

LỜI CAM ĐOAN

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

Tác giả luận án

Nguyễn Xuân Hiền

LỜI CẢM ƠN

Luận án được hoàn thành tại Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường dưới sự hướng dẫn khoa học của GS. TS. Trần Thục và GS. TS. Đinh Văn Ưu. Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới hai thầy đã tận tình giúp đỡ và hướng dẫn từng bước trong nghiên cứu và hoàn thiện luận án.

Tác giả luận án xin cảm ơn Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường và các đơn vị trực thuộc Viện: Phòng Khoa học Đào tạo và Hợp tác quốc tế, Trung tâm Nghiên cứu biển và tương tác biển – khí quyển đã tận tình giúp đỡ, tạo mọi điều kiện thuận lợi nhất cho tác giả học tập và nghiên cứu hoàn thành luận án.

Nhân dịp này, tác giả cũng xin được bày tỏ lời cảm ơn sâu sắc tới các nhà khoa học, các thầy giáo, bạn bè và đồng nghiệp đã tận tình giúp đỡ, chỉ bảo và động viên tác giả trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu thực hiện luận án.

Cuối cùng, tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn đến bố mẹ và người thân trong gia đình, đặc biệt là vợ và hai con đã động viên, khích lệ, tạo điều kiện trong suốt quá trình học tập để tác giả hoàn thành luận án này.

Tác giả luận án

Nguyễn Xuân Hiển

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	v
CÁC THUẬT NGỮ SỬ DỤNG TRONG LUẬN ÁN	vii
DANH MỤC HÌNH	ix
DANH MỤC BẢNG	xii
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài.....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án	7
3. Phạm vi nghiên cứu của luận án	7
4. Điểm mới của luận án.....	8
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn	8
6. Cấu trúc của luận án	8
CHƯƠNG I TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU	11
1.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới.....	11
1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước.....	18
1.3. Kết luận của Chương 1	22
CHƯƠNG II PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN NƯỚC DÂNG DO BÃO CÓ TÍNH ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG	24
2.1. Quy trình tính toán mực nước cực trị trong bão	24
2.2. Mô hình tính toán trường khí tượng.....	28
2.3. Mô hình tính toán nước dâng do bão	29
2.4. Mô hình tính toán trường sóng trong bão.....	32
2.4.1. Mô hình WAM	32
2.4.2. Mô hình SWAN.....	33
2.5. Tính toán nước dâng do sóng.....	34
2.6. Kiểm nghiệm mô hình	39
2.6.1. Kiểm nghiệm mô hình tính toán trường gió và áp trong bão	39
2.6.2. Kiểm nghiệm mô hình thủy động lực và nước dâng do bão	41
2.6.3. Kiểm nghiệm mô hình tính toán sóng trong bão	53
2.6.4. Kiểm nghiệm phương pháp tính mực nước cực trị trong bão	57

2.7. Kết luận của Chương 2	59
CHƯƠNG III ĐÁNH GIÁ NƯỚC DÂNG DO BÃO CÓ TÍNH ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG CHO KHU VỰC VEN BIỂN HẢI PHÒNG	60
3.1. Tổng quan về khu vực nghiên cứu	60
3.1.1. Vị trí địa lý, địa hình, địa mạo	60
3.1.2. Đặc điểm khí tượng, khí hậu	62
3.1.3. Đặc điểm các yếu tố thủy văn biển	65
3.2. Các cơn bão ảnh hưởng đến khu vực ven biển Hải Phòng	66
3.3. Nước dâng do bão khu vực ven biển Hải Phòng	71
3.3.1. Tương tác giữa nước dâng do bão và thủy triều khu vực Hải Phòng ...	71
3.3.2. Kết quả tính toán nước dâng do bão	74
3.3.3. Nước dâng do sóng trong bão	81
3.3.4. Mực nước cực trị trong bão	87
3.4. Đường tần suất nước dâng do bão, nước dâng do sóng và mực nước cực trị trong bão khu vực ven biển Hải Phòng	93
3.5. Tác động của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến khu vực ven biển Hải Phòng	96
3.5.1. Tác động đến chế độ thủy triều	96
3.5.2. Tác động đến mực nước cực trị trong bão	101
3.5.3. Đánh giá nguy cơ gây ngập khu vực ven biển Thành phố Hải Phòng	104
3.6. Kết luận của Chương 3	106
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	109
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN	112
TÀI LIỆU THAM KHẢO	113

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

ADCIRC	Mô hình mô phỏng hoàn lưu ven bờ và nước dâng do bão (ADvanced CIRCulation)
BĐKH	Biến đổi khí hậu
DELFT 3D	Mô hình tính nước dâng do bão của Đại học DELFT, Hà Lan
DHI	Viện Thủy lực Đan Mạch (Danish Hydraulic Institute)
GHER	Mô hình nghiên cứu thủy thạch động lực và môi trường của Đại học Liege, Bỉ (GeoHydrodynamic and Environment Research)
GIS	Hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information System)
IPCC	Ban Liên Chính phủ về biến đổi khí hậu (Intergovernmental Panel on Climate Change)
JTWC	Trung tâm liên hợp cảnh báo bão, Hawaii, Hoa Kỳ
MM5	Mô hình dự báo thời tiết quy mô vừa thế hệ thứ 5 (Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model)
NOAA	Cơ quan Khí quyển và Đại dương quốc gia, Hoa Kỳ (National Oceanic and Atmospheric Administration)
POM	Mô hình đại dương Princeton (Princeton Ocean Model)
ROMS	Mô hình khu vực mô phỏng đại dương của đại học Rutgers và ULCA, Hoa Kỳ (The Regional Ocean Modeling System)
SLOSH	Mô hình tính nước dâng do bão cho khu vực ven biển, biển và hồ (Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes)
SMS	Hệ thống mô hình mô phỏng nước mặt (Surface Water Modeling System), Hoa Kỳ
SPM	Sổ tay bảo vệ đường bờ của Hoa Kỳ (Shoreline Protection Manual)
SPLASH	Chương trình đặc biệt để tính toán nước dâng do bão (Special Program to List Amplitude of Surge from Hurricanes)
SWAN	Mô hình mô phỏng sóng vùng bờ (Simulating Waves Nearshore)

TSIM	Mô hình tính nước dâng do bão, Viện Cơ học
TWP	Mức nước bị ảnh hưởng bởi cả thủy triều, gió và áp suất khí quyển.
TWPR	Mức nước bị ảnh hưởng bởi cả thủy triều, gió, áp suất khí quyển và ứng suất sóng
WAM	Mô hình sóng đại dương (Wave modeling)

CÁC THUẬT NGỮ SỬ DỤNG TRONG LUẬN ÁN

TT	Thuật ngữ	Ý nghĩa
1	Biến đổi khí hậu	Sự biến đổi trạng thái của hệ thống khí hậu, có thể được nhận biết qua sự biến đổi về trung bình và sự biến động của các thuộc tính của nó, được duy trì trong một thời gian đủ dài, điển hình là hàng thập kỷ hoặc dài hơn, biểu hiện của biến đổi khí hậu được thể hiện qua sự dâng mực nước biển, hệ quả của sự tăng nhiệt độ toàn cầu.
2	Cực trị thủy triều	Giá trị cao nhất hoặc thấp nhất của thủy triều tại trạm quan trắc
3	Hiệu ứng nhà kính	Kết quả của sự trao đổi không cân bằng về năng lượng giữa trái đất với không gian xung quanh, dẫn đến sự gia tăng nhiệt độ của khí quyển trái đất. Nhiệt độ bề mặt trái đất được tạo nên do sự cân bằng giữa năng lượng mặt trời đến bề mặt trái đất và năng lượng bức xạ của trái đất vào khoảng không gian giữa các hành tinh. Năng lượng mặt trời chủ yếu là các tia sóng ngắn dễ dàng xuyên qua cửa sổ khí quyển. Trong khi đó, bức xạ của trái đất với nhiệt độ bề mặt trung bình +16°C là sóng dài có năng lượng thấp, dễ dàng bị khí quyển giữ lại. Các tác nhân gây ra sự hấp thụ bức xạ sóng dài trong khí quyển là khí CO ₂ , bụi, hơi nước, khí mêtan, khí CFC v.v...
4	Khí nhà kính	Chất khí có khả năng hấp thụ và phát xạ bức xạ sóng dài (bức xạ nhiệt) gây nên hiệu ứng nhà kính. Những chất khí nhà kính tự nhiên chủ yếu trong khí quyển bao gồm hơi nước, điôxit, mêtan, ôxit nitơ và ôzôn
5	Kịch bản biến đổi khí hậu	Giả định có cơ sở khoa học và tính tin cậy về sự tiến triển trong tương lai của các mối quan hệ giữa kinh tế - xã hội, GDP, phát thải khí nhà kính, biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng. Kịch bản biến đổi khí hậu khác với dự báo thời tiết và dự báo khí hậu là nó đưa ra quan điểm về mối ràng buộc giữa phát triển và hành động
6	Mực nước biển	Mực nước tổng cộng so với mực nước trung bình đo được bằng các thiết bị đo đạc mực nước

7	Mức nước biển trung bình	Giá trị trung bình của toàn bộ các giá trị mực nước quan trắc được tại trạm
8	Mức nước cực trị trong bão	Giá trị dâng lên của mực nước biển trong bão so với mực nước trung bình, là tổng các thành phần thủy triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng
9	Nước biển dâng	Sự dâng lên của mực nước của đại dương, trong đó không bao gồm triều, nước dâng do bão... Nước biển dâng tại một vị trí nào đó có thể cao hơn hoặc thấp hơn so với trung bình toàn cầu vì có sự khác nhau về nhiệt độ của đại dương và các yếu tố khác
10	Nước dâng do bão	Giá trị dâng lên của mực nước biển do tác động trực tiếp của bão (thông qua áp suất khí quyển và gió trong bão)
11	Nước dâng do bão lớn nhất	Giá trị lớn nhất của nước dâng do bão trong suốt thời gian ảnh hưởng của bão
12	Nước dâng do sóng	Giá trị dâng lên của mực nước biển trong đới sóng vỡ do quá trình chuyển đổi động lượng sóng thành thế năng cột nước
13	Thủy triều	Những dao động tuần hoàn của mực nước biển theo thời gian do các lực có nguồn gốc thiên văn gây nên

DANH MỤC HÌNH

Hình 1. Mực nước trong bão tại khu vực ven biển.....	4
Hình 2.1. Các thành phần của mực nước cực trị trong bão	26
Hình 2.2. Quy trình tính mực nước cực trị trong bão	27
Hình 2.3. Toán đồ tính nước dâng do sóng (η) theo độ cao sóng (H_{os}), bước sóng (L_{op}) và độ dốc đáy theo FAMA.....	37
Hình 2.4. Vận tốc gió tính toán và thực đo tại trạm Hòn Dấu	40
Hình 2.5. Kết quả tính toán trường gió và trường áp trong cơn bão Damrey	41
Hình 2.6. Miền tính và độ sâu địa hình trên toàn vịnh Bắc bộ	42
Hình 2.7. Lưới tính khu vực nghiên cứu trong mô hình ADCIRC	43
Hình 2.8. Biến trình mực nước triều tính từ mô hình và từ hằng số điều hòa	44
Hình 2.9. Quỹ đạo cơn bão Damrey, 2005.....	46
Hình 2.10. Trường dòng chảy trong bão Damrey, 2005.....	47
Hình 2.11. Trường mực nước trong bão Damrey, 2005	48
Hình 2.12. Mực nước tổng cộng tại Hòn Dấu trong bão Damrey, 2005	49
Hình 2.13. Nước dâng do bão tại Hòn Dấu trong bão Damrey, 2005	49
Hình 2.14. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Carla, 1962.....	50
Hình 2.15. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Kate, 1973	51
Hình 2.16. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Frankie, 1996 ...	51
Hình 2.17. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Niki, 1996	51
Hình 2.18. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Carla, 1962.....	52
Hình 2.19. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Kate, 1973	52
Hình 2.20. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Frankie, 1996 ...	53
Hình 2.21. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Niki, 1996	53
Hình 2.22. Miền tính sử dụng trong mô hình SWAN	54
Hình 2.23. Quỹ đạo của 2 cơn bão và vị trí các trạm phao đo sóng.....	55
Hình 2.24. Biến trình độ cao sóng có nghĩa trong cơn bão Frankie, 1996	55
Hình 2.25. Biến trình độ cao sóng có nghĩa trong cơn bão Wukong, 2006 ...	56
Hình 2.26. Mực nước cực trị thực đo và tính toán trong bão Damrey	58
Hình 2.27. Mực nước cực trị thực đo và tính toán trong bão Vicente.....	58
Hình 3.1. Bản đồ hành chính thành phố Hải Phòng	60

Hình 3.2. Phân bố hướng đổ bộ của bão khu vực nghiên cứu	69
Hình 3.3. Mật độ xác suất tốc độ di chuyển của bão khu vực nghiên cứu	69
Hình 3.4. Mật độ xác suất tốc độ gió lớn nhất của bão khu vực nghiên cứu..	70
Hình 3.5. Phân bố độ lệch áp suất tâm bão tại khu vực nghiên cứu	70
Hình 3.6. Nước dâng do bão tính toán trong trường hợp TWPR.....	73
Hình 3.7. Nước dâng do bão tính toán trong trường hợp TWP	73
Hình 3.8. Sơ đồ vị trí các điểm tính toán	75
Hình 3.9. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P1	79
Hình 3.10. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P2	79
Hình 3.11. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P3	79
Hình 3.12. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P4	80
Hình 3.13. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P5	80
Hình 3.14. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P6	80
Hình 3.15. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P7	81
Hình 3.16. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P1	85
Hình 3.17. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P2	85
Hình 3.18. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P3	85
Hình 3.19. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P4	86
Hình 3.20. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P5	86
Hình 3.21. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P6	86
Hình 3.22. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P7	87
Hình 3.23. Biên trình mực nước tại đê Đồ Sơn trong bão Damrey, 2005.....	87
Hình 3.24. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P1 ...	91
Hình 3.25. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P2 ...	91
Hình 3.26. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P3 ...	91
Hình 3.27. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P4 ...	92
Hình 3.28. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P5 ...	92
Hình 3.29. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P6 ...	92
Hình 3.30. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P7 ...	93
Hình 3.31. Đường tần suất mực nước cực trị trong bão tại các điểm ven biển Hải Phòng	95

Hình 3.32. Bản đồ đẳng biên độ (m) của sóng K1 trong các kịch bản.....	97
Hình 3.33. Bản đồ đẳng pha (độ_GMT) của sóng K1 trong các kịch bản	98
Hình 3.34. Bản đồ đẳng biên độ (m) của sóng M2 trong các kịch bản	98
Hình 3.35. Bản đồ đẳng pha (độ_GMT) của sóng M2 trong các kịch bản.....	99
Hình 3.36. Đường tần suất mực nước lớn nhất trong bão tại các điểm ven biển Hải Phòng trong điều kiện nước biển dâng do biến đổi khí hậu	103

DANH MỤC BẢNG

Bảng 2.1. Các công thức thực nghiệm tính nước dâng do sóng.....	37
Bảng 2.2 Kết quả kiểm nghiệm mô hình tính toán trường gió.....	40
Bảng 2.3. So sánh giữa kết quả tính toán và số liệu thực đo các sóng triều tại Hòn Dấu.....	45
Bảng 2.4. Danh sách các cơn bão được dùng để kiểm nghiệm mô hình.....	46
Bảng 2.5. Kết quả kiểm nghiệm mô hình tính nước dâng do bão trong bão Damrey, 2005 tại Hòn Dấu.....	48
Bảng 2.6. Kết quả kiểm nghiệm mô hình cho mực nước cực trị trong bão tại Hòn Dấu.....	50
Bảng 2.7. Kết quả kiểm nghiệm mô hình cho mực nước cực trị trong một số cơn bão tại Hòn Dấu.....	52
Bảng 2.8. Sai số tính toán của độ cao sóng (m) trong các cơn bão.....	56
Bảng 2.9. Nước dâng thực tế tại khu vực Hải Phòng trong bão Washi [23] ..	57
Bảng 3.1. Tốc độ gió trung bình tại một số trạm (m/s)	63
Bảng 3.2. Tần suất xuất hiện tốc độ gió theo các hướng.....	64
Bảng 3.3. Danh sách các cơn bão ảnh hưởng đến khu vực Hải Phòng	66
Bảng 3.4. Các kịch bản tính toán tương tác thủy triều và nước dâng do bão .	72
Bảng 3.5. Nước dâng do bão cao nhất theo kịch bản biên độ triều.....	73
Bảng 3.6. Nước dâng do bão lớn nhất tính toán trong các cơn bão	76
Bảng 3.7. Nước dâng do sóng lớn nhất trong các cơn bão	82
Bảng 3.8. Mực nước cực trị trong các cơn bão	88
Bảng 3.9. Mực nước cực trị theo chu kỳ lặp lại	94
Bảng 3.10. Sự thay đổi biên độ các sóng triều do nước biển dâng	99
Bảng 3.11. Sự thay đổi pha các sóng triều do nước biển dâng	100
Bảng 3.12. Mực nước cực trị trong bão theo chu kỳ lặp lại (năm) do nước biển dâng, kịch bản biến đổi khí hậu A1FI.....	102
Bảng 3.13. Đánh giá hiện trạng đê biển Thành phố Hải Phòng.....	104

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Trong những năm gần đây do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu toàn cầu, thiên tai trở lên phức tạp hơn, đặc biệt là bão, kèm theo đó là mực nước biển dâng cao gây ra ngập lụt các vùng cửa sông ven biển. Sự dâng lên của mực nước trong bão có nguy cơ gây ngập đến khu vực ven biển và có thể gây vỡ đê, đặc biệt nếu bão xảy ra trong thời kỳ triều cường. Vì vậy, việc nghiên cứu, tính toán, dự báo mực nước cực trị trong bão tại các điểm ven bờ và nguy cơ ngập do bão là một trong những biện pháp tích cực giúp phòng tránh và đưa ra những giải pháp cần thiết để giảm thiểu thiệt hại. Các thành phần gây ra mực nước cực trị trong bão bao gồm thủy triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng, trong đó, nước dâng do bão là thành phần quan trọng.

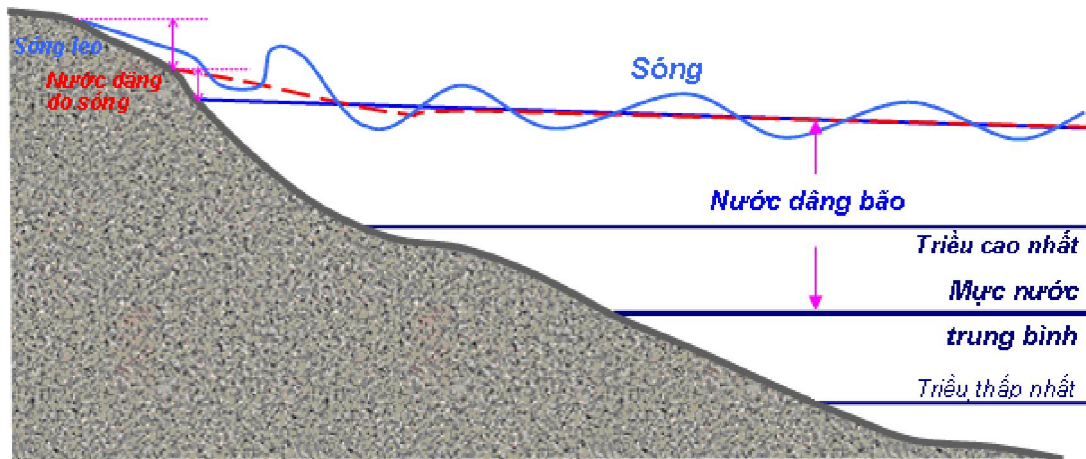
Nước dâng do bão (storm surge) là một hiện tượng tự nhiên nguy hiểm, gây nhiều thiệt hại về người và của cải. Trên thế giới, một trong những quốc gia bị ảnh hưởng nặng nhất bởi nước dâng do bão là Băng-la-đet. Năm 1991, nước dâng do bão lên cao tới hơn 6m đã làm hơn 138.000 người thiệt mạng [34]. Năm 2005, cơn bão Katrina đổ bộ vào thành phố New Orleans bang Louisiana - Hoa Kỳ ngày 29/8/2005 với sức gió trên 140 dặm/giờ (~225 km/h), đã phá hỏng hệ thống đê bảo vệ và gây nước dâng 6 m. Hơn 1000 người chết và mất tích trong cơn bão này, chủ yếu là vì nước dâng do bão, gây thiệt hại khoảng 81,2 tỷ USD [29]. Tại khu vực Đông Nam Á, cơn bão Nargis đổ bộ vào Myanmar ngày 2/5/2008 làm hơn 100.000 người chết và mất tích, thiệt hại ước tính khoảng 10,0 tỷ USD và gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống cư dân vùng bão đổ bộ cũng như môi trường xung quanh [40]. Các khu vực khác trên thế giới như khu vực Đông - Bắc Á, vùng biển Caribe cũng chịu nhiều thiệt hại bởi nước dâng do bão, trong đó nước dâng cao nhất

đo được tại Triều Tiên đạt tới 5,2 m [52].

Ở Việt Nam, nước dâng do bão cũng đã gây rất nhiều thiệt hại về người và cửa, nước dâng lớn nhất ghi nhận được trong cơn bão Dan năm 1989 là 3,6m [2]. Trong lịch sử cũng đã ghi nhận nhiều thiệt hại do nước dâng do bão gây ra. Tháng 2 năm 1904 một cơn bão đổ bộ vào Nam Bộ, gây ra nước dâng và sóng lớn đã cuốn trôi nhiều người và cửa cải. Cơn bão Kelly năm 1981, đổ bộ vào Quỳnh Lưu – Nghệ An gây ra nước dâng rất lớn, nhiều nơi nước dâng cao 2,8 – 3,2 m, nơi cao nhất là Lạch Ghép. Năm 1985 cơn bão Andy gây ra nước dâng cao nhất tại cửa Dinh (Quảng Bình) là 1,7 m và cơn bão Cecil gây ra nước dâng lớn nhất tại Hoa Kỳ Thủy (Thừa Thiên Huế) là 2,5 m. Cơn bão Wayne năm 1986 gây ra nước dâng lớn nhất tại Trà Lý (Thái Bình) là 2,3 m. Năm 1987, cơn bão Betty gây ra nước dâng lớn nhất tại Quỳnh Phương (Nghệ An) là 2,5m. Năm 1989, nước dâng lớn nhất do cơn bão Dot gây ra tại Đồ Sơn (Hải Phòng) là 2,2m, cơn bão Irving gây ra tại Sầm Sơn (Thanh Hóa) là 2,9 m. Năm 1996, cơn bão Frankie gây ra nước dâng cao nhất là 3,14 m ở đê Đông Minh (Tiền Hải – Thái Bình), cơn bão Niki gây ra nước dâng cao nhất là 3,11 m tại Thịnh Long (Hải Hậu – Nam Định)...[12], [13], [14].

Nước dâng do bão đặc biệt nguy hiểm khi xuất hiện vào đúng thời kỳ triều cường, mực nước tổng cộng dâng cao, kết hợp với sóng to có thể tràn qua đê vào đồng ruộng, đây chính là nguyên nhân gây thiệt hại nặng nề về người và cửa. Ở nước ta, trong năm 2005 có 4 cơn bão gây nước dâng cao, trong đó có 2 cơn (bão số 2 - Washi và bão số 7 - Damrey) xảy ra đúng vào lúc triều cường nên thiệt hại do 2 cơn bão này tại Hải Phòng và Nam Định rất lớn [23], [56]. Ngoài bão, gió mùa cũng gây ra nước dâng đáng kể, tại Việt Nam trong những đợt gió mùa mạnh (cấp 6, 7) và kéo dài 2 đến 3 ngày cũng gây ra nước dâng đáng kể, khoảng từ 30 - 40 cm, có khi cao hơn.

Mức nước cực trị trong bão tại các điểm ven bờ mà thực tế là mực nước lớn nhất trong bão gần đây nhận được nhiều sự quan tâm của cộng đồng khoa học. Nếu như tại các điểm xa bờ, mực nước cực trị trong bão chủ yếu gây ra bởi ứng suất gió trong bão và áp suất khí quyển thì tại các điểm ven bờ, động năng sóng trong bão từ ngoài khơi truyền vào bờ biển bị chuyển đổi thành thế năng cột nước do hiệu ứng nước nông gây ra sự thay đổi của mực nước trung bình tại các điểm ven bờ [31]. Sự dâng lên của mực nước trung bình tại các điểm ven bờ do sóng sinh ra được gọi là **nước dâng do sóng** và các nghiên cứu trên thế giới đã chứng minh sự đóng góp đáng kể của nó vào mực nước cực trị trong bão tại các điểm ven bờ [24]. Chu kỳ của nước dâng do sóng lớn hơn chu kỳ sóng khi đi vào bờ, diễn ra trong một khoảng thời gian kéo dài hơn so với chu kỳ sóng. Nước dâng do sóng tạo nên bởi tác động của tập hợp nhiều đợt sóng đi vào bờ trong một khoảng thời gian đủ dài, tạo nên khả năng duy trì mực nước tĩnh ở mức cao. Theo các đánh giá khác nhau, khoảng thời gian tối thiểu để hình thành nước dâng do sóng là 1 giờ. Trong các cơn bão, thời gian kéo dài nước dâng do sóng trùng với thời gian của sóng bão và tồn tại trong nhiều giờ [67]. Trong những đợt gió mùa mạnh, nước dâng do sóng có thể kéo dài đến một vài ngày [64]. Theo lý thuyết sóng tuyến tính, nước dâng do sóng đạt khoảng 19% độ cao sóng vỡ trong trường hợp các sóng tuyến tính lan truyền vào vùng bờ biển có độ dốc nhỏ [31]. Độ lớn của nước dâng do sóng thay đổi phụ thuộc vào độ dốc bãi biển, hướng sóng và đường bờ. Một số nghiên cứu thực nghiệm cho thấy nước dâng do sóng tại các điểm sát bờ trong các cơn bão xấp xỉ 20% hoặc hơn độ cao sóng có nghĩa ngoài khơi và trong nhiều trường hợp, đóng góp của nước dâng do sóng lớn hơn so với thành phần nước dâng do gió trong mực nước cực trị trong bão [37], [53], [54], [57]. Hình 1 trình bày các thành phần và sự biến đổi của mực nước trong bão tại khu vực ven bờ.



Hình 1. Mức nước trong bão tại khu vực ven biển

Việc xác định mức nước cực trị trong bão ở khu vực ven bờ là đặc biệt quan trọng trong đánh giá nguy cơ ngập cho khu vực ven biển trong các cơn bão. Theo nghiên cứu của Chen et al (2008), trong cơn bão Katrina năm 2005 tại Hoa Kỳ, yếu tố động lực ven bờ, trong đó có nước dâng do sóng chiếm tới 80% trong khi các tác động của thủy triều, độ cao sóng và nước dâng ngoài khơi chỉ đóng góp 20% vào mức nước cực trị trong bão tại các điểm ven bờ và đây là nguyên nhân chính gây ra ngập lụt cho khu vực bang Louisiana của Hoa Kỳ [29]. Nghiên cứu của Weaver, R.J. (2004) chỉ ra rằng, trong một số trường hợp, nước dâng do sóng đóng góp từ 30 – 50% mức nước tổng cộng tại khu vực ven bờ [57]. Như vậy, việc xét đến nước dâng do sóng trong mức nước cực trị trong bão sẽ làm cho việc đánh giá khả năng ngập lụt gây ra bởi mức nước cực trị trong bão chính xác hơn.

Trong các sổ tay bảo vệ bờ biển của Hoa Kỳ, việc nghiên cứu mức nước cực trị trong bão (gồm nước dâng do bão, nước dâng do sóng và thủy triều) là một trong những vấn đề quan trọng nhất trong tính toán, đánh giá mức nước cực trị tại các bãi biển tự nhiên. Tương tự như vậy, đối với các công trình ven biển, thủy triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng cùng với nước biển dâng do biến đổi khí hậu cần được xem xét đưa vào trong tính

toán mực nước thiết kế [30].

Các môi đe dọa từ nước dâng do bão đến khu vực ven biển có thể trở nên nghiêm trọng hơn trong tương lai. Thứ nhất, dân số tăng và sự phát triển sẽ tiếp tục tập trung tại các khu vực ven biển. Theo nghiên cứu của Pielke và nnk (1998), sự mất mát tài sản do nước dâng trong bão gây ra tăng gấp đôi trong mỗi thập kỷ. Nếu giữ nguyên xu hướng này, một phép tính đơn giản cho thấy nếu có một cơn bão tương tự như cơn bão Katrina (2005) xảy ra vào năm 2050 thì thiệt hại do nó gây ra có thể lên tới hơn 1800 tỷ USD. Thứ hai, do biến đổi khí hậu, cường độ và quỹ đạo các cơn bão có thể sẽ khó dự báo hơn, không loại trừ cường độ bão mạnh hơn và nguy cơ ngập lụt cho các khu vực ven biển sẽ lớn hơn (Valle-Levinson và nnk, 2002;. Wang và nnk, 2005; Bernier và Thompson, 2006; Kohut và nnk, 2006; Li và nnk, 2006; Weisberg và Zheng, năm 2006; Shen và nnk, 2008).

Thành phố Hải Phòng không chỉ là trung tâm kinh tế lớn của miền Bắc, mà còn là một trong những vùng kinh tế năng động nhất của cả nước. Hải Phòng có rất nhiều điều kiện cũng như tiềm năng để phát triển thành một khu vực có nền kinh tế mạnh, cùng với Hà Nội, Quảng Ninh hình thành nên khu vực tam giác kinh tế quan trọng của miền Bắc. Thành phố Hải Phòng nằm sát ven biển và là một trong những tỉnh/thành thường xuyên chịu những tác động bất lợi của thiên tai trong đó có bão và nước dâng do bão. Hiện nay, toàn bộ các hoạt động kinh tế xã hội và cơ sở hạ tầng của thành phố Hải Phòng được bảo vệ bởi hệ thống đê sông và đê biển, bao gồm 24 tuyến đê với tổng chiều dài khoảng 421 km, trong đó có 6 tuyến đê biển với chiều dài khoảng 106 km; 18 tuyến đê sông với chiều dài khoảng 315 km. Thêm lục địa khu vực ven biển Hải Phòng nông và đường bờ bị chia cắt liên tục bởi nhiều cửa sông có tiết diện lớn, địa hình đất liền thấp với nhiều khu vực có cao độ từ 1 – 2 m là khu vực có nguy cơ cao bị ngập trong trường hợp bão đổ bộ.

Theo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2012, do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, mực nước biển trung bình tại khu vực Hải Phòng có thể tăng từ 42 đến 86 cm tùy theo từng kịch bản phát triển kinh tế xã hội [1]. Nước biển dâng làm tăng nguy cơ ngập lụt cho khu vực đất ven biển, có thể gây ra sự thay đổi về pha và biên độ của các sóng thủy triều do có sự thay đổi về đường bờ, địa hình [19]. Sự thay đổi này sẽ làm mực nước cực trị trong bão khó lường hơn và ảnh hưởng nghiêm trọng đến khu vực ven biển, đặc biệt là đô thị ven biển.

Trong quá khứ, nhiều cơn bão đã gây ngập cho Hải Phòng. Gần đây nhất, trong năm 2005, cơn bão số 2 (Washi) đã gây nên mực nước cực trị trong bão tại Hòn Dấu là 418 cm, gây ngập úng cho 3.738 ha hoa màu và 2.000 ha lúa, nhiều tuyến đê có nguy cơ bị tràn, phải cứu hộ và gia cố [24]. Trong điều kiện nước biển dâng do biến đổi khí hậu, hệ thống đê hiện tại sẽ chịu những áp lực lớn hơn từ các cơn bão và đe dọa đến việc đảm bảo an toàn cho Thành phố.

Tại Việt Nam nói chung cũng như Hải Phòng nói riêng, mặc dù đã có nhiều công trình nghiên cứu về sự biến động của mực nước biển trong bão nhưng hầu hết các công trình này đều quan tâm đến sự biến động mực nước ở quy mô lớn [13], [16]. Sự biến động của mực nước tại các điểm ven biển, nơi mà sự biến động của mực nước biển có đóng góp của nước dâng do sóng và nguy cơ gây ngập lụt vẫn chưa được quan tâm đúng mức, đặc biệt khi đánh giá nguy cơ úng ngập ven biển. Do vậy, nghiên cứu về mực nước cực trị trong bão có xét tới thủy triều, nước dâng do bão, nước dâng do sóng và nguy cơ gây ngập lụt đến vùng đất ven biển có ý nghĩa khoa học lớn. Việc áp dụng cho khu vực Hải Phòng, một khu vực đông dân cư, thường xuyên chịu tác động của bão là có ý nghĩa về thực tiễn. Kết quả của nghiên cứu sẽ góp phần giảm nhẹ các tác động bất lợi của nước dâng do bão, phục vụ bảo trì và duy

tu, nâng cấp các công trình ven biển, bảo vệ đường bờ, các nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội, bảo vệ môi trường và phát triển bền vững.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Nhận thức được tầm quan trọng của việc nghiên cứu mực nước cực trị trong bão và các ảnh hưởng của yếu tố bất lợi khác tới ven biển Hải Phòng, đề tài luận án: “Nghiên cứu nước dâng do bão có tính đến ảnh hưởng của sóng và áp dụng cho khu vực ven biển Hải Phòng” đã được lựa chọn với mục tiêu và nhiệm vụ chủ yếu như sau:

Mục tiêu nghiên cứu:

- Đề xuất được phương pháp nghiên cứu, tính toán mực nước cực trị trong bão trên cơ sở hoàn thiện các phương pháp tính toán, đánh giá nước dâng do bão và nước dâng do sóng trên đường bờ.

- Đề xuất được phương pháp đánh giá ảnh hưởng của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến sự thay đổi của đặc trưng thủy triều và mực nước cực trị trong bão và khả năng gây ngập đến khu vực ven biển.

- Áp dụng các phương pháp để tính toán mực nước cực trị trong bão cho khu vực ven biển Hải Phòng phục vụ cho phát triển kinh tế - xã hội và phòng chống thiên tai.

3. Phạm vi nghiên cứu của luận án

- *Đối tượng nghiên cứu:* Mực nước cực trị trong bão tại đường bờ, bao gồm thủy triều, nước dâng do bão, nước dâng do sóng, mực nước trung bình có tính đến nước biển dâng do biến đổi khí hậu và nguy cơ ngập từ biển.

- *Phạm vi nghiên cứu:* Một số khu vực cụ thể trong dải ven bờ Hải Phòng và các vùng biển kế cận. Thời gian nghiên cứu trong khoảng từ năm 1950 đến năm 2010.

4. Điểm mới của luận án

a) Xác định được sự đóng góp của nước dâng do sóng đối với mực nước cực trị trong bão, từ đó đề xuất bổ sung thêm thành phần nước dâng do sóng nhằm nâng cao độ chính xác trong quy trình tính mực nước cực trị trong bão và áp dụng cụ thể cho vùng biển Hải Phòng.

b) Bước đầu đánh giá khả năng tác động của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến sự thay đổi các sóng thủy triều cho vùng biển Hải Phòng.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Biến động theo thời gian và không gian của mực nước cực trị trong bão và các hợp phần gồm nước dâng do bão, nước dâng do sóng, thủy triều là các hiện tượng tự nhiên có ảnh hưởng một cách trực tiếp tới nhiều hoạt động kinh tế - xã hội, trước hết là các tiêu chuẩn thiết kế cho các ngành vận tải biển, công trình trên biển và ven bờ, công trình bảo vệ bờ, công tác phòng chống thiên tai liên quan đến bão và nước dâng trong bão ở những vùng ven bờ biển. Vì vậy, việc nghiên cứu cơ chế và quy trình tính toán mực nước cực trị trong bão có tính đến nước dâng do sóng, triều và nguy cơ ngập cho khu vực ven biển vừa có ý nghĩa khoa học, vừa có ý nghĩa thực tiễn phục vụ thiết thực cho các hoạt động kinh tế - xã hội, quốc phòng - an ninh và phòng chống thiên tai.

Kết quả nghiên cứu của luận án được thực hiện cho khu vực Hải Phòng sẽ là tài liệu tham khảo có giá trị trong công tác hoạch định các chính sách quản lý, phát triển kinh tế - xã hội và đảm bảo quốc phòng - an ninh, bảo vệ môi trường của thành phố.

6. Cấu trúc của luận án

Để thực hiện các mục tiêu của đề tài luận án và trình bày các kết quả đã nghiên cứu, luận án được trình bày với cấu trúc như sau:

Mở đầu

Phần này trình bày khái quát tính cấp thiết, lý do chọn đề tài luận án và mục tiêu, nhiệm vụ nghiên cứu; đồng thời nêu tóm tắt đối tượng, phạm vi, phương pháp nghiên cứu và ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài luận án.

Chương 1. Tổng quan vấn đề nghiên cứu

Các nội dung chính trong chương này là tổng quan các kết quả nghiên cứu chính trong nước và trên thế giới về các hợp phần của mực nước cực trị trong bão, bao gồm: nước dâng do bão và nước dâng do sóng trong dải ven bờ.

Chương 2. Phương pháp nghiên cứu nước dâng do bão có tính đến ảnh hưởng của sóng

Chương này giới thiệu phương pháp và quy trình tính toán nước dâng do bão có tính đến ảnh hưởng của sóng (mực nước cực trị trong bão) cho các điểm ven bờ và cơ sở lý thuyết của các mô hình và phương pháp chính để tính, bao gồm các mô hình tính toán trường khí tượng, mô hình tính toán nước dâng do bão, mô hình tính toán sóng trong bão và công thức tính nước dâng do sóng.

Chương 3. Kết quả đánh giá mực nước dâng do bão có tính đến ảnh hưởng của sóng cho khu vực Hải Phòng

Phần đầu của chương khái quát về khu vực nghiên cứu với những đánh giá về điều kiện địa hình, hình thái, điều kiện tự nhiên có ảnh hưởng đến mực nước nói chung và nước dâng trong bão khu vực Hải Phòng.

Phần sau của chương đưa ra các kết quả tính toán, phân tích và nhận định về nước dâng do bão tại khu vực Hải Phòng từ số liệu lịch sử, những nghiên cứu về nước dâng do bão kết hợp với thủy triều, nước dâng do sóng. Chương này cũng trình bày những đánh giá, nhận định về ảnh hưởng của

nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến chế độ thủy triều, mực nước cực trị trong bão và nguy cơ ngập gây ra bởi nước dâng trong bão cho khu vực Thành phố Hải Phòng.

Kết luận và kiến nghị: Trình bày tóm tắt các kết quả nghiên cứu của luận án đã đạt được và kiến nghị các vấn đề cần nghiên cứu tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

Phụ lục

CHƯƠNG I

TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Tình hình nghiên cứu trên thế giới

Trong thực tế nghiên cứu tính toán biến động mực nước cực trị vùng ven biển, các nhà khoa học và kỹ thuật biển đã chú trọng đến biến động của mực nước tĩnh do tác động của triều thiên văn và triều khí tượng (gió và áp). Vì vậy, rất nhiều công trình liên quan đến việc xây dựng, phát triển công thức, mô hình mô phỏng thủy triều, nước dâng do bão và đưa thành các quy trình để ứng dụng và tính toán, dự báo biến động của mực nước cực trị.

Nước dâng do bão là hiện tượng mực nước biển dâng cao hơn mức bình thường dưới tác động tổng hợp của nhiều yếu tố khí tượng khi có bão. Mặc dù tần suất xuất hiện không nhiều nhưng nó lại rất nguy hiểm do mực nước thường dâng cao và bất ngờ, gây ngập lụt cho khu vực ven biển. Harris (1963) [32] đã tổng kết rằng có năm yếu tố khác nhau có thể gây nên sự thay đổi mực nước ở các khu vực ven biển trong một cơn bão là: (a) ảnh hưởng của áp suất, (b) ảnh hưởng trực tiếp của gió, (c) ảnh hưởng của chuyển động quay của trái đất, (d) ảnh hưởng của sóng, và (e) ảnh hưởng của mưa. Pore (1965) [58] đã bổ sung hai thành phần là: (a) ảnh hưởng của thủy triều và (b) ảnh hưởng của hình dạng đường bờ và độ sâu biển.

Do là một hiện tượng tự nhiên nguy hiểm, gây nhiều thiệt hại về người và của cải, làm cản trở các hoạt động của con người và ảnh hưởng tới môi trường nên nước dâng do bão đã được cộng đồng khoa học rất quan tâm nghiên cứu. Có nhiều phương pháp chính trong nghiên cứu, tính toán và dự báo nước dâng do bão như phương pháp phân tích, thống kê từ số liệu thực đo, thực nghiệm, phương pháp mô hình số trị, hoặc kết hợp cả hai phương pháp trên.

Trong phương pháp phân tích, thống kê, đã có nhiều nghiên cứu, thực hiện tính toán, dự báo nước dâng do bão cho các khu vực khác nhau trên thế giới, ví dụ nghiên cứu của Wemeisfelder (1961) sử dụng số liệu mực nước nhiều năm tại cảng Hook của Hà Lan để đưa ra biểu đồ tính toán và dự báo nước dâng do bão phục vụ thiết kế công trình [69] hay công trình của Yang và nnk (1970) [72] sử dụng phương pháp thống kê để đánh giá các giá trị cực trị nước dâng do bão tại các khu vực ven biển nước Hoa Kỳ như Atlantic, New Jersey, Delaware cũng từ các số liệu thực đo tại các trạm quan trắc. Nhìn chung, phương pháp phân tích, thống kê thường đơn giản, dễ sử dụng nhưng cũng tồn tại một số hạn chế nhất định. Thứ nhất, để có được các hàm thực nghiệm, biểu đồ có độ tin cậy cao theo phương pháp thống kê, chuỗi số liệu mực nước thực đo phải đủ dài (khoảng 100 năm nếu sử dụng cho mục đích tính toán mực nước phục vụ thiết kế công trình) và đó là một vấn đề khó cho nhiều trạm mực nước thực đo trên thế giới hiện nay. Thứ hai là các giá trị dự báo nước dâng do bão thường chỉ đúng cho các khu vực gần trạm quan trắc còn tại các vị trí xa hơn, độ chính xác giảm.

Trong việc sử dụng các mô hình số trị, một trong những nghiên cứu đầu tiên được áp dụng cho vùng biển Bắc (North Sea) bởi Hansen năm 1956 khi ông sử dụng mô hình số trị thủy động lực để mô phỏng hiện tượng nước dâng. Sau đó, một mô hình khác mô phỏng nước dâng do bão được áp dụng cho vùng Great Lakes bởi Platzman (1958). Các kết quả tính toán được so sánh với số liệu thực đo và cho phép đánh giá khả năng ứng dụng của mô hình số trị trong tính toán và dự báo nước dâng do bão.

Những năm sau, cùng với sự phát triển của máy tính, các nghiên cứu về nước dâng do bão sử dụng mô hình số trị được quan tâm nhiều hơn. Năm 1965, Jelesnianski sử dụng phương pháp mô hình số trị đơn giản với việc bỏ qua thành phần ma sát và thành phần phi tuyến để mô phỏng nước dâng do

bão. Kết quả tính toán cho thấy, địa điểm nước dâng do bão đạt giá trị cao nhất tại khu vực bên phải hướng di chuyển của bão và thời gian nước dâng do bão đạt giá trị cao nhất gần như đồng thời với thời gian bão đổ bộ [43].

Năm 1972, Jelesnianski đã phát triển mô hình SPLASH (Special Program to List Amplitude of Surge from Hurricanes) để tính toán nước dâng do bão [44]. Sau đó, mô hình SLOSH (Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes) được phát triển để mô phỏng nước dâng do bão cho các khu vực ven biển, biển và hồ và mô hình này đã được NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) sử dụng rộng rãi để mô phỏng ngập lụt vùng ven biển gây ra bởi nước dâng do bão ở Hoa Kỳ (Jelesnianski et al, 1984, 1992). Mặc dù được áp dụng tương đối phổ biến nhưng mô hình này vẫn có nhiều hạn chế, cần được cải thiện. Trước tiên, do sử dụng lưới có cấu trúc cố định nên mô hình có hạn chế trong việc mô phỏng cho các khu vực có địa hình, đường bờ phức tạp và do đó, mô hình bị hạn chế trong mô phỏng ngập lụt. Thứ hai, do các thành phần bình lưu trong phương trình động lượng đã bị bỏ qua trong mô hình nên có ảnh hưởng đến tính chính xác của mô phỏng. Trong những thập kỷ gần đây, nhiều mô hình sử dụng các sơ đồ sai phân khác nhau đã được phát triển để mô phỏng nước dâng do bão tại nhiều nơi trên thế giới (Lynch, 1983; Blumberg và Mellor, 1987; Flather và nnk, 1991; Luettich và nnk, 1992; Westerink và nnk, 1992; Hubbert và McInnes, 1999). Năm 1995, DeVries và nnk đã đưa ra công trình nghiên cứu và so sánh khả năng của một số mô hình được ứng dụng trên thế giới.

Một trong những nghiên cứu đầu tiên được biết tới khi kết hợp giữa phương pháp mô hình số trị và thống kê là công trình của Bretschneider (1959). Trong công trình của mình, Bretschneider đã sử dụng số liệu thống kê thu thập được của tất cả các cơn bão đổ bộ vào khu vực ven biển Atlantic, Hoa Kỳ để đánh giá và tính toán các khả năng xuất hiện của hướng và vị trí

bão đổ bộ của các vị trí cần nghiên cứu tại cảng Delaware và Chesapeake. Với mỗi hướng và vị trí đổ bộ của một cơn bão, một mô hình số trị đơn giản được sử dụng để mô phỏng và tính toán nước dâng lớn nhất trong bão. Sau này, một số nghiên cứu tiếp theo phát triển theo hướng tính toán các giá trị nước dâng do bão với các chu kỳ lặp lại khác nhau (100 năm, 500 năm) [54]. Năm 1967, Jelesnianski cũng dựa trên phương pháp này để tính nước dâng do bão bằng cách sử dụng mô hình tính trường gió trong bão để đưa vào mô hình số trị. Tương tự là các nghiên cứu cho khu vực bờ biển South Carolina của Myers năm 1975; khu vực bờ biển Atlantic của Ho năm 1976.

Ngoài ra, từ sau Hansen (1956), các hướng nghiên cứu khác nhau về nước dâng do bão, bao gồm cả phương pháp thống kê, mô hình số trị đã được thực hiện, có thể kể đến như Bretschneider, 1959; Harris, 1963; Pore, 1965; Valle-Levinson và nnk, 2002; Wang và nnk, 2005; Li và nnk, 2006; Shen và nnk, 2008.

Trong thời gian đầu, khi sử dụng mô hình số trị để mô phỏng nước dâng do bão, các nghiên cứu thường chỉ mô phỏng, tính toán các hiện tượng riêng lẻ như thủy triều, sóng, nước dâng do bão,... Sau đó, đã có một số công trình nghiên cứu tương tác giữa thủy triều với nước dâng và sóng trong bão đã được thực hiện. Năm 1978, trong một nghiên cứu về tương tác giữa thủy triều và nước dâng do bão trong khu vực biển Bắc Đại Tây Dương bằng mô hình số trị, Prandle và Wolf cho rằng, nước dâng có xu hướng đạt giá trị cao nhất trong thời kỳ triều dâng nhưng về pha thủy triều và nước dâng do bão lại không có quan hệ rõ rệt [59]. Theo một cách tiếp cận khác, Hosburgh và Wilson (2007) sử dụng phương pháp thống kê để phân tích số liệu từ các trạm đo mực nước trong một năm và đưa ra nhận định rằng, độ lớn của mực nước thủy triều có quan hệ chặt chẽ với nước dâng do bão [41]. Vấn đề đặt ra là cần có những công cụ như mô hình số trị để mô phỏng đồng thời cả nước dâng,

thủy triều và sóng để đưa ra những nhận định về mối quan hệ giữa chúng một cách chính xác và thuyết phục hơn [60].

Rõ ràng rằng thủy triều và thời gian, cường độ bão đổ bộ là những yếu tố quan trọng trong tính toán và dự báo mực nước cao nhất có thể xảy ra khi bão đổ bộ [41]. Mực nước dâng do bão khi được tách ra từ mực nước tổng cộng trong các mô hình có tính đến thủy triều thường thấp hơn so với mực nước dâng do bão mô phỏng trong điều kiện mực nước trung bình. Dean và Bender trong nghiên cứu của mình năm 2006 cho rằng, không thể bỏ qua thành phần ứng suất phát xạ khi mô phỏng nước dâng do bão ở khu vực ven biển [31]. Một số nghiên cứu khác cũng đã cố gắng đánh giá sự tương tác giữa sóng và dòng chảy và mực nước dâng do bão cho các khu vực ven biển, trong đó có một số sử dụng mô hình liên hoàn sóng, dòng chảy trong mô phỏng nước dâng do bão [51, 74].

Thực tế cho thấy, với các công trình ven biển hoặc bãi biển tự nhiên, ảnh hưởng bất lợi của bão là việc mực nước tổng cộng tại khu vực ven bờ tăng cao hơn bình thường. Trong thời gian gần đây, đã và đang có nhiều nghiên cứu về **mực nước cực trị trong bão** tại các khu vực thường xuyên chịu ảnh hưởng của bão như các nghiên cứu cho vùng Florida của Hoa Kỳ và vùng Queensland của Úc [38], [68]. Các nghiên cứu này đã tính toán tần suất xuất hiện của mực nước cực trị trong các cơn bão bao gồm cả mực nước dâng do gió, do áp kết hợp với thủy triều và nước dâng do sóng. Một số nghiên cứu còn tính cả mực nước cực trị trong bão trong điều kiện nước biển dâng do biến đổi khí hậu [38].

Như đã phân tích ở trên, các quan trắc thực tế đã cho thấy dao động của mực nước trung bình vùng ven bờ có phần đóng góp của nước dâng do sóng truyền từ ngoài khơi. Sự dâng mực nước phía trong vùng sóng đổ được gọi là

nước dâng do sóng.

Về hiện tượng nước dâng do sóng, đã có rất nhiều các nhà nghiên cứu quan tâm đến, đầu tiên có thể kể đến công trình của Longuet-Higgins và Stewart (1960, 1963) với việc xây dựng cơ sở lý thuyết và mô hình về hiện tượng nước dâng do sóng [46], [47], [48]. Các tác giả đã chỉ ra rằng nước dâng do sóng được hình thành do sự biến đổi gradient ngang của ứng suất bức xạ. Lý thuyết Longuet-Higgins và Stewart tỏ ra có hiệu quả cao trong việc giải thích sự hình thành của hiện tượng rút và dâng nước do sóng để giải thích cơ chế hình thành các hiện tượng sóng vỗ bờ ở đới ven bờ. Bowen và nnk (1968) đã tiến hành một thí nghiệm để kiểm tra lý thuyết này và chỉ ra rằng lý thuyết của Longuet-Higgins và Stewart là đáng tin cậy thông qua việc mô phỏng quá trình sóng tràn vào bờ và bị vỡ ở đới sóng đổ, có sự phù hợp cao giữa lý thuyết và số liệu thí nghiệm [27]. Những nghiên cứu tiếp sau đó đã cho thấy nước dâng do sóng có thể có ảnh hưởng đáng kể tới sự biến thiên mực nước ở đới ven bờ và góp phần quan trọng vào sự hình thành ngập lụt vùng ven biển (kết hợp với nước dâng do gió và sự dâng mực nước gây nên bởi giảm khí áp). Hiệu ứng này thể hiện đặc biệt mạnh ở những vùng bờ nông, trong các vũng, vịnh nước nông và các cửa sông như đã nêu trong nghiên cứu của Tanaka và Shuto (1992), Hanslow và Nielsen (1992), Hanslow và nnk (1996), Tanaka và nnk (2009).

Một phương pháp để nghiên cứu về nước dâng do sóng là sử dụng kết hợp nhiều mô hình, bao gồm mô hình khí tượng, mô hình thủy động lực và mô hình sóng với việc bổ sung các thành phần ứng suất phát xạ gây ra do sóng vào trong mô hình thủy động lực. Các nghiên cứu đầu tiên theo hướng này có thể kể đến các công trình do Mastenbroek và nnk (1993) hay Zhang và Li (1997) thực hiện. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu ban đầu này, các tác giả chưa xem xét hết các hiệu ứng trong đới sóng đổ do sử dụng mô hình sóng

cho khu vực lớn WAM (WAve Modeling). Sau đó, Shibaki và nnk (2001) cho rằng, việc thêm các thành phần ứng suất bức xạ của sóng trong các phương trình chuyển động cũng cho kết quả chấp nhận được trong trường hợp chạy riêng rẽ các mô hình tính nước dâng do sóng và nước dâng do bão. Xie và nnk (2008) quan tâm đến tác động của ứng suất sóng trong việc mô phỏng ngập lụt gây ra bởi cơn bão Hugo năm 1989 khi sử dụng kết hợp mô hình POM của đại học Princeton và mô hình SWAN.

Gần đây, Funakoshi và nnk (2008) đã tiến hành nghiên cứu hiện tượng nước dâng do sóng bằng việc sử dụng kết hợp 2 mô hình mô phỏng nước dâng do bão ADCIRC (ADvanced CIRCulation model) và mô hình sóng SWAN. Nghiên cứu này chỉ ra rằng, nước dâng do sóng có thể đóng góp từ 10–15% vào mực nước cực trị trong bão [35]. Một nghiên cứu khác sử dụng kết hợp mô hình nước dâng do bão và mô hình sóng như Chen et. al (2008) thì cho rằng, trong cơn bão Katrina năm 2005 tại Hoa Kỳ, nước dâng do các hiệu ứng sóng ven bờ chiếm tới 80% mực nước cực trị trong khi các ảnh hưởng khác như thủy triều, sóng bề mặt và nước dâng do gió chỉ đóng góp 20% [29]. Điều này chỉ ra rằng, trong các điều kiện với địa hình khác nhau, các đóng góp của nước dâng do sóng vào mực nước cực trị trong bão cũng khác nhau.

Theo một cách tiếp cận khác, một số nhà nghiên cứu đưa ra các công thức thực nghiệm để tính toán nước dâng do sóng trên cơ sở thu được từ các mô hình vật lý và số liệu thực tế. Các nghiên cứu này có thể kể đến như Hanslow và Nielsen (1993), Gourlay (1992) Raubenheimer và nnk (2001), các công thức thực nghiệm trên đã được ứng dụng rộng rãi và có sự tin cậy cao (Happer và nnk, 2001) [37], [38].

Nước dâng do bão đạt tới một giá trị nào đó sẽ tràn qua hoặc phá hủy

các hệ thống bảo vệ như đê, kè, gáy ngập lụt cho dải đất ven biển. Ngập lụt gây ra bởi nước dâng do bão là một trong những thiên tai gây tàn phá nặng nề nhất trên thế giới. Các khu vực ven biển thường xuyên chịu ảnh hưởng của bão có thêm lục địa nông và địa hình thấp là những nơi chịu ảnh hưởng mạnh mẽ hơn cả [53]. Trong nghiên cứu về **ngập lụt gây ra bởi nước dâng do bão**, Vested và nnk, 1995; Gerritsen và nnk, 1995; Bode và Hardy, 1997 dựa vào các phương trình nước nông để đưa ra các dự báo về mực nước và diễn biến ngập lụt trong các trường hợp cụ thể. Cheung K. F. và nnk năm 2006 đã đưa ra nghiên cứu của mình về nước dâng do bão một cách tương đối toàn diện trên cơ sở sử dụng một bộ mô hình bao gồm mô hình MM5 tính trường gió trong bão, mô hình tính phổ sóng WAM từ số liệu gió trong bão, mô hình SWAN mô phỏng sóng trong vùng bờ, mô hình Boussinesq mô phỏng quá trình sóng trong vùng nước nông và ngập lụt.

1.2. Tình hình nghiên cứu trong nước

Theo xu hướng chung của thế giới, tại Việt Nam, các nghiên cứu về biến động mực nước biển cũng tập trung ưu tiên đối với thủy triều và nước dâng do bão. Các nghiên cứu đầu tiên về nước dâng do bão có thể kể đến công trình của Vũ Như Hoán (1988) khi tác giả này sử dụng phương pháp thống kê và biểu đồ để tính toán mực nước dâng do bão tại các vị trí cần tính [9]. Gần đây, cũng bằng phương pháp thống kê từ chuỗi số liệu thực đo tại các trạm hải văn có bổ sung chuỗi số liệu mực nước tại các trạm thủy văn cửa sông, công trình nghiên cứu của Hoàng Trung Thành (2010) đã đánh giá khá đầy đủ về thời gian dâng rút và xu thế dâng lên của quá trình mực nước tại các trạm thủy, hải văn dọc bờ biển Việt Nam [15]. Nhìn chung, ưu điểm của phương pháp này là đơn giản, dễ sử dụng nhưng do những hạn chế về chuỗi số liệu thực đo chưa đủ dài, không liên tục, thậm chí nhiều trạm quan trắc với bước thời gian quan trắc 6 giờ nên không ghi nhận được giá trị nước dâng, do

vậy độ chính xác thường hạn chế, đặc biệt các ước tính nước dâng do bão theo phương pháp này thường chỉ đúng cho các vị trí gần trạm quan trắc, tại các điểm xa hơn, kết quả dự tính thường có độ chính xác không cao.

Cách tiếp cận theo phương pháp số trị để mô phỏng và tính toán nước dâng do bão được sử dụng nhiều hơn trong các nghiên cứu sau này. Đỗ Ngọc Quỳnh và Phạm Văn Ninh (1999) đã sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn để giải hệ phương trình nước nông hai chiều trong đề tài cấp Nhà nước KT.03.03 để tính toán cả thủy triều và nước dâng do bão cho toàn dải ven biển Việt Nam [13], [14]. Các kết quả đã cho được một bức tranh tổng thể về khả năng nước dâng đã và có thể xảy ra cho từng vĩ độ và các công trình nghiên cứu này đã được sử dụng tính toán mực nước thiết kế trong hướng dẫn thiết kế đê biển. Lê Trọng Đào (1998) đã dùng phương pháp phần tử hữu hạn để tính toán thủy triều và nước dâng do bão cho Vịnh Bắc Bộ [3]. Các kết quả đã khẳng định sự tương tác giữa nước dâng và thủy triều ở Vịnh Bắc Bộ là đáng kể và không thể tính toán thủy triều và nước dâng một cách độc lập [3]. Cũng sử dụng phương pháp này, Nguyễn Vũ Thắng (1999) đã ứng dụng mô hình, tính toán và dự báo nước dâng do bão cho khu vực ven biển Hải Phòng và đã có được những kết quả ban đầu cũng như đưa ra quy trình xây dựng sơ đồ dự báo nước dâng do bão cho khu vực [16]. Các kết quả nghiên cứu về nước dâng do bão trên đây đã đạt được độ chính xác khá tốt, tuy nhiên trong bối cảnh việc cập nhật số liệu địa hình cũng còn bị hạn chế do hoàn cảnh khách quan. Hơn nữa để nâng cao thêm về độ chính xác thì việc chi tiết hoá lưới tính cũng như việc mở rộng miền tính trong thời gian qua còn hạn chế do tốc độ máy tính. Để khắc phục sự hạn chế của tốc độ máy tính khi cần mô phỏng, tính toán nước dâng do bão cho các khu vực nhỏ, Bùi Xuân Thông (2000) đã ứng dụng mô hình số trị để mô phỏng nước dâng do bão cho khu vực ven biển Việt Nam bằng phương pháp lưới lồng và có được những kết

quả chính xác, chi tiết hơn về nước dâng do bão cho những khu vực ven biển [17]. Nhóm các nhà khoa học của Viện Cơ học Việt Nam xây dựng và phát triển mô hình mô phỏng nước dâng do bão TSIM và ứng dụng trong nhiều dự án, đề tài [12].

Bên cạnh việc phát triển mô hình số trị để mô phỏng nước dâng, một số nghiên cứu gần đây có xu hướng sử dụng các mô hình thương mại hoặc mô hình mã nguồn mở có sẵn để xây dựng và áp dụng tính toán nước dâng do bão cho khu vực ven biển Việt Nam. Các mô hình thương mại có thể kể đến như mô hình MIKE của Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI), mô hình SMS của Hải quân Hoa Kỳ, mô hình DELFT 3D của Học viện DELFT, Hà Lan, v.v. Bên cạnh các mô hình thương mại, mô hình mã nguồn mở đã được áp dụng như POM của Đại học Princeton, Hoa Kỳ, mô hình ROMS của đại học Rutgers và Đại học California, Hoa Kỳ, mô hình GHER của Đại học Liege, Bỉ, v.v. Theo hướng này, một số công trình tiêu biểu như công trình của Lê Trọng Đào và nnk sử dụng mô hình DELFT 3D của Hà Lan để thiết lập và mô phỏng, dự báo nước dâng do bão cho khu vực ven biển Việt Nam, công trình của Nguyễn Thế Tường, Trần Hồng Lam và nnk (2007) trong khuôn khổ hợp tác Việt – Trung về nghiên cứu dự báo sóng biển, nước dâng do bão bằng phương pháp số sử dụng các mô hình khác nhau như DELFT 3D của Hà Lan, JMA (Japan Meteorological Agency storm surge model) của Nhật Bản và CTS (China Typhoon Surge) của Trung Quốc để tính toán và đưa ra quy trình dự báo nước dâng do bão [23]. Một nghiên cứu khác sử dụng các mô hình mã nguồn mở như Vũ Thanh Ca và nnk (2008) sử dụng và phát triển mô hình POM của Hoa Kỳ để ứng dụng tính toán nước dâng do bão có tính tới ảnh hưởng của thủy triều.

Ngoài các nghiên cứu kể trên, một số những nghiên cứu về nước dâng do bão ở Việt Nam khác đã được thực hiện như các công trình của Lê Phước

Trình và Trần Kỳ (1970), Nguyễn Văn Cư (1979), Bùi Xuân Thông (1995), Nguyễn Thị Việt Liên (1996). Phần lớn các công trình nghiên cứu này thuộc khuôn khổ luận án tiến sĩ và một số đề tài nghiên cứu.

Các nghiên cứu thời gian sau này về nước dâng do bão tại Việt Nam tập trung hơn vào tính toán các giá trị mực nước cực trị trong bão và tính toán tần suất nước dâng do bão, mực nước cực trị với các chu kỳ lặp lại khác nhau phục vụ công tác thiết kế đê biển và đánh giá nguy cơ ngập lụt cho dải ven biển Việt Nam. Tiêu biểu theo hướng nghiên cứu này có thể kể đến các công trình của Bùi Xuân Thông và Nguyễn Văn Lai (2008), Đinh Văn Ưu và nnk (2010), Đinh Văn Mạnh và nnk (2011) [12], [18], [24].

Trong nghiên cứu của mình, Bùi Xuân Thông và Nguyễn Văn Lai (2008) giới thiệu phương pháp mô hình số trị để xác định mực nước dâng cực đại, về nguyên tắc, phương pháp này có thể ứng dụng trong thực tế để thay thế cho phương pháp mực nước cực trị tần suất hiếm ở những vùng không có trạm quan trắc mực nước. Tuy nhiên, phương pháp này yêu cầu phải có mô hình số trị chuẩn đã được kiểm nghiệm để mô phỏng nước dâng do bão, các điều kiện độ sâu, đường bờ, độ dốc lưu vực sát thực tế và các tham số bão được thống kê đầy đủ bao quát được quá trình bão tác động tại khu vực, và đây là một vấn đề khó không chỉ riêng ở Việt Nam do quá trình quan trắc khí tượng thủy văn thực tế tại nước ta chưa đủ dài về thời gian và dày về mật độ, mặt khác, do hạn chế về nhiều mặt (độ chính xác và mức độ chi tiết của số liệu địa hình, đường bờ chưa thể sát thực tế) như đòi hỏi của phương pháp này.

Nghiên cứu của Đinh Văn Ưu và nnk (2010) sử dụng kết hợp nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp thống kê, mô hình số trị, để đánh giá và tính toán mực nước biển cực trị và đưa ra các phương án cảnh báo về

sự biến đổi của mực nước cực trị vùng ven bờ biển và hải đảo Việt Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu [24]. Cũng theo cách tiếp cận này nhưng cho mục đích phục vụ tính toán thiết kế, củng cố, nâng cấp đê biển cho vùng ven bờ từ Quảng Ninh đến Quảng Nam, Đinh Văn Mạnh và nnk (2011) đã tính toán, xây dựng một bộ số liệu cơ bản về thủy triều, nước dâng do bão và mực nước tổng hợp do thủy triều và nước dâng do bão dọc bờ biển từ Quảng Ninh đến Quảng Nam [12].

1.3. Kết luận của Chương 1

Nghiên cứu về mực nước cực trị trong bão và các thành phần đóng góp như nước dâng do bão, nước dâng do sóng, thủy triều cũng như mối quan hệ tương tác giữa các thành phần trên là vấn đề nhận được sự quan tâm của cộng đồng khoa học trên thế giới và ở Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu về biến động mực nước trong bão đã được tổng quan thể hiện sự phát triển có tính lô-gic và kế thừa, từ các vấn đề đơn giản đến phức tạp, từ các nghiên cứu thống kê giản đơn ban đầu, đến các mô hình mô phỏng các thành phần riêng lẻ và sau đó là mô hình mô phỏng tương tác giữa các thành phần.

Các nghiên cứu trong nước, về cơ bản đã giải quyết được một số các vấn đề khoa học và thực tiễn quan trọng, giúp hiểu rõ về đặc điểm và biến động của mực nước trong bão cho dải ven biển Việt Nam và đã được ứng dụng trong thực tế. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây chỉ quan tâm, xem xét biến động mực nước trong bão trên quy mô lớn là mực nước triều và nước dâng do bão chứ chưa tính đến quy mô địa phương, chưa xét đến đặc điểm cụ thể của các đoạn bờ, nơi mà các hiệu ứng sóng nước nông tác động trực tiếp đến sự thay đổi mực nước trung bình ven bờ. Và như vậy, khi đánh giá nguy cơ ngập cho vùng đất ven biển, thì các kết quả về sự biến đổi của mực nước trong bão của các nghiên cứu trên vẫn chưa thể thỏa mãn các yêu cầu.

Do vậy, cần thiết phải thiết lập quy trình tính toán mực nước cực trị trong bão trên đường bờ phù hợp với các yêu cầu khác nhau của quản lý tổng hợp vùng bờ. Bên cạnh đó, việc đánh giá sự thay đổi của chế độ thủy triều do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng dẫn đến sự thay đổi về mực nước cực trị trong bão cũng rất quan trọng, đặc biệt trong đánh giá nguy cơ ngập trong bão cho khu vực ven biển. Quy trình tính toán mực nước cực trị trong bão trên đường bờ và cơ sở lý thuyết của các mô hình trong quy trình được trình bày trong Chương 2.

CHƯƠNG II

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN

NƯỚC DÂNG DO BÃO CÓ TÍNH ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG

2.1. Quy trình tính toán mực nước cực trị trong bão

Như phân tích ở Chương I, mực nước cực trị trong bão khu vực dải ven biển là tổng hợp của nhiều nhân tố, bao gồm: thủy triều, nước dâng do bão, nước dâng do sóng và nước lũ từ thượng nguồn. Tuy nhiên, tại Việt Nam, trong các quy trình tính toán trước đây dùng cho thiết kế công trình, tính toán xâm nhập mặn, đánh giá ngập lụt có nguyên nhân từ biển, người ta chỉ xem xét các mực nước cực trị trên quy mô lớn là mực nước triều và nước dâng do bão chứ chưa tính đến quy mô địa phương. Vai trò của sóng biển, đặc biệt là sóng trong bão, chỉ mới được tính đến khi thiết kế các công trình cụ thể thông qua đánh giá sóng leo (wave runup) và áp lực sóng. Đối với khu vực nước nông ven bờ, các hiệu ứng sóng nước nông tác động trực tiếp đến sự thay đổi mực nước trung bình ven bờ như nước dâng do sóng vẫn chưa được đưa vào trong quy trình tính toán mực nước tổng cộng khi đánh giá nguy cơ úng ngập vùng ven biển.

Các hợp phần tạo ra mực nước cực trị trong bão như nước dâng do bão, thủy triều và nước dâng do sóng có mối quan hệ chặt chẽ với nhau, từng thành phần ảnh hưởng và bị ảnh hưởng bởi thành phần khác. Các mối quan hệ này được cho là phi tuyến và về nguyên lý, quy trình tính toán mực nước cực trị trong bão cần kết hợp các mô hình sóng, triều và nước dâng do bão trong một thể thống nhất.

Hiện nay, việc kết hợp các mô hình số đã được tiến hành với nhiều loại mô hình khác nhau và đã đạt nhiều kết quả khả quan. Tuy nhiên, đối với từng

khu vực cụ thể, khả năng cung cấp các thông tin địa hình chi tiết cho các loại mô hình quy mô khác nhau (sóng, dòng chảy, thủy triều) là rất khó khăn. Do vậy, cách tiếp cận tổng hợp các hợp phần cơ bản của mực nước, được tính toán theo các mô hình đơn, có thể cho kết quả gần với thực tế hơn vì chúng thường được kiểm chứng độc lập theo từng quá trình.

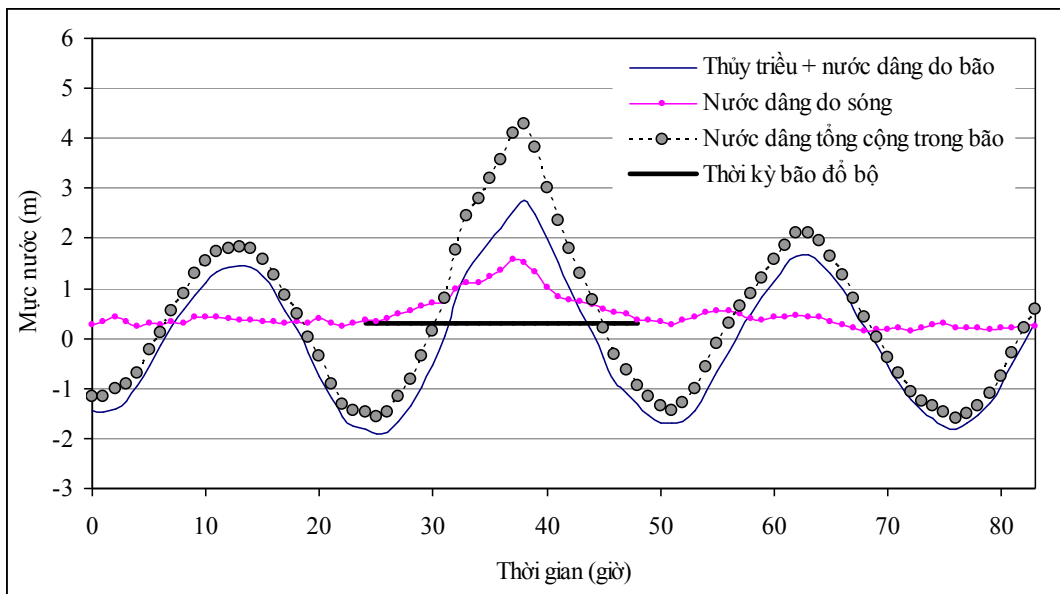
Trong khuôn khổ của luận án, tác giả lựa chọn cách tiếp cận thứ 2, nghiên cứu thiết lập quy trình tính toán mực nước cực trị trong bão thông qua các hợp phần: triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng. Việc nghiên cứu, ứng dụng các mô hình thành phần tính mực nước cực trị trong bão, trong đó chú trọng đến mô hình nước dâng do sóng là đóng góp mới cho việc nghiên cứu hoàn thiện quy trình tính mực nước ven biển phục vụ đánh giá nguy cơ ngập lụt, đồng thời có ý nghĩa thực tế trong tính toán, thiết kế các công trình ven biển.

Các kết quả nghiên cứu tại khu vực Hải Phòng cho thấy, thủy triều có ảnh hưởng đáng kể đến nước dâng do bão nên việc tính nước dâng do bão và mực nước triều nên được tính đồng thời [7, 16]. Như vậy, nếu chỉ tính đến yếu tố tương tác phi tuyến giữa thủy triều và nước dâng do bão mà bỏ qua yếu tố tương tác phi tuyến với nước dâng do sóng thì mực nước cực trị trong bão được tính bằng tổng của mực nước có tính đến nước dâng do bão và thủy triều cộng với nước dâng do sóng (Hình 2.1).

Các bước tiến hành tính toán mực nước tổng cộng cho các điểm trên đường bờ (mép nước) được đưa ra như sau (Hình 2.2):

- 1) Xác định các thông số các cơn bão cần tính toán, bao gồm: vị trí tâm bão; hướng di chuyển của bão; tốc độ di chuyển của bão; vận tốc gió cực đại; bán kính gió cực đại.
- 2) Mô phỏng trường gió trong bão.

- 3) Mô phỏng trường sóng trong bão.
- 4) Tính nước dâng do sóng.
- 5) Mô phỏng nước dâng do bão (kết hợp với triều) sử dụng mô hình thủy động lực.
- 6) Tính mực nước cực trị trong bão.



Hình 2.1. Các thành phần của mực nước cực trị trong bão

Số liệu về 63 cơn bão và áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng đến khu vực ven biển Hải Phòng (chi tiết trong chương III) có khả năng gây biến động mực nước trong bão tại khu vực ven biển Hải Phòng được thu thập với các thông số chính được xét đến theo từng thời điểm là: 1) Vị trí tâm bão; 2) Hướng di chuyển của bão; 3) Tốc độ di chuyển của bão; 4) Vận tốc gió cực đại; 5) Bán kính gió cực đại.

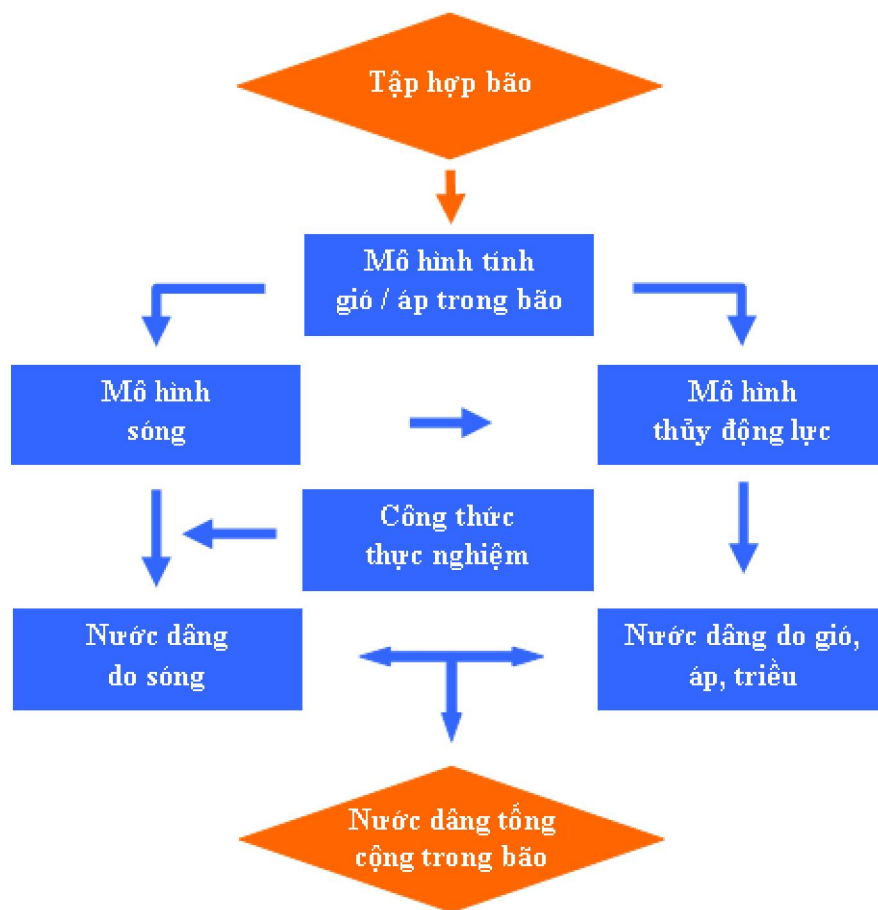
Để tính toán trường gió và trường áp trong bão, luận án đã xây dựng mô hình tính trường gió và áp dựa trên công thức của Boose và nnk (1994) trên cơ sở phân tích và tổng hợp các lực để mô phỏng và tính toán phân bố trường gió trong bão.

Mô hình ADCIRC của Hoa Kỳ được sử dụng để tính toán thủy động

lực cho khu vực ven biển, dưới tác động của lực tạo triều, gió và áp suất khí quyển. Đây là mô hình thủy động lực hai hoặc ba chiều, áp dụng phương pháp phân tử hữu hạn, lưới phi cấu trúc có tính linh hoạt cao, rất phù hợp để áp dụng cho các khu vực cửa sông ven biển có địa hình nông và đường bờ phức tạp như khu vực thành phố Hải Phòng.

Bộ mô hình WAM và mô hình SWAN được áp dụng để tính toán trường sóng. Mô hình WAM mô phỏng sóng trong bão trên quy mô toàn biển Đông, mô hình SWAN sử dụng kết quả trích xuất từ mô hình WAM để mô phỏng sóng trong bão cho khu vực ven biển thành phố Hải Phòng.

Lý thuyết và khả năng sử dụng các mô hình được mô tả trong các phần sau đây.



Hình 2.2. Quy trình tính mực nước cực trị trong bão

2.2. Mô hình tính toán trường khí tượng

Đã có nhiều nghiên cứu mô phỏng và tính toán trường gió và áp suất trong bão, phần lớn các nghiên cứu này chủ yếu sử dụng số liệu vệ tinh và dữ liệu quan trắc bề mặt để tính toán và đưa ra trường gió và áp suất trong bão.

Luận án sử dụng mô hình gió trong bão của Boose và nnk, 1994 [26]. Mô hình này đã tổng hợp các lực tác động để mô phỏng và tính toán phân bố trường gió trong bão. Trường gió được tính tại từng thời điểm nhất định cho các điểm phía trong và phía ngoài mắt bão. Các thông số được sử dụng để tính toán trường gió bao gồm vị trí tâm bão, hướng và tốc độ di chuyển của bão, bán kính mắt bão, tốc độ gió cực đại và thông số bề mặt.

Công thức tính gió cho một điểm $S(x,y)$ nằm trong mắt bão:

$$V_s = F[V_m - V_f(1 - \sin \theta)] \frac{R}{R_{mw}} \quad (2.1)$$

Công thức tính gió cho một điểm $S(x,y)$ nằm ngoài mắt bão:

$$V_s = F[V_m - V_f(1 - \sin \theta)] \left(\frac{R_{mw}}{R}\right)^x \quad (2.2)$$

Trong đó: F là hệ số suy giảm gió do địa hình (đất: 0,8, biển: 1,0); V_m là vận tốc gió cực đại trên biển (m/s); V_f là tốc độ chuyển động của bão (m/s); θ là góc theo chiều kim đồng hồ của đường thẳng nối điểm $S(x,y)$ với tâm bão (π) và hướng di chuyển của bão; R là khoảng cách từ điểm $S(x,y)$ đến tâm bão (km); R_{mw} là bán kính gió cực đại của bão (km); x là hệ số profile gió cho từng cơn bão (theo Simpson và Riehl, 1981 thì $0,4 < x < 0,8$).

Áp suất tại điểm $S(x,y)$ cách tâm bão (x_0, y_0) được tính theo công thức:

$$P_s = P_\infty - \Delta P / [1 + (r / R_{mw})^2]^{0.5} \quad (2.3)$$

Trong đó: P_∞ áp suất ở rìa bão (mb); $\Delta P = P_c - P_s$; P_c : áp suất ở tâm bão (mb); R_{mw} : bán kính gió cực đại (km); r là khoảng cách từ tâm bão tới điểm tính (km).

2.3. Mô hình tính toán nước dâng do bão

Mô hình ADCIRC (ADvanced CIRCulation) được xây dựng bởi Luetich, Westerink và Scheddner (1992) và Westerink (1994) [49], [69].

Hệ phương trình cơ bản viết trong tọa độ Đề-các bao gồm phương trình liên tục và các phương trình động lượng:

- Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0 \quad (2.4)$$

- Phương trình động lượng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV = \\ - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p_x}{\rho_o} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sx}}{\rho_o H} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_o H} + D_x - B_x \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU = \\ - \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{p}{\rho_o H} + g\zeta - g(\eta + \gamma) \right] + \frac{\tau_{sy}}{\rho_o H} - \frac{\tau_{by}}{\rho_o H} + D_y - B_y \end{aligned} \quad (2.6)$$

Trong đó: $\zeta(x, y, t)$ là dao động mực nước (m), $U(x, y, t)$, $V(x, y, t)$ là các vận tốc (m/s) được lấy tích phân theo độ sâu theo hướng x và y , $H(x, y, t) = h + \zeta$ là độ sâu mực nước tổng cộng (m); p là áp suất khí quyển trên bề mặt thoáng, g là gia tốc trọng trường (m/s^2), D_x , D_y là các thành phần khuếch tán

theo các phương, B_x, B_y là các thành phần gradient áp suất theo các phương, $(\eta + \gamma)$: thể thủy triều Newton, thủy triều trái đất và các lực mang bản chất lực thủy triều, τ_{sx}, τ_{sy} là ứng suất bề mặt theo các hướng x và y; τ_{bx}, τ_{by} là ứng suất đáy theo các hướng x và y; ρ_0 là mật độ tham chiếu của nước.

Trong phiên bản 2DDI của ADCIRC ứng suất đáy được biểu diễn như sau:

$$\tau_{bx} = U\tau_* \text{ và } \tau_{by} = V\tau_*$$

Tùy thuộc vào cách sử dụng của τ_* , kết quả có thể là hàm tuyến tính, toàn phương hay tổ hợp của vận tốc trung bình theo độ sâu. Đối với hầu hết những ứng dụng cho vùng ven bờ, hàm ma sát toàn phương nên được sử dụng với hệ số ma sát $C_f \sim 0,0025$. Trong vùng nước rất nông, ma sát tổ hợp có hiệu quả hơn, với $C_{f \min} \sim 0,0025$, đặc biệt khi các tham số khô và ướt được tính đến, khi đó biểu thức này giảm nhanh khi độ sâu nước trở nên nhỏ. Ma sát tuyến tính chủ yếu sử dụng cho thử nghiệm mô hình hoặc khi mô hình tuyến tính được chạy theo yêu cầu. Trong trường hợp này, độ lớn của τ_* phải phù hợp (ít nhất là về độ lớn) với giá trị được sử dụng tính toán biểu thức ma sát toàn phương và không phải với giá trị của C_f thông thường được sử dụng trong hàm toàn phương.

Trong trường hợp sử dụng hàm tuyến tính: $\tau_* = C_f$

Trong đó $C_f =$ không đổi theo thời gian (có thể thay đổi theo không gian), thứ nguyên là s^{-1} .

Trong trường hợp sử dụng hàm toàn phương: $\tau_* \equiv \frac{C_f(U^2 + V^2)^{1/2}}{H}$

Trong đó $C_f =$ không đổi theo thời gian (có thể thay đổi theo không gian), không thứ nguyên.

Mô hình ADCIRC giải hệ phương trình chuyển động của chất lỏng trên trái đất quay bằng cách sử dụng phép xấp xỉ Boussinesq và được rời rạc hóa trong không gian sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, rời rạc hóa theo thời gian sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn. Mô hình có thể tính toán trong hệ tọa độ Đề-các hoặc tọa độ cầu dưới dạng hai chiều tích phân theo độ sâu (2DDI) hoặc ba chiều (3D), cao độ mực nước được xác định bằng nghiệm của phương trình liên tục tích phân theo độ sâu dưới dạng phương trình liên tục – sóng tổng quát, vận tốc được xác định bằng nghiệm các phương trình động lượng 2DDI hoặc 3D.

Đã có rất nhiều nghiên cứu nhằm phát triển và ứng dụng mô hình ADCIRC (Blain và Edwards, 2002; Blain, Westerink, Luetich, 1994, Cobb và Blain, 2002; Keen et al, 2004; Westerink, Luetich và Muccino, 1994). Không giống như các mô hình khác, mô hình ADCIRC sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn cho phép sử dụng các lưới phi cấu trúc có tính linh hoạt cao, hơn nữa, với việc giải phương trình liên tục – sóng tổng quát (GWCE) bằng phương pháp phần tử hữu hạn của Galerkin cho phép loại bỏ những nhiễu động không mong muốn của nghiệm. Mô hình đã và đang được sử dụng rộng rãi trong các công trình tính toán thủy triều và nước dâng do bão tại Hoa Kỳ, đặc biệt hữu dụng cho các thủy vực nhỏ và các cửa sông. Do vậy, mô hình này rất phù hợp để áp dụng cho các khu vực cửa sông ven biển có địa hình và đường bờ phức tạp như khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng.

Số liệu đầu vào của mô hình ADCIRC bao gồm số liệu địa hình tại các nút lưới phi cấu trúc và số liệu ứng suất gió, ứng suất sóng phân bố theo không gian, hệ số ứng ma sát đáy cũng như điều kiện biên. Đầu ra của mô

hình bao gồm các chuỗi theo thời gian cũng như phân bố không gian của các yếu tố mực nước, dòng chảy.

2.4. Mô hình tính toán trường sóng trong bão

2.4.1. Mô hình WAM

WAM là mô hình tính toán và dự báo sóng đại dương thế hệ thứ 3 do các nhà khoa học Viện Khí tượng Max-Planck Hamburg (Đức) phát triển. Mô hình WAM giải phương trình truyền sóng theo phương pháp hiện và không có bất kỳ ràng buộc nào về dạng phổ sóng. Nó biểu thị tính vật lý của tiến triển sóng đối với một tập hợp đầy đủ của phổ sóng 2 chiều tự do. Mô hình chạy cho bất kỳ lưới địa phương hoặc toàn cầu nào với tập hợp dữ liệu địa hình đã cho. Tính toán lan truyền sóng có thể thực hiện trên lưới kinh vĩ hoặc lưới tọa độ Đề - các.

Mô hình truy xuất chiều cao sóng có nghĩa, hướng và tần số sóng trung bình, chiều cao và hướng sóng lừng trung bình, trường ứng suất gió được hiệu chỉnh do xét đến ứng suất sóng và hệ số cản, và phổ sóng 2 chiều tại những thời điểm và điểm lưới được chọn. Tính toán có thể ngắt và khởi động lại ở thời điểm bất kỳ. Những số hạng nguồn và sự lan truyền của chúng có thể tính toán với những phương pháp và bước thời gian khác nhau. Tích phân số hạng nguồn thực hiện bằng một sơ đồ ẩn, trong khi sơ đồ lan truyền là sơ đồ tiến bậc nhất. Bước thời gian gió có thể chọn tùy ý.

Mô hình WAM mô tả sự tiến triển của phổ sóng bằng phương trình:

$$\frac{dF}{dt} + \frac{\partial(\phi F)}{\partial \phi} + \frac{\partial(\lambda F)}{\partial \lambda} + \frac{\partial(\theta F)}{\partial \theta} = S \quad (2.7)$$

trong đó: F - mật độ phổ ứng với $(f, \theta, \phi, \lambda)$, f - tần số, θ - hướng, ϕ - vĩ độ, λ - kinh độ, S - hàm nguồn, ϕ, λ, θ - suất biến đổi vị trí, hướng lan truyền của sóng.

Hàm nguồn S được biểu thị bằng các thành phần của gió đầu vào S_{in} ,

tiêu tán do bậc đầu sóng S_{dis} , và lan truyền phi tuyến S_{nl} :

$$S = S_{in} + S_{dis} + S_{nl} \quad (2.8)$$

Số hạng gió đầu vào lấy theo Snyder và nnk. (1981), $S_{in} = \gamma F$ với F là phổ hai chiều và γ là hệ số tốc độ tăng trưởng sóng. Gió đầu vào và những số hạng tiêu tán của mô hình sóng này là một phát triển dựa trên lý thuyết tựa tuyến tính của Janssen về phát sinh sóng gió (Janssen 1989, 1991). Sóng mặt lấy động lượng từ luồng không khí và bởi vậy ứng suất trong lớp mặt phụ thuộc cả vào tốc độ gió và ứng suất sóng τ_w . Sự tăng trưởng sóng phụ thuộc vào vận tốc ma sát u_* , và độ dài nhám Z_0 .

2.4.2. Mô hình SWAN

SWAN (Simulating Waves Nearshore) là mô hình tính toán sóng thể hệ ba, tính toán phổ sóng hai chiều bằng cách giải phương trình cân bằng tác động sóng (trong trường hợp không có dòng chảy có thể dùng phương trình cân bằng năng lượng sóng) có tính tới sự lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng nước nông ven bờ, đồng thời trao đổi năng lượng với gió thông qua hàm nguồn cùng với sự tiêu tán năng lượng sóng. SWAN được phát triển tại Đại học Kỹ thuật Delft, Hà Lan (Booij, R. và Holthuisen, 1999) và đã được sử dụng rộng rãi trong cộng đồng nghiên cứu khoa học và kỹ thuật biển (ví dụ, Chen và nnk, 2005; Cheung và nnk, 2003; Gorman và Neilson, 1999). Mô hình SWAN có khả năng mô phỏng, tính toán hầu hết các quá trình phát sinh, phát triển, lan truyền và tiêu tán sóng trên biển như mô phỏng sóng phát sinh do gió, các hiện tượng sóng trong vùng nước nông như khúc xạ sóng, suy giảm năng lượng sóng qua thực vật, ma sát đáy hoặc vật cản, tiêu tán năng lượng do sóng vỡ, tương tác dòng chảy và sóng và tương tác giữa các sóng (tương tác bậc ba và tương tác bậc bốn)... Cơ sở lý thuyết của SWAN dựa trên phương trình cân bằng tác động phổ sóng với các nguồn cấp năng lượng.

Phương trình cân bằng tác động phổ được viết trong hệ tọa độ Đề các là:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (2.9)$$

trong đó: N : phổ mật độ tác động phổ; C_x, C_y : vận tốc truyền năng lượng sóng trong không gian địa lý; C_σ, C_θ : vận tốc lan truyền trong không gian phổ (σ, θ) ; S : tổng năng lượng nguồn và tiêu tán; θ : hướng sóng tính ngược chiều kim đồng hồ so với hướng đông.

Hàm nguồn S là tổng của các thành phần phát sinh và tiêu tán tham gia vào quá trình được xác định như sau:

$$S = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad (2.10)$$

Trong đó các số hạng vế phải của (2.5) lần lượt là thành phần phát triển sóng do gió; thành phần chuyển đổi phi tuyến tương tác giữa ba sóng và bốn sóng; thành phần suy giảm sóng tiêu tán do sóng bạc đầu; thành phần tiêu tán do ma sát và đổ do nước nông.

2.5. Tính toán nước dâng do sóng

Như trình bày trong mục 1.1, nước dâng do sóng thu hút được sự quan tâm của những nhà nghiên cứu từ những năm 1960 sau lý thuyết ban đầu được phát triển bởi Longuet-Higgins (1962) và Longuet-Higgins và Stewart (1963, 1964) [46], [47], [48]. Các nghiên cứu này, lần đầu đưa ra khái niệm ứng suất bức xạ và mối quan hệ của nó với nước dâng do sóng tại các điểm ven bờ. Ứng suất bức xạ được đưa ra như sau:

$$S_{xx} = E \left(n \cos^2 \theta + n - \frac{1}{2} \right) \quad (2.11)$$

$$S_{yy} = E \left(n \sin^2 \theta + n - \frac{1}{2} \right) \quad (2.12)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \frac{E}{2} \sin 2\theta \quad (2.13)$$

trong đó: S_{xx} , S_{yy} , S_{xy} , S_{yx} là các thành phần của ứng suất bức xạ theo các hướng x và y ; E là mật độ năng lượng sóng, n là tỉ số giữa vận tốc nhóm sóng và vận tốc sóng và θ là góc giữa hướng sóng và trục x .

Nếu không xem xét đến tác động của ứng suất gió thì sự biến đổi của mực nước trong một chu kỳ sóng được đưa ra như sau:

$$\frac{\partial(\bar{\eta})}{\partial x} = -\frac{1}{\rho g(h + \bar{\eta})} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} - \tau_{sx} + \tau_{bx} \right) \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial(\bar{\eta})}{\partial y} = -\frac{1}{\rho g(h + \bar{\eta})} \left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} - \tau_{sy} + \tau_{by} \right) \quad (2.15)$$

trong đó, $\bar{\eta}$ là thành phần nước dâng do ứng suất sóng, ρ là một độ nước biển, g là gia tốc trọng trường, h là độ sâu, τ_{sx} , τ_{bx} và τ_{sy} , τ_{by} là ứng suất bề mặt và ứng suất đáy theo hướng x , y .

Trong trường hợp đơn giản khi sóng truyền vuông góc với hướng bờ và bỏ qua ứng suất mặt và ứng suất đáy. Khi đó sự biến đổi của mực nước trung bình theo phương vuông góc với bờ được đưa ra như sau:

$$\frac{\partial(\bar{\eta})}{\partial x} = -\frac{1}{\rho g(h + \bar{\eta})} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} \right) \quad (2.16)$$

Theo Longuet-Higgins (1967), vị trí sóng đồ là điểm bắt đầu có sự biến đổi của mực nước trung bình do tác động của sóng và được xác định như sau:

$$\bar{\eta} = C - \frac{1}{2g} \left(\overline{u^2} - \overline{w^2} \right)_{\eta=0} \quad (2.17)$$

Trong đó, $\overline{u^2}$ và $\overline{w^2}$ lần lượt là giá trị trung bình theo thời gian của bình phương vận tốc tại bề mặt theo phương ngang và phương thẳng đứng.

Phương trình 2.17 là một dạng của phương trình Bernoulli cho dòng

chảy không ổn định và với giả thiết là không có biến động mực nước trung bình gây ra bởi sóng tại vùng nước sâu ($C = 0$) và khi đó nước dâng do sóng có giá trị âm (wave setdown) và được đưa ra như sau:

$$\bar{\eta}_b = -\frac{H_b^2 k_b}{8 \sinh 2k_b h_b} \quad (2.18)$$

Trong đó, H_b và k_b là độ cao sóng và số sóng tại điểm sóng đổ. Đối với điều kiện nước nông và giới hạn độ sâu sóng đổ ($H_b = \kappa (h + \bar{\eta})$), ta có:

$$\bar{\eta}_b = -\frac{\kappa H_b}{16(1 + \kappa^2 / 16)} \quad (2.19)$$

Tại các điểm ven bờ và với điều kiện biên tại các điểm sóng đổ như trên, nước dâng do sóng được tính bởi:

$$\bar{\eta} = -\frac{\kappa H_b}{16} + \frac{3\kappa^2 / 8}{(1 + 3\kappa^2 / 8)} (h_b - h) \quad (2.20)$$

Có thể thấy rằng, giá trị của nước dâng do sóng phụ thuộc vào chỉ số sóng vỡ κ , giá trị này phụ thuộc vào độ dốc của địa hình đáy biển và các thông số sóng ngoài khơi. Lý thuyết của Longuet-Higgins và Stewart đã được kiểm chứng thông qua các quan trắc tại các bãi biển và nghiên cứu trong phòng thí nghiệm.

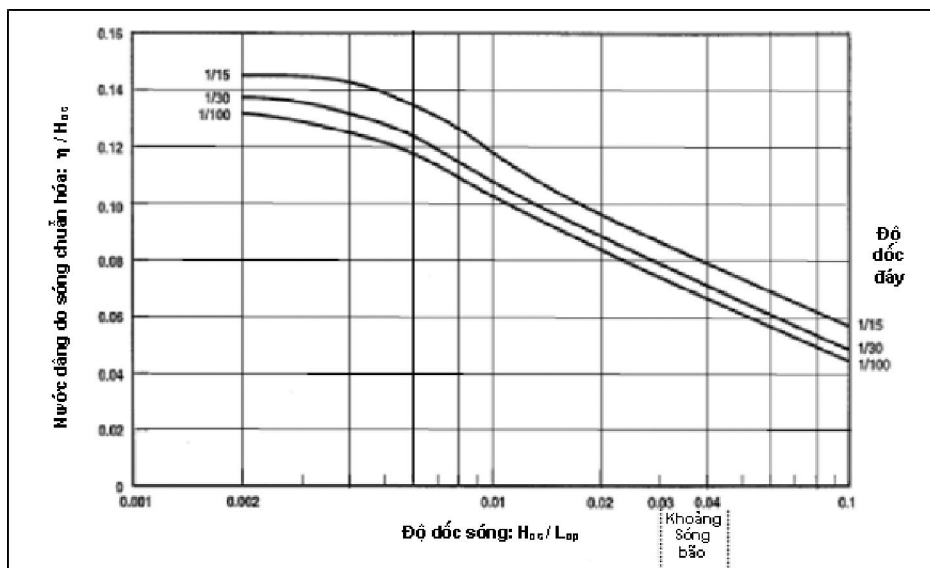
Các nghiên cứu thực nghiệm này chứng minh sự tồn tại của nước dâng do sóng với độ lớn vào khoảng 10-20% độ cao của sóng. Một số công thức gần đúng về nước dâng do sóng được nghiên cứu thực nghiệm tại nhiều bãi biển khác nhau, từ các bãi biển đơn giản nhất là bãi biển phẳng với độ dốc nhỏ đến những bãi biển phức tạp như cửa sông, vũng, vịnh (Saville, 1961; Longuet-Higgins, 1983; Stive và Wind, 1982; James, 1974; Dean và Dalrymple, 1991, Tanaka và nnk, 2008). Trong Hướng dẫn bảo vệ bờ biển của Hoa Kỳ (Shoreline Protection Manual - SPM), nước dâng do sóng được

tính dựa vào giá trị độ cao sóng có nghĩa, độ dốc đáy và độ dốc sóng. Bảng 2.1 dưới đây thống kê các công thức thực nghiệm tính nước dâng do sóng của các tác giả khác nhau trên thế giới. Hình 2.3 dẫn ra toán đồ tính toán nước dâng do sóng theo FAMA.

Bảng 2.1. Các công thức thực nghiệm tính nước dâng do sóng

Tác giả	Vị trí thực hiện	Các điều kiện	Kết quả
Hansen, 1978	Đảo Sylt, Biển Bắc	Chiều cao sóng lên tới 1.6m	$\bar{\eta}/H_{0,ms} = 0.42$
Guza và Thornton, 1981	Bãi biển Torrey Pines, CA	Độ dốc bãi biển 0.02, chiều cao lên tới 1.4m, $\bar{\eta}$ lên tới 28 cm	Thích hợp nhất: $\bar{\eta}/H_{0s} = 0.17$
Holman và Sallenger, 1985	Duck, NC	Chiều cao 4.6 m, $\bar{\eta}$ lên tới 1.6m	$-0.20 < \bar{\eta}/H_{0s} < 0.46$, phụ thuộc vào mực nước triều
David và Nielson, 1988	Bãi biển Dee Why, Úc	Chiều cao sóng đạt 2.6m, Độ dốc bãi biển 0.01-0.02	Tại $h=0$, $0.08 < \bar{\eta}/H_{0,ms} < 0.18$,
Nielson, 1988			Tại $h+\bar{\eta}=0$, $0.25 < \bar{\eta}/H_{0,ms} < 0.6$
King và cộng sự, 1990	Bãi biển Woolacombe, Anh	Chiều cao sóng > 2m, nhiều ngày	$0.11 < \bar{\eta}/H_{0,ms} < 0.15$
Yanagishima và Katoh, 1990	Bờ biển Nhật Bản	Độ dốc bãi biển 0.0187	Hồi quy đa biến thích hợp nhất
Greenwood và Osborne, 1990	Vịnh Georgian, Hồ Huron, Canada	bãi biển không có thủy triều,	Thích hợp nhất: $\bar{\eta}/H_{0s} = 0.19$
Hanslow và Nielson, 1992, 1993	4 bãi biển Oxttrâyliá	Chiều cao 4.2 m, $\bar{\eta}$ lên tới 1.6m	Thích hợp nhất: $\bar{\eta}/H_{0,ms} = 0.38$,
Dunn, Nielson, Madsen và Evans, 2000			hoặc $\bar{\eta} = 0.04 \sqrt{\bar{H}_{0s} L_c}$
Raubenheimer, Guza và Elgar, 2001	Duck, NC	Độ dốc bãi biển 0.025	Thích hợp nhất: $\bar{\eta}_{sw}/H_{0s} = 0.019 + 0.003 \rho_f^{-1}$
Florida DEP Leadon và cộng sự, 1997	Bãi biển Panama City, FL	Hurricane Opal	$\bar{\eta}/H_{0s} \approx 0.25$ sử dụng giả định hợp lý của chiều cao sóng giới hạn, ...
Stockdon và cộng sự, 2006	10 khu vực khác nhau trên thế giới	Độ dốc bãi biển biến thiên, Chiều cao sóng tới 4m	Bãi biển tự nhiên: $\bar{\eta} = 0.385 \rho_f \sqrt{\bar{H}_{0s} L_c}$ Đối với bãi biển có công trình phá sóng: $\bar{\eta} = 0.043 \sqrt{\bar{H}_{0s} L_c}$

Ghi chú: $\bar{\eta}$ là nước dâng do sóng, H_0 là độ cao sóng có nghĩa ngoài khơi, L_0 là chu kỳ sóng



Hình 2.3. Toán đồ tính nước dâng do sóng (η) theo độ cao sóng (H_{0s}), bước sóng (L_{0p}) và độ dốc đáy theo FAMA

Theo toán đồ này thì trong giới hạn dải sóng bão, khi $0,03 < (H_{os}/L_{op}) < 0,04$, nước dâng do sóng vào khoảng từ 7 đến 10% độ cao sóng có nghĩa ngoài khơi.

Luận án sử dụng công thức thực nghiệm của Hanslow và Nielsen (1993) [37] dựa trên những kết quả thực nghiệm tại nhiều bãi biển khác nhau về mối quan hệ giữa độ cao sóng và nước dâng do sóng. Đáng chú ý là điều kiện thực nghiệm trong nghiên cứu này có độ cao sóng ngoài khơi lên trên 4,2 mét và nước dâng do sóng đo được lên tới 1,6 mét.

Các phương trình thực nghiệm của Hanslow và Nielsen được phát triển từ các dữ liệu thực địa và thí nghiệm, trong đó các sóng nước sâu có kích thước vừa phải tác động đến hầu hết các hướng trên bờ biển. Trong các vùng sóng vỡ các điều kiện này sẽ thay đổi với các tham số sóng. Các công thức này là kết quả từ một giả thiết của các điều kiện trạng thái ổn định trong khi dòng chảy do sóng và mực nước đạt được một trạng thái cân bằng. Trạng thái trong các cơn bão nhiệt đới mạnh sẽ rất khác với các điều kiện mà dữ liệu thực địa và thí nghiệm thu thập được. Trong các cơn bão mạnh, chu kỳ đỉnh và độ cao sóng có nghĩa ngoài khơi có thể lên tới trên 10 giây và 10 mét.

$$\bar{\eta}_w = 0.04\sqrt{H_{s0}L_0} \quad (2.21)$$

ở đây $\bar{\eta}_w$ - nước dâng do sóng tại điểm sát bờ,

H_{s0} - độ cao sóng nước sâu,

L_0 - độ dài sóng nước sâu (m), được tính bằng công thức:

$$L_0 = \frac{gT_p^2}{2\pi} \quad (2.22)$$

trong đó T_p - chu kỳ đỉnh sóng (s).

2.6. Kiểm nghiệm mô hình

2.6.1. Kiểm nghiệm mô hình tính toán trường gió và áp trong bão

Mô hình tính toán trường gió và áp của Boose (1991) được áp dụng để tính toán trường gió và áp suất trong bão. Số liệu đầu vào của mô hình là các thông số của các cơn bão, bao gồm: 1) Vị trí (kinh độ, vĩ độ) của tâm bão; 2) Áp suất tâm bão; 3) Hướng và tốc độ di chuyển của bão; 4) Bán kính và vận tốc gió cực đại. Ngoài ra, số liệu đầu vào còn có tọa độ các điểm lưới tính (cho mô hình tính sóng trong bão và mô hình tính nước dâng do bão) và tính chất của lưới tính (đất / biển).

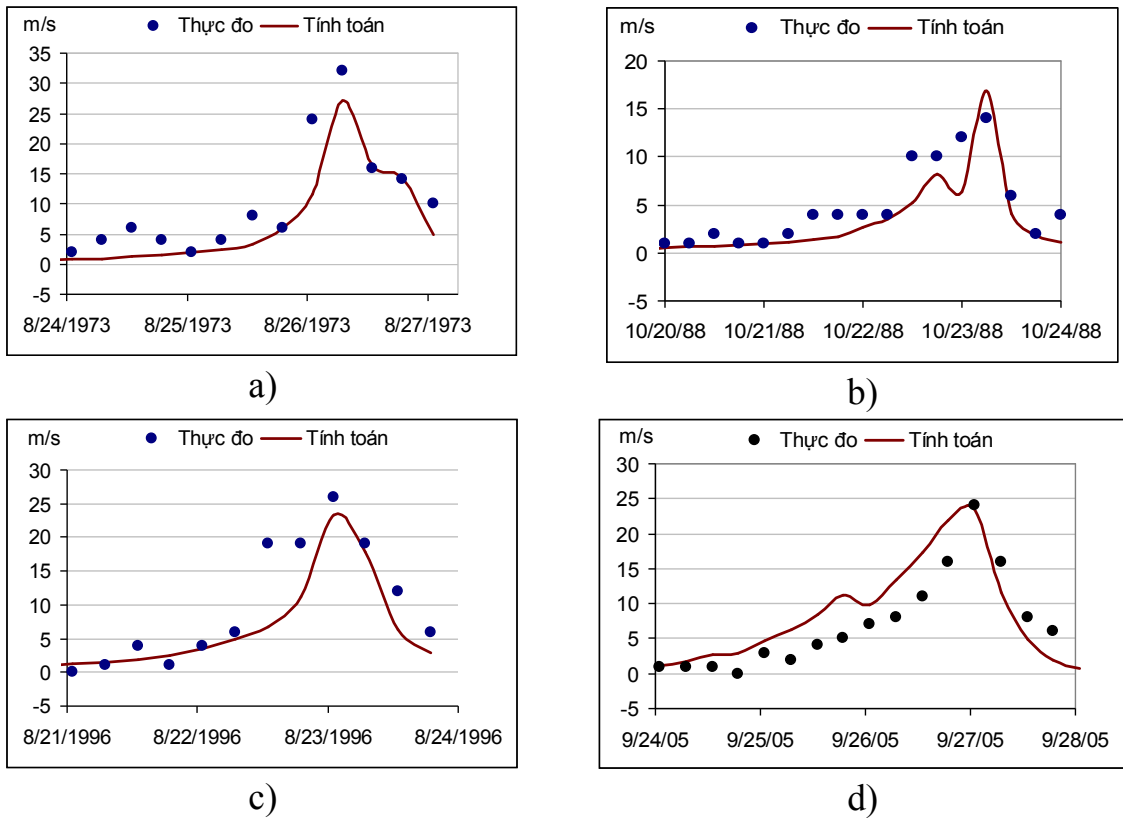
Kết quả tính toán từ mô hình mô phỏng gió trong bão được kiểm tra với số liệu gió thực đo trong thời kỳ hoạt động của bão tại trạm khí tượng Hòn Dấu, các cơn bão được sử dụng để kiểm tra bao gồm: a) Bão Kate, 1973; b) Bão Pat, 1988; c) Bão Niki 1996; d) Bão Damrey, 2005 (Hình 2.4). Đánh giá về sai số và độ chính xác giữa tốc độ gió tính toán và đo đạc thông qua hai đại lượng gồm độ lệch (BIAS) và trung bình quân phương (RMS) được tính toán cho từng cơn bão.

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (H_{com_i} - H_{obs_i})$$

$$RMS = \left\{ \frac{1}{N} \sum (H_{com_i} - H_{obs_i})^2 \right\}^{1/2}$$

Trong đó: N là tổng số phần tử của chuỗi (i), H_{com_i} là số liệu tính toán, H_{obs_i} là số liệu thực đo.

Kết quả kiểm tra cho thấy trung bình giá trị BIAS là 1,73 có giá trị dương, nghĩa là tốc độ gió tính toán lớn có xu thế hơi lớn hơn số liệu thực đo. Trung bình giá trị RMS là 3,99, có thể chấp nhận được so với tốc độ gió trong bão, thường có vận tốc lớn hơn 15 m/s (Bảng 2.2).

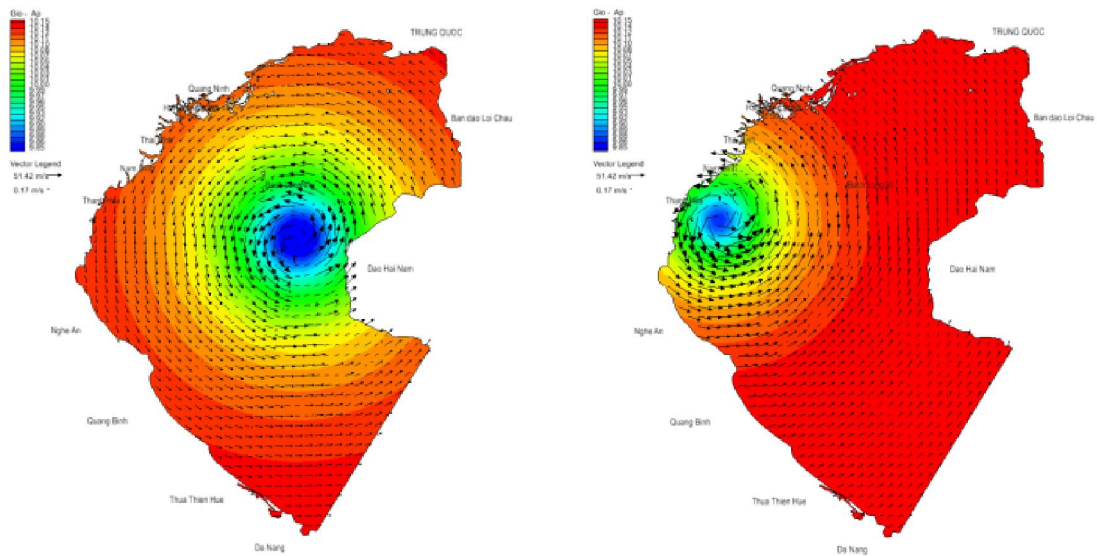


Hình 2.4. Vận tốc gió tính toán và thực đo tại trạm Hòn Dấu
 a) Bão Kate, 1973; b) Bão Pat, 1988; bão Niki 1996 , bão Damrey, 2005

Bảng 2.2. Kết quả kiểm nghiệm mô hình tính toán trường gió

Tên Bão	Sai số	
	BIAS (m/s)	RMS (m/s)
Kate, 1973	2,85	4,37
Pat, 1988	0,95	3,12
Niki, 1996	2,71	4,38
Damrey, 2005	-1,50	4,07
Trung bình	1,25	3.99

Mô hình mô tả tương đối tốt cấu trúc trường gió và trường áp trong bão, áp suất tăng dần từ tâm bão ra ngoài, vận tốc gió giảm dần từ khu vực bán kính gió cực đại về hai phía trong và ngoài tâm bão (Hình 2.5).



12h ngày 26/9/2005

0h ngày 27/9/2005

Hình 2.5. Kết quả tính toán trường gió và trường áp trong cơn bão Damrey

Qua phân tích kết quả tính toán trường gió và áp cho một số cơn bão cho thấy mô hình có thể được sử dụng để tính toán gió và áp trong bão trong luận án để làm đầu vào cho các mô hình tính toán nước dâng và sóng trong bão được trình bày ở dưới đây.

2.6.2. Kiểm nghiệm mô hình thủy động lực và nước dâng do bão

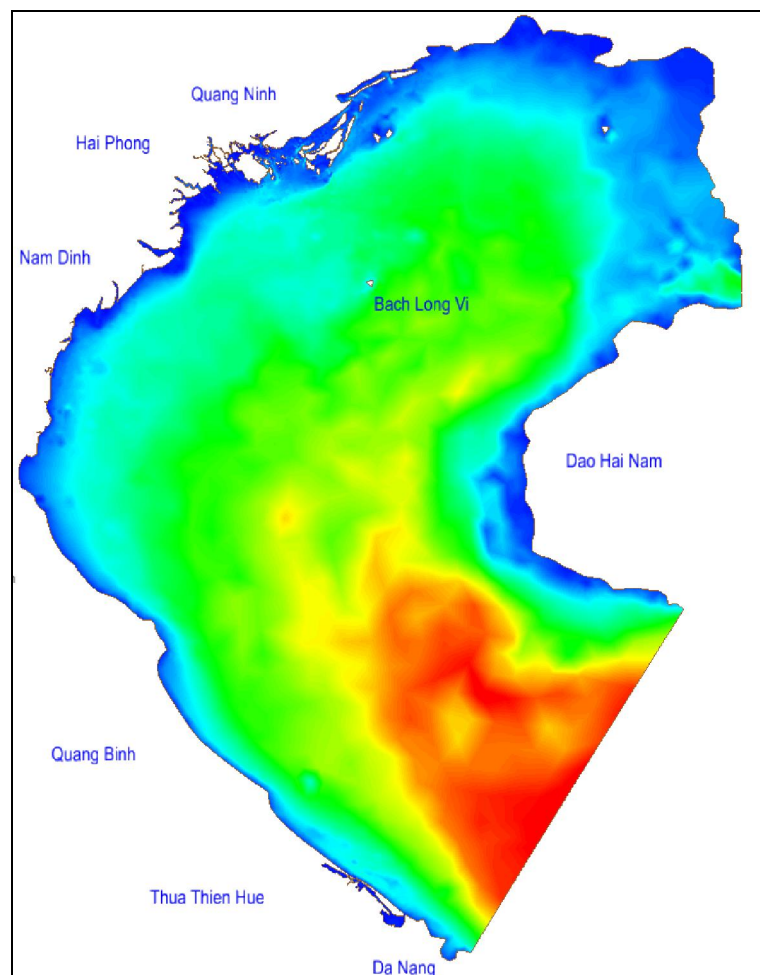
1. Thiết lập miền tính, lưới tính cho mô hình

Miền tính được sử dụng trong luận án là toàn bộ khu vực vịnh Bắc Bộ với diện tích khoảng 126.250 km², đây là vịnh lớn của Biển Đông, độ sâu biến đổi từ vài mét đến vài trăm mét. Phía tây vịnh là dải bờ biển Việt Nam, phía bắc là bờ biển Trung Quốc, phía đông là đảo Hải Nam.

Vịnh thông với Biển Đông qua eo Quỳnh Châu (nằm giữa bán đảo Lôi Châu và đảo Hải Nam) ở phía đông và cửa chính của vịnh ở phía nam. Phần lớn các đảo lớn, nhỏ tập trung chủ yếu ở khu vực ven bờ biển Việt Nam, trong đó có một số đảo lớn như đảo Cát Bà, Cô Tô, Kế Bào, Cái Bàu, Bạch Long Vĩ. Phía bờ biển Việt Nam đường bờ quanh co, khúc khuỷu do bị chia cắt bởi

các đảo ven bờ và hệ thống các sông, đặc biệt là vùng bờ biển của Thành phố Hải Phòng. Điều này có ảnh hưởng rất lớn tới hiện tượng nước dâng khi có bão đổ bộ.

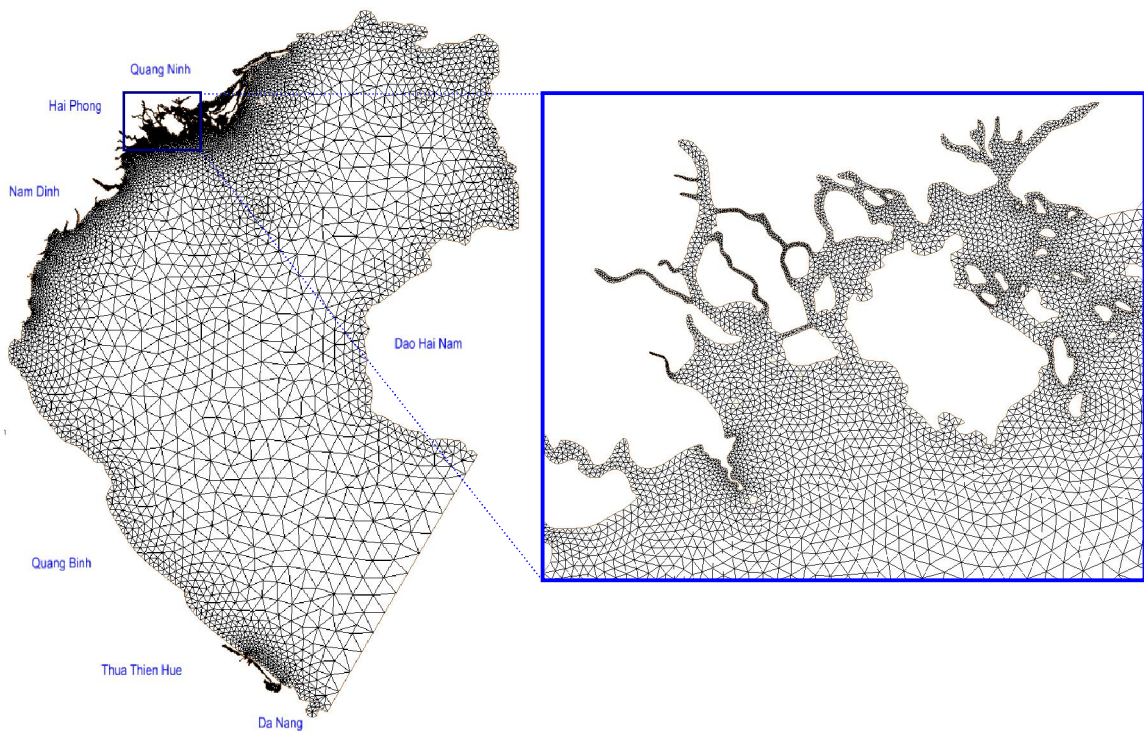
Luận án đã sử dụng số liệu địa hình được trích xuất từ: 1) Số liệu địa hình đáy biển và khu vực cửa sông do Bộ tư lệnh hải quân Việt Nam đo đạc với các tỷ lệ khác nhau như 1:500.000, 1:100.000, 1:25.000 và 1:10.000; 2) Số liệu mặt cắt sông và địa hình đáy sông do Liên đoàn khảo sát sông Hồng thực hiện; 3) Số liệu địa hình khu vực Hải Phòng được trích xuất từ các bản đồ tỷ lệ 1:10.000; 1:25.000 của Cục Đo đạc Bản đồ và 4) Hệ thống đê biển, đê sông được thu thập từ Cục Đê điều và Phòng chống lụt bão.



Hình 2.6. Miền tính và độ sâu địa hình trên toàn vịnh Bắc bộ

Số liệu độ sâu từ các mảnh hải đồ đã được chuyển đổi quy về cao độ quốc gia, trường độ sâu miền tính được thể hiện trên Hình 2.6. Lưới tính tam giác được xây dựng theo thuật toán *Scalar paving density*, các lưới tính này có kích thước khác nhau, nhỏ nhất ở khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng là 50 mét và lớn nhất ở khu vực ngoài khơi Vịnh Bắc Bộ là 25.000 mét.

Tổng số lưới tính trên toàn khu vực là 13.332 nút lưới. Lưới tính của khu vực vịnh Bắc Bộ và khu vực ven biển Hải Phòng được xây dựng với hai biên lỏng tại eo biển Quỳnh Châu và cửa Vịnh Bắc Bộ (Hình 2.7 b).



a) Vịnh Bắc Bộ

b) Khu vực ven biển Hải Phòng

Hình 2.7. Lưới tính khu vực nghiên cứu trong mô hình ADCIRC

Biên lỏng của mô hình tại eo biển Quỳnh Châu và cửa Vịnh Bắc Bộ là số liệu hằng số điều hòa thủy triều (biên độ và pha) của 8 sóng triều bao gồm: 4 sóng bán nhật triều (M_2 , S_2 , N_2 , K_2), 4 sóng nhật triều (K_1 , O_1 , P_1 , Q_1) và 2 sóng chu kỳ dài (S_a , S_{sa}).

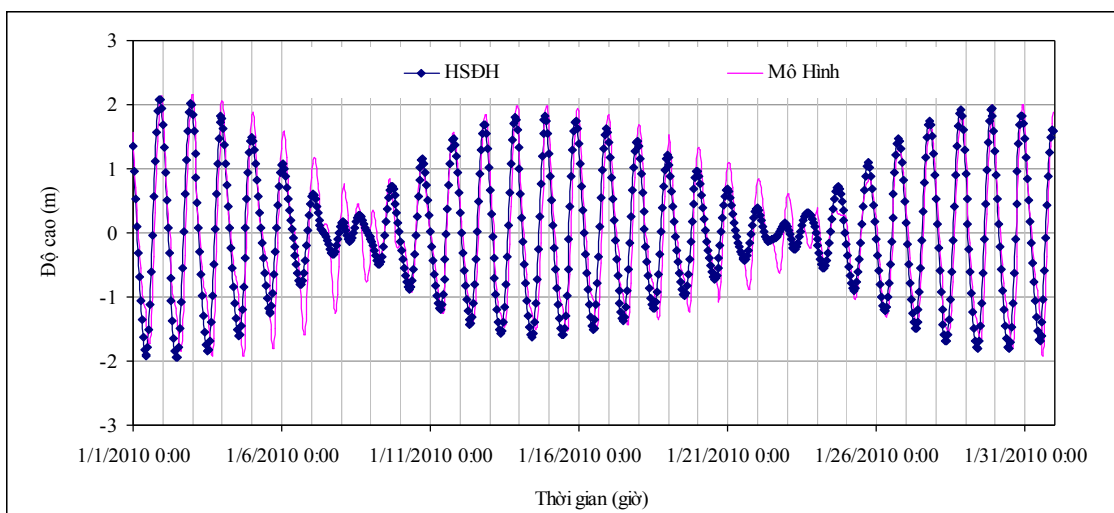
2) Kiểm nghiệm mô hình

a. Bài toán mô phỏng thủy triều

Bộ hàng số điều hòa thủy triều phân tích từ số liệu mực nước thực đo tại trạm Hòn Dấu được dùng để kiểm nghiệm mô hình mô phỏng thủy triều tại khu vực nghiên cứu. Mô hình ADCIRC được áp dụng để tính trong 1 năm (từ ngày 1 tháng 1 đến ngày 31 tháng 12 năm 2010) để đưa ra chuỗi số liệu mực nước thủy triều tính toán tại tất cả các điểm tính.

Các kết quả tính toán cho thấy khi yếu tố bước thời gian tính toán đã đảm bảo điều kiện CFL (Courant-Friedrich-Lévy) thì hệ số nhớt ít quan trọng hơn so với hệ số ma sát, ảnh hưởng của nó tới độ ổn định của mô hình và kết quả tính toán rất nhỏ. Kết quả thu được bộ thông số hiệu chỉnh tốt nhất là: hệ số nhớt bằng 0,3 và hệ số ma sát bằng 0,002.

Kết quả tính toán từ mô hình cho thấy, mô hình có khả năng mô phỏng tương đối tốt thủy triều tại khu vực ven biển Hải Phòng nói chung cũng như tại Hòn Dấu nói riêng. Đường biến trình mực nước tính toán từ mô hình và số liệu thực đo trong thời gian tháng 1 năm 2010 (Hình 2.8) cho thấy có sự tương đồng cao về pha và biên độ.



Hình 2.8. Biến trình mực nước triều tính từ mô hình và từ hàng số điều hòa

Chuỗi số liệu mực nước tính toán từ mô hình trích xuất tại vị trí trạm Hòn Dấu được phân tích điều hòa bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất để xác định hằng số điều hòa của 8 sóng triều (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1). Kết quả tính toán cho thấy, các sóng điều hòa thủy triều trích từ mô hình và phân tích điều hòa từ số liệu thực đo tại trạm Hòn Dấu không có sự khác biệt đáng kể, sai số tuyệt đối về biên độ các sóng triều không vượt quá 7 cm. (Bảng 2.3).

Bảng 2.3. So sánh giữa kết quả tính toán và số liệu thực đo các sóng triều tại Hòn Dấu

STT	Sóng	Thực đo (cm)	Tính toán (cm)	Sai số tuyệt đối (cm)	Sai số tương đối (%)
1	K1	70	69	5	7,0
2	O1	78	85	7	8,2
3	M2	7	9	2	22,2
4	S2	5	6	1	16,7

Đánh giá về sai số và độ chính xác mực nước triều tính toán từ mô hình và từ hằng số điều hòa thông qua hai đại lượng độ lệch (BIAS) và trung bình quân phương (RMS) trong thời gian 1 năm tính toán cho thấy, giá trị BIAS là -2,24 cm và giá trị RMS là 4,4 cm. So với biên độ các sóng triều đây, là những sai số thấp, có thể chấp nhận được trong tính toán thủy triều. Mô hình ADCIRC với bộ thông số đã được xác định, vì thế có thể được áp dụng để tính toán thủy triều cho khu vực Vịnh Bắc Bộ.

b. Mô phỏng nước dâng do bão

Bộ thông số của mô hình sau khi đã được kiểm nghiệm với việc mô phỏng thủy triều được sử dụng để kiểm nghiệm trong mô phỏng nước dâng do bão. Một số cơn bão mạnh ảnh hưởng đến khu vực ven biển Hải Phòng gây nước dâng cao được sử dụng để kiểm nghiệm mô hình (Bảng 2.4).

Bảng 2.4. Danh sách các cơn bão được dùng để kiểm nghiệm mô hình

STT	Tên bão	Thời gian đổ bộ	Khu vực đổ bộ	Cấp bão lúc đổ bộ	Hướng đổ bộ
1	Carla	22/9/1962	Nam Định	10	ESE
2	Kate	26/8/1973	Thái Bình	11	ESE
3	Frankie	24/7/1996	Nam Định	12	ESE
4	Niki	22/8/1996	Ninh Bình	12	SE
5	Damrey	26/9/2005	Ninh Bình	11	E

Số liệu nước dâng do bão tách từ số liệu mực nước tại trạm hải văn Hòn Dấu trong thời gian hoạt động của các cơn bão được sử dụng để kiểm nghiệm mô hình.

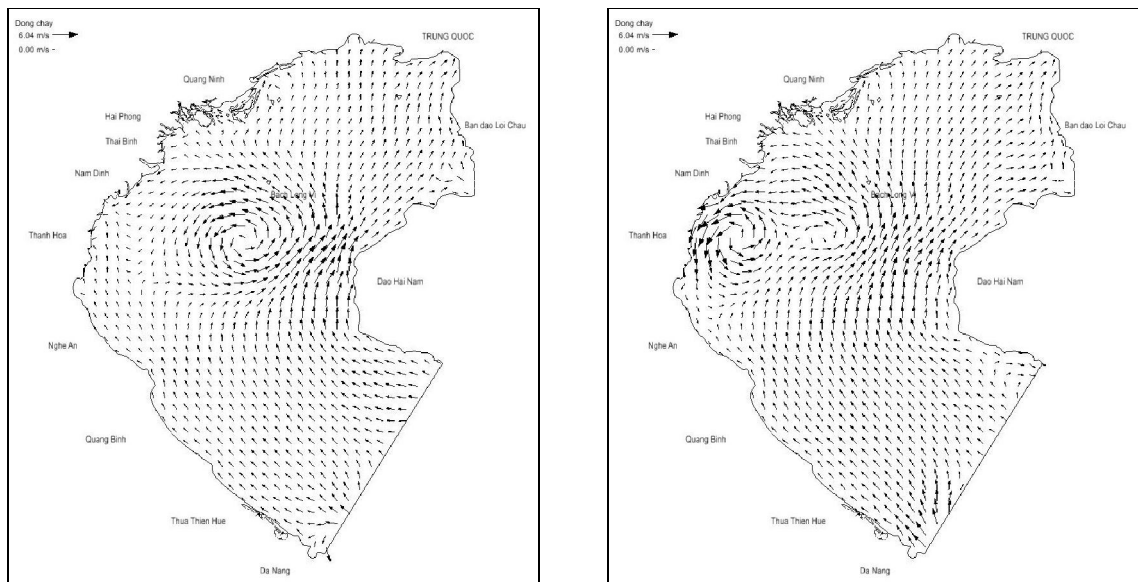
+) Với cơn bão Damrey, 2005

Cơn bão Damrey là cơn bão số 7 năm 2005 có hướng di chuyển tây, tây – bắc. Ngay sau khi hình thành bão đã di chuyển nhanh và cường độ tăng mạnh. Khi bão di chuyển vào vịnh Bắc Bộ, áp suất thấp nhất tại tâm khoảng 955 mb, vận tốc gió cực đại khoảng 55 m/s (Hình 2.9). Cơn bão này đã gây ra thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản cho các khu vực ven biển của các tỉnh phía bắc, trong đó có Hải Phòng.



Hình 2.9. Quỹ đạo cơn bão Damrey, 2005

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng trường dòng chảy khá tương đồng với trường gió tính toán ở trên. Dòng chảy luôn có hướng trùng với hướng gió trong khu vực tâm bão, giá trị vận tốc dòng chảy lớn tại các vị trí có vận tốc gió lớn, vận tốc dòng chảy lớn nhất đạt được tại khu vực bán kính gió cực đại nằm ở phía trước bên phải tâm bão theo hướng di chuyển của bão. Điều này hoàn toàn đúng với bản chất vật lý của hiện tượng (Hình 2.10).

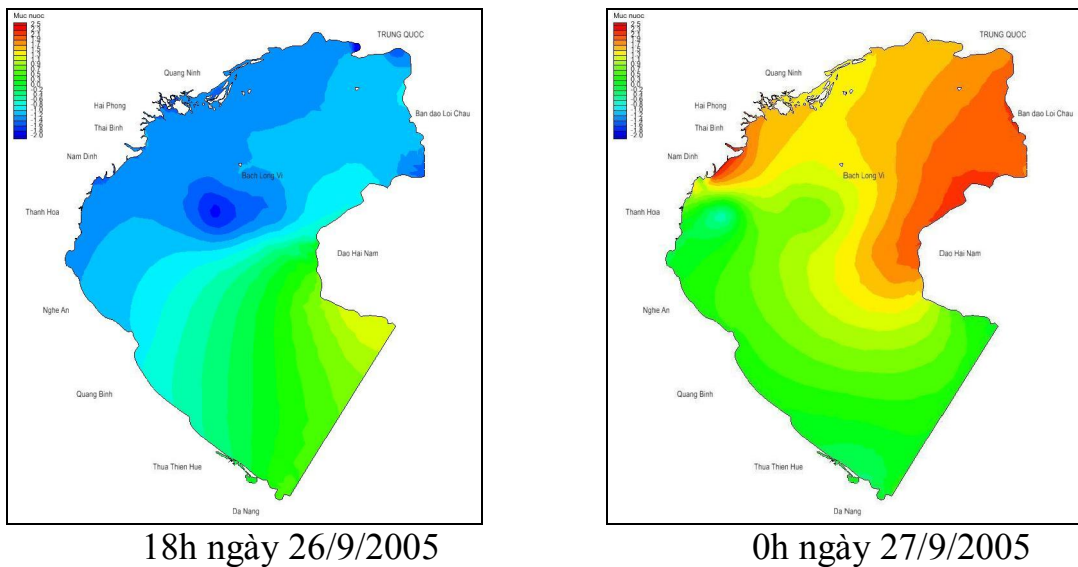


18h ngày 26/9/2005

0h ngày 27/9/2005

Hình 2.10. Trường dòng chảy trong bão Damrey, 2005

Trường mực nước tổng cộng tính từ mô hình tại một số thời điểm trong bão Damrey cho thấy, khu vực xảy ra nước dâng nằm phía bên phải, khu vực xảy ra nước rút nằm phía bên trái hướng di chuyển và vị trí bão đổ bộ, điểm xảy ra nước dâng cực đại cách tâm bão một khoảng cỡ bán kính gió cực đại. Kết quả tính toán cũng cho thấy mực nước lớn nhất xảy ra tại khu vực Nam Định và giảm dần về hai phía, điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả khảo sát sau bão của Trung tâm Hải văn năm 2005 [23]. Ở hầu hết các khu vực xảy ra hiện tượng nước dâng, mực nước dâng đạt cực đại sau thời điểm bão đổ bộ khoảng 1 - 2 giờ (Hình 2.11).

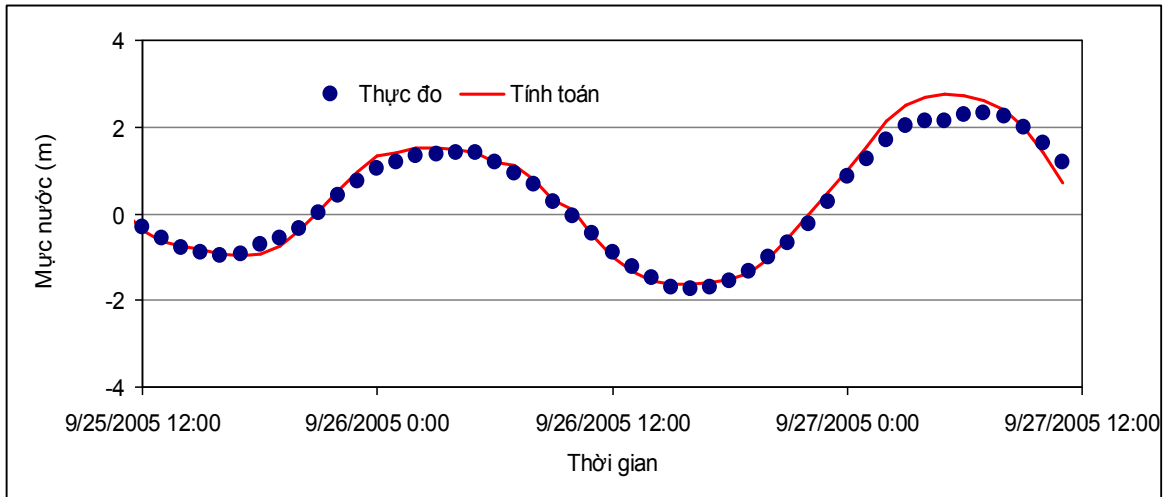


Hình 2.11. Trường mực nước trong bão Damrey, 2005

So sánh giữa kết quả tính toán từ mô hình và mực nước thực đo tại trạm Hòn Dấu cho thấy, sai số giữa kết quả tính toán và số liệu thực đo là nhỏ. Sai số tuyệt đối giữa giá trị mực nước tính toán lớn nhất nhỏ hơn giá trị thực đo là 0,21 m, sai số tương đối là 9%, hệ số tương quan giữa 2 chuỗi số liệu tính toán và thực đo là 91%, hệ số độ lệch chuẩn (BIAS) là 0,09 m và trung bình quân phương (RMS) là 0,2 m. Có thể thấy, hệ số tương quan giữa tính toán và thực đo đạt giá trị cao trong khi chỉ số BIAS và RMS là chấp nhận được đối với giá trị mực nước (Bảng 2.5, Hình 2.12).

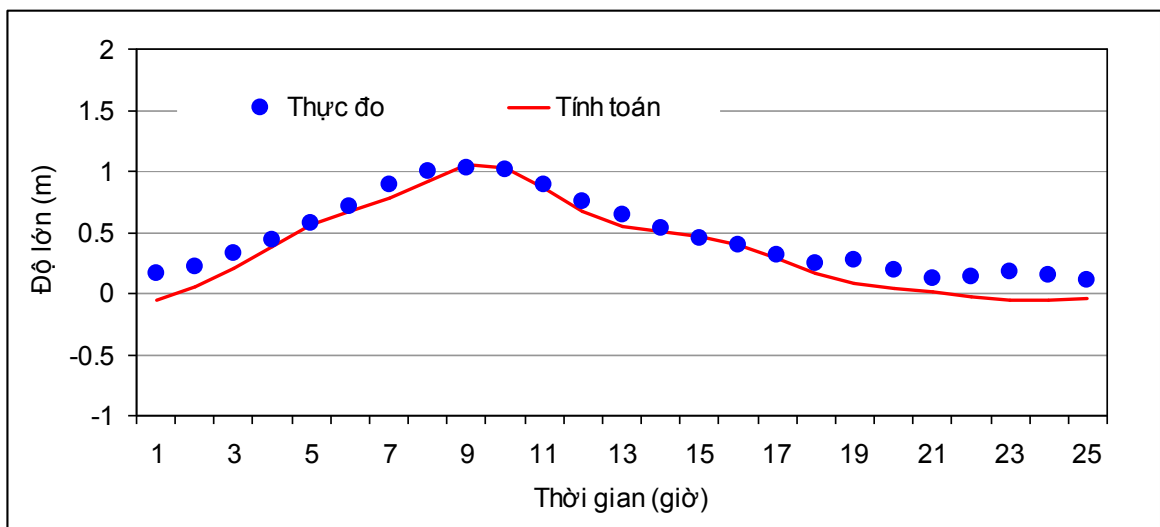
Bảng 2.5. Kết quả kiểm nghiệm mô hình tính nước dâng do bão trong bão Damrey, 2005 tại Hòn Dấu

Yếu tố	Giá trị
Mực nước cao nhất thực đo (m)	2,11
Mực nước cao nhất tính toán (m)	2,32
Sai số tuyệt đối (m)	0,21
Sai số tương đối (%)	9
Thời gian lệch (giờ)	2
Hệ số tương quan	0,98
BIAS (m)	0,09
RMS (m)	0,22



Hình 2.12. Mức nước tổng cộng tại Hòn Dấu trong bão Damrey, 2005

Nước dâng do bão được tính bằng hiệu giữa mức nước tổng cộng trừ đi mức nước thủy triều trong cùng thời điểm ($h_{ss} = h_{total} - h_{tide}$). Kết quả so sánh giữa nước dâng do bão thực đo tại trạm Hòn Dấu và mô phỏng từ mô hình được trình bày ở Hình 2.13. Có thể thấy rằng, có sự tương đồng cao về độ lớn và thời gian xuất hiện đỉnh nước dâng do bão giữa kết quả tính toán từ mô hình và giá trị thực đo.

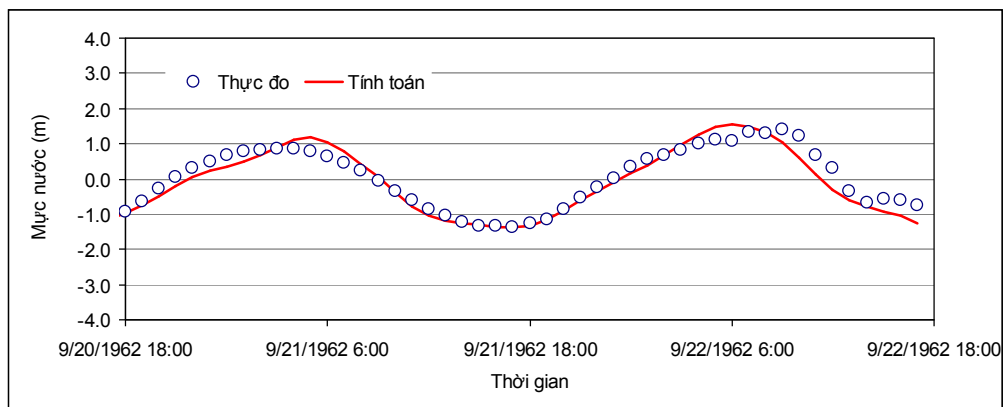


Hình 2.13. Nước dâng do bão tại Hòn Dấu trong bão Damrey, 2005

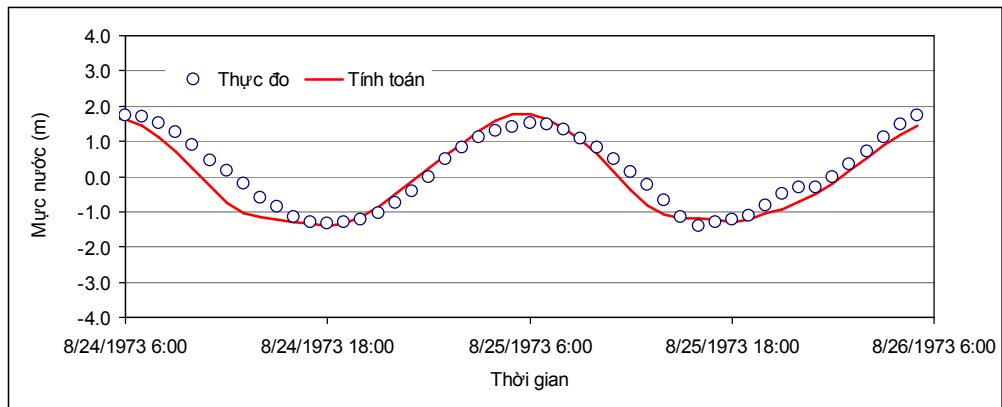
Bảng 2.6. Kết quả kiểm nghiệm mô hình cho mực nước cực trị trong bão tại Hòn Dấu

Yếu tố	Các cơn bão			
	Carla	Kate	Frankie	Niki
Mực nước cao nhất tính toán (m)	1,42	1,74	1,42	1,38
Mực nước cao nhất tính toán (m)	1,54	1,77	1,74	1,55
Sai số tuyệt đối (m)	0,12	0,03	0,32	0,17
Sai số tương đối (%)	8,7	1,74	22,5	12,3
Thời gian lệch đỉnh (giờ)	3	0	2	3
Hệ số tương quan	0,92	0,92	0,73	0,70
BIAS	-0,08	-0,16	-0,06	0,10
RMS	0,27	0,35	0,30	0,36

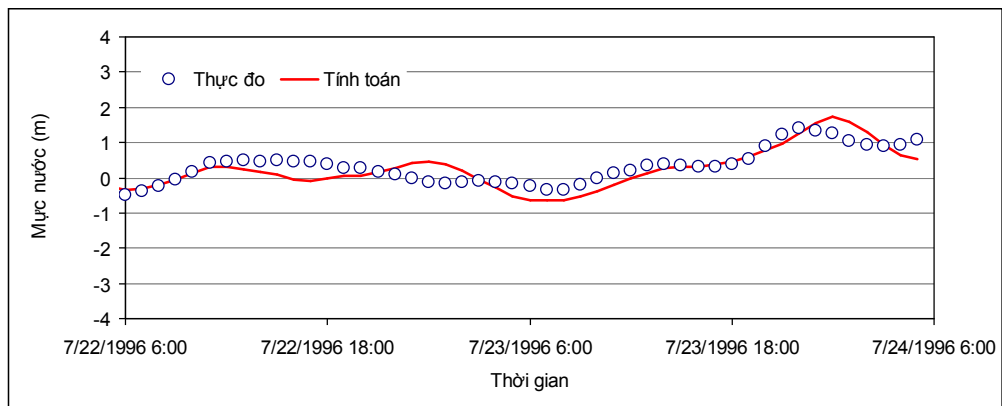
Tương tự như trong cơn bão Damrey, 2005, kết quả kiểm nghiệm cho các cơn bão khác cũng cho thấy, mô hình mô phỏng mực nước trong bão khá tốt, kết quả tính toán mực nước được trích ra từ mô hình tại vị trí Hòn Dấu khá sát với mực nước thực đo, sai số tuyệt đối về mực nước cực đại trong các cơn bão từ 0,03 đến 0,32 m, thời gian lệch đỉnh nhỏ từ 0 đến 3 giờ, các hệ số tương quan giữa chuỗi số liệu tính toán và mô phỏng tương đối cao, từ 0,7 đến 0,92, chỉ số BIAS từ -0,06 đến 0,1 và chỉ số RMS từ 0,27 đến 0,36 (Bảng 2.6, Hình 2.14 đến 2.17). Các giá trị này là chấp nhận được đối với việc mô phỏng và tính toán nước dâng do bão.



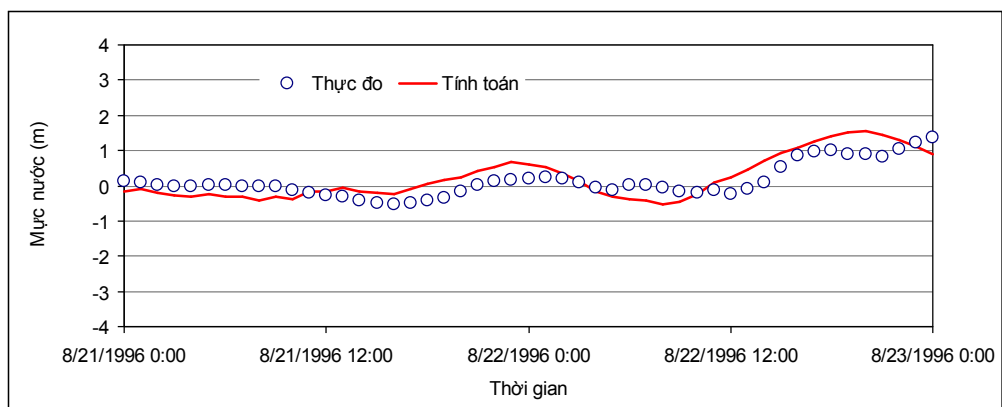
Hình 2.14. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Carla, 1962



Hình 2.15. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Kate, 1973



Hình 2.16. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Frankie, 1996

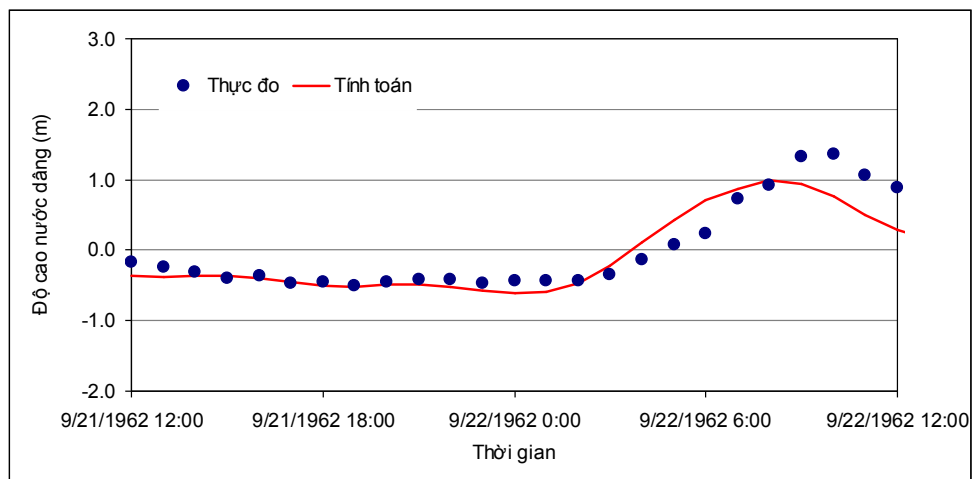


Hình 2.17. Kiểm nghiệm mực nước tại Hòn Dấu trong bão Niki, 1996

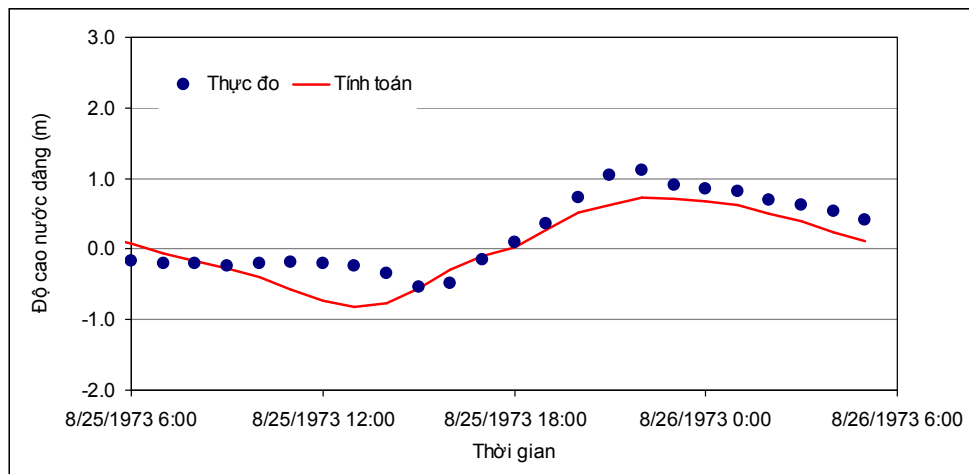
Đối với nước dâng do bão, kết quả so sánh giữa số liệu thực đo tại Hòn Dấu và mô phỏng bằng mô hình cũng cho thấy có sự tương đồng cao về độ lớn của nước dâng do bão và thời gian xuất hiện nước dâng do bão lớn nhất (Bảng 2.7, Hình 2.18 đến Hình 2.21).

Bảng 2.7. Kết quả kiểm nghiệm mô hình cho mực nước cực trị trong một số cơn bão tại Hòn Dấu

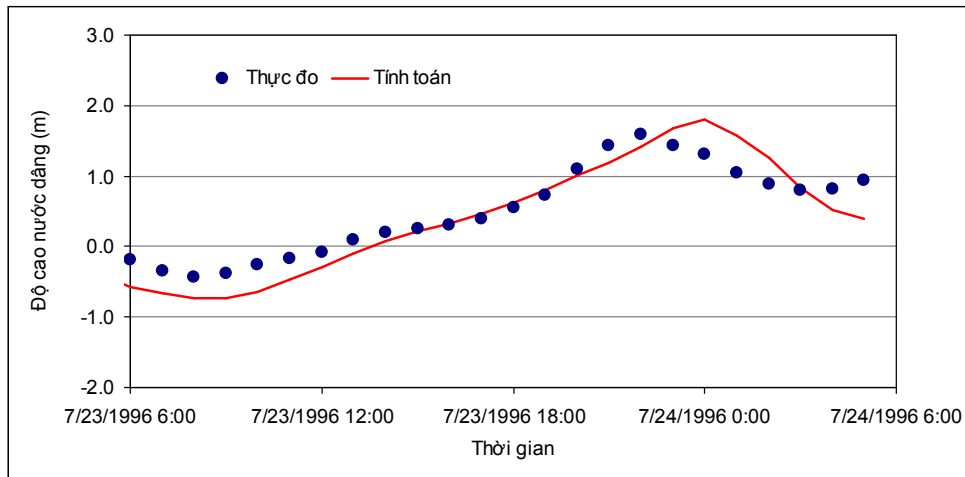
Tên bão	Nước dâng do bão lớn nhất		Sai số tuyệt đối (m)	Sai số tương đối (%)	Sai lệch thời gian (giờ)
	Thực đo (m)	Tính toán (m)			
Carla	1,36	0,99	0,38	27,7	2
Kate	1,11	0,72	0,39	35,0	0
Frankie	1,59	1,80	0,21	13,1	2
Niki	1,63	2,05	0,42	25,9	1



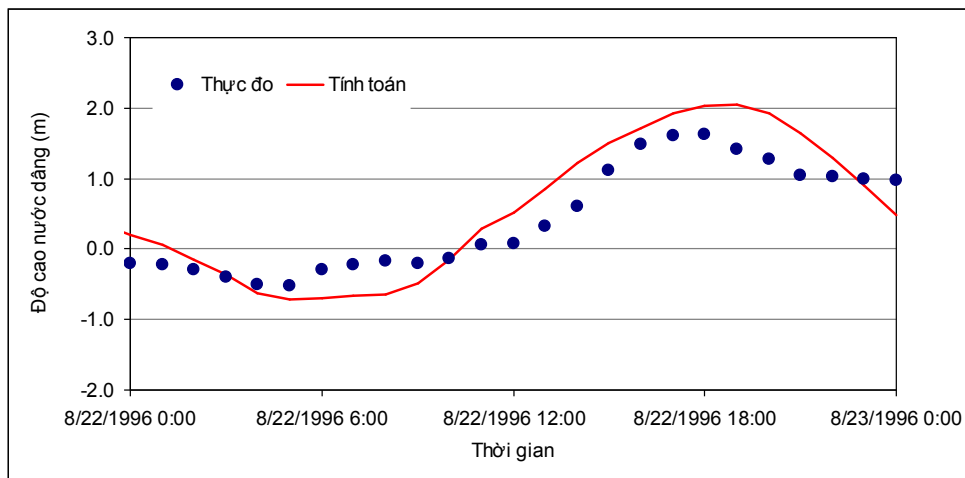
Hình 2.18. Kiểm nghiệm nước dâng do bão tại Hòn Dấu trong bão Carla, 1962



Hình 2.19. Kiểm nghiệm nước dâng do bão tại Hòn Dấu trong bão Kate, 1973



Hình 2.20. Kiểm nghiệm nước dâng do bão tại Hòn Dấu trong bão Frankie, 1996



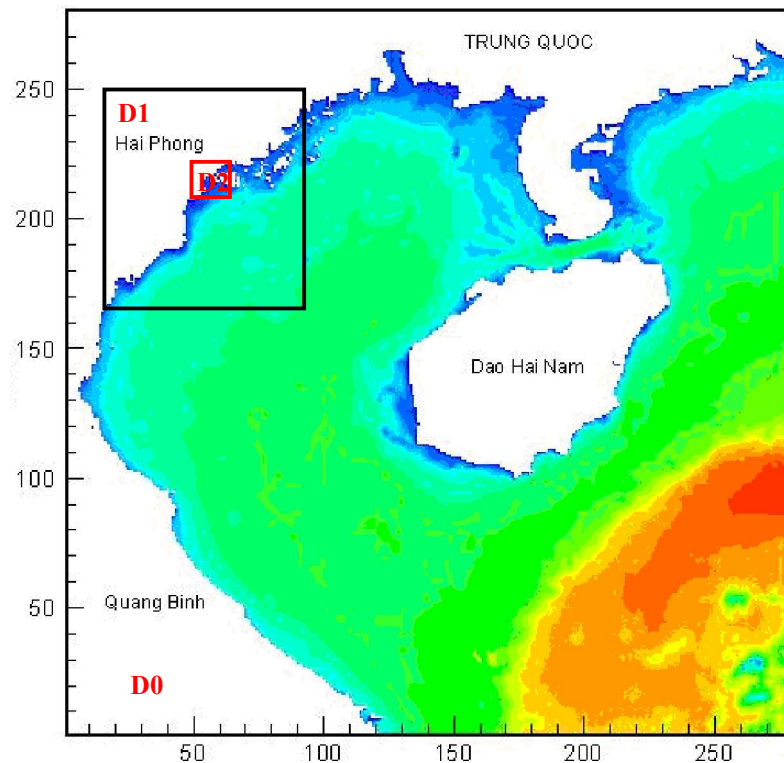
Hình 2.21. Kiểm nghiệm nước dâng do bão tại Hòn Dấu trong bão Niki, 1996

2.6.3. Kiểm nghiệm mô hình tính toán sóng trong bão

a) Thiết lập mô hình

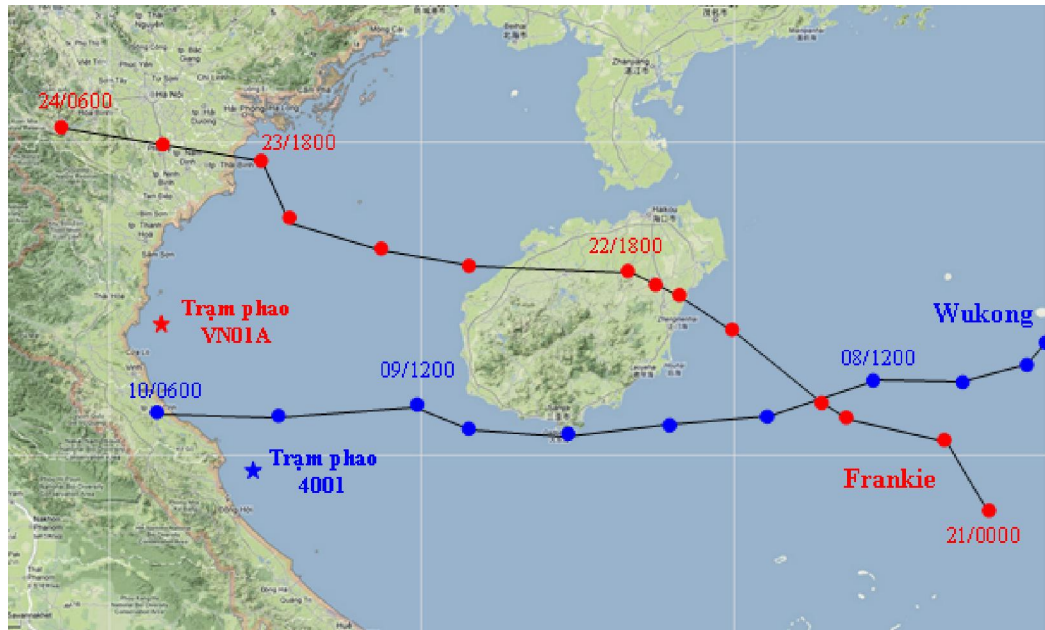
Mô hình WAM được thiết lập cho quy mô toàn biển Đông để mô phỏng sóng trong bão. Miền tính được sử dụng có phạm vi: từ -1° S đến 23° N và từ 99° E đến 119° E, lưới tính có độ phân giải là $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ kinh vĩ. Miền tính được sử dụng trong mô hình SWAN được sử dụng trong luận án bao trùm toàn Vịnh Bắc Bộ và sử dụng thuật toán nesting để mô phỏng và tính toán sóng cho khu vực ven bờ và chi tiết hơn cho khu vực ven biển Thành phố Hải Phòng. Trong mô hình SWAN, miền tính lớn (D0) có tọa độ:

105,75⁰E – 108,50⁰E, 19,25⁰N – 21,75⁰N, độ phân giải 500m, miền tính nhỏ (D1) có toạ độ: 105,75⁰E – 108,50⁰E, 19,25⁰N – 21,75⁰N, độ phân giải 500m; miền tính chi tiết (D2) có toạ độ: 106,6⁰E – 107,0⁰E, 20,60⁰N – 20,93⁰N, độ phân giải 50m, bước thời gian tính toán là 15 phút (Hình 2.22).



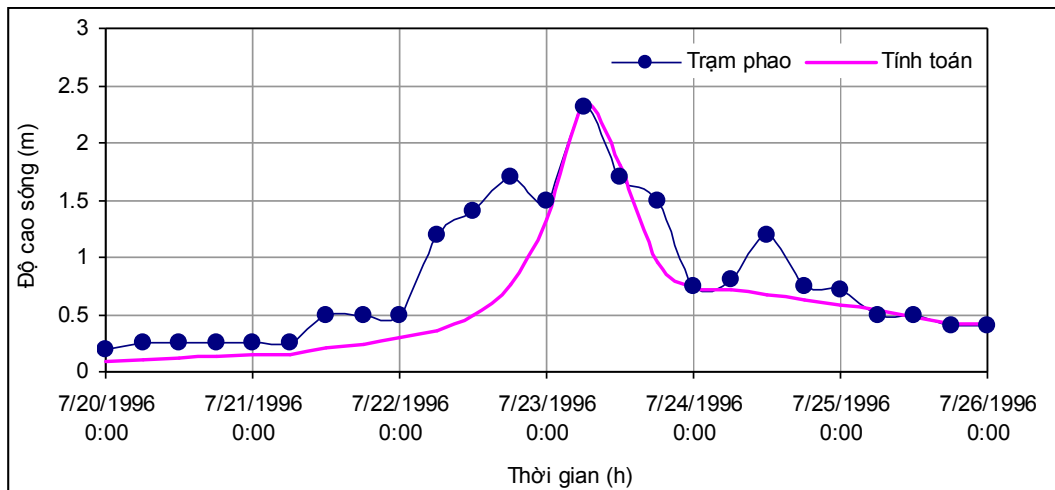
Hình 2.22. Miền tính sử dụng trong mô hình SWAN

Số liệu sóng thực đo tại các trạm quan trắc bằng phao của Trung tâm Khí tượng Thủy văn biển trong thời gian có bão xuất hiện tại khu vực Vịnh Bắc Bộ thu thập được trong hai cơn bão Frankie, 1996 (trạm phao VN01A, toạ độ 18.60⁰N - 106.25⁰E, độ sâu 27m) và bão Wukong, 2000 (trạm phao 4001, toạ độ 17.16⁰N - 107.38⁰E, độ sâu 30m) [57] được sử dụng để kiểm nghiệm mô hình. Trong cả 2 cơn bão, vị trí của các trạm phao đều nằm trong phạm vi bán kính gió cực đại của bão. Quỹ đạo hai cơn bão này và vị trí các trạm phao được trình bày trong Hình 2.23.

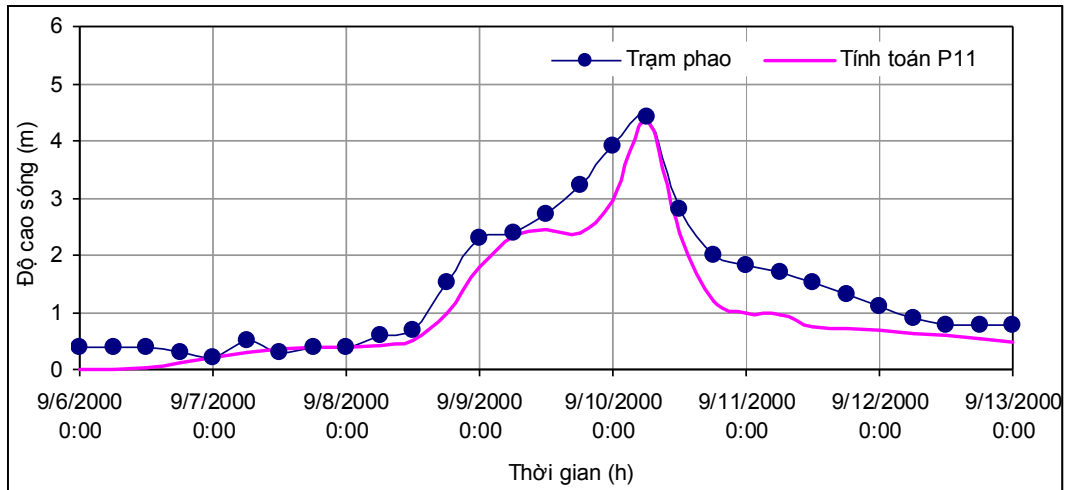


Hình 2.23. Quỹ đạo của 2 cơn bão và vị trí các trạm phao đo sóng

Kết quả tính toán độ cao sóng có nghĩa trong bão tại các vị trí tương ứng với vị trí trạm phao của mô hình SWAN được so sánh với số liệu sóng thực đo tại trạm phao. Kết quả so sánh cho thấy mô hình mô phỏng tương đối tốt sự biến đổi độ cao của sóng theo thời gian, biến trình độ cao sóng có nghĩa theo thời gian từ mô hình tương đối phù hợp với số liệu thực đo. Độ cao sóng có nghĩa lớn nhất mô phỏng từ mô hình không chênh lệch nhiều so với thực đo (Hình 2.24, Hình 2.25).



Hình 2.24. Biến trình độ cao sóng có nghĩa trong cơn bão Frankie, 1996



Hình 2.25. Biến trình độ cao sóng có nghĩa trong cơn bão Wukong, 2006

Để đánh giá về sai số và độ chính xác giữa tốc độ gió tính toán và thực đo, đại lượng độ lệch (BIAS) và trung bình quân phương (RMS) được tính toán cho từng cơn bão. Kết quả kiểm tra cho thấy trung bình giá trị BIAS là -0,29 m (có giá trị âm), nghĩa là độ cao sóng tính toán thiên thấp so với độ cao sóng từ trạm phao. Giá trị RMS trung bình cho 2 cơn bão là 0,42 m, có thể chấp nhận được trong tính toán độ cao sóng có nghĩa trong bão (Bảng 2.8).

Bảng 2.8. Sai số tính toán của độ cao sóng (m) trong các cơn bão

Tên bão	Sai số	
	BIAS	RMS
Frankie, 1996	-0,22	0,37
Wukong, 2006	-0,37	0,47
Trung bình	-0,29	0,42

Kết quả tính toán trường sóng trong bão từ mô hình sóng khá phù hợp với số liệu thực đo sóng tại trạm phao. Điều này cho thấy kết quả tính toán trường gió và áp từ mô hình mô phỏng gió và áp trong bão trong luận án có thể được sử dụng để làm đầu vào cho các mô hình tính toán nước dâng và sóng trong bão.

2.6.4. Kiểm nghiệm phương pháp tính mực nước cực trị trong bão

Hiện nay, việc đo nước dâng do sóng trong bão khó thực hiện do việc đo đạc trong điều kiện thời tiết nguy hiểm là rất khó khăn. Để có được giá trị nước dâng do sóng, mực nước và các thông số sóng tại các điểm ven bờ và ngoài khơi được đo đạc đồng thời và tách nước dâng do sóng qua sự chênh lệch mực nước giữa điểm ven bờ và ngoài khơi [64]. Ở Việt Nam nói chung và khu vực ven biển Hải Phòng nói riêng, chưa có những thực nghiệm và đo đạc nước dâng do sóng, tuy nhiên, đã có những kết quả điều tra khảo sát sau bão để xác định độ cao nước dâng lớn nhất tại các điểm sát bờ [23]. Các giá trị mực nước tại các điểm ven bờ đã bao gồm cả nước dâng do sóng.

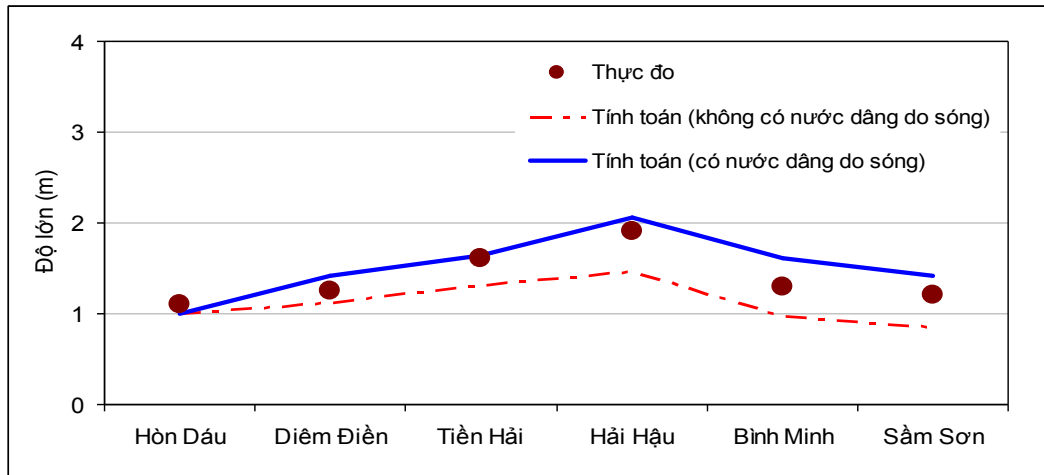
Trong khuôn khổ của đề tài “Hợp tác Việt - Trung về Nghiên cứu dự báo sóng biển và nước dâng do bão bằng phương pháp số” [23], một số chuyến khảo sát về mực nước cực trị trong bão cho các điểm ven bờ Việt Nam đã được thực hiện. Kết quả điều tra, khảo sát trong cơn bão Washi, 2005 cho thấy, tồn tại sự khác biệt đáng kể về độ cao nước dâng tại một số điểm ven bờ so với độ cao nước dâng được tách ra từ trạm Hòn Dấu và đánh giá sự khác biệt này là do nước dâng do sóng gây ra, chênh lệch giữa nước dâng do bão lên tới hơn 70 cm giữa các điểm ven bờ và điểm quan trắc mực nước tại đảo Hòn Dấu (Bảng 2.9).

Bảng 2.9. Nước dâng thực tế tại khu vực Hải Phòng trong bão Washi [23]

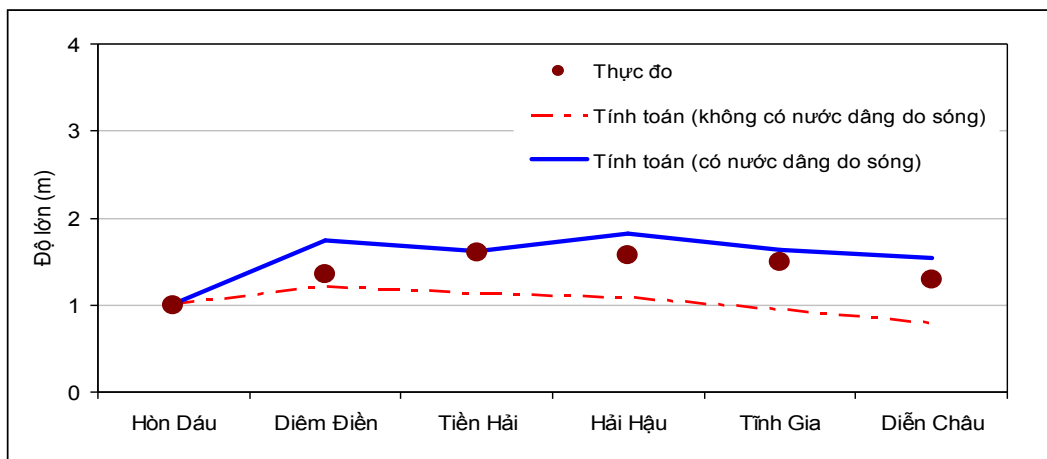
STT	Địa điểm	Nước dâng do bão (m)	Ghi chú
1	Hòn Dấu	1,21	Từ mực nước đo đạc
2	Đình Vũ	1,93	Vết do Ban Phòng chống lụt bão đánh dấu và đoàn khảo sát kiểm tra, cao đạc
3	Đê Đồ Sơn	1,95	

Tiến hành tính mực nước cực trị trong bão cho các điểm ven bờ biển Hải Phòng và các tỉnh lân cận cho một số cơn bão theo hai cách khác nhau: 1)

chỉ xem xét đến thủy triều và nước dâng do bão: 2) xem xét đến thủy triều và nước dâng do bão. So sánh với số liệu khảo sát cho thấy, nếu không tính tới nước dâng do sóng, kết quả tính toán đường bao mực nước cực trị trong bão tính từ mô hình ADCIRC đạt giá trị thấp hơn đáng kể tại các điểm ven bờ trong khi vẫn đạt được giá trị gần đúng tại Hòn Dấu (Hình 2.26; Hình 2.27).



Hình 2.26. Mực nước cực trị thực đo và tính toán trong bão Damrey



Hình 2.27. Mực nước cực trị thực đo và tính toán trong bão Vicente

Cần lưu ý rằng, tại Hòn Dấu, nước dâng do sóng không đáng kể do độ sâu tại khu vực này khá lớn. Trong khi đó, nếu tính thêm nước dâng do sóng thì đường bao nước dâng tiệm cận gần và thiên cao hơn so với số liệu khảo sát.

2.7. Kết luận của Chương 2

Trên cơ sở tổng quan các nghiên cứu trên thế giới và trong nước về biến động mực nước trong bão, Chương 2 đưa ra một quy trình tính mực nước cực trị trong bão dựa trên các hợp phần tạo nên nó như nước dâng do bão, thủy triều và nước dâng do sóng.

Bộ công cụ tính toán trong quy trình là các mô hình, công thức thực nghiệm đã được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi trên thế giới bao gồm:

- Mô hình tính toán trường gió và trường áp trong bão dựa trên công thức của Boose và nnk (1994) trên cơ sở phân tích và tổng hợp các lực để mô phỏng và tính toán phân bố trường gió trong bão;
- Mô hình mô phỏng hoàn lưu ven bờ và nước dâng do bão là mô hình ADCIRC của Hoa Kỳ với phương pháp phân tử hữu hạn, lưới phi cấu trúc có tính linh hoạt cao, rất phù hợp để áp dụng cho các khu vực cửa sông ven biển có địa hình nông và đường bờ phức tạp như khu vực Thành phố Hải Phòng;
- Mô hình mô phỏng sóng trong bão là mô hình WAM mô phỏng sóng ngoài khơi và mô hình SWAN của Hà Lan mô phỏng sóng ven bờ dựa trên nguyên tắc các sóng được mô tả bằng phổ mật độ của tác động sóng hai chiều;
- Công thức tính nước dâng sóng trong bão cho các điểm ven bờ dựa trên công thức thực nghiệm của Hanslow và Nielson (1993).

Việc áp dụng các mô hình, công thức tính toán trong quy trình được kiểm nghiệm cho điều kiện thực tế tại khu vực ven biển Hải Phòng và được trình bày trong Chương 3.

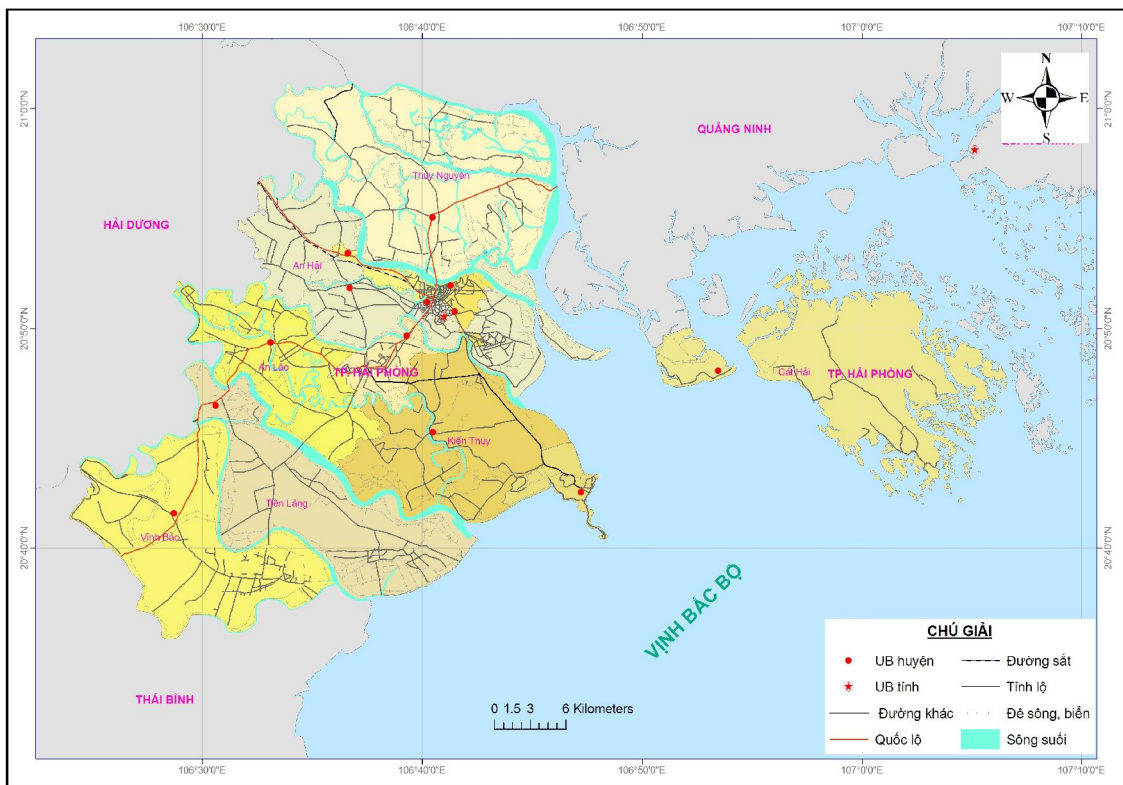
CHƯƠNG III

ĐÁNH GIÁ NƯỚC DÂNG DO BÃO CÓ TÍNH ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA SÓNG CHO KHU VỰC VEN BIỂN HẢI PHÒNG

3.1. Tổng quan về khu vực nghiên cứu

3.1.1. Vị trí địa lý, địa hình, địa mạo

Hải Phòng là thành phố ven biển, nằm phía Đông miền Duyên hải Bắc Bộ, cách thủ đô Hà Nội 102 km, có tổng diện tích tự nhiên là 152.318,49 ha chiếm 0,45% diện tích tự nhiên cả nước. Về ranh giới hành chính, phía bắc Thành phố Hải Phòng giáp tỉnh Quảng Ninh; phía tây giáp tỉnh Hải Dương; phía nam giáp tỉnh Thái Bình và phía đông giáp biển Đông. Bờ biển Hải phòng có chiều dài cơ bản 125 km với 5 cửa sông chính là Lạch Huyện, Nam Triệu, Lạch Tray, Văn Úc và Thái Bình (Hình 3.1).



Hình 3.1. Bản đồ hành chính thành phố Hải Phòng

Hải Phòng nằm ở vị trí giao lưu thuận lợi với các tỉnh trong nước và quốc tế thông qua hệ thống giao thông đường bộ, đường sắt, đường biển, đường sông và đường hàng không.

Địa hình đất liền ở Hải Phòng đa dạng, phản ánh một quá trình lịch sử địa chất lâu dài và phức tạp. Phía Bắc Hải Phòng có dáng dấp của một vùng trung du với đồng bằng xen đồi, trong khi phía Nam thành phố lại có địa hình thấp và khá bằng phẳng của một vùng đồng bằng thuần túy nghiêng ra biển. Đồi núi của Hải Phòng tuy chỉ chiếm 15% diện tích chung của thành phố nhưng lại rải ra hơn nửa phần bắc thành phố thành từng dải liên tục theo hướng tây bắc - đông nam, có quá trình phát sinh gắn liền với hệ núi Quảng Ninh thuộc khu đông bắc Bắc Bộ về phía nam. Đồi núi của Hải Phòng hiện nay là các dải đồi núi còn sót lại, di tích của nền móng uốn nếp cổ bên dưới, nơi trước đây đã xảy ra quá trình sụt võng với cường độ nhỏ.

Hải Phòng có bờ biển dài trên 125 km kể cả bờ biển chung quanh các đảo khơi. Bờ biển có hướng một đường cong lõm của bờ vịnh Bắc Bộ, thấp và khá bằng phẳng, cấu tạo chủ yếu là cát bùn do 5 cửa sông chính đổ ra. Trên đoạn chính giữa bờ biển, mũi Đồ Sơn nhô ra như một bán đảo, đây là điểm mút của dải đồi núi chạy ra từ trong đất liền, có cấu tạo đá cát kết (sa thạch) tuổi Devon, đỉnh cao nhất đạt 125 m, độ dài nhô ra biển 5 km theo hướng tây bắc - đông nam. Ưu thế về cấu trúc tự nhiên này đã tạo cho Đồ Sơn có một vị trí chiến lược quan trọng trên mặt biển; đồng thời cũng là một thắng cảnh nổi tiếng. Dưới chân những đồi đá cát kết có bãi tắm, có nơi nghỉ mát nên thơ và khu an dưỡng có giá trị. Ngoài khơi thuộc địa phận Hải Phòng có nhiều đảo rải rác, lớn nhất có đảo Cát Bà, xa nhất là đảo Bạch Long Vĩ.

Độ sâu của biển Hải Phòng không lớn. Đường đẳng sâu 2m chạy quanh mũi Đồ Sơn rồi hạ xuống 5 m ở cách bờ khá xa. Ở đáy biển nơi có các cửa

sông đổ ra, do sức xâm thực của dòng chảy nên độ sâu lớn hơn. Ra xa ngoài khơi, đáy biển hạ thấp dần theo độ sâu của vịnh Bắc Bộ, chừng 30 - 40 m. Mặt đáy biển Hải Phòng được cấu tạo bằng thành phần mịn, có nhiều lạch sâu vốn là những lòng sông cũ nay dùng làm luồng lạch ra vào hàng ngày của tàu biển. Đáy biển của Hải Phòng vốn là vùng đồng bằng lục địa mới bị biển làm ngập, căn cứ vào độ sâu, độ dốc và mức độ chia cắt, có thể chia thành hai kiểu hình thái dưới đây:

- Đồng bằng dạng sóng, phân bố trong vịnh Lan Hạ và Hạ Long với độ sâu trung bình 5 – 10 m (tối đa 39 m), bị chia cắt mạnh do có nhiều đảo ngầm và rãnh ngầm.

- Đồng bằng tương đối bằng phẳng kéo thành một dải chạy song song với bờ và chiếm phần lớn diện tích đáy biển Hải Phòng.

3.1.2. Đặc điểm khí tượng, khí hậu

a. Hoàn lưu khí quyển và chế độ gió

Mùa đông (tháng XI đến tháng III năm sau), khu vực Hải Phòng chịu ảnh hưởng chủ yếu của khối không khí cực đới biển tính được hình thành từ vùng Xiberia (Nga) tràn về phía Nam. Hướng gió thịnh hành là Đông Bắc, Bắc và Đông, các hướng khác chiếm tần suất rất nhỏ. Vận tốc gió trung bình đạt 3,2 - 3,7 m/s. Trung bình hàng tháng có 3 - 4 đợt gió mùa Đông Bắc, kéo dài từ 5 - 7 ngày, gây ra mưa nhỏ, vận tốc gió những ngày đầu đạt cấp 5 đến cấp 6 (tương đương 8 - 13 m/s), vận tốc gió lớn nhất ở các đảo có thể đạt tới 25 - 30 m/s, sau đó giảm dần.

Mùa hè (tháng V đến tháng IX), Hải Phòng chịu ảnh hưởng của các luồng không khí nóng và ẩm từ phía tây và nam tràn qua. Hướng gió thịnh hành chủ yếu là Đông, Đông Nam và Nam. Tốc độ gió trung bình đạt 3,5 - 4,0

m/s, cực đại đạt 20 - 25 m/s. Trong mùa hè đôi khi xuất hiện các đợt gió Tây Nam. Tuy có tốc độ nhỏ nhưng mang lại thời tiết khô nóng (Bảng 3.1). Trong thời kỳ chuyển tiếp (tháng IV và tháng X), sự ảnh hưởng của gió mùa giảm, thường xuất hiện gió biển - gió đất (breeze) với vận tốc khoảng cấp 3 - cấp 4, ban ngày có gió thổi từ biển vào đất liền, ban đêm có gió thổi ngược lại từ đất liền ra biển. Theo không gian, do ảnh hưởng bởi các điều kiện tự nhiên, tốc độ gió giảm dần từ ngoài khơi vào bờ. Tốc độ gió trung bình tại các hải đảo thường lớn hơn trong đất liền và ven bờ từ 1- 4 m/s.

Bảng 3.1. Tốc độ gió trung bình tại một số trạm (m/s)

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TB năm
Phù Liên	3.4	3.5	3.6	3.9	4.1	3.8	3.9	3.4	3.5	3.8	3.8	3.2	3,66
Hòn Dấu	4.9	4.8	4.1	4.9	5.7	5.9	6.1	4.8	4.8	5.2	5.2	4.9	5,11
Bạch Long Vỹ	8.2	7.8	6.1	5.8	6.6	7.0	7.6	5.9	6.2	7.9	8.0	7.5	7,05

Trong gió mùa Đông Bắc, vào thời kỳ đầu và cuối mùa đông, hệ thống tín phong hoạt động tương đối mạnh, tần suất các hướng gió Đông và Đông Nam chiếm trên 30%, vào các tháng giữa mùa đông, trong khi gió mùa Đông Bắc đang phát triển mạnh thì tần suất xuất hiện hướng gió Đông và Đông Nam cũng chiếm tới trên dưới 20%.

Ngược lại, trong mùa hè, hầu như tháng nào cũng có sự xâm nhập không khí cực đới từ phía Bắc xuống, sự xâm nhập này xảy ra nhiều nhất vào các thời kỳ đầu và cuối mùa hè. Khi không khí cực đới xâm nhập thì các trường gió mùa hè bị phá hoại hoàn toàn, gió từ các hướng Nam và Đông Nam chuyển sang các hướng Bắc và Đông Bắc. Các đợt xâm nhập này diễn ra khá nhanh thường gây nhiễu động khí quyển mạnh mẽ ở vùng front làm xuất hiện những cơn dông lớn, với vận tốc gió lên tới 20 – 30 m/s trong một khoảng thời gian ngắn.

Thông kê kết quả quan trắc gió tại Bạch Long Vĩ của Đài khí tượng thuỷ văn khu vực Đông Bắc cho thấy, có sự biến thiên rất rõ của vận tốc gió trung bình theo từng tháng trong năm. Trong đó các tháng VII, XI và XII là các tháng có vận tốc gió trung bình lớn nhất, các tháng chuyển tiếp (tháng IV và IX) có vận tốc gió trung bình nhỏ nhất (Bảng 3.2).

Bảng 3.2. Tần suất xuất hiện tốc độ gió theo các hướng

Khoảng cấp gió	Hướng gió								Lặng	Tần suất (%)	Tổng số số liệu	Suất đảm bảo (%)
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW				
	Lặng gió								28.5	28.5	831	100.0
I	1.9	4.3	6.8	7.6	2.3	0.4	0.7	3.0		27.1	790	71.5
II	1.0	5.8	9.7	14.3	3.8	0.6	0.7	1.6		37.5	1095	44.5
III	0.1	1.0	1.2	2.3	1.6	0.3	-	0.1		6.6	194	7.0
IV	-	0.1	0.1	-	0.1	-	-	-		0.3	10	0.3
V	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
VI	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
VII	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
VIII	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
>VIII	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-
Tổng (%)	2.9	11.2	17.8	24.3	7.8	1.3	1.5	4.8	28.5	100.0	193	
Vmed (m/s)	1.3	2.0	1.9	2.1	2.4	2.4	1.6	1.3				
Vmax (m/s)	3.9	6.5	7.2	5.5	7.2	5.9	5.0	4.1				

b. Bão

Hải Phòng nằm trong khu vực chịu ảnh hưởng nhiều của bão và áp thấp nhiệt đới. Tính từ năm 1950 đến nay, có khoảng 63 cơn bão từ cấp 8 trở lên ảnh hưởng đến khu vực Hải Phòng. Tính trung bình hàng năm, Hải Phòng chịu xấp xỉ 1 cơn bão/năm và chiếm tới 30% tổng số các cơn bão đổ bộ vào nước ta. Bão ảnh hưởng đến Hải Phòng thường xuất hiện vào tháng 7 (28%), tháng 8 (21%) và tháng 9 (29%). Trong khi bão xảy ra thường có gió xoáy

giật mạnh kèm theo mưa lớn, gây nước dâng làm ảnh hưởng tới sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, các công trình đê điều, các đường dây tải điện, thông tin liên lạc và gây ách tắc giao thông.

3.1.3. Đặc điểm các yếu tố thủy văn biển

a. Sóng

Khu vực ven biển Hải Phòng nhìn chung sóng không lớn. Sóng trung bình có độ cao khoảng 0,7 - 0,8 m tại Hòn Dấu. Sóng lớn nhất quan sát được ở Hòn Dấu là 5,6 m. Cần nhấn mạnh rằng, những sóng lớn nhất quan sát thấy vào các tháng mùa hè – mùa có nhiều bão hoạt động. Tuy nhiên, ở Hòn Dấu, vào tháng tư cũng xuất hiện sóng lớn > 5 m.

Các tháng mùa đông thường chỉ sinh ra sóng lớn nhất ở vùng này có độ cao khoảng 2,8 - 3,0 m. Về mùa đông, sóng thịnh hành là sóng hướng đông với tần suất vào khoảng 25 - 27%. Về mùa hè, sóng có hướng đông nam và nam chiếm ưu thế với tần suất xuất hiện khoảng 40%. Ngoài ra, về mùa hè còn quan sát thấy sóng hướng tây nam nhưng với tần suất nhỏ, dưới 10%. Ở khu vực Hòn Dấu, tần suất thời kỳ lặng sóng chỉ vào khoảng 12-13%.

b. Thủy triều và mực nước

Thủy triều vùng này thuộc chế độ nhật triều thuần nhất. Hầu hết số ngày trong tháng (trên dưới 25 ngày), mỗi ngày chỉ có một lần nước lớn và một lần nước ròng. Vùng ven biển Hải Phòng, hàng tháng chỉ có chừng 1-3 ngày có hai lần nước lớn, hai lần nước ròng.

Mực nước trung bình nhiều năm ở khu vực Hòn Dấu - Hải Phòng khoảng 186 cm. Trong tháng X, mực nước biển cao hơn các tháng khác và dao động trong khoảng từ 203 đến 238 cm. Mực nước cao nhất quan sát thấy ở vùng ven bờ Hải Phòng là 421 cm, trong khi đó ở Hòn Dấu đã quan sát thấy cực tiểu mực nước là -7 cm.

c. Nước dâng

Khu vực ven biển Thành phố Hải Phòng thường xuyên chịu ảnh hưởng của bão, kèm theo là nước dâng do bão. Hàng năm, khu vực ven biển Thành phố Hải Phòng chịu sự đe dọa của 1 đến 2 cơn bão. Trong lịch sử, năm 1891, một cơn bão mạnh đã đổ bộ vào Thành phố Hải Phòng và vùng lân cận gây nước dâng lớn và làm chết khoảng 300.000 người [16]. Dọc bờ biển vùng Hải Phòng cũng đã đo được nước dâng cao nhất khoảng xấp xỉ 3,0 m.

3.2. Các cơn bão ảnh hưởng đến khu vực ven biển Hải Phòng

Dữ liệu về bão và áp thấp nhiệt đới trong khoảng thời gian từ năm 1950 đến 2010 được thu thập từ báo cáo thường niên về bão (Annual Tropical Cyclone Report) của Trung tâm hỗn hợp cảnh báo bão JTWC của Hoa Kỳ do các thông tin về quỹ đạo bão (best track) của JTWC thường đầy đủ hơn so với các thông tin về dữ liệu bão của các cơ quan khác. Các cơn bão có khả năng ảnh hưởng đến khu vực Hải Phòng được xem xét đến trong nghiên cứu này là các cơn bão có vị trí đổ bộ từ Quảng Ninh đến Thanh Hóa, có thể gây ra những biến động về mực nước, sóng trong bão tại khu vực ven biển Hải Phòng. Trên cơ sở đó, danh sách các cơn bão có ảnh hưởng và tác động đến khu vực Hải Phòng được trình bày trong Bảng 3.3.

Bảng 3.3. Danh sách các cơn bão ảnh hưởng đến khu vực Hải Phòng

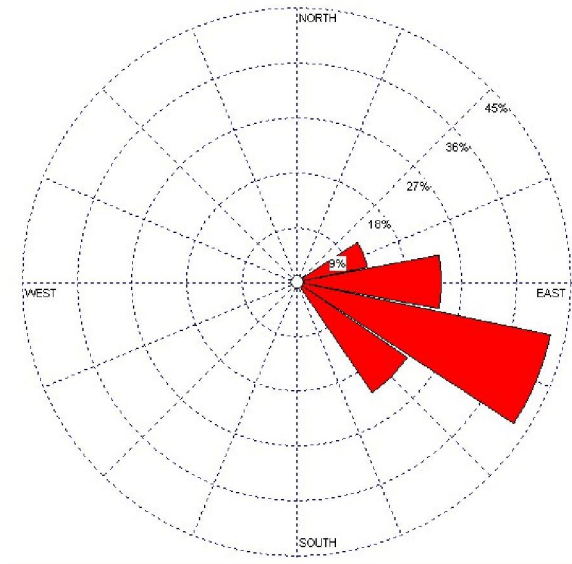
STT	Tên bão	Thời gian đổ bộ	Khu vực đổ bộ	Cấp bão	Hướng đổ bộ
1	Lois	28-8-1952	Hải Phòng	12	SE
2	Nona	7-9-1952	Nam Định	12	E
3	Ophela	14-8-1953	Thanh Hóa	12	ENE
4	Elise	12-5-1954	Quảng Ninh	10	SE
5	Olive	30-6-1960	Quảng Ninh	11	E
6	Kit	13-10-1960	Thanh Hóa	9	ENE
7	Pasty	11-8-1962	Hải Phòng	9	SE

STT	Tên bão	Thời gian đổ bộ	Khu vực đổ bộ	Cấp bão	Hướng đổ bộ
8	Carla	22-9-1962	Nam Định	10	ESE
9	Carmen	17-8-1963	Thái Bình	9	ENE
10	Faye	9-9-1963	Nam Định	9	ESE
11	Winie	3-7-1964	Quảng Ninh	10	ESE
12	Freda	16-7-1965	Quảng Ninh	12	ESE
13	Phylis	2-8-1966	Ninh Bình	9	ESE
14	Rose	13-8-1968	Nam Định	8	E
15	Wendy	9-9-1968	Nam Định	8	E
16	Jean	18-7-1971	Thanh Hóa	9	ESE
17	Della	30-9-1971	Thanh Hóa	9	ESE
18	Cora	26-8-1972	Hải Phòng	10	ESE
19	Anita	14-7-1973	Hà Tĩnh	11	E
20	Kate	26-8-1973	Thái Bình	11	ESE
21	Louise	7-9-1973	Hải Phòng	10	E
22	Marge	15-9-1973	Ninh Bình	10	ESE
23	Dinah	14-6-1974	Ninh Bình	10	E
24	Della	27-10-1974	Ninh Bình	9	E
25	Alice	20-9-1975	Ninh Bình	9	ESE
26	Sarah	21-7-1977	Hải Phòng	12	ESE
27	Elaine	28-8-1978	Quảng Ninh	8	E
28	Lola	3-10-1978	Quảng Ninh	8	SE
29	Joe	23-7-1980	Quảng Ninh	9	ESE
30	Ruth	16-9-1980	Ninh Bình	11	E
31	Kelly	5-7-1981	Thanh Hóa	9	SE
32	Warren	20-8-1981	Nam Định	9	ESE
33	Nancy	18-10-1982	Thanh Hóa	12	ESE
34	Vera	18-7-1983	Hải Phòng	10	ESE
35	Georgia	1-10-1983	Nam Định	9	ESE
36	Wayne	6-9-1986	Nam Định	11	ENE
37	Cary	22-8-1987	Thanh Hóa	10	ESE

STT	Tên bão	Thời gian đổ bộ	Khu vực đổ bộ	Cấp bão	Hướng đổ bộ
38	Pat	23-10-1988	Nam Định	9	SE
39	Dot	11-6-1989	Ninh Bình	10	SE
40	Irving	23-7-1989	Thanh Hóa	10	SE
41	Brain	3-10-1989	Thanh Hóa	9	ESE
42	Zeke	14-7-1991	Hải Phòng	11	SE
43	Fred	13-8-1991	Hà Tĩnh	12	ESE
44	Chuck	29-6-1992	Thái Bình	10	SE
45	Eli	14-7-1992	Thái Bình	10	ESE
46	Coryn	28-6-1993	Quảng Ninh	11	E
47	Amy	7-1994	Ninh Bình	8	SE
48	Harry	29-9-1994	Hải Phòng	10	ESE
49	Joel	7-9-1994	Hải Phòng	9	SE
50	Luke	14-9-1994	Nghệ An	9	E
51	Lois	29-8-1995	Thanh Hóa	12	E
52	Frankie	23-7-1996	Nam Định	12	ESE
53	Marty	13-8-1996	Nam Định	10	ENE
54	Niki	22-8-1996	Ninh Bình	12	SE
55	Willie	22-9-1996	Thanh Hóa	12	ENE
56	Zita	23-8-1997	Quảng Ninh	12	E
57	Koni	22-7-2003	Ninh Bình	11	ESE
58	Krovanh	26-8-2003	Quảng Ninh	12	ESE
59	Washi	31-7-2005	Ninh Bình	9	ESE
60	Damrey	26-9-2005	Ninh Bình	10	SE
61	Kaitak	3-11-2005	Thanh Hóa	8	SE
62	Toraji	05-7-2007	Quảng Ninh	8	SE
63	Kamuri	06-8-2008	Quảng Ninh	8	E

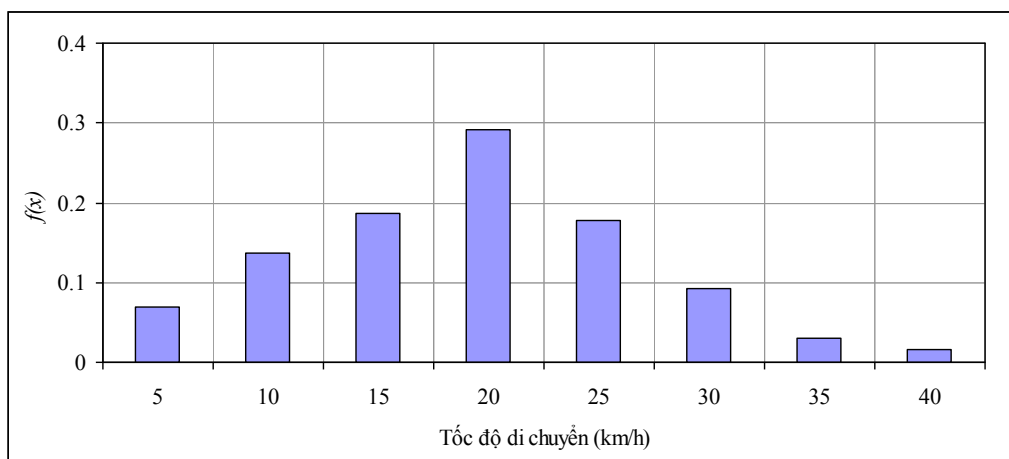
Trên cơ sở dữ liệu về bão thu thập được, những đặc trưng thống kê bao gồm quỹ đạo (hướng và tốc độ di chuyển) và cường độ bão (vận tốc gió cực đại và áp suất khí quyển của tâm bão) được phân tích. Số liệu đầu vào lấy từ cơ sở dữ liệu của JTWC bao gồm các đặc trưng vị trí và vận tốc gió cực đại

theo các quan trắc cách nhau 6 giờ. Kết quả phân tích cho thấy, các cơn bão ảnh hưởng đến khu vực ven biển Hải Phòng có hướng di chuyển tập trung trong các hướng từ Tây - Tây Nam đến Tây Bắc, trong đó cao nhất là hướng Tây - Tây Bắc (chiếm khoảng 44% trên tổng số bão ảnh hưởng đến khu vực).



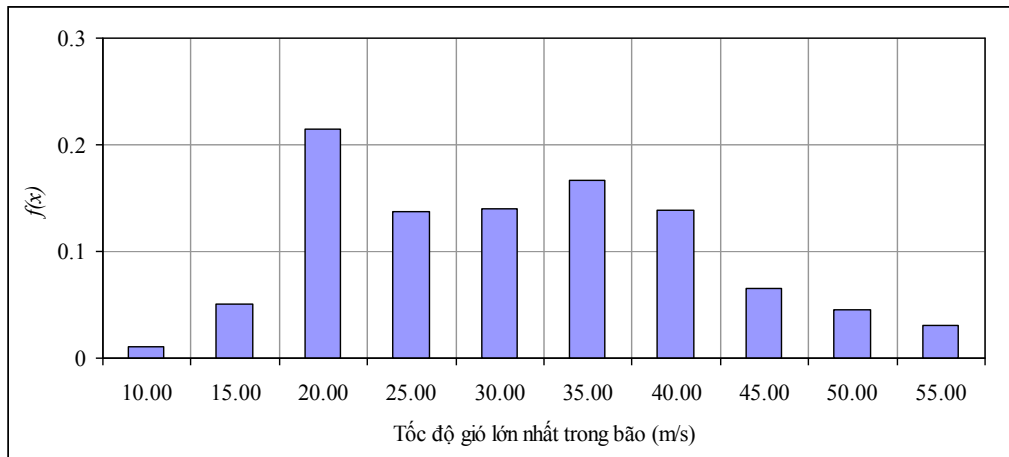
Hình 3.2. Phân bố hướng đổ bộ của bão khu vực nghiên cứu

Tốc độ di chuyển của bão trong khoảng từ 5 km/h đến trên 40 km/h, trung bình là 17km/h; trong đó, tốc độ di chuyển của bão tập trung chủ yếu từ 10 km/h đến 30 km/h (chiếm 90%), tốc độ dưới 10 km/h chiếm 7%, trên 30 km/h chiếm 5% (Hình 3.3).



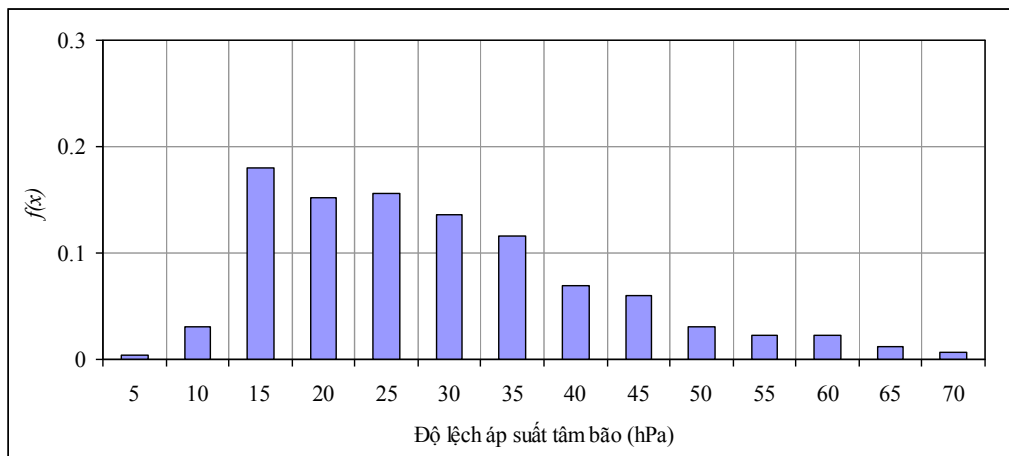
Hình 3.3. Mật độ xác suất tốc độ di chuyển của bão khu vực nghiên cứu

Tốc độ gió lớn nhất trong bão tại khu vực có thể đạt tới 65 m/s, trung bình khoảng 28 m/s. Tốc độ gió lớn nhất trong bão tập trung trong khoảng từ 20 m/s đến 40 m/s chiếm 66% trong khi tốc độ gió lớn nhất lớn hơn 50m/s chỉ chiếm 5% (Hình 3.4).



Hình 3.4. Mật độ xác suất tốc độ gió lớn nhất của bão khu vực nghiên cứu

Độ lệch áp suất tâm lớn nhất trong bão là chênh lệch áp suất lớn nhất tại tâm bão so với mực 1013 hPa. Độ lệch áp suất tâm lớn nhất trong bão tại khu vực phân bố trong khoảng từ 3 hPa đến 88 hPa, trung bình là 27 hPa. Độ lệch áp suất tâm trong bão tập trung trong khoảng từ 15 hPa đến 45 hPa chiếm 87% (Hình 3.5).



Hình 3.5. Phân bố độ lệch áp suất tâm bão tại khu vực nghiên cứu

3.3. Nước dâng do bão khu vực ven biển Hải Phòng

3.3.1. Tương tác giữa nước dâng do bão và thủy triều khu vực Hải Phòng

Thủy triều và thông số bão là những yếu tố quan trọng trong tính toán nước dâng do bão [41]. Nước dâng do bão và thủy triều đều là các dao động sóng dài nên chúng có sự tương tác lẫn nhau [17]. Các nghiên cứu đã chứng minh rằng, mực nước dâng do bão khi được tách ra từ mực nước tổng cộng trong các mô hình có tính đến thủy triều thường thấp hơn so với mực nước dâng do bão mô phỏng trong điều kiện mực nước trung bình [41].

Nhằm đánh giá ảnh hưởng của thủy triều trong thời kỳ bão đổ bộ đến độ lớn của nước dâng do bão tại khu vực Hải Phòng, nghiên cứu này đã sử dụng mô hình số trị để mô phỏng nước dâng do bão cho nhiều trường hợp chế độ thủy triều khác nhau [7].

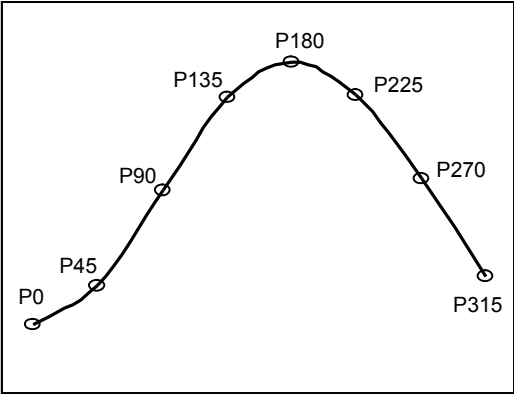
Cơn bão được lựa chọn để nghiên cứu là cơn bão Damrey, 2005. Các thời điểm chế độ triều khi bão đổ bộ lần lượt trong bảng 3.10. Biên độ triều được thay đổi theo từng chế độ triều và được tính toán cho 4 trường hợp điển hình về thủy triều tại khu vực Hải Phòng: 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m và 2,0 m.

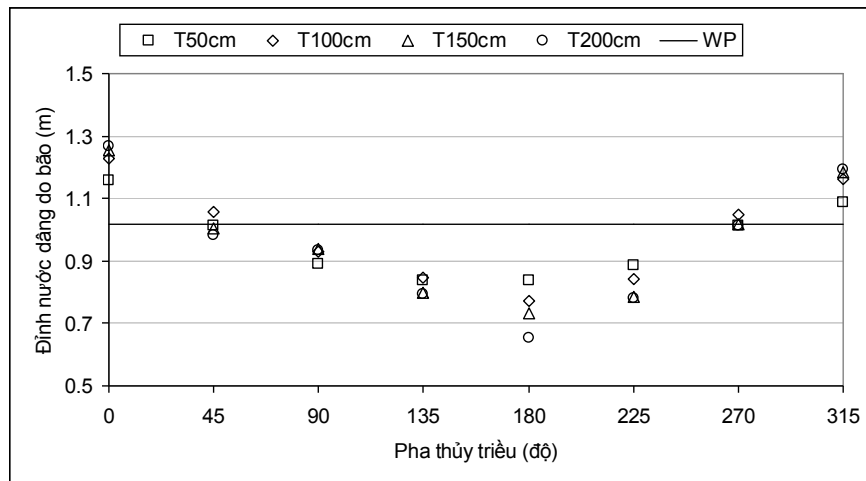
Các phương án điều kiện biên cụ thể như sau: 1) mực nước chỉ ảnh hưởng bởi thủy triều (OT); 2) mực nước ảnh hưởng bởi gió và áp suất khí quyển; 3) mực nước bị ảnh hưởng do cả thủy triều, gió và áp suất khí quyển (TWP) và 4) mực nước bị ảnh hưởng do bởi cả thủy triều, gió, áp suất khí quyển và ứng suất sóng (TWPR). Danh sách các kịch bản tính toán được trình bày trong Bảng 3.4.

Giá trị nước dâng do bão tại vị trí Hòn Dấu, đại diện cho khu vực ven biển Hải Phòng được trích xuất từ mô hình và được tính bằng hiệu của mực nước tổng cộng với mực nước thủy triều ở các pha tương ứng. Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của chế độ triều khi bão đổ bộ đến độ lớn của nước dâng

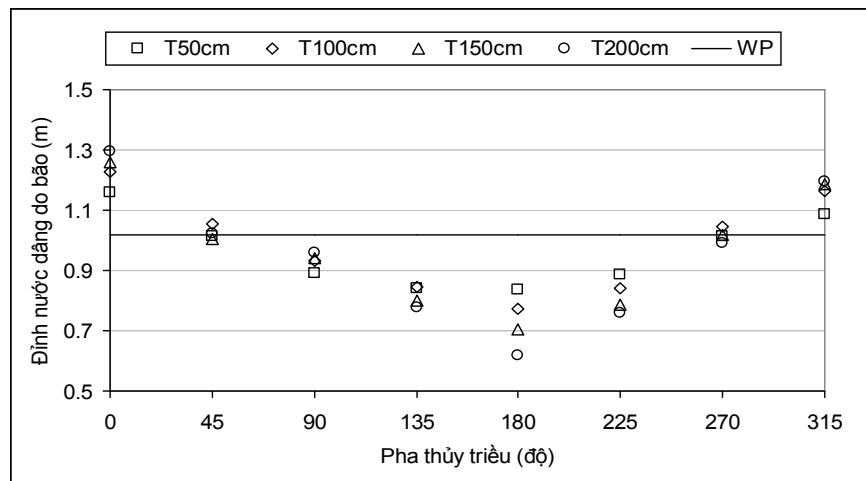
do bão, giá trị nước dâng do bão lớn nhất tính theo 8 kịch bản chế độ triều khi bão đổ bộ được tính toán và phân tích (Hình 3.6, Hình 3.7 và Bảng 3.5).

Bảng 3.4. Các kịch bản tính toán tương tác thủy triều và nước dâng do bão

STT	Nhóm kịch bản	Lực tác động	Biên độ triều (cm)	Pha thủy triều (°)	Mô tả pha thủy triều
1 ~ 32	TWP	Thủy triều, gió và áp	50 100 150 200	0 45 90 135 180 225 270 315	 <p> $P0^\circ$: mực nước thấp nhất $P45^\circ$: sau khi mực nước thấp nhất $P90^\circ$: mực nước tăng $P135^\circ$: trước khi mực nước cao nhất $P180^\circ$: mực nước cao nhất $P225^\circ$: sau mực nước cao nhất $P270^\circ$: mực nước giảm $P315^\circ$: trước mực nước thấp nhất </p>
33 ~ 64	TWPR	Thủy triều, gió, áp và ứng suất sóng	50 100 150 200	0 45 90 135 180 225 270 315	
65 ~ 68	OT	Thủy triều	0,5 1,0 1,5 2,0		
69	WP	Gió, áp			



Hình 3.6. Nước dâng do bão tính toán trong trường hợp TWPR



Hình 3.7. Nước dâng do bão tính toán trong trường hợp TWP

Bảng 3.5. Nước dâng do bão cao nhất theo kịch bản biên độ triều

Trường hợp	Biên độ triều (cm)	Pha triều (độ)							
		0	45	90	135	180	225	270	315
TWP	50	116	101	92	84	84	89	102	109
	200	130	105	91	78	62	76	99	120
	Chênh lệch	14	4	-1	-6	-22	-13	-2	11
TWPR	50	116	101	93	84	84	89	102	109
	200	127	98	94	79	65	78	101	119
	Chênh lệch	11	-3	1	-5	-18	-11	0	11

Mối liên hệ giữa các đỉnh nước dâng do bão với biên độ và thời điểm pha triều khi bão đổ bộ cho thấy nước dâng do bão lớn nhất tính toán trong

trường hợp TWPR lớn hơn trường hợp TWP, nhưng không vượt quá 6 cm và chế độ thủy triều thời điểm bão đổ bộ có ảnh hưởng đáng kể đến độ lớn của nước dâng do bão. Nước dâng do bão dường như đạt giá trị cao hơn trong thời kỳ bão đổ bộ vào các thời điểm mực nước thủy triều thấp ($P0^0$, $P45^0$ và $P315^0$) và đạt giá trị thấp hơn tại thời điểm bão đổ bộ vào các thời điểm mực nước thủy triều cao ($P180^0$, $P135^0$ và $P225^0$).

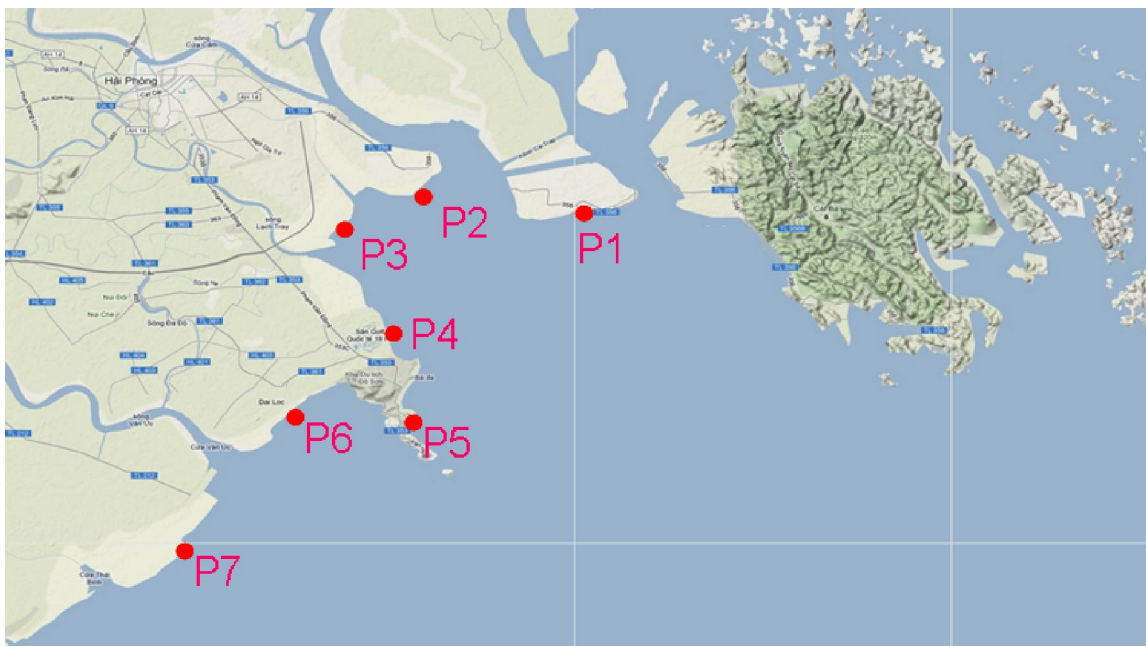
Khi bão đổ bộ vào các thời điểm mực nước đang lên ($P90^0$) hoặc mực nước đang xuống ($P270^0$) thì biên độ thủy triều ảnh hưởng ít tới độ lớn của nước dâng do bão, sự chênh lệch giữa nước dâng do bão trong $P90^0$ và $P270^0$ trong 2 trường hợp biên triều 200 cm và 50 cm là không đáng kể (từ 0 – 2 cm), ngược lại biên độ triều ảnh hưởng mạnh nhất vào các thời điểm bão đổ bộ tại $P180^0$, chênh lệch giữa 2 kịch bản biên độ triều tới 22 cm. Bên cạnh đó, cũng nhận thấy rằng, tại các pha triều thấp (mực nước triều thấp nhất, mực nước trước và sau khi thấp nhất) ứng với $P0^0$, $P45^0$, $P315^0$ thì nước dâng do bão trong các kịch bản biên độ triều cao đạt giá trị cao hơn biên độ triều thấp, trong khi tại các thời điểm khác thì nước dâng do bão trong các kịch bản biên độ triều cao đạt giá trị thấp hơn kịch bản biên độ thấp.

3.3.2. Kết quả tính toán nước dâng do bão

Triển khai tính toán nước dâng do bão cho 63 cơn bão từ năm 1952 đến năm 2008 theo mô hình đã được kiểm chứng ở Chương II (Bảng 3.1). Thông thường, để đơn giản, nước dâng do bão có thể được tính bằng cách tính toán sự thay đổi của mực nước do tác động của gió và áp suất khí quyển trên nền nước tĩnh. Tuy nhiên, như phân tích ở trên, nước dâng do bão và thủy triều có sự tương tác lẫn nhau và việc tính nước dâng do bão trên nền nước tĩnh có thể đưa đến kết quả không chính xác về độ lớn của nước dâng do bão. Do vậy, trong luận án nước dâng do bão được tính toán theo quy trình như sau:

1. Xác định các thông số bão cho các cơn bão được đưa ra ở Bảng 3.1;
2. Tính toán mô phỏng trường gió và áp suất khí quyển trong bão theo mô hình gió trong bão được mô phỏng ở mục 2.2;
3. Mô phỏng thủy triều trong thời kỳ bão đổ bộ (h_{tide}) bằng mô hình ADCIRC được mô tả trong mục 2.4;
4. Mô phỏng dao động mực nước dưới tác động của lực tạo triều, gió và áp suất khí quyển trong bão trong thời kỳ bão đổ bộ (h_{twp});
5. Tính toán nước dâng do bão (h_{ss}) theo công thức: $h_{ss} = h_{twp} - h_{tide}$

Nước dâng do bão sẽ làm thay đổi mực nước cực trị trong bão và ảnh hưởng đến sự an toàn, biến đổi đường bờ và gây ra nguy cơ ngập lụt phía sau đê biển. Do vậy, việc tính toán nước dâng do bão cũng như mực nước cực trị trong bão cần đặc biệt quan tâm đối với các đê biển hoặc các bãi tự nhiên như bãi biển Đồ Sơn.



Hình 3.8. Sơ đồ vị trí các điểm tính toán
 P1: Đê biển Cát Hải; P2: Đê Đình Vũ; P3: Đê biển An Hải
 P4: Đê Đồ Sơn; P5: Bãi Đồ Sơn; P6: Đê Kiến Thụy, P7: Đê Tiên Lãng

Do vậy, nước dâng do bão tính toán theo quy trình trên được trích xuất kết quả tại các điểm ven biển dọc bờ biển Hải Phòng dọc theo các tuyến đê biển quan trọng của Hải Phòng bao gồm: 1) Đê biển Cát Hải; 2) Đê biển Đình Vũ; 3) Đê biển An Hải; 4) Đê biển Đồ Sơn; 5) Bãi biển Đồ Sơn; 6) Đê biển Kiến Thụy; 7) Đê biển Tiên Lãng (Hình 3.8).

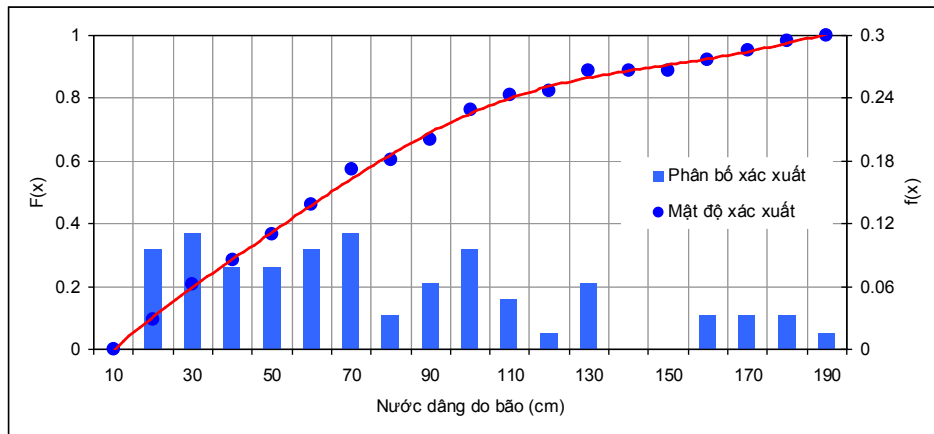
Kết quả tính toán nước dâng do bão cho các điểm tính toán cho thấy, ven biển Hải Phòng có địa hình tương đối phức tạp, đường bờ bị chia cắt bởi các cửa sông và các đảo nên nước dâng do bão tại khu vực ven biển Hải Phòng không phân bố đều mà thay đổi theo hình dạng đường bờ và địa hình đáy. Khu vực có nước dâng do bão trong các cơn bão cao hơn so với các khu vực là khu vực đê biển An Hải, đây là vị trí nằm ở đỉnh của đường bờ lồi của bờ biển Hải Phòng, trong khi đó, khu vực có giá trị nước dâng do bão thấp hơn là khu vực nằm ở phía ngoài, khu vực bãi biển Đồ Sơn. Từ kết quả tính toán độ cao nước dâng lớn nhất tại các điểm ven biển Hải Phòng cho thấy, nước dâng do bão tại khu vực ven biển Hải Phòng phân bố trong khoảng từ xấp xỉ 20 cm đến trên 210 cm. Nước dâng do bão trung bình trong các cơn bão khoảng trong khoảng từ 60 -70 cm. Nước dâng do bão lớn nhất trong các cơn bão tập trung trong khoảng từ 20 cm đến 130 cm chiếm 90% (Bảng 3.6, Hình 3.9 đến Hình 3.15).

Bảng 3.6. Nước dâng do bão lớn nhất tính toán trong các cơn bão

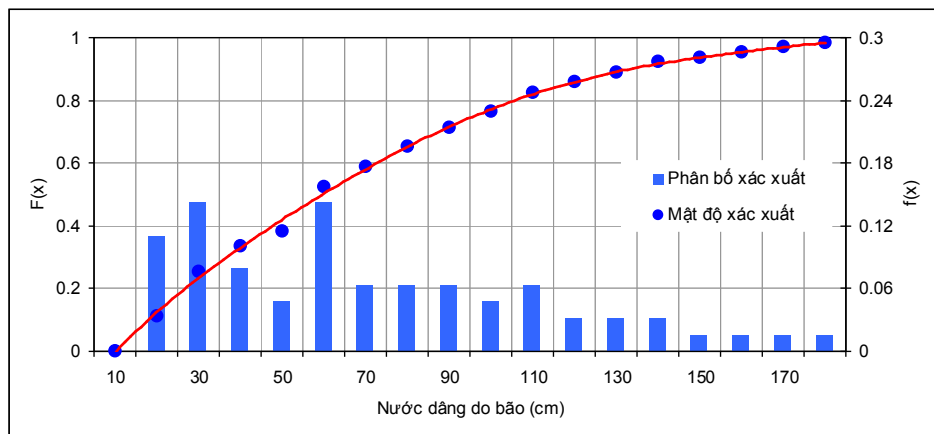
STT	Tên bão	Nước dâng do bão lớn nhất tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	Lois	167,7	159,8	195,1	145,6	119,7	147,4	175,0
2	Nona	63,5	57,5	78,5	65,6	55,7	66,1	76,4
3	Ophela	51,1	50,0	54,8	51,3	49,0	50,3	51,6
4	Elise	99,5	69,0	60,9	57,9	52,2	61,8	71,4
5	Olive	67,2	58,5	58,3	52,9	50,9	52,6	54,3
6	Kit	27,7	25,9	28,7	27,2	26,8	27,5	28,1

STT	Tên bão	Nước dâng do bão lớn nhất tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
7	Pasty	49,1	43,3	41,2	34,9	33,0	33,7	34,3
8	Carla	52,8	51,5	61,7	49,7	45,7	51,7	57,7
9	Carmen	64,2	58,0	60,9	43,3	37,7	41,5	45,3
10	Faye	32,5	26,2	41,2	31,2	26,7	30,4	35,4
11	Winie	69,0	55,8	41,5	40,1	38,5	39,6	42,0
12	Freda	98,6	88,3	87,3	95,2	94,3	95,7	97,1
13	Phylis	49,7	51,0	58,1	51,3	48,4	49,9	51,6
14	Rose	35,2	34,3	44,1	35,5	30,9	35,0	39,0
15	Wendy	54,5	46,4	42,1	31,3	27,9	28,4	31,8
16	Jean	19,5	16,9	17,6	22,5	20,4	21,4	22,3
17	Della	30,6	31,6	33,6	31,1	29,9	30,2	30,4
18	Cora	19,5	19,8	20,5	21,9	20,5	20,5	20,5
19	Anita	58,8	55,5	71,0	59,6	50,9	59,0	67,1
20	Kate	113,4	105,6	135,5	112,7	95,9	112,0	128,0
21	Louise	60,7	37,0	10,4	34,7	34,4	19,3	19,0
22	Marge	41,2	41,0	52,6	41,1	36,4	42,5	48,6
23	Dinah	72,0	71,8	90,5	75,7	65,6	75,7	85,8
24	Della	25,6	25,0	30,5	25,1	23,0	24,8	26,6
25	Alice	22,9	22,2	25,1	23,1	21,8	23,2	24,5
26	Sarah	154,8	128,7	162,1	129,2	100,4	132,8	165,2
27	Elaine	32,3	20,2	11,4	27,9	27,8	27,6	27,3
28	Lola	19,7	17,5	12,3	15,5	15,3	7,8	16,6
29	Joe	42,6	10,5	11,9	22,8	21,5	22,3	23,0
30	Ruth	63,1	60,3	78,7	66,6	59,6	67,0	74,4
31	Kelly	83,0	79,4	95,8	84,5	76,6	83,1	89,5
32	Warren	104,2	98,0	122,7	96,7	80,7	91,8	103,2
33	Nancy	84,7	84,8	98,4	86,9	81,4	87,5	93,5
34	Vera	151,2	133,7	167,9	120,1	86,7	109,2	134,4
35	Georgia	121,4	117,5	148,1	117,4	96,8	118,9	140,9
36	Wayne	92,4	84,0	114,3	93,3	74,5	92,3	110,0

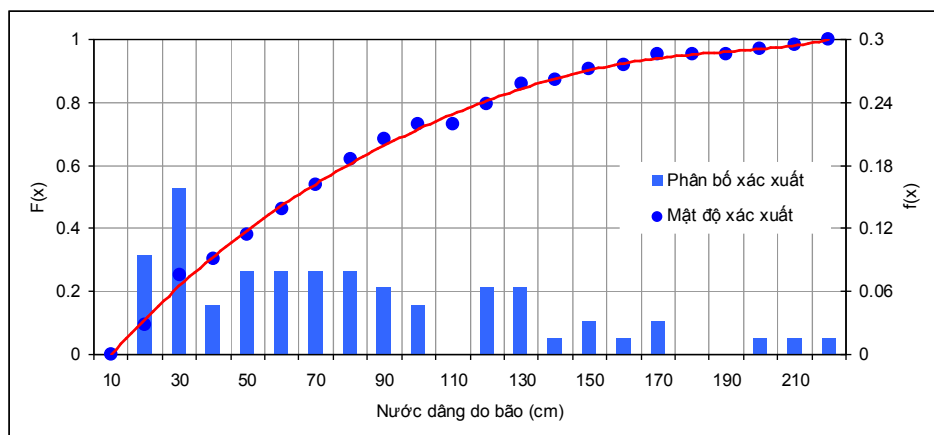
STT	Tên bão	Nước dâng do bão lớn nhất tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
37	Cary	58,8	57,5	64,7	57,6	55,3	57,2	60,2
38	Pat	128,9	118,5	141,0	100,3	77,1	90,8	105,1
39	Dot	104,9	104,2	123,2	100,9	91,5	102,5	114,4
40	Irving	78,7	73,3	78,7	78,3	77,3	78,1	78,9
41	Brain	87,3	83,9	85,7	84,5	83,6	84,1	84,6
42	Zeke	172,7	140,9	113,5	87,2	72,1	82,8	93,5
43	Fred	22,9	23,4	24,8	23,9	22,6	23,6	25,1
44	Chuck	162,2	135,9	122,2	93,0	83,1	84,2	85,2
45	Eli	129,6	102,5	81,8	61,6	53,0	53,8	54,9
46	Coryn	91,4	68,5	65,5	68,4	66,1	68,3	70,4
47	Amy	27,5	26,8	29,9	28,0	26,7	27,2	27,7
48	Harry	23,4	23,8	24,6	26,3	24,6	24,6	24,6
49	Joel	101,4	99,9	123,1	105,0	94,9	106,4	117,8
50	Luke	176,5	165,4	209,7	173,5	148,5	176,8	205,1
51	Lois	63,6	64,8	86,2	69,1	59,9	69,9	79,9
52	Frankie	181,0	177,7	211,1	177,8	159,6	184,4	209,2
53	Marty	32,4	31,3	35,4	32,4	30,7	32,0	33,2
54	Niki	40,5	34,4	28,0	22,9	22,7	24,6	26,5
55	Willie	19,5	19,8	20,5	21,9	20,5	20,5	20,5
56	Zita	19,1	19,5	20,7	19,9	18,8	19,7	20,9
57	Koni	93,5	92,9	111,2	95,5	87,4	95,9	104,3
58	Krovanh	86,6	79,4	70,4	72,0	69,8	71,7	73,5
59	Washi	127,0	123,6	155,1	125,3	107,1	128,3	149,4
60	Damrey	99,4	100,2	119,0	101,8	94,2	102,7	111,2
61	Kaitak	19,7	19,7	19,7	19,3	19,7	19,9	20,1
62	Toraji	26,1	26,2	26,1	23,5	26,6	27,0	27,2
63	Kamuri	55,6	54,8	54,7	50,2	54,0	53,4	50,9
	Trung bình	74,2	67,2	74,9	64,1	57,2	63,1	69,8



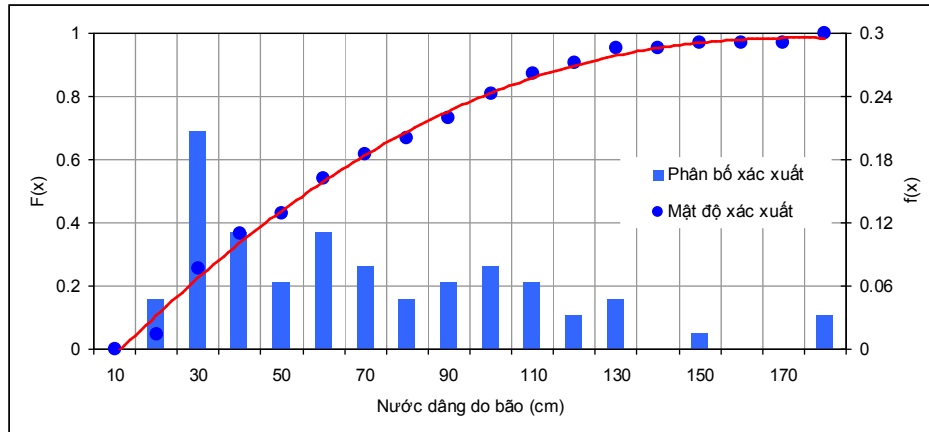
Hình 3.9. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P1



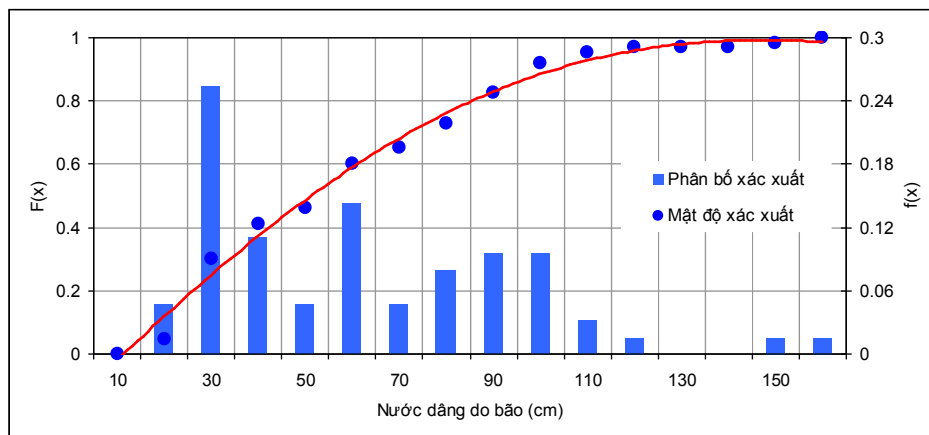
Hình 3.10. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P2



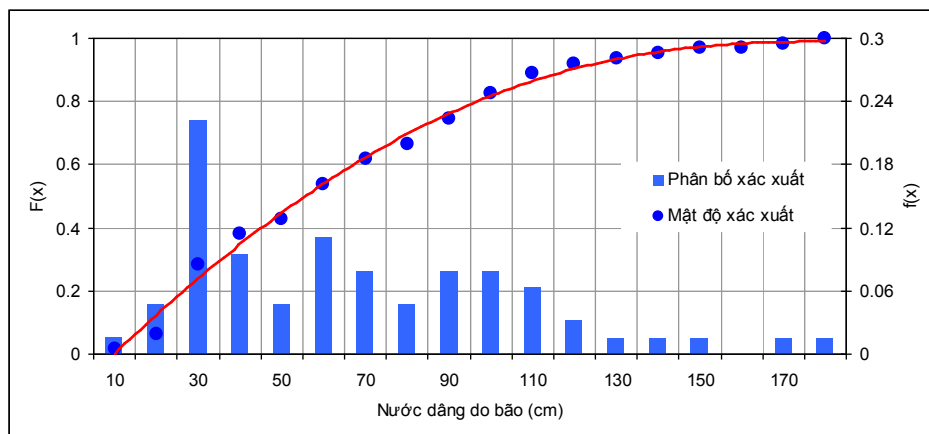
Hình 3.11. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P3



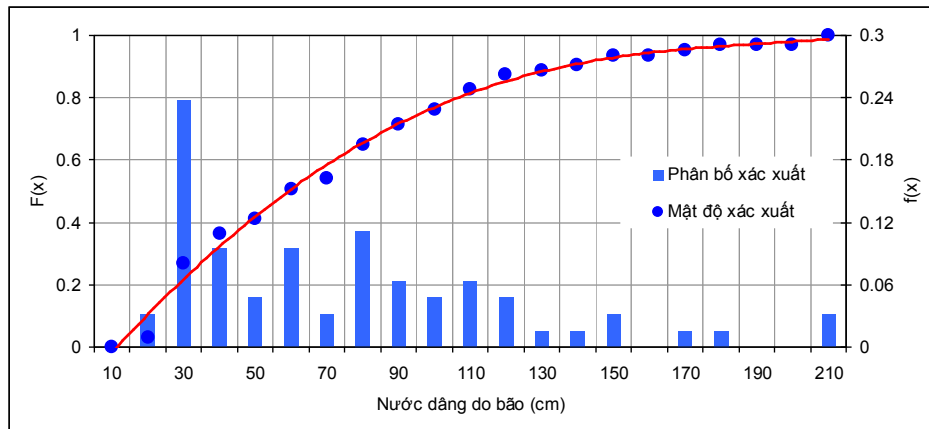
Hình 3.12. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P4



Hình 3.13. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P5



Hình 3.14. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P6



Hình 3.15. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do bão tại P7

3.3.3. Nước dâng do sóng trong bão

Nước dâng do sóng là hiện tượng tăng mực nước trong đới sóng vỡ do quá trình chuyển đổi động lượng sóng thành thế năng cột nước trong đới sóng đổ. Nước dâng do sóng làm tăng mực nước cực trị trong bão và làm trầm trọng thêm mức độ nguy hiểm đối với đê và các công trình ven biển. Nước dâng do sóng tại các điểm khác nhau ngoài việc phụ thuộc vào sóng trong bão còn phụ thuộc vào địa hình đường bờ, độ sâu biển, độ dốc tại các mặt cắt vuông góc với đường bờ của các điểm nghiên cứu. Phương pháp mô hình số trị kết hợp với công thức thực nghiệm được kiểm nghiệm ở trong Chương 2 được sử dụng để tính toán cho 63 cơn bão đã xảy ra trong quá khứ. Quy trình tính toán nước dâng do sóng cho khu vực ven biển Hải Phòng như sau:

1. Xác định các thông số bão cho các cơn bão được đưa ra ở Bảng 3.1;
2. Tính toán mô phỏng trường gió và áp suất khí quyển trong bão theo mô hình gió trong bão được mô phỏng ở mục 2.2;
3. Tính toán trường sóng trong trong thời kỳ bão đổ bộ bằng mô hình WAM và mô hình SWAN được mô tả trong Mục 2.3;
4. Trích xuất đường quá trình độ cao sóng có nghĩa, chu kỳ sóng có

nghĩa trong bão tại các vị trí ngoài khơi của các điểm cần tính, được xác định theo các đường mặt cắt vuông góc với hướng chính của đường bờ, theo Stockdon và nnk [61] các điểm ngoài khơi có độ sâu khoảng 10 m;

5. Tính toán nước dâng do sóng theo công thức được mô tả trong 2.4

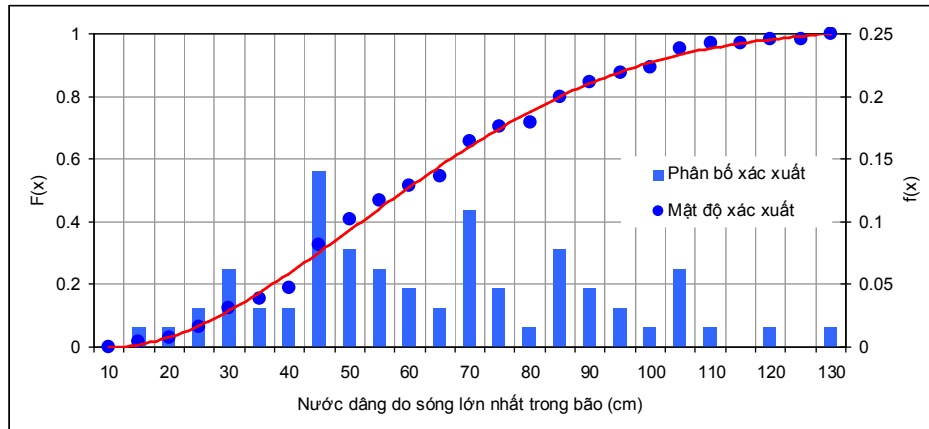
Kết quả tính toán nước dâng do sóng trong bão cho các điểm tính toán ven biển Hải Phòng cho thấy, nước dâng do sóng tại ven biển Hải Phòng phụ thuộc vào độ cao sóng có nghĩa ngoài khơi và địa hình tại các điểm cần tính. Tính cho tất cả các cơn bão, độ lớn nước dâng do sóng đạt khoảng từ 16% đến 18% độ cao của sóng có nghĩa ngoài khơi. Nước dâng do sóng trong bão tại các vị trí ven biển Hải Phòng có sự khác biệt, tại đê biển Đình Vũ và Đê An Hải, do nằm sâu phía trong nên nước dâng do sóng trong bão đạt giá trị thấp hơn các vị trí khác. Trong khi đó, nước dâng do sóng trong bão tại khu vực đê biển Tiên Lãng và đê Kiến Thụy lại có giá trị cao hơn các khu vực còn lại, do hướng trực tiếp ra biển. Nước dâng do sóng trung bình tại các điểm nghiên cứu cũng xấp xỉ nước dâng do bão trung bình, khoảng trên dưới 60 cm. Phân bố nước dâng do sóng trong bão cũng hẹp hơn so với nước dâng do bão, trong khoảng từ 20 cm đến 130 cm. Nước dâng do sóng trong bão lớn nhất trong các cơn bão tập trung trong khoảng từ 30 cm đến 100 cm chiếm trên 80% (Bảng 3.7, Hình 3.16 đến Hình 3.22).

Bảng 3.7. Nước dâng do sóng lớn nhất trong các cơn bão

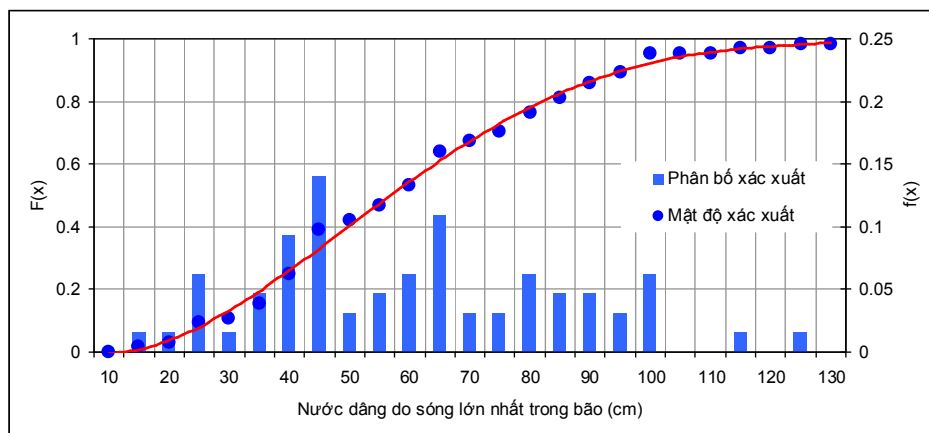
STT	Tên bão	Nước dâng do sóng lớn nhất tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	Lois	71,8	68,1	69,8	74,5	75,7	78,0	79,4
2	Nona	84,6	80,8	89,4	93,8	96,8	107,1	111,3
3	Ophela	61,3	59,1	60,3	65,4	67,4	72,5	77,2
4	Elise	126,6	120,1	120,2	126,4	126,8	129,2	132,0

STT	Tên bão	Nước dâng do sóng lớn nhất tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
5	Olive	27,1	23,1	23,7	27,7	30,8	33,6	34,1
6	Kit	28,7	26,1	26,9	30,5	32,5	35,6	37,3
7	Pasty	28,0	24,2	24,7	28,4	31,3	34,5	34,7
8	Carla	42,0	39,3	39,9	44,1	46,1	49,6	52,3
9	Carmen	101,5	92,5	91,9	96,4	97,0	98,1	96,7
10	Faye	70,4	66,4	66,7	70,6	71,0	73,3	74,3
11	Winie	119,9	112,4	113,6	118,5	118,0	118,7	115,1
12	Freda	106,5	99,7	100,4	104,9	104,2	104,2	100,9
13	Phylis	52,9	49,8	50,4	54,4	55,6	57,0	55,4
14	Rose	61,1	58,8	60,0	64,7	66,7	70,4	72,4
15	Wendy	66,6	62,4	61,7	65,5	66,4	68,3	67,2
16	Jean	27,4	23,5	23,7	28,1	30,4	33,9	33,8
17	Della	21,6	19,1	19,6	23,1	24,9	27,9	29,0
18	Cora	86,9	81,3	81,7	85,8	86,6	87,5	84,8
19	Anita	43,8	39,6	40,1	43,6	44,5	46,1	44,4
20	Kate	99,5	92,8	92,5	96,4	95,5	97,1	96,5
21	Louise	103,5	98,4	97,6	102,2	101,1	103,2	103,8
22	Marge	44,7	41,2	40,7	44,3	44,0	47,3	51,5
23	Dinah	53,7	51,5	54,7	61,6	64,0	73,6	80,0
24	Della	56,0	53,3	56,3	61,4	63,8	70,4	75,0
25	Alice	11,4	8,9	9,2	12,9	15,5	18,2	19,1
26	Sarah	67,7	63,6	63,9	68,3	69,4	71,7	77,7
27	Elaine	68,3	62,9	61,6	65,5	66,1	66,5	64,6
28	Lola	69,5	64,3	64,1	68,0	68,3	69,4	67,8
29	Joe	42,7	37,9	37,1	39,6	39,8	39,6	36,8
30	Ruth	41,8	40,1	42,5	47,7	50,7	57,4	64,8
31	Kelly	24,9	22,9	23,6	27,3	29,4	32,7	34,4
32	Warren	44,5	41,5	42,1	45,9	47,5	49,4	48,4
33	Nancy	54,8	51,4	52,2	56,2	57,9	60,4	61,5
34	Vera	59,6	55,6	55,9	59,7	69,0	75,4	79,9

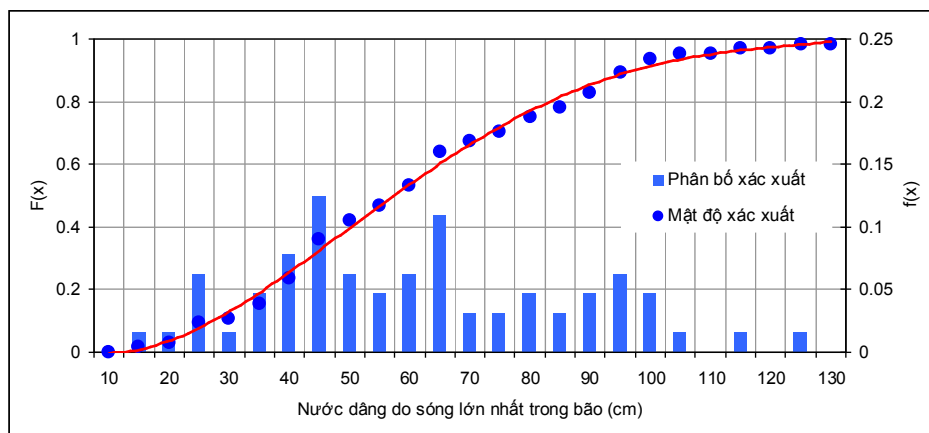
STT	Tên bão	Nước dâng do sóng lớn nhất tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
35	Georgia	58,7	57,3	62,1	67,4	72,8	84,7	94,6
36	Wayne	45,9	43,8	46,2	50,4	53,6	60,0	64,6
37	Cary	33,4	30,5	31,0	33,9	35,5	37,1	37,1
38	Pat	48,7	44,9	48,0	51,9	53,7	58,7	60,0
39	Dot	75,0	71,1	72,6	77,1	78,1	81,1	80,8
40	Irving	38,8	35,2	35,6	38,7	39,8	41,6	40,4
41	Brain	34,6	31,2	31,6	34,6	35,9	37,2	35,7
42	Zeke	90,6	86,4	90,5	95,6	97,2	102,1	102,5
43	Fred	65,4	60,8	59,6	63,5	64,5	65,5	63,6
44	Chuck	83,9	78,4	78,5	82,0	81,7	81,2	78,5
45	Eli	67,6	63,3	62,8	66,7	67,1	67,3	64,2
46	Coryn	50,5	47,3	46,5	50,9	52,0	53,2	49,8
47	Amy	40,8	39,0	39,9	44,9	47,4	51,6	55,2
48	Harry	83,1	77,4	77,5	81,5	82,0	83,2	81,1
49	Joel	47,7	44,3	45,1	48,8	49,7	52,5	54,9
50	Luke	100,1	96,2	97,9	103,9	105,7	111,3	113,1
51	Lois	83,9	79,4	80,0	84,2	84,4	85,0	82,4
52	Frankie	65,8	61,8	43,8	48,2	50,4	52,8	54,6
53	Marty	42,8	41,5	42,6	46,6	46,9	51,5	55,7
54	Niki	82,9	78,1	77,6	81,1	81,0	80,5	78,2
55	Willie	46,8	42,6	42,9	46,4	46,8	48,2	47,0
56	Zita	37,1	33,4	34,6	38,1	39,5	41,9	42,3
57	Koni	88,4	86,0	94,8	100,7	103,6	117,3	121,5
58	Krovanh	101,5	96,2	95,6	100,1	100,6	100,8	94,7
59	Washi	74,7	71,5	73,3	78,1	79,6	83,4	83,4
60	Damrey	85,4	82,9	87,5	94,3	97,2	105,0	109,7
61	Kaitak	17,5	14,6	14,7	18,0	19,9	21,9	22,3
62	Toraji	46,3	42,1	42,5	45,9	47,1	48,7	47,6
63	Kamuri	92,5	87,2	87,9	92,0	91,6	92,4	85,8
	Trung bình	61,9	58,1	58,8	63,0	64,4	67,5	68,2



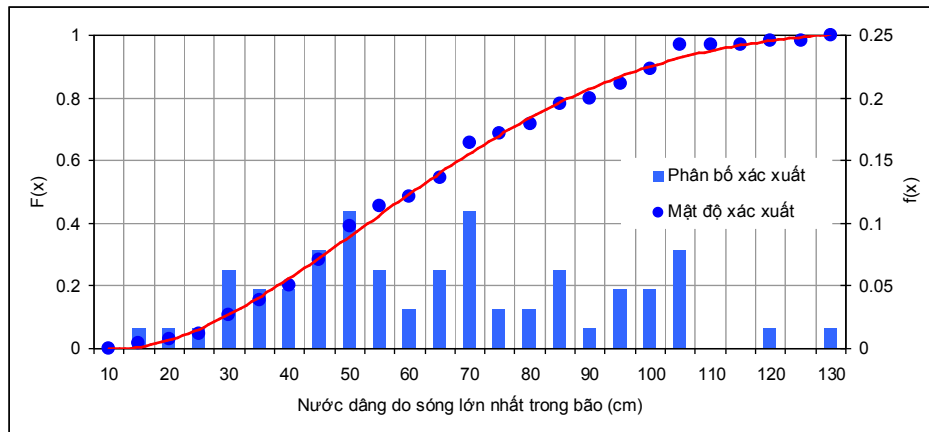
Hình 3.16. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P1



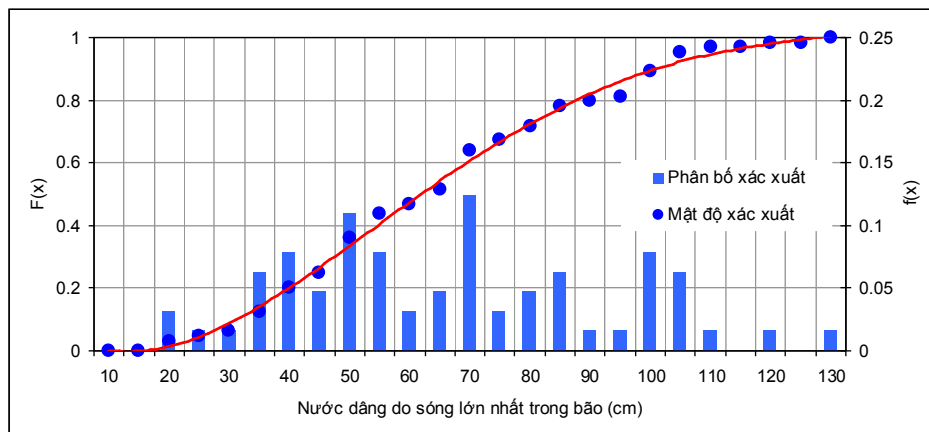
Hình 3.17. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P2



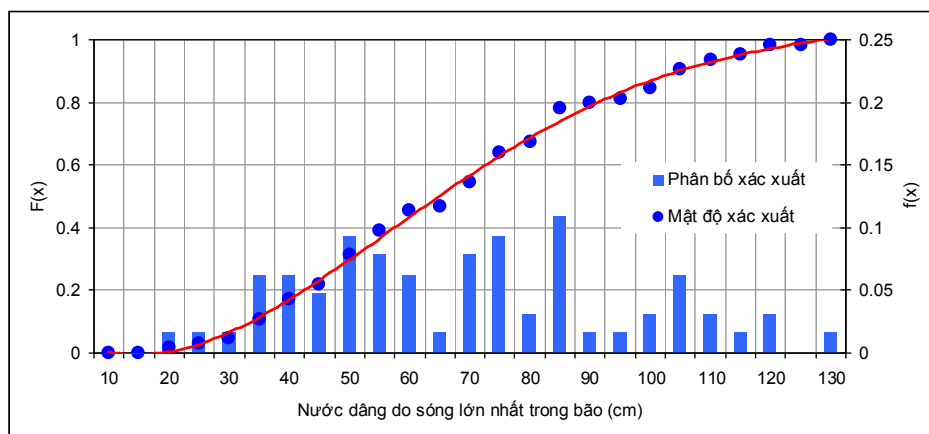
Hình 3.18. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P3



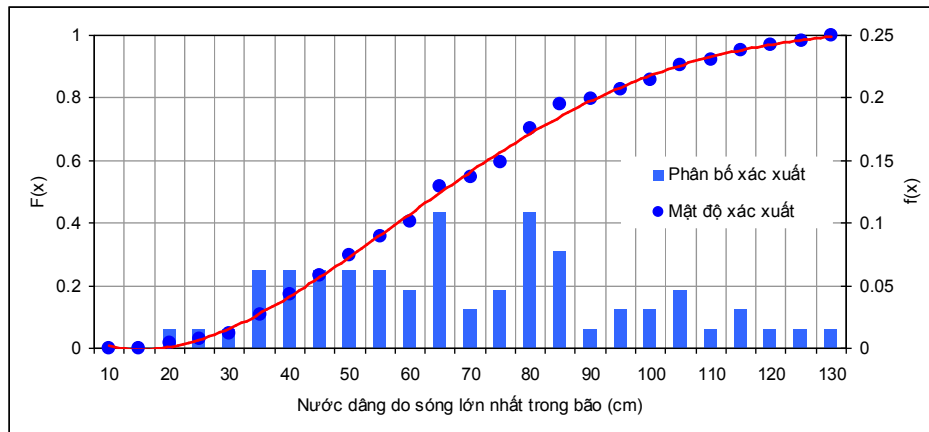
Hình 3.19. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P4



Hình 3.20. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P5



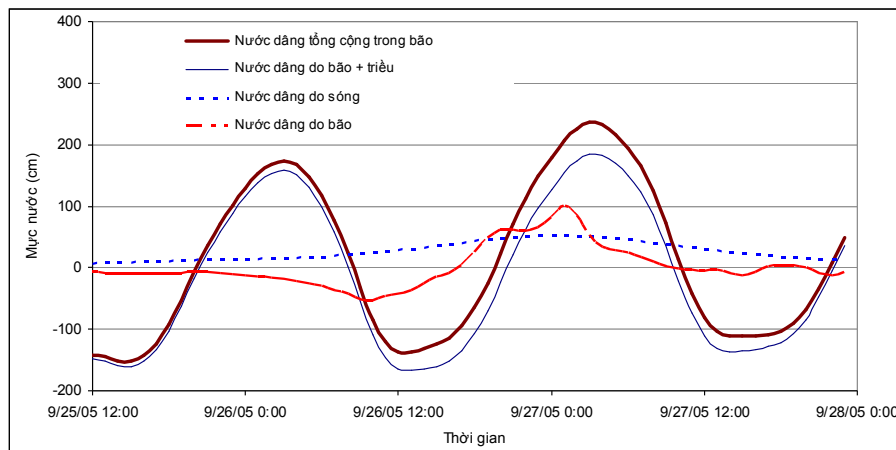
Hình 3.21. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P6



Hình 3.22. Mật độ và phân bố xác suất nước dâng do sóng tại P7

3.3.4. Mục nước cực trị trong bão

Mục nước cực trị trong bão như đã nói ở phần Chương I là mục nước lớn nhất trong bão bao gồm các yếu tố thủy triều, nước dâng do bão, nước dâng do sóng và là một trong những nguyên nhân gây ra ngập lụt và ảnh hưởng đến an toàn của các công trình ven biển [33]. Phương pháp tính toán mục nước cực trị trong bão cho các điểm sát bờ cho một cơn bão cụ thể đã được trình bày ở trên. Đường quá trình mục nước của nước dâng do bão kết hợp với triều (h_{wpt}) và nước dâng do sóng (h_{ws}) được tính riêng cho từng cơn bão trong thời kỳ bão đổ bộ sau đó sẽ được sử dụng để tính mục nước cực trị trong bão h_{total} . Hình 3.23 dưới đây đưa ra ví dụ về biến trình của h_{total} , h_{wpt} , h_{ws} , và h_{wps} cho cơn bão Damrey, 2005 cho vị trí đê biển Đồ Sơn.



Hình 3.23. Biến trình mục nước tại đê Đồ Sơn trong bão Damrey, 2005

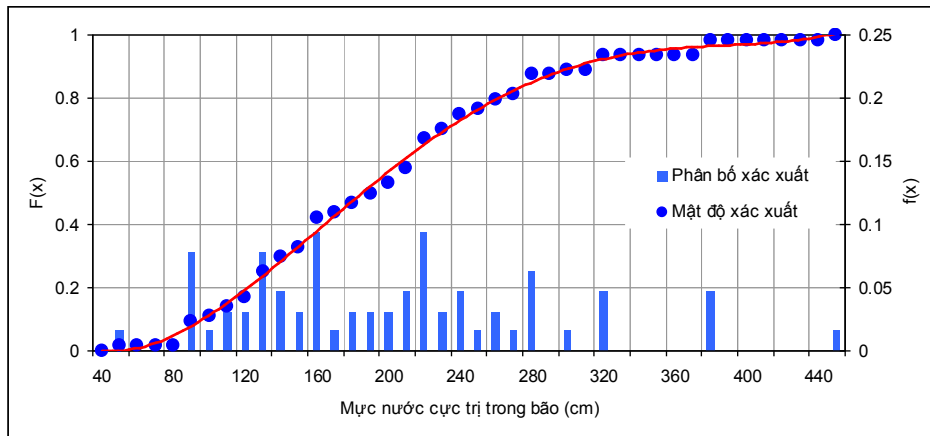
Mức nước cực trị trong bão tại khu vực Hải Phòng có sự đóng góp của cả mực nước thủy triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng trong bão. Mức độ đóng góp của từng yếu tố phụ thuộc vào đặc điểm riêng của từng cơn bão và từng điểm khác nhau. Có những cơn bão, nước dâng do sóng đóng góp lớn vào mực nước cực trị trong bão như cơn bão Elisie, 1954, cơn bão Toraji, 2007 hay cơn bão Kamuri, 2008,... Các cơn bão này đều đổ bộ vào thời điểm triều xuống và vị trí đổ bộ là khu vực Quảng Ninh, do vậy, đóng góp của nước dâng do bão và thủy triều là không nhiều. Bên cạnh đó, cũng có những cơn bão, đóng góp của nước dâng do sóng vào mực nước cực trị trong bão rất ít, như cơn bão Kelly, 1981 đổ bộ vào khu vực Thanh Hóa, khá xa so với khu vực Hải Phòng nên sóng và nước dâng do sóng tại khu vực này tương đối nhỏ, trong khi đó, bão xảy ra vào thời kỳ triều cường nên đóng góp chủ yếu đến mực nước cực trị trong bão là thủy triều. Nhìn chung, nước dâng do sóng có đóng góp đáng kể vào mực nước cực trị trong bão, trung bình trong tất cả các cơn bão mực nước cực trị trong bão nếu không tính đến nước dâng do sóng thì chỉ đạt khoảng 78% so với có tính đến nước dâng do sóng. Phân tích sự phân bố của nước dâng do sóng tại các điểm ven biển Hải Phòng cho thấy, mực nước cực trị trong bão phân bố trong khoảng từ xấp xỉ 40 cm đến trên 420 cm. Mực nước cực trị trong bão trung bình trong tất cả các cơn bão đạt từ 180 - 200 cm. Mực nước cực trị trong các cơn bão tập trung trong khoảng từ 70 đến 300 cm chiếm khoảng 90% (Bảng 3.8, Hình 3.24 đến Hình 3.30).

Bảng 3.8. Mực nước cực trị trong các cơn bão

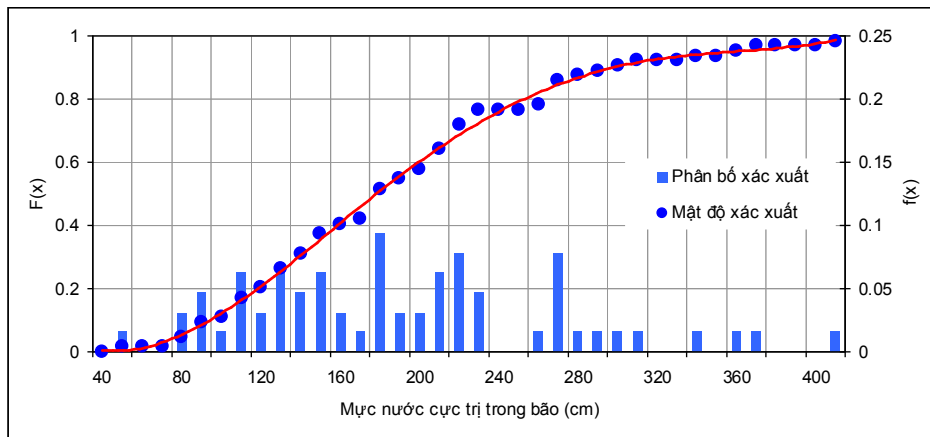
STT	Tên bão	Mực nước cực trị trong bão tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	Lois	314,6	303,0	340,0	295,2	270,5	300,4	329,5
2	Nona	198,7	188,9	218,5	210,0	203,1	223,8	238,3
3	Ophela	123,4	120,1	126,1	127,7	127,4	133,8	139,8
4	Elise	241,8	204,8	196,8	200,0	194,7	206,7	219,1

STT	Tên bão	Mức nước cực trị trong bão tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
5	Olive	149,0	136,3	136,7	135,3	136,4	140,9	143,1
6	Kit	151,2	146,8	150,4	152,5	154,1	157,8	160,2
7	Pasty	122,1	112,5	110,9	108,3	109,3	113,2	114,0
8	Carla	215,7	211,7	222,5	214,7	212,7	222,2	230,9
9	Carmen	278,1	262,9	265,2	252,1	247,1	252,0	254,4
10	Faye	125,3	115,0	130,3	124,2	120,1	126,1	132,1
11	Winie	232,7	212,0	198,9	202,4	200,3	202,1	200,9
12	Freda	372,3	355,2	354,9	367,3	365,7	367,1	365,2
13	Phylis	266,9	265,1	272,8	270,0	268,3	271,1	271,3
14	Rose	157,1	153,9	164,9	161,0	158,4	166,2	172,2
15	Wendy	190,2	177,9	172,9	165,9	163,4	165,8	168,1
16	Jean	81,5	75,0	75,9	85,2	85,4	89,9	90,7
17	Della	202,7	201,2	203,7	204,7	205,3	208,5	209,9
18	Cora	226,4	221,1	222,2	227,7	227,1	228,0	225,3
19	Anita	213,6	206,1	222,1	214,2	206,4	216,1	222,5
20	Kate	290,3	275,8	305,4	286,5	268,8	286,4	301,9
21	Louise	251,4	222,6	195,2	224,1	222,7	209,6	210,0
22	Marge	103,9	100,2	111,3	103,4	98,4	107,8	118,1
23	Dinah	146,9	144,5	166,4	158,5	150,8	170,5	187,0
24	Della	140,0	136,7	145,2	144,9	145,2	153,5	160,0
25	Alice	84,3	81,1	84,3	86,0	87,3	91,3	93,6
26	Sarah	219,3	189,1	222,8	194,3	166,6	201,3	239,7
27	Elaine	151,0	133,5	123,4	143,8	144,3	144,5	142,3
28	Lola	127,8	120,4	115,0	122,1	122,2	115,7	123,0
29	Joe	81,6	44,7	45,3	58,7	57,6	58,1	56,1
30	Ruth	113,2	108,7	129,5	122,6	118,6	132,7	147,5
31	Kelly	273,7	268,1	285,2	277,6	271,8	281,5	289,7
32	Warren	180,4	171,2	196,5	174,3	159,9	172,9	183,3
33	Nancy	181,7	178,4	192,8	185,3	181,5	190,0	197,2
34	Vera	237,5	216,0	250,5	206,5	182,4	211,3	241,0

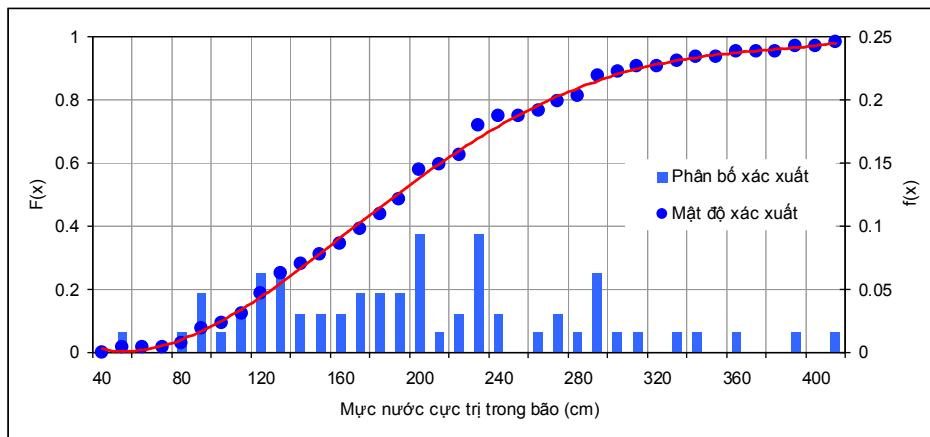
STT	Tên bão	Mức nước cực trị trong bão tại các điểm (cm)						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
35	Georgia	259,6	254,3	289,7	264,3	249,1	283,0	315,0
36	Wayne	208,7	198,2	230,9	214,1	198,5	222,6	245,0
37	Cary	216,0	211,8	219,5	215,3	214,6	218,1	221,1
38	Pat	217,2	203,0	228,6	191,8	170,4	189,1	204,7
39	Dot	273,7	269,1	289,6	271,8	263,4	277,3	289,0
40	Irving	202,9	193,9	199,7	202,4	202,5	205,1	204,7
41	Brain	116,5	109,7	111,9	113,7	114,1	115,9	114,9
42	Zeke	445,3	409,3	386,0	364,8	351,3	366,9	378,0
43	Fred	233,3	229,2	229,4	232,4	232,0	234,1	233,7
44	Chuck	371,4	339,6	326,0	300,3	290,1	290,6	289,0
45	Eli	313,2	281,8	260,6	244,3	236,1	237,1	235,1
46	Coryn	135,8	109,7	105,9	113,2	112,0	115,3	114,1
47	Amy	91,8	89,3	93,3	96,4	97,6	102,3	106,4
48	Harry	210,7	179,5	163,7	151,0	143,5	141,7	139,4
49	Joel	168,1	163,2	187,2	172,8	163,6	177,9	191,7
50	Luke	378,0	363,0	409,0	378,8	355,6	389,5	419,6
51	Lois	127,4	124,1	146,1	133,2	124,2	134,8	142,2
52	Frankie	222,0	214,7	230,1	201,2	185,2	212,4	239,0
53	Marty	151,6	149,2	154,4	155,4	154,0	159,9	165,3
54	Niki	138,0	127,1	120,2	118,6	118,3	119,7	119,3
55	Willie	175,6	171,7	172,7	177,6	176,6	178,0	176,8
56	Zita	101,3	98,0	100,4	103,1	103,4	106,7	108,3
57	Koni	156,9	153,9	181,0	171,2	166,0	188,2	200,8
58	Krovanh	311,5	299,0	289,4	295,5	293,8	295,8	291,6
59	Washi	153,4	146,8	180,1	155,1	138,4	163,3	184,5
60	Damrey	270,8	269,1	292,5	282,1	277,4	293,7	306,9
61	Kaitak	41,2	38,4	38,5	41,3	43,7	45,7	46,4
62	Toraji	88,4	84,3	84,6	85,4	89,8	91,7	90,8
63	Kamuri	178,1	172,0	172,6	172,2	175,7	175,7	166,7
	Trung bình	196,9	185,9	194,4	187,7	182,1	191,3	198,7



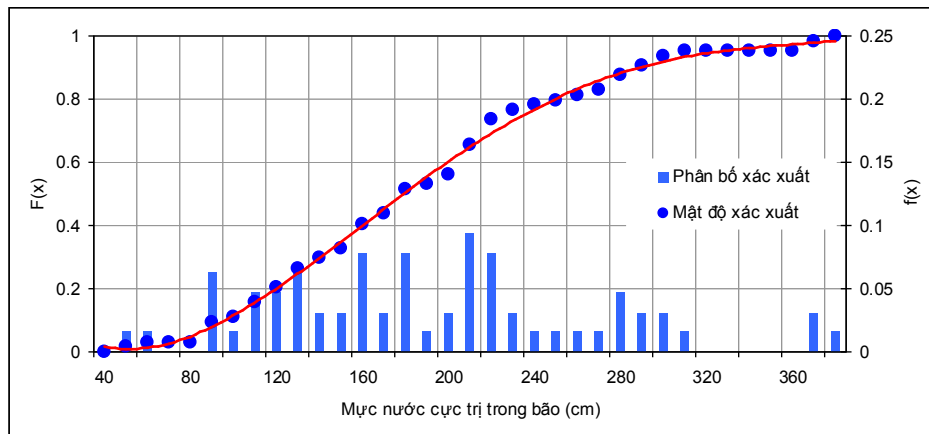
Hình 3.24. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P1



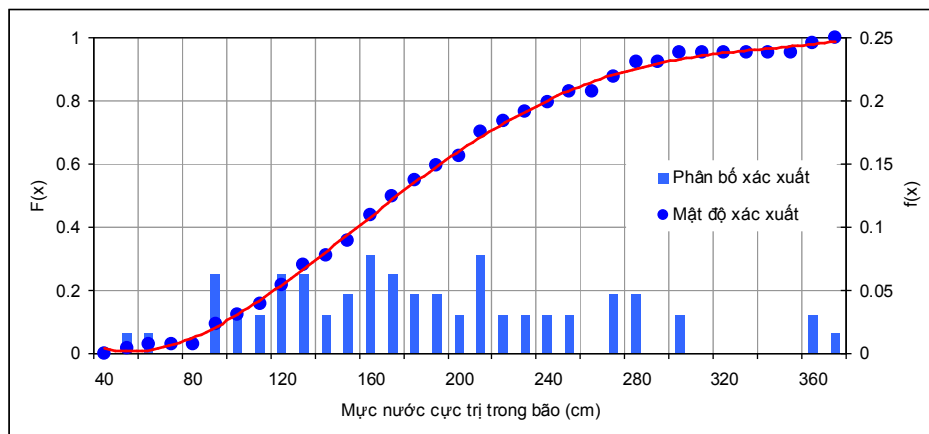
Hình 3.25. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P2



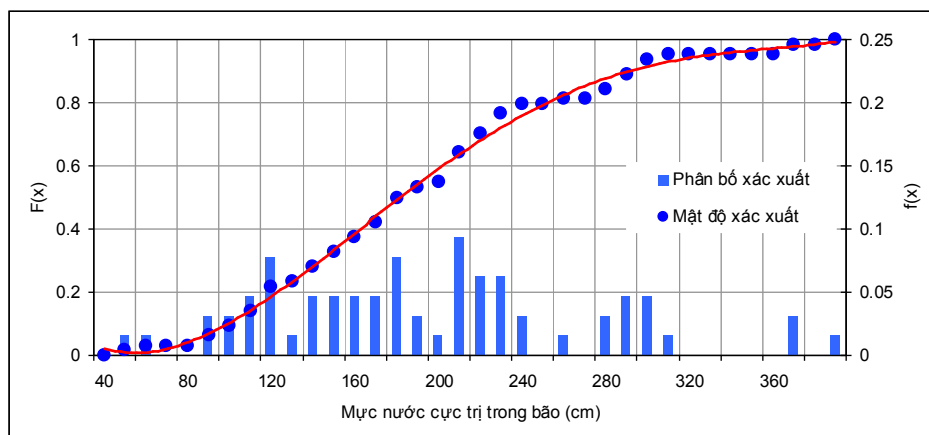
Hình 3.26. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P3



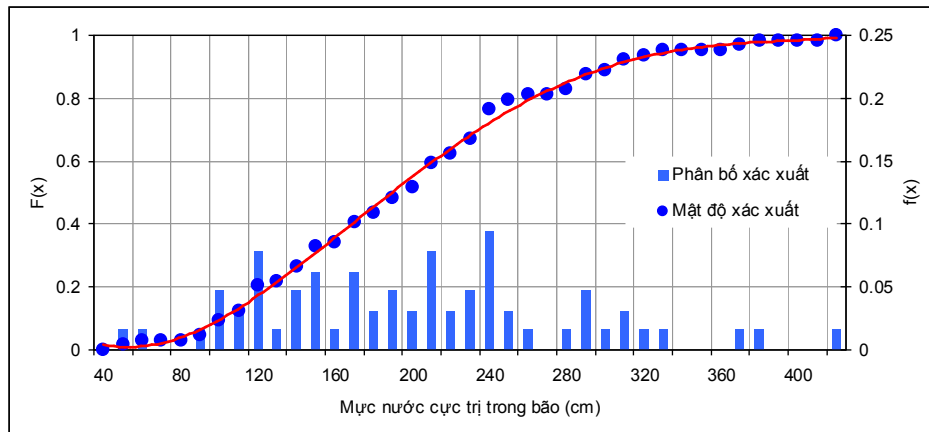
Hình 3.27. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P4



Hình 3.28. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P5



Hình 3.29. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P6



Hình 3.30. Mật độ và phân bố xác suất mực nước cực trị trong bão tại P7

3.4. Đường tần suất nước dâng do bão, nước dâng do sóng và mực nước cực trị trong bão khu vực ven biển Hải Phòng

Tại mỗi điểm nghiên cứu ở khu vực ven biển Hải Phòng, các giá trị về nước dâng do bão, nước dâng do sóng và mực nước cực trị trong bão được tập hợp để xác định đường tần suất theo các suất đảm bảo khác nhau từ hàm phân bố thống kê. Có nhiều hàm phân bố thống kê được sử dụng để mô tả đường tần suất đối với các giá trị cực trị mực nước như: 1) Hàm Gamma; 2) Hàm GEV (Generalized Extreme Value); 3) Hàm Generalized Logistic; 4) Hàm Generalized Pareto; 5) Hàm Log-Normal; 6) Hàm Log-Logistic; 7) Hàm Log-Pearson III và 8) Hàm Pearson III [33].

Luận án đã sử dụng hàm phân bố Log – Pearson III xác định đường tần suất các giá trị mực nước cực trị kể trên theo các suất đảm bảo khác nhau từ (0.1%, 1%, 2%, 5% và 10%). Với số lượng bão đổ bộ vào vùng bờ biển Hải Phòng 1950 đến 2010 là 63 cơn bão, trung bình xấp xỉ một cơn bão mỗi năm do vậy, các suất đảm bảo trên tương ứng với chu kỳ lặp lại (1000, 100, 50, 20 và 10 năm). Đây là hàm phân bố được Cục Quản lý Khẩn cấp Liên bang Hoa Kỳ (FEMA) khuyến dùng trong tính toán xác định đường tần suất nước dâng do bão [33]. Hàm mật độ xác suất $f(x)$ có dạng như sau:

$$f(x) = \frac{(\ln x - \gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha x \Gamma(\alpha)} \exp(-(\ln x - \gamma) / \beta)$$

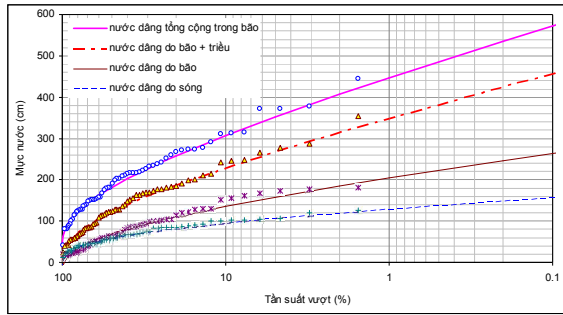
trong đó, α, β, γ là các tham số hình dạng, tỷ lệ và vị trí ($\gamma \leq x < +\infty, \alpha > 0, \beta > 0, \gamma \cong 0$ - Gamma 2 tham số); Γ - hàm Gamma:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (\alpha > 0)$$

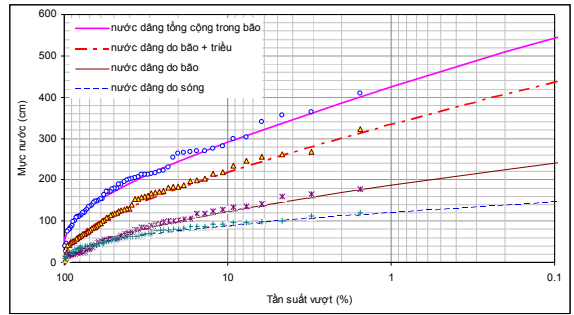
Kết quả tính toán cho thấy, mực nước cực trị trong bão chu kỳ lặp lại 1000 năm tại Hải Phòng có độ lớn vào khoảng từ 527 đến 579 cm. Nếu xét đến tần suất 1% (chu kỳ lặp lại 100 năm) thì $h_{totalmax}$ tại tất cả các điểm cũng đạt từ 494 cm tới 540 cm. Như vậy, trong trường hợp này, $h_{totalmax}$ với tần suất 1‰ đã đạt gần tới cao trình đê biển Hải Phòng (khoảng 5.5 m) và có nguy cơ gây ngập cho khu vực sau đê. Trong đó, đóng góp của h_{ws} chiếm khoảng từ 100 đến 130 cm, tức khoảng từ 20% đến 30% vào h_{total} (Bảng 3.9, Hình 3.31).

Bảng 3.9. Mực nước cực trị theo chu kỳ lặp lại

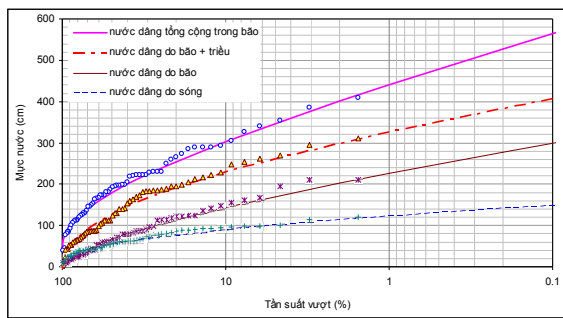
Đặc trưng	Chu kỳ lặp lại (năm)	Bờ biển Cát Hải	Đê Đình Vũ	Đê An Hải	Đê Đồ Sơn	Bãi biển Đồ Sơn	Đê Kiến Thụy	Đê Tiên Lãng
Mực nước cực trị trong bão (cm)	1000	572	544	564	527	538	553	579
	100	535	509	528	494	500	516	540
	50	447	424	440	414	412	427	447
	20	407	386	401	378	373	388	405
Nước dâng do bão (cm)	1000	351	333	347	327	319	334	349
	100	264	241	298	236	220	250	290
	50	247	225	277	220	203	231	268
	20	204	186	226	180	163	187	215
Nước dâng do sóng (cm)	1000	185	169	202	162	145	166	191
	100	158	144	170	137	120	139	159
	50	157	148	150	156	156	161	162
	20	149	141	143	149	148	153	154



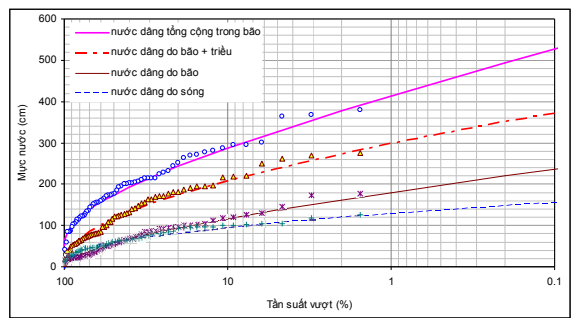
P1



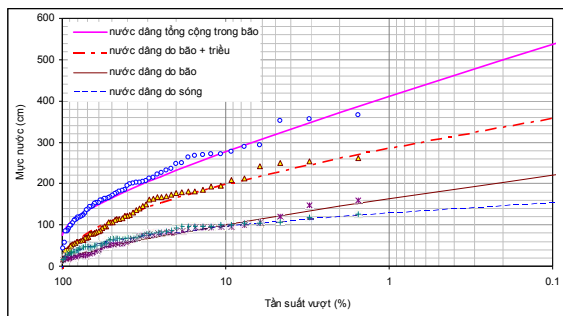
P2



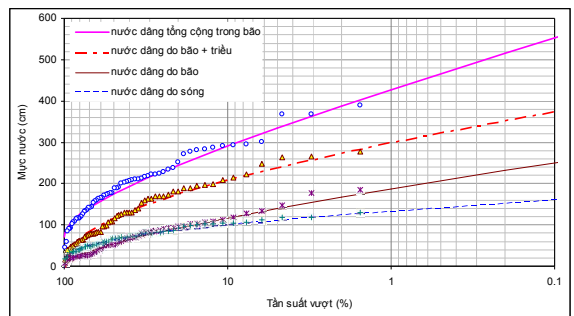
P3



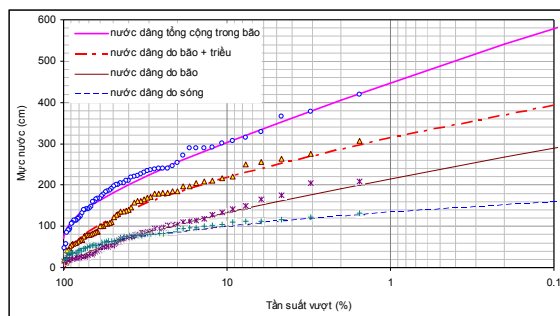
P4



P5



P6



P7

Hình 3.31. Đường tần suất mực nước cực trị trong bão tại các điểm ven biển Hải Phòng

3.5. Tác động của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến khu vực ven biển Hải Phòng

3.5.1. Tác động đến chế độ thủy triều

Dao động mực nước thủy triều tại các vùng biển ven bờ được hình thành do lực hấp dẫn của mặt trăng và mặt trời truyền vào vùng ven bờ dưới tác động của điều kiện địa hình. Do tác động của biến đổi khí hậu, mực nước trung bình toàn cầu sẽ dâng lên so với hiện tại thì các quá trình động lực lan truyền sóng triều cũng thay đổi so với hiện tại do độ sâu tăng thêm làm vận tốc sóng triều và hệ số ma sát đáy biển thay đổi. Mặt khác, theo phương ngang, kích thước các vùng biển có xu hướng tăng lên và hình dáng đường bờ có thể sẽ thay đổi sẽ dẫn đến những thay đổi về chế độ thủy triều tại các điểm ven bờ [20].

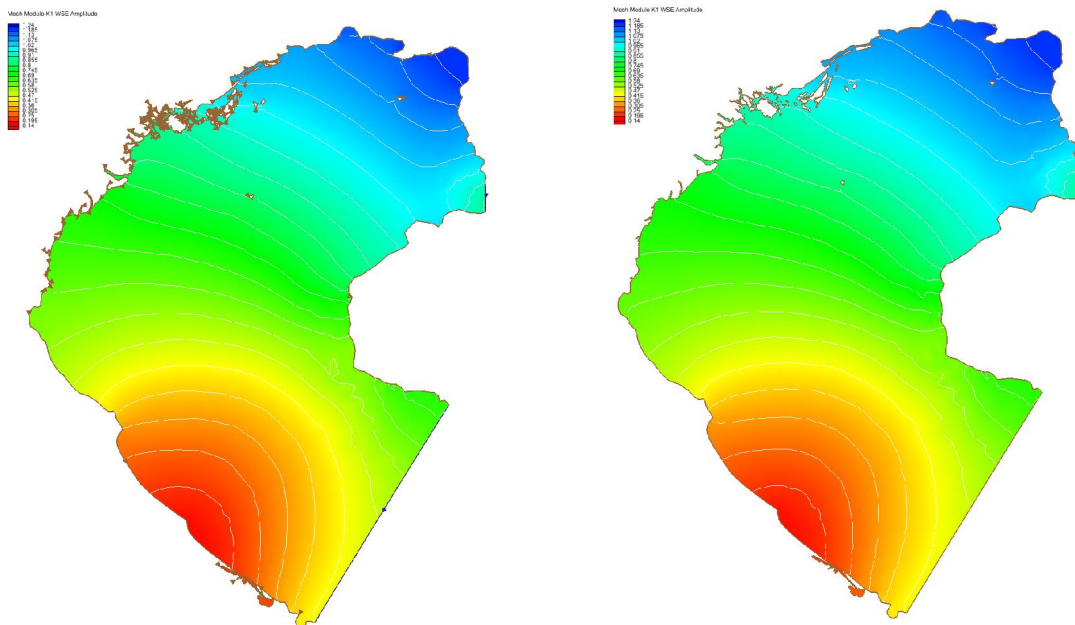
Theo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam năm 2012, tại khu vực Hải Phòng, tùy theo từng kịch bản biến đổi khí hậu mà mực nước trung bình tại khu vực Hải Phòng vào năm 2100 sẽ tăng từ 42 cm đến 86 cm [1]. Với giả thiết mực nước biển dâng được xây dựng theo cận trên của kịch bản phát thải khí nhà kính A1FI, vào năm 2100, mực nước biển trung bình tại khu vực Hải Phòng sẽ tăng lên 86 cm.

Nhằm đánh giá tác động của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến chế độ thủy triều tại khu vực Hải Phòng, mô hình ADCIRC được sử dụng để tính toán chế độ thủy triều tại khu vực trong điều kiện hiện trạng và trong tương lai. Do địa hình đáy biển được so sánh với mực nước trung bình hiện tại nên khi mực nước biển trung bình dâng lên do biến đổi khí hậu, chúng ta có thể hạ thấp số liệu địa hình hiện tại bằng với sự dâng lên mực nước biển trung bình mà vẫn không thay đổi tính chất vật lý của hiện tượng. Như vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi đã đánh giá tác động của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến chế độ thủy triều tại khu vực Hải Phòng bằng cách hạ

thấp số liệu địa hình hiện tại (tăng độ sâu và thay đổi đường bờ ban đầu) tương ứng với kịch bản nước biển dâng 86 cm. Thời gian mô phỏng mỗi kịch bản là 1 năm để đánh giá, phân tích sự thay đổi của các sóng triều cũng như các đặc trưng thủy triều tại các điểm ven biển khu vực Hải Phòng.

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu để phân tích chuỗi số liệu mực nước trong 1 năm trích xuất từ mô hình tại các điểm ven biển đối với 4 sóng triều chính (O1, K1, M2, S2). Các kết quả được thể hiện qua các bản đồ đẳng trị về biên độ và pha của 4 sóng triều kể trên cho toàn bộ khu vực Vịnh Bắc Bộ và tại từng điểm nghiên cứu.

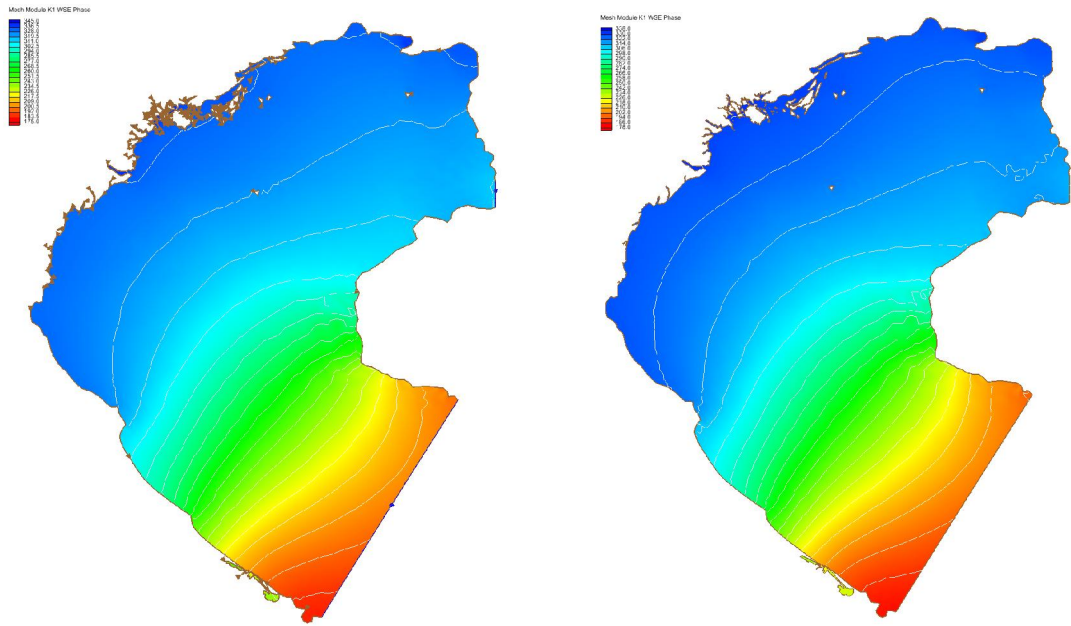
Kết quả tính toán cho thấy, về mặt không gian, các sóng triều chính đều có sự thay đổi biên độ, với các sóng nhật triều như K1, O1 các đường đẳng trị về độ lớn có xu hướng dịch chuyển lên phía bắc trong khi đó, đối với các sóng bán nhật triều như M2, S2, các đường đẳng trị về độ lớn có sự thay đổi nhưng xu hướng phức tạp và khó xác định. Các đường đẳng trị về pha có sự thay đổi nhưng không thể hiện rõ rệt (Hình 3.32 đến Hình 3.35).



a) Kịch bản hiện trạng

b) Kịch bản nước biển dâng

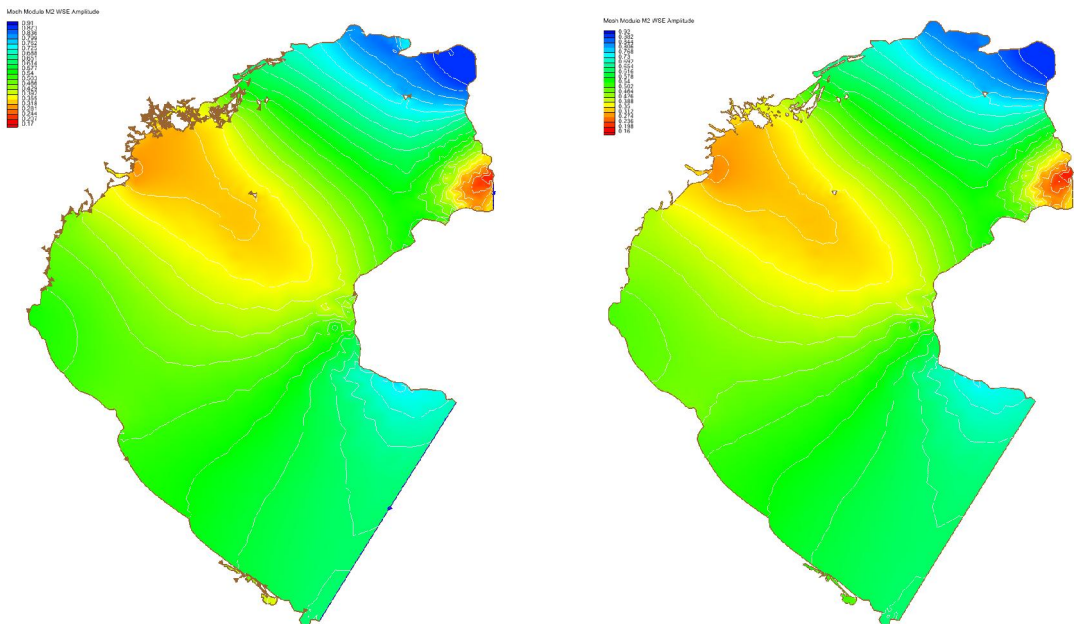
Hình 3.32. Bản đồ đẳng biên độ (m) của sóng K1 trong các kịch bản



a) Kịch bản hiện trạng

b) Kịch bản nước biển dâng

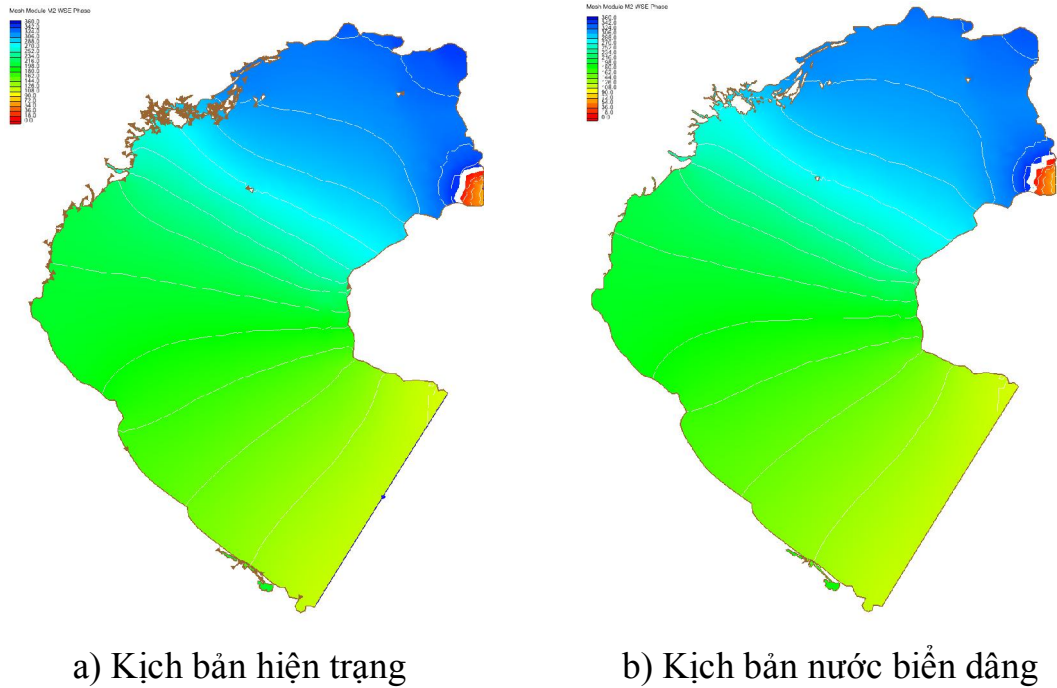
Hình 3.33. Bản đồ đẳng pha (độ_GMT) của sóng K1 trong các kịch bản



a) Kịch bản hiện trạng

b) Kịch bản nước biển dâng

Hình 3.34. Bản đồ đẳng biên độ (m) của sóng M2 trong các kịch bản



Hình 3.35. Bản đồ đẳng pha (độ_GMT) của sóng M2 trong các kích bản

Đánh giá ảnh hưởng của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến sự thay đổi của các sóng cho các điểm ven biển tại khu vực Hải Phòng cho thấy, biên độ của các sóng nhật triều (K1, O1) tăng khoảng từ 1,9 – 3,1 cm (khoảng từ 2,1 – 4,3 %), trong khi biên độ của các sóng bán nhật triều (M2, S2) chủ yếu là giảm (Bảng 3.10). Về pha triều, tại tất cả các điểm, các sóng triều đều có sự biến đổi về pha nhưng sự thay đổi này là rất nhỏ (Bảng 3.11).

Bảng 3.10. Sự thay đổi biên độ các sóng triều do nước biển dâng

Vị trí	Biên độ	Sóng triều			
		K1	O1	M2	S2
P1	KB hiện trạng (cm)	67,4	82,8	8,9	6,2
	KB NBD (cm)	69,5	85	8,6	5,9
	Độ lệch tuyệt đối (cm)	2,1	2,2	-0,3	-0,3
	Độ lệch tương đối (%)	3	2,7	2,9	5,5
P2	KB hiện trạng (cm)	67,9	83,4	9	6,3
	KB NBD (cm)	70,8	86,5	7,8	5,7
	Độ lệch tuyệt đối (cm)	2,9	3,1	-1,2	-0,6

Vị trí	Biên độ	Sóng triều			
		K1	O1	M2	S2
	Độ lệch tương đối (%)	4,3	3,7	13,3	9,6
P3	KB hiện trạng (cm)	69,2	85	9,3	6,4
	KB NBD (cm)	71,7	87,6	8,3	5,9
	Độ lệch tuyệt đối (cm)	2,5	2,6	-1	-0,5
	Độ lệch tương đối (%)	3,6	3,1	11	8
P4	KB hiện trạng (cm)	69,5	85,3	9,4	6,4
	KB NBD (cm)	70,9	87,1	10,5	6,8
	Độ lệch tuyệt đối (cm)	1,4	1,8	1,1	0,4
	Độ lệch tương đối (%)	2,1	2,1	11,8	5,3
P5	KB hiện trạng (cm)	69,8	85,7	9,4	6,4
	KB NBD (cm)	71,7	87,7	9,3	6,1
	Độ lệch tuyệt đối (cm)	1,9	2	-0,1	-0,3
	Độ lệch tương đối (%)	2,7	2,4	0,9	5,3
P6	KB hiện trạng (cm)	70	85,9	9,5	6,5
	KB NBD (cm)	71,9	87,8	8,4	5,9
	Độ lệch tuyệt đối (cm)	1,9	1,9	-1,1	-0,6
	Độ lệch tương đối (%)	2,7	2,2	11,7	9,2
P7	KB hiện trạng (cm)	71,5	87,8	9,8	6,6
	KB NBD (cm)	73,4	89,7	8,5	5,9
	Độ lệch tuyệt đối (cm)	1,9	1,9	-1,3	-0,7
	Độ lệch tương đối (%)	2,6	2,1	13	10,3

Bảng 3.11. Sự thay đổi pha các sóng triều do nước biển dâng

Vị trí	Pha (độ_GMT)	Sóng triều			
		K1	O1	M2	S2
P1	KB hiện trạng	330	236	328	274
	KB NBD	327	234	325	272
	Độ lệch tuyệt đối	-4	-2	-3	-2
P2	KB hiện trạng	335	251	334	282
	KB NBD	329	241	328	277
	Độ lệch tuyệt đối	-6	-10	-5	-6

Vị trí	Pha (độ_GMT)	Sóng triều			
		K1	O1	M2	S2
P3	KB hiện trạng	335	250	334	282
	KB NBD	329	240	328	277
	Độ lệch tuyệt đối	-6	-10	-5	-6
P4	KB hiện trạng	328	334	328	323
	KB NBD	326	328	326	319
	Độ lệch tuyệt đối	-3	-6	-2	-3
P5	KB hiện trạng	329	224	326	269
	KB NBD	326	224	324	269
	Độ lệch tuyệt đối	-3	0	-2	0
P6	KB hiện trạng	330	217	327	268
	KB NBD	326	214	305	290
	Độ lệch tuyệt đối	-3	-3	-22	23
P7	KB hiện trạng	330	213	327	266
	KB NBD	326	209	305	290
	Độ lệch tuyệt đối	-3	-4	-22	24

3.5.2. Tác động đến mực nước cực trị trong bão

Nguyên nhân hình thành bão phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ bề mặt nước biển. Về mặt lý thuyết, biến đổi khí hậu sẽ làm thay đổi nhiệt độ bề mặt nước biển dẫn tới cường độ và tần suất bão sẽ thay đổi [45]. Tuy nhiên, các số liệu thống kê bão thực tế tại khu vực biển Đông Việt Nam chưa khẳng định được xu thế của hiện tượng này [1, 24]. Do vậy, việc đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên mực nước cực trị trong bão được giới hạn trong khuôn khổ đánh giá tác động của biến đổi khí hậu lên mực nước trung bình.

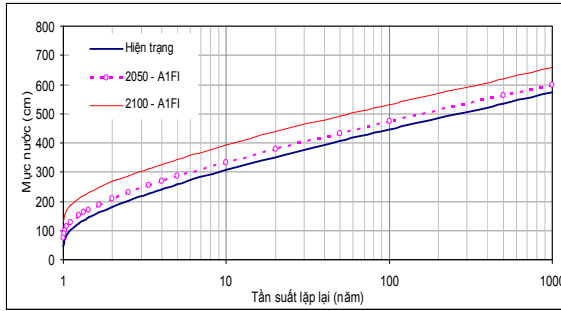
Các kết quả thu được về mực nước cực trị trong bão cho các khu vực tại Thành phố Hải Phòng sẽ là cơ sở để hiệu chỉnh mực nước cực trị cho các thời kỳ khác nhau trong tương lai. Theo đó, vào từng thời điểm cụ thể giá trị mực nước với các chu kỳ lặp lại tương ứng sẽ được cộng thêm mực nước trung bình do biến đổi khí hậu.

Như phân tích ở trên, giả thiết mực nước biển dâng được xây dựng theo cặn trên của kịch bản phát thải khí nhà kính A1FI, thì theo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam, mực nước biển trung bình tại khu vực Hải Phòng vào năm 2050 sẽ tăng 27 cm và vào 2100 sẽ tăng 86 cm khi đó các giá trị mực nước cực trị tương ứng tất cả các hồi kỳ sẽ được tăng tương ứng 27 cm và 86 cm.

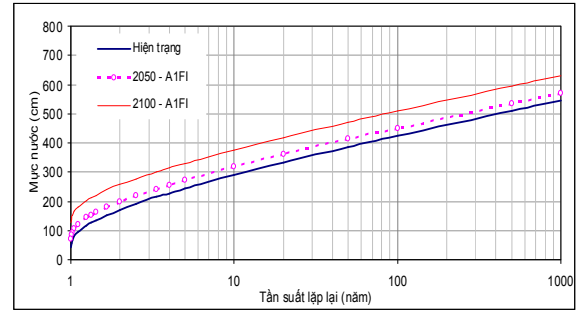
Tần suất lặp lại của mực nước cực trị trong bão theo các năm của kịch bản A1FI tại các điểm ven biển Hải Phòng được trình bày trong hình Bảng 3.12 và Hình 3.36.

Bảng 3.12. Mực nước cực trị trong bão theo chu kỳ lặp lại (năm) do nước biển dâng, kịch bản biến đổi khí hậu A1FI

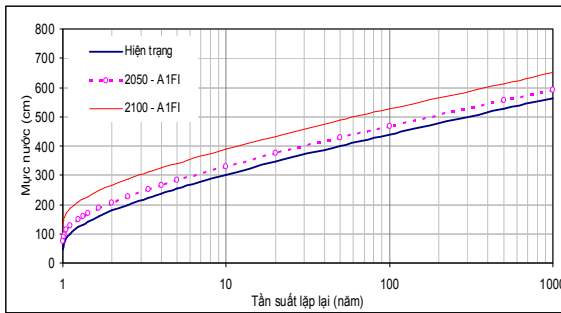
Thời gian	Chu kỳ lặp lại (năm)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Hiện trạng	1000	572	544	564	527	538	553	579
	100	447	424	440	414	412	427	447
	50	407	386	401	378	373	388	405
	20	351	333	347	327	319	334	349
Năm 2050	1000	599	571	591	554	565	580	606
	100	474	451	467	441	439	454	474
	50	434	413	428	405	400	415	432
	20	378	360	374	354	346	361	376
Năm 2100	1000	658	630	650	613	624	639	665
	100	533	510	526	500	498	513	533
	50	493	472	487	464	459	474	491
	20	437	419	433	413	405	420	435



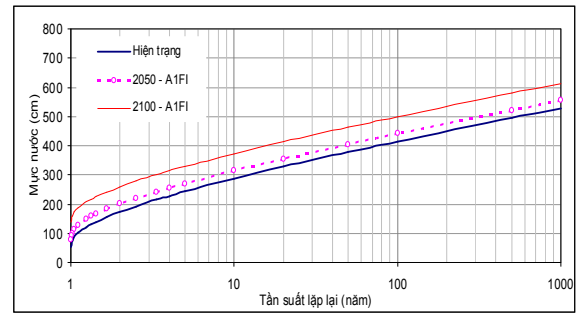
P1



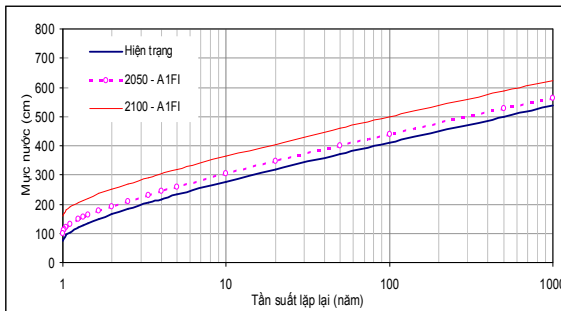
P2



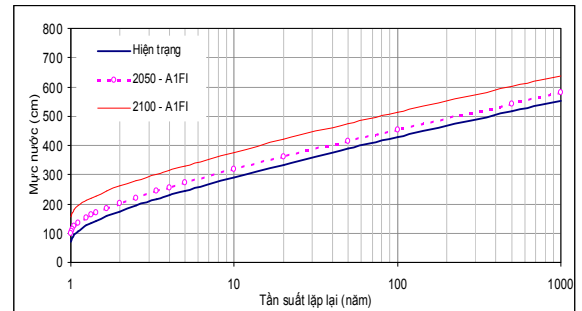
P3



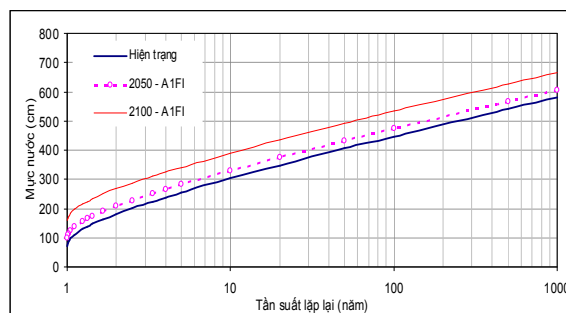
P4



P5



P6



P7

Hình 3.36. Đường tần suất mực nước lớn nhất trong bão tại các điểm ven biển Hải Phòng trong điều kiện nước biển dâng do biến đổi khí hậu

3.5.3. Đánh giá nguy cơ gây ngập khu vực ven biển Thành phố Hải Phòng

Nước dâng trong bão là một trong những nguyên nhân chính gây ra ngập lụt cho dải ven biển [33]. Sự biến đổi của mực nước cực trị trong bão gây ảnh hưởng trực tiếp lên các công trình bảo vệ bờ biển và đe dọa ngập lụt cho vùng đất sau đê do mực nước có khả năng tràn qua đê. Nguy cơ gây ngập lụt trong bão, ngoài phụ thuộc vào mực nước cực trị trong bão còn phụ thuộc vào cao trình thiết kế đê và cấu trúc công trình. Có 6 tuyến đê biển trên khu vực Hải Phòng với tổng chiều dài khoảng 103 km. Tuy nhiên, hầu hết các tuyến đê đều kém ổn định do chưa được nâng cấp, do trên các tuyến đê, có nhiều tuyến kè và cống xung yếu hay có khu dân cư ở sát đê. Đê biển ở Hải Phòng hiện tại vẫn còn những đoạn có cao trình dưới 4 m. (Bảng 3.13).

Bảng 3.13. Đánh giá hiện trạng đê biển Thành phố Hải Phòng

Nguồn: Bộ NNPTNT, 2011

TT	Tuyến đê	Cao trình đỉnh đê	Hiện trạng đê		Kết luận chung về khả năng chống lũ bão của từng tuyến đê
1	Đê biển I	Từ 3,8 m đến 5,5 m	Tổng cộng (m)	17.590	Đê kém ổn định, đoạn trực tiếp biển chưa được nâng cấp, còn xung yếu
			Ổn định (m)	5.500	
			Kém ổn định (m)	11.390	
			Xung yếu (m)	700	
2	Đê biển II	Từ 4,7 m đến 5,0 m	Tổng cộng (m)	10.660	Đê kém ổn định do hạn chế về quy mô mặt cắt, có khu dân cư ở sát đê, kè xung yếu.
			Ổn định (m)	8.940	
			Kém ổn định (m)	1.720	
			Xung yếu (m)	0	
3	Đê biển III	Từ 4,45 m đến 5,2 m	Tổng cộng (m)	21.162	Đê kém ổn định do kết cấu kè hạn chế; nhiều cống xung yếu. Cây chắn sóng có tác dụng tốt
			Ổn định (m)	3.662	
			Kém ổn định (m)	17.100	
			Xung yếu (m)	400	
4	Đê biển	Từ	Tổng cộng (m)	19.998	Đê kém ổn định do có

TT	Tuyến đê	Cao trình đỉnh đê	Hiện trạng đê		Kết luận chung về khả năng chống lũ bão của từng tuyến đê
	Tràng Cát	3,8 m đến 4,8 m	Ổn định (m)	3.014	nhiều công xung yếu.
			Kém ổn định (m)	16.984	
			Xung yếu (m)	0	
5	Đê biển Bạch Đằng	Từ 3,5 m đến 5,0 m	Tổng cộng (m)	15.386	Đê biển kém ổn định, công cũ kém an toàn.
			Ổn định (m)	6.900	
			Kém ổn định (m)	5.436	
			Xung yếu (m)	3.050	
6	Đê biển Cát Hải	Từ 3,5 m đến 5,0 m	Tổng cộng (m)	18.935	Các đoạn đê chưa được nâng cấp, còn xung yếu.
			Ổn định (m)	6.330	
			Kém ổn định (m)	7.791	
			Xung yếu (m)	4.814	

Trong năm 2005, có 3 cơn bão rất mạnh đã trực tiếp gây thiệt hại lớn đến vùng đất sau đê của Thành phố Hải Phòng. Cơn bão số 2 (Washi) đã gây nên mực nước cực trị bão tại Hòn Dấu 418cm, gây ngập úng cho 3.738 ha hoa màu và 2.000 ha lúa, nhiều tuyến đê có nguy cơ bị tràn, phải cứu hộ và gia cố. Tại huyện Cát Hải: từ Km 0,00 – Km 3,09 sóng tràn qua mặt đê gây hư hại nặng công trình và gây ngập lụt khu vực thị trấn Cát Hải. Cơn bão số 6 (Vicente) tuy không đổ bộ trực tiếp vào Hải Phòng nhưng cũng đã làm cho 100 ha lúa bị nhiễm mặn và 750 ha đầm nuôi trồng thủy sản bị ngập. Cơn bão số 7 (Damrey) cũng đã tạo ra mực nước cực trị bão tới 418 cm tại Hòn Dấu và gây thiệt hại đáng kể trên phạm vi toàn thành phố [24].

Như vậy, có thể thấy rằng, tại những đoạn đê có cao trình đê biển chưa đạt 4m, mực nước cực trị trong bão tần suất lặp lại 100 năm đã vượt qua và với tần suất 1000 năm, mực nước cực trị trong bão đã cao hơn toàn bộ cao tuyến đê biển hiện có tại Hải Phòng. Nếu khả năng này xảy ra thì vấn đề xói

lờ sẽ xuất hiện từ cả phía sau công trình chứ không chỉ xảy ra ở mặt trước đê do tác động trực tiếp của sóng và dòng chảy.

Trong điều kiện nước tràn qua đê, sóng bão sẽ gây tác động trực tiếp lên toàn thân công trình, nên mức độ nguy hiểm sẽ lớn hơn nhiều so với tác động của nước tràn đơn thuần do sóng leo. Mức độ nguy hiểm của hiện tượng này sẽ gia tăng theo thời gian khi mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu sẽ làm gia tăng mực nước cực trị trong bão.

Vào năm 2100, theo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng, mực nước cực trị trong bão với tần suất 100 năm đã cao hơn toàn bộ cao trình trên toàn tuyến đê biển tại Hải Phòng hiện nay.

3.6. Kết luận của Chương 3

Quy trình tính mực nước cực trị trong bão bằng các mô hình, công thức tính toán đã được kiểm nghiệm cho điều kiện thực tế tại khu vực ven biển Hải Phòng. Sự phù hợp giữa kết quả tính toán mực nước cực trị trong bão từ quy trình đề xuất với số liệu điều tra khảo sát cho thấy tính hiệu quả của phương pháp và sự cần thiết phải tính đến thành phần nước dâng do sóng trong mực nước cực trị trong bão tại các điểm ven bờ.

Quy trình sau khi đã được kiểm nghiệm được áp dụng cho khu vực ven biển Thành phố Hải phòng, các kết quả tính toán cho các cơn bão đã xảy ra trước đây cho thấy:

- Nước dâng do bão tại các điểm ven bờ Hải Phòng phân bố trong khoảng từ xấp xỉ 20 cm đến 210 cm. Nước dâng do bão trung bình trong các cơn bão trong khoảng từ 60 -70 cm;
- Nước dâng do sóng trong bão tại khu vực ven biển Hải Phòng có mối quan hệ mật thiết với độ cao sóng có nghĩa ngoài khơi và địa hình tại

các điểm cần tính và đạt khoảng từ 16% đến 18% độ cao của sóng có nghĩa ngoài khơi. Nước dâng do sóng trong bão tại khu vực ven biển Hải Phòng có giá trị từ 10 đến 130 cm, trung bình nước dâng do sóng trong bão khoảng trên dưới 60 cm;

- Mức nước cực trị trong bão tại khu vực Hải Phòng có sự đóng góp của mực nước thủy triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng trong bão. Mức độ đóng góp của từng yếu tố phụ thuộc vào đặc điểm riêng của từng cơn bão và từng điểm khác nhau. Nước dâng do sóng có đóng góp đáng kể vào mực nước cực trị trong bão, trung bình trong tất cả các cơn bão mực nước cực trị trong bão nếu không tính đến nước dâng do sóng thì chỉ đạt khoảng 78% so với có tính đến nước dâng do sóng. Mực nước cực trị trong bão tại khu vực Hải Phòng phân bố trong khoảng từ xấp xỉ 40 cm đến 420 cm và đạt trung bình khoảng từ 180 - 200 cm;
- Thủy triều có ảnh hưởng đáng kể đến nước dâng do bão tại khu vực ven biển Hải Phòng, nước dâng do bão đạt giá trị cao hơn khi bão đổ bộ vào các thời điểm mực nước triều thấp và đạt giá trị thấp hơn khi bão đổ bộ vào các thời điểm mực nước triều cao.

Đường tần suất các đặc trưng mực nước cực trị như nước dâng do bão, nước dâng do sóng và mực nước cực trị trong bão cho các điểm ven bờ biển Hải Phòng được xây dựng theo hàm phân bố thống kê Log Pearson III cho thấy, mực nước cực trị trong bão với chu kỳ lặp lại 100 năm đạt từ 412 cm tới 447 cm so với mực nước trung bình, vượt hầu hết cao trình đê biển Hải Phòng hiện tại và gây ngập lụt cho khu vực dân cư sau đê.

Đánh giá tác động của mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến sự thay đổi chế độ thủy triều cho thấy, biên độ của các sóng nhật triều tại khu

vực ven biển Hải Phòng có xu hướng tăng trong khi biên độ của các sóng bán nhật triều có xu hướng giảm.

Chưa có cơ sở để đánh giá ảnh hưởng của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến nước dâng do bão và nước dâng do sóng trong bão nên ảnh hưởng của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến mực nước cực trị trong bão chỉ nên xem xét đến sự thay đổi của mực nước trung bình. Mực nước cực trị trong bão vào năm 2100 chu kỳ lặp lại 100 năm nếu xét tới kịch bản nước biển dâng A1FI ở cận cao (tăng 86 cm) sẽ đạt trong khoảng từ 555 cm đến 612 cm so với mực nước trung bình.

Đánh giá khả năng gây ngập cho Thành phố Hải Phòng cho thấy hệ thống đê hiện tại ở Hải Phòng chưa đáp ứng yêu cầu với mực nước cực trị hồi kỳ 100 năm theo đánh giá hiện nay. Đến cuối thế kỷ XXI, ứng với kịch bản nước biển A1FI ở cận cao, khả năng mực nước cực trị với các hồi kỳ tương ứng sẽ tăng lên trên 86 cm so với giá trị hiện tại sẽ dẫn đến những hệ lụy đối với tự nhiên, môi trường và kinh tế - xã hội chưa lường trước được.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A. Kết luận

1. Nghiên cứu cơ chế và quy trình tính toán mực nước cực trị trong bão có tính đến ảnh hưởng của nước dâng do bão, nước dâng do sóng, thủy triều và nguy cơ ngập cho khu vực ven biển vừa có ý nghĩa khoa học, vừa có ý nghĩa thực tiễn phục vụ thiết thực cho các hoạt động kinh tế - xã hội, quốc phòng - an ninh, phòng chống thiên tai. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, cần phải nghiên cứu tác động của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến sự thay đổi của chế độ triều và mực nước cực trị trong bão cũng như khả năng gây ngập cho các khu vực ven biển.

Các nghiên cứu trước đây về biến động mực nước trong bão đã giúp hiểu rõ về đặc điểm và biến động của mực nước trong bão cho dải ven biển Việt Nam và đã được ứng dụng trong thực tế. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chỉ mới quan tâm, xem xét đến biến động mực nước trong bão trên quy mô lớn, đó là mực nước triều và nước dâng do bão, mà chưa tính đến quy mô địa phương, chưa xét đến đặc điểm cụ thể của các đoạn bờ, nơi mà các hiệu ứng sóng nước nông tác động trực tiếp đến sự thay đổi mực nước trung bình ven bờ. Chính vì thế, các kết quả tính toán đã thiên thấp khi đánh giá nguy cơ ngập đối với vùng đất ven biển.

2. Luận án đã xây dựng quy trình tính mực nước cực trị trong bão với các công cụ tính toán bao gồm: 1) mô hình tính toán trường gió trong bão; 2) mô hình mô phỏng hoàn lưu ven bờ và nước dâng do bão; 3) mô hình mô phỏng sóng trong bão; 4) Công thức thực nghiệm tính nước dâng do sóng. Kết quả tính toán mực nước cực trị trong bão rất phù hợp với số liệu thực đo. Vì thế, tác giả đã kết luận rằng thành phần nước dâng do sóng cần thiết phải được xét đến trong tính toán mực nước cực trị trong bão tại các điểm ven bờ.

3. Các kết quả tính toán cho các cơn bão trong quá khứ cho thấy mực nước cực trị trong bão tại khu vực Hải Phòng là sự tổ hợp của mực nước thủy triều, nước dâng do bão và nước dâng do sóng trong bão. Mức độ đóng góp của từng thành phần phụ thuộc vào đặc điểm riêng của từng cơn bão và từng điểm vị trí đường bờ cụ thể. Nước dâng do sóng có đóng góp đáng kể vào mực nước cực trị trong bão, trung bình trong tất cả các cơn bão mực nước cực trị trong bão nếu không tính đến nước dâng do sóng thì chỉ đạt khoảng 78% so với trường hợp có tính đến nước dâng do sóng. Mực nước cực trị trong bão tại khu vực Hải Phòng vào khoảng từ 40 cm đến trên 420 cm, với giá trị trung bình là vào khoảng 160 - 180 cm. Mực nước cực trị trong bão có tần suất lặp lại 100 năm tại các điểm ven biển Hải Phòng đạt từ 380 cm đến 426 cm so với mực nước trung bình, vượt hầu hết cao trình đê biển Hải Phòng hiện tại.

4. Kết quả tính toán cho thấy mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu làm thay đổi chế độ thủy triều tại khu vực ven biển Hải Phòng: biên độ của các sóng nhật triều tại khu vực ven biển Hải Phòng có xu hướng tăng trong khi biên độ của các sóng bán nhật triều có xu hướng giảm. Kết quả tính toán cho thấy chưa có đủ cơ sở để kết luận rằng mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu có tác động đến mực nước cực trị trong bão. Vì thế, luận án kiến nghị rằng kịch bản nước biển dâng có thể được áp dụng khi tính toán mực nước cực trị trong bão cho tương lai.

5. Kết quả tính toán cho thấy rằng hệ thống đê biển hiện tại ở khu vực ven biển Hải Phòng chưa đảm bảo để chống chịu với mực nước tổng cộng trong bão hồi kỳ 100 năm. Nếu xét đến kịch bản nước biển dâng thì chắc chắn rằng hệ thống đê biển ở Hải Phòng cần phải được củng cố và tôn cao.

B. Kiến nghị

1. Quy trình và phương pháp tính toán nước dâng do bão, nước dâng do sóng trong bão, mực nước cực trị trong bão, nguy cơ gây ngập khu vực ven biển Hải Phòng có thể được áp dụng trong xác định mực nước cực trị trong bão, phục vụ cho việc thiết kế các công trình ven biển Hải Phòng. Các kết quả cũng có thể được hoàn thiện để đưa vào ứng dụng cho các vùng duyên hải khác.
2. Cần tiến hành những nghiên cứu thực nghiệm nhằm đưa ra những công thức thực nghiệm về nước dâng do sóng cho khu vực ven biển Hải Phòng nói riêng và Việt Nam nói chung.
3. Cần tiếp tục những nghiên cứu chuyên sâu hơn và mô phỏng các tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng lên các đặc trưng bão trong tương lai cho khu vực ven biển Việt Nam nhằm có được những đánh giá đầy đủ hơn về ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng lên mực nước cực trị trong bão.

**DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN
ÁN**

1. **Nguyễn Xuân Hiền**, Phạm Văn Tiến, Dương Ngọc Tiến, Đinh Văn Ưu (2009), *Ứng dụng mô hình ADCIRC tính toán nước dâng do bão tại khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng trong cơn bão Damrey, 2005*. Tạp chí Khoa học – Khoa học Tự nhiên và công nghệ, (25-3S), tr. 431-438;
2. **Nguyen Xuan Hien**, Đinh Văn Ưu, Trần Thục, Phạm Văn Tiến(2010), *Study on wave setup with the storm surge in Hai Phong coastal and estuarine region*. Journal of Science, Earth Sciences, (26), pp. 82-89;
3. **Nguyễn Xuân Hiền**, Trần Thục, Đinh Văn Ưu (2012), *Đánh giá ảnh hưởng của thủy triều đến nước dâng do bão ở khu vực ven biển Hải Phòng*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, (616), pp. 8-15;
4. **Nguyễn Xuân Hiền**, Trần Thục, Đinh Văn Ưu (2012), *Nghiên cứu, tính toán mực nước cực trị trong bão cho khu vực ven biển Thành phố Hải Phòng*, Tạp chí Khoa học – Khoa học Tự nhiên và công nghệ;

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2012), *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam*, Hà Nội;
2. Chương trình điều tra nghiên cứu biển cấp nhà nước NCKH-06 (2003), *Biển Đông, Tập II, Khí tượng Thủy văn Động lực biển*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội.
3. Lê Trọng Đào, Nguyễn Vũ Thắng, Trần Quang Tiến (1999) *Tính toán thủy triều, nước dâng và tương tác giữa chúng bằng mô hình số trị thủy động*, Đề tài cấp Tổng cục, Tổng cục KTTV.
4. Lê Trọng Đào và nnk (2009), *Nghiên cứu xây dựng hệ thống dự báo tác nghiệp khí tượng thủy văn biển (gồm dòng chảy, sóng và nước dâng do bão) vùng biển Đông và ven biển Việt Nam*”, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội.
5. Nguyễn Xuân Hiền, Hoàng Văn Đại, Khương Văn Hải, Phạm Văn Tiến (2009), “Tính toán và dự báo mực nước và độ mặn cho khu vực cửa sông bằng mô hình số trị”, *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, (578), tr. 22-26.
6. Nguyễn Xuân Hiền, Phạm Văn Tiến, Dương Ngọc Tiến, Đinh Văn Ưu (2009) “Ứng dụng mô hình ADCIRC tính toán nước dâng do bão tại khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng trong cơn bão Damrey 2005”, *Tạp chí Khoa học – Khoa học Tự nhiên và công nghệ*, (25-3S), tr. 431-438.
7. Nguyễn Xuân Hiền, Trần Thục, Đinh Văn Ưu (2012) “Đánh giá sự ảnh hưởng của thủy triều đến nước dâng do bão khu vực Hải Phòng”, *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, (616), tr. 8-14.
8. Nguyễn Xuân Hiền, Trần Thục, Lê Quốc Huy (2010), “Nghiên cứu xu thế biến đổi mực nước biển khu vực biển Đông và vùng ven bờ Việt Nam từ số liệu vệ tinh”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, (592) tr. 9-16.
9. Vũ Như Hoán (1988), *Phương pháp thống kê dự báo nước dâng và mực nước ven biển miền bắc Việt Nam khi bão tới*, Luận án Tiến sĩ, Hà Nội.

10. Trần Hồng Lam, Nguyễn Tài Hợi, Nguyễn Bá Thủy (2006) “Nước dâng do bão - công tác triển khai dự báo bão nghiệp vụ tại Việt Nam”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*. (543), tr. 32-41.
11. Nguyễn Thị Việt Liên (1996), *Mô hình số trị bài toán thủy triều Biển Đông*, Luận án PTS khoa học toán lí, Viện Cơ học, Hà Nội, 1996.
12. Đinh Văn Mạnh và nnk (2011), *Phát triển và hoàn thiện mô hình dự báo sóng bão, nước dâng do bão, thủy triều cho dải ven biển Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Cơ học, Hà nội.
13. Phạm Văn Ninh, Đỗ Ngọc Quỳnh, Đinh Văn Mạnh (1991), *Nước dâng do bão và gió mùa*, Báo cáo tổng kết đề tài 48B.02.02, Hà Nội.
14. Đỗ Ngọc Quỳnh (1999), *Công nghệ dự báo bão nước dâng do bão ven bờ biển Việt Nam*, Báo cáo tổng kết đề tài KT.03.06, Viện Cơ học - Trung tâm Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Quốc gia, Hà Nội.
15. Hoàng Trung Thành (2011), “*Nghiên cứu đặc điểm biến thiên mực nước biển ven bờ Việt Nam*”, Luận án Tiến sĩ, Hà Nội, 2011.
16. Nguyễn Vũ Thắng, *Xây dựng sơ đồ dự tính dự báo nước dâng ở vùng ven biển Hải Phòng*, Luận án tiến sĩ địa lí - địa chất, Viện Khí tượng Thủy văn, Hà Nội, 1999.
17. Bùi Xuân Thông (2000), “Mô hình dự báo nước dâng do bão sử dụng hệ lưới lồng áp dụng cho các lưu vực nhỏ”, *Khí tượng – Thủy văn vùng biển Việt Nam*. NXB Thống kê, Hà Nội.
18. Bùi Xuân Thông, Nguyễn Văn Lai (2008), “Phương pháp xác định mực nước dâng cực đại có thể xảy ra do bão tại khu vực công trình đê biển”, *Tạp chí Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, (23), tr. 48-57.
19. Trần Thục, Dương Hồng Sơn (2012), “Tác động của nước biển dâng đến chế độ thủy triều dọc bờ biển Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, (1), tr 10 – 16.
20. Trần Thục, Nguyễn Xuân Hiền, Trần Hồng Thái (2010), “Nghiên cứu ảnh hưởng của mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn khu vực đồng bằng sông Hồng –Thái Bình”, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, (583), tr. 7-14.

21. Nguyễn Ngọc Thụy (1995), *Thủy triều Biển đông và sự dâng lên của mực nước biển ven bờ Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài KT.03.03, Hà Nội.
22. Trần Tân Tiến và nnk (2010), *Xây dựng công nghệ dự báo liên hoàn bão, nước dâng và sóng ở Việt Nam bằng mô hình số với thời gian dự báo trước 3 ngày*, Báo cáo tổng kết đề tài KC-08.05/06-10, Đại học Quốc gia Hà nội, Hà nội.
23. Nguyễn Thế Tường, Trần Hồng Lam và nnk (2007), *Hợp tác Việt - Trung về nghiên cứu dự báo sóng biển và nước dâng do bão bằng phương pháp số*. Báo cáo tổng kết đề tài, Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia, Hà nội.
24. Đinh Văn Ưu và nnk (2010). *Đánh giá biến động mực nước biển cực trị do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu phục vụ chiến lược kinh tế biển*. Báo cáo tổng kết đề tài KC-09.23/06-10, Hà nội.

Tiếng Anh

25. Blumberg, A.F., and Mellor, G.L. (1987). "A description of a three dimensional coastal ocean circulation model", Three Dimensional Coastal Ocean Circulation Models, American Geophysical Union, Washington, D.C., (4), pp. 1-16.
26. Boose, E. R., D. R. Foster, and M. Fluet (1994). "Hurricanes impacts to tropical and temperate forest landscapes", *Ecological Monographs* (64) pp. 369-400
27. Bowen, A. J.; Inman, D. L.; Simmons, V. P. (1968), "Wave 'Set-Down' and Set-Up", *Journal of Geophysical Research* 73 (8): pp. 2569–2577.
28. Bretschneider, C.L. (1959). "Hurricane surge predictors for Chesapeake Bay", Corps of Engineers, Washington, DC, Technical report, 51p.
29. Chen, Q., Wang, L., Zhao, H., (2008), "An integrated surge and wave modeling system for Northern Gulf of Mexico: simulations for Hurricanes Katrina and Ivan". *Proceedings of 23rd International Conference on Coastal Engineering 2008*, ASCE, pp. 1072-1084
30. Coastal Engineering Research Center (1995), *Coastal Engineering Technical Notes*, Irregular wave runup on beach, CETN I – 60, pp: 1-5

31. Dean R. D., Bender C. J (2006), "Static wave setup with emphasis on damping effects by vegetation and bottom friction", *Proceedings of 23rd International Conference on Coastal Engineering 2006*, (53), pp. 149-56.
32. Dean R. D., Todd L. W. J., (2008), "Wave setup, A start of art review", Florida State University, 26 pp.
33. Federal Emergency Management Agency (2007), *FEMA guidelines and specifications for flood hazard mapping partners*, Atlantic Ocean and Gulf of Mexico Coastal Guideline Updates, Section D.2.6, pp 1 – 16.
34. Flather R. A (1994), "A storm surge prediction model for the Northern Bay of Bengal with application to the cyclone disaster in April 1991". *Journal Physical Oceanography*, (24), pp. 172 - 90.
35. Funakoshi, Y., Hagen, S.C., Bacopoulos, P. (2008), Coupling of hydrodynamic and wave models: case study for Hurricane Floyd (1999) Hindcast. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, (134) pp. 321 – 335.
36. Garrant, J. R. (1977). "Review of drag coefficients over oceans and continents" *Monthly Weather Review* (105), pp. 915-29.
37. Hanslow D. J. and Nielsen P. (1992), *Wave setup on beaches and in river entrances*. Coastal Engineering, ASCE, (23), pp. 240-252.
38. Happer B.A. et. al. (2001), *Queensland Climate Change and Coastal Vulnerability to Tropical cyclones, Stage 3*. Queensland Government, Queensland, Australia.
39. Harris D. L. (1963), *Characteristics of the Hurricane Storm Surge*, United States Department of Commerce, Washington D.C, United States.
40. Hermann M. F. et. al. (2011), *Observations and Modeling of Cyclone Nargis Storm Surge in Myanmar*, ASCE Conference Proceedings (417), pp. 1- 9.
41. Horsburgh, K. J., and Wilson, C. (2007), "Tide-surge interaction and its role in the distribution of surge residuals in the North Sea", *Journal of Geophysical Research*, (112), 12 pp.

42. Jelesnianski, C. P., (1965), "A numerical calculation of storm tides induced by a tropical storm impinging on a continental shelf", *Monthly Weather Review*, (93), pp. 343–358.
43. Jelesnianski, C. P. (1972). SLASH (Special Program to List Amplitudes of Surges from Hurricanes) I: Landfall storms. NOAA Technical Memorandum NWS TDL-46, U.S. Department of Commerce, NOAA, NWS, Silver Springs, MD., 52 pp.
44. Jelesnianski, C. P. (1974). SLASH (Special Program to List Amplitudes of Surges from Hurricanes) II: General track and variant storm conditions. NOAA Technical Memorandum NWS TDL-52, U.S. Department of Commerce, NOAA, NWS, Silver Springs, MD., 55 pp.
45. Karim, M. F., Mimura, N. (2008), "Impacts of climate change and sea-level rise on cyclonic storm surge floods in Bangladesh", *Global Environmental Change* (18), pp. 490– 500.
46. Longuet-Higgins, M. S.; Stewart, R. W. (1962), "Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to 'surf beats'", *Journal of Fluid Mechanics*, (4), 13, pp. 481–504.
47. Longuet-Higgins, M.S., Stewart, R.W., (1963) "A note on wave setup". *Journal of Marine Research*, (21), 4, pp. 4–10.
48. Longuet-Higgins, M.S., Stewart, R.W., (1964). "Radiation stresses in water waves; a physical discussion with application". *Deep Sea Research*, (11), 529–540.
49. Luetich, R. A., Westerink J. J., Scheddner, N. W. (1992). *ADCIRC: An Advanced Three-Dimensional Circulation Model for Shelves, Coasts and Estuaries. Report 1: Theory and Methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL*. U.S. Army Corps of Engineers Technical Report, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 137p.
50. Lynch, D.R., (1983). "Progress in hydrodynamic modeling, review of U.S. contributions". *Reviews of Geophysics and Space Physics*, (30), pp. 741- 754.

51. Mastenbroek, C., Burgers, G., Janssen, P.A.E.M., (1993). “*The dynamical coupling of a wave model and a storm surge model through the atmospheric boundary layer*”, *Journal of Physical Oceanography*, (23), pp. 1856–1866.
52. Miyazaki, M. (1976). *Storm surge. Their Characteristics and Prediction*, Maizuzu Marine Observatory, Japan Meteorology Society, pp.1 – 4.
53. Murty T. S., Flather R. A., Henry R. F. “The storm surge problem in the Bay of Bengal”, *Prog. Oceanog.*, (16), pp. 195 - 233
54. Myers, V.A., Malkin, W., (1961), Some properties of hurricane wind fields as deduced from trajectories. In: National Hurricane Research Project Report, (49). *NOAA, U.S. Department of Commerce*, 43 pp.
55. Nguyen Xuan Hien, Đinh Van Uu, Tran Thục, Pham Van Tien (2010), “Study on wave setup with the storm surge in Hai Phong coastal and estuarine region”, *VNU Journal of Science, Earth Sciences*, (26), pp. 82-89.
56. Nguyen Manh Hung and Duong Cong Dien (2006), “Effect of the storm number 7 (Damrey) on the sea dyke system of Nam Dinh Province”, *Journal of Marine Sciences and Technology* (4), pp. 87-99.
57. Nguyen Manh Hung, Nguyen Khac Nghia and Duong Cong Dien (2008), “Calculation of the wave parameters for sea dyke design and upgrading”, *Vietnam Journal of Mechanics*, (30), pp. 259-268.
58. Pore, N. A. (1965), "Chesapeake Bay Extra tropical Storm Surges" *Chesapeake Science*, (6), pp. 172-182.
59. Prandle D, Wolf K. (1978), “The interaction of surge and tide in the North Sea and River Thames”, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, (55), pp. 203-16.
60. Soo Youl Kim, Tomohiro Yasuda, Hajime Mase (2010), *Wave set-up in the storm surge along open coasts during Typhoon Anita*, *Coastal Engineering, ASCE*, (57), pp. 631–642.

61. Swail V. and Co-Authors (2010), *Storm Surge*, Proceedings of Ocean Observations '09: Sustained Ocean Observations and Information for Society (Vol. 2), Venice, Italy, doi:10.5270/OceanObs09.cwp.88.
62. Tanaka, H. and Shuto, N. (1992), "Field investigation at a mouth of small river", *Proceedings of 23rd International Conference on Coastal Engineering*, pp. 2486-2499.
63. Tanaka, H., H. Nagabayashi and K. Yamauchi (2000), *Observation of wave set-up height in a river mouth*, Coastal Engineering, ASCE (27), pp. 3458-3471.
64. Tanaka, H. and Nguyen X. T. (2008), "Wave Setup at River Mouths in Japan", *Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, (23).
65. Tran Thuc, Duong Hong Son (2012), *Tidal regime along Vietnam coast under impacts of sea level rise*. Journal of Science, Vol. 28, No.2
66. The Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report, 2007.
67. U. S. Army Corps of Engineers, Shore Protection Manual, Volumes I, II and III, U. S. Government Printing Office, 1984.
68. Weaver, R.J., (2004), *Effect of Wave Forces on Storm Surge*, Master Thesis, University of Florida Department of Civil and Coastal Engineering.
69. Wemelsfelder, P. J. (1961), "On the Use of Frequency Curves of Storm Floods", *Proceeding Seventh Conference Coastal Engineering*, pp. 617-632.
70. Westerink, J.J., C.A. Blain, R.A. Luetlich, Jr. and N.W. Scheffner, 1994, ADCIRC: an advanced three-dimensional circulation model for shelves coasts and estuaries, report 2: users manual for ADCIRC-2DDI, Technical Report, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 156p.

71. Xie, L., Liu, H., Peng, M., (2008), “The effect of wave–current interactions on the storm surge and inundation in Charleston Harbor during Hurricane Hugo 1989”. *Ocean Model.* 20, 252–269.
72. Yang, C. Y. et al. (1970), “Statistical prediction of hurricane storm”, *Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering*, (12), pp. 2011-2029.
73. Yang, S. W et al. (2007) *Combined total storm tide frequency restudy for Dog Island in Franklin County, Florida*, Florida State University.
74. Zhang, M.Y., Li, Y.S., 1997. *The dynamic coupling of a third-generation wave model and a 3D hydrodynamic model through boundary-layers*. *Continental Shelf Research* (17), pp. 1141–1170.