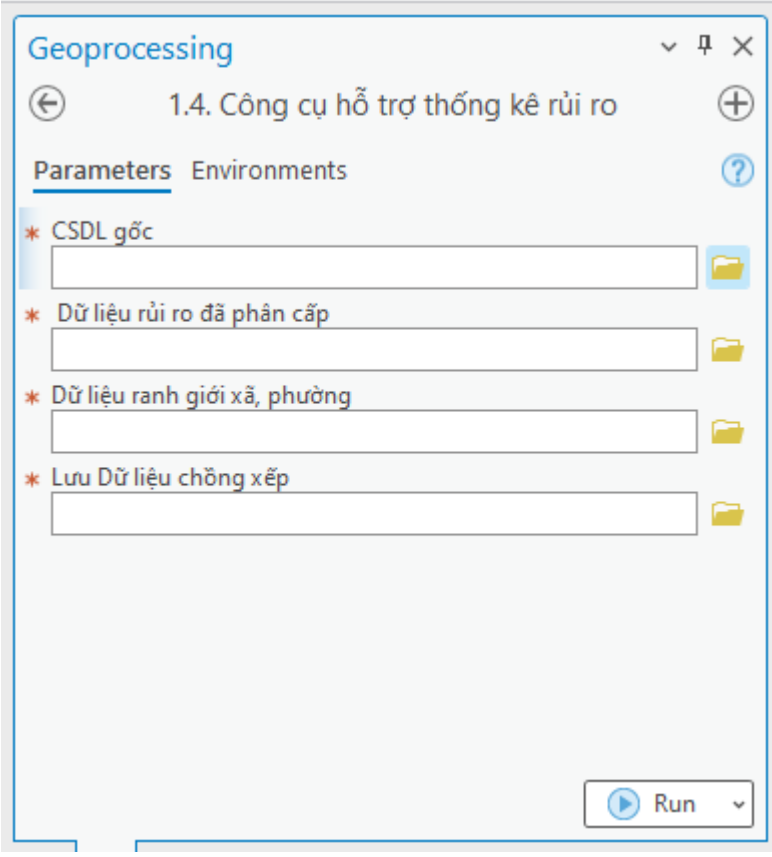
- Đầu ra:

+ Dữ liệu rủi ro xã hội đã được chuẩn hóa.

+ Dũ liệu rủi ro xã hội đã được chuẩn hóa và phân lớp.

Công cụ 1.4. Công cụ hỗ trợ thống kê rủi ro xã hội

- Giao diện của công cụ 1.4 như hình 3.10:



Hình 3.10. Công cụ 1.4

- Mục đích: Hỗ trợ thống kê rủi ro theo ranh giới hành chính, có thể là xã, phường hoặc quận, huyện hoặc phân vùng tùy chọn.

- Đầu vào:

+ Cơ sở dữ liệu làm việc để lưu trữ các dữ liệu

+ Dữ liệu rủi ro đã phân cấp là kết quả của công cụ 1.3.

+ Dữ liệu ranh giới xã phường hoặc quận, huyện nếu cần thiết.

- Xử lý:

+ Chuyển đổi dữ liệu rủi ro đã phân cấp sang dạng vector bằng công cụ Raster to Polygon

+ Chống xếp dữ liệu vector rủi ro đã phân cấp và dữ liệu ranh giới bằng công cụ Identity

+ Thực hiện Summary trên các trường dữ liệu để tạo ra các bảng thống kê theo cấp độ rủi ro và ranh giới cần thống kê.

- Đầu ra:

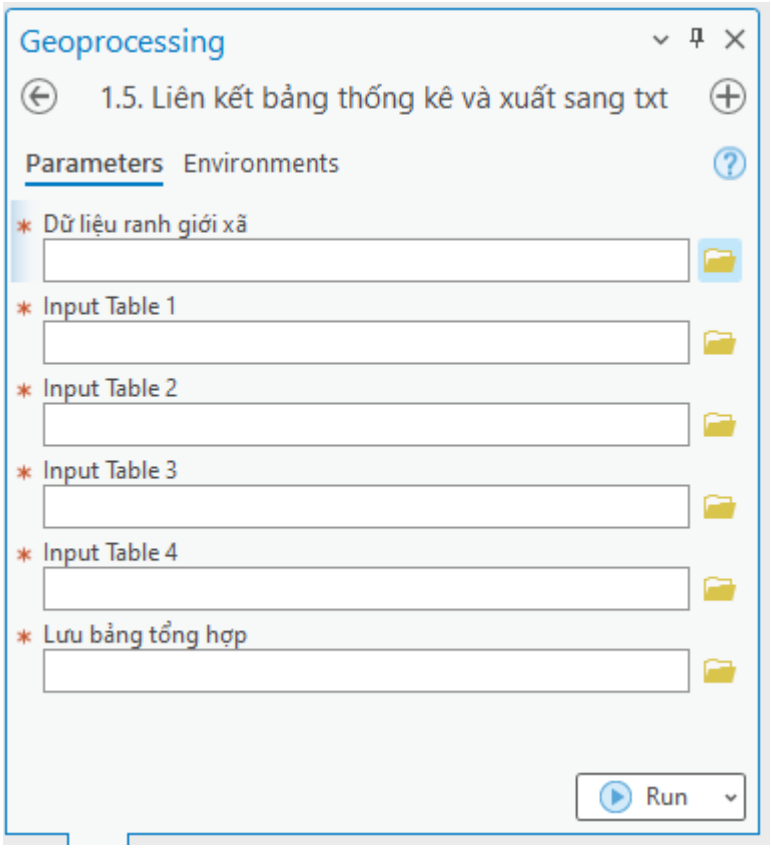
+ Dữ liệu chồng xếp là một file vector được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu đang làm

việc.

+ Các bảng thống kê rủi ro theo các cấp độ rủi ro và ranh giới cần tính toán.

Công cụ 1.5. Liên kết bảng thống kê và xuất sang txt.

- Giao diện: Công cụ này có giao diện như trong Hình 3.11.



Hình 3.11. Công cụ 1.5.

- Mục đích: Công cụ này được dùng để gộp các bảng thống kê từ dữ liệu chồng xếp ở công cụ 1.4 và đưa ra thống kê rủi ro tổng hợp cho theo các đơn vị hành chính.

- Đầu vào:

+ Dữ liệu ranh giới xã, có thể sử dụng các loại ranh giới khác nếu có yêu cầu, dữ liệu phải ở dạng Vector polygon.

+ Các bảng thống kê 1-2-3-4 tương ứng với các cấp độ rủi ro được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu tại bước 1.4.

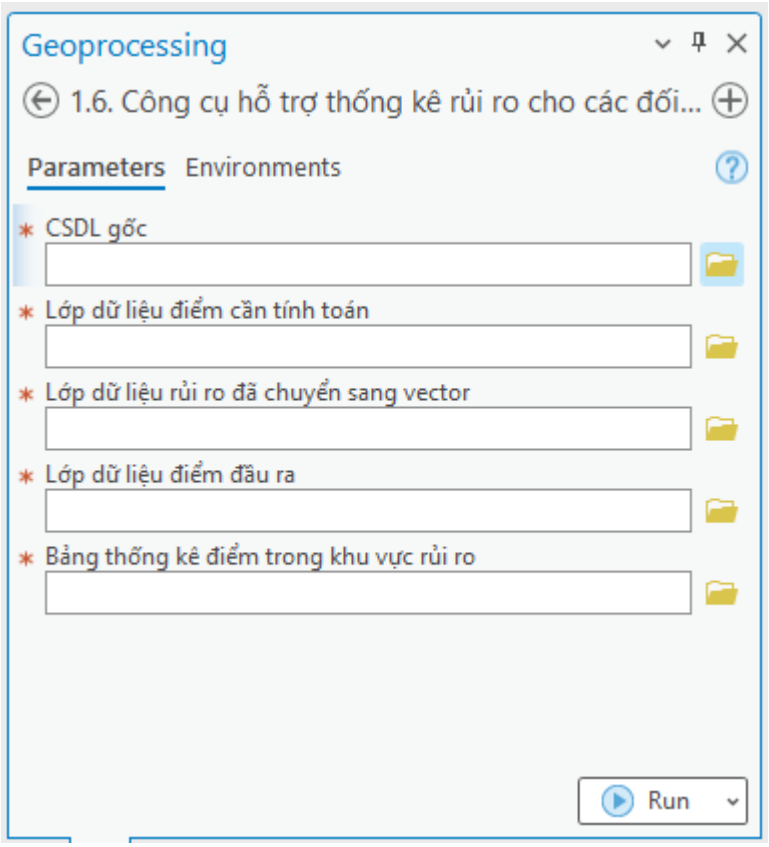
- Xử lý: các bảng thống kê được liên kết với nhau thông qua mã hành chính, liên kết này được thực hiện thông qua chức năng Join trong bảng thuộc tính của dữ liệu vector.

- Đầu ra: Đầu ra của công cụ này là một bảng tổng hợp được xuất ra theo định sang txt, dữ liệu này có thể được xử lý và phân tích sâu hơn trên các phần mềm phân tích dữ

liệu chuyên dụng.

Công cụ 1.6: Công cụ hỗ trợ thống kê cho các đối tượng dạng điểm chịu rủi ro xã hội

- Giao diện: Giao diện của công cụ 1.6 được trình bày như hình 3.12.



Hình 3.12. Công cụ 1.6

- Mục đích: công cụ này sử dụng để thống kê các đối tượng dạng điểm chịu rủi ro như các điểm trường học, bệnh viện hoặc các cơ sở xã hội, cơ quan chính quyền…

- Đầu vào:

+ Cơ sở dữ liệu gốc: là nơi lưu trữ các kết quả xử lý.

+ Lớp điểm cần thống kê: là lớp các đối tượng chịu rủi ro được thể hiện dưới dạng điểm.

- Xử lý: Dữ liệu dạng điểm được chồng xếp với lớp dữ liệu rủi ro dạng vector là kết quả của công cụ 1.4.

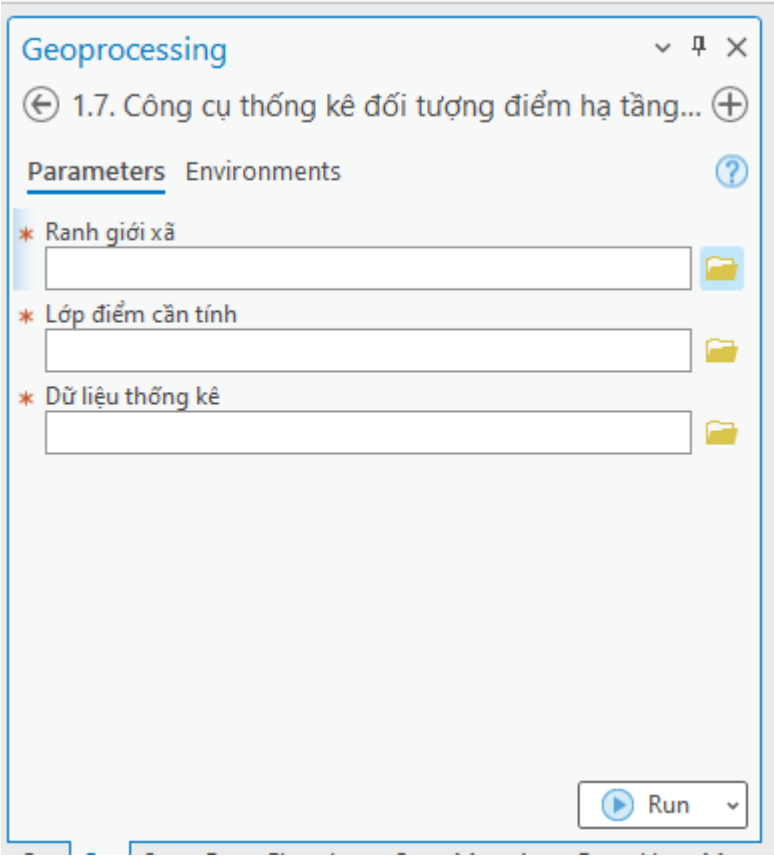
- Đầu ra:

+ Lớp dữ liệu điểm đã được chồng xếp.

+ Bảng thống kê sơ bộ các điểm đối tượng nằm trong vùng rủi ro.

Công cụ 1.7. Công cụ thống kê đối tượng điểm hạ tầng theo ranh giới hành chính

- Giao diện: Giao diện của công cụ được trình bày tại hình 3.13.



Hình 3.13. Công cụ 1.7

- Mục đích: hỗ trợ thống kê các điểm đối tượng chịu rủi ro theo đơn vị hành chính.

- Đầu vào:

+ Ranh giới hành chính.

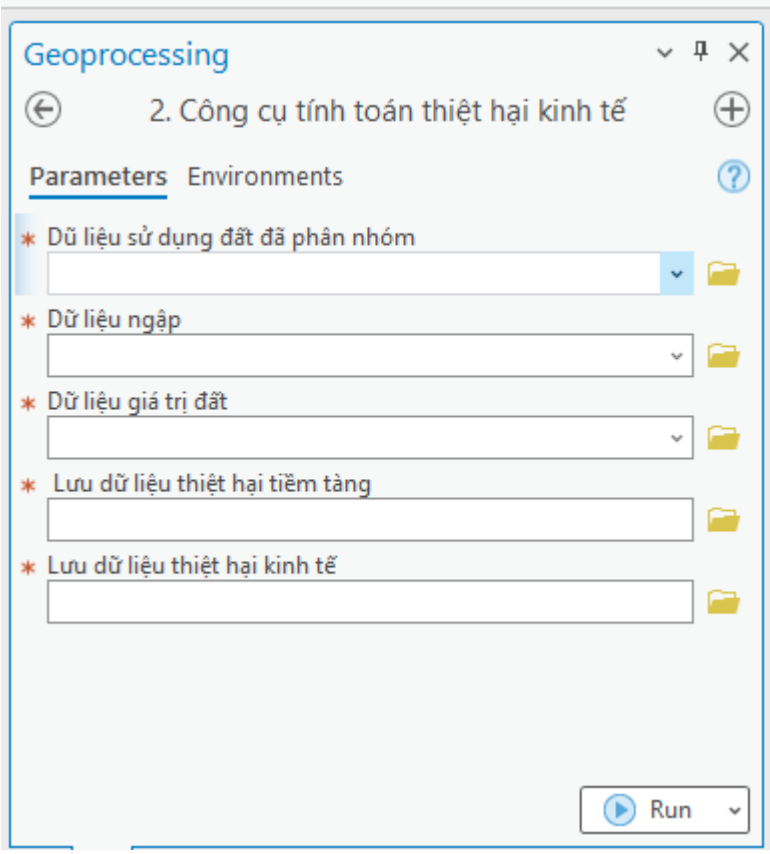
+ Lớp điểm cần tính: là sản phẩm của công cụ 1.6.

- Xử lý: 2 lớp dữ liệu đầu vào được chồng xếp theo công cụ Identity.

- Đầu ra: là bảng dữ liệu thống kê được lưu sang file txt.

Công cụ 2. Tính toán thiệt hại kinh tế

- Giao diện: giao diện cụ thể của công cụ 2 này được trình bày trong hình 3.14.



Hình 3.14. Công cụ tính toán thiệt hại về kinh tế

- Mục đích: Tính toán thiệt hại kinh tế.

- Đầu vào:

+ Dữ liệu sử dụng đất đã phân nhóm.

+ Dữ liệu độ sâu ngập.

+ Dữ liệu giá trị đất.

- Xử lý: Các dữ liệu đầu vào được đưa vào trong hàm tính toán trong đó áp dụng các hàm thiệt hại cho từng loại đối tượng được phân loại trong dữ liệu sử dụng đất.

- Đầu ra:

+ Dữ liệu thiệt hại tiềm tàng: là dữ liệu phản ánh thiệt hại được xác định bằng % giá trị bị thiệt hại.

+ Dữ liệu thiệt hại kinh tế: là dữ liệu thiệt hại được tính ra bằng đơn vị tiền tệ.

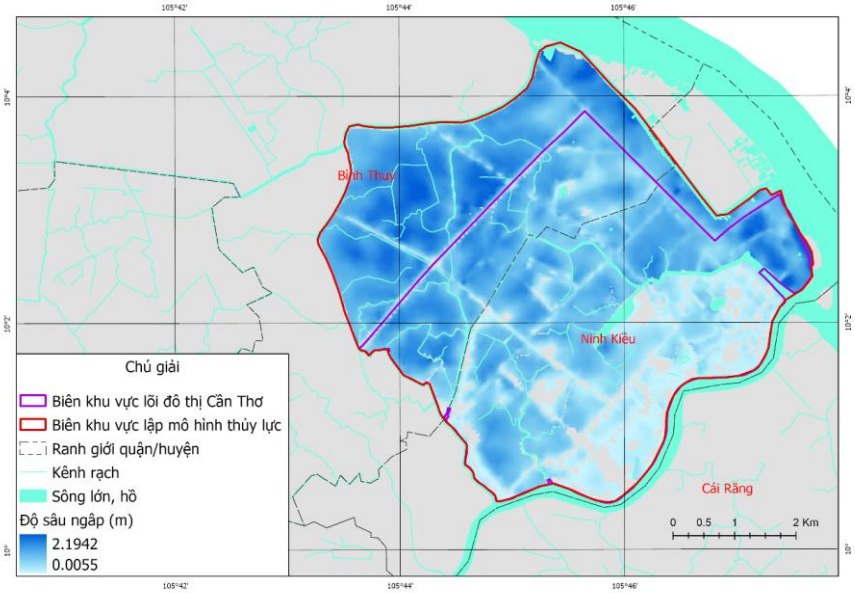
3.2.1.1. Dữ liệu đầu vào

Dữ liệu cần thiết cho việc lập bản đồ rủi ro bao gồm dữ liệu không gian và phi không gian. Dữ liệu cơ sở chung được sử dụng cho cả đánh giá rủi ro kinh tế và xã hội bao gồm nguy cơ lũ lụt và phân loại sử dụng đất.

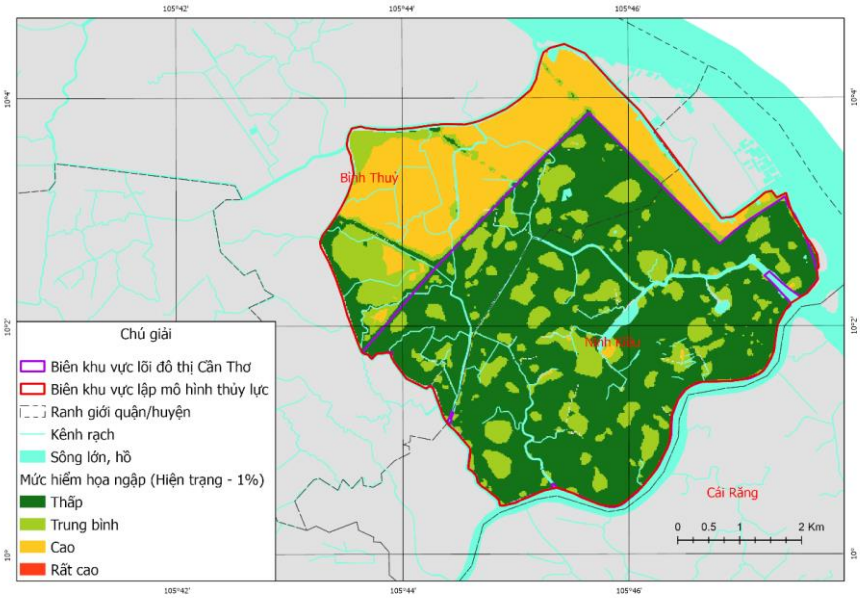
Dữ liệu hiểm họa

Dữ liệu Hiểm họa ngập lụt xét về độ sâu, vận tốc và phân loại nguy cơ lũ lụt (xem Hình 3.15) được tạo ra cho mỗi trận lũ lụt từ mô hình thủy động lực theo các kịch bản lặp lại khác nhau. Trong luận án, dữ liệu hiểm họa ngập lụt được tính toán dựa trên kết quả của mô hình thủy lực được thành lập cho toàn bộ khu vực thành phố Cần Thơ, bao gồm lõi đô thị.

Dữ liệu này là các raster có độ phân giải (20m x 20m) dưới định dạng ACII.



Hình 3.15. Độ sâu ngập lụt lõi đô thị Cần Thơ



Hình 3.16. Hiểm họa ngập lụt lõi đô thị Cần Thơ

Dữ liệu sử dụng đất

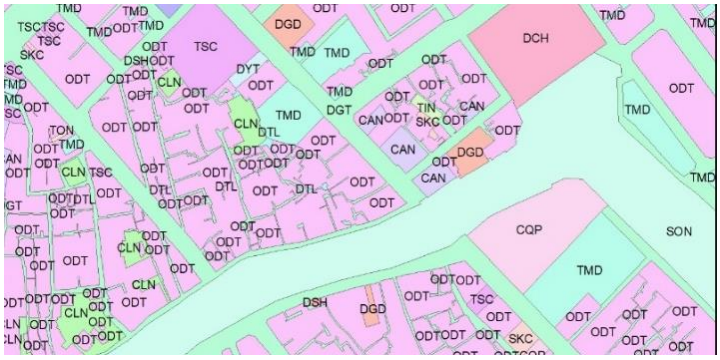
Bản đồ sử dụng đất ở định dạng DGN được chuyển đổi sang định dạng GIS (SHP). Dữ liệu sử dụng đất này được thu thập từ Sở TNMT thành phố Cần Thơ vào năm 2020.

Dữ liệu sử dụng đất sẽ được sử dụng để xác định:

i) Rủi ro lũ lụt xã hội;

ii) Một số chỉ số về khả năng dễ bị tổn thương do rủi ro lũ lụt xã hội, chẳng hạn như trường học và địa điểm trung tâm y tế;

iii) Các hàm thiệt hại theo chiều sâu có liên quan được áp dụng cho các mục đích sử dụng đất khác nhau để đánh giá rủi ro lũ lụt kinh tế.



Hình 3.17 Ví dụ sử dụng đất Thành phố Cần Thơ (tỷ lệ: 1:5000)

Bản đồ sử dụng đất của thành phố bao gồm 39 loại hình sử dụng đất. Chúng sẽ được tổng hợp thành 12 lớp như trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1: Tổng hợp các loại hình sử dụng đất

STT	Nhóm	Loại hình sử dụng đất	Áp dụng
1	Khu dân cư	Khu dân cư đô thị và nông thôn	Tất cả các quận huyện
2	Thương mại	Chợ, khu thương mại	Tất cả các quận huyện
3	Doanh nghiệp nhỏ	Khu dân cư đô thị gần đường chính (cửa hàng nhỏ, nhà hàng, dịch vụ nhỏ)	Tất cả các quận huyện
4	Công nghiệp	Tất cả các sử dụng đất liên quan đến công nghiệp	Tất cả các quận huyện
5	Cơ quan chính phủ	Cơ quan chính phủ và các công trình công cộng	Tất cả các quận huyện
6	Trường học	Trường học và cơ sở giáo dục	Tất cả các quận huyện
7	Các dịch vụ sức khoẻ	Trung tâm y tế	Tất cả các quận huyện
8	Lúa gạo	Cánh đồng lúa	Tất cả các quận huyện
9	Cây lâu năm	Vườn cây ăn quả các loại	Tất cả các quận huyện
10	Cây trồng hàng năm	Rau củ các loại	Tất cả các quận huyện
11	Nuôi trồng thủy sản	Nuôi trồng thủy sản	Tất cả các quận huyện
12	Không thể tiếp cận	Tất cả các loại hình sử dụng đất không thể tiếp cận (sông, an ninh, chưa sử dụng)	Tất cả các quận huyện

Dữ liệu về tính dễ bị tổn thương để lập bản đồ rủi ro lũ lụt xã hội

Bộ dữ liệu dễ bị tổn thương cần thiết để lập bản đồ rủi ro lũ lụt xã hội là dữ liệu điều tra dân số. Dữ liệu điều tra dân số cung cấp thông tin cần thiết cho các chỉ số dễ bị tổn thương xã hội: tất cả các chỉ số nhạy cảm (Bảng 2.7) và hầu hết các chỉ số năng lực (Bảng 2.8).

Số liệu điều tra dân số Cần Thơ (2019) được công bố chi tiết ở hai cấp: cấp tỉnh và cấp huyện. Dữ liệu điều tra dân số cấp tỉnh cung cấp thông tin chi tiết về tỉnh và các huyện của tỉnh. Dữ liệu điều tra dân số cấp huyện đi sâu xuống cấp xã và phù hợp hơn cho việc đánh giá rủi ro. Tuy nhiên, dữ liệu có những hạn chế ở chỗ chỉ có một số thuộc tính liên quan để đánh giá rủi ro. Đó là:

- Mật độ dân số
- Tổng dân số (mỗi xã)
- Số lượng
  - nam giới
  - phụ nữ
  - người lớn tuổi
- Số hộ nghèo (mỗi xã)

Dữ liệu về thiệt hại để lập bản đồ rủi ro kinh tế

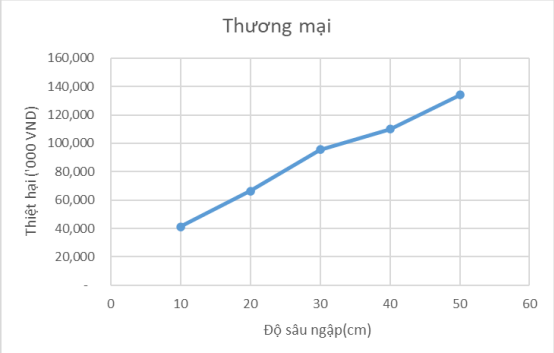
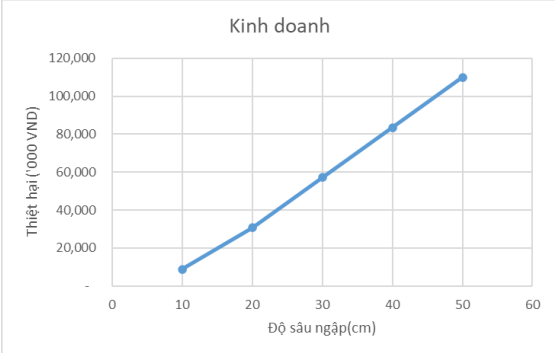
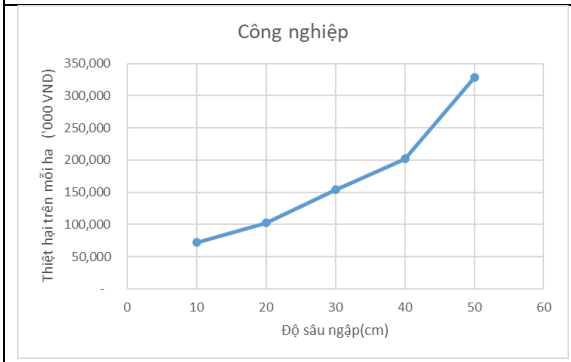
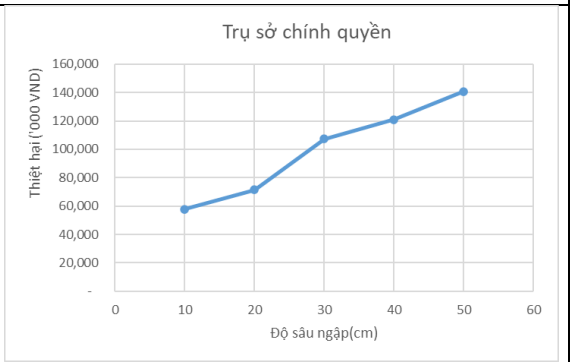
Dữ liệu dễ bị tổn thương chính cần thiết để đánh giá rủi ro kinh tế là các đường

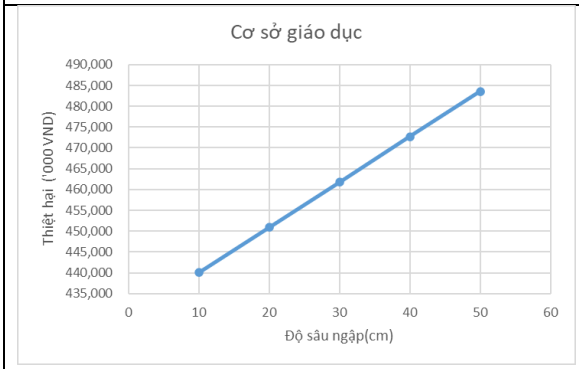
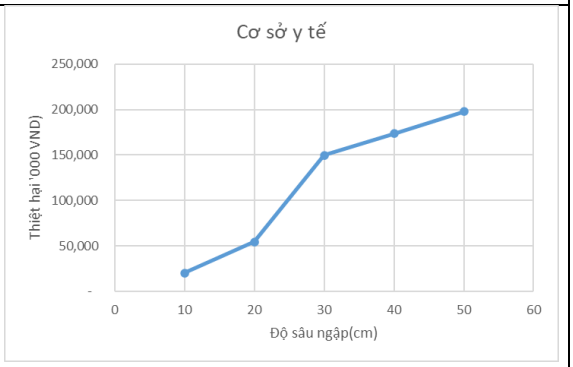
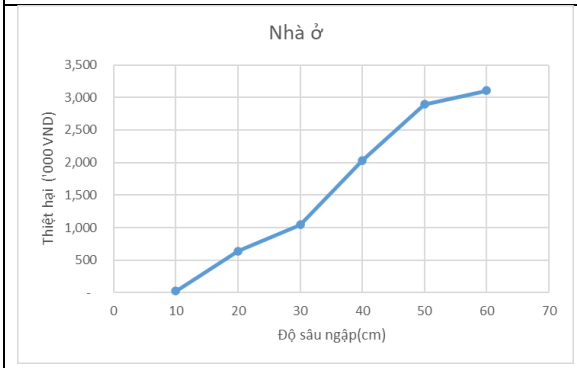
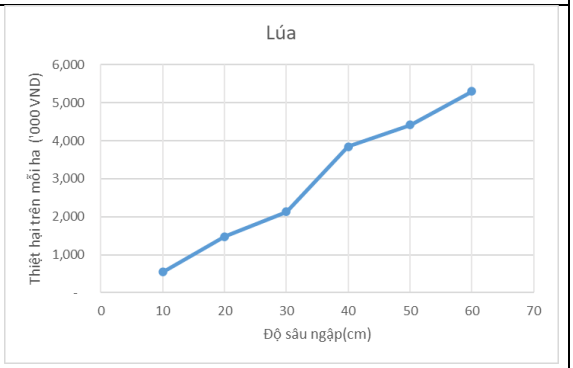
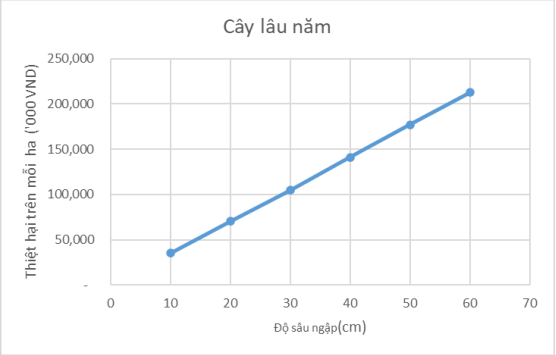
cong thiệt hại theo độ sâu ngập đối với các loại hình sử dụng đất có liên quan, tức là các loại đại diện cho các hình thức sử dụng đất chính ở thành phố Cần Thơ. Các dữ liệu này được xác định từ kết quả thống kê của các cuộc khảo sát thiệt hại kinh tế do lũ tại lõi đô thị Cần Thơ năm 2020 và toàn bộ thành phố Cần Thơ vào năm 2021.

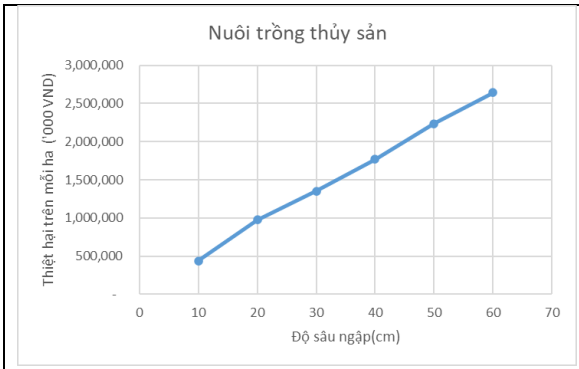
3.2.1.2 Khảo sát lũ lụt 2020 và 2021

Quá trình khảo sát xã hội đã thu thập dữ liệu cho lõi đô thị trực tiếp từ 260 hộ gia đình và cơ sở kinh doanh ở quận Bình Thủy và Ninh Kiều vào năm 2020 và khu vực nông thôn 2021. Cuộc khảo sát đã thu thập cả dữ liệu kinh tế xã hội và dữ liệu về độ sâu ngập lụt và thiệt hại.

Trên cơ sở khảo sát, các hàm thiệt hại của 3 đối tượng chịu thiệt hại chính của lõi đô thị Cần Thơ đã được xây dựng bằng phương pháp thống kê với kết quả khảo sát, bao gồm: thiệt hại về nhà ở, thiệt hại về thương mại và thiệt hại về công trình xây dựng ở Cần Thơ. Khảo sát thực địa bổ sung được thực hiện năm 2021 để phát triển các hàm thiệt hại cho 11 loại sử dụng đất được liệt kê trong hình 3.18. Các hàm thiệt hại này sẽ được đưa vào công cụ đánh giá rủi ro lũ lụt.

	
Hàm thiệt hại do ngập lụt đối với tài sản thương mại	Hàm thiệt hại ngập lụt đối với tài sản kinh doanh
	
Hàm thiệt hại do ngập lụt đối với ngành	Hàm thiệt hại ngập lụt cho các cơ quan

công nghiệp	chính phủ
	
Hàm thiệt hại ngập lụt cho các trường học	Hàm thiệt hại do ngập lụt đối với các dịch vụ/cơ sở y tế
	
Hàm thiệt hại do ngập lụt đối với tài sản dân cư	Hàm thiệt hại do ngập đối với lúa
	
Hàm thiệt hại do ngập đối với cây lâu năm (cây ăn quả)	Hàm thiệt hại ngập lụt đối với cây trồng hàng năm (rau củ)

	
Hàm thiệt hại ngập lụt đối với nuôi trồng thủy sản	

Hình 3.18. Hàm độ sâu - thiệt hại của các đối tượng

Các hàm số lần lượt tương úng như sau bảng 3.2 :

Bảng 3.2. Các hàm thiệt hại

Đối tượng	Hàm số
Thương mại	$y = -0.009x^2 + 0.2251x + 0.0912$
Kinh doanh	$y = 25477x - 18407$
Công nghiệp	$y = 0.006x^2 + 0.1958x - 0.1255$
Cơ quan nhà nước	$y = -0.0096x^3 + 0.0814x^2 - 0.0428x + 0.3734$
Trương học/CS giáo dục	$y = 0.0225x + 0.8875$
Cơ sở Y tế	$y = -0.0258x^3 + 0.1988x^2 - 0.1688x + 0.0816$
Dân cư nhà ở	$y = -0.013x^3 + 0.1356x^2 - 0.1913x + 0.0943$
Đất trồng lúa	$y=9.7997x-4.7773$
Cây lâu năm	$y = 0.1671x - 0.0034$
Cây hàng năm	$y = 0.171x - 0.0163$
Nuôi trồng thủy sản	$y = 0.1643x + 0.0189$

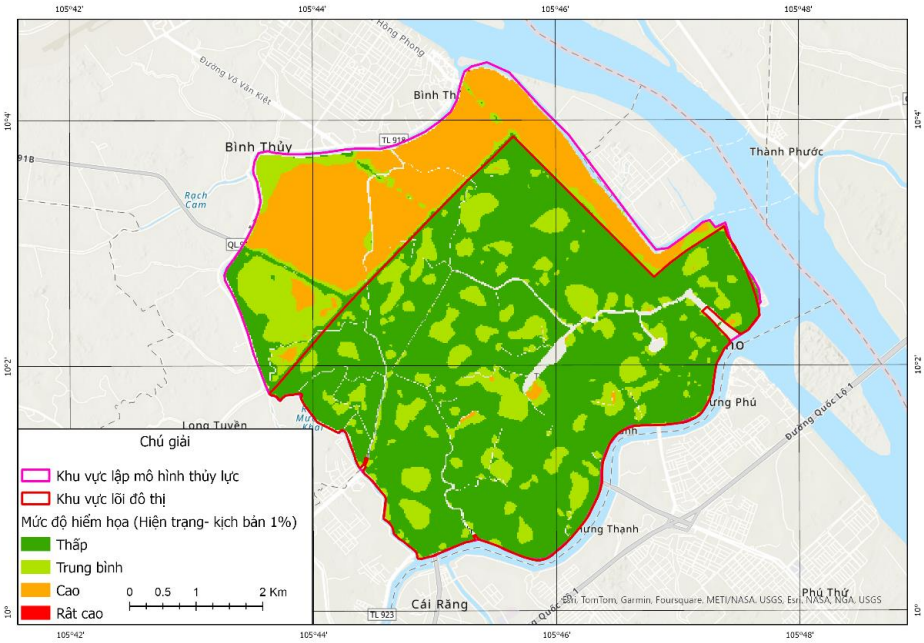
Các hàm thiệt hại là các hàm tuyến tính bậc 1 chủ yếu đến từ các thống kê của nông nghiệp hoặc kinh doanh nhỏ, nơi mà thiệt hại ngập lụt tương đối dễ dàng. Đói với các đối tượng phức tạp hơn, việc xác định thiệt hại cũng khó khắn và do vậy, kết qủa là các hàm thiệt hại trở nên phức tạp, có thể là các hàm bậc 2 hoặc bậc 3

3.2.2. Kết quả đánh giá rủi ro ngập và phân tích rủi ro ngập lụt đối với xã hội

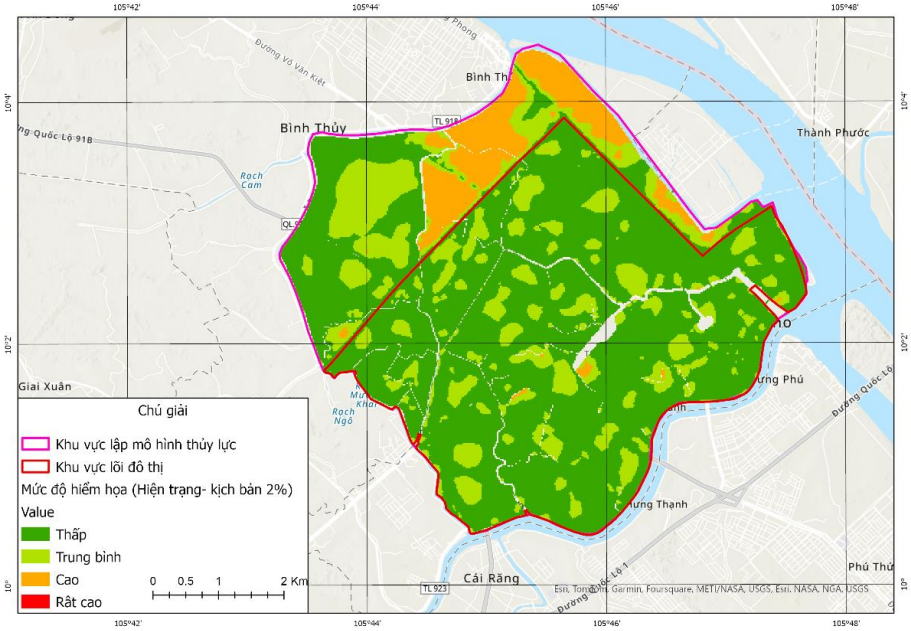
3.2.2.1. Kết quả đánh giá Hiểm họa ngập

Bản đồ hiểm họa ngập lụt của lõi đô thị được trích xuất từ bản đồ hiểm họa ngập lụt của toàn thành phố xây dựng dựa trên công thức (2.1). Các bản đồ hiểm họa ngập lụt bao gồm (1) Bản đồ hiểm họa ngập lụt theo kịch bản hiện trạng 1% (hình 3.19); (2) Bản đồ hiểm họa ngập lụt theo kịch bản hiện trạng 2% (hình 3.20); (3) Bản đồ hiểm họa ngập lụt theo kịch bản hiện trạng 5% (hình 3.21); (4) Bản đồ hiểm họa ngập lụt theo kịch bản

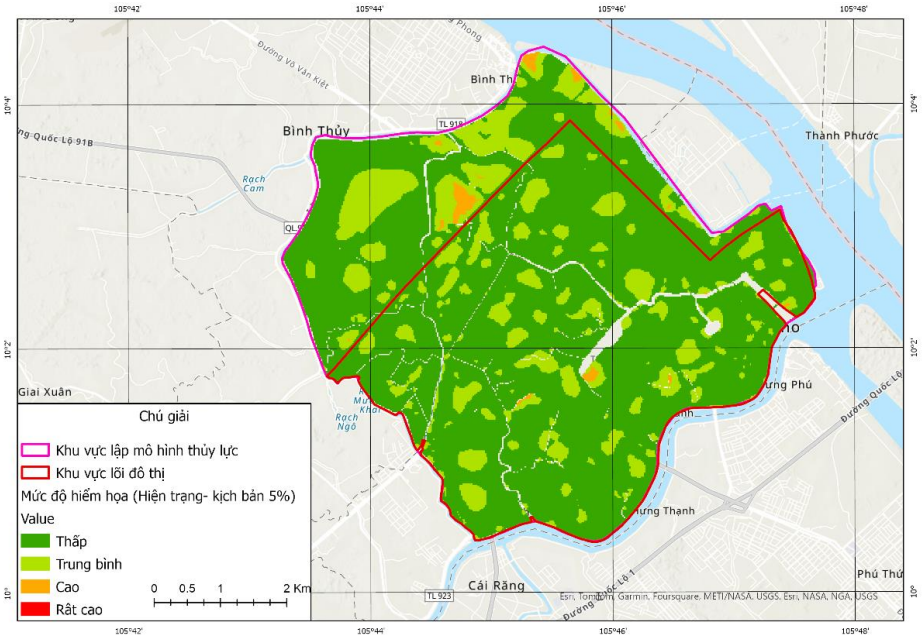
hiện trạng 10% (hình 3.22); (5) Bản đồ hiểm họa ngập lụt theo kịch bản hiện trạng 20% (hình 3.23).



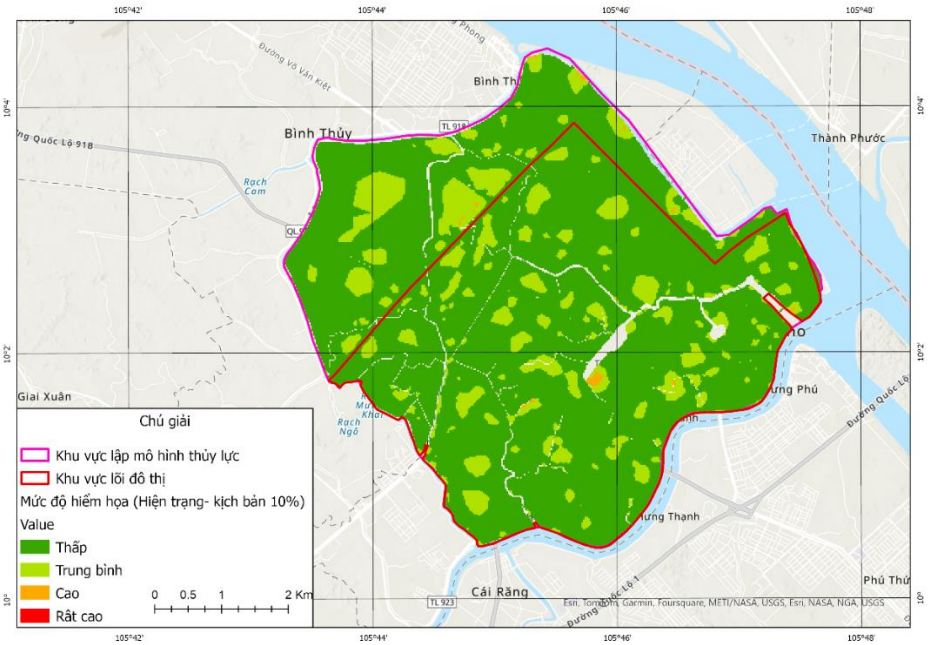
Hình 3.19. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 1%



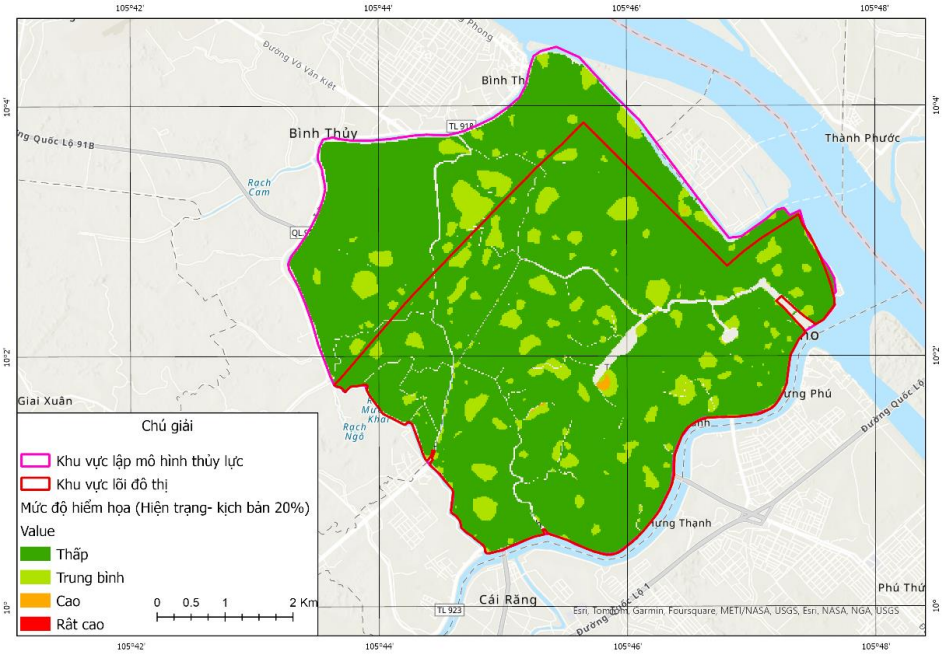
Hình 3.20. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 2%



Hình 3.21. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 5%



Hình 3.22. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 10%

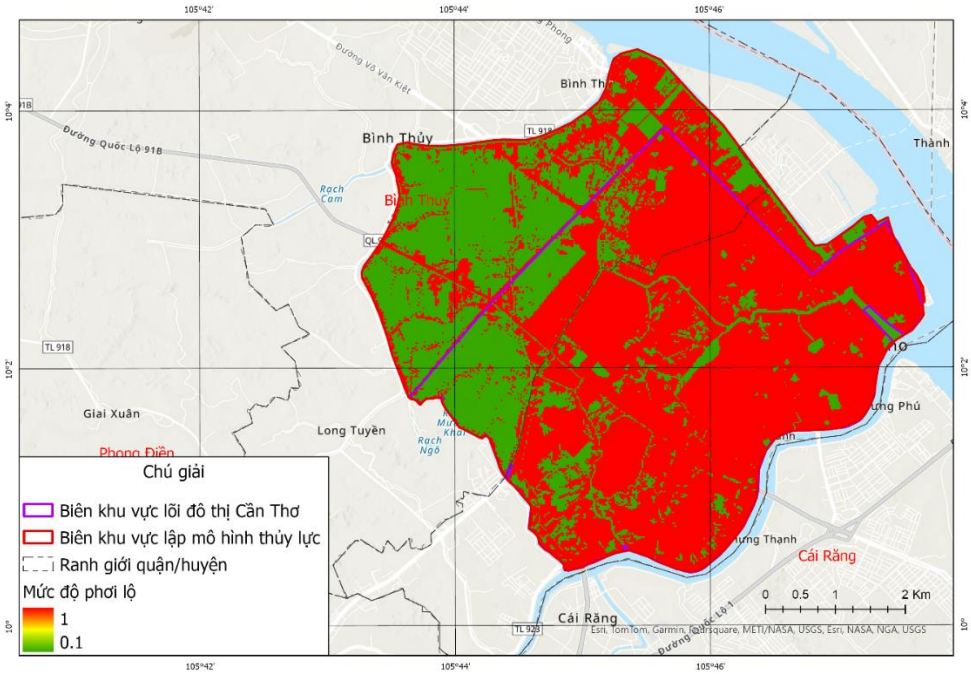


Hình 3.23. Hiểm họa ngập theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 20%

Các bản đồ hiểm họa cho thấy, mức độ hiểm họa và diện tích chịu hiểm họa tăng dần theo mức độ khắc nghiệt của các điều kiện biên. Đối với điều kiện biên ít khắc nghiệt hơn, các bản đồ cho thấy hiểm họa ngập không quá nghiêm trọng trong lõi đô thị được bảo vệ. Khu vực ngoài có khả năng chịu hiểm họa cao hơn hẳn do thiếu các biện pháp chống chịu. Tuy nhiên, đối với các điều kiện biên khắc nghiệt hơn đặc biệt là với các trận mưa có tần suất 50 hoặc 100 năm xảy ra một lần, thì lượng mưa lớn vượt quá ngưỡng chịu đựng của hệ thống thoát nước sẽ làm toàn bộ khu vực và dẫn đến một số khu vực trong lõi đô thị của thành phố vẫn chịu mức hiểm họa từ Trung bình đến Cao.

3.2.2.2. Kết quả đánh giá mức độ Phơi lộ

Dữ liệu phơi lộ được lập thành bản đồ từ dữ liệu hiện trạng sử dụng đất theo bảng 2.2. Dữ liệu này được trình bày dưới dạng bản đồ như Hình 3.24.

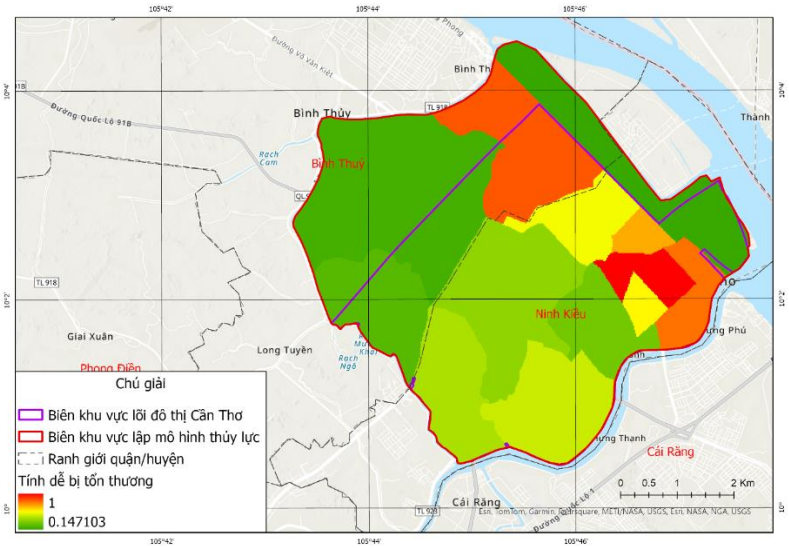


Hình 3.24. Mức độ phơi lộ khu vực nghiên cứu

Dữ liệu Phơi lộ cho thấy, gần như toàn bộ lõi đô thị của Cần Thơ đều có mức độ phơi lộ là rất cao. Điều này xuất hiện do khu vực này bao gồm những khu dân cư đông đúc, thương mại nhộn nhịp với các cơ quan, công sở, công trình quan trọng của thành phố. Mức độ phơi lộ cao phản ảnh mức độ quan trọng cao của các đối tượng về giá trị kinh tế, giá trị văn hóa, xã hội ở lõi đô thị của thành phố. Phía Tây của khu vực nghiên cứu có mức độ phơi lộ tương đối thấp, điều này xuất hiện do phần lớn diện tích của khu vực này là các khu vực đất trồng lúa, đất nông nghiệp, có giá trị kinh tế và xã hội thấp hơn nhiều so với khu vực đô thị.

3.2.2.3. Kết quả đánh giá Tính dễ bị tổn thương

Dữ liệu tính dễ bị tổn thương được đánh giá dựa trên các chỉ số kinh tế, xã hội theo bảng 2.7 và 2.8 Các chỉ số này được thu thập từ các tài liệu niên giám thống kê và báo cáo kinh tế xã hội của thành phố Cần Thơ. Dữ liệu Tính dễ bị tổn thương được trình bày dưới dạng bản đồ như hình 3.25.

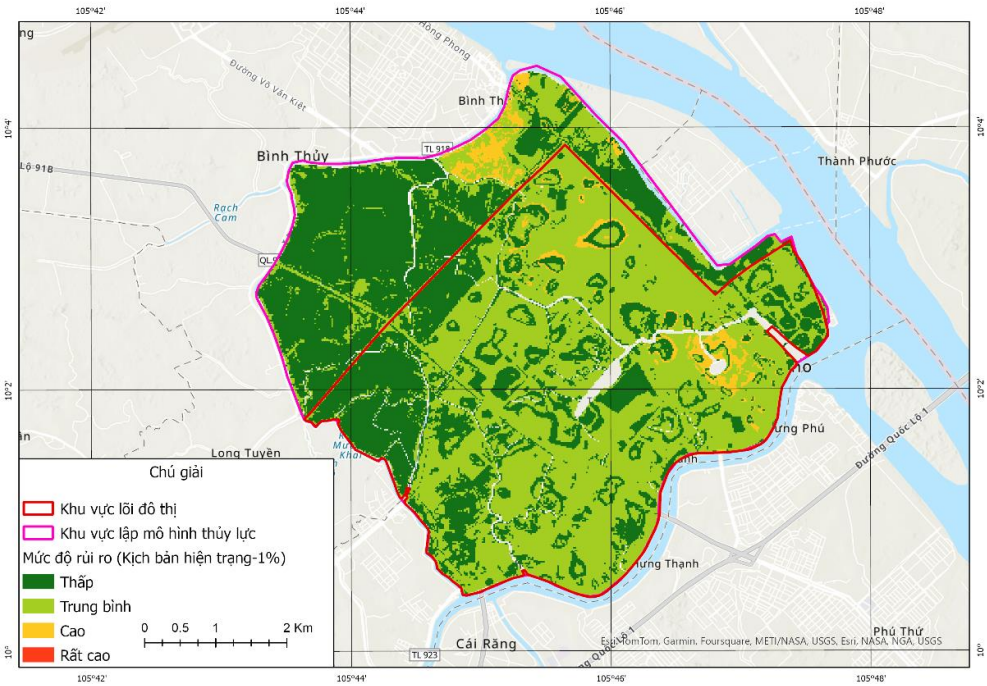


Hình 3.25. Tính dễ bị tổn thương tại khu vực nghiên cứu

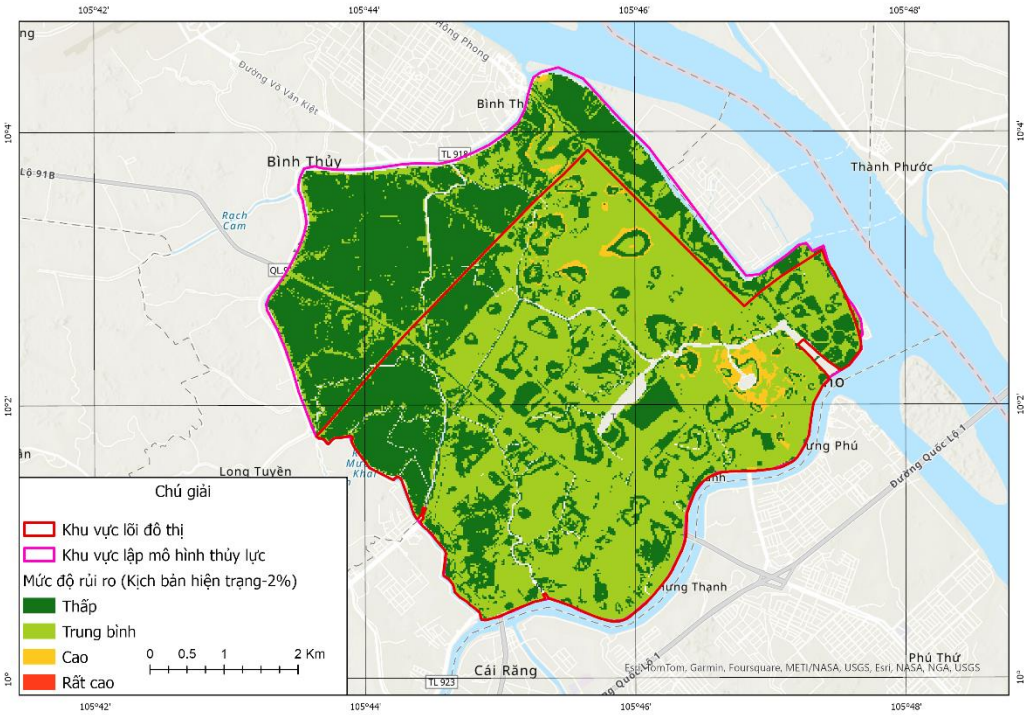
Dữ liệu Tính dễ bị tổn thương cho thấy, khu vực các phường dọc đường Nguyễn Trãi, Cách Mạng Tháng 8 có tính dễ bị tổn thương ở mức cao, đây là các phường có dân cư phức tạp, cấu trúc về dân cư có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến độ nhạy cảm như số lượng người cao tuổi, trẻ em cao hơn so với mặt bằng chung của thành phố.

3.2.2.4. Kết quả đánh giá rủi ro ngập lụt về xã hội

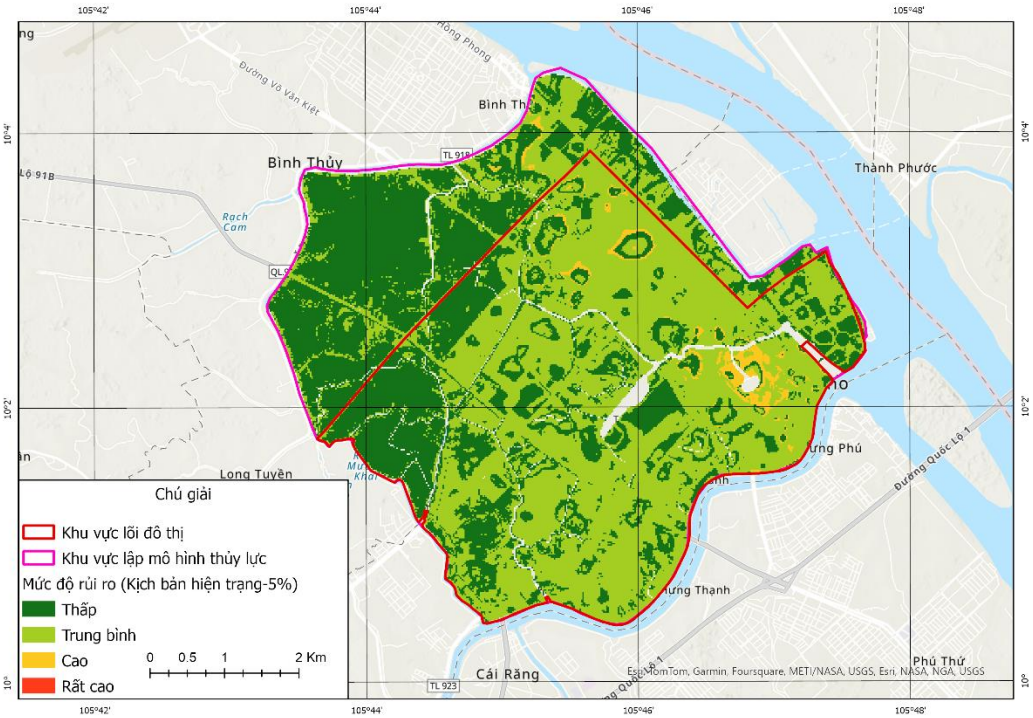
Các dữ liệu rủi ro được tính toán bằng bộ công cụ mà luận án đã xây dựng và trình bày thành các bản đồ tại các hình từ 3.26 tới 3.30.



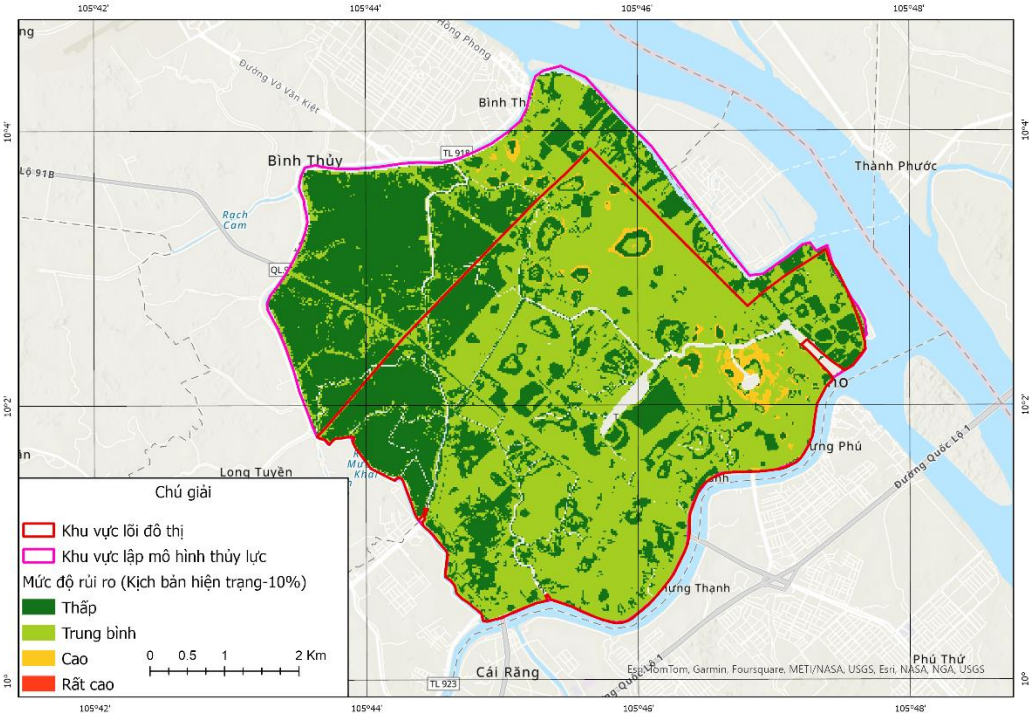
Hình 3.26. Rủi ro xã hội theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 1%



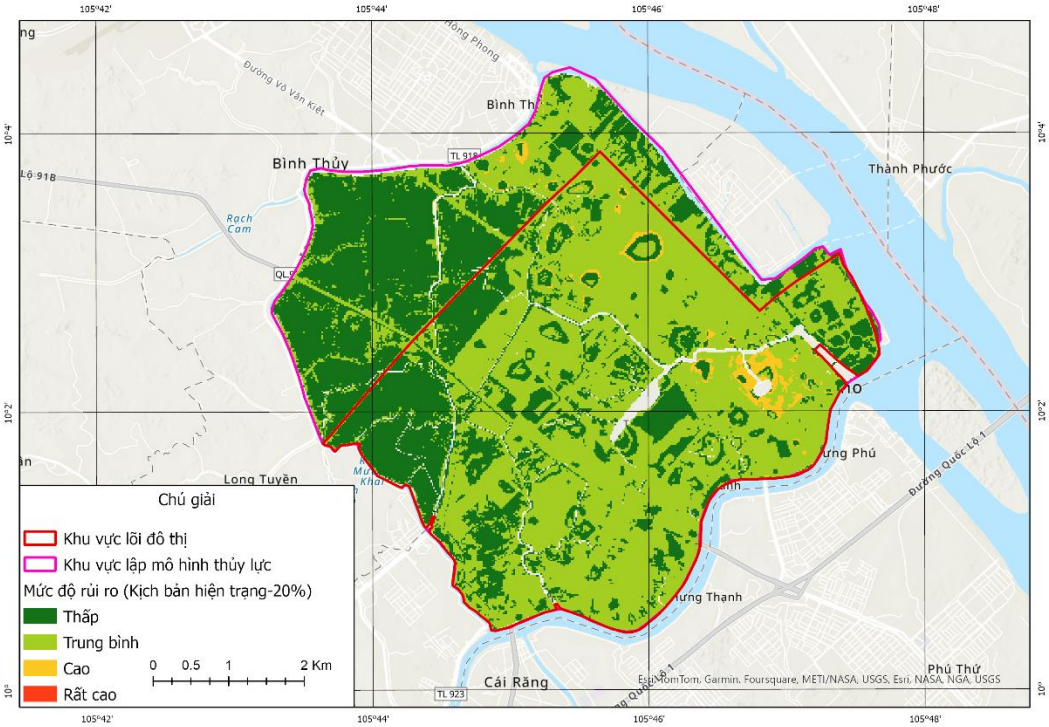
Hình 3.27. Rủi ro xã hội theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 2%



Hình 3.28. Rủi ro xã hội theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 5%



Hình 3.29. Rủi ro xã theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 10%

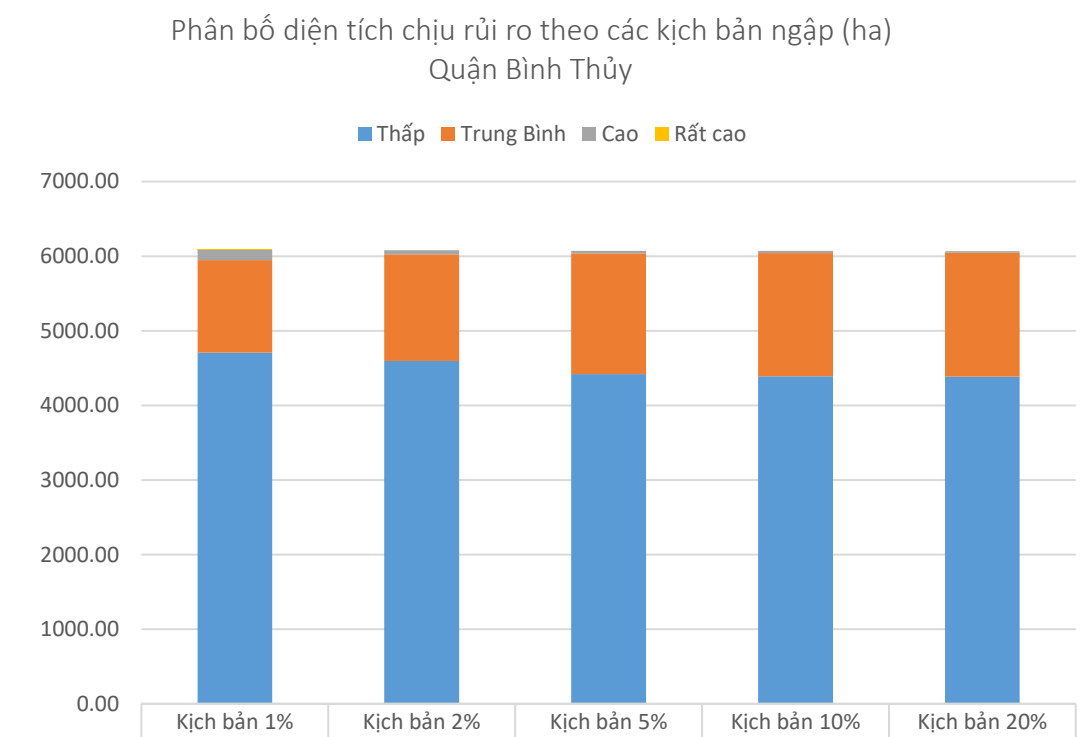


Hình 3.30. Rủi ro xã hội theo kịch bản hiện trạng của điều kiện 20%

Bản đồ rủi ro về xã hội lõi đô thị cho thấy khu vực các phường Tân An, An Phú và An Cư có mức độ rủi ro cao nhất, đây cũng là các phường có địa hình trũng thấp, sát khu vực ven sông Cần Thơ, có mật độ dân cư cao, nhiều cơ sở hạ tầng nhạy cảm với ngập lụt. Trên thực tế, đây là các phường thường xuyên chịu thiệt hại từ ngập lụt đô thị tại thành phố Cần Thơ.

Bên cạnh đó, một loạt các phường của quận Bình thủy cũng nằm trong khu vực chịu rủi ro từ Trung bình tới rất cao, đặc biệt là các phương nằm ven sông Hậu, dọc đường Cách mạng tháng 8 và khu vực mới phát triển đô thị phía Nam của sân bay Cần Thơ.

Phân tích cụ thể hơn được dựa vào thống kê cho từng phường, và tổng hợp cho các quận thuộc lõi đô thị này được trình bày ở các hình 3.31, 3.32 và các bảng 3.2, 3.3.



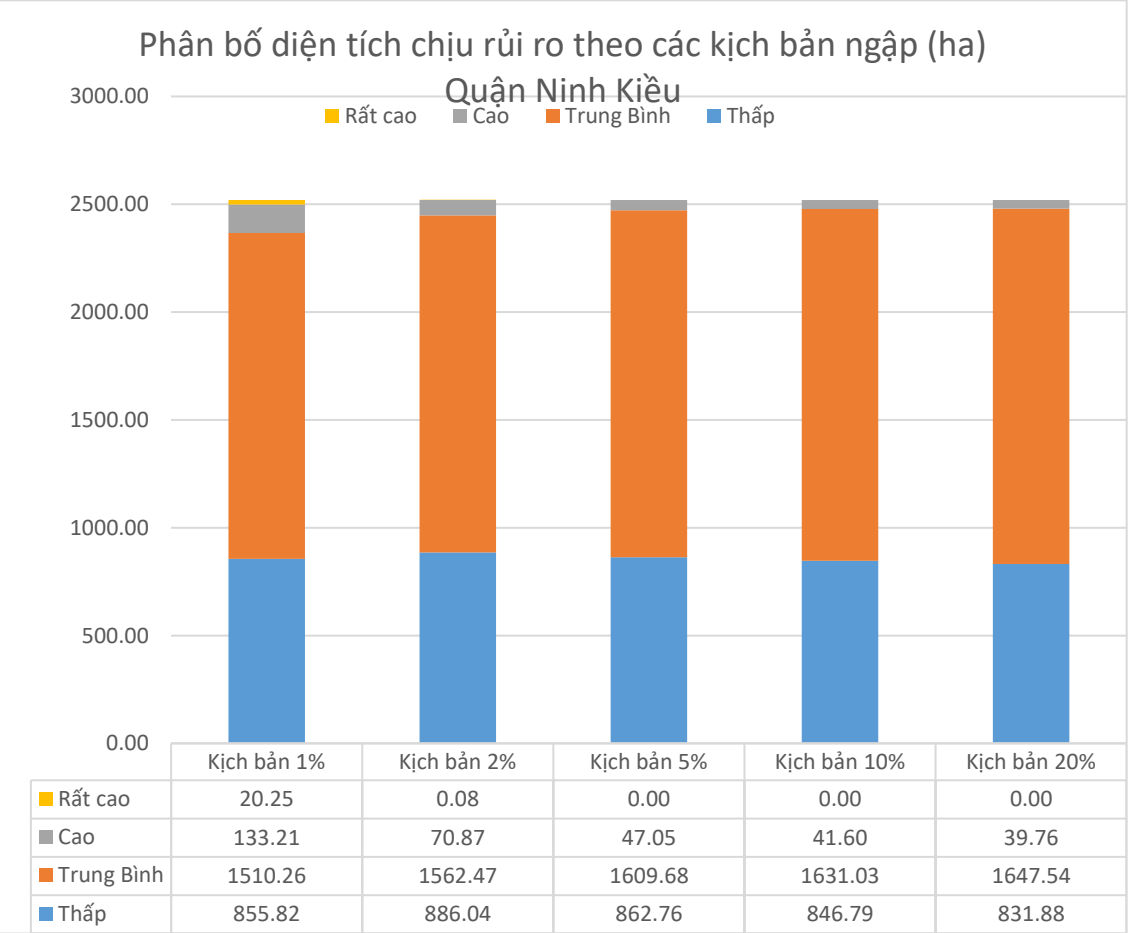
	Kịch bản 1%	Kịch bản 2%	Kịch bản 5%	Kịch bản 10%	Kịch bản 20%
Rất cao	3.95	0.00	0.00	0.00	0.00
Cao	137.35	52.41	34.47	30.96	23.56
Trung Bình	1236.04	1430.86	1619.43	1648.69	1657.74
Thấp	4708.59	4595.02	4418.83	4390.65	4385.60

Hình 3.31. Biểu đồ phân bố diện tích chịu rủi ro ngập quận Bình Thủy

Bảng 3.3. Thống kê diện tích chịu rủi ro ngập tại quận Bình Thủy

	Diện tích chịu rủi ro ngập lụt (ha)				
	Thấp	**Trung Bình**	**Cao**	**Rất cao**	**Tổng**
Kịch bản 1%	4708.59	1236.04	137.35	3.95	6085.94
Kịch bản 2%	4595.02	1430.86	52.41	0.00	6078.30
Kịch bản 5%	4418.83	1619.43	34.47	0.00	6072.74
Kịch bản 10%	4390.65	1648.69	30.96	0.00	6070.30
Kịch bản 20%	4385.60	1657.74	23.56	0.00	6066.90

Xét dựa trên kết quả phân tích cho thấy, đối với quận Bình Thủy, tổng diện tích chịu rủi ro ngập lụt về mặt xã hội tăng dần theo mức độ hiểm họa ngập. Theo đó, với các sự kiện kết hợp 100 năm xảy ra một lần, kịch bản 1%, thì diện tích chịu ảnh hưởng là lớn nhất với hơn 6085 ha. Bên cạnh đó, số liệu còn cho thấy, diện tích chịu ảnh hưởng rủi ro các cấp độ cao hơn sẽ tăng theo các kịch bản hiểm họa ngập tương ứng.



Hình 3.32. Biểu đồ phân bố diện tích chịu rủi ro ngập quận Ninh Kiều

Bảng 3.4. Thống kê diện tích chịu rủi ro ngập tại quận Ninh Kiều

	Diện tích chịu rủi ro ngập lụt (ha)				
	Thấp	**Trung Bình**	**Cao**	**Rất cao**	**Tổng**
Kịch bản 1%	855.82	1510.26	133.21	20.25	2519.54
Kịch bản 2%	886.04	1562.47	70.87	0.08	2519.46
Kịch bản 5%	862.76	1609.68	47.05	0.00	2519.50
Kịch bản 10%	846.79	1631.03	41.60	0.00	2519.42
Kịch bản 20%	831.88	1647.54	39.76	0.00	2519.18

Đối với quận Ninh Kiều, diện tích ngập cũng tăng lên tương tự như đối với quận Bình Thủy. Tuy lượng diện tích tăng không nhiều nhưng xu hướng tăng lên diện tích bị rủi ro cao đối với các kịch bản hiểm họa ngập lụt có mức độ tăng dần. Điều đó có nghĩa là đối với các kịch bản ngập nghiêm trọng như 1%, 2%, tức là 100 năm và 50 năm có thể xảy ra, thì rủi ro ngập lụt là rất lớn.

Bên cạnh số liệu thống kê về diện tích, số liệu khác bao gồm dân cư được phân tích, thống kê dựa vào bản đồ rủi ro ngập lụt của lõi đô thị. Số liệu thống kê này được trình bày ở bảng 3.5 và bảng 3.6 sau:

Bảng 3.5. Thống kê dân cư chịu ảnh hưởng của rủi ro ngập tại Ninh Kiều (người)

	Thấp	Trung Bình	Cao	Rất cao	Tổng
Kịch bản 1%	77037	26778	4043	198	108056
Kịch bản 2%	76982	29636	1293	0	107910
Kịch bản 5%	72058	35032	703	0	107793
Kịch bản 10%	71542	35582	621	0	107745
Kịch bản 20%	72119	35127	425	0	107670

Bảng 3.6. Thống kê dân cư chịu ảnh hưởng của rủi ro ngập tại Bình Thủy (người)

	Thấp	Trung Bình	Cao	Rất cao	Tổng
Kịch bản 1%	191859	264558	32393	5493	494303
Kịch bản 2%	201064	277647	15549	22	494281
Kịch bản 5%	197803	287115	9303	0	494275

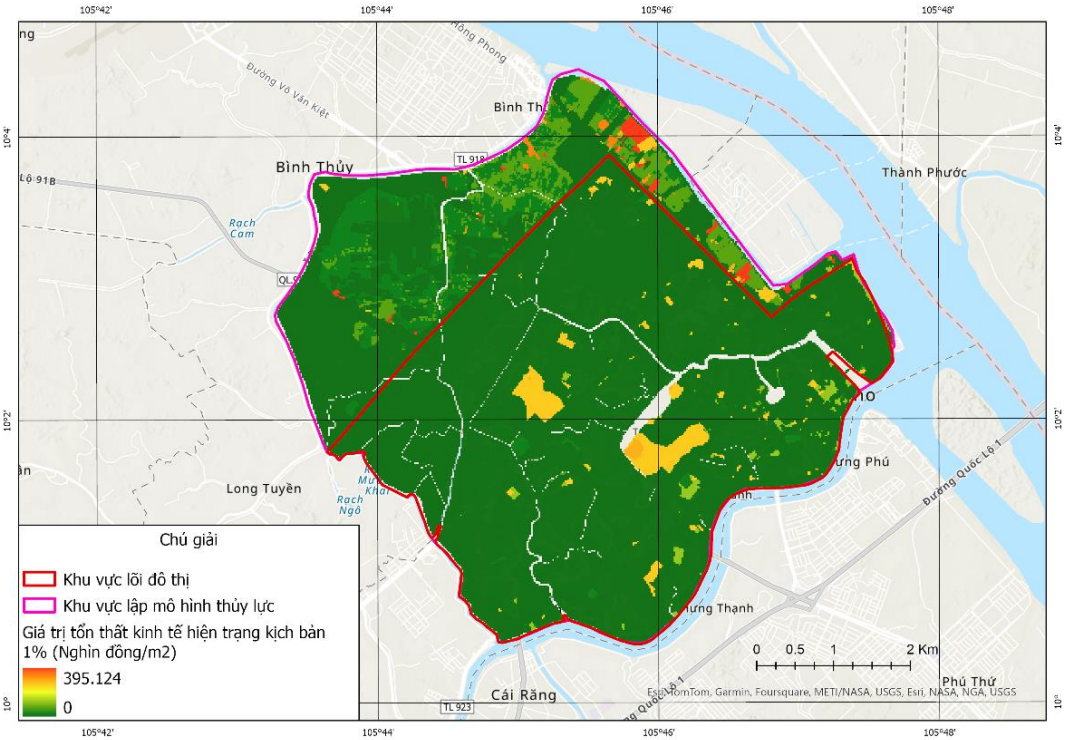
Kịch bản 10%	195515	290784	7968	0	494266
Kịch bản 20%	193455	293340	7458	0	494253

Dữ liệu dân cư trong khu vực rủi ro được thống kê chi tiết trong phụ lục 2. Ngoài diện tích và dân cư, các điểm cơ sở giáo dục, y tế trong vùng chịu rủi ro cũng được thống kê và trình bày trong phụ lục 3.

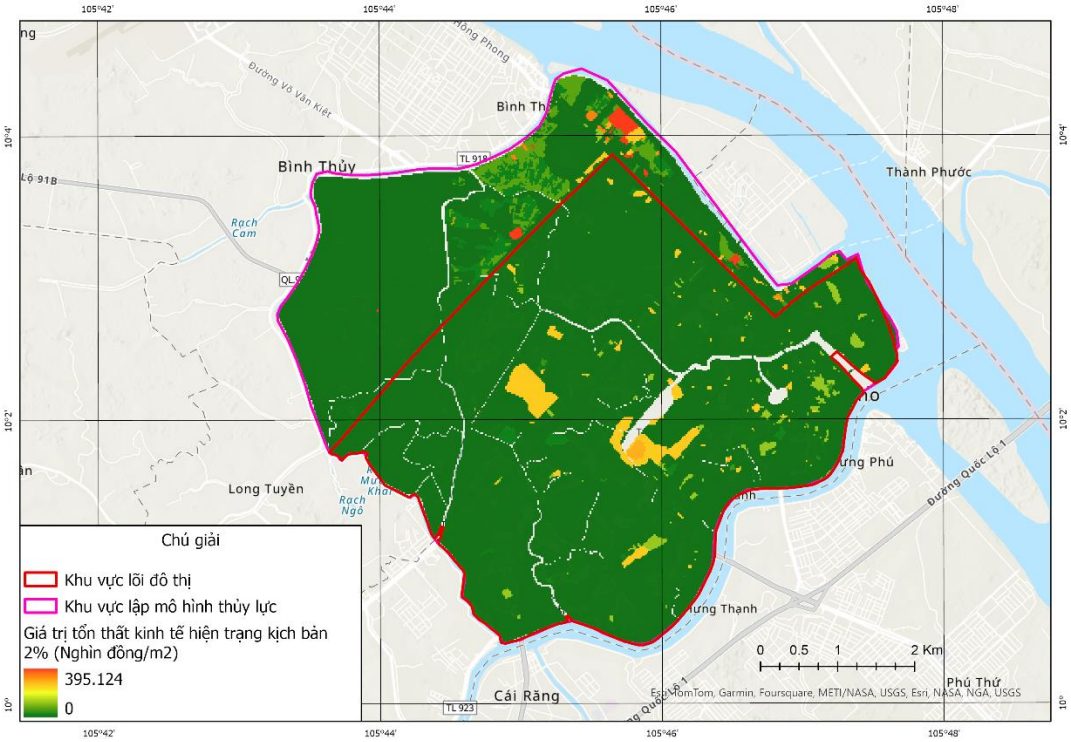
Số lượng người và diện tích chịu rủi ro ngập lụt giữa các kịch bản và tổng số cho thấy xu hướng rủi ro tăng lên giữa các kịch bản. Kịch bản càng khắc nghiệp, mức độ ngập càng cao, diện tích ngập càng mở rộng dẫn đến số người chịu rủi ro tăng theo tương ứng.

3.2.3. Kết quả đánh giá rủi ro ngập lụt về kinh tế

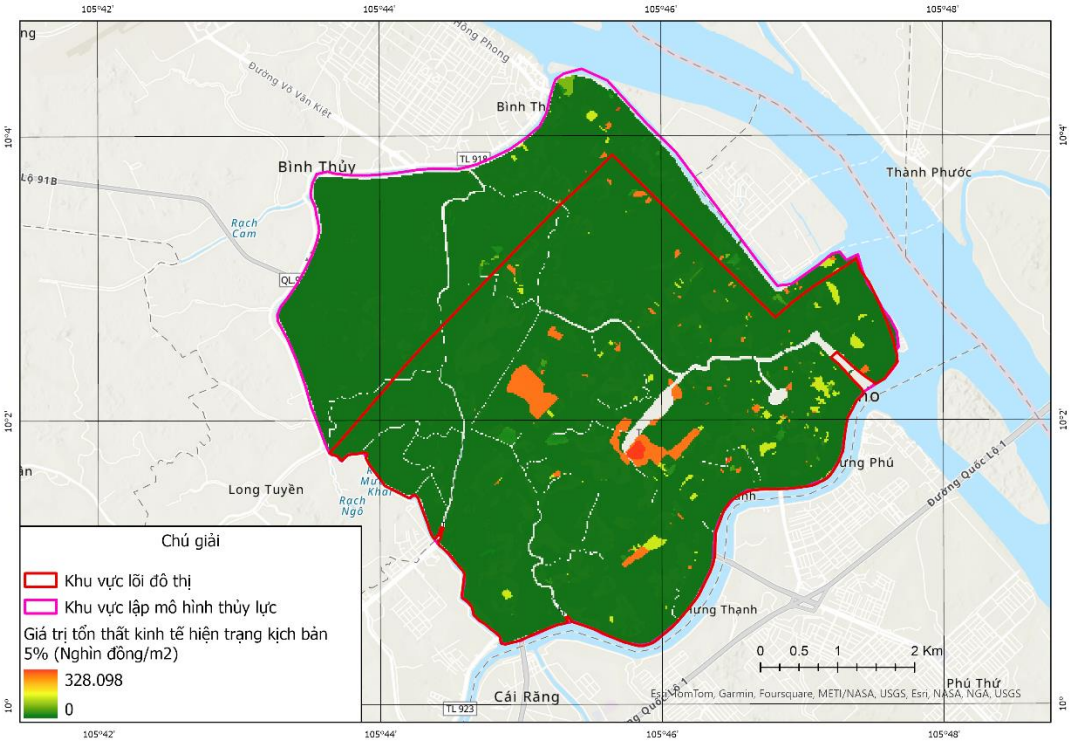
Từ công cụ đánh giá thiệt hại kinh tế, các bản đồ được xây dựng và dữ liệu thống kê có thể được xác định cho lõi đô thị của thành phố Cần Thơ bao gồm bản đồ thiệt hại và thống kê thiệt hại. Các bản đồ thiệt hại bao gồm các bản đồ trình bày tại hình 3.33 đến 3.37.



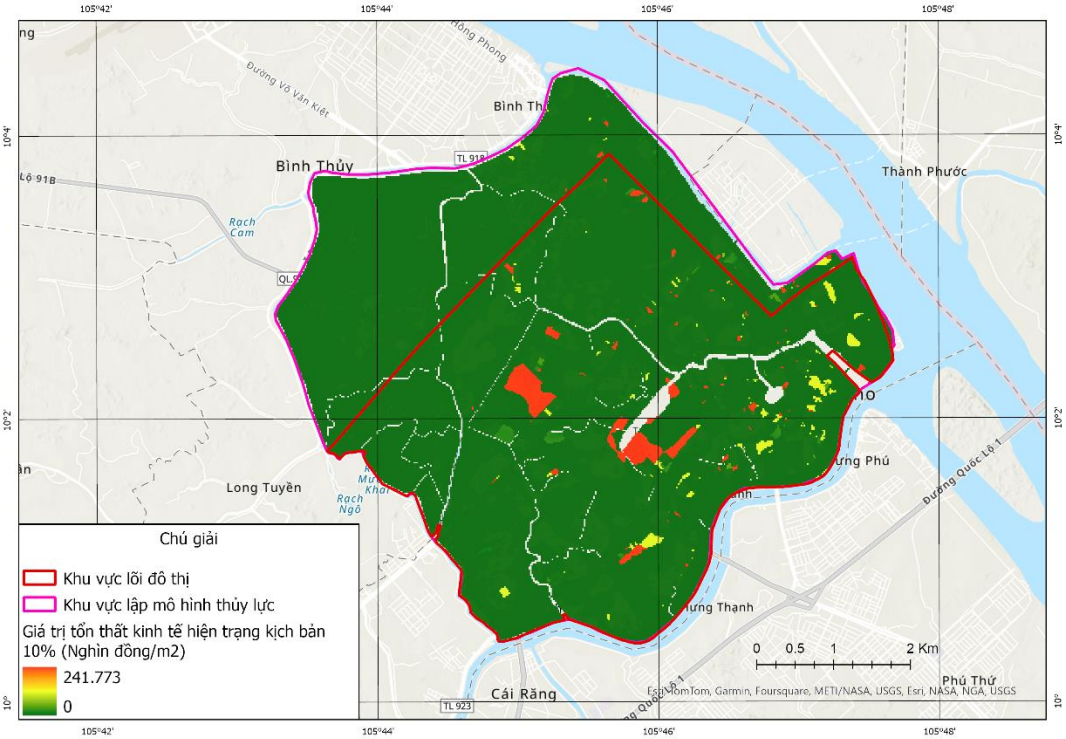
Hình 3.33. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 1%



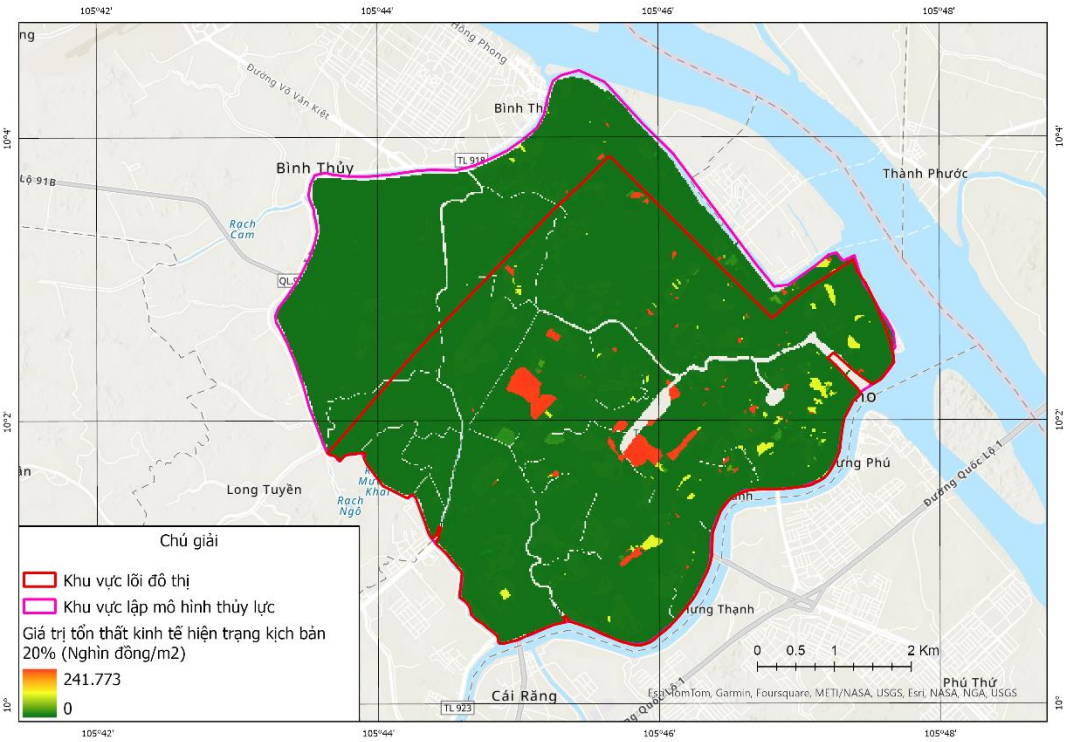
Hình 3.34. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 2%



Hình 3.35. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 5%



Hình 3.36. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 10%



Hình 3.37. Giá trị tổn thất kinh tế lõi đô thị Cần Thơ kịch bản 20%

Phân bố thiệt hại kinh tế trên bản đồ cho thấy đa phần các khu vực thuộc lõi đô thị là khu vực chịu thiệt hại thấp, chỉ có một vài khu vực thiệt hại lớn là các khu vực có cây lâu năm, đất ở, các cơ sở giáo dục.

Bảng 3.7 Thống kê thiệt hại kinh tế do lũ tại lõi đô thị Cần Thơ theo đối tượng chịu thiệt hại

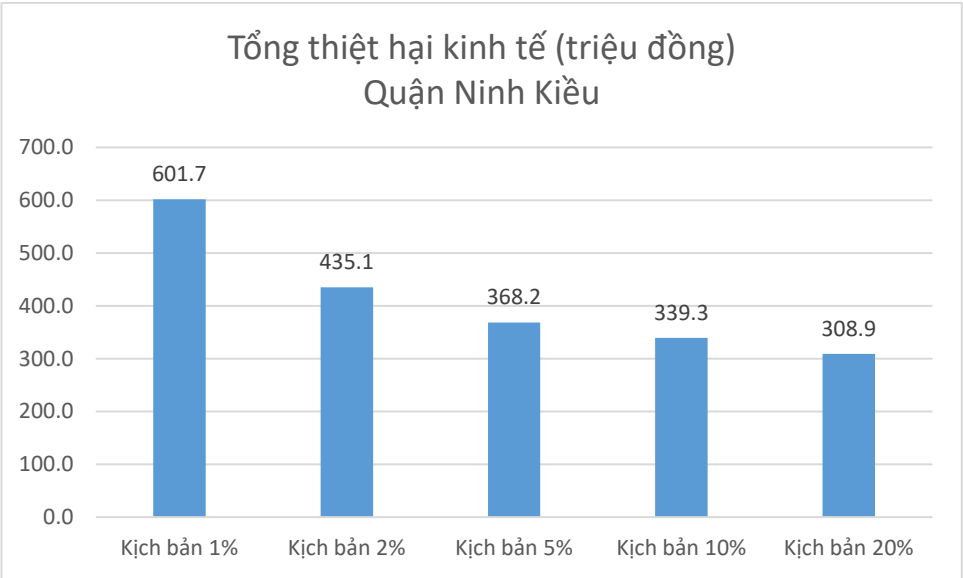
STT	Loại đối tượng	Thiệt hại kinh tế do ngập lụt (Triệu đồng)					
		Kịch bản 1%	***Kịch bản 2%***	***Kịch bản 5%***	***Kịch bản 10%***	***Kịch bản 20%***	***Kịch bản ngập thông thường***
1	Đất trồng cây hàng năm	10.72	0.25	0.07	0.06	0.04	0.13
2	Cơ quan chính phủ	33.56	115.36	89.26	78.84	71.31	30.40
3	Đất trồng cây lâu năm	168.14	41.48	6.20	3.81	3.02	4.22
4	Thương mại	5.58	8.67	2.98	2.77	2.64	1.27
5	Kinh doanh	50.40	29.89	5.71	4.18	1.54	2.41
6	Giáo dục	428.69	426.04	379.04	346.89	311.10	132.93
7	Y tế	12.61	20.40	7.77	7.18	6.58	3.16
8	Đất trồng lúa	51.06	0.54	0.00	0.00	0.00	0.53
9	Công nghiệp	57.23	97.45	1.31	0.00	0.00	3.56
10	Đất ở	485.54	178.37	73.83	62.47	57.00	31.55
11	Đất nuôi trồng thủy sản	2.47	7.18	0.76	0.57	0.53	0.44
	Tổng	**1306.00**	**925.63**	**566.95**	**506.76**	**453.75**	**210.60**

Đối với thiệt hại kinh tế, việc đánh giá thiệt hại trở nên rất khó khăn nếu thiếu các dữ liệu thống kê chi tiết của các đối tượng chịu tác động.

Việc thống kê thiệt hại kinh tế có thể được thực hiện với các đơn vị hành chính. Các dữ liệu thống kê cho lõi đô thị của thành phố Cần Thơ bao gồm 2 quận Ninh Kiều và Bình Thủy được xác định như các biểu đồ 3.38. 3.39 và bảng 3.7, 3.8 sau:

Bảng 3.8. Thống kê thiệt hại kinh tế đối với ngập lụt trên khu vực quận Ninh Kiều

		Thiệt hại kinh tế(Triệu đồng)				
Phường	***Quận***	***Kịch bản 1%***	***Kịch bản 2%***	***Kịch bản 5%***	***Kịch bản 10%***	***Kịch bản 20%***
An Bình	**Ninh Kiều**	172.6	94.5	77.5	71.9	66.6
An Cư		4.2	5.2	4.5	3.7	3.3
An Hòa		11.6	6.3	5.8	5.1	4.2
An Khánh		69.5	86.9	78.6	72.1	63.6
An Nghiệp		2.2	1.4	1.3	1.2	1.1
An Phú		4.0	7.2	6.8	6.4	5.8
Cái Khế		206.8	145.6	110.2	100.7	92.8
Hưng Lợi		19.8	18.2	17.3	15.9	14.2
Tân An		14.5	8.9	8.4	8.0	7.0
Thới Bình		1.8	2.0	1.9	1.9	1.8
Xuân Khánh		94.8	59.0	55.7	52.4	48.7
Tổng		**601.7**	**435.1**	**368.2**	**339.3**	**308.9**

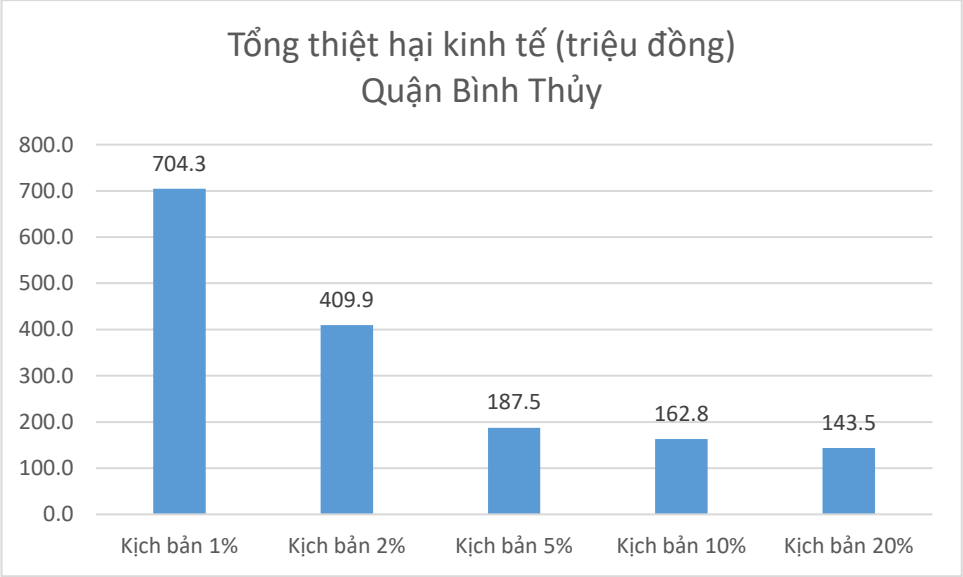


Hình 3.38. Biểu đồ thống kê dự đoán thiệt hại kinh tế do lũ tại quận Ninh Kiều

Thống kê cho thấy, tại quận Ninh Kiều, đối với kịch bản ngập lụt tồi tệ nhất, 100 năm xảy ra một lần (1%) thì tổng thiệt hại có thể lên tới hơn 600 triệu đồng, các kịch bản khác cho mức độ thiệt hại kinh tế thấp hơn. Mặc dù vậy, tổn thất là không thể tránh khỏi cho dù đã có hệ thống quản lý ngập của thành phố.

Bảng 3.9. Thống kê thiệt hại kinh tế đối với ngập lụt trên khu vực quận Bình Thủy

		Thiệt hại kinh tế(Triệu đồng)				
Phường	***Quận***	***Kịch bản 1%***	***Kịch bản 2%***	***Kịch bản 5%***	***Kịch bản 10%***	***Kịch bản 20%***
An Thới	**Bình Thủy**	54.5	45.3	11.2	9.6	8.9
Bình Thuỷ		78.2	41.9	33.9	31.5	24.1
Bùi Hữu Nghĩa		147.7	112.6	43.3	33.8	31.2
Long Hoà		95.1	38.3	14.0	11.8	10.5
Long Tuyền		126.5	120.0	68.2	61.8	56.8
Thới An Đông		125.3	21.6	9.6	8.6	7.7
Trà An		22.1	17.0	2.1	1.2	1.0
Trà Nóc		54.9	13.1	5.2	4.4	3.4
Tổng		**704.3**	**409.9**	**187.5**	**162.8**	**143.5**



Hình 3.39. Biểu đồ thống kê dự đoán thiệt hại kinh tế do lũ tại quận Bình Thủy

Dữ liệu tổng hợp cho thấy, tại quận Bình Thủy, tổng thiệt hại kinh tế có mức độ giao động lớn khi so sánh giữa các kịch bản ngập lụt, mức độ cao nhất lên tới hơn 700 triệu đồng, trong khi mức độ thấp nhất chỉ là 143.5 triệu. Biên độ giao động lớn có thể được lý giải bởi sự chênh lệch lớn về mức độ ngập giữa các kịch bản ở khu vực này. Trên thực tế, địa hình của quận Bình Thủy, đặc biệt là khu vực ven đường Cách mạng tháng 8 và dọc trục đường Nguyễn Văn Linh là tương đối thấp, ở các kịch bản thấp, hệ

thống chống ngập phát huy tác dụng khiến cho mức nước không quá cao, tuy nhiên, đối với các kịch bản có độ khắc nghiệt cao như 1% hoặc 2% thì hệ thống chống ngập không thể làm việc hiệu quả, hệ quả là khu vực địa hình trũng thấp của Bình Thủy nhanh chóng bị ngập ở mức sâu hơn rất nhiều, khiên cho thiệt hại tăng lên đáng kể.

3.3. Kết quả đánh giá rủi ro ngập lụt trong điều kiện biến đổi khí hậu

3.3.1. Kết quả đánh giá mức ngập tại các điều kiện biến đổi khí hậu

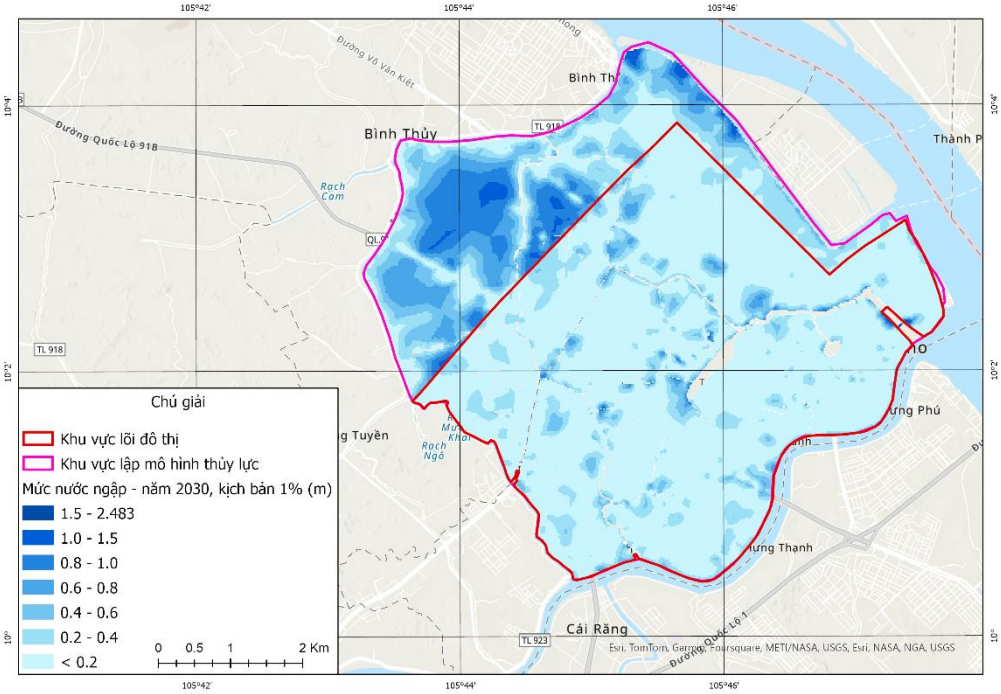
Dựa trên kết quả mô hình, các bản đồ ngập lụt (hình 3.40 đến hình 3.49) được xây dựng nhằm đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới ngập lụt.

Đối với các kịch bản biến đổi khí hậu tới năm 2030, kết quả mô hình hóa cho thấy diện ngập tăng lên không nhiều ở các kịch bản tuy nhiên, độ sâu ngập lại có chiều hướng tăng lên ở toàn bộ các kịch bản.

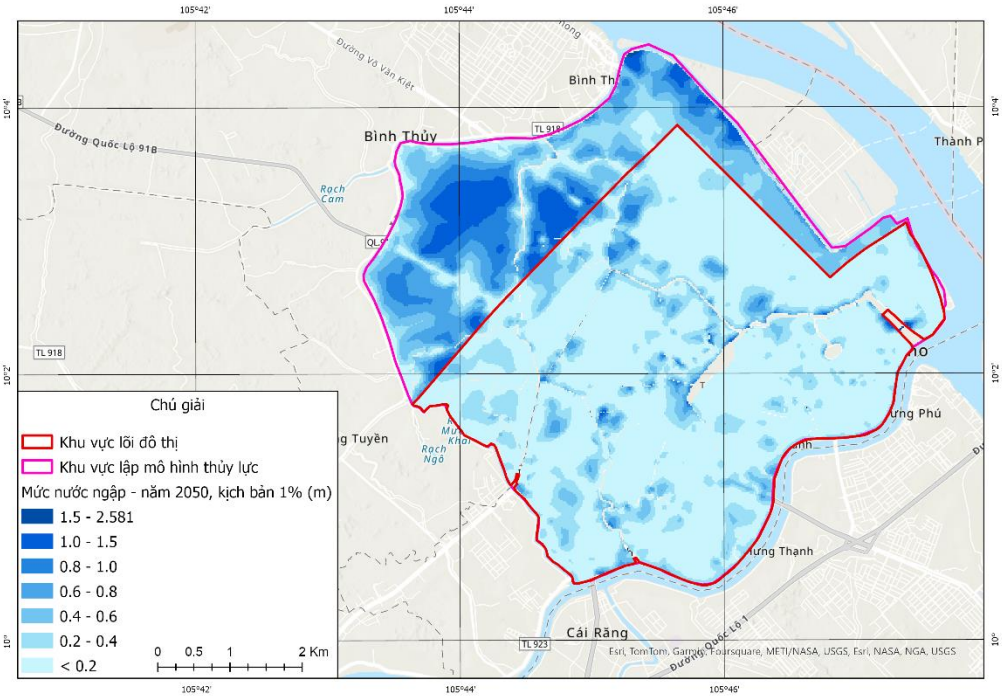
Ở kịch bản 1%, khi diễn ra các điều kiện về mưa và mức nước ở mức lặp lại 100 năm thì các kết quả đều cho thấy diện ngập là rất lớn. Ở trường hợp này, các hệ thống tiêu thoát, chống ngập trở nên quá tải và mất tác dụng. Tuy nhiên, xem xét kỹ hơn về diện ngập và mức nước ngập đều cho thấy, ở mức biến đổi khí hậu năm 2030, mức ngập tăng lên và diện ngập bao phủ gần như toàn bộ diện tích khu vực nội đô thành phố so với hiện trạng. Đối với kịch bản năm 2050, mức ngập và diện ngập tăng lên rõ rệt.

Xem xét kịch bản 2% và 5% cho thấy: diện tích ngập lan từ phía Bắc của khu vực đô thị phần giáp với sông Hậu xuống dần các khu vực phía Tây và Nam của lõi đô thị thành phố. Các kịch bản này cũng cho thấy tác động của biến đổi khí hậu là khá rõ ràng đối với mức độ ngập lụt và rủi ro ngập lụt của khu vực nghiên cứu.

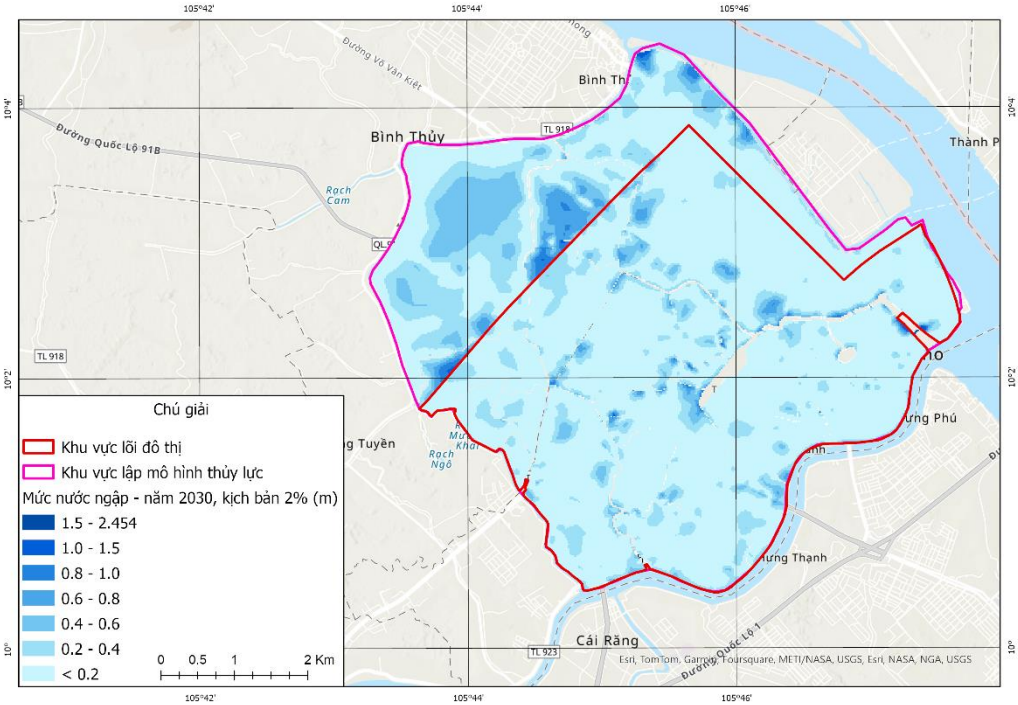
Đối với kịch bản 20%, với điều kiện mưa và mực nước lặp lại 5 năm thì mức ngập là rất thấp ở khu vực nội đô trong điều kiện hiện trạng, đặc biệt là với khu vực được bảo vệ bởi hệ thống chống ngập của thành phố. So sánh với hiện trạng thì kịch bản 2030 không cho nhiều sự thay đổi, ngập lụt chủ yếu chỉ diễn ra phía ngoài khu vực bảo vệ của hệ thống chống ngập thành phố, diện ngập và mức nước ngập chỉ tăng nhẹ. Tuy nhiên, đối với kịch bản biến đổi khí hậu 2050, diện ngập và khu vực chịu ngập sâu đã lan rộng trong khu vực bảo vệ của thành phố, trầm trọng nhất sẽ là các khu vực trũng thấp ven sông Hậu.



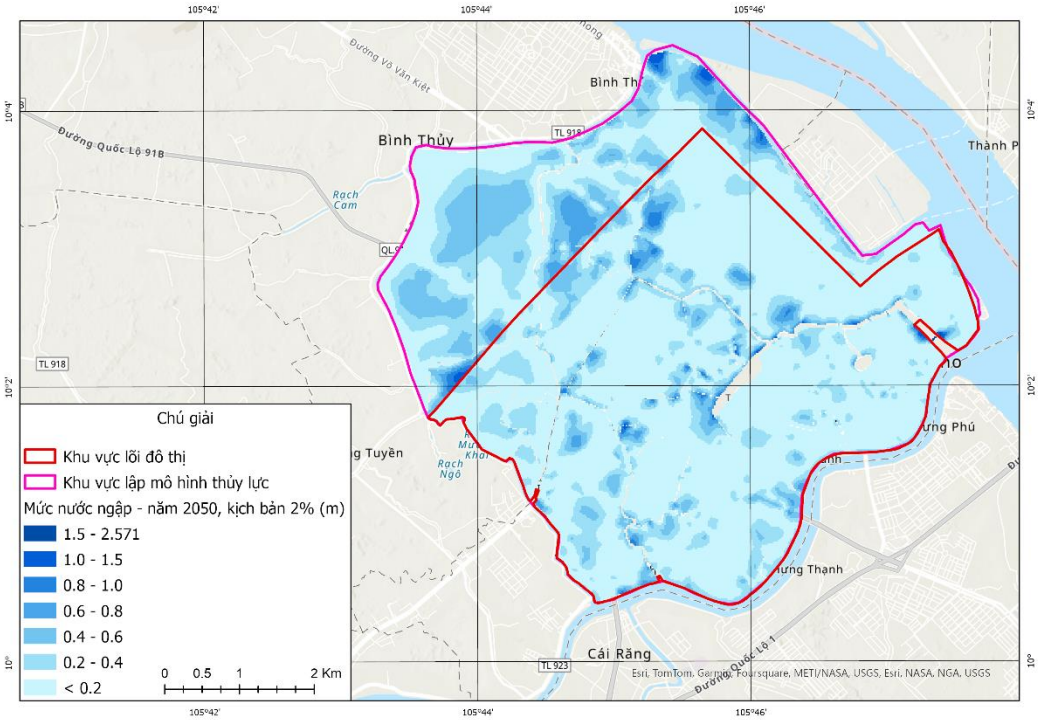
Hình 3.40. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 1%



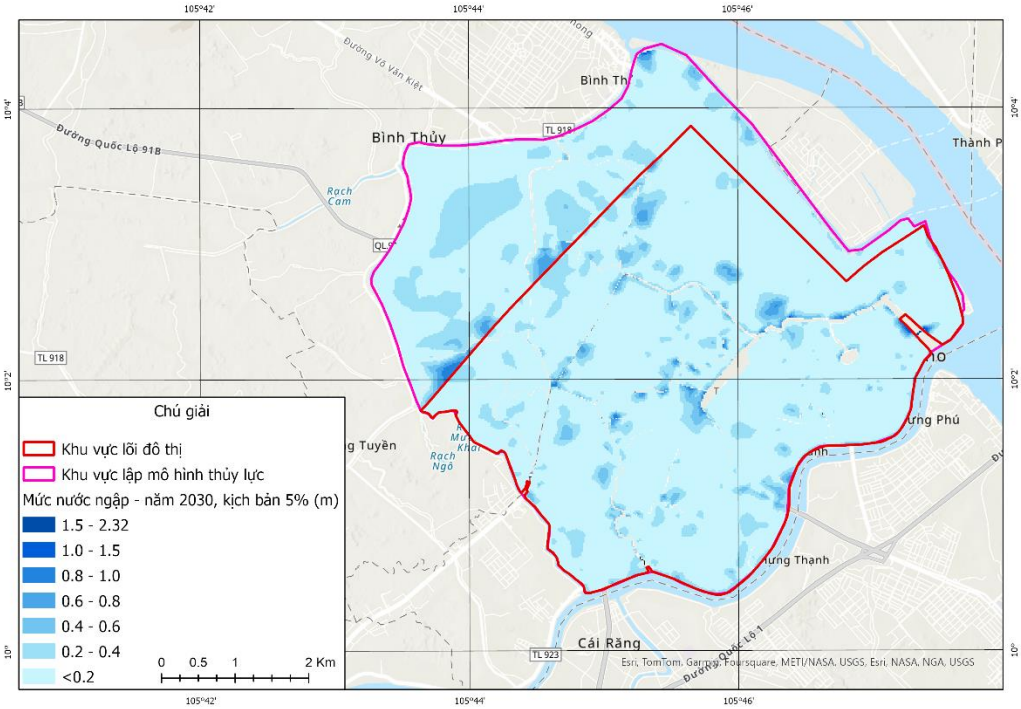
Hình 3.41. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 1%



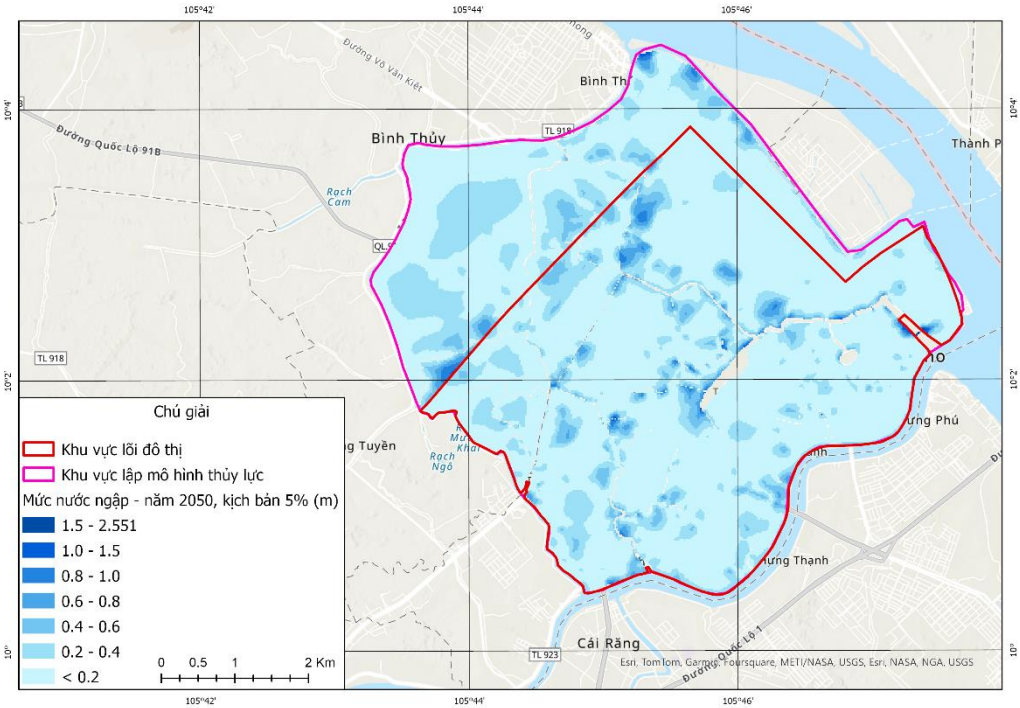
Hình 3.42. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 2%



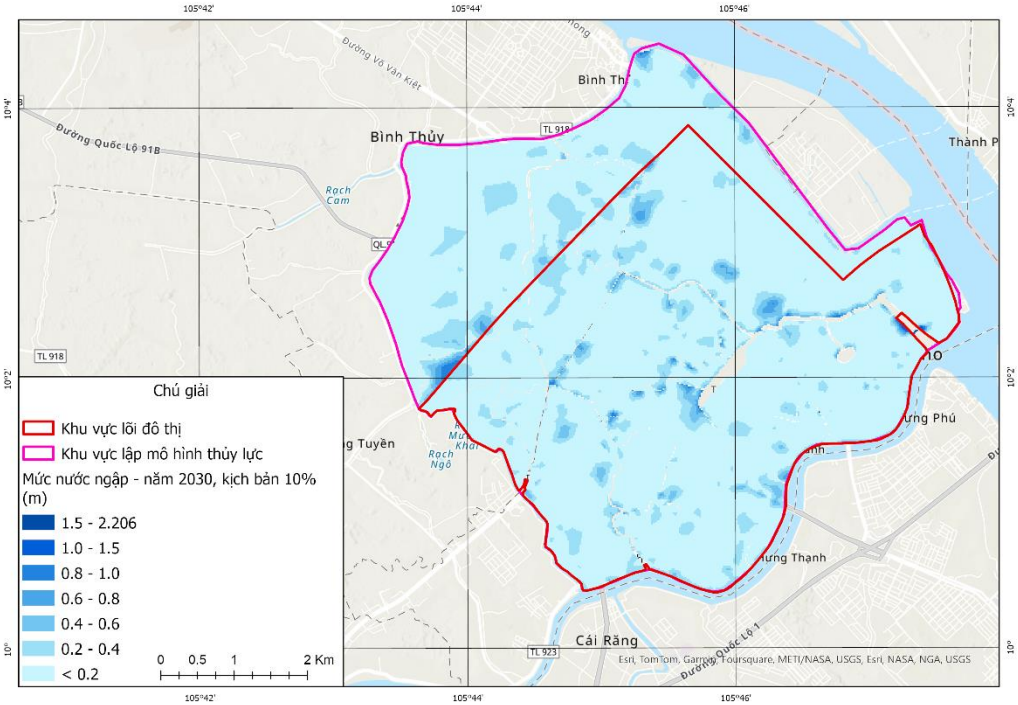
Hình 3.43. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 2%



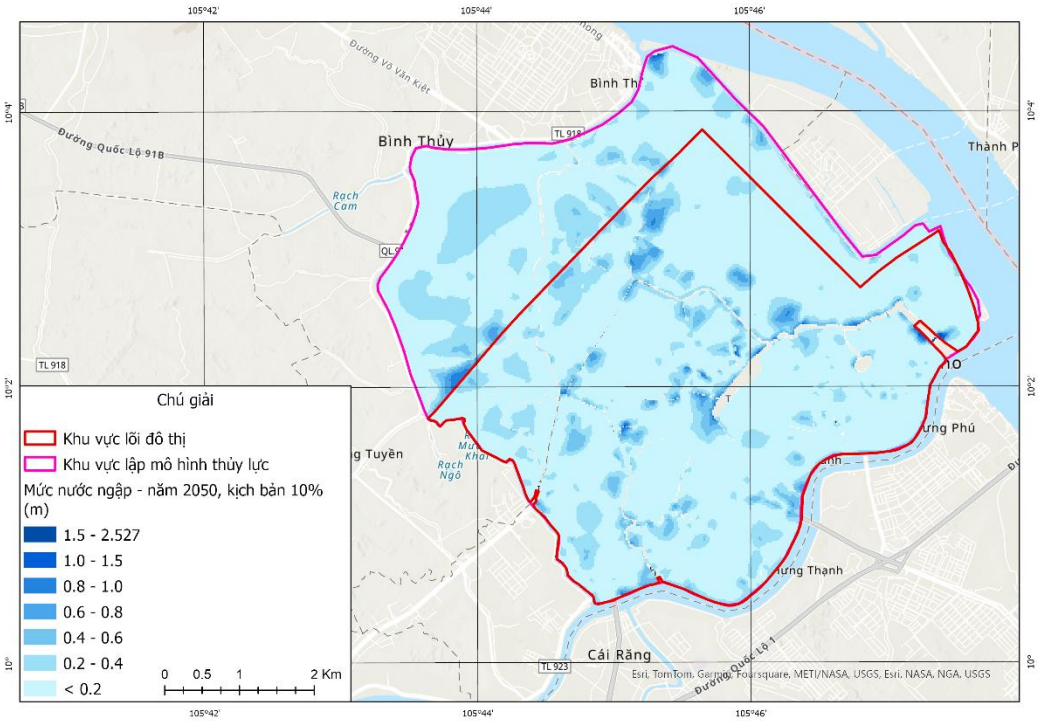
Hình 3.44. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 5%



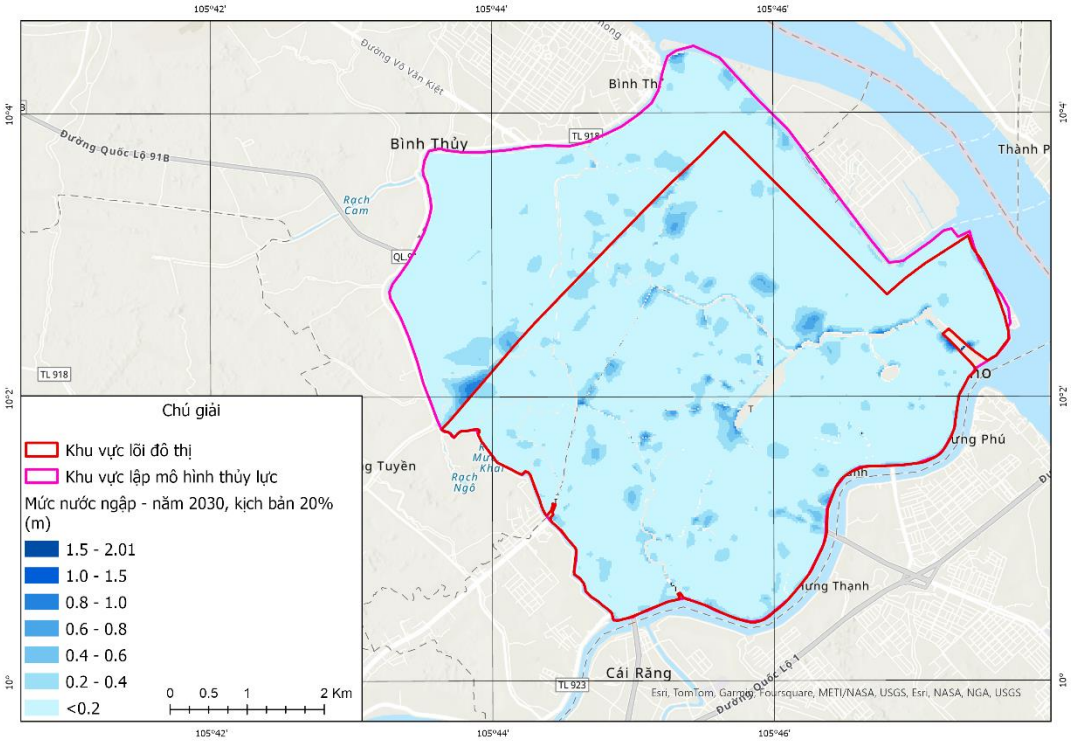
Hình 3.45. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 5%



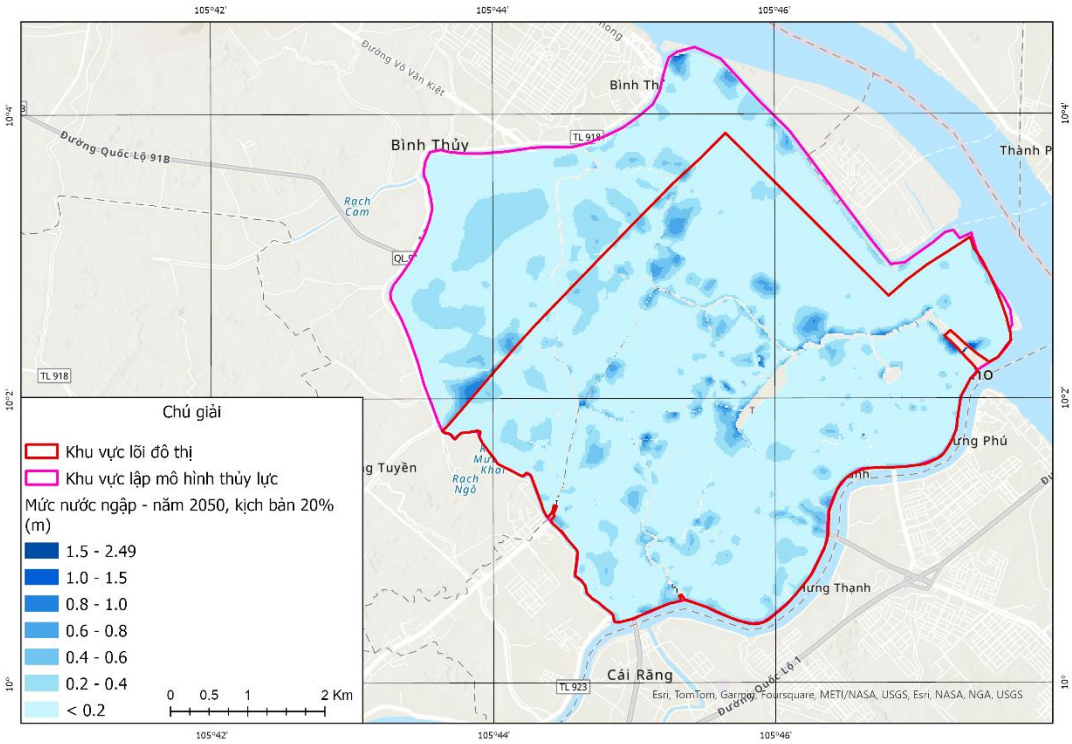
Hình 3.46. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 10%



Hình 3.47. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 10%



Hình 3.48. Mức ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 20%

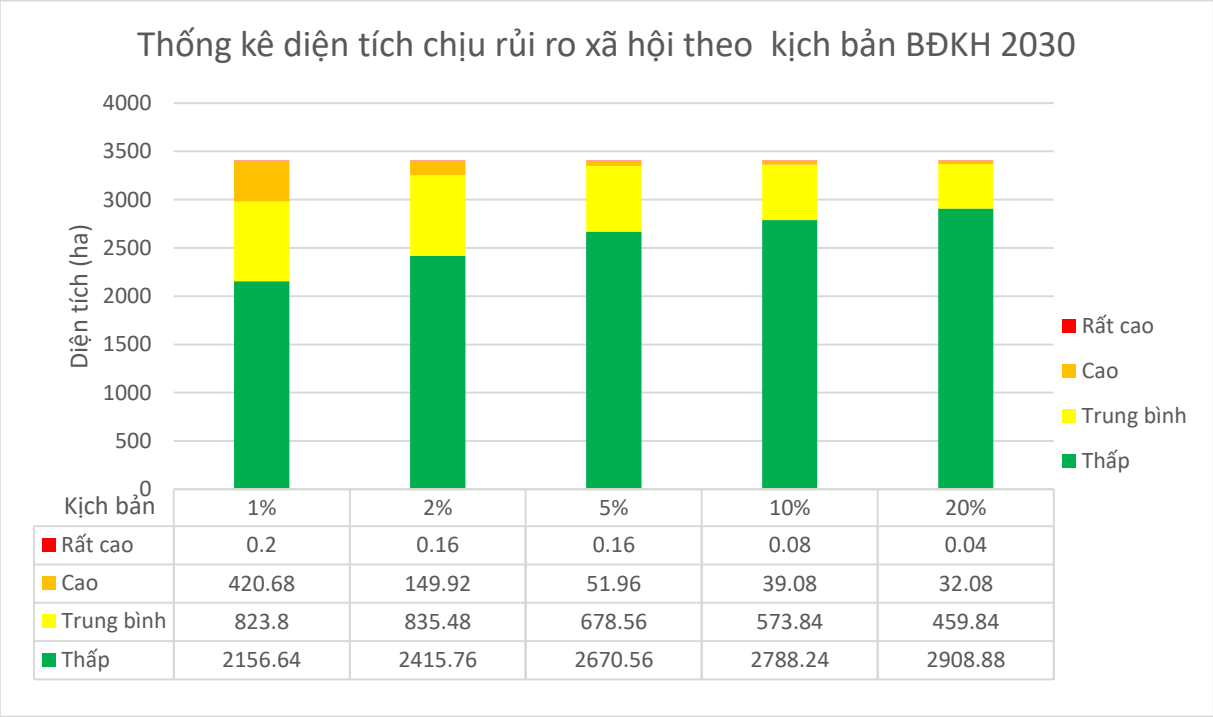


Hình 3.49. Mức ngập theo kịch bản 2050 của điều kiện 20%

3.3.2. Kết quả đánh giá hiểm họa ngập tại lõi đô thị Cần Thơ.

Hiểm họa ngập lụt tại Cần thơ được xác định từ mức nước ngập và vận tốc ngập. Kết quả nghiên cứu ngập lụt cho lõi đô thị thành phố Cần Thơ đã xây dựng được 10 bản đồ hiểm họa ngập lụt trên cơ sở kịch bản ngập lụt 1%, 2%, 5%, 10%.20% cho kịch bản biến đổi khí hậu 2030 và 2050. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy được mức độ ngập lụt tăng dần theo các kịch bản, đặc biệt là hiểm họa ngập lụt ở hai kịch bản biến đổi khí hậu ở năm 2050. Đặc biệt là với các điều kiện khắc nghiệt chu kỳ 100 năm sẽ vô hiệu hóa hoàn toàn hệ thống chống ngập mà thành phố đang hoàn thiện. Các bản đồ hiểm họa ngập ở điều kiện BĐKH 2030 và 2050 được trình bày tại các hình 3.57 đến 3.66

Trên cơ sở dữ liệu từ bản đồ hiểm họa, NCS đã tiến hành thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập về xã hội tương ứng với kịch bản BĐKH năm 2030 cho thấy mức độ ngập rất cao nằm ở kịch bản 1%, mức hiểm họa ngập giảm dần theo các kịch bản và thấp nhất nằm ở kịch bản 20% (hình 3.50)



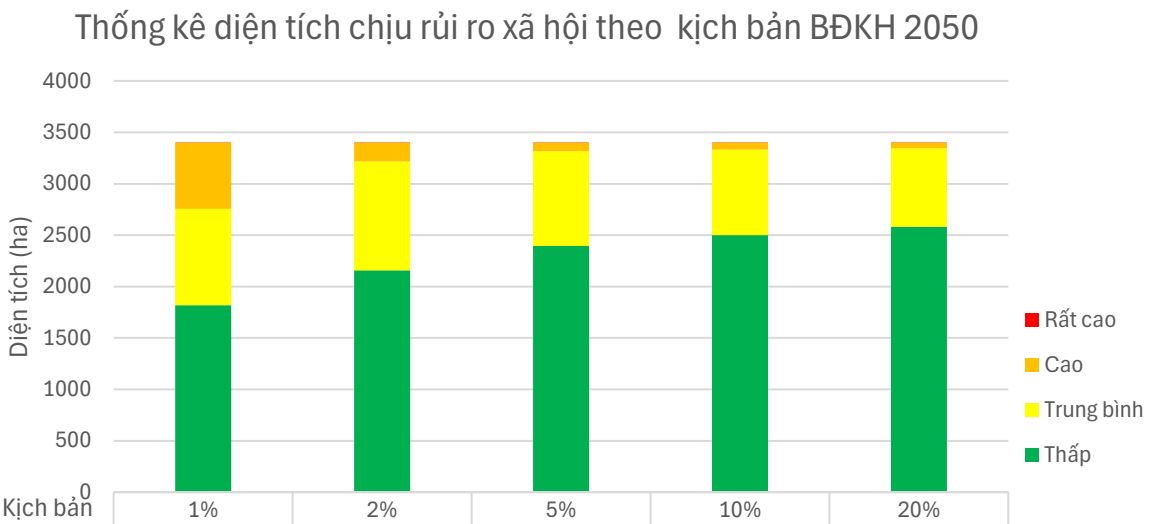
Kịch bản	1%	2%	5%	10%	20%
Rất cao	0.2	0.16	0.16	0.08	0.04
Cao	420.68	149.92	51.96	39.08	32.08
Trung bình	823.8	835.48	678.56	573.84	459.84
Thấp	2156.64	2415.76	2670.56	2788.24	2908.88

Hình 3.50: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập về xã hội tương ứng với kịch bản BĐKH năm 2030.

Thống kê cho thấy đối với sự kiện 1% (100 năm xảy ra 1 lần) sẽ là kịch bản có diện tích chịu hiểm họa cao nhất. Đây cũng là sự kiện có diện tích chịu hiểm họa mức

Cao lớn nhất, điều này dẫn đến do hệ thống chống ngập không đáp ứng được việc tiêu thoát nước. Điều này cũng xảy ra nhưng ở mức độ thấp hơn với sự kiện 2% (50 năm xảy ra một lần), diện tích ngập ở mức Cao là đáng kể. Đối với các sự kiện có điều kiện ít khắc nghiệt hơn, các dữ liệu cho thấy diện tích chịu hiểm họa chủ yếu chỉ nằm ở mức Thấp và Trung bình.

Từ dữ liệu hiểm họa, thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập tương ứng với kịch bản BĐKH 2050 cho thấy, diện tích chịu hiểm họa rất cao ở kịch bản 1%, giảm dần đối với các kịch bản ít khắc nghiệt hơn và thấp nhất tại kịch bản 20% (hình 3.51).



Kịch bản	1%	2%	5%	10%	20%
Rất cao	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Cao	645.6	185.92	86.52	70.48	58.08
Trung bình	938.32	1058.96	919.68	830.92	760.76
Thấp	1817.32	2156.36	2395.04	2499.8	2582.32

Hình 3.51. Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập về xã hội tương ứng với kịch bản BĐKH năm 2050.

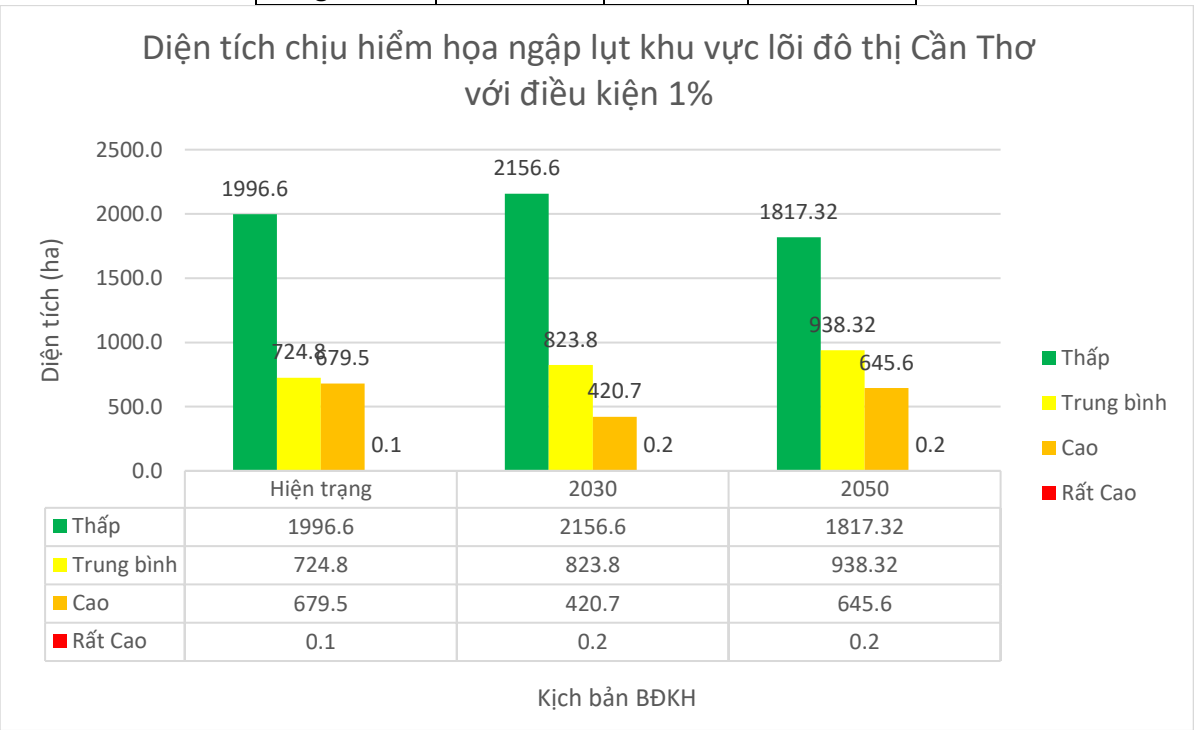
Theo đó, thống kê cho thấy, với các sự kiện có mức độ tăng dần về mức độ khắc nghiệt thì diện tích chịu hiểm họa tăng lên tương ứng. Đối với mức độ khắc nghiệt cao nhất được xét đến là sự kiện 1%(100 năm xảy ra 1 lần) thì có tới 645 ha chịu hiểm họa ở mức Cao.

Các số liệu thống kê được kết hợp cả 3 kịch bản biến đổi khí hậu: Hiện trạng, 2030 và 2050 trong các bảng số liệu chung nhằm xác định tác động của biến đổi khí hậu tới hiểm họa. Các số liệu thống kê này được trình bày trong các bảng 3.10 đến 3.14 và các hình 3.52 đến 3.57 tương ứng cho các điều kiện khắc nghiệt 1%, 2%, 5%,

10%, và 20%.

Bảng 3.10. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 1%

	Điều kiện khắc nghiệt 1%		
Hiểm họa	***Hiện trạng***	***2030***	***2050***
Thấp	1996.6	2156.6	1817.32
Trung bình	724.8	823.8	938.32
Cao	679.5	420.7	645.6
Rất Cao	0.1	0.2	0.2
Tổng	**3401.0**	**3401.3**	**3401.4**

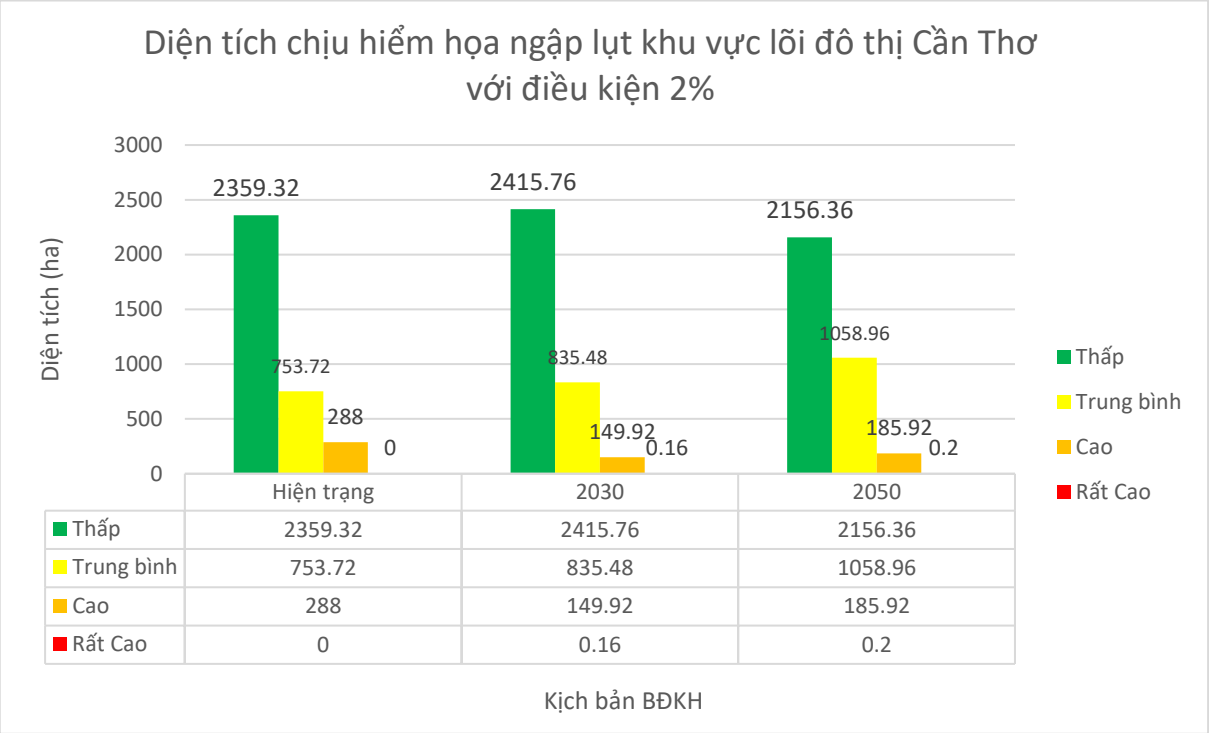


Hình 3.52: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với điều kiện 1%.

Xét sâu hơn về điều kiện 1%, khi lượng mưa và nước triều/lũ ở điều kiện 100 năm xảy ra một lần thì ở bất cứ kịch bản nào, hiện trạng hay trong tương lai 2030-2050, mức hiểm họa lũ đều vượt qua khả năng chịu đựng của hệ thống chống ngập hiện tại. Ngay cả ở hiện trạng với thì có tới hơn 679 ha nằm trong diện hiểm họa cao, còn với kịch bản biến đổi khí hậu ở năm 2050 thì điều kiện 1% cho là hơn 645 ha diện tích của lõi đô thị Cần Thơ đều nằm trong hiểm họa cao và rất cao. Trên thực tế, với điều kiện 1%, toàn bộ hệ thống thoát nước đều quá tải.

Bảng 3.11. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 2%

	Điều kiện khắc nghiệt 2%		
Hiểm họa	***Hiện trạng***	***2030***	***2050***
Thấp	2359.32	2415.76	2156.36
Trung bình	753.72	835.48	1058.96
Cao	288	149.92	185.92
Rất Cao	0	0.16	0.2
Tổng	**3401.0**	**3401.3**	**3401.4**

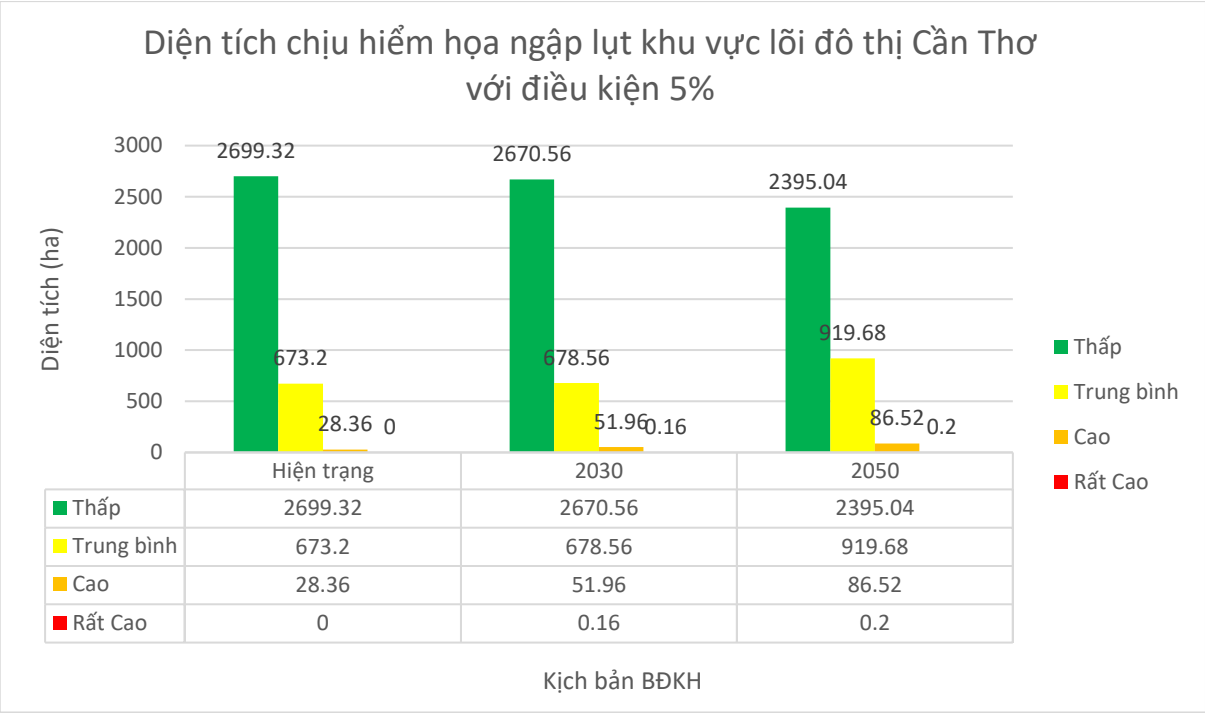


Hình 3.53: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với điều kiện 2%

Đối với điều kiện 2%, khi các điều kiện lặp lại với tần suất 50 năm, thì ta có thể thấy tác dụng của hệ thống chống ngập là khá tốt đối với các kịch bản BĐKH. Ở cả 3 kịch bản này, hiểm họa lũ là không quá lớn. Hiểm họa lũ có xu hướng tăng lên đều đặn từ hiện tại tới các kịch bản BĐKH tương lai.

Bảng 3.12. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 5%

	Điều kiện khắc nghiệt 5%		
Hiểm họa	***Hiện trạng***	***2030***	***2050***
Thấp	2699.32	2670.56	2395.04
Trung bình	673.2	678.56	919.68
Cao	28.36	51.96	86.52
Rất Cao	0	0.16	0.2
Tổng	**3400.9**	**3401.2**	**3401.4**

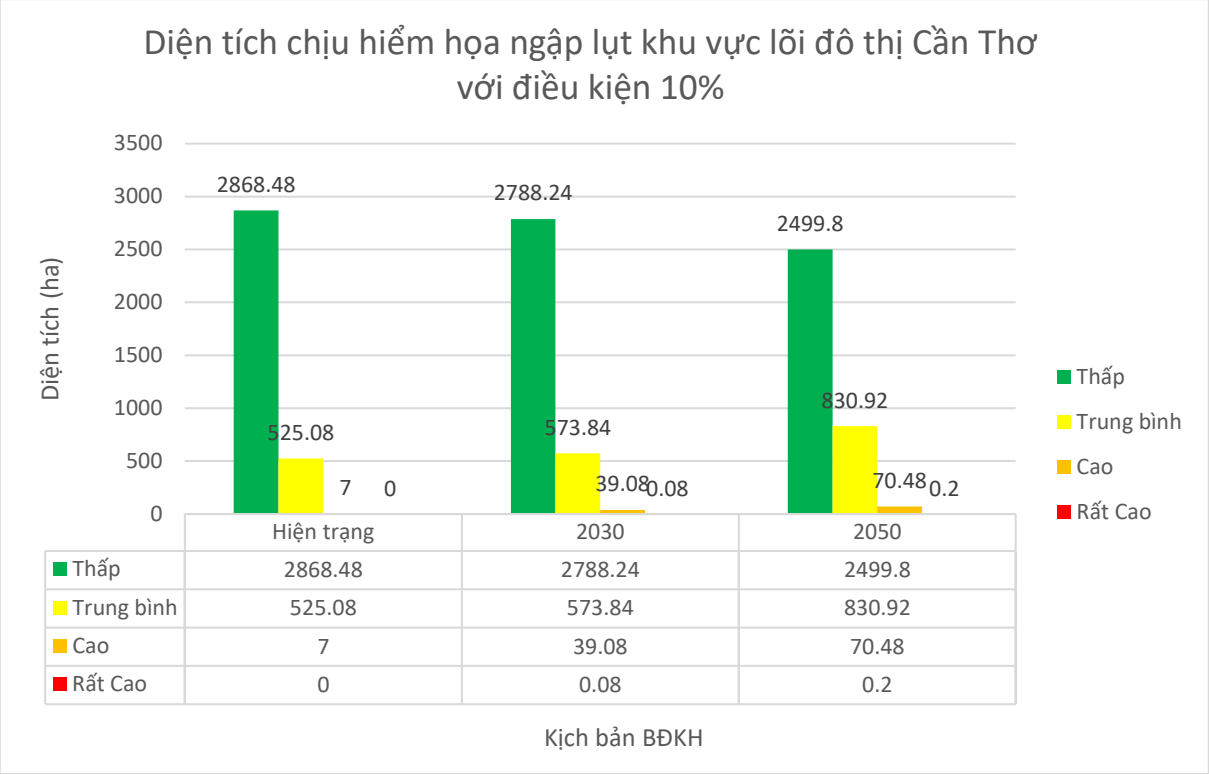


Hình 3.54: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với điều kiện 5%

Điều xảy ra với điều kiện 5% hệ thống chống ngập vẫn hoạt động tốt ở kịch bản biến đổi khí hậu cho 2050 khiến cho chỉ một số lượng diện tích nhỏ chịu hiểm họa ở mức Cao.

Bảng 3.13. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 10%

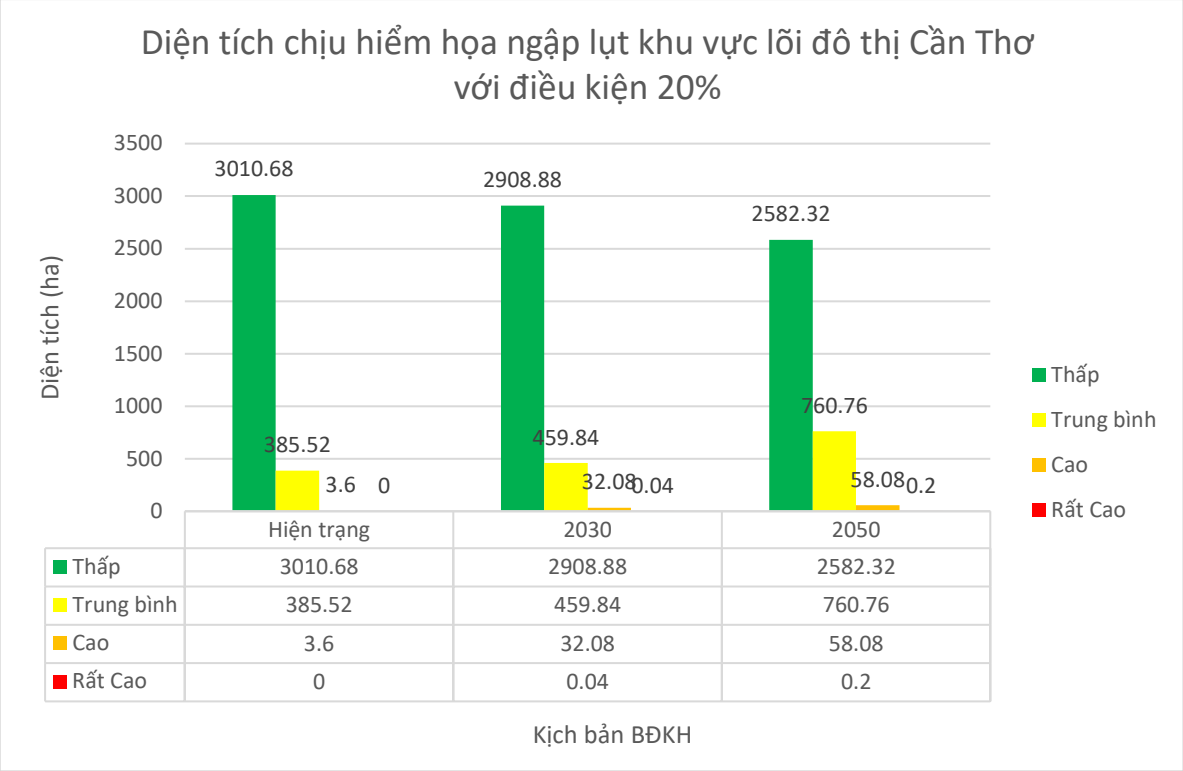
	Điều kiện khắc nghiệt 10%		
Hiểm họa	***Hiện trạng***	***2030***	***2050***
Thấp	2868.48	2788.24	2499.8
Trung bình	525.08	573.84	830.92
Cao	7	39.08	70.48
Rất Cao	0	0.08	0.2
Tổng	**3400.6**	**3401.2**	**3401.4**



Hình 3.55: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với điều kiện 10%

Bảng 3.14. Thống kê mức độ hiểm họa tương ứng với điều kiện khắc nghiệt 20%

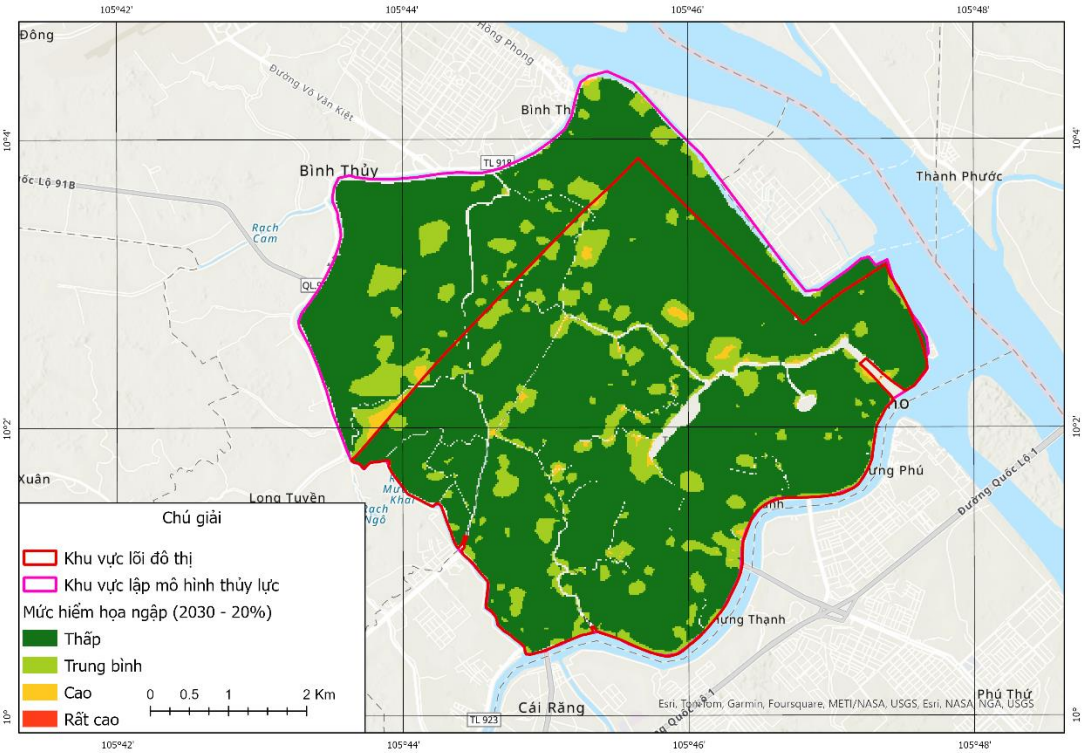
	Điều kiện khắc nghiệt 20%		
Hiểm họa	***Hiện trạng***	***2030***	***2050***
Thấp	3010.68	2908.88	2582.32
Trung bình	385.52	459.84	760.76
Cao	3.6	32.08	58.08
Rất Cao	0	0.04	0.2
Tổng	**3399.8**	**3400.8**	**3401.4**



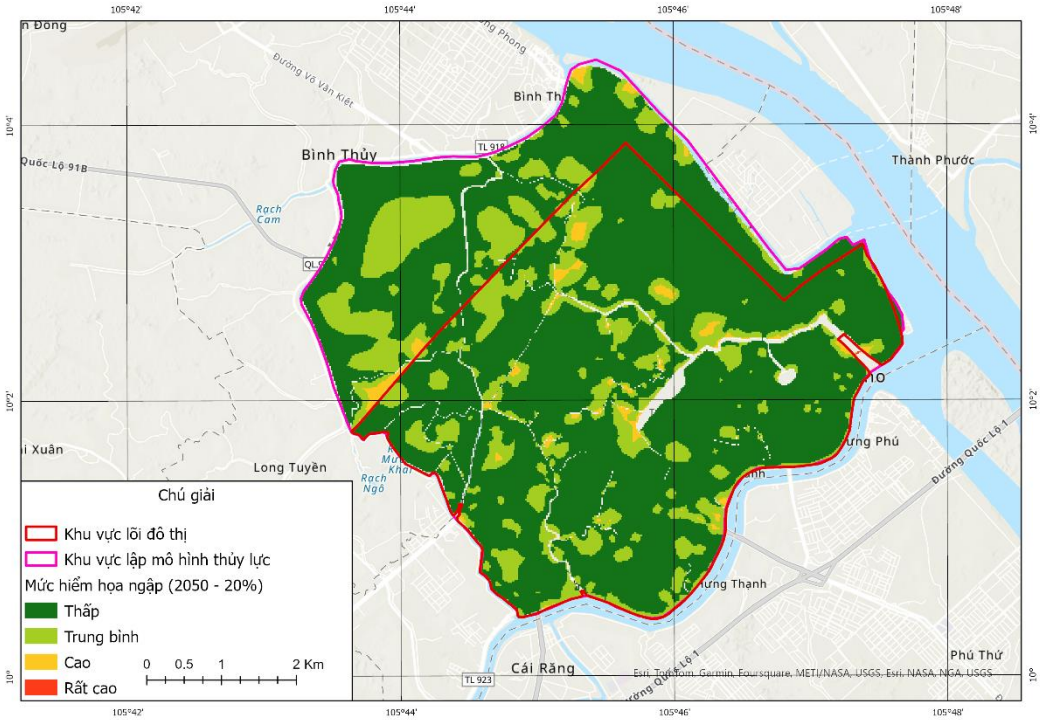
Hình 3.56: Thống kê diện tích chịu hiểm họa ngập lụt tại lõi đô thị Cần Thơ với điều kiện 1%

Ở điều kiện 10% và 20%, tác dụng của hệ thống chống ngập là rất tốt, xuyên suốt bất kể là với kịch bản biến đổi khí hậu ở mức nào. Điều này cho thấy, hệ thống chống ngập đáp ứng được yêu cầu về hạn chế các hiểm họa ngập thông thường. Khi so sánh với thông tin về các đợt nước lớn cuối năm 2023, hệ thống chống ngập đã hoạt động tương đối tốt, mặc dù hệ thống này còn chưa hoàn thiện.

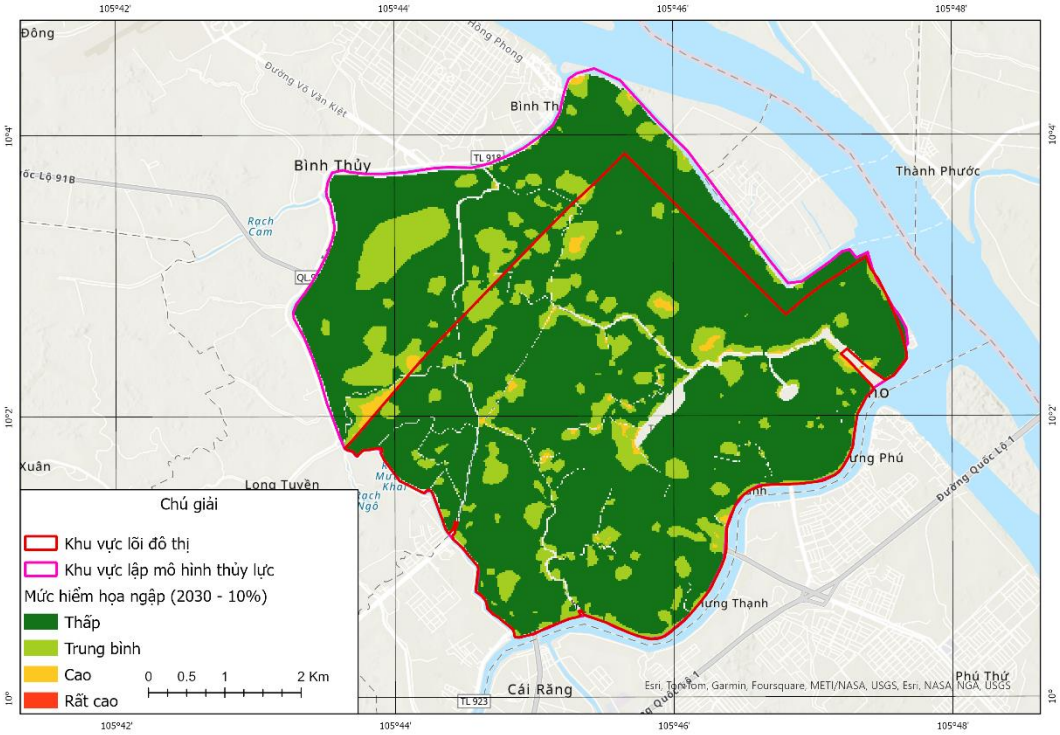
Các bản đồ Hiểm họa được trình bày trong các hình từ 3.57 đến 3.66, thể hiện rõ lõi đô thị của thành phố được bảo vệ bởi hệ thống chống ngập mới xây dựng. Trong khi đó, khu vực phía ngoài tường ngăn triều, Hiểm họa tương đối cao.



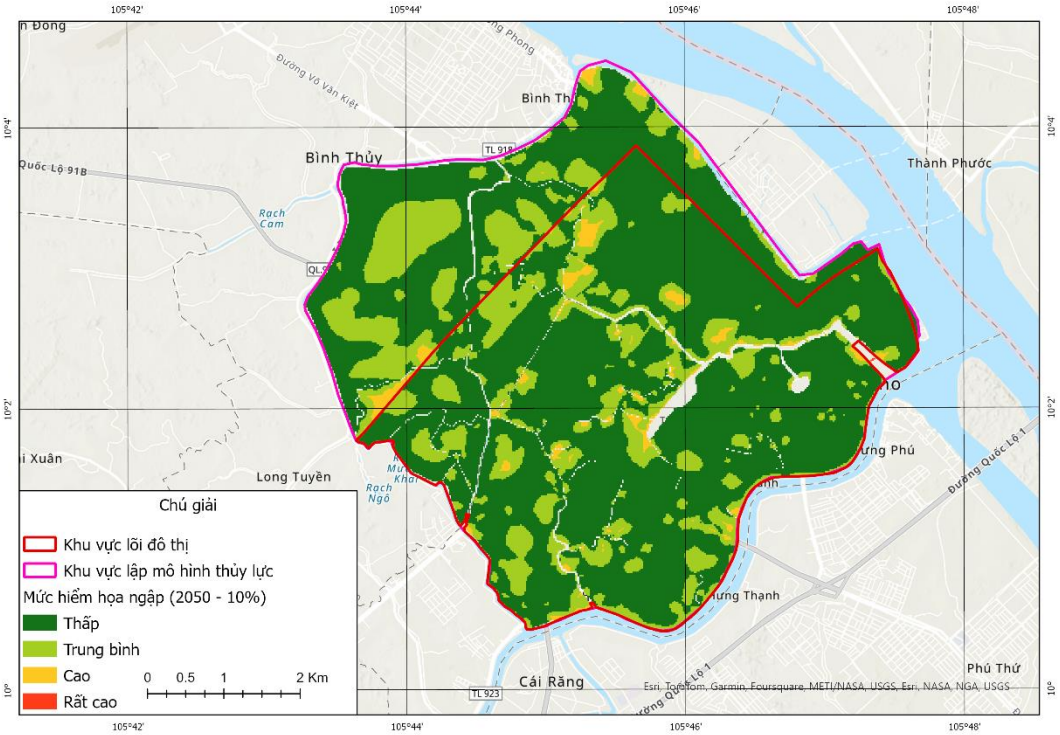
Hình 3.57. Hiểm họa ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 20%



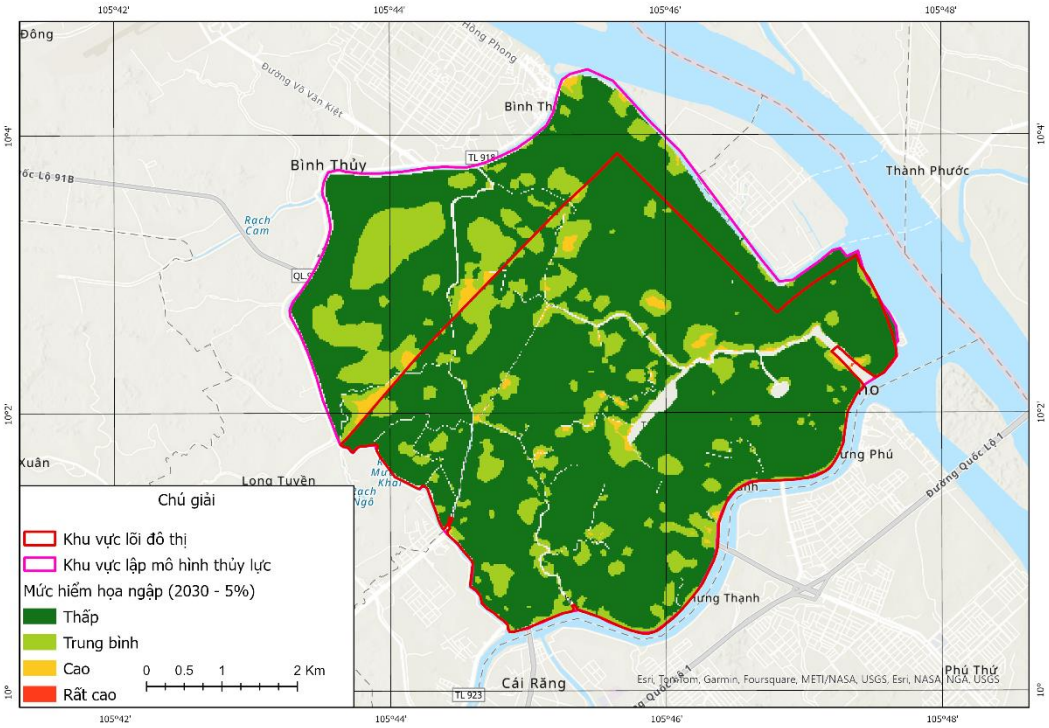
Hình 3.58. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 20%



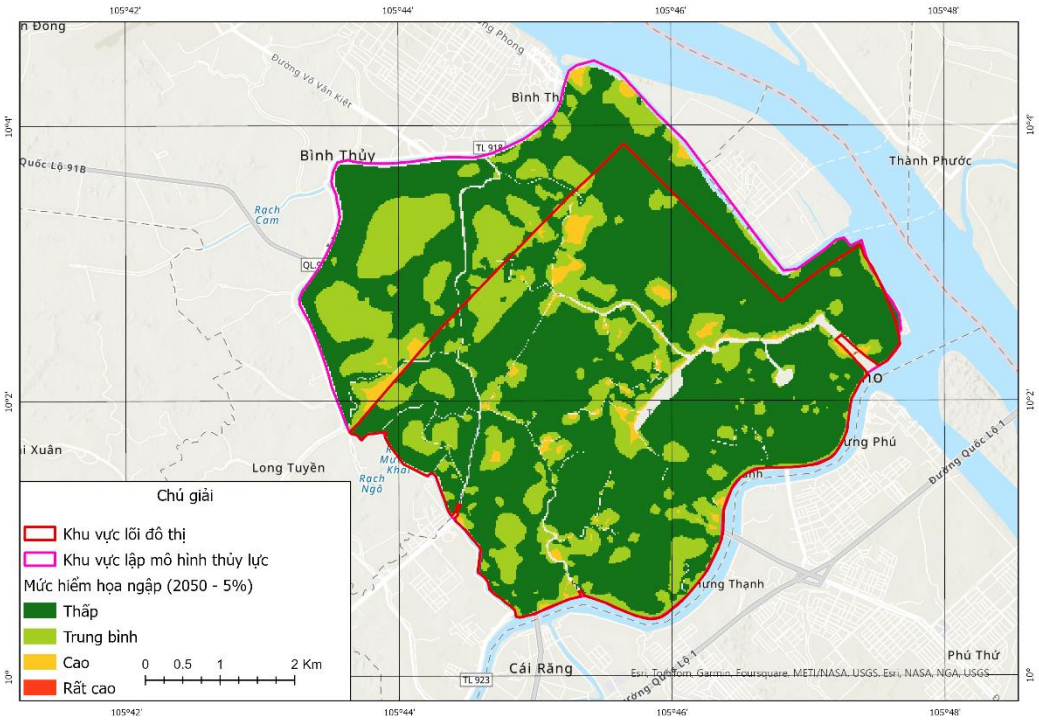
Hình 3.59. Hiểm họa theo kịch bản 2030 của điều kiện 10%



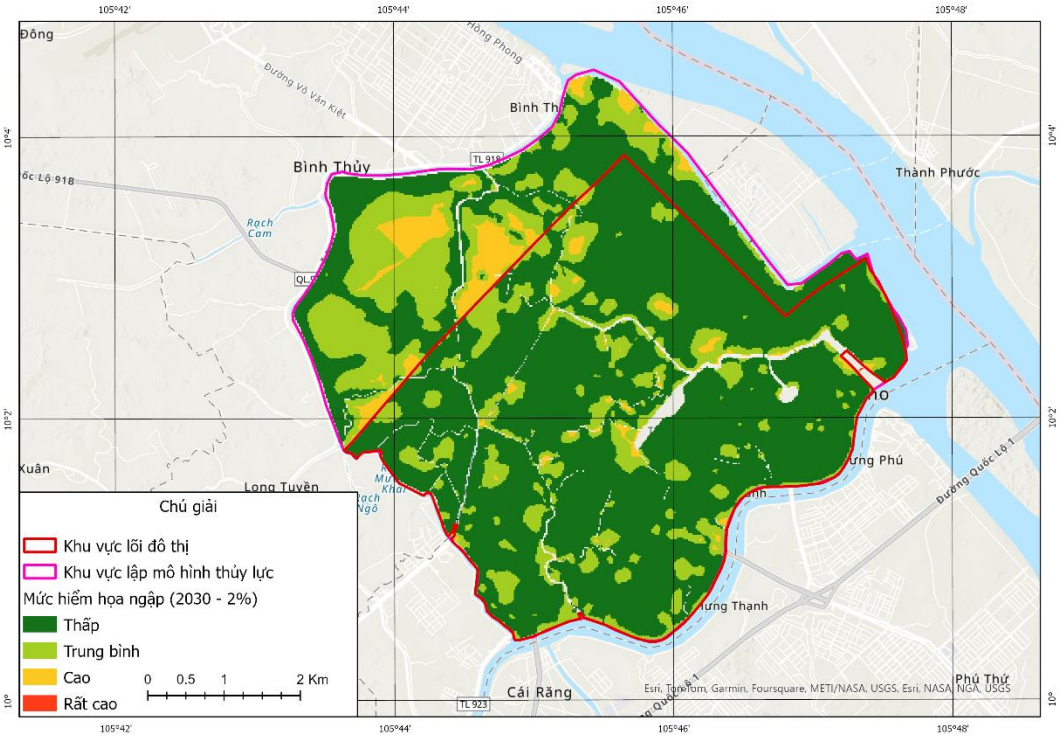
Hình 3.60. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 10%



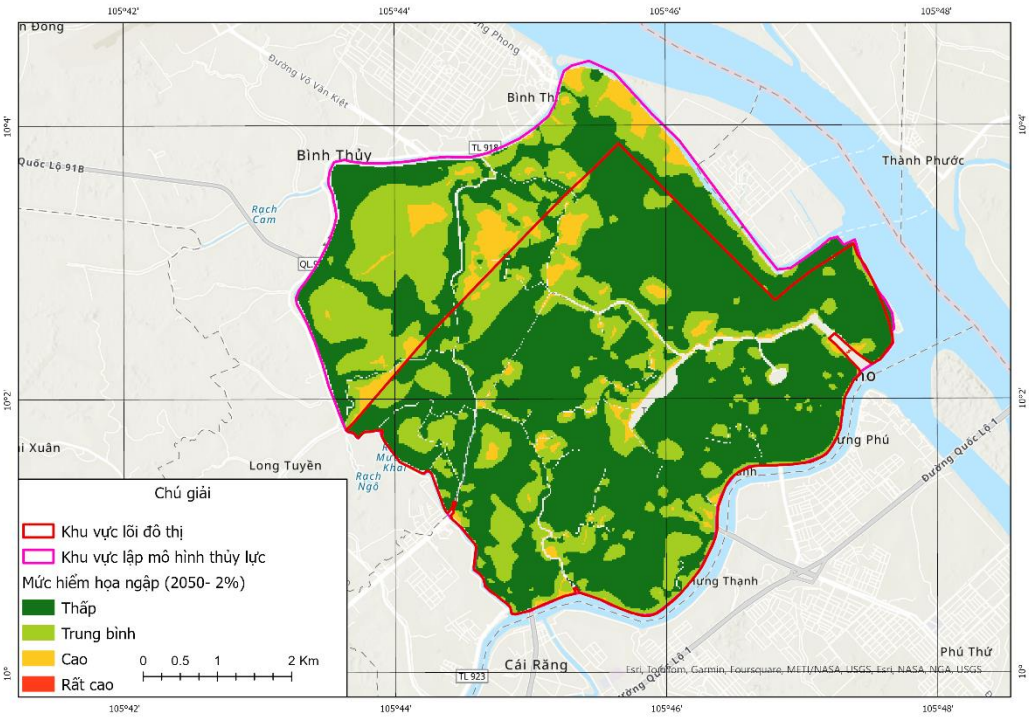
Hình 3.61. Hiểm họa ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 5%



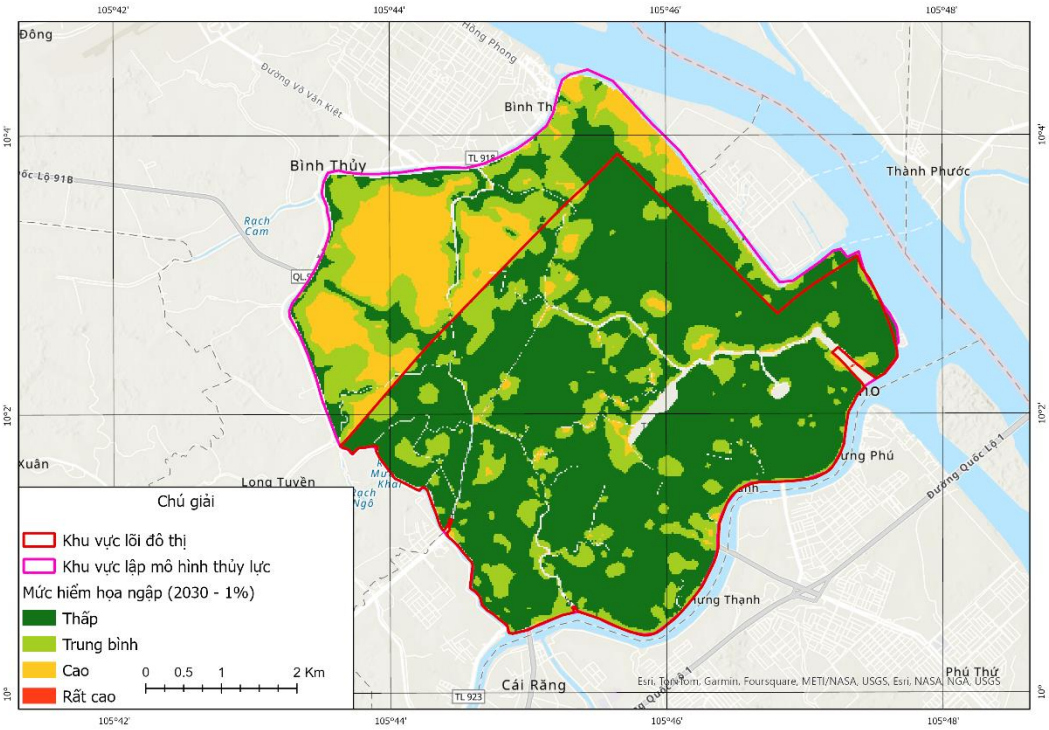
Hình 3.62. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 5%



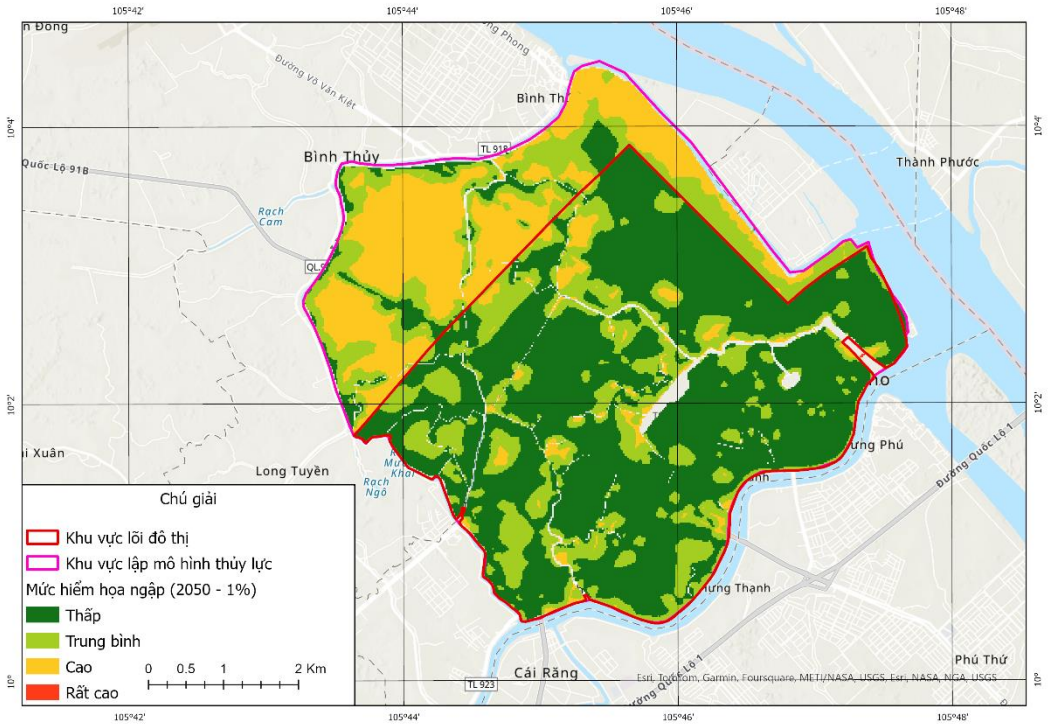
Hình 3.63. Hiểm họa ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 2%



Hình 3.64. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 2%



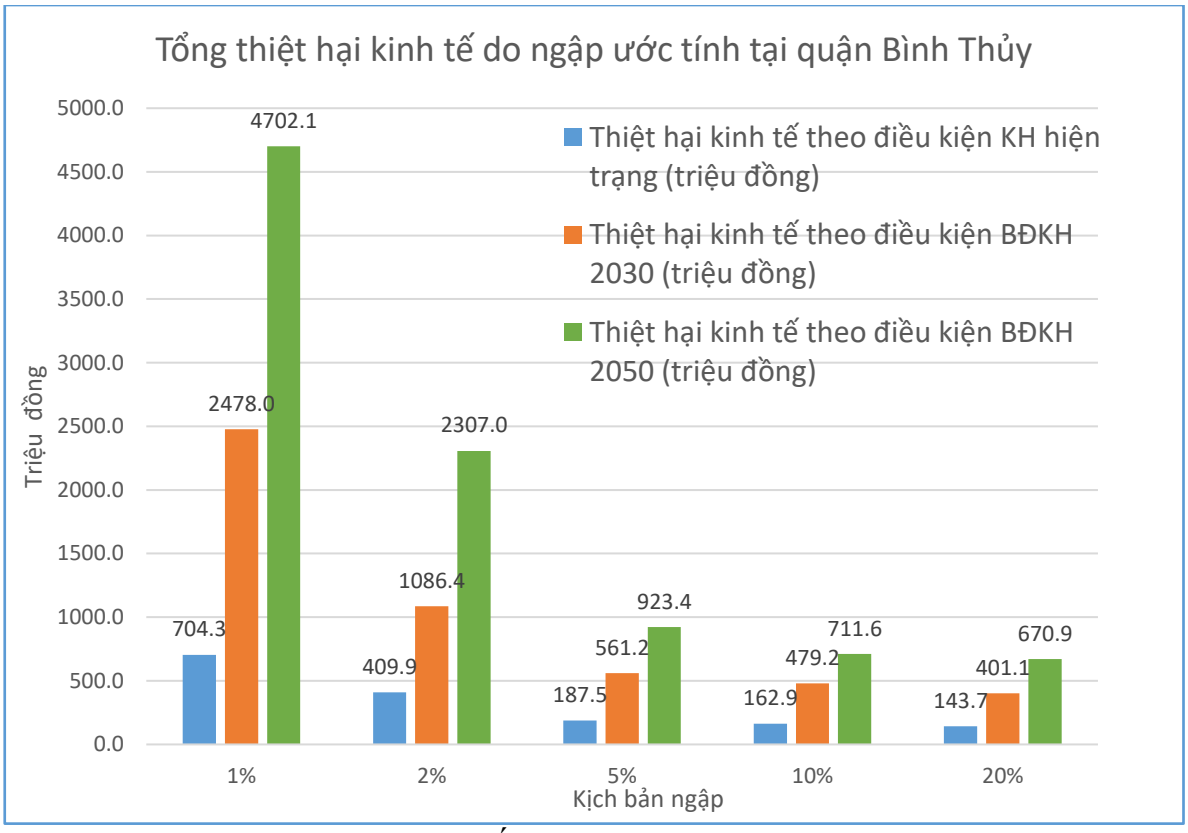
Hình 3.65. Hiểm họa ngập theo kịch bản 2030 của điều kiện 1%



Hình 3.66. Hiểm họa theo kịch bản 2050 của điều kiện 1%

3.3.3. Kết quả đánh giá thiệt hại kinh tế do ngập tại lõi đô thị Cần Thơ.

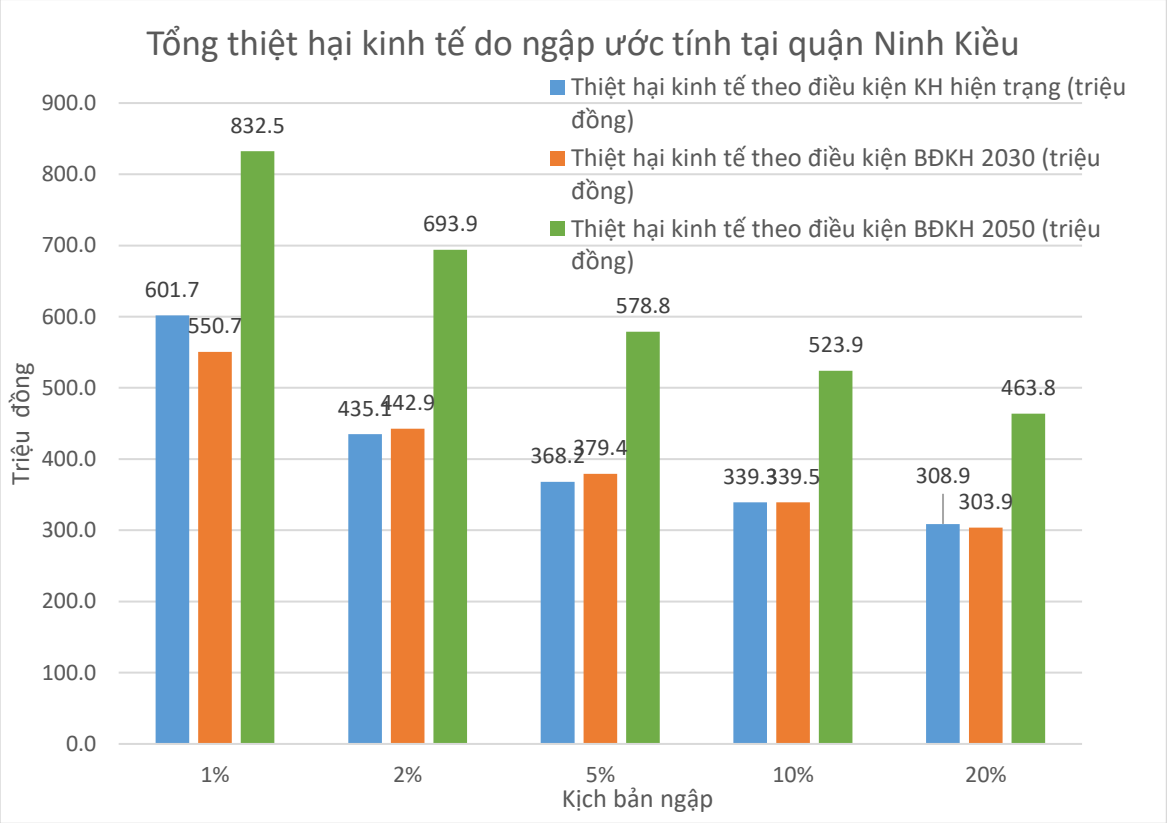
Đối với lõi đô thị của Cần Thơ, kết quả đánh giá cho thấy sự tăng lên đáng kể đối các thiệt hại kinh tế so sánh giữa các kịch bản biến đổi khí hậu trong tương lai. Các số liệu được biểu diễn dựa trên biểu đồ cho quận Bình Thủy (hình 3.67) và quận Ninh Kiều (hình 3.68), các bảng 3.15 và 3.16 :



Hình 3.67 : Thiệt hại kinh tế do ngập lụt ước tính tại quận Bình Thủy

Bảng 3.15. Thiệt hại kinh tế do ngập lụt ước tính tại quận Bình Thủy

	Thiệt hại kinh tế theo điều kiện KH hiện trạng (triệu đồng)				
Kịch bản	***1%***	***2%***	***5%***	***10%***	***20%***
Điều kiện hiện trạng	704.3	409.9	187.5	162.9	143.7
Điều kiện BĐKH 2030	2478.0	1086.4	561.2	479.2	401.1
Điều kiện BĐKH 2050	4702.1	2307.0	923.4	711.6	670.9



Hình 3.68: Thiệt hại kinh tế do ngập lụt ước tính tại quận Ninh Kiều

Bảng 3.16. Thiệt hại kinh tế do ngập lụt ước tính tại quận Ninh Kiều

	Thiệt hại kinh tế theo điều kiện KH hiện trạng (triệu đồng)				
Kịch bản	***1%***	***2%***	***5%***	***10%***	***20%***
Điều kiện hiện trạng	601.7	435.1	368.2	339.3	308.9
Điều kiện BĐKH 2030	550.7	442.9	379.4	339.5	303.9
Điều kiện BĐKH 2050	832.5	693.9	578.8	523.9	463.8

Số liệu cho thấy, khi biến đổi khi hậu ở mức độ càng khắc nghiệt hơn thì thiệt hại kinh tế ngày càng lớn. Ở trường hợp của quận Bình Thủy, đối với các kịch bản ngập với điều kiện khắc nghiệt 1 và 2%, thiệt hại kinh tế có thể nâng lên hơn gấp đôi đối với mỗi bước biến đổi khí hậu. Đây là do địa hình quận này có khoảng trũng thấp lớn ở phía Tây Nam không được bảo vệ.

Ở trường hợp của các phường thuộc quận Ninh Kiều, thiệt hại kinh tế có xu hướng thấp ở kịch bản 2030 và cao hơn ở kịch bản BĐKH 2050. Nguyên nhân là do phần lớn diện tích đất của quận này nằm trong khu vực bảo vệ của hệ thống tường ngăn triều. Tuy nhiên, đến điều kiện BĐKH của 2050, hệ thống chống ngập của thành phố có thể đã không đáp ứng được nhu cầu.

Việc phân tích 2 kịch bản BĐKH 2030 và 2050 cho thấy, tới năm 2030, mục tiêu về chống ngập lụt trong phát triển bền vững của nội đô TP Càn Thơ là có thể đạt được, tuy nhiên, với điều kiện BĐKHtại năm 2050, khu vực này vẫn chịu ảnh hưởng từ ngập lụt, điều này khiến cho việc đảm bảo mục tiêu phát triển bền vững tại khu vực này cần có thêm các biện pháp tốt hơn.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Từ nghiên cứu cho thấy, việc đánh giá rủi ro ngập lụt tại đô thị đã được nghiên cứu tương đối rộng trên thế giới và tại Việt Nam. Tại khu vực Cần Thơ, các nghiên cứu về rủi ro ngập lụt khá phong phú và đa dạng, từ đánh giá các thành phần rủi ro cho tới việc lượng giá một phần các thiệt hại kinh tế thông qua thống kê. Tuy nhiên, các nghiên cứu còn chưa hình thành khung đánh giá mang tính phổ qua và cũng chưa cho thấy khả năng lồng ghép đánh giá rủi ro với biến đổi khí hậu.

Nghiên cứu đã tiến hành xây dựng được khung đánh giá rủi ro ngập lụt đô thị, từ đó xây dựng công cụ đánh giá và áp dụng các công cụ này để xác định tác động của ngập lụt đô thị với kinh tế - xã hội của lõi đô thị Cần Thơ. Từ các kịch bản biến đổi khí hậu được cung cấp bởi Bộ Tài Nguyên – Môi trường, các kịch bản đầu vào BĐKH cho 2 giai đoạn 2030 và 2050 được xây dựng, nghiên cứu đã đưa các tham số này vào công cụ đánh giá rủi ro và dự báo được các tác động của BĐKH tới kinh tế - xã hội trong tương lai.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc đánh giá rủi ro thiên tai nói chung và rủi ro do ngập lụt nói riêng là rất phức tạp, đòi hỏi nhiều tham số. Việc đưa ra khung đánh giá rủi ro ngập lụt dựa vào kỹ thuật GIS là phù hợp Công nghệ GIS có thể hỗ trợ việc đánh giá rủi ro do ngập lụt ở mức độ chi tiết cao, trực quan. Các kết quả đánh giá có thể được dùng trong việc xây dựng, vận hành các biện pháp chống ngập cho khu vực nghiên cứu.

Mô hình hóa ngập lụt kết hợp GIS trong đánh giá rủi ro ngập lụt mang lại hiệu quả cao, kết quả phục vụ tốt quá trình vận hành hệ thống chống ngập của thành phố. Bên cạnh đó, bộ công cụ đã hỗ trợ đánh giá rủi ro định tính và định lượng một cách có hiệu quả, nhanh chóng và có độ tin cây cao.

Bên cạnh đó, quy trình và khung đánh giá rủi ro ngập lụt dựa vào công nghệ GIS cũng đòi hỏi rất nhiều các thao tác kỹ thuật phức tạp và mang tính lặp lại cao, do vậy việc phát triển công cụ đánh giá tự động hoặc bán tự động là cần thiết để có thể liên tục cập nhật đánh giá tùy theo các diễn biến của ngập lụt và sự thay đổi của thành phố.

Bản đồ ngập lụt đô thị của Cần Thơ cho thấy, ảnh hưởng của các điều kiện khí hậu và thủy triều là rất cao đối với hiện trạng ngập lụt của Cần Thơ. Tác động của các điều kiện khác như sụt lún đất hoặc nước biển dâng trên thực tế là khó quan trắc được. Bên cạnh đó, mô hình hóa cũng cho thấy, hệ thống chống ngập của Cần Thơ khi được vận hành đã đem lại kết quả khá tốt, hạn chế được một trong những nguyên nhân chính của ngập lụt đô thị tại đây là triều cường. Tuy nhiên, hệ thống này chưa có các phương án xử lý để hạn chế tác động của lượng mưa, từ mô hình hiện trạng cho thấy, việc đầu tư thêm các phương tiện bơm cưỡng bức đẩy nước khỏi các kênh rạch mương máng nhằm triệt để loại bỏ các tác động từ lượng mưa.

Kết quả của nghiên cứu đã cho thấy sự tác động lớn của biến đổi khí hậu tới rủi ro thiên tai ngập lụt lõi đô thị của thành phố Cần Thơ. Với kịch bản thấp nhất, mức nước ngập và diện ngập ở tại thời điểm 2030 và 2050 đều tăng lên đáng kể. Như vậy, hệ thống chống ngập của Cần Thơ còn nhiều việc phải làm để đảm bảo đối phó được với các tác động này.

Việc xây dựng các kịch bản biến đổi khí hậu và đưa vào thành các điều kiện đầu vào của mô hình thủy lực cho phép mô phỏng, dự báo các sự kiện có thể diễn ra do tác động của BĐKH. Khả năng lượng hóa một cách chi tiết của mô hình thủy lực cho phép lập bản đồ đầy đủ về các tác động của BĐKH cũng như phân tích xa hơn về rủi ro ngập lụt trong khu vực nội đô của thành phố Cần Thơ.

Kết quả phân tích của 2 kịch bản biến đổi khí hậu 2050 (RCP 4.5 và 8.5) cho thấy tác động của biến đổi khí hậu tới rủi ro ngập lụt về kinh tế và xã hội là rất rõ ràng. Phần diện tích nằm trong khu vực hệ thống chống ngập bảo vệ vẫn có khả năng chịu rủi ro ở mức độ cao đối với điều kiện kịch bản mưa 100 năm hoặc 50 năm xảy ra một lần. Khu vực nằm ngoài hệ thống bảo vệ chịu ảnh hưởng rất lớn của BĐKH, phần lớn diện tích sẽ chịu mức độ rủi ro cao trong tương lai. Như vậy, đối với kịch bản BĐKH 2050, mục tiêu phát triển bền vững về "Ứng phó kịp thời, hiệu quả với

biến đổi khí hậu và thiên tai" có thể sẽ không đảm bảo được. Từ thời điểm này đến giai đoan 2050, thành phố Cần Thơ cần đánh giá chi tiết và xây dựng phương án ứng phó kịp thời.

2. Kiến nghị

Mô hình hóa ngập lụt được sử dụng nhiều trên thế giới, cũng như trong nước, việc áp dụng mô hình hóa đối với đánh giá hiện trạng ngập lụt ở lõi đô thị Cần Thơ cho kết quả khả quan, các kết quả này có thể được ứng dụng trong các công tác chống ngập trong hiện tại và tương lai.

Từ kết quả đánh giá rủi ro xã hội của ngập lụt đối với lõi đô thị và so sánh với các khu vực đô thị nhỏ nằm ngoài lõi đô thị như các thị trấn, khu Cái Răng cho thấy việc xây dựng các công trình phòng chống ngập lụt như hệ thống tường ngăn triều đã làm giảm nhẹ rất nhiều rủi ro có thể xảy ra đối với các đối tượng kinh tế, xã hội trong khu vực được bảo vệ.

Các kết quả đánh giá rủi ro ngập lụt tại khu vực nội đô thành phố Cần Thơ hoàn toàn có thể được sử dụng trong công tác quy hoạch đô thị, xây dựng các biện pháp, chiến lược nhằm giảm nhẹ tác động của BĐKH trong tương lai.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ CỐ LIÊN QUAN TỚI LUẬN ÁN

1. Anh Quan DUONG, Thao Phuong Thi DO*, Van Anh TRUONG, 2024. *Application of Open building footprints data in flood impact assessment, a case study of Can Tho Province*; Journal of the Polish Mineral Engineering Society(Inżynieria Mineralna).
2. Trương Vân Anh, Dương Anh Quân*, , Bùi Ngọc Quý, Phạm Văn Hiệp, Nguyễn Danh Đức, Trương Xuân Quang, Trần Thị Mai Anh, 2021, *The advantage of using satellite data together with the hydraulic model in flood hazard assessment: A case study in Ca River downstream*, Vietnam Journal of Hydrometerology

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu tiếng Việt

[1] Ban Chấp Hành Trung Ương Đảng Cộng Sản Việt Nam, "Nghị quyết 59 NQ/TW 'Xây dựng và phát triển thành phố Cần Thơ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.'" 2020.

[2] Bộ Tài nguyên và Môi trường, "Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam," 2016.

[3] Bộ Tài Nguyên và Môi trường, "Kịch bản biến đổi khí hậu," 2020.

[4] Chính phủ Việt Nam and UN, "Kế hoạch chiến lược chung," 2017.

[5] Đặng Đình Đoan, Ngô Anh Quân, Nguyễn Hoàng Sơn, and Nguyễn Ngọc Thế, "Xây dựng bản đồ ngập lụt vùng hạ lưu sông Đăk Bla," Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy Lợi, 2015.

[6] Huỳnh Thị Lan Hương, "Báo cáo đề tài Nghiên cứu phát triển bộ chỉ số thích ứng với biến đổi khí hậu phục vụ cho công tác quản lý nhà nước về biến đổi khí hậu. MS:BDKH.2016," 2016.

[7] Lê Thị Thanh Quỳnh, "Xây dựng bản đồ ngập lụt lưu vực sông Sê San," ĐH Quốc Gia Hà Nội, 2017.

[8] Nguyễn Thanh Ngân, Đinh Diệp Anh Tuấn, Phan Hoàng Vũ, Nguyễn Nguyên Minh, and Nguyễn Hiếu Trung, "Ứng dụng GIS xây dựng bản đồ ngập lụt tại quận Ninh Kiều," in Hội nghị khoa học địa lý toàn quốc lần thứ XI, 2019, no. February 2020.

[9] Phạm Gia Trân, "Các yếu tố ảnh hưởng đến xây dựng và ra quyết định giải pháp giảm ngập Trường hợp điển cứu tại Thành phố Cần Thơ," Tạp chí Phát triển KH&CN, pp. 1–29, 2017.

[10] Phạm Văn Ban, "Xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ ngập lụt các vùng trong tỉnh Ninh Bình," Trung tâm tư vấn PIM-Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, pp. 1–46, 1996.

[11] Tổng cục Phòng chống Thiên tai, "Tổng hợp thiệt hại do thiên tai năm 2018," 2019.

[12] Tổng cục Phòng chống Thiên tai, "Tổng hợp thiệt hại do thiên tai năm 2019," 2020.

[13] Tổng cục Phòng chống thiên tai, "Tổng hợp thiệt hại do thiên tai 8 tháng đầu năm 2020," 2020.

[14] T. Trần et al., Báo cáo đặc biệt của Việt Nam về Quản lý rủi ro thiên tai và hiện tượng cực đoan nhằm thúc đẩy thích ứng với biến đổi khí hậu. 2015.

Tài liệu tiếng Anh

[15] 100 Resilient Cities, "Resilience Accelerator Can Tho , Vietnam Designing for Nature-Based Infrastructure," 2019.

[16] Y. A. Abebe, A. Ghorbani, I. Nikolic, Z. Vojinovic, and A. Sanchez, "A coupled flood-agent-institution modelling (CLAIM) framework for urban flood risk management," Environmental Modelling and Software, vol. 111, pp. 483–492, 2019.

[17] A. M. Al-Abadi and B. Pradhan, "In flood susceptibility assessment, is it scientifically correct to represent flood events as a point vector format and create flood inventory map?," Journal of Hydrology, vol. 590. Elsevier B.V., 01-Nov-2020.

[18] R. Albano, A. Sole, J. Adamowski, A. Perrone, and A. Inam, "Using FloodRisk GIS freeware for uncertainty analysis of direct economic flood damages in Italy," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 73, no. February, pp. 220–229, 2018.

[19] M. T. Anees et al., "Numerical modeling techniques for flood analysis," Journal of African Earth Sciences, vol. 124, pp. 478–486, 2016.

[20] H. Apel, O. Martínez Trepat, N. Nghia Hung, D. Thi Chinh, B. Merz, and N. Viet Dung, "Combined fluvial and pluvial urban flood hazard analysis: Concept development and application to Can Tho city, Mekong Delta, Vietnam," Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 16, no. 4, pp. 941–961, 2016.

[21] H. Apel, B. Merz, and A. H. Thieken, "Quantification of uncertainties in flood risk assessments," International Journal of River Basin Management, vol. 6, no. 2, pp. 149–162, 2008.

[22] C. Armenakis and N. Nirupama, "Flood Risk Mapping for the City of Toronto," Procedia Economics and Finance, vol. 18, no. September, pp. 320–326, 2014.

[23] S. Askar et al., "Flood Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and Integration of Decision Table Classifier and Metaheuristic Algorithms," Water (Switzerland), vol. 14, no. 19, Oct. 2022.

[24] M. L. Baino-salingay, "Flood-related Water Quality Assessment and Management in Can- Tho City, Vietnam," no. April, 2014.

[25] S. Baker, Sustainable Development. Routledge, 2006.

[26] T. Barker, "Climate Change 2007 : An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Change, vol. 446, no. November, pp. 12–17, 2007.

[27] D. I. H. Barr and HR Wallingford (Firm), Tables for the calculation of friction in internal flows. T. Telford, 1995.

[28] G. H. Brundtland and W. Visser, Our Common Future ('The Brundtland Report'): World Commission on Environment and Development. United Nation, 1987.

[29] T. Cai, X. Li, X. Ding, J. Wang, and J. Zhan, "Flood risk assessment based on hydrodynamic model and fuzzy comprehensive evaluation with GIS technique," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 35, no. January, p. 101077, 2019.

[30] J. Carlos and M. Chaparro, Mapping the Risk of Flood, Mass Movement and Local Subsidence - A New Proposal for Major Cities. 2020.

[31] Y. Chen et al., "A spatial assessment framework for evaluating flood risk under extreme climates," Science of the Total Environment, vol. 538, pp. 512–523, 2015.

[32] City Alliances, "City Development Strategy for Can Tho," 2012.

[33] CSIRO, "Climate Adaptation through Sustainable Urban Development, Can Tho, Vietnam," 2015.

[34] Andrew. E. Dessler, Introduction to Modern Climate Change. Cambridge University Press, 2012.

[35] S. Dhara, T. Dang, K. Parial, and X. X. Lu, "Accounting for uncertainty and reconstruction of flooding patterns based on multi-satellite imagery and support vector machine technique: A case study of Can Tho City, Vietnam," Water (Switzerland), vol. 12, no. 6, 2020.

[36] P. Dias et al., "Development of damage functions for flood risk assessment in the city of Colombo (Sri Lanka)," Procedia Eng, vol. 212, pp. 332–339, 2018.

[37] F. Dottori, P. Salamon, A. Bianchi, L. Alfieri, F. A. Hirpa, and L. Feyen, "Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping," Adv Water Resour, vol. 94, pp. 87–102, 2016.

[38] R. Eckhardt, "Stan Ulam, John Von Neumann and the Monte Carlo method," Los Alamos Sci, no. Special issue, 1987.

[39] D. Eckstein, V. Künzel, and L. Schäfer, "Global climate risk index," 2021.

[40] J. C. Enders and M. Remig, Theories of Sustainable. Rougledge, 2015.

[41] S. Eslamian, Modeling, Climate Change, and Variability. CRC Press, 2014.

[42] Federal Emergency Management Agency and Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate, "Multi-hazard loss estimation methodology, flood model, HAZUS, technical manual," Department of Homeland Security, Emergency Preparedness and Response Directorate, FEMA, Mitigation Division, Washington, D.C., p. 569, 2013.

[43] FEMA, "Multi-Hazard Loss Estimation Methodology - Flood Model - User Manual," 2012.

[44] FEMA, "Hazus Flood Model User Guidance," Federal Emergency Management Agency, no. August, pp. 1–263, 2018.

[45] FEMA, "Flood Information Tool User Manual," p. 115, 2012.

[46] R. Few and P. G. Tran, "Climatic hazards, health risk and response in Vietnam: Case studies on social dimensions of vulnerability," Global Environmental Change, vol. 20,

no. 3, pp. 529–538, 2010.

[47] S. Grimaldi, A. Petroselli, E. Arcangeletti, and F. Nardi, “Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic-hydraulic modeling,” J Hydrol (Amst), vol. 487, pp. 39–47, 2013.

[48] R. S. . Gupta, Hydrology & hydraulic systems. Waveland Press, 2017.

[49] L. T. K. Ho and M. Umitsu, “Micro-landform classification and flood hazard assessment of the Thu Bon alluvial plain, central Vietnam via an integrated method utilizing remotely sensed data,” Applied Geography, vol. 31, no. 3, pp. 1082–1093, 2011.

[50] Le Hong Nhung, A. V. Perminov, and I. E. Kozyr, “Modeling of Floods and Flood Control Water Reservoirs for Evaluation of Inundation da Nang Province of Vietnam,” Procedia Eng, vol. 154, pp. 1319–1323, 2016.

[51] C. Hubert, “The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction Basic principles, sediment motion, hydraulic modelling, design of hydraulic structures Second Edition,” 2004.

[52] J. Huizinga, H. De Moel, and W. Szewczyk, Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines. 2017.

[53] H. L. T. Huynh, A. T. Do, and T. M. Dao, “Climate change vulnerability assessment for Can Tho city by a set of indicators,” Int J Clim Chang Strateg Manag, vol. 12, no. 1, pp. 147–158, 2020.

[54] H. L. T. Huynh and A. Pathirana, “Urbanization and climate change impacts on future urban flood risk in Can Tho city, Vietnam,” Hydrology and Earth System Sciences Discussions, vol. 8, no. 6, pp. 10781–10824, 2011.

[55] T. T. N. Huynh, H. Q. Nguyen, P. V. Vinh, S. Baker, and A. Pathirana, “Enteric pathogens in flood-related waters in urban areas of the Vietnamese Mekong Delta: a case study of Ninh Kieu district, Can Tho city,” Urban Water J, vol. 16, no. 9, pp. 634–641, 2019.

[56] IPCC, Climate Change 2014 Part A: Global and Sectoral Aspects. 2014.

[57] IPCC, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge University Press, 2012.

[58] IPCC, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, 2007.

[59] IPCC, Climate Change 2007 Synthesis report. Cambridge University Press, 2007.

[60] IPCC, Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability; Summary for Policymakes, no. 2300. Cambridge University Press, 2007.

[61] IPCC, “Climate change 2001 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability,” Cambridge University Press, pp. 1–94, 2001.

[62] IPCC, Climate Change 2014 Synthesis Report. 2015.

[63] B. Kalantar et al., “Deep neural network utilizing remote sensing datasets for flood hazard susceptibility mapping in Brisbane, Australia,” Remote Sens (Basel), vol. 13, no. 13, Jul. 2021.

[64] M. Kefi, B. K. Mishra, P. Kumar, Y. Masago, and K. Fukushi, “Assessment of tangible direct flood damage using a spatial analysis approach under the effects of climate change: Case study in an urban watershed in Hanoi, Vietnam,” ISPRS Int J Geoinf, vol. 7, no. 1, 2018.

[65] C. Ben Khalfallah and S. Saidi, “Spatiotemporal floodplain mapping and prediction using HEC-RAS - GIS tools: Case of the Mejerda river, Tunisia,” Journal of African Earth Sciences, vol. 142, pp. 44–51, 2018.

[66] C. Kuenzer, H. Guo, J. Huth, P. Leinenkugel, X. Li, and S. Dech, “Flood mapping and flood dynamics of the mekong delta: ENVISAT-ASAR-WSM based time series analyses,” Remote Sens (Basel), vol. 5, no. 2, pp. 687–715, 2013.

[67] C. Kuenzer, H. Guo, I. Schlegel, V. Q. Tuan, X. Li, and S. Dech, “Varying scale and capability of envisat ASAR-WSM, TerraSAR-X scansar and TerraSAR-X Stripmap data to assess urban flood situations: A case study of the mekong delta in Can Tho province,” Remote Sens (Basel), vol. 5, no. 10, pp. 5122–5142, 2013.

[68] Lam Thi Mai Huynh and L. C. Stringer, “Multi-scale assessment of social vulnerability to climate change: An empirical study in coastal Vietnam,” Clim Risk Manag, no. February, pp. 0–1, 2018.

[69] F. H. Ling, M. Tamura, K. Yasuhara, K. Ajima, and C. Van Trinh, “Reducing flood risks in rural households: survey of perception and adaptation in the Mekong delta,” Clim Change, vol. 132, no. 2, pp. 209–222, 2015.

[70] Y. Liu, M. You, J. Zhu, F. Wang, and R. Ran, “Integrated risk assessment for agricultural drought and flood disasters based on entropy information diffusion theory in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China,” International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 38, no. February, p. 101194, 2019.

[71] P. Luo et al., “Flood inundation assessment for the Hanoi Central Area, Vietnam under historical and extreme rainfall conditions,” Sci Rep, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2018.

[72] Luu Thi Dieu Chinh, J. Von Meding, and S. Kanjanabootra, “Flood risk management activities in Vietnam: A study of local practice in Quang Nam province,” International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 28, pp. 776–787, Jun. 2018.

[73] H. McGrath and P. N. Gohl, “Accessing the Impact of Meteorological Variables on

Machine Learning Flood Susceptibility Mapping," Remote Sens (Basel), vol. 14, no. 7, Apr. 2022.

[74] V. Meyer, S. Scheuer, and D. Haase, "A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany," Natural Hazards, vol. 48, no. 1, pp. 17–39, 2009.

[75] K. Mishra and R. Sinha, "Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach," Geomorphology, vol. 350, p. 106861, 2020.

[76] D. Molinari, F. Ballio, J. Handmer, and S. Menoni, "On the modeling of significance for flood damage assessment," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 10, no. PA, pp. 381–391, 2014.

[77] D. Molinari, K. M. De Bruijn, J. T. Castillo-Rodríguez, G. T. Aronica, and L. M. Bouwer, "Validation of flood risk models: Current practice and possible improvements," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 33, pp. 441–448, 2019.

[78] H. Ngo, A. Pathirana, C. Zevenbergen, and R. Ranasinghe, "An effective modelling approach to support probabilistic flood forecasting in coastal cities-Case study: Can Tho, Mekong Delta, Vietnam," J Mar Sci Eng, vol. 6, no. 2, pp. 1–19, 2018.

[79] Nguyen Duy Can, Vo Hong Tu, and Chu Thai Hoanh, "Application of livelihood vulnerability index to assess risks from flood vulnerability and climate variability -A case study in the Mekong Delta of Vietnam," J Environ Sci Eng, vol. 2, pp. 476–486, 2013.

[80] Nguyễn Hồng Quân et al., "Water quality dynamics of urban water bodies during flooding in can Tho City, Vietnam," Water (Switzerland), vol. 9, no. 4, pp. 1–12, 2017.

[81] K. A. Nguyen, Y. A. Liou, and J. P. Terry, "Vulnerability of Vietnam to typhoons: A spatial assessment based on hazards, exposure and adaptive capacity," Science of the Total Environment, vol. 682, pp. 31–46, Sep. 2019.

[82] T. H. Nguyen, "Spatial Planning in Flood-prone Areas," Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt, 2019.

[83] Nguyễn Văn Long and Y. Cheng, "Urban Landscape Design Adaption to Flood Risk: A Case Study in Can Tho City, Vietnam," Environment and Urbanization ASIA, vol. 9, no. 2, pp. 138–157, 2018.

[84] V. Norén, B. Hedelin, L. Nyberg, and K. Bishop, "Flood risk assessment – Practices in flood prone Swedish municipalities," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 18, pp. 206–217, 2016.

[85] V. Notaro, M. De Marchis, C. M. Fontanazza, G. La Loggia, V. Puleo, and G. Freni,

"The effect of damage functions on urban flood damage appraisal," Procedia Eng, vol. 70, pp. 1251–1260, 2014.

[86] J. Nott, Extreme Events - A Physical Reconstruction and Risk Assessment. Cambridge University Press, 2006.

[87] People Commitee of Can Tho city, "Executive Summary: Environmental and Social Impact Assessment," 2015.

[88] Pham Hong Nga, K. Takara, and Nguyen Cam Van, "Integrated approach to analyze the total flood risk for agriculture: The significance of intangible damages – A case study in Central Vietnam," International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 31, pp. 862–872, 2018.

[89] Pham Quang Dieu and Pham Thi Thang Thao, "Urbanising Mekong delta in Vietnam: The challenges of urban expansion adapting to floods," Global visions: Risks and opportunities for the urban planet, pp. 111–123, 2011.

[90] T. M. T. Pham, V. Raghavan, and , shinji Masumoto, "Application of Remote Sensing to Detect Landcover Change and Impact On Flood Inundation in Central Can Tho City, Vietnam," no. JANUARY 2011, pp. 1–9, 2010.

[91] T. Raadgever and D. Hegger, Flood risk management strategies and governance. 2018.

[92] M. Radhakrishnan et al., "Coping capacities for improving adaptation pathways for flood protection in Can Tho, Vietnam," Clim Change, vol. 149, no. 1, pp. 29–41, 2018.

[93] H. Raghunath, Hydrology : Principles, Analysis, and Design. New Delhi: New Age, 2006.

[94] M. R. Rahman and P. K. Thakur, "Detecting, mapping and analysing of flood water propagation using synthetic aperture radar (SAR) satellite data and GIS: A case study from the Kendrapara District of Orissa State of India," Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, vol. 21, pp. S37–S41, 2018.

[95] B. H. N. Razafindrabe, R. Kada, M. Arima, and S. Inoue, "Analyzing flood risk and related impacts to urban communities in central Vietnam," Mitig Adapt Strateg Glob Chang, vol. 19, no. 2, pp. 177–198, 2014.

[96] S. V. Razavi-Termeh, M. B. Seo, A. Sadeghi-Niaraki, and S. M. Choi, "Flash flood detection and susceptibility mapping in the Monsoon period by integration of optical and radar satellite imagery using an improvement of a sequential ensemble algorithm," Weather Clim Extrem, vol. 41, p. 100595, Sep. 2023.

[97] P. P. Rogers, K. F. Jalal, and J. A. Boyd, An Introduction to sustainable development. Earthscan, 2008.

[98] S. Scheuer, D. Haase, and V. Meyer, "Towards a flood risk assessment ontology -

Knowledge integration into a multi-criteria risk assessment approach," Comput Environ Urban Syst, vol. 37, no. 1, pp. 82–94, 2013.

[99] G. J.-P. Schumann, P. D. Bates, H. Apel, and G. T. Aronica, Global flood hazard : applications in modeling, mapping and forecasting. 2018.

[100] A. Shadmehri Toosi, G. H. Calbimonte, H. Nouri, and S. Alaghmand, "River basin-scale flood hazard assessment using a modified multi-criteria decision analysis approach: A case study," J Hydrol (Amst), vol. 574, no. April, pp. 660–671, 2019.

[101] Y. Shen, M. M. Morsy, C. Huxley, N. Tahvildari, and J. L. Goodall, "Flood risk assessment and increased resilience for coastal urban watersheds under the combined impact of storm tide and heavy rainfall," J Hydrol (Amst), vol. 579, p. 124159, 2019.

[102] S. Shrestha and W. Lohpaisankrit, "Flood hazard assessment under climate change scenarios in the Yang River Basin, Thailand," International Journal of Sustainable Built Environment, vol. 6, no. 2, pp. 285–298, 2017.

[103] S. F. Silva, M. Martinho, R. Capitão, T. Reis, C. J. Fortes, and J. C. Ferreira, "An index-based method for coastal-flood risk assessment in low-lying areas (Costa de Caparica, Portugal)," Ocean Coast Manag, vol. 144, pp. 90–104, 2017.

[104] H. Takagi, Nguyen Danh Thao, and Le Anh Tuan, "Sea-level rise and land subsidence: Impacts on flood projections for the Mekong Delta's largest city," Sustainability (Switzerland), vol. 8, no. 9, pp. 1–15, 2016.

[105] H. Takagi, C. Tsurudome, Nguyen Danh Thao, Le Anh Tuan, Tran Van Ty, and Van Pham Dang Tri, "Ocean tide modelling for urban flood risk assessment in the Mekong Delta," Hydrological Research Letters, vol. 10, no. 1, pp. 21–26, 2016.

[106] H. Takagi, T. V. Ty, N. D. Thao, and M. Esteban, "Ocean tides and the influence of sea-level rise on floods in urban areas of the Mekong Delta," J Flood Risk Manag, vol. 8, no. 4, pp. 292–300, 2015.

[107] H. Takagi, T. Van Ty, and N. D. Thao, Investigation on Floods in Can Tho City: Influence of Ocean Tides and Sea Level Rise for the Mekong Delta's Largest City. Elsevier Inc., 2014.

[108] L. Tascón-González, M. Ferrer-Julià, M. Ruiz, and E. García-Meléndez, "Social vulnerability assessment for flood risk analysis," Water (Switzerland), vol. 12, no. 2, Feb. 2020.

[109] M. S. Tehrany and S. Jones, "Evaluating the variations in the flood susceptibility maps accuracies due to the alterations in the type and extent of the flood inventory," in International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 2013, vol. 42, no. 4W5, pp. 209–214.

[110] Do Thi Chinh, P. Bubeck, Nguyen Viet Dung, and H. Kreibich, "The 2011 flood event

in the Mekong Delta: preparedness, response, damage and recovery of private households and small businesses," Disasters, vol. 40, no. 4, pp. 753–778, 2016.

[111] Do Thi Chinh, A. K. Gain, Nguyen Viet Dung, D. Haase, and H. Kreibich, "Multi-variate analyses of flood loss in Can Tho city, Mekong delta," Water (Switzerland), vol. 8, no. 1, pp. 1–21, 2016.

[112] Do Thi Chinh, Nguyen Viet Dung, A. K. Gain, and H. Kreibich, "Flood loss models and risk analysis for private households in can Tho City, Vietnam," Water (Switzerland), vol. 9, no. 5, 2017.

[113] Do Thuy Linh, "Urban landscape planning adapting to flood in Can Tho city, Viet Nam," IOP Conf Ser Mater Sci Eng, vol. 869, no. 2, 2020.

[114] R. Țîncu, J. L. Zêzere, I. Crăciun, G. Lazăr, and I. Lazăr, "Quantitative micro-scale flood risk assessment in a section of the Trotuș River, Romania," Land use policy, no. July 2018, p. 103881, 2019.

[115] Tô Thúy Nga, "Xây dựng bản đồ ngập lụt của vùng hạ lưu sông Vu Gia- Thu Bồn thuộc thành phố Đà Nẵng khi có đường cao tốc Quảng Ngãi - Đà Nẵng, đường ADB và Hòa Phước - Hòa Khương," TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG, vol. 7, no. 128, pp. 47–51, 2018.

[116] Trần Kim Châu, "Mapping extent of flooded areas using Sentinel-1 satellite image.," Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, vol. 58, pp. 78–82, 2017.

[117] P. Tran and R. Shaw, "Towards an integrated approach of disaster and environment management: A case study of Thua Thien Hue province, central Viet Nam," Environmental Hazards, vol. 7, no. 4, pp. 271–282, 2007.

[118] T. G. C. Trinh, "Flood-related health risk assessment: a case study in Hoi An City, Quang Nam province, Vietnam," Universität Kassel, 2017.

[119] N. H. Trung, N. T. Tuu, T. C. Doan, and L. Van Thinh, "Application of Gis To Support Urban Water Management in Adapting To a Changing Climate : a Case Study in Can Tho City , Vietnam," International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences 2014, no. December, 2014.

[120] J. I. Uitto and R. Shaw, Sustainable Development and Disaster Risk Reduction. Springer Japan, 2016.

[121] UN, "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development," 2015.

[122] United States. Federal Emergency Management Agency., United States. National Oceanic and Atmospheric Administration., and National Research Council (U.S.). Committee on FEMA Flood Maps., Mapping the zone : improving flood map accuracy. National Academies Press, 2009.

[123] P. D. T. Van, I. Popescu, A. Van Griensven, D. P. Solomatine, N. H. Trung, and A.

Green, “A study of the climate change impacts on fluvial flood propagation in the Vietnamese Mekong Delta,” Hydrol Earth Syst Sci, vol. 16, no. 12, pp. 4637–4649, 2012.

[124] Vo Ngoc Duong and P. Gourbesville, “Model Uncertainty in Flood Modelling. Case Study at Vu Gia Thu Bon Catchment - Vietnam,” Procedia Eng, vol. 154, pp. 450–458, 2016.

[125] Vo Thanh Danh, “Household economic losses of urban flooding : case study of Can Tho city , Vietnam,” Southeast Asia review of economics and business , vol. I, no. 1, pp. 92–105, 2017.

[126] Vũ Ngọc Châu, J. Holland, S. Cassells, and M. Tuohy, “Using GIS to map impacts upon agriculture from extreme floods in Vietnam,” Applied Geography, vol. 41, pp. 65–74, 2013.

[127] T. T. Vu and R. Ranzi, “Flood risk assessment and coping capacity of floods in central Vietnam,” Journal of Hydro-Environment Research, vol. 14, pp. 44–60, 2017.

[128] C. J. Van Westen, “Remote Sensing and GIS for Natural Hazards Assessment and Disaster Risk Management,” in Treatise on Geomorphology, vol. 3, Elsevier Inc., 2013, pp. 259–298.

[129] B. Wisner, P. Blaikie, T. Cannon, and I. Davis, “At Risk : natural hazards , people ’ s vulnerability and disasters Second edition,” Framework, no. February, p. 134, 2004.

[130] World Bank Group, “Can Tho, Vietnam. Enhancing Urban Resilience,” 2014.

[131] WorldBank, Post-Disaster Need Assessment guideline. 2013.

[132] Y. Xiao, S. Yi, and Z. Tang, “Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference,” Science of the Total Environment, vol. 599–600, pp. 1034–1046, 2017.

[133] A. M. Youssef and M. A. Hegab, Flood-Hazard Assessment Modeling Using Multicriteria Analysis and GIS, no. 2019. Elsevier Inc., 2019.

[134] M. Zebisch, S. Schneiderbauer, K. Renner Till Below, M. Brossmann, W. Ederer, and S. Schwan, Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook: Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook’s approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. 2017.

[135] M. Zeleňáková, R. Fijko, S. Labant, E. Weiss, G. Markovič, and R. Weiss, “Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kružlov village, Slovakia,” J Clean Prod, vol. 212, pp. 109–118, 2019.

[136] C. Zhang, L. Wang, H. Zhu, and H. Tang, “Integrated hydrodynamic model for simulation of river-lake-sluice interactions,” Appl Math Model, vol. 83, pp. 90–106, 2020.

Trang Web

[137] Sở Giáo dục và Đào tạo Cần Thơ, “Địa lý Cần Thơ,” 2021. [Online]. Available: http://cantho.edu.vn/gioi-thieu/dia-ly-can-tho. [Accessed: 22-Jul-2021].

[138] Sở Giáo dục và Đào tạo Cần Thơ, “Địa lý Cần Thơ,” 2021. [Online]. Available: http://cantho.edu.vn/gioi-thieu/dia-ly-can-tho. [Accessed: 22-Jul-2021].

[139] Sở Giáo dục và Đào tạo Cần Thơ, “Địa lý Cần Thơ,” 2021. [Online]. Available: http://cantho.edu.vn/gioi-thieu/dia-ly-can-tho. [Accessed: 22-Jul-2021].

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Thống kê Diện tích ảnh hướng rủi ro ngập lụt phân theo phường

1.1.Điều kiện khí hậu hiện tại

Quận Bình Thủy

Quận	Phường	Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 1%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 2%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 5%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 10%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Bình Thủy	An Thới	77.80	241.63	57.94	0.04	107.01	246.63	23.85	0.00	100.66	255.04	21.79	0.00	79.10	278.00	20.39	0.00	74.79	284.54	18.08	0.00
Bình Thủy	Bình Thuỷ	258.62	239.91	29.04	0.00	214.07	290.97	21.85	0.00	159.56	357.17	9.16	0.00	159.84	358.05	8.00	0.00	169.83	352.23	3.84	0.00
Bình Thủy	Bùi Hữu Nghĩa	91.70	79.76	37.71	3.75	163.14	47.85	1.93	0.00	136.52	76.40	0.00	0.00	129.18	83.74	0.00	0.00	129.61	83.19	0.00	0.00
Bình Thủy	Long Hoà	1315.55	239.72	0.40	0.00	1304.70	250.94	0.07	0.00	1283.88	271.70	0.01	0.00	1274.93	280.48	0.02	0.00	1256.36	298.74	0.00	0.00
Bình Thủy	Long Tuyền	1178.37	108.34	0.00	0.00	1157.63	129.12	0.00	0.00	1141.90	144.60	0.00	0.00	1142.59	143.84	0.00	0.00	1135.77	150.65	0.00	0.00
Bình Thủy	Thới An Đông	1122.63	66.69	0.01	0.00	1043.79	145.52	0.01	0.00	1037.08	152.24	0.01	0.00	1027.50	161.80	0.02	0.00	1006.87	181.84	0.02	0.00
Bình Thủy	Trà An	320.79	156.82	12.08	0.16	279.10	202.22	4.70	0.00	241.59	238.32	3.50	0.00	259.25	220.11	2.54	0.00	302.32	175.68	1.62	0.00
Bình Thủy	Trà Nóc	343.13	103.18	0.16	0.00	325.58	117.62	0.00	0.00	317.63	123.96	0.00	0.00	318.25	122.67	0.00	0.00	310.04	130.87	0.00	0.00
Bình Thủy	**Tổng**	**4708.59**	**1236.04**	**137.35**	**3.95**	**4595.02**	**1430.86**	**52.41**	**0.00**	**4418.83**	**1619.43**	**34.47**	**0.00**	**4390.65**	**1648.69**	**30.96**	**0.00**	**4385.60**	**1657.74**	**23.56**	**0.00**

Quận Ninh Kiều

		Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 1%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 2%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 5%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 10%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Ninh Kiều	An Bình	402.41	284.71	0.08	0.00	373.32	313.80	0.00	0.00	349.71	337.40	0.00	0.00	343.55	343.65	0.00	0.00	335.81	351.34	0.00	0.00
Ninh Kiều	An Cư	4.51	22.56	29.46	0.00	4.25	23.00	29.29	0.00	4.03	23.49	29.02	0.00	4.03	24.36	28.14	0.00	3.66	24.48	28.35	0.00
Ninh Kiều	An Hòa	24.43	144.34	0.98	0.00	22.95	146.02	0.78	0.00	20.57	148.50	0.69	0.00	19.02	150.19	0.54	0.00	16.45	152.71	0.60	0.00
Ninh Kiều	An Khánh	125.13	315.05	0.00	0.00	121.62	318.57	0.00	0.00	114.09	326.10	0.00	0.00	105.42	334.68	0.00	0.00	101.16	338.87	0.00	0.00
Ninh Kiều	An Nghiệp	6.12	22.24	3.82	0.00	5.48	23.40	3.30	0.00	4.90	24.20	3.08	0.00	4.84	24.53	2.82	0.00	3.27	25.68	3.24	0.00
Ninh Kiều	An Phú	8.99	37.15	0.60	0.00	9.46	36.55	0.73	0.00	9.81	36.11	0.81	0.00	9.06	36.78	0.89	0.00	7.62	38.22	0.89	0.00
Ninh Kiều	Cái Khế	131.92	178.52	89.36	20.25	201.00	190.43	28.54	0.08	221.76	192.70	5.64	0.00	225.61	192.89	1.56	0.00	229.90	189.51	0.68	0.00
Ninh Kiều	Hưng Lợi	65.32	246.06	0.00	0.00	63.75	247.63	0.00	0.00	55.87	255.51	0.00	0.00	53.09	258.25	0.00	0.00	50.28	261.06	0.00	0.00
Ninh Kiều	Tân An	15.20	95.81	6.16	0.00	14.07	97.33	5.78	0.00	12.72	99.49	4.97	0.00	12.29	100.20	4.69	0.00	11.83	101.41	3.82	0.00
Ninh Kiều	Thới Bình	8.62	42.58	2.75	0.00	7.22	44.27	2.45	0.00	5.34	45.75	2.85	0.00	4.62	46.36	2.97	0.00	3.95	47.81	2.18	0.00
Ninh Kiều	Xuân Khánh	63.16	121.24	0.00	0.00	62.92	121.48	0.00	0.00	63.97	120.43	0.00	0.00	65.27	119.14	0.00	0.00	67.96	116.44	0.00	0.00
Ninh Kiều	**Tổng**	**855.82**	**1510.26**	**133.21**	**20.25**	**886.04**	**1562.47**	**70.87**	**0.08**	**862.76**	**1609.68**	**47.05**	**0.00**	**846.79**	**1631.03**	**41.60**	**0.00**	**831.88**	**1647.54**	**39.76**	**0.00**

1.2. Điều kiện biến đổi khí hậu cho năm 2030

Quận Bình Thủy

Quận	Phường	Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 1%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 2%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 5%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 10%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Bình Thủy	An Thới	376.39	0.07	0.07	0.00	376.30	0.07	0.07	0.00	376.13	0.08	0.08	0.00	376.13	0.08	0.08	0.00	376.11	0.06	0.06	0.00
Bình Thủy	Bình Thuỷ	513.22	3.34	3.34	0.30	514.07	2.94	2.94	0.04	512.68	3.40	3.40	0.00	500.63	6.51	6.51	0.00	499.52	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	Bùi Hữu Nghĩa	188.38	0.12	0.12	0.02	211.99	0.00	0.00	0.00	211.75	0.00	0.00	0.00	212.04	0.00	0.00	0.00	212.21	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	Long Hoà	924.70	0.03	0.03	0.00	875.83	0.03	0.03	0.00	937.60	0.00	0.00	0.00	868.23	0.09	0.09	0.00	793.35	0.02	0.02	0.00
Bình Thủy	Long Tuyền	944.21	0.00	0.00	0.00	815.12	0.00	0.00	0.00	798.46	0.00	0.00	0.00	785.81	0.00	0.00	0.00	780.92	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	Thới An Đông	848.31	0.00	0.00	0.00	788.21	0.00	0.00	0.00	779.87	0.00	0.00	0.00	793.98	0.00	0.00	0.00	778.95	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	Trà An	199.97	10.16	10.16	0.20	195.25	3.56	3.56	0.00	192.81	2.64	2.64	0.00	191.77	2.28	2.28	0.00	191.62	2.24	2.24	0.00
Bình Thủy	Trà Nóc	325.21	0.12	0.12	0.48	309.68	0.00	0.00	0.00	260.33	0.00	0.00	0.00	260.95	0.00	0.00	0.00	247.74	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	**Tổng**	**4320.38**	**13.84**	**13.84**	**1.00**	**4086.45**	**6.60**	**6.60**	**0.04**	**4069.63**	**6.12**	**6.12**	**0.00**	**3989.55**	**8.96**	**8.96**	**0.00**	**3880.43**	**2.32**	**2.32**	**0.00**

Quận Ninh Kiều

		Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 1%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 2%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 5%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 10%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Ninh Kiều	An Bình	668.53	0.00	0.00	0.00	652.44	0.00	0.00	0.00	648.37	0.00	0.00	0.00	648.23	0.00	0.00	0.00	647.98	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	An Cư	3.71	0.00	0.00	0.00	3.63	0.00	0.00	0.00	3.56	0.00	0.00	0.00	3.32	0.00	0.00	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	An Hòa	87.40	0.39	0.39	0.00	87.12	0.51	0.51	0.00	87.03	0.47	0.47	0.00	87.00	0.42	0.42	0.00	86.18	0.55	0.55	0.00
Ninh Kiều	An Khánh	438.65	0.00	0.00	0.00	438.53	0.00	0.00	0.00	438.54	0.00	0.00	0.00	438.46	0.00	0.00	0.00	438.64	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	An Nghiệp	28.26	0.02	0.02	0.00	28.30	0.02	0.02	0.00	28.90	0.02	0.02	0.00	29.00	0.03	0.03	0.00	28.95	0.02	0.02	0.00
Ninh Kiều	An Phú	46.65	0.00	0.00	0.00	46.65	0.00	0.00	0.00	46.65	0.00	0.00	0.00	46.65	0.00	0.00	0.00	46.65	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	Cái Khế	272.96	35.43	35.43	5.00	279.07	14.07	14.07	0.00	287.88	0.16	0.16	0.00	296.35	0.08	0.08	0.00	300.45	0.04	0.04	0.00
Ninh Kiều	Hưng Lợi	310.54	0.00	0.00	0.00	310.54	0.00	0.00	0.00	310.54	0.00	0.00	0.00	310.50	0.00	0.00	0.00	310.46	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	Tân An	116.05	0.05	0.05	0.00	116.09	0.05	0.05	0.00	116.05	0.00	0.00	0.00	115.97	0.00	0.00	0.00	116.09	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	Thới Bình	36.97	0.64	0.64	0.00	36.85	0.68	0.68	0.00	36.73	0.71	0.71	0.00	36.65	0.71	0.71	0.00	36.51	0.71	0.71	0.00
Ninh Kiều	Xuân Khánh	184.01	0.00	0.00	0.00	183.97	0.00	0.00	0.00	183.97	0.00	0.00	0.00	183.99	0.00	0.00	0.00	183.95	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	**Tổng**	**2193.72**	**36.52**	**36.52**	**5.00**	**2183.20**	**15.32**	**15.32**	**0.00**	**2188.22**	**1.36**	**1.36**	**0.00**	**2196.11**	**1.24**	**1.24**	**0.00**	**2199.22**	**1.32**	**1.32**	**0.00**

1.3.Điều kiện biến đổi khí hậu cho năm 2050

Quận Bình Thủy

Quận	Phường	Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 1%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 2%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 5%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 10%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Bình Thủy	An Thới	376.39	0.07	0.07	0.00	376.30	0.07	0.07	0.00	376.13	0.08	0.08	0.00	376.13	0.08	0.08	0.00	376.11	0.06	0.06	0.00
Bình Thủy	Bình Thuỷ	513.22	3.34	3.34	0.30	514.07	2.94	2.94	0.04	512.68	3.40	3.40	0.00	500.63	6.51	6.51	0.00	499.52	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	Bùi Hữu Nghĩa	188.38	0.12	0.12	0.02	211.99	0.00	0.00	0.00	211.75	0.00	0.00	0.00	212.04	0.00	0.00	0.00	212.21	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	Long Hoà	924.70	0.03	0.03	0.00	875.83	0.03	0.03	0.00	937.60	0.00	0.00	0.00	868.23	0.09	0.09	0.00	793.35	0.02	0.02	0.00
Bình Thủy	Long Tuyền	944.21	0.00	0.00	0.00	815.12	0.00	0.00	0.00	798.46	0.00	0.00	0.00	785.81	0.00	0.00	0.00	780.92	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	Thới An Đông	848.31	0.00	0.00	0.00	788.21	0.00	0.00	0.00	779.87	0.00	0.00	0.00	793.98	0.00	0.00	0.00	778.95	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	Trà An	199.97	10.16	10.16	0.20	195.25	3.56	3.56	0.00	192.81	2.64	2.64	0.00	191.77	2.28	2.28	0.00	191.62	2.24	2.24	0.00
Bình Thủy	Trà Nóc	325.21	0.12	0.12	0.48	309.68	0.00	0.00	0.00	260.33	0.00	0.00	0.00	260.95	0.00	0.00	0.00	247.74	0.00	0.00	0.00
Bình Thủy	**Tổng**	**4320.38**	**13.84**	**13.84**	**1.00**	**4086.45**	**6.60**	**6.60**	**0.04**	**4069.63**	**6.12**	**6.12**	**0.00**	**3989.55**	**8.96**	**8.96**	**0.00**	**3880.43**	**2.32**	**2.32**	**0.00**

Quận Ninh Kiều

		Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 1%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 2%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 5%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 10%				Diện tích rủi ro (ha) theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Ninh Kiều	An Bình	668.53	0.00	0.00	0.00	652.44	0.00	0.00	0.00	648.37	0.00	0.00	0.00	648.23	0.00	0.00	0.00	647.98	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	An Cư	3.71	0.00	0.00	0.00	3.63	0.00	0.00	0.00	3.56	0.00	0.00	0.00	3.32	0.00	0.00	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	An Hòa	87.40	0.39	0.39	0.00	87.12	0.51	0.51	0.00	87.03	0.47	0.47	0.00	87.00	0.42	0.42	0.00	86.18	0.55	0.55	0.00
Ninh Kiều	An Khánh	438.65	0.00	0.00	0.00	438.53	0.00	0.00	0.00	438.54	0.00	0.00	0.00	438.46	0.00	0.00	0.00	438.64	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	An Nghiệp	28.26	0.02	0.02	0.00	28.30	0.02	0.02	0.00	28.90	0.02	0.02	0.00	29.00	0.03	0.03	0.00	28.95	0.02	0.02	0.00
Ninh Kiều	An Phú	46.65	0.00	0.00	0.00	46.65	0.00	0.00	0.00	46.65	0.00	0.00	0.00	46.65	0.00	0.00	0.00	46.65	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	Cái Khế	272.96	35.43	35.43	5.00	279.07	14.07	14.07	0.00	287.88	0.16	0.16	0.00	296.35	0.08	0.08	0.00	300.45	0.04	0.04	0.00
Ninh Kiều	Hưng Lợi	310.54	0.00	0.00	0.00	310.54	0.00	0.00	0.00	310.54	0.00	0.00	0.00	310.50	0.00	0.00	0.00	310.46	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	Tân An	116.05	0.05	0.05	0.00	116.09	0.05	0.05	0.00	116.05	0.00	0.00	0.00	115.97	0.00	0.00	0.00	116.09	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	Thới Bình	36.97	0.64	0.64	0.00	36.85	0.68	0.68	0.00	36.73	0.71	0.71	0.00	36.65	0.71	0.71	0.00	36.51	0.71	0.71	0.00
Ninh Kiều	Xuân Khánh	184.01	0.00	0.00	0.00	183.97	0.00	0.00	0.00	183.97	0.00	0.00	0.00	183.99	0.00	0.00	0.00	183.95	0.00	0.00	0.00
Ninh Kiều	**Tổng**	**2193.72**	**36.52**	**36.52**	**5.00**	**2183.20**	**15.32**	**15.32**	**0.00**	**2188.22**	**1.36**	**1.36**	**0.00**	**2196.11**	**1.24**	**1.24**	**0.00**	**2199.22**	**1.32**	**1.32**	**0.00**

1.4. Thiệt hại kinh tế ước tính do ngập lụt tại quận Bình Thủy và Ninh Kiều

		Thiệt hại kinh tế theo điều kiện KH hiện trạng (triệu đồng)					Thiệt hại kinh tế theo điều kiện BĐKH 2030 (triệu đồng)					Thiệt hại kinh tế theo điều kiện BĐKH 2050 (triệu đồng)				
Quận	**Phường**	***1%***	***2%***	***5%***	***10%***	***20%***	***1%***	***2%***	***5%***	***10%***	***20%***	***1%***	***2%***	***5%***	***10%***	***20%***
Bình Thủy	An Thới	54.5	45.3	11.2	9.6	8.9	66.4	51.6	43.6	40.3	35.0	153.3	99.4	77.1	67.3	56.4
Bình Thủy	Bình Thuỷ	78.2	41.9	33.9	31.5	24.1	62.0	47.2	36.6	25.3	16.1	133.1	62.6	48.9	45.4	43.7
Bình Thủy	Bùi Hữu Nghĩa	147.7	112.6	43.3	33.8	31.2	140.3	81.7	41.5	34.9	29.4	180.5	130.8	66.0	53.6	50.5
Bình Thủy	Long Hoà	95.1	38.3	14.0	11.8	10.5	844.1	376.8	177.9	155.6	133.4	1679.7	599.3	262.2	211.1	199.3
Bình Thủy	Long Tuyền	126.5	120.0	68.2	61.8	56.8	131.5	77.0	69.2	66.9	64.4	221.7	128.1	85.3	78.2	73.0
Bình Thủy	Thới An Đông	125.3	21.6	9.6	8.6	7.7	992.6	345.1	125.1	105.7	94.3	1866.1	1041.4	278.7	167.9	162.9
Bình Thủy	Trà An	22.1	17.0	2.1	1.2	1.0	128.7	41.2	26.5	20.2	17.0	257.0	125.6	43.6	35.4	36.9
Bình Thủy	Trà Nóc	54.9	13.1	5.2	4.4	3.4	112.3	65.8	40.6	30.1	11.2	210.6	119.9	61.5	52.6	48.2
Bình Thủy	**Tổng**	**704.3**	**409.9**	**187.5**	**162.9**	**143.7**	**2478.0**	**1086.4**	**561.2**	**479.2**	**401.1**	**4702.1**	**2307.0**	**923.4**	**711.6**	**670.9**
Ninh Kiều	An Bình	172.6	94.5	77.5	71.9	66.6	99.4	78.0	70.9	66.7	62.9	149.4	111.7	93.8	88.0	80.3
Ninh Kiều	An Cư	4.2	5.2	4.5	3.7	3.3	11.7	10.9	8.9	5.8	4.9	16.9	16.3	15.4	14.5	12.4
Ninh Kiều	An Hòa	11.6	6.3	5.8	5.1	4.2	69.8	65.8	58.7	51.4	44.8	112.6	100.9	90.5	82.1	71.9
Ninh Kiều	An Khánh	69.5	86.9	78.6	72.1	63.6	74.8	67.5	60.4	54.7	48.6	114.2	110.2	102.5	93.1	79.5
Ninh Kiều	An Nghiệp	2.2	1.4	1.3	1.2	1.1	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	4.2	4.1	4.0	3.8	2.1
Ninh Kiều	An Phú	4.0	7.2	6.8	6.4	5.8	2.5	2.0	1.5	1.3	1.2	6.6	6.1	5.3	4.0	2.8
Ninh Kiều	Cái Khế	206.8	145.6	110.2	100.7	92.8	201.8	136.0	103.6	90.4	80.4	254.3	200.8	149.5	135.4	124.5
Ninh Kiều	Hưng Lợi	19.8	18.2	17.3	15.9	14.2	33.5	32.1	29.5	26.8	23.0	50.4	46.8	42.6	37.6	34.2
Ninh Kiều	Tân An	14.5	8.9	8.4	8.0	7.0	18.1	16.4	15.3	14.7	13.6	27.9	26.2	23.7	21.0	18.5
Ninh Kiều	Thới Bình	1.8	2.0	1.9	1.9	1.8	6.9	6.2	5.4	5.2	4.7	15.8	11.3	8.8	8.0	6.9
Ninh Kiều	Xuân Khánh	94.8	59.0	55.7	52.4	48.7	29.8	26.2	23.2	21.0	18.5	80.3	59.4	42.7	36.5	30.6
Ninh Kiều	**Tổng**	**601.7**	**435.1**	**368.2**	**339.3**	**308.9**	**550.7**	**442.9**	**379.4**	**339.5**	**303.9**	**832.5**	**693.9**	**578.8**	**523.9**	**463.8**

Phụ lục 2: Dân số chịu rủi ro trong khu vực nghiên cứu

2.1. Ước tính dân số bị ảnh hưởng trong khu vực nghiên cứu cho kịch bản hiện trạng

Quận Bình Thủy

Quận	Phường	Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 1%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 2%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 5%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 10%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Bình Thủy	Bùi Hữu Nghĩa	4718	4104	1940	193	8394	2462	99	0	7025	3931	0	0	6647	4309	0	0	6669	4280	0	0
Bình Thủy	Bình Thuỷ	8791	8155	987	0	7277	9891	743	0	5424	12141	311	0	5433	12171	272	0	5773	11973	131	0
Bình Thủy	Long Hoà	22897	4172	7	0	22708	4368	1	0	22345	4729	0	0	22190	4882	0	0	21867	5199	0	0
Bình Thủy	Long Tuyền	13823	1271	0	0	13580	1515	0	0	13395	1696	0	0	13403	1687	0	0	13323	1767	0	0
Bình Thủy	Thới An Đông	14541	864	0	0	13520	1885	0	0	13433	1972	0	0	13309	2096	0	0	13042	2355	0	0
Bình Thủy	Trà Nóc	3497	1051	2	0	3318	1199	0	0	3237	1263	0	0	3243	1250	0	0	3159	1334	0	0
Bình Thủy	An Thới	1098	3410	818	1	1510	3481	337	0	1421	3599	307	0	1116	3923	288	0	1055	4016	255	0
Bình Thủy	Trà An	7672	3751	289	4	6675	4836	112	0	5778	5700	84	0	6200	5264	61	0	7230	4202	39	0
Bình Thủy		**77037**	**26778**	**4043**	**198**	**76982**	**29636**	**1293**	**0**	**72058**	**35032**	**703**	**0**	**71542**	**35582**	**621**	**0**	**72119**	**35127**	**425**	**0**

Quận Ninh Kiều

Quận	Phường	Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 1%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 2%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 5%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 10%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Ninh Kiều	An Phú	328	1355	22	0	345	1333	27	0	358	1317	30	0	330	1341	32	0	278	1394	32	0
Ninh Kiều	An Bình	108870	77026	22	0	100999	84897	0	0	94613	91283	0	0	92946	92973	0	0	90852	95053	0	0
Ninh Kiều	An Cư	823	4113	5372	0	775	4193	5340	0	734	4283	5291	0	735	4442	5131	0	667	4464	5169	0
Ninh Kiều	An Hòa	2176	12859	88	0	2045	13008	70	0	1832	13229	61	0	1694	13380	48	0	1465	13605	53	0
Ninh Kiều	An Nghiệp	1290	4687	805	0	1156	4931	696	0	1033	5101	649	0	1020	5169	594	0	689	5412	683	0
Ninh Kiều	Cái Khế	35791	48436	24246	5493	54534	51667	7744	22	60166	52282	1530	0	61212	52334	423	0	62375	51417	184	0
Ninh Kiều	Hưng Lợi	2199	8285	0	0	2146	8338	0	0	1881	8603	0	0	1788	8695	0	0	1693	8790	0	0

Ninh Kiều	Tân An	1777	11202	720	0	1645	11379	676	0	1487	11632	581	0	1437	11715	548	0	1383	11856	447	0
Ninh Kiều	Thới Bình	3512	17348	1118	0	2942	18040	997	0	2176	18642	1161	0	1882	18890	1210	0	1609	19480	888	0
Ninh Kiều	Xuân Khánh	15225	29228	0	0	15169	29284	0	0	15421	29032	0	0	15734	28720	0	0	16383	28069	0	0
Ninh Kiều	An Khánh	19866	50019	0	0	19308	50576	0	0	18113	51772	0	0	16737	53135	0	0	16060	53800	0	0
Ninh Kiều		191859	264558	32393	5493	201064	277647	15549	22	197814	287175	9303	0	195515	290794	7988	0	193455	293340	7458	0

2.2. Ước tính dân số bị ảnh hưởng trong khu vực nghiên cứu cho kịch bản BĐKH 2030

Quận Bình Thủy

Quận	Phường	Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 1%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 2%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 5%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 10%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Bình Thủy	Bùi Hữu Nghĩa	9692	6	6	1	10907	0	0	0	10895	0	0	0	10910	0	0	0	10919	0	0	0
Bình Thủy	Bình Thuỷ	17446	113	113	10	17475	100	100	1	17428	116	116	0	17018	221	221	0	16980	0	0	0
Bình Thủy	Long Hoà	16094	1	1	0	15244	0	0	0	16319	0	0	0	15111	1	1	0	13808	0	0	0
Bình Thủy	Long Tuyền	11076	0	0	0	9562	0	0	0	9366	0	0	0	9218	0	0	0	9161	0	0	0
Bình Thủy	Thới An Đông	10988	0	0	0	10210	0	0	0	10102	0	0	0	10284	0	0	0	10090	0	0	0
Bình Thủy	Trà Nóc	3314	1	1	5	3156	0	0	0	2653	0	0	0	2659	0	0	0	2525	0	0	0
Bình Thủy	An Thới	5312	1	1	0	5311	1	1	0	5308	1	1	0	5308	1	1	0	5308	1	1	0
Bình Thủy	Trà An	4782	243	243	5	4670	85	85	0	4611	63	63	0	4587	55	55	0	4583	54	54	0
Bình Thủy		**78705**	**366**	**366**	**21**	**76533**	**187**	**187**	**1**	**76682**	**180**	**180**	**0**	**75096**	**279**	**279**	**0**	**73373**	**55**	**55**	**0**

Quận Ninh Kiều

Quận	Phường	Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 1%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 2%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 5%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 10%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Ninh Kiều	An Phú	1701	0	0	0	1701	0	0	0	1701	0	0	0	1701	0	0	0	1701	0	0	0
Ninh Kiều	An Bình	180866	0	0	0	176515	0	0	0	175414	0	0	0	175374	0	0	0	175308	0	0	0
Ninh Kiều	An Cư	677	0	0	0	662	0	0	0	649	0	0	0	606	0	0	0	613	0	0	0
Ninh Kiều	An Hòa	7786	34	34	0	7761	45	45	0	7753	42	42	0	7751	38	38	0	7677	49	49	0
Ninh Kiều	An Nghiệp	5956	4	4	0	5965	4	4	0	6091	4	4	0	6112	5	5	0	6102	5	5	0
Ninh Kiều	Cái Khế	74057	9613	9613	1357	75717	3818	3818	0	78105	43	43	0	80406	22	22	0	81517	11	11	0
Ninh Kiều	Hưng Lợi	10456	0	0	0	10456	0	0	0	10456	0	0	0	10455	0	0	0	10453	0	0	0
Ninh Kiều	Tân An	13568	6	6	0	13572	6	6	0	13568	0	0	0	13558	0	0	0	13572	0	0	0

Ninh Kiều	Thới Bình	15062	260	260	0	15013	276	276	0	14965	289	289	0	14932	289	289	0	14877	289	289	0
Ninh Kiều	Xuân Khánh	44359	0	0	0	44349	0	0	0	44349	0	0	0	44353	0	0	0	44343	0	0	0
Ninh Kiều	An Khánh	69642	0	0	0	69623	0	0	0	69624	0	0	0	69611	0	0	0	69639	0	0	0
Ninh Kiều		**424130**	**9917**	**9917**	**1357**	**421335**	**4148**	**4148**	**0**	**422675**	**379**	**379**	**0**	**424857**	**354**	**354**	**0**	**425803**	**354**	**354**	**0**

2.3. Ước tính dân số bị ảnh hưởng trong khu vực nghiên cứu cho kịch bản BĐKH 2050

Quận Bình Thủy

Quận	Phường	Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 1%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 2%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 5%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 10%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Bình Thủy	Bùi Hữu Nghĩa	10811	132	11	2	6847	3852	257	0	7130	3824	2	0	6963	3992	0	0	6973	3983	0	0
Bình Thủy	Bình Thuỷ	17037	987	33	22	7459	10583	38	0	6760	11316	4	0	6392	11688	0	0	6541	11539	0	0
Bình Thủy	Long Hoà	17539	9541	0	0	22459	4621	0	0	22342	4738	0	0	22357	4723	0	0	22265	4814	0	0
Bình Thủy	Long Tuyền	10916	4178	0	0	13739	1355	0	0	13659	1435	0	0	13663	1431	0	0	13548	1546	0	0
Bình Thủy	Thới An Đông	10490	4818	91	0	13636	1762	0	0	13168	2230	0	0	13136	2262	0	0	13146	2252	0	0
Bình Thủy	Trà Nóc	3111	1473	7	0	3680	907	4	0	3456	1101	0	0	3418	1127	0	0	3445	1101	0	0
Bình Thủy	An Thới	5316	12	1	0	1708	3552	68	0	1622	3655	50	0	1519	3757	51	0	1430	3844	53	0
Bình Thủy	Trà An	5670	6184	27	24	9172	2726	0	0	9235	2670	0	0	9231	2657	0	0	9149	2673	0	0
Bình Thủy		**80890**	**27324**	**170**	**48**	**78700**	**29357**	**366**	**0**	**77371**	**30968**	**57**	**0**	**76680**	**31638**	**51**	**0**	**76497**	**31752**	**53**	**0**

Quận Ninh Kiều

Quận	Phường	Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 1%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 2%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 5%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 10%				Số người chịu tác động của rủi ro theo kịch bản 20%			
		Thấp	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*	*Thấp*	*Trung bình*	*Cao*	*Rất cao*
Ninh Kiều	An Phú	1701	3	0	0	274	1430	0	0	207	1497	0	0	184	1520	0	0	136	1568	0	0
Ninh Kiều	An Bình	181036	4881	0	0	107096	78821	0	0	104308	81609	0	0	103658	82259	0	0	101933	83984	0	0
Ninh Kiều	An Cư	965	9344	0	0	480	5941	3887	0	480	6881	2947	0	393	7916	2000	0	403	8234	1672	0
Ninh Kiều	An Hòa	7913	7207	2	0	2844	12276	2	0	2596	12527	0	0	2543	12580	0	0	2505	12618	0	0
Ninh Kiều	An Nghiệp	6437	343	4	0	1289	5174	321	0	1280	5186	317	0	1296	5248	239	0	1330	5172	281	0
Ninh Kiều	Cái Khế	71829	26924	9700	5600	56359	54248	2926	445	60509	52504	965	0	60246	53156	575	0	60344	53254	380	0
Ninh Kiều	Hưng Lợi	10461	23	0	0	3125	7359	0	0	3076	7408	0	0	2936	7548	0	0	2794	7690	0	0
Ninh Kiều	Tân An	13577	117	6	0	1930	11734	35	0	1918	11722	58	0	1910	11740	50	0	1924	11745	31	0

Ninh Kiều	Thới Bình	15236	6743	0	0	2951	19017	11	0	2907	19061	11	0	2856	19112	11	0	2785	19182	11	0
Ninh Kiều	Xuân Khánh	44407	46	0	0	21520	22933	0	0	21524	22929	0	0	21384	23069	0	0	21400	23053	0	0
Ninh Kiều	An Khánh	69687	198	0	0	24058	45827	0	0	23851	46034	0	0	23581	46304	0	0	22974	46911	0	0
Ninh Kiều		**423250**	**55828**	**9711**	**5600**	**221927**	**264759**	**7183**	**445**	**222657**	**267358**	**4299**	**0**	**220987**	**270452**	**2875**	**0**	**218527**	**273412**	**2375**	**0**

Phụ lục 3: Cơ sở giáo dục và y tế chịu rủi ro trong khu vực nghiên cứu

3.1 Ước tính số cơ sở giáo dục trong khu vực chịu rủi ro ngập

Kịch bản BĐKH	Hiện trạng					2030					2050				
Điều kiện ngập	*1%*	*2%*	*5%*	*10%*	*20%*	*1%*	*2%*	*5%*	*10%*	*20%*	*1%*	*2%*	*5%*	*10%*	*20%*
Không	54	54	54	54	55	53	54	54	54	55	53	53	53	53	53
Thấp	353	343	320	321	321	582	578	578	575	571	586	379	415	386	396
Trung bình	310	325	351	350	350	87	93	95	99	102	83	272	257	287	277
Cao	9	4	3	3	2	6	3	1	0	0	6	5	3	2	2
Rất cao	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

3.2. Ước tính số cơ sở Y tế tron khu vực chịu rủi ro ngập

Kịch bản BĐKH	Hiện trạng					2030					2050				
Điều kiện ngập	*1%*	*2%*	*5%*	*10%*	*20%*	*1%*	*2%*	*5%*	*10%*	*20%*	*1%*	*2%*	*5%*	*10%*	*20%*
Không	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Thấp	29	26	10	10	8	120	119	122	119	119	119	30	29	26	23
Trung bình	93	101	117	117	120	9	10	7	10	10	7	97	100	103	106
Cao	6	2	2	2	1	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0
Rất cao	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Phụ lục 4: Bộ công cụ tính toán rủi ro ngập lụt về xã hội và thiệt hại kinh tế

```
 1. import arcpy
 2. import os
 3. import sys
 4. from arcpy import env
 5. from arcpy.sa import*
 6.
 7. def returnDate():
 8.     sDate = str(datetime.date(datetime.today())).replace('-', '')
 9.     sTime = str(datetime.time(datetime.today())).split('.')[0].replace(':', '')
10.     return sDate + sTime
11.
12. class Toolbox(object):
13.     def __init__(self):
14.         """Define the toolbox (the name of the toolbox is the name of the
15.         .pyt file)."""
16.         self.label = "Flood risk tools"
17.         self.alias = "Phan tich thiet hai lu-Can Tho"
18.
19.         # List of tool classes associated with this toolbox
20.         self.tools = [EcoTool, SocialTool, RiskStats_tool, Maxminvalue,
StandardizeRasterTool, IdentityAndCountTool, JoinTablesAndExport, GridCodeSummaryTool]
21.
22.
23. class EcoTool(object):
24.     def __init__(self):
25.         """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
26.         self.label = "2. Công cụ tính toán thiệt hại kinh tế"
27.         self.description = "tool for calculating flood event"
28.         self.canRunInBackground = False
29.
30.     def getParameterInfo(self):
31.         param0=arcpy.Parameter(
32.         displayName="Dũ liệu sử dụng đất đã phân nhóm",
33.             name="in_raster0",
34.             datatype="GPRasterLayer",
35.         parameterType="Required",
36.         direction="Input")
37.         param1=arcpy.Parameter(
38.         displayName="Dữ liệu ngập",
39.             name="in_raster1",
40.         datatype="GPRasterLayer",
41.         parameterType="Required",
42.         direction="Input")
43.
44.         param2=arcpy.Parameter(
45.         displayName="Dữ liệu giá trị đất",
46.             name="in_raster3",
47.         datatype="GPRasterLayer",
48.         parameterType="Required",
49.         direction="Input")
50.
51.         #param3 = arcpy.Parameter(
52.         #displayName="Choose Output Folder on your Local Drive",
53.         #name="mxdFile",
54.         #datatype="DEFolder",
55.         #parameterType="Required",
56.         #direction="Input")
57.
58.         param3=arcpy.Parameter(
59.         displayName=" Lưu dữ liệu thiệt hại tiềm tàng",
60.             name="in_raster4",
61.         datatype="GPRasterLayer",
62.         parameterType="Required",
63.         direction="Intput")
64.
65.         param4=arcpy.Parameter(
66.         displayName="Lưu dữ liệu thiệt hại kinh tế",
```

```
67.             name="in_raster5",
68.         datatype="GPRasterLayer",
69.         parameterType="Required",
70.         direction="Intput")
71.         return [param0, param1, param2, param3, param4]
72.
73.     def isLicensed(self):
74.         """Set whether tool is licensed to execute."""
75.         return True
76.
77.
78.     def execute(self, parameters, messages):
79.         #"""The source code of the tool."""
80.         #"""env.workspace = "C:/temp"""
81.         LULC=parameters[0].valueAsText
82.         FL=parametersEN1.valueAsText
83.         Price= parametersEN2.valueAsText
84.         LU=Int(LULC)
85.         h= Float(FL)
86.         LP=Float(Price)
87.         Rice=Float(Con((LU ==9) & (h<=0.6) & (h>=0.1) ,0.0019*Power(h,2) + 0.1982*h -
0.1078,Con((LU>=9)&(h>=0.6), 1,0)))
88.         Perenial=Float(Con((LU ==4)& (h<=0.6)&(h>=0.1), 0.1671*h -0.0034,Con((LU == 4) & (h
> 0.6),1,0)))
89.         AnnualCro=Float(Con((LU == 2)& (h <= 0.6) & (h >= 0.1), 0.171*h-0.0163,Con((LU ==
2) & (h > 0.6),1,0)))
90.         Aquaculture=Float(Con((LU == 13)& (h <= 0.6) & (h >= 0.1), 0.1643*h+0.0189,Con((LU
== 13) & (h> 0.6),1,0)))
91.         Commercial=Float(Con((LU == 5)& (h <= 0.5) & (h >= 0.1),
0.009*Power(h,2)+0.225*h+0.0912,Con((LU == 5) & (h > 0.5),1,0)))
92.         Business=Float(Con((LU == 6)& (h <= 0.5) & (h >= 0.1), 0.006*Power(h,2)+0.1985*h-
0.1255,Con((LU == 6) & (h > 0.5),1,0)))
93.         Industrial=Float(Con((LU == 10)& (h <= 0.5) & (h >= 0.1),
0.006*Power(h,2)+0.1958*h-0.1255,Con((LU == 10) & (h > 0.5),1,0)))
94.         Gov=Float(Con((LU == 3)& (h <= 0.5) & (h >= 0.1), -
0.096*Power(h,3)+0.0814*Power(h,2)-0.0428*h+0.3734,Con((LU == 3) & (h > 0.5),1,0)))
95.         School=Float(Con((LU == 7)& (h <= 0.5) & (h >= 0.1), 0.0225*h+0.8875,Con((LU == 7)
& (h > 0.5),1,0)))
96.         Health=Float(Con((LU == 8)& (h <= 0.5) & (h >= 0.1), -
0.0258*Power(h,3)+0.1988*Power(h,2)-0.1688*h+0.0816,Con((LU == 8) & (h > 0.5),1,0)))
97.         Residential=Float(Con((LU == 11)& (h <= 0.6) & (h >= 0.1), -
0.013*Power(h,3)+0.1356*Power(h,2)-0.1913*h+0.0943,Con((LU == 11) & (h > 0.6),1,0)))
98.
99.         total=Rice+Perenial+AnnualCro + Aquaculture + Commercial + Business + Industrial +
Gov + School + Health + Residential
100.
101.
102.         """final=Con(total<=0,0.0,total)"""
103.         final=Con(total<0,0,Con(total>1,1, total))
104.         economicloss=final*LP
105.         arcpy.env.overwriteOutput = True
106.
107.                 output_filename1=parametersEN3.valueAsText
108.         filedata=output_filename1
109.         final.save(filedata)
110.
111.         output_filename2=parametersEN4.valueAsText
112.         filedata2=output_filename2
113.         economicloss.save(filedata2)
114.
115.         return
116.
117. class SocialTool(object):
118.     def __init__(self):
119.         """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
120.         self.label = "1.1 Công cụ tính toán rủi ro xã hội"
121.         self.description = "tool for calculating social risk"
122.         self.canRunInBackground = False
123.
124.     def getParameterInfo(self):
```

```
125.         param0=arcpy.Parameter(
126.         displayName="Ranh giới",
127.             name="in_vector0",
128.             datatype="GPFeatureLayer",
129.         parameterType="Required",
130.         direction="Input")
131.
132.         param1=arcpy.Parameter(
133.         displayName="Hiểm họa",
134.             name="in_raster1",
135.         datatype="GPRasterLayer",
136.         parameterType="Required",
137.         direction="Input")
138.
139.         param2=arcpy.Parameter(
140.         displayName="Mức độ phơi lộ",
141.             name="in_raster3",
142.         datatype="GPRasterLayer",
143.         parameterType="Required",
144.         direction="Input")
145.
146.         param3=arcpy.Parameter(
147.         displayName="Tính dễ bị tổn thương",
148.             name="in_raster4",
149.         datatype="GPRasterLayer",
150.         parameterType="Required",
151.         direction="Input")
152.
153.
154.
155.         param4=arcpy.Parameter(
156.         displayName="Lưu dữ liệu Hiểm họa đã phân cấp",
157.             name="in_raster2",
158.         datatype="GPRasterLayer",
159.         parameterType="Required",
160.         direction="Intput")
161.
162.         param5=arcpy.Parameter(
163.         displayName="Lưu dữ liệu Rủi ro",
164.             name="in_raster5",
165.         datatype="GPRasterLayer",
166.         parameterType="Required",
167.         direction="Intput")
168.
169.         return [param0, param1, param2, param3, param4, param5]
170.
171.     def isLicensed(self):
172.         """Set whether tool is licensed to execute."""
173.         return True
174.
175.     def updateParameters(self, parameters):
176.         """Modify the values and properties of parameters before internal
177.         validation is performed.  This method is called whenever a parameter
178.         has been changed."""
179.         if parametersEN3.value is True:
180.             parametersEN4.enabled = False
181.         if parametersEN3.value is False:
182.             parametersEN4.enabled = True
183.             err_spacing = "The path for the file must be equal to or greater than 1."
184.         if parameters[0].value is False:
185.             parameters[0].setErrorMessage(err_spacing)
186.         if parametersEN1.value is False:
187.             parametersEN1.setErrorMessage(err_spacing)
188.         if parametersEN2.value is False:
189.             parametersEN2.setErrorMessage(err_spacing)
190.         return
191.
192.     def updateMessages(self, parameters):
193.      #   """Modify the messages created by internal validation for each tool
194.      #   parameter.  This method is called after internal validation."""
```

```
195.         if parameters[0].hasError and parameters[0].message == 'ERROR 000366: Thiếu thông
tin sử dụng đất':
196.             parameters[0].clearMessage()
197.             parameters[0].setWarningMessage('thông tin không phù hợp. Labeling is not
recommended.')
198.         if parametersEN1.hasError and parametersEN1.message == 'ERROR 000366: Thiếu thông
tin sử độ sâu ngập':
199.             parameters[0].clearMessage()
200.             parameters[0].setWarningMessage('Thông tin không phù hợp. Labeling is not
recommended.')
201.         if parametersEN2.hasError and parametersEN2.message == 'ERROR 000366: No output':
202.             parameters[0].clearMessage()
203.             parameters[0].setWarningMessage('Thông tin không phù hợp. Labeling is not
recommended.')
204.         if parametersEN3.hasError and parametersEN3.message == 'ERROR 000366: No output':
205.             parameters[0].clearMessage()
206.             parameters[0].setWarningMessage('Thông tin không phù hợp. Labeling is not
recommended.')
207.         if parametersEN4.hasError and parametersEN4.message == 'ERROR 000366: No output':
208.             parameters[0].clearMessage()
209.             parameters[0].setWarningMessage('Thông tin không phù hợp. Labeling is not
recommended.')
210.         if parametersEN5.hasError and parametersEN5.message == 'ERROR 000366: No output':
211.             parameters[0].clearMessage()
212.             parameters[0].setWarningMessage('Thông tin không phù hợp. Labeling is not
recommended.')
213.         return
214.
215.     def execute(self, parameters, messages):
216.         #"""The source code of the tool."""
217.         #"""env.workspace = "C:/temp"""
218.         Boundary_CanTho=parameters[0].valueAsText
219.         FL=parametersEN1.valueAsText
220.         Expo= parametersEN2.valueAsText
221.         Vul= parametersEN3.valueAsText
222.
223.         h= Float(FL)
224.         #clip the Hazard
225.         h_clip= arcpy.sa.ExtractByMask(h, Boundary_CanTho)
226.         #reclasse the hazard (4 classes )
227.         reclass_ranges = RemapRange([[0, 0.75, 1], [0.75, 1.25, 2], [1.25, 2, 3],[2, 10,
4]])
228.
229.         # Reclassify the raster
230.         h_reclass = arcpy.sa.Reclassify(h_clip, "Value", reclass_ranges)
231.
232.         #STANDARDIZE hazard data to ranges 0-1
233.         h_std = arcpy.sa.Con(h_clip<=0.75,(h_clip * 0.25/0.75),
234.         Con((h_clip>0.75)&(h_clip<=1.25),(h_clip - 0.75)/(1.25-0.75)*0.25,
235.         Con((h_clip>1.25)&(h_clip<=2),(h_clip - 1.25)/(2-1.25)*0.5, 1) ) )
236.
237.
238.
239.         Expose=Float(Expo)
240.         Vulnerabilty=Float(Vul)
241.
242.         #Risk calculation
243.         #Risk = (h_std+Expose+Vulnerabilty)/3
244.         Risk = h_std*(Expose+Vulnerabilty)/2
245.         # Get the minimum and maximum values
246.         min_value = arcpy.GetRasterProperties_management(Risk, "MINIMUM").getOutput(0)
247.         max_value = arcpy.GetRasterProperties_management(Risk, "MAXIMUM").getOutput(0)
248.
249.
250.
251.
252.         #save the data
253.         arcpy.env.overwriteOutput = True
254.
255.         output_filename2=parametersEN4.valueAsText
```

```
256.         filedata=output_filename2
257.         h_reclass.save(filedata)
258.
259.
260.
261.         output_filename4 =parametersEN5.valueAsText
262.         #filedata=output_folder + "/" +output_filename+".tif"
263.         filedata=output_filename4
264.         Risk.save(filedata)
265.
266.
267.         return
268.
269. class RiskStats_tool(object):
270.     def __init__(self):
271.         """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
272.         self.label = "1.4. Công cụ hỗ trợ thống kê rủi ro"
273.         self.description = "tool for calculating flood risk event"
274.         self.canRunInBackground = False
275.
276.     def getParameterInfo(self):
277.         # Output Workspace parameter
278.         output_workspace = arcpy.Parameter(
279.             displayName="CSDL gốc",
280.             name="output_workspace",
281.             datatype="DEWorkspace",
282.             parameterType="Required",
283.             direction="Input")
284.
285.         # Input Raster parameter
286.         input_raster = arcpy.Parameter(
287.             displayName=" Dữ liệu rủi ro đã phân cấp",
288.             name="input_raster",
289.             datatype="DERasterDataset",
290.             parameterType="Required",
291.             direction="Input")
292.
293.         # Input Vector parameter
294.         input_vector = arcpy.Parameter(
295.             displayName="Dữ liệu ranh giới xã, phường",
296.             name="input_vector",
297.             datatype="DEFeatureClass",
298.             parameterType="Required",
299.             direction="Input")
300.
301.         # Risk_commune output parameter
302.         risk_commune_output = arcpy.Parameter(
303.             displayName="Lưu Dữ liệu chồng xếp",
304.             name="risk_commune",
305.             datatype="DEFeatureClass",
306.             parameterType="Required",
307.             direction="Output")
308.
309.         return [output_workspace, input_raster, input_vector, risk_commune_output]
310.
311.     def execute(self, parameters, messages):
312.         output_workspace = parameters[0].valueAsText
313.         input_raster = parametersEN1.valueAsText
314.         input_vector = parametersEN2.valueAsText
315.         risk_commune = parametersEN3.valueAsText
316.
317.         arcpy.env.workspace = output_workspace
318.
319.         # Convert input raster to polygons without simplification
320.         raster_polygons = arcpy.conversion.RasterToPolygon(input_raster, "RasterPolygons",
"NO_SIMPLIFY")
321.
322.         # Perform Identity operation between raster polygons and input vector
323.         Risk_commune = arcpy.analysis.Identity(raster_polygons, input_vector, risk_commune)
324.
```

```
325.         # Extract the file name from the full path of risk_commune
326.         risk_commune_basename = os.path.basename(risk_commune)
327.
328.         # Loop from 1 to 4 for each gridcode
329.         for i in range(1, 5):
330.             # Select features by attribute
331.             where_clause = "gridcode = {}".format(i)
332.             selected_features =
arcpy.management.SelectLayerByAttribute(in_layer_or_view=Risk_commune,
selection_type="NEW_SELECTION", where_clause=where_clause, invert_where_clause="")
333.
334.             # Initialize table name based on feature class name and gridcode
335.             output_table_name = "{}_gridcode_{}_statistics".format(risk_commune_basename,
i)
336.             output_table = arcpy.CreateTable_management(output_workspace,
output_table_name)
337.             arcpy.AddField_management(output_table, "Commune_ID", "LONG")
338.             arcpy.AddField_management(output_table, "NAME_3", "TEXT")
339.             arcpy.AddField_management(output_table, "Shape_Area", "DOUBLE")
340.
341.             # Perform Summary Statistics
342.             arcpy.analysis.Statistics(selected_features, output_table, [["NAME_3",
"FIRST"], ["Commune_ID", "FIRST"], ["Shape_Area", "SUM"]], "Commune_ID")
343.
344.         arcpy.AddMessage("Output Feature Class created: Risk_commune")
345.
346.
347.
348. class Maxminvalue(object):
349.     def __init__(self):
350.         """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
351.         self.label = "1.2. Công cụ tính toán giá trị lớn nhất, nhỏ nhất của các kịch bản"
352.         self.description = "Standardizes input rasters based on min-max normalization."
353.         self.canRunInBackground = False
354.     def getParameterInfo(self):
355.         """Define parameter definitions."""
356.         # Input rasters
357.         param0 = arcpy.Parameter(
358.             displayName="Dữ liệu rủi ro đầu ra của 1.1",
359.             name="input_rasters",
360.             datatype="DERasterDataset",
361.             parameterType="Required",
362.             direction="Input",
363.             multiValue=True)
364.
365.         # Output text file
366.         param1 = arcpy.Parameter(
367.             displayName="Lưu file chứa giá trị min-max",
368.             name="output_text_file",
369.             datatype="DEFile",
370.             parameterType="Required",
371.             direction="Output")
372.
373.         parameters = [param0, param1]
374.         return parameters
375.
376.     def execute(self, parameters, messages):
377.         """Execute the tool."""
378.         try:
379.             # Get input parameters
380.             raster_list = parameters[0].values
381.             output_txt = parametersEN1.valueAsText
382.
383.             # Check if input rasters are provided
384.             if not raster_list:
385.                 raise arcpy.ExecuteError("No input rasters provided.")
386.
387.             # Initialize dictionaries to store maximum and minimum values of each raster
388.             max_values = {}
389.             min_values = {}
```

```
390.
391.             # Initialize variables to store overall maximum and minimum values
392.             overall_max = None
393.             overall_min = None
394.
395.             # Loop through each raster to calculate max and min values
396.             for raster in raster_list:
397.                 try:
398.                     # Calculate maximum and minimum values
399.                     max_val = arcpy.GetRasterProperties_management(raster, "MAXIMUM")
400.                     min_val = arcpy.GetRasterProperties_management(raster, "MINIMUM")
401.
402.                     # Store values in dictionaries
403.                     max_values[raster] = float(max_val.getOutput(0))
404.                     min_values[raster] = float(min_val.getOutput(0))
405.
406.                     # Update overall maximum and minimum values
407.                     overall_max = max(overall_max, max_values[raster]) if overall_max is
not None else max_values[raster]
408.                     overall_min = min(overall_min, min_values[raster]) if overall_min is
not None else min_values[raster]
409.                 except Exception as e:
410.                     arcpy.AddWarning("Failed to process raster '{}': {}".format(raster,
str(e)))
411.
412.             # Write maximum and minimum values to the text file
413.             with open(output_txt, 'w') as f:
414.                 f.write("Overall maximum value: {}\n".format(overall_max))
415.                 f.write("Overall minimum value: {}\n\n".format(overall_min))
416.
417.                 for raster in raster_list:
418.                     f.write("Raster: {}\n".format(raster))
419.                     f.write("Maximum value: {}\n".format(max_values.get(raster, "N/A")))
420.                     f.write("Minimum value: {}\n\n".format(min_values.get(raster, "N/A")))
421.
422.             # Set messages
423.             arcpy.AddMessage("Maximum and minimum values calculated and saved
successfully.")
424.
425.         except Exception as e:
426.             # If an error occurs, add error message to tool output
427.             arcpy.AddError(str(e))
428. class StandardizeRasterTool(object):
429.     def __init__(self):
430.         """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
431.         self.label = "1.3. Công cụ chuẩn hóa kết quả phân tích"
432.         self.description = "Standardizes input raster based on min-max normalization."
433.         self.canRunInBackground = False
434.
435.     def getParameterInfo(self):
436.         """Define parameter definitions."""
437.         # Input raster
438.         param0 = arcpy.Parameter(
439.             displayName="Dữ liệu raster cần chuẩn hóa từ 1.1",
440.             name="input_raster",
441.             datatype="DERasterDataset",
442.             parameterType="Required",
443.             direction="Input")
444.
445.         # Text file containing max and min values
446.         param1 = arcpy.Parameter(
447.             displayName="File lưu trữ giá trị max-min tính từ công cụ 1.2",
448.             name="text_file",
449.             datatype="DETextFile",
450.             parameterType="Required",
451.             direction="Input")
452.
453.         # Output raster 1 (standardized)
454.         param2 = arcpy.Parameter(
455.             displayName="Dữ liệu raster đã được chuẩn hóa",
```

```
456.             name="output_raster1",
457.             datatype="DERasterDataset",
458.             parameterType="Required",
459.             direction="Output")
460.
461.         # Output raster 2 (classified)
462.         param3 = arcpy.Parameter(
463.             displayName="Dữ liệu raster đã được phân lớp",
464.             name="output_raster2",
465.             datatype="DERasterDataset",
466.             parameterType="Required",
467.             direction="Output")
468.
469.         parameters = [param0, param1, param2, param3]
470.         return parameters
471.
472.     def execute(self, parameters, messages):
473.         """Execute the tool."""
474.         try:
475.             # Get input parameters
476.             input_raster = parameters[0].valueAsText
477.             text_file = parametersEN1.valueAsText
478.             output_raster1 = parametersEN2.valueAsText
479.             output_raster2 = parametersEN3.valueAsText
480.
481.             # Open text file and extract max and min values
482.             with open(text_file, 'r') as f:
483.                 lines = f.readlines()
484.                 overall_max = float(lines[0].split(": ")[15].strip())
485.                 overall_min = float(linesEN1.split(": ")[15].strip())
486.
487.             # Standardize raster
488.             standardized_raster = (Raster(input_raster) - overall_min) / (overall_max -
overall_min)
489.             standardized_raster.save(output_raster1)
490.
491.             # Classify the standardized raster
492.             classified_raster = Reclassify(standardized_raster, "VALUE", RemapRange([[0,
0.1, 1], [0.1, 0.25, 2], [0.25, 0.5, 3], [0.5, 1, 4]]), "NODATA")
493.             classified_raster.save(output_raster2)
494.
495.             # Set messages
496.             arcpy.AddMessage("Raster standardized and classified successfully.")
497.
498.         except Exception as e:
499.             # If an error occurs, add error message to tool output
500.             arcpy.AddError(str(e))
501. class IdentityAndCountTool(object):
502.     def __init__(self):
503.         """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
504.         self.label = "1.6. Công cụ hỗ trợ thống kê rủi ro cho các đối tượng điểm"
505.         self.description = "Performs Identity between a point feature class and a polygon
feature class, and then counts the number of points in each gridcode."
506.         self.canRunInBackground = False
507.
508.     def getParameterInfo(self):
509.         """Define parameter definitions"""
510.
511.         # Workspace parameter
512.         param0 = arcpy.Parameter(
513.             displayName="CSDL gốc",
514.             name="workspace",
515.             datatype="DEWorkspace",
516.             parameterType="Required",
517.             direction="Input")
518.
519.         # Point feature class parameter
520.         param1 = arcpy.Parameter(
521.             displayName="Lớp dữ liệu điểm cần tính toán",
522.             name="point_fc",
```

```
523.             datatype="DEFeatureClass",
524.             parameterType="Required",
525.             direction="Input")
526.
527.         # Polygon feature class parameter
528.         param2 = arcpy.Parameter(
529.             displayName="Lớp dữ liệu rủi ro đã chuyển sang vector",
530.             name="polygon_fc",
531.             datatype="DEFeatureClass",
532.             parameterType="Required",
533.             direction="Input")
534.
535.         # Output point feature class parameter
536.         param3 = arcpy.Parameter(
537.             displayName="Lớp dữ liệu điểm đầu ra",
538.             name="output_point_fc",
539.             datatype="DEFeatureClass",
540.             parameterType="Required",
541.             direction="Output")
542.
543.         # Output table parameter
544.         param4 = arcpy.Parameter(
545.             displayName="Bảng thống kê điểm trong khu vực rủi ro",
546.             name="output_table",
547.             datatype="DETable",
548.             parameterType="Required",
549.             direction="Output")
550.
551.         params = [param0, param1, param2, param3, param4]
552.
553.         return params
554.
555.     def execute(self, parameters, messages):
556.         """Execute the tool"""
557.         workspace = parameters[0].valueAsText
558.         point_fc = parametersEN1.valueAsText
559.         polygon_fc = parametersEN2.valueAsText
560.         output_point_fc = parametersEN3.valueAsText
561.         output_table = parametersEN4.valueAsText
562.
563.         # Perform Identity
564.         identity_output = arcpy.Identity_analysis(point_fc, polygon_fc, output_point_fc)
565.
566.         # Count the number of points in each gridcode
567.         arcpy.Statistics_analysis(identity_output, output_table, [["OBJECTID", "COUNT"]],
"gridcode")
568.
569.         arcpy.AddMessage("Identity and count process completed successfully!")
570.
571.         return
572.
573.
574. class JoinTablesAndExport(object):
575.     def __init__(self):
576.         """Define the tool (tool name is the name of the class)."""
577.         self.label = "1.5. Liên kết bảng thống kê và xuất sang txt"
578.         self.description = "Joins tables to a polygon feature class by 'Commune_ID' and
exports the result to a .txt file"
579.         self.canRunInBackground = False
580.
581.     def getParameterInfo(self):
582.         """Define parameter definitions"""
583.         params = []
584.
585.         params.append(arcpy.Parameter(
586.             displayName="Dữ liệu ranh giới xã",
587.             name="input_polygons",
588.             datatype="DEFeatureClass",
589.             parameterType="Required",
590.             direction="Input"))
```

```
591.
592.         for i in range(1, 5):
593.             params.append(arcpy.Parameter(
594.                 displayName=f"Input Table {i}",
595.                 name=f"input_table_{i}",
596.                 datatype="DETable",
597.                 parameterType="Required",
598.                 direction="Input"))
599.
600.         params.append(arcpy.Parameter(
601.             displayName="Lưu bảng tổng hợp",
602.             name="output_txt",
603.             datatype="DEFile",
604.             parameterType="Required",
605.             direction="Output"))
606.
607.         return params
608.
609.     def isLicensed(self):
610.         """Set whether tool is licensed to execute."""
611.         return True
612.
613.     def updateParameters(self, parameters):
614.         """Modify the values and properties of parameters before internal validation is
performed."""
615.         return
616.
617.     def updateMessages(self, parameters):
618.         """Modify the messages created by internal validation for each parameter."""
619.         return
620.
621.     def execute(self, parameters, messages):
622.         """The source code of the tool."""
623.         input_polygons = parameters[0].valueAsText
624.         input_tables = [parameters[i].valueAsText for i in range(1, 5)]
625.         output_txt = parametersEN5.valueAsText
626.
627.         # Create a copy of the input polygons to avoid altering the original data
628.         temp_polygons = arcpy.management.CopyFeatures(input_polygons,
"in_memory/temp_polygons")
629.
630.         # Perform the joins
631.         for table in input_tables:
632.             arcpy.management.JoinField(temp_polygons, "Commune_ID", table, "Commune_ID")
633.
634.         # Export the joined table to a .txt file
635.         fields = [f.name for f in arcpy.ListFields(temp_polygons) if f.type not in
('Geometry', 'OID')]
636.
637.         # Debugging: print the fields to ensure they are correct
638.         messages.addMessage(f"Fields: {fields}")
639.
640.         with open(output_txt, 'w', encoding='utf-8') as f:
641.             f.write(','.join(fields) + '\n')
642.             with arcpy.da.SearchCursor(temp_polygons, fields) as cursor:
643.                 row_count = 0
644.                 for row in cursor:
645.                     f.write(','.join([str(r) for r in row]) + '\n')
646.                     row_count += 1
647.
648.         # Debugging: print the number of rows written to the file
649.         messages.addMessage(f"Number of rows written: {row_count}")
650.
651.         # Clean up
652.         arcpy.management.Delete(temp_polygons)
653.
654.         return
655.
656. class GridCodeSummaryTool(object):
657.     def __init__(self):
```

```
658.         """Define the tool (tool name is the class name)."""
659.         self.label = "1.7. Công cụ thống kê đối tượng điểm hạ tầng ảnh hưởng rủi ro theo
xã/phường"
660.         self.description = "Summarizes points by gridcode and commune, and joins the result
to the commune boundaries."
661.         self.canRunInBackground = False
662.
663.     def getParameterInfo(self):
664.         """Define parameter definitions"""
665.         params = []
666.
667.         # Input 1: Polygon feature class with commune boundary
668.         param0 = arcpy.Parameter(
669.             displayName="Ranh giới xã",
670.             name="commune_fc",
671.             datatype="DEFeatureClass",
672.             parameterType="Required",
673.             direction="Input"
674.         )
675.         params.append(param0)
676.
677.         # Input 2: Point feature class with gridcode and commune ID
678.         param1 = arcpy.Parameter(
679.             displayName="Lớp điểm cần tính",
680.             name="point_fc",
681.             datatype="DEFeatureClass",
682.             parameterType="Required",
683.             direction="Input"
684.         )
685.         params.append(param1)
686.
687.         # Output 1: Text file
688.         param2 = arcpy.Parameter(
689.             displayName="Dữ liệu thống kê",
690.             name="output_txt",
691.             datatype="DETextfile",
692.             parameterType="Required",
693.             direction="Output"
694.         )
695.         params.append(param2)
696.
697.         return params
698.
699.     def isLicensed(self):
700.         """Set whether tool is licensed to execute."""
701.         return True
702.
703.     def updateParameters(self, parameters):
704.         """Modify parameter values before internal validation is performed. This method
705.         is called whenever a parameter has been changed."""
706.         return
707.
708.     def updateMessages(self, parameters):
709.         """Modify messages created by internal validation for each parameter. This method
710.         is called after internal validation."""
711.         return
712.
713.     def execute(self, parameters, messages):
714.         """The source code of the tool."""
715.         commune_fc = parameters[0].valueAsText
716.         point_fc = parametersEN1.valueAsText
717.         output_txt = parametersEN2.valueAsText
718.
719.         # Set workspace
720.         arcpy.env.workspace = arcpy.env.scratchGDB
721.
722.         # List to keep track of summary tables
723.         summary_tables = []
724.
725.         # Loop through gridcode values 1 to 4
```

```
726.         for gridcode in range(1, 5):
727.             # Select points with the current gridcode
728.             where_clause = f"gridcode = {gridcode}"
729.             selected_points = arcpy.management.SelectLayerByAttribute(point_fc,
"NEW_SELECTION", where_clause)
730.
731.             # Summarize by Commune_ID
732.             summary_table = os.path.join(arcpy.env.scratchGDB,
f"summary_gridcode_{gridcode}")
733.             arcpy.analysis.Statistics(selected_points, summary_table, [["OBJECTID",
"COUNT"]], "Commune_ID")
734.             summary_tables.append(summary_table)
735.
736.         # Join summary tables to commune feature class
737.         joined_commune_fc = commune_fc
738.         for summary_table in summary_tables:
739.             joined_commune_fc = arcpy.management.AddJoin(joined_commune_fc, "Commune_ID",
summary_table, "Commune_ID")
740.
741.         # Export the joined table to the output text file
742.         fields = [f.name for f in arcpy.ListFields(joined_commune_fc)]
743.         with open(output_txt, "w", encoding="utf-8") as f:  # Use UTF-8 encoding
744.             f.write(",".join(fields) + "\n")
745.             with arcpy.da.SearchCursor(joined_commune_fc, fields) as cursor:
746.                 for row in cursor:
747.                     f.write(",".join([str(r) for r in row]) + "\n")
748.
749.         return
750.
```

Phụ lục 5: Kết quả khảo sát ngập lụt 2020 tại nội đô Cần Thơ

STT	Kinh độ	Vĩ độ	Mực nước ngập (cm)	STT	Kinh độ	Vĩ độ	Mực nước ngập (cm)
1	10.777452	10.037916	5	131	105.770187	10.03868	5
2	105.721	10.040726	5	132	105.770303	10.048275	5
3	105.749674	10.023725	5	133	105.770342	10.019753	5
4	105.751975	10.030661	5	134	105.770344	10.019717	8
5	105.752389	10.031104	5	135	105.770761	10.054703	5
6	105.752408	10.052	5	136	105.770822	10.019478	5
7	105.752524	10.1694	5	137	105.77087	10.055419	5
8	105.753225	10.031553	5	138	105.770933	10.049148	5
9	105.753973	10.071613	55	139	105.771059	10.021928	20
10	105.75398	10.071644	30	140	105.771091	10.049546	5
11	105.754087	10.071671	30	141	105.771099	10.050075	5
12	105.754265	10.070691	5	142	105.771246	10.038387	40
13	105.754362	10.041317	5	143	105.771359	10.055874	5
14	105.754364	10.041318	5	144	105.771359	10.055874	5
15	105.754812	10.041144	5	145	105.771838	10.021776	5
16	105.754908	10.070554	5	146	105.772041	10.056038	5
17	105.755157	10.070227	5	147	105.772137	10.056609	5
18	105.755214	10.070872	30	148	105.772319	10.051055	5
19	105.755251	10.071187	10	149	105.772484	10.025557	30
20	105.755264	10.071069	50	150	105.772496	10.033283	5
21	105.755284	10.071177	5	151	105.772943	10.06018	5
22	105.755309	10.070857	30	152	105.773022	10.0354	5
23	105.755338	10.071278	20	153	105.773767	10.043969	5
24	105.755351	10.070861	30	154	105.774408	10.051815	5
25	105.755357	10.070693	5	155	105.774537	10.052011	5
26	105.755724	10.06977	5	156	105.774635	10.033072	5
27	105.755851	10.069426	20	157	105.774702	10.032935	5
28	105.755885	10.05001	5	158	105.774726	10.0269	5
29	105.755981	10.071217	40	159	105.774869	10.034164	5
30	105.7561	10.070731	10	160	105.775436	10.035262	5
31	105.756403	10.040399	5	161	105.77544	10.03527	5
32	105.756568	10.040577	5	162	105.775444	10.03531	5
33	105.756651	10.072519	5	163	105.77545	10.057028	5
34	105.756816	10.069163	5	164	105.77552	10.052775	5
35	105.756875	10.068953	5	165	105.775614	10.0355278	5
36	105.756888	10.068619	5	166	105.77562	10.035289	5
37	105.756975	10.040521	5	167	105.776102	10.046049	5
38	105.757027	10.071622	5	168	105.776361	10.046337	5
39	105.757104	10.040085	5	169	105.776372	10.068595	5
40	105.7572	10.09391	5	170	105.776418	10.046113	5
41	105.757256	10.068015	5	171	105.776451	10.046233	5

42	105.757276	10.040339	5	172	105.776501	10.035225	5
43	105.757389	10.040144	5	173	105.776504	10.038288	5
44	105.757422	10.067894	5	174	105.776534	10.051467	30
45	105.757471	10.068323	5	175	105.776582	10.046449	5
46	105.757596	10.036009	5	176	105.776657	10.04646	5
47	105.757665	10.067654	5	177	105.776877	10.027227	15
48	105.757678	10.068144	5	178	105.777071	10.046827	5
49	105.75795	10.040024	5	179	105.777249	10.047012	5
50	105.758197	10.048029	5	180	105.777391	10.050333	10
51	105.758742	10.022644	5	181	105.777441	10.047209	5
52	105.758746	10.071801	5	182	105.777446	10.037978	5
53	105.758751	10.023576	5	183	105.77745	10.037935	30
54	105.759105	10.066554	10	184	105.777562	10.025546	5
55	105.759115	10.047229	5	185	105.777591	10.035328	5
56	105.75946	10.058988	5	186	105.777648	10.035647	10
57	105.759478	10.071661	5	187	105.777715	10.042418	20
58	105.759663	10.059222	7	188	105.777731	10.402435	35
59	105.759772	10.06597	5	189	105.777735	10.04242	20
60	105.759843	10.065464	5	190	105.77776	10.037506	30
61	105.76002	10.065752	5	191	105.777823	10.037459	30
62	105.760419	10.034671	10	192	105.77792	10.051038	10
63	105.760454	10.065235	5	193	105.778056	10.048096	10
64	105.760474	10.058811	5	194	105.778192	10.049046	5
65	105.760504	10.058779	5	195	105.778307	10.049348	5
66	105.760522	10.065056	5	196	105.778418	10.050148	5
67	105.760608	10.039244	5	197	105.779256	10.037083	20
68	105.760793	10.064622	5	198	105.779385	10.045277	5
69	105.761253	10.059009	5	199	105.779387	10.039292	5
70	105.761846	10.046052	5	200	105.78036	10.026195	20
71	105.761967	10.060474	5	201	105.780368	10.026203	15
72	105.762091	10.059981	7	202	105.780381	10.026269	30
73	105.762282	10.058297	5	203	105.780382	10.026271	40
74	105.762726	10.059586	10	204	105.780383	10.026269	20
75	105.762962	10.04162	5	205	105.780384	10.026146	20
76	105.762984	10.060385	5	206	105.780452	10.034877	15
77	105.763031	10.05832	5	207	105.780545	10.034744	5
78	105.763031	10.058087	5	208	105.78064	10.044714	5
79	105.763145	10.02285	5	209	105.781093	10.025721	70
80	105.763345	10.058524	5	210	105.781297	10.025762	40
81	105.763613	10.058303	5	211	105.781311	10.02584	10
82	105.763727	10.057914	20	212	105.781612	10.025379	60
83	105.763807	10.058018	5	213	105.782102	10.032804	5
84	105.763918	10.057747	10	214	105.782103	10.032808	20
85	105.763945	10.058426	10	215	105.782265	10.033094	5
86	105.763986	10.030737	5	216	105.782299	10.033079	5

87	105.763992	10.03075	5	217	105.782305	10.033091	5
88	105.763992	10.030743	5	218	105.782399	10.04494	5
89	105.764009	10.030729	5	219	105.782409	10.04501	5
90	105.764184	10.058545	5	220	105.782419	10.045007	5
91	105.764428	10.05837	5	221	105.782438	10.042797	5
92	105.764942	10.058424	5	222	105.782892	10.044888	5
93	105.765182	10.047229	5	223	105.78366	10.032218	5
94	105.765385	10.060852	5	224	105.783855	10.041695	5
95	105.766186	10.058659	5	225	105.784225	10.031948	20
96	105.766278	10.169401	5	226	105.784744	10.040789	5
97	105.76634	10.060164	6	227	105.784777	10.040601	5
98	105.766426	10.058943	5	228	105.784834	10.035169	5
99	105.766427	10.063886	5	229	105.784975	10.040626	5
100	105.766623	10.059046	5	230	105.785366	10.032241	5
101	105.76678	10.045036	5	231	105.785371	10.031863	5
102	105.766874	10.05874	5	232	105.785372	10.031955	5
103	105.766939	10.044872	5	233	105.785402	10.031905	5
104	105.767262	10.05833	5	234	105.785463	10.040037	5
105	105.767276	10.040275	20	235	105.785565	10.040061	5
106	105.767298	10.040183	5	236	105.78599	10.029349	8
107	105.767313	10.039448	30	237	105.786008	10.030443	40
108	105.767353	10.041335	25	238	105.786115	10.030465	5
109	105.768601	10.057327	5	239	105.786157	10.030417	10
110	105.768601	10.057327	5	240	105.786286	10.034612	5
111	105.76866	10.057511	5	241	105.786286	10.034612	5
112	105.768959	10.039958	40	242	105.786286	10.034273	5
113	105.7692	10.039187	5	243	105.786286	10.033078	5
114	105.769239	10.040076	20	244	105.786286	10.033833	5
115	105.769239	10.041404	5	245	105.78646	10.02761	20
116	105.769328	10.038262	30	246	105.7865	10.033802	5
117	105.769335	10.0267	8	247	105.786539	10.030498	5
118	105.769556	10.039613	20	248	105.786681	10.027988	5
119	105.769658	10.047684	5	249	105.787437	10.029127	5
120	105.76972	10.169389	5	250	105.787474	10.034083	5
121	105.769761	10.059111	5	251	105.787666	10.033183	30
122	105.769763	10.059085	8	252	105.787814	10.030071	5
123	105.769772	10.059055	5	253	105.787914	10.033838	5
124	105.769778	10.038308	20	254	105.788014	10.031055	5
125	105.769778	10.05908	5	255	105.788042	10.032223	5
126	105.769792	10.059063	5	256	105.788128	10.031909	5
127	105.769797	10.059066	5	257	105.788158	10.033767	10
128	105.769798	10.038529	20	258	105.788184	10.033773	20
129	105.769804	10.038552	20	259	105.788416	10.034012	5
130	105.769804	10.058999	5	260	105.78942	10.035929	5