BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP & PTNT
TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI

TRẦN QUANG HOÀI

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CHỈ SỐ AN TOÀN VÀ ĐỘ TIN CẬY YÊU CẦU CHO HỆ THỐNG ĐÊ VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY VÀ PHÂN TÍCH RỦI RO

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI, NĂM 2018

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP & PTNT
TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI

TRẦN QUANG HOÀI

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CHỈ SỐ AN TOÀN VÀ ĐỘ TIN CẬY YÊU CẦU CHO HỆ THỐNG ĐÊ VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY VÀ PHÂN TÍCH RỦI RO

Chuyên ngành: Xây dựng Công trình thủy

Mã số: 62-58-40-01

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: **PGS.TS. Mai Văn Công**

GS.TS. Trịnh Minh Thụ

HÀ NỘI, NĂM 2018

LỜI CAM ĐOAN

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tác giả. Các kết quả nghiên cứu cũng như các kết luận trong luận án này là trung thực, không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào dưới bất kỳ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo theo đúng quy định.

Tác giả luận án

Trần Quang Hoài

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình thực hiện luận án tiến sĩ "*Nghiên cứu phương pháp xác định chỉ số an toàn và độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê vùng đồng bằng sông Hồng theo lý thuyết độ tin cậy và phân tích rủi ro*", tác giả đã nhận được sự quan tâm, giúp đỡ, tạo điều kiện về mọi mặt của các cơ quan, đơn vị, các nhà khoa học, bạn bè và đồng nghiệp.

Tác giả xin trân trọng gửi lời cảm ơn tới Ban Giám hiệu Trường Đại học Thủy Lợi, Phòng Đào tạo Đại học và Sau đại học, Khoa Công trình và cơ quan công tác là Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn đã luôn tạo điều kiện thuận lợi trong suốt quá trình thực hiện luận án.

Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến các nhà khoa học đã quan tâm, chia sẻ, đóng góp và bổ sung nhiều thông tin bổ ích thông qua các hoạt động khoa học liên quan đến bản thảo luận án này.

Đặc biệt, tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến PGS.TS.Mai Văn Công và GS.TS.Trịnh Minh Thụ đã tận tình hướng dẫn trong quá trình thực hiện và hoàn thành luận án này.

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN i
LỜI CẢM ƠN ii
MỤC LỤC iii
DANH MỤC CÁC HÌNH vii
DANH MỤC CÁC BẢNG x
CÁC KÝ HIỆU VIẾT TẮT VÀ GIẢI THÍCH CÁC THUẬT NGỮ xii
DANH MỤC KÝ HIỆU CÁC ĐẠI LƯỢNG xv
MỞ ĐẦU 17
1. Tính cấp thiết của đề tài 17
2. Mục đích nghiên cứu 18
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu 18
3.1. Đối tượng nghiên cứu 18
3.2. Phạm vi nghiên cứu 19
4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu 19
4.1. Phương pháp tiếp cận 19
4.2. Phương pháp nghiên cứu 19
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn 20
5.1. Ý nghĩa khoa học 20
5.2. Ý nghĩa thực tiễn 20
6. Cấu trúc của luận án 20
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG ĐÊ PHÒNG CHỐNG LŨ, NGHIÊN CỨU RỦI RO LŨ LỤT VÀ AN TOÀN ĐÊ ĐIỀU 22
1.1. Tổng quan về công tác đê điều phòng chống lũ tại Việt Nam 22
1.2. Công tác phòng chống lũ và các hệ thống đê điển hình trên thế giới 23
1.3. Tổng quan về hệ thống đê vùng Đồng bằng sông Hồng 25
1.3.1. Hệ thống đê vùng Đồng bằng sông Hồng và khu vực nghiên cứu [13] 25
1.3.2. Đánh giá hiện trạng an toàn của hệ thống đê vùng Đồng bằng sông Hồng 27
1.3.3. Phân tích nguyên nhân gây mất ổn định của đê 31

1.4. Đánh giá thực trạng đảm bảo an toàn đê vùng ĐBSH 33
1.5. Phương pháp phân tích an toàn hệ thống đê theo quy định hiện hành 34
1.5.1 Tiêu chuẩn an toàn và phân cấp đê 34
1.5.2 Yêu cầu kỹ thuật trong đánh giá an toàn đê 35
1.6. Phương pháp thiết kế truyền thống và những tồn tại 36
1.7. Tình hình nghiên cứu ứng dụng PTRR & LTĐTC trong an toàn đê điều và rủi ro lũ lụt 37
1.7.1. Ứng dụng trong phân tích, đánh giá an toàn hệ thống đê phòng chống lũ 37
1.7.2. Các kết quả nghiên cứu ứng dụng ở nước ngoài 38
1.7.3. Tình hình nghiên cứu trong nước 41
1.8. Luận giải vấn đề nghiên cứu của luận án 43
1.9. Kết luận Chương 1 45
CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP LUẬN PHÂN TÍCH AN TOÀN VÀ XÁC ĐỊNH ĐỘ TIN CẬY YÊU CẦU CHO HỆ THỐNG ĐÊ 46
2.1. Phương pháp phân tích độ tin cậy trong đánh giá an toàn công trình 46
2.1.1. Khái niệm cơ chế sự cố 46
2.1.2. Phân tích độ tin cậy một cơ chế sự cố theo bài toán Cấp độ III - Mô phỏng ngẫu nhiên Monte-Carlo 49
2.2. Phương pháp phân tích rủi ro hệ thống đê và vùng được bảo vệ 52
2.2.1. Phân tích rủi ro lũ lụt 55
2.2.2. Phương pháp xác định thiệt hại do lũ 57
2.2.3. Xác định rủi ro của hệ thống đê 59
2.2.4. Giá trị rủi ro chấp nhận của hệ thống đê 60
2.2.5. Đánh giá rủi ro 65
2.2.6. Ra quyết định dựa trên kết quả phân tích rủi ro 65
2.3. Phương pháp đánh giá an toàn tổng thể hệ thống đê 65
2.3.1. Khái niệm hệ thống 65
2.3.2. Các hệ thống liên kết cơ bản 66
2.3.3. Phân tích hệ thống 67
2.4. Kết luận 70

CHƯƠNG 3 THIẾT LẬP BÀI TOÁN XÁC ĐỊNH CHỈ SỐ AN TOÀN VÀ ĐỘ TIN CẬY YÊU CẦU CHO HỆ THỐNG ĐÊ 71
3.1. Sơ đồ hóa hệ thống đê phòng chống lũ vùng đồng bằng 71
3.2. Thiết lập sơ đồ cây sự cố cho các hệ thống đặc trưng 72
3.3. Thiết lập cây sự cố chi tiết cho hệ thống đê 74
3.3.1. Cơ chế sự cố do chảy tràn 76
3.3.2. Cơ chế sự cố mất ổn định cấu kiện bảo vệ mái 77
3.3.3. Cơ chế xói chân đê: 79
3.3.4. Cơ chế xói ngầm và đẩy trồi 81
3.3.5. Cơ chế mất ổn định trượt mái – mất ổn định tổng thể 83
3.3.6. Cơ chế chảy tràn đê biển 84
3.3.7. Cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ đối với đê biển 84
3.3.8. Cơ chế sự cố do xói chân đối với đê biển 85
3.3.9. Cơ chế sự cố mất ổn định thấm 86
3.4. Phương pháp xác định độ tin cậy hệ thống đê hiện tại 86
3.5. Phương pháp xác định hiệu ứng chiều dài trong phân tích độ tin cậy hệ thống đê ... 89
3.5.1. Đặt vấn đề 89
3.5.2. Xác định độ tin cậy hệ thống đê khi xem xét hiệu ứng chiều dài đê 91
3.6. Phương pháp xác định độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê 98
3.6.1. Phương pháp xác định giá trị rủi ro chấp nhận 98
3.6.2. Độ tin cây yêu cầu từ giá trị rủi ro chấp nhận dựa theo quan điểm kinh tế 98
3.6.3. Độ tin cậy yêu cầu từ giá trị rủi ro chấp nhận theo quan điểm cộng đồng về nguy cơ thiệt mạng 100
3.7. Kết luận chương 3 101
CHƯƠNG 4 ỨNG DỤNG PHÂN TÍCH ĐỘ TIN CẬY CHO CÁC HỆ THỐNG ĐÊ ĐIỂN HÌNH VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG 102
4.1. Lựa chọn hệ thống đê điển hình vùng đồng bằng sông Hồng và kịch bản phân tích 102
4.1.1. Hệ thống đê điển hình 102
4.1.2. Kịch bản phân tích 102

4.2. Xác định chỉ số an toàn và độ tin cậy yêu cầu của hệ thống đê Hữu Hồng bảo vệ khu vực trung tâm thành phố Hà Nội (HT1) 103
4.2.1. Mô tả hệ thống đê Hà Nội 103
4.2.2. Xác định độ tin cậy và đánh giá an toàn hệ thống đê hiện tại 104
4.2.3. Xác định độ tin cậy yêu cầu hệ thống đê Hà Nội theo rủi ro kinh tế 115
4.3. Xác định chỉ số an toàn và độ tin cậy yêu cầu của hệ thống đê Giao Thủy, Nam Định (HT2) 122
4.3.1. Mô tả hệ thống đê Giao Thủy, Nam Định 122
4.3.2. Xác định chỉ số an toàn hệ thống đê Giao Thủy 125
4.3.3. Xác định độ tin cậy yêu cầu hệ thống đê Giao Thủy theo rủi ro kinh tế 131
4.5. Đề xuất giải pháp nâng cao an toàn và giảm thiểu rủi ro lũ lụt vùng nghiên cứu 137
4.6. Kết luận Chương 4 139
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ 141
1 Kết quả đạt được của luận án 141
2 Những đóng góp mới của luận án 142
3 Những tồn tại: 143
4 Hướng phát triển: 143
5 Kiến nghị 144
DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ 145
TÀI LIỆU THAM KHẢO 146
PHỤ LỤC 150

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1-1: Đê Hữu Hồng đoạn qua Hà Nội 27

Hình 1-2: Giếng xử lý xói ngầm, mạch đùn mạch sủi tại hạ lưu đê Tả Hồng, đoạn qua Nghi Xuyên, Khoái Châu, Hưng Yên. 32

Hình 1-3: Hàm quan hệ giữa mực nước ngập với mức độ thiệt hại cho nhà dân dụng.40

Hình 1-4: Hàm quan hệ giữa thời gian ngập với mức độ thiệt hai cho cây trồng. 40

Hình 1-5: Sơ đồ khối đánh giá thiệt hại dựa vào mô phỏng ngập lụt [12]. 41

Hình 2-1: Phân bố xác suất của hàm độ tin cậy Z [32, 33, 57] 46

Hình 2-2: Định nghĩa biên sự cố [33].....47

Hình 2-3: Quan hệ giữa hàm tải trọng S và hàm sức chịu tải R [54], [55] 47

Hình 2-4: Miền tính toán tích phân của hàm fR,S(R.S) [23] 48

Hình 2-5: Đường đẳng mật độ xác suất của hàm kết hợp fR(X1)fS(X2). Vùng bôi đen thể hiện vùng sự cố X1 < X2 [24] 49

Hình 2-6: Số lượng mẫu yêu cầu N không phụ thuộc vào số biến của hàm Z [19]. 52

Hình 2-7: Sơ đồ nguyên lý phân tích rủi ro 54

Hình 2-8: Các bước cơ bản trong phân tích rủi ro.....55

Hình 2-9: Các bước cơ bản trong phân tích rủi ro [1] 55

Hình 2-10: Sơ đồ mô tả mô hình tính toán thiệt hại do ngập lụt [37]. 58

Hình 2-11: Rủi ro cá nhân tại các nước phương Tây dựa trên cơ sở thống kê các nguyên nhân gây thiệt mạng và tổng số người tham gia các hoạt động [52]. 63

Hình 2-12: Sơ đồ cây sự cố của hệ thống: (a) song song và (b) nối tiếp 66

Hình 2-13: Tổ hợp xác suất sự cố của hai hệ thống cơ bản: (a) song song và (b) nối tiếp. 66

Hình 2-14: Sơ đồ cây sự cố của hệ thống phức hợp.....68

Hình 2-15: Sơ đồ minh họa cây sự cố của một hệ thống đê điển hình.....68

Hình 2-16: Minh họa gán xác suất xảy ra sự cố của hệ thống nối tiếp có các thành phần độc lập.....70

Hình 3-1: Sơ đồ hóa hệ thống đê phòng chống lũ vùng đồng bằng 71

Hình 3-2: Sơ đồ cây sự cố ngập lụt vùng đồng bằng. 72

Hình 3-3: Sơ đồ cây sự cố Hệ thống 1 73

Hình 3-4: Sơ đồ cây sự cố Hệ thống 2 74

Hình 3-5: Sơ đồ cây sự cố ngập lụt tổng quát 76
Hình 3-6: Cơ chế xói ngầm/đẩy trồi 81
Hình 3-7: Cơ chế xói chân đê biển 86
Hình 3-8: Sơ đồ cây sự cố hệ thống đê nhiều thành phần 87
Hình 3-9: Sơ họa tuyến đê gồm nhiều đoạn đê liên tiếp 89
Hình 3-10: Hiệu ứng chiều dài được xem xét theo sự cố tổng hợp của cả đoạn đê 90
Hình 3-11: Hiệu ứng chiều dài được xem xét theo từng cơ chế sự cố của đoạn đê 91
Hình 3-12: Hệ số tương quan đối xứng của biến ngẫu nhiên x 92
Hình 3-13: Sơ họa mặt cắt ngang đê khi gia tăng độ cao ΔH 99
Hình 4-1: Sơ họa hệ thống đê khu vực trung tâm thành phố Hà Nôi 103
Hình 4-2: Mặt cắt ngang đại diện Đoạn 1, đê Hữu Hồng (nguồn: Sở NN&PTNT Hà Nội, 2017) 104
Hình 4-3: Mặt cắt ngang đại diện Đoạn 2, đê Hữu Hồng (nguồn: Sở NN&PTNT Hà Nội, 2017) 104
Hình 4-4: Mặt cắt ngang đại diện Đoạn 3, đê Hữu Hồng (nguồn: Sở NN&PTNT Hà Nội, 2017) 105
Hình 4-5: Sơ đồ cây sự cố cho hệ thống đê Hữu Hồng (HT1) 105
Hình 4-6: Hệ số ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế chảy tràn của HT1 .107
Hình 4-7: Ảnh hưởng của các biến đến cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê của HT1 108
Hình 4-8: Ảnh hưởng của các biến đến cơ chế xói chân đê theo điều kiện (1) của HT1 .110
Hình 4-9: Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế đẩy trồi của HT1 112
Hình 4-10: Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế xói ngầm của HT1 112
Hình 4-11: Đường cong sự cố hệ thống đê Hữu Hồng khi có và không xem xét đến hiệu ứng chiều dài cho kịch bản KB1. 114
Hình 4-12: Đường cong sự cố hệ thống đê Hữu Hồng khi có và không xem xét đến hiệu ứng chiều dài cho kịch bản KB2. 114
Hình 4-13: Sơ họa khu vực nghiên cứu mô phỏng ngập lụt 116
Hình 4-14: Phân bố ngập lụt thời điểm đỉnh lũ (Trường hợp 1). 116
Hình 4-15: Độ sâu ngập lụt ổn định (Trường hợp 1) 117
Hình 4-16: Đường cong thiệt hại cho khu vực thành phố Hà Nội. 117

Hình 4-17: Quan hệ giữa tần suất đảm bảo phòng lũ, tổng chi phí đầu tư, chi phí rủi ro và tổng chi phí của hệ thống HT1 (Hữu Hồng, Hà Nội). 122

Hình 4-18: Bản đồ tổng thể hệ thống đê bảo vệ huyện Giao Thủy, Nam Định (Sở NN&PTNT Nam Định, 2015) 123

Hình 4-19: Mặt cắt ngang đại diện đê biển Giao Thủy (nguồn: Sở NN&PTNT Nam Định, 2017). 124

Hình 4-20: Mặt cắt ngang đại diện đê Hữu Hồng tại Giao Thủy (nguồn: Sở NN&PTNT Nam Định, 2017) 124

Hình 4-21: Sơ họa hệ thống đê phòng chống lũ huyện Giao Thủy – Nam Định 126

Hình 4-22: Sơ đồ cây sự cố hệ thống đê bảo vệ huyện Giao Thủy 127

Hình 4-23: Mặt cắt đại diện đê hiện tại và khi nâng cấp.....132

Hình 4-24: Đường cong thiệt hại được thiết lập với các dữ kiệt thiệt hại trong lịch sử Việt Nam.....135

Hình 4-25: Quan hệ giữa tần suất đảm bảo phòng lũ P_f với Chi phí rủi ro kinh tế R_{pf} và Tổng chi phí nâng cấp của hệ thống C_{tot} cho hệ thống đê Giao Thủy – Nam Định 136

Hình 4-29: Xây dựng thêm tuyến đê dự phòngtạo thành hệ thống song song 2 lớp đê ..138

Hình 4-30: Tạo tuyến đê phụ phân chia vùng có nguy cơ ngập lụt thành các vùng nhỏ hơn 139

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1-1: Hệ số độ rỗng của một số nền cát.....30
Bảng 1-2: Hệ số thấm các lớp đất chính của một số đoạn đê.....30
Bảng 2-1: Chỉ số tình nguyện khi tham gia các hoạt động.....63
Bảng 2-2: Kí hiệu và ý nghĩa của các loại cổng liên kết trong sơ đồ cây sự cố.....69
Bảng 2-3: Ký hiệu của các sự cố/sự kiện trong sơ đồ cây sự cố.....69
Bảng 3-1: Hệ số không đều của lưu tốc η.....80
Bảng 3-2: Ma trận sự cố cho hệ thống đê gồm m đoạn đê và n cơ chế sự cố.....88
Bảng 3-3: Khoảng độc lập của các biến ngẫu nhiên liên quan đến biên tải trọng hệ thống đê [52].....93
Bảng 3-4: Khoảng độc lập của các biến ngẫu nhiên liên quan đến biên độ bền hệ thống đê [52].....93
Bảng 3-5: Các biến ngẫu nhiên liên quan đến sự cố hệ thống đê.....95
Bảng 3-6: Hệ số ảnh hưởng của các biến đến cơ chế sự cố.....96
Bảng 3-7: Ví dụ hiệu ứng chiều dài và đường cong phá hủy của một tuyến đê có chiều dài 10 km.....97
Bảng 4-1: Phân chia đoạn tuyến đê Hữu Hồng qua trung tâm thành phố Hà Nội.....104
Bảng 4-2: Giá trị biến ngẫu nghiên của cơ chế chảy tràn đỉnh đê của HT1.....106
Bảng 4-3: Kết quả phân tích độ tin cậy của cơ chế chảy tràn của HT1.....106
Bảng 4-4: Giá trị biến ngẫu nghiên của cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái.....107
Bảng 4-5: Độ tin cậy của cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê của HT1.....108
Bảng 4-6: Biến ngẫu nhiên theo cơ chế xói chân đê của HT1.....109
Bảng 4-7: Độ tin cậy của cơ chế xói chân đê theo điều kiện (1) của HT1.....110
Bảng 4-8: Độ tin cậy cho cơ chế xói chân đê của HT1.....110
Bảng 4-9: Các biến ngẫu nhiên của cơ chế xói ngầm và đẩy trồi của HT1.....111
Bảng 4-10: Kết quả phân tích độ tin cậy cho cơ chế đẩy trồi của HT1.....111
Bảng 4-11: Độ tin cậy cho cơ chế xói ngầm của HT1.....112
Bảng 4-12: Độ tin cậy cho cơ chế xói ngầm và đẩy trồi (mạch đùn) của HT1.....112
Bảng 4-13: Độ tin cậy cho cơ chế ổn định mái đê của HT1.....113

Bảng 4-14: Tổng hợp kết quả xác định độ tin cậy của hệ thống đê HT1 (đê Hữu Hồng) 115
Bảng 4-15: Tổng hợp độ sâu ngập lụt cho 3 trường hợp.....118
Bảng 4-16: Giá trị thiệt hại trung bình theo các kịch bản mô phỏng ngập lụt 118
Bảng 4-17: Hệ số chi phí nâng cấp của đê Hữu Hồng, Hà Nội.....119
Bảng 4-18: Tần suất đảm bảo và chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê Hữu Hồng.....119
Bảng 4-19: Chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê IΔH và chi phí quản lý vận hành PV(M) cho đê Hữu Hồng, Hà Nội 120
Bảng 4-20: Giá trị rủi ro tiềm tàng do ngập lụt của HT1 121
Bảng 4-21: Tần suất đảm bảo phòng lũ, tổng chi phí đầu tư, chi phí rủi ro và tổng chi phí của hệ thống HT1. 121
Bảng 4-22: Các cơ chế sự cố điển hình 126
Bảng 4-23: Độ tin cậy tuyến đê sông thuộc HT2 128
Bảng 4-24: Độ tin cậy của tuyến đê cửa sông thuộc HT2.....129
Bảng 4-25: Kết quả phân tích độ tin cậy tuyến đê biển thuộc HT2 129
Bảng 4-26: Tổng hợp xác suất sự cố của hệ thống đê HT2 bảo vệ Giao Thủy, Nam Định 131
Bảng 4-27: Hệ số chi phí nâng cấp của đê biển Giao Thủy 132
Bảng 4-28: Tần suất đảm bảo phòng lũ và chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê.....132
Bảng 4-29: Chi phí quản lý vận hành tăng thêm theo tần suất thiết kế của HT2.....133
Bảng 4-30: Chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê IΔH và Chi phí quản lý vận hành PV(M) cho hệ thống đê Giao Thủy – Nam Định (HT2).....134
Bảng 4-31: Tần suất đảm bảo, tổng chi phí đầu tư, rủi ro và tổng chi phí của hệ thống đê HT2. 136

CÁC KÝ HIỆU VIẾT TẮT VÀ GIẢI THÍCH CÁC THUẬT NGỮ

1. Các ký hiệu viết tắt

BĐKH	Biến đổi khí hậu
CDF	Cumulative distribution function - Hàm phân phối lũy tích
DF	Damage function - Hàm thiệt hại
DM	Damage map - Bản đồ thiệt hại
ĐBSH	Đồng bằng sông Hồng
ĐTC	Độ tin cậy
ĐTCYC	Độ tin cậy yêu cầu
PTRR	Phân tích rủi ro
FORM	First order reliability method - Phương pháp độ tin cậy bậc một
PCL	Phòng chống lũ
MCS	Phương pháp mô phỏng ngẫu nhiên Monte Carlo
MÔĐ	Mất ổn định
NBD	Nước biển dâng
PDF	Probability density function - Hàm mật độ xác suất
HT	Hệ thống
KB	Kịch bản
KCBV	Kết cấu bảo vệ
TCAT	Tiêu chuẩn an toàn
TTGH	Trạng thái giới hạn
NNPTNT	Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn
LTĐTC	Lý thuyết độ tin cậy

2. Các thuật ngữ

Bản đồ ngập lụt là bản đồ thể hiện phân bố độ sâu ngập lụt của vùng nghiên cứu.

Bản đồ thiệt hại là bản đồ thể hiện mức độ thiệt hại của vùng được bảo vệ.

Đoạn đê là các thành phần độc lập trong hệ thống đê được xây dựng kết nối với nhau tạo thành hệ thống đê phòng chống lũ.

Chỉ số độ tin cậy - β là chỉ số phản ánh mức độ an toàn của một thành phần công trình hay một hệ thống.

Cơ chế sự cố là quá trình dẫn đến sự cố của một hạng mục công trình, có thể được diễn toán thông qua hàm trạng thái giới hạn (TTGH).

Hàm tin cậy là mô phỏng toán học của một cơ chế sự cố dựa trên phương trình TTGH của cơ chế đó.

Hàm thiệt hại là quan hệ giữa mức độ thiệt hại theo chiều sâu ngập lụt. Hàm thiệt hại nếu trình bày dưới dạng đồ thị còn được gọi là đường cong thiệt hại.

Hệ thống là một nhóm các thành phần hoặc quá trình có chung mục đích và chức năng.

Hệ thống đê là hệ thống công trình có nhiệm vụ phòng chống lũ từ sông và biển cho vùng được bảo vệ.

Hệ thống nối tiếp là hệ thống gồm các thành phần con được liên kết với nhau sao cho sự cố của bất cứ một thành phần con nào thuộc hệ thống sẽ dẫn đến sự cố cho toàn hệ thống.

Hệ thống song song là hệ thống có các thành phần con được liên kết với nhau sao cho khi tất cả các thành phần con gặp sự cố mới dẫn đến sự cố của toàn hệ thống.

Độ tin cậy yêu cầu (ĐTCYC) là giới hạn trên của xác suất xảy ra sự cố hệ thống của một hệ thống công trình. ĐTCYC của một hệ thống công trình đang tồn tại là TCAT thiết kế của hệ thống đó. Đối với một hệ thống mới, ĐTCYC được xác định là giá trị tối ưu từ bài toán phân tích rủi ro, dùng làm căn cứ để quyết định TCAT của hệ thống đó.

Tần suất thiết kế là tần suất xuất hiện tải trọng thiết kế (như lưu lượng hoặc mực nước thiết kế công trình), được xác định theo các quy phạm thiết kế công trình hiện hành.

Tiêu chuẩn an toàn (TCAT) là giá trị tần suất thiết kế theo tiêu chuẩn hiện hành hoặc độ tin cậy yêu cầu được xác định bằng phương pháp PTRR&LTĐTC của một hệ thống công trình sau khi được cấp có thẩm quyền phê duyệt.

Rủi ro là khả năng xảy ra một sự cố không mong muốn đem lại hậu quả xấu. Rủi ro được xác định bằng hàm số của xác suất xảy ra sự cố và hậu quả do sự cố đó gây ra.

Rủi ro chấp nhận là giá rủi ro tương ứng với độ tin cậy yêu cầu được xác định bằng phương pháp PTRR của của hệ thống công trình PCL. Độ tin cậy yêu cầu tương ứng với giá trị rủi ro được chấp nhận chính là độ tin cậy hợp lý của hệ thống PCL đang xem xét.

Xác suất sự cố - P_f là khả năng xảy ra sự cố của một cơ chế sự cố, một thành phần công trình hay toàn bộ công trình. Quan hệ giữa xác suất sự cố với chỉ số độ tin cậy β theo hàm số: $Pf = \Phi(-\beta)$.

Xác suất an toàn là giá trị xác suất bù của xác suất sự cố: $Ps = 1 - Pf$.

Vùng được bảo vệ là vùng được bao bọc bởi hệ thống đê. Trong trường hợp hệ thống đê gặp sự cố thì vùng được bảo vệ sẽ bị ngập lụt.

DANH MỤC KÝ HIỆU CÁC ĐẠI LƯỢNG

$[S]$	Độ lún cho phép của công trình
$[SF]$	Hệ số an toàn ổn định trượt cho phép
ΔH	Chênh lệch cột nước áp lực
α	Góc giữa mái đê phía đồng với mặt đất tự nhiên
β	Chỉ số độ tin cậy từ bài toán phân tích rủi ro
ρ_c	Khối lượng riêng bão hòa của đất
ρ_w	Khối lượng riêng của nước
$c = c_B$	Hệ số Blight trong phương trình TTGH của cơ chế xói ngầm
$C(I_{Pfi})$	Chi phí đầu tư xây dựng mới hoặc nâng cấp hệ thống
C_{tot}	Tổng chi phí của hệ thống
D	Thiệt hại kinh tế của vùng được bảo vệ khi xảy ra lũ lụt
d_h	Chiều sâu nước trung bình trước chân đê
d	Chiều dày lớp đất (sét) mặt bãi phía đồng của đê
Δ_h	Chiều cao nước dềnh do gió
D_i	Thiệt hại kinh tế tại ô lưới thứ *i* trong vùng được bảo vệ khi hệ thống bị sự cố
$E(D)$	Kỳ vọng toán của thiệt hại kinh tế khả dĩ
$E(M)$	Kỳ vọng toán của chi phí duy tu bảo dưỡng khả dĩ hàng năm
e_{1i}	Hệ số rỗng của lớp đất thứ *i* trước khi gia tải
e_{2i}	Hệ số rỗng của lớp đất thứ *i* sau khi gia tải
$f_j(h_i)$	Giá trị thiệt hại của ô lưới thứ *i*, ứng với độ ngập sâu *h* của đối tượng thiệt hại thứ *j*, xác định được từ đường cong thiệt hại thành phần
g	Gia tốc trọng trường
γ_k	Trọng lượng riêng khô của đất nền
γ_n	Trọng lượng riêng của nước
I	Chi phí đầu tư xây dựng và nâng cấp hệ thống đê
J_0	Gradient dòng thấm
$[J]$	Gradient dòng thấm cho phép

k	Hệ số thấm
K	Hệ số an toàn ổn định
$[K]$	Hệ số an toàn ổn định cho phép
L_f	Đà gió dùng tính chiều cao nước dềnh và sóng
P_f	Xác suất xảy ra sự cố
$PV(M_{Pf})$	Chi phí ròng quản lý vận hành (M) trong thời gian tuổi thọ công trình
$PV(P_f.D)$	Giá trị ròng rủi ro kinh tế khi xảy ra lũ với xác suất xảy ra P_f
R	Biến ngẫu nhiên độ bền
R_{Pi}	Rủi ro tiềm tàng khi sự cố công trình xảy ra với xác suất sự cố Pi
r	Tỷ lệ lãi suất hiệu quả
S	Biến ngẫu nhiên tải trọng
SF	Hệ số an toàn ổn định của mái dốc
T	Tuổi thọ công trình được tính bằng năm
t	Chiều dày tầng thấm
v_w	Vận tốc gió
Z	Hàm tin cậy của một cơ chế sự cố có dạng $Z = R - S$
$Z_{đê}$	Cao trình đỉnh đê
$Z_{đỉnh\ kè}$	Cao trình đỉnh kè

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Thiên tai là mối lo truyền kiếp của nhân loại. Trong kinh Thánh đã miêu tả những trận đại hồng thủy với sức tàn phá kinh hoàng. Trong thực tế, thiên tai đã và đang xảy ra ngày càng trở nên khốc liệt với tần suất xuất hiện lớn, trái quy luật và xảy ra tại hầu hết các khu vực trên trái đất.

Những quốc gia có nền khoa học công nghệ tiên tiến hàng đầu như Hoa Kỳ cũng chịu thiệt hại rất lớn từ lũ lụt. Theo số liệu thống kê từ năm 1998 đến 2017, tổng thiệt hại do thiên tai lũ lụt lên tới 1.500 tỷ USD.

Việt Nam là một quốc gia nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa có địa hình phong phú với đường bờ biển dài trên 3200km và hệ thống sông ngòi dày đặc. Các vùng đồng bằng lớn thuộc hai hệ thống sông lớn là sông Hồng và sông Cửu Long. Thiên tai xảy ra ở Việt Nam đa dạng với trên 21 loại hình [2], trong đó bão và lũ lụt là loại hình thiên tai điển hình có sức tàn phá lớn nhất. Ví dụ như trận lụt năm 1971 xảy ra tại đồng bằng sông Hồng đã làm thiệt mạng trên 10.000 người và 250.000 ha nông nghiệp bị ngập úng. Lũ năm 1996 làm thiệt mạng gần 1000 người và gây ngập lụt trên diện rộng tại nhiều nơi thuộc 6 tỉnh miền Bắc. Tại miền Trung, lũ lụt thường xuyên xảy ra do mưa tập trung và địa hình dốc. Như trận lũ xảy ra năm 1999 gây ảnh hưởng đến 12 tỉnh trong khu vực miền Trung và gây thiệt mạng 750 người. Tại Đồng bằng sông Cửu Long xảy ra lũ năm 2000 làm 539 người chết. Theo ước tính của Ngân hàng Thế giới, thiệt hại về kinh tế hằng năm do thiên tai xảy ra tại Việt Nam chiếm khoảng từ 1% đến 1,5% GDP và làm thiệt mạng trung bình trên 300 người/năm.

Theo chiến lược Quốc gia về phòng chống và giảm nhẹ thiên tai thì hệ thống đê điều là giải pháp công trình quan trọng nhất và đã được luật hóa bởi Luật Đê điều (2006) [3]. Quá trình hình thành và phát triển hệ thống đê điều luôn gắn liền với đời sống và hoạt động sản xuất của nhân dân từ đời này qua đời khác. Phần lớn các tuyến đê hiện nay đều được kết hợp làm đường giao thông trong đó nhiều tuyến đê đi qua các khu du lịch, đô thị, kinh tế và dân cư tập trung.

Trong điều kiện phát triển kinh tế xã hội của đất nước hiện nay, những yêu cầu về việc bảo vệ các khu dân cư và kinh tế trước tác động của bão, lũ và nước dâng ngày càng lớn hơn. Bên cạnh các biện pháp bảo vệ như phát triển rừng phòng hộ đầu nguồn, xây dựng các hồ chứa điều tiết lũ, phòng chống xói lở lòng dẫn, các cống ngăn triều, hệ thống trạm bơm tiêu,… thì việc củng cố và nâng cấp các hệ thống đê sông và đê biển trên toàn quốc, xây dựng tổ chức quản lý và hoàn thiện hành lang pháp lý ngày càng trở nên cấp bách.

Hệ thống đê vùng đồng bằng sông Hồng là công trình xây dựng của nhiều thế hệ người Việt, nó gắn bó với lịch sử tồn tại và phát triển của đất nước, với cuộc sống của cộng đồng dân cư trong khu vực. Do quá trình xây dựng và phát triển lâu dài, nền đê không được xử lý khi đắp, vật liệu đắp đê không đồng đều, trải qua thời gian đã xuất hiện nhiều ẩn họa trong thân và nền đê. Hàng năm sự cố về đê điều vẫn xảy ra, gây thiệt hại vật chất và đe dọa tính mạng của người dân, ảnh hưởng đến an sinh xã hội. Trong khi đó các phương pháp tính toán và đánh giá an toàn của hệ thống đê theo phương pháp truyền thống còn có hạn chế, chưa đánh giá được sát đúng mức độ an toàn của hệ thống đê, chưa hỗ trợ được một cách tin cậy cho việc ra quyết định về đầu tư cải tạo nâng cấp đê. Vì vậy đề tài nghiên cứu của Luận án là có tính cấp thiết.

2. Mục đích nghiên cứu

Mục đích nghiên cứu của luận án này là xây dựng được phương pháp đánh giá, xác định chỉ số an toàn và độ tin cậy yêu cầu của hệ thống đê vùng đồng bằng sông Hồng cho điều kiện hiện tại và tương lai khi xét đến BĐKH và phát triển kinh tế xã hội.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của đề tài là hệ thống đê bảo vệ vùng hạ du đồng bằng, bao gồm các đoạn đê sông, đê cửa sông, đê biển. Hai trường hợp đại diện sẽ được ứng dụng tính toán cụ thể trong luận án này, bao gồm:

- Hệ thống đê sông vùng đồng bằng để bảo vệ thành phố đông dân cư (HT1): Hệ thống đê Hữu Hồng bảo vệ khu vực trung tâm thành phố Hà Nội;

- Hệ thống đê phức hợp gồm tuyến đê sông - đê cửa sông - đê biển tạo thành vòng bảo vệ khép kín cho vùng dân cư ven biển (HT2): Hệ thống đê bảo vệ khu vực ven biển thuộc huyện Giao Thủy, tỉnh Nam Định.

3.2. Phạm vi nghiên cứu

Đánh giá mức độ an toàn và ổn định của hệ thống đê dưới yếu tố tác động chính là mực nước lũ phía sông, mực nước phía biển, các yếu tố tải trọng và độ bền thường xuyên của công trình. Trong phân tích độ tin cậy, tính ngẫu nhiên của tải trọng và độ bền được xem xét, tuy nhiên không xem mức độ suy giảm độ bền theo thời gian. Ngoài ra, các tải trọng đặc biệt như động đất và mưa cục bộ không được kể đến trong nghiên cứu này. Độ tin cậy của các công trình qua đê không phân tích cụ thể trong phần ứng dụng.

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

4.1. Phương pháp tiếp cận

Các phương pháp tiếp cận được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: tiếp cận hệ thống, tiếp cận tổng hợp, tiếp cận bền vững và tiếp cận hiện đại.

- ✓ Tiếp cận hệ thống: Tuyến đê và vùng được bảo vệ được xem xét là một hệ thống hoàn chỉnh;
- ✓ Tiếp cận tổng hợp: Xem xét đầy đủ các yếu tố kinh tế, kỹ thuật và xã hội;
- ✓ Tiếp cận bền vững: Xét đến sự thay đổi của điều kiện biên trong tương lai như BĐKH-NBD, phát triển kinh tế - xã hội;
- ✓ Tiếp cận hiện đại: Sử dụng các lý thuyết và phương pháp tính toán hiện đại, tin cậy để giải quyết.

4.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu sử dụng trong luận án là lý thuyết độ tin cậy (LTĐTC) và phân tích rủi ro(PTRR). Ngoài ra, còn có phương pháp kế thừa, phương pháp chuyên gia, phương pháp xác suất thống kê và phương pháp mô hình toán.

Các công cụ mô hình toán và phần mềm chuyên sâu được sử dụng để tính toán cụ thể cho các trường hợp nghiên cứu gồm: BESTFIT (phân tích thống kê số liệu biên tải trọng và biên độ bền, xác định kiểu hàm phân phối xác suất và các đặc trưng thông kê như kỳ

vọng toán, độ lệch chuẩn…); PROB2B (phân tích độ tin cậy các thành phần công trình thuộc hệ thống đê); OpenFTA (phân tích độ tin cậy hệ thống xác định xác suất sự cố hệ thống); Bộ mô hình MIKE (mô phỏng biến trình độ sâu ngập lụt và xây dựng bản đồ ngập lụt để phục vụ xác định thiệt hại cho các kịch bản vỡ đê).

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

5.1. Ý nghĩa khoa học

Phát triển ứng dụng của phương pháp phân tích rủi ro và lý thuyết độ tin cậy để xác định mức đảm bảo an toàn cho hệ thống đê hiện tại và độ tin cậy yêu cầu của đê được nâng cấp trong tương lai nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn quy mô đầu tư và giải pháp nâng cấp đê.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

Xác định được chỉ số an toàn hiện tại và độ tin cậy yêu cầu đến năm 2050 cho hai hệ thống đê điển hình khu vực đồng bằng sông Hồng (đê Hữu Hồng bảo vệ khu vực trung tâm Hà Nội, đê biển bảo vệ khu vực Giao Thủy, Nam Định). Các kết quả tính toán và phân tích được kiến nghị để lựa chọn quy mô và giải pháp đầu tư nâng cấp đê.

6. Cấu trúc của luận án

Ngoài phần Mở đầu và Kết luận, luận án bao gồm 4 chương chính như sau:

Chương 1: Trình bày tổng quan tình hình rủi ro lũ lụt tại Việt Nam, lịch sử hình thành phát triển và thực trạng an toàn hệ thống đê vùng ĐBSH; tình hình phát triển và ứng dụng phương pháp PTRR & LTĐTC trong đánh giá an toàn hệ thống đê và luận giải vấn đề nghiên cứu của luận án.

Chương 2: Trình bày phương pháp luận và cơ sở khoa học phân tích an toàn hệ thống đê bằng lý thuyết rủi ro và phân tích độ tin cậy.

Chương 3: Xây dựng các bài toán ứng dụng PTRR & LTĐTC để xác định các chỉ số an toàn hiện tại và độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê vùng đồng bằng. Thiết lập sơ đồ và thuật giải các bài toán ứng dụng cho các hệ thống đê đặc trưng.

Chương 4: Áp dụng các bài toán xây dựng tại Chương 3 tính toán cụ thể xác định chỉ số an toàn hiện tại và độ tin cậy yêu cầu cho hai hệ thống đê điển hình vùng ĐBSH. Trên cơ sở

đó khái quát hóa kết quả tính toán và kết luận về an toàn phòng lũ cho hai trường hợp nghiên cứu điển hình.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG ĐÊ PHÒNG CHỐNG LŨ, NGHIÊN CỨU RỦI RO LŨ LỤT VÀ AN TOÀN ĐÊ ĐIỀU

1.1. Tổng quan về công tác đê điều phòng chống lũ tại Việt Nam

Suốt chiều dài lịch sử dựng nước và giữ nước, các thế hệ người Việt Nam đã sớm có những giải pháp hữu hiệu phòng, chống những diễn biến bất lợi của tự nhiên. Truyền thuyết về Sơn Tinh – Thủy Tinh là hình ảnh sống động về kỳ tích của nhân dân ta đắp đê phòng lụt. Cách đây 2200 năm, huyện (Kinh đô) Phong Khê thời An Dương Vương (257 năm trước công nguyên) đã có đê ngăn lũ (Giao Châu Ký, do Hậu Hán thư dẫn). Năm Mậu Tí (1088) vua Lý Nhân Tông cho đắp đê Cơ Xá để bảo vệ kinh thành Thăng Long, đến Năm 1099 đắp đê trên toàn tuyến sông Hồng. Thời nhà Nguyễn (1802 – 1882) [4], trong 27 năm đầu (1802 – 1829) đã đắp được 145 km đê công (trong tổng số đê đắp được ở toàn Bắc Bộ lúc bấy giời là 954 km) và 400 km đê tư. Những năm tiếp theo mở rộng thêm nhiều tuyến đê khắp khu vực đồng bằng sông Hồng, sông Thái Bình [5]. Đê được phân làm 2 loại: Đê công là đê sông lớn, đê tư là đê sông nhỏ" Đối với đê công hoàn toàn do Nhà nước đài thọ nguyên vật liệu và bỏ tiền thuê dân làm hoặc huy động binh lính làm. Đối với đê tư, Nhà nước quy định quy cách và quản lý về chủ trương cho dân đắp hay không … nhưng vật liệu hoặc nhân công hoàn toàn do dân tự đài thọ [6].

Thời Pháp thuộc (1883 – 1945) Trong thời này ít nhất đã có 8 lần vỡ đê sông Hồng: 1893, 1904, 1911, 1913, 1915, 1924, 1926, 1945 và 3 lần vỡ đê sông Thái Bình: 1893, 1926, 1945. Từ năm 1883 hàng năm việc củng cố đê theo từng vụ lũ, tiến hành đắp mở rộng mặt cắt ngang, nâng cao trình, khối lượng đắp đê trong thời kỳ này đạt 87 triệu m^3, bình quân 1,4 triệu m^3/năm. Đến năm 1945 đê sông Hồng chống được mức lũ H_{max}= 12m tại Hà Nội và đê sông Thái Bình chống được mức lũ H_{max} = 5,5m tại Phả Lại [6].

Sau cách mạng tháng 8 năm 1945, Nhà nước Việt Nam dân chủ cộng hòa non trẻ mới ra đời, cùng với những quyết sách lớn về xây dựng đất nước, chống thù trong, giặc ngoài. Mặc dù bận trăm công nghìn việc nhưng Chủ tịch Hồ Chí Minh đã dành sự quan tâm đặc biệt đến công tác đê điều. Ngày 22 tháng 5 năm 1946 Hồ Chủ Tịch đã ký và ban hành Sắc lệnh số 70 – SL lập ở Bắc Bộ một Ủy ban Trung ương hộ đê. Trong đó quy định rõ trách nhiệm, tổ chức đề ra luật lệ và biện pháp để phòng lũ, lụt. Trong khoảng thời gian từ sau năm 1945 đến thập niên 90 của thế kỷ XX công tác củng cố, tu bổ đê điều được Đảng,

Nhà nước quan tâm đặc biệt, việc đắp đê đã được thực hiện trong nhiều thập kỷ với 260 triệu khối đất đắp đê, bình quân 5 triệu m^3/năm. Cùng với việc củng cố, tu bổ, công tác quản lý, sử dụng đê điều cũng được quan tâm đặc biệt bằng việc xây dựng, ban hành thể chế, đào tạo nguồn nhân lực, tổ chức bộ máy chuyên môn từ Trung ương đến cơ sở phục vụ nhiệm vụ quản lý sử dụng hàng chục nghìn km đê sông, đê biển, đê bao, bờ bao để chống lũ, ngăn mặn trên phạm vi toàn quốc. Trong đó riêng khu vực đồng bằng Bắc Bộ và Bắc bộ và Khu 4 cũ, hiện có khoảng 5.000 km bao gồm đê sông, đê cửa sông và đê biển, trong đó chiều dài các tuyến đê sông từ cấp III đến cấp đặc biệt khoảng 2.406km.

Hầu hết các tuyến đê sông được hình thành từ rất xa xưa, mang tính tự phát và ở thời kỳ khoa học kỹ thuật thuỷ lợi chưa phát triển, cho nên nhiều đoạn đê hiện nay chúng ta có thể thấy không hợp lý như đê đi qua các vùng có địa hình phức tạp và khoảng cách giữa hai tuyến đê quá rộng hoặc là quá hẹp. Trải qua các trận lũ lớn, đê đã nhiều lần được tôn cao và mở rộng hơn. Do đê được cải tạo qua nhiều giai đoạn và bằng nhiều loại đất khác nhau với trình độ và chất lượng thi công khác nhau nên chất lượng giữa các đoạn đê trong một tuyến không đồng đều. Việc đắp đê trước đây hoàn toàn bằng thủ công, sử dụng vật liệu tại chỗ được khai thác ở ngay sát chân đê tạo ra địa hình thùng trũng gây bất lợi cho sự ổn định của đê.

Trong giai đoạn hiện nay, chương trình nâng cấp đê sông và đê biển thực hiện theo QĐ 2068/BNN đã và đang triển khai tại một số tuyến đê trọng yếu. Việc nâng cấp bao gồm giữ nguyên phần thân đê cũ, áp trúc, tôn cao và mở rộng hầu hết được thi công cơ giới với chất lượng cơ bản đảm bảo theo thiết kế và cơ bản đáp ứng được mức đảm bảo an toàn yêu cầu. Tuy nhiên, theo các quy định hiện hành thì việc phân cấp và nâng cấp các hệ thống đê chưa xem xét được các yếu tố có thể thay đổi trong điệu kiện hiện tại và trong tương lai như ảnh hưởng của BĐKH, nước biển dâng cũng như các tác động trực tiếp và gián tiếp của quá trình phát triển kinh tế xã hội [7].

1.2. Công tác phòng chống lũ và các hệ thống đê điển hình trên thế giới

Không chỉ tại Việt Nam, lũ lụt luôn là mối đe dọa nghiêm trọng với nhiều quốc gia trên thế giới. Đê điều là giải pháp chủ yếu và quan trọng nhất với các quốc gia có các dòng sông lớn chảy qua và các vùng đất trũng dọc theo dải ven biển. Các trận lũ lụt lịch sử tại

một số quốc gia đã gây ra tổn thất nặng nề về người và và tài sản có thể kể đến như tại Hà Lan năm 1953 thiệt hại 18 tỉ USD kèm theo trên 11.000 người; Banglades 2003 trên 10.000 người; Mỹ vỡ đê năm 2005 gây thiệt mạng gần 10.000 người và thiệt hại kinh tế lên đến trên 50 tỉ USD [8].

Sau mỗi sự kiện lũ lụt lịch sử, các quốc gia trên thế giới lại nâng cao ý thức bảo vệ an toàn phòng chống lũ hơn bằng các chính sách đầu tư mới, các chương trình nâng cấp an toàn các hệ thống đê và công trình phòng chống lũ.

Hà Lan là một đất nước có trên 65% diện tích nằm dưới mực nước biển trung bình và mực nước lũ trong sông. Do đó công tác đê điều là việc sống còn và việc xây dựng phát triển các tuyến đê sông, đê biển đã có một quá trình lịch sử lâu dài Hà Lan đã trở thành một biểu tượng của thế giới trong công tác phòng chống lũ. Sau khi xây dựng tuyến đê ngăn biển Bắc, Afsluitdijk, người Hà Lan bắt đầu nghiên cứu xây dựng các hệ thống đê, đập vùng đồng bằng hạ du sông Rhine. Quy hoạch đã được phát triển để rút ngắn các đường bờ biển và biến đồng bằng thành một nhóm các hồ nước ngọt. Tuy nhiên, do Thế chiến thứ hai, rất ít các động thái được thực hiện từ sau khi hoàn thành đê Afsluitdijk [9]. Cho đến thảm họa lũ Biển Bắc năm 1953, một loạt tuyến đê biển phía Nam bị vỡ gây ngập lụt nghiêm trọng trên diện rộng, thiệt hại nặng nề về người và tài sản. Ủy ban Đồng bằng đã được thành lập để lập ra chiến lược quy hoạch phòng chống lũ biển cho vùng đồng bằng, thực hiện các nghiên cứu về nguyên nhân và đưa ra các giải pháp để ngăn chặn những thảm họa như vậy trong tương lai. Một phần quan trọng của Dự án đồng bằng này là thực hiện các nghiên cứu cơ bản cần thiết để giúp giải quyết triệt để vấn đề lũ lụt. Thay vì sử dụng phương pháp phân tích lũ lụt lịch sử và xây dựng các tuyến đê đủ để đối phó với các trận lũ lịch sử, Ủy ban Đồng bằng đã đi tiên phong trong việc xây dựng khung khái niệm về tiêu chuẩn an toàn liên quan đến vốn đầu tư và rủi ro của vùng được bảo vệ. Theo đó các vùng trũng ven sông, sát biển được bảo vệ bởi các vòng đê khép kín. Khu vực quan trọng nhất được bảo vệ các "vòng đê" với tần suất thiết kế là 1/10.000 năm; các khu vực khác được bảo vệ với tần suất thiết kế trong khoảng từ 1/4.000 năm đến 1/1.250 năm [10]. Công trình chắn lũ biển dạng đóng mở được tiêu biểu nhất thuộc dự án Đồng bằng là đập-cống ngăn triều Eastern-Scheldt. Tiếp theo đó, việc nâng cấp tuyến đường thủy quan trọng (cửa vào của cảng Rotterdam) Nieuwe

Waterweg và việc tăng cường phòng lũ cho khu vực cảng đã đòi hỏi phải xây dựng đập chắn lũ biển nổi tiếng thứ 2, Maeslantkering.

Tại các quốc gia châu Âu khác như Đức, Pháp, Anh, vấn đề nâng cấp các hệ thống đê sông được đặc biệt chú trọng sau sự kiện lũ lụt sử xảy ra những năm 90 và 2000 trên các hệ thống sông Rhine, Meuse và Theme. Chương trình nghiên cứu chung về an toàn phòng chống lũ và rủi ro ngập lụt FLOODsite đã được triển khai và có phạm vi ảnh hưởng bao trùm toàn bộ hầu hết các nước châu Âu. Kết quả chính của chương trình này là các quốc gia đồng loạt thống nhất mức đảm bảo an toàn hệ thống đê với tần suất thiết kế từ 1/100 năm lên 1/1.000 đến 1/4.000 năm [11].

Tại Mỹ sau sự kiện vỡ đê tại New Orleans do bão Katrina, tháng 9/2005 các tuyến đê biển và đê cửa sông đã được nâng cấp lên với tần suất thiết kế 1/1.000 năm. Tại Trung Quốc, các tuyến đê sông quốc gia dọc theo các hệ thông sông chính như Trường Giang và Hoàng Hà (phần hạ du) đang từng bước được nâng cấp đến mức đảm bảo phòng lũ là 1/250 đến 1/500 năm [12].

Nhìn chung, với các quốc gia có các dòng sông lớn chảy qua và có vùng đất trũng dọc theo dải ven biển thì vấn đề giảm thiểu rủi ro lũ lụt luôn được chú trọng hàng đầu và việc đầu tư xây dựng, nâng cấp các hệ thống đê hiện vẫn đang là giải pháp chủ yếu.

1.3. Tổng quan về hệ thống đê vùng Đồng bằng sông Hồng

1.3.1. Hệ thống đê vùng Đồng bằng sông Hồng và khu vực nghiên cứu [13]

Hệ thống đê vùng đồng bằng sông Hồng (Bắc bộ) bao gồm nhiều tuyến đê sông thuộc hệ thống sông Hồng và sông Thái Bình. Trong đó các tuyến đê dọc theo sông Đà , đê sông Thao, sông Lô, sông Phó Đáy, sông Hồng, sông Đuống, sông Luộc, sông Trà Lý, sông Đào, sông Ninh Cơ và sông Đáy là các tuyên đê thuộc hệ thống sông Hồng (sông Đáy đến địa phận Ninh Bình có đê sông Hoàng Long). Các tuyến đê sông Thương, sông Lục Nam, sông Công, sông Cầu, sông Kinh Thày, sông Kinh Môn, sông Lai Vu, sông Thái Bình, sông Rạng, sông Gùa, sông Mới, sông Lạch Tray, sông Văn Úc là các tuyến đê thuộc hệ thống sông Thái Bình. Các tuyến đê biển bảo vệ bờ biển thuộc địa bàn các tỉnh, thành phố: Hải Phòng, Thái Bình, Nam Định và Ninh Bình.

Thành phố Hà Nội là một trong những địa phương có nhiều đê, từ cấp III đến cấp đặc biệt Theo đánh giá của cơ quan quản lý về đê điều, các tuyến đê của Hà Nội hiện đủ cao

trình để chống lũ nhưng trong nhiều năm qua, hầu hết các tuyến đê chưa có cơ hội để "thử thách" trước những trận lũ lớn. Đáng lo ngại hơn là nền của các tuyến đê hiện rất phức tạp, nhiều đoạn địa chất xấu, đầm, hồ ao ven đê nhiều, trong mùa lũ thường xuất hiện mạch sủi, giếng sủi, gây ra ẩn họa rất khó lường. Hà Nội hiện có 20 tuyến đê chính dài khoảng 470 km, trong đó có hơn 37 km đê hữu Hồng là đê cấp đặc biệt; 211,5 km đê cấp I (hữu Hồng, tả Hồng, hữu Đuống, tả Đáy); 67,4 km đê cấp II (hữu Đà, tả Đáy, La Thạch, Ngọc Tảo, tả Đuống); 87,3 km đê cấp III (Vân Cốc, Tiên Tân, Quang Lãng, Liên Trung, hữu Cầu, tả-hữu Cà Lồ) và 65,8 km đê cấp IV (tả Tích, tả Bùi, Đường 6 Chương Mỹ, Mỹ Hà). Ngoài ra, Hà Nội còn có 27 tuyến đê bối dài 82,5 km. Theo Chi cục đê điều và phòng chống lụt bão Hà Nội, cả hệ thống đê chống lũ thường xuyên và hệ thống đê phân lũ đều đáp ứng đủ khả năng chống lũ theo thiết kế hoặc vượt mức thiết kế. Tuy nhiên, do nhiều năm chưa chống chịu với bão lũ lớn nên ở nhiều đoạn tiềm ẩn nguy cơ cao xảy ra sự cố khi có báo động lũ.

Nam Định là tỉnh nằm ở phía Nam đồng bằng Bắc Bộ, phía hạ lưu sông Hồng, sông Đáy và cũng là địa phương giáp biển. Vì vậy tỉnh Nam định có các tuyến đê sông, đê cửa sông thuộc bờ hữu sông Hồng, tả sông Đáy, tả và hữu sông Đào, tả và hữu sông Ninh Cơ, Tả hữu sông Sò và tuyến đê biển đi qua ba huyện: Giao Thủy, Hải Hậu và Nghĩa Hưng. Hệ thống đê sông và cửa sông của Nam Định có chiều dài 421,0.039 km, trong đó 8,135 km đê cấp I, 80 km đê cấp II, 185,058 km đê cấp III. Đê biển Nam Định có tổng chiều dài 137,19 km. Các tuyến đê này về cơ bản đủ cao trình chống được lũ thiết kế, ở những đoạn đê sát sông được làm kè bảo vệ mái phía sông và đắp cơ phản áp phía đồng. Trải qua quá trình chống lũ, khi gặp lũ với mức nước bằng hoặc thấp hơn mức nước lũ thiết kế, mặc dù chưa xảy ra sự cố lớn nhưng các tuyến đê sông thường xuất hiện các sự cố như sạt mái đê, thấm qua thân, thấm qua nền đê tạo thành các mạch đùn, mạch sủi mang theo cát. Tuy nhiên, những trận lũ lớn đã xuất hiện trong giai đoạn vừa qua chưa gặp tổ hợp bất lợi như lũ cao gặp triều cường trong bão, nếu tổ hợp này xảy ra thì vấn đề an toàn của hệ thống đê sẽ rất đáng lo ngại . Về đê biển, tỉnh Nam Định là một trong số các tỉnh có tuyến đê biển khá dài ở khu vực đồng bằng Bắc bộ, các tuyến đê biển hầu hết được đắp bằng vật liệu khai thác tại chỗ (chủ yếu là cát,) phía ngoài được phủ lớp đất và có kè bảo vệ. Đê được thiết kế chống được bão cấp 9 với mức triều trung bình. Vì vậy, khi xảy ra bão lớn hơn mức thiết kế xảy ra đồng thời tại thời điểm

gặp triều cường thì sự cố có thể sẽ xảy ra. Điển hình như cơn bão số 7 năm 2005 đã gây ra vỡ đê tại một số đoạn thuộc địa bàn Nam Định do bị sóng tràn, sạt mái phía đồng.

Hình 1-1: Đê Hữu Hồng đoạn qua Hà Nội

1.3.2. Đánh giá hiện trạng an toàn của hệ thống đê vùng Đồng bằng sông Hồng

Trên cơ sở phân tích và tổng hợp từ các báo cáo đánh giá chất lượng đê điều trước mùa bão lũ hàng năm của Cục Quản lý đê điều và Phòng chống lụt bão (nay là Vụ Quản lý Đê điều) [13], hiện trạng an toàn và chất lượng đê dọc theo hệ thống sông Hồng được đánh giá như sau:

1.3.2.1. Về khả năng chống lũ

Phần lớn các tuyến đê sông lớn thuộc hai hệ thống sông Hồng và sông Thái Bình đã có cao trình đỉnh đê đủ khả năng chống tràn với mực nước lũ thiết kế quy định nhưng độ cao gia tăng vẫn còn một số đoạn chưa đủ, khoảng 80 km đê còn thấp từ 0,4m đến 0,7m, vùng cửa sông có đoạn thấp đến 1m; mặt đê nhiều đoạn chưa được cứng hóa, mái đê dốc và nhiều đoạn đê còn phải đắp gia tăng bằng các con trạch với chiều cao từ 1,0m đến 1,5m. Những đoạn này chủ yếu là đê hạ du, đê cửa sông của một vài đoạn đê sông Hồng và sông Thái Bình.

1.3.2.2. Về mặt cắt hình học

Hầu hết các tuyến đê hiện nay có mặt cắt hình thang và chiều rộng đỉnh đê tối thiểu là 5m, đặc biệt có một số tuyến đê kết hợp làm đường giao thông có bề rộng từ 9m đến 24m. Một số tuyến đặc biệt, đi qua khu đô thị, có mặt cắt hỗn hợp dạng đê hình thang kết hợp tường đứng.

1.3.2.3. Về thân đê

Thân đê hầu hết được đắp bằng thủ công sử dụng vật liệu tại chỗ không đồng nhất (đất thịt và đất pha sét). Vấn đề mất ổn định thấm cục bộ và thấm tổng thể trong điều kiện lũ thiết kế hiện đang được quan tâm. Theo tài liệu thống kê của Vụ Đê điều, đất thân đê có hệ số thấm khoảng $k = 10^{-5}$cm/s. Tuy nhiên do chất lượng đắp chưa đảm bảo nên còn nhiều đoạn đê có hệ số thấm $k > 10^{-5}$ cm/s, đặc biệt có những đoạn đê có hệ số thấm $k > 5\times10^{-4}$ cm/s. Hiện có khoảng 251km đê hệ thống sông Hồng và 212km đê hệ thống sông Thái Bình ở vào tình trạng thân đê yếu do vật liệu đắp đê không được tốt và thân đê có nhiều tổ mối xuất hiện lại hoặc có ẩn hoạ khác tiềm ẩn, cụ thể như: (i) Đê hệ thống sông Hồng có khoảng 119km thân đê đắp bằng vật liệu chưa đảm bảo và 132km đê có mối hoạt động mạnh (tổng cộng 251km); (ii) Đê hệ thống sông Thái Bình có khoảng 176km thân đê đắp bằng vật liệu chưa đảm bảo và 36km đê có mối hoạt động mạnh (tổng cộng 212km).

1.3.2.4. Về nền đê

Các tuyến đê có chiều dài lớn, nằm trên nền có cấu tạo địa chất khác nhau. Có thể khái quát các mặt cắt ngang địa chất đặc trưng như sau:

- Tầng đất số 1: Tầng phủ đất dính

Đây là lớp đất nền trên cùng đỡ thân đê, hệ số thấm vào khoảng 1×10^{-5}cm/s đến 1×10^{-6}cm/s. Lớp đất này có thể có vài ba lớp có đặc trưng cơ lý và tính thấm không chênh lệch nhau nhiều. Chiều dày lớp đất này thường từ 3m đến 5m, đặc biệt chiều dày lớp đất này chỉ từ 1m đến 1,5m như đê Bùng (Thanh Trì, Hà Nội). Đây là lớp đất có mặt ở tất cả các kiểu nền đê.

- Tầng đất số 2: Tầng đất có thuộc tính tuỳ thuộc vào từng tuyến đê

Sự khác nhau giữa các kiểu địa chất nền đê chính là ở tầng đất số 2 với những thuộc tính của đất tuỳ thuộc điều kiện cụ thể của đoạn đê, thông thường có 3 kiểu như sau:

- Tầng đất dính

Tầng đất dính có thể bao gồm một số lớp đất dính có đặc trưng cơ lý và tính thấm không chênh lệch nhau nhiều. Nhìn chung nền đê trong trường hợp này ít xảy ra hư hỏng và sự cố.

  - Tầng đất bùn sét và bùn sét hữu cơ xen kẹp cát đen mịn

Tầng bùn sét và bùn sét hữu cơ được tạo thành ở những vùng trũng, các cửa sông, đáy hồ, đầm lầy hoặc ở lòng sông cổ. Bùn sét hữu cơ tồn tại dưới dạng thấu kính, có độ dày từ 5m đến 10m và nằm sâu cách mặt đất từ 3m đến 5m. Ở trạng thái chảy, cường độ chịu tải thấp từ 0,4kg/cm^2 đến 0,6kg/cm^2. Dạng nền này thường gặp ở đoạn đê Nhất Trai - Lai Nguyễn, K13 - K16 đê Kim Xá sông Phó Đáy, hoặc tuyến đê hữu sông Trà Lý. Đây là loại đất rất yếu về khả năng chịu tải. Nền đê có tầng đất này thường xảy ra nhiều hư hỏng và sự cố như nứt đê, lún và trượt mái đê.

  - Tầng cát pha hạt bụi và cát thông nước với sông

Lớp cát pha hạt bụi phân bố ở độ sâu từ 3m đến 5m với diện tích phân bố hẹp, không liên tục, hơi dốc về phía đồng và có bề dày trung bình từ 2m đến 3m. Lớp cát pha có thể bao gồm một số phân lớp và xen kẹp với cát pha là cát hạt mịn và cát bụi có rất ít hạt sét. Lớp này có đặc điểm dễ bị hoá lỏng khi bão hoà nước và nhất là dưới tác động của áp lực thấm.

Bên dưới lớp cát pha là cát và ở phía trên đỉnh lớp là cát hạt nhỏ, theo chiều sâu xuống thì cát thô dần và dưới đáy tầng có thể bắt gặp cuội sỏi. Tầng cát phân bố ở hầu hết các nền đê với bề dày khá lớn. Có nơi cát chỉ bị phủ bởi một lớp sét pha dày khoảng 2m như nền đê khu vực Tân Cương - Phá Đa (Phú Thọ), Mai Động và Đức Hợp (Hưng Yên) đê tả sông Hồng. Có nơi cát phân bố ở đáy đầm hồ và bị phủ bởi bùn hữu cơ như hồ Phương Độ, đầm Bổng Điền (Thái Bình) và đầm An Bình, Nam Sách (Hải Dương). Còn lại hầu hết lớp cát phân bố từ độ sâu trên 4m. Chiều dày tầng cát từ 10m đến 20m, có nơi dày lên đến 60m. Ở nóc tầng là cát hạt mịn và xuống sâu là cát hạt thô lẫn nhiều sạn sỏi. Hệ số thấm của tầng cát thường trong phạm vi từ 10^{-3}cm/s đến 10^{-2}cm/s. Hầu hết các kết quả khảo sát địa chất đều đánh giá là tầng cát thông nước với sông dưới nền đê bị xốp (Bảng 1-1).

- Tầng đất số 3: Tầng đất sét chặt và màu loang lổ.

Tầng đất sét này có bề dày khá lớn và phân bố hầu hết ở trung tâm đồng bằng Bắc Bộ, thường gặp ở độ sâu từ 10m đến 30m và chiều dày tăng dần ra biển. Thành phần chủ yếu của tầng này là hạt sét với hàm lượng 32% đến 75%. Tầng đất này ở trạng thái dẻo mềm đến dẻo chặt và thấm nước. Nhìn chung có thể khái quát tính thấm nước của các tuyến đê thường xảy ra sự cố trong mùa lũ như sau: Thân đê có hệ số thấm trong phạm vi từ 1×10^{-6}cm/s đến 1×10^{-5}cm/s, những đoạn đê có hệ số thấm $k > 1\times10^{-4}$cm/s trong mùa lũ thường xuất hiện thẩm lậu, rò rỉ làm ướt mái đê hoặc sạt trượt mái đê phía đồng. Tầng phủ dưới thân đê và trên bề mặt hai phía thượng hạ lưu đê có hệ số thấm từ 1×10^{-6}cm/s đến 1×10^{-4}cm/s, những vị trí lớp tầng phủ mỏng trong mùa lũ thường xuất hiện đùn sủi, đặc biệt những vị trí mà bên dưới lớp tầng phủ là lớp cát thì đùn sủi xuất hiện càng mạnh. Lớp cát và cát pha bên dưới lớp tầng phủ có hệ số thấm lớn từ 1×10^{-3} cm/s đến 1×10^{-2}cm/s, lớn hơn hệ số thấm của lớp tầng phủ từ 100 đến 1000 lần. Hệ số thấm của một số đoạn đê được thống kê trong Bảng 1-2.

Bảng 1-1: Hệ số độ rỗng của một số nền cát

TT	Vị trí	Hệ số độ rỗng		
		$\varepsilon_{\nu\mu}$	$\varepsilon_{\xi\alpha\mu}$	ε_{TN}
1	Hữu Hồng- Sen Chiểu, Phúc Thọ, Hà Tây	0,726	1,377	1,223
2	Hữu Hồng- Thanh Chiểu, Phúc Thọ, Hà Tây	0,726	1,258	1,339
3	Đê tả Hồng- Mai Động, Đức Hợp, Hưng Yên	0,64	1,21	1,08
4	Đê hữu Hồng K13- K14 - Ba Vì, Hà Tây	0,74	1,36	0,83

Bảng 1-2: Hệ số thấm các lớp đất chính của một số đoạn đê

TT	Vị trí	Hệ số thấm K (cm/s)		
		Thân đê	Tầng phủ	Tầng cát
1	Đê hữu Hồng – Phương Độ	$1,8\times10^{-5}$	$1,8\times10^{-5}$	$3\div9,1\times10^{-3}$
2	Đê hữu Hồng- Sen Chiểu	$3,0\times10^{-6}$	$1,0\times10^{-5}$	$2,0\times10^{-3}$
3	Đê Hữu Hồng-Thanh Chiểu	$3,0\times10^{-6}$	$1,0\times10^{-5}$	$3,0\times10^{-3}$
4	Đê tả Hồng- Mai Động	$1,42\times10^{-6}$	$1,42\times10^{-5}$	$4,1\times10^{-3}$
5	Đê Hữu Hồng K13-K14	$1,0\times10^{-5}$	$1,0\times10^{-4}$	$1,0\times10^{-3}$
6	Đê Hữu Hồng-Nhật Tân, Hà Nội	$5,2\times10^{-6}$	$3,4\times10^{-4}$	$8,4\times10^{-3}$
7	Đê Hữu Hồng, Nam Định	$6,5\times10^{-5}$	$9,2\times10^{-4}$	$8,7\times10^{-3}$

Căn cứ vào các tài liệu quản lý hàng năm và các kết quả khoan địa chất tại một số đoạn đê cho thấy có khoảng 226km đê đi qua nền đất yếu (trong đó 194km đê hệ thống sông Hồng và 32km đê hệ thống sông Thái Bình), 137km đê ở vào tình trạng cả nền và thân đê đều yếu và khoảng 75km đê có đầm ao sát chân đê chưa được xử lý.

1.3.3. Phân tích nguyên nhân gây mất ổn định của đê

Do các đặc điểm về quá trình hình thành, về địa hình, địa chất, về vật liệu dùng để đắp đê, về kỹ thuật thi công, sự phá hoại của sinh vật, các hoạt động dân sinh và ảnh hưởng các yếu tố tự nhiên đê thường xuyên có những diễn biến, hư hỏng. Mức nước sông càng cao, thời gian duy trì đỉnh lũ càng dài, số sự cố càng nhiều, mức độ hư hỏng càng nặng. Những hư hỏng thường xảy ra là:

- Thấm mạnh qua thân đê với điểm ra của đường bão hoà ở khá cao, cá biệt có nơi đường bão hoà gần như không có độ hạ thấp từ thượng lưu về hạ lưu.
- Đê không chỉ sạt thành các cung nhỏ mà có khi đê sạt dài hàng trăm mét.
- Khi xảy ra chênh lệch đầu nước giữa sông và đồng từ 2 đến 3m thì hiện tượng xói ngầm nền đê xảy ra nhiều nơi biểu hiện thành mạch sủi, bãi sủi nước đục. Hiện tượng sủi thường xảy ra trong các ao, giếng ven đê và ở các khu vực mà tầng phủ không đủ độ dày để thắng áp lực thấm.
- Ở những nơi nền đê là cát chảy, cát bụi thì hiện tượng xói ngầm nền đê diễn ra rất nhanh, nguy hiểm có thể gây vỡ đê.
- Những đoạn nền đê có địa chất nền yếu thường gây ra các hiện tượng lún, nứt thân đê.
- Trong các đợt lũ có mực nước sông cao từ báo động cấp III trở lên thường xảy ra hiện tượng sập tổ mối đột ngột, thấm qua mang cống. Nếu không phát hiện và xử lý kịp thời sẽ dễ xảy ra sự cố đê.
- Những năm gần đây đã xảy ra hiện tượng nứt đê ở gần 100 đoạn đê của nhiều tuyến trên nhiều vùng khác nhau. Không phải hiện tượng này chỉ xảy ra đối với đê đắp bằng phương pháp thi công cơ giới mà ngay cả đối với đê thi công bằng thủ công; không phải chỉ xảy ra đối với đê mới đắp mà ngay cả đê đã đắp từ hàng mấy chục năm nay.
- Hiện tượng thấm tập trung hai bên mang cống đã dẫn đến hậu quả vỡ đê ngay khi mực nước sông ở mức báo động số I. Hiện tượng sập vòm cống làm cho dòng chảy

khoét gần hết mặt và thân đê tạo ra nguy cơ vỡ đê phải xử lý rất khó khăn, tốn kém như cống Nội Doi. Cống bị lún không đều, bị nứt ngay thân và cả móng cống xảy ra ở nhiều nơi, cánh cống bị bục khi lũ đang lên cao và rất nhiều cống bị hư hỏng khớp nối gây ra hiện tượng sủi ngay trong lòng cống cũng là hiện tượng khá phổ biến.

- Dòng chảy biến đổi đột ngột gây ra hiện tượng sạt mái kè, lở bờ sông, sạt gần hết các vùng kè trọng điểm thuộc các tỉnh ven sông Hồng.
- Các hoạt động dân sinh của trên 10 triệu dân sinh sống tại trên 1000 xã định cư dọc hai bên ven đê ảnh hưởng không nhỏ tới vấn đề an toàn đê do: việc lấn chiếm dòng chảy, đào ao đầm sát chân đê, khai thác đất/cát sát chân đê, trồng cây trên mái đê, lưu thông xe quá tải trên mặt đê, vv...
- Các đoạn đê nằm sát ven sông thường chịu tác dụng trực tiếp của dòng chảy lũ, vì thế dễ bị xói lở, sạt trượt.
- Điều kiện làm việc của đê phụ thuộc chính vào mực nước trước đê. Lũ dọc theo hệ thống sông Hồng diễn ra theo mùa, và có một số năm liên tục không xảy ra mực nước cao. Điều này gây nên tính không ổn định về độ ẩm thân đê, gây bất lợi cho ổn định đê đặc biệt khi lũ xuất hiện đột ngột.

Hình 1-2: Giếng xử lý xói ngầm, mạch đùn mạch sủi tại hạ lưu đê Tả Hồng, đoạn qua Nghi Xuyên, Khoái Châu, Hưng Yên.

1.4. Đánh giá thực trạng đảm bảo an toàn đê vùng ĐBSH

Thực trạng đảm bảo an toàn đê vùng đồng bằng sông Hồng đã được đánh giá dựa trên các số liệu và tài liệu thu thập được kết hợp với đánh giá thông qua đi thực địa tại các tuyến đê trong vùng nghiên cứu. Để thuận lợi cho việc đánh giá, vùng nghiên cứu được phân chia ra thành 03 vùng đặc trưng: (i) Vùng thượng lưu – trung du miền núi; (ii) Vùng đồng bằng và (iii) Vùng ven biển.

Vùng thượng lưu – trung du miền núi có địa hình với độ dốc cao và không bằng phẳng, lũ xuất hiện thường tập trung nhanh và gây ra lũ quét cục bộ, tuy nhiên khả năng thoát lũ cũng nhanh và phạm vi ảnh hưởng thường trên diện khá hẹp và cục bộ.

Vùng đồng bằng có địa hình khá bằng phẳng, có độ dốc trung bình và khá đều. Thông thường lũ xuất hiện tập trung chậm và thời đoạn lũ dài ngày hơn so với vùng thượng lưu. Khi xảy ra ngập lụt ở vùng đồng bằng thì phạm vi ảnh hưởng rất rộng và thời gian ngập lụt kéo dài.

Vùng ven biển là vùng chạy dọc theo đường bờ biển với khoảng cách từ bờ biển vào đất liền khoảng từ 10 km đến 25 km và có cao độ trung bình từ +0.5 m đến +2.5 m. Vùng ven biển chịu kết hợp ảnh hưởng của cả yếu tố từ sông và biển. Mức độ ảnh hưởng có thể trên toàn vùng khi có ngập lụt xảy ra và thời gian ngập lụt trong vùng sẽ kéo dài.

Kết quả đánh giá an toàn đê điều cho thấy: cơ bản các tuyến đê đáp ứng được mức đảm bảo an toàn thiết kế. Tuy nhiên, còn một số đoạn đê có điều kiện làm việc gần sát với trạng thái giới hạn khi xuất hiện lũ thiết kế và còn tồn tại nhiều đoạn đê xung yếu. Những sự cố chủ yếu thường xảy ra như tràn đỉnh do đê chưa đạt cao trình đỉnh thiết kế, xói lở chân đê (đối với cả đê sông và đê biển), cống qua đê hư hỏng và xuống cấp (đê sông), thấm qua đê, xói ngầm (đê sông) & sóng tràn, mất ổn định kết cấu mái ngoài (đê biển)…điển hình như năm 2017 đã có 168 điểm xung yếu; xảy ra 91 sự cố đối với hệ thống đê. [4], [7], [41].

Sự cố trên một số tuyến đê trong những năm vừa qua cho thấy vấn đề an toàn đê cần được xem xét đánh giá lại một cách chi tiết và khoa học hơn

1.5. Phương pháp phân tích an toàn hệ thống đê theo quy định hiện hành

1.5.1 Tiêu chuẩn an toàn và phân cấp đê

Hệ thống đê điều phòng chống lũ hiện tại được phân cấp theo [14], [15]. Theo đó, trừ đoạn đê Hữu sông Hồng từ K47+980 đến K85+689 thuộc địa bàn thành phố Hà Nội được xếp vào cấp đặc biệt, các tuyến đê còn lại được phân thành 5 cấp gồm cấp I, cấp II, cấp III, cấp IV và cấp V. Trong đó mức độ quan trọng và quy mô công trình tăng dần từ cấp V đến cấp đặc biệt và ứng với mỗi cấp đê, và quy phạm hiện hành quy định TCAT tương ứng cho từng cấp.

Việc phân cấp đê hay xác định TCAT cho hệ thống đê hiện nay được dựa theo 3 nhóm tiêu chí sau: (i) Tiêu chí về số dân và diện tích được bảo vệ: vùng có diện tích và dân số bảo vệ càng lớn thì cấp đê càng cao; (ii) Tiêu chí về lưu lượng lũ thiết kế của sông: sông có lưu lượng lũ thiết kế càng lớn thì cấp đê càng cao; (iii) Tiêu chí về độ ngập sâu trung bình của các khu dân cư so với mực nước thiết kế đê, trong đó độ ngập sâu trung bình của các khu dân cư so với mực nước thiết kế đê là chênh lệch giữa cao độ mực nước thiết kế đê với cao độ trung bình của các khu dân cư được đê bảo vệ.

Phương pháp xác định TCAT hệ thống đê hiện nay chưa định lượng cụ thể các yếu tố phát triển kinh tế xã hội của vùng được bảo vệ và sự gia tăng ảnh hưởng do biến đổi khí hậu. Theo cách xác định hiện nay, với các vùng có cùng số dân và diện tích, cấp đê có thể được xác định là giống nhau. Trên thực tế, vùng nào có giá trị kinh tế cao hơn sẽ gặp rủi ro thiệt hại cao hơn khi sự cố ngập lụt xảy ra; Do đó, với cùng số dân và diện tích, vùng có giá trị kinh tế lớn hơn hay mức độ quan trọng (về chính trị, văn hóa, lịch sử) cao hơn thì cần phải được bảo vệ với TCAT cao hơn.

Do đó yếu tố kinh tế xã hội của vùng được bảo vệ cần được xem xét cụ thể khi xác định TCAT hệ thống đê.

Ngoài ra, biến đổi khí hậu có tác động trực tiếp đến tình hình lũ lụt và an toàn hệ thống đê. Theo các kịch bản phân tích về ảnh hưởng của BĐKH, mức độ gia tăng điều kiện biên khí tượng, thủy hải văn từ 5% đến 10% dự báo đến năm 2050. Như vậy khi xem xét các tiêu chí phân cấp đê và lựa chọn TCAT, cần thiết phải xem xét ảnh hưởng của BĐKH đến các yếu tố điều kiện biên phía sông, phía biển trong tương lai, theo chu kỳ nâng cấp đê hoặc theo tuổi thọ công trình.

1.5.2 Yêu cầu kỹ thuật trong đánh giá an toàn đê

Đánh giá an toàn đê điều và công trình phòng chống lũ được thực hiện với tổ hợp tải trọng thường xuyên và tổ hợp tải trọng đặc biệt (để kiểm tra). Tổ hợp tải trọng cơ bản bao gồm các tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời thông thường cùng đồng thời tác động lên công trình đê sông tại các thời điểm tính toán. Tổ hợp tải trọng đặc biệt vẫn bao gồm các tải trọng đã xét trong tổ hợp tải trọng cơ bản nhưng một trong các tải trọng tạm thời được thay thế bằng tải trọng tạm thời đặc biệt.

Tải trọng thường xuyên tác động lên đê, bao gồm: (i) Khối lượng của bản thân đê và các thiết bị cố định đặt trên và trong đê; (ii) Áp lực nước tác động trực tiếp lên bề mặt đê và nền; (iii) Áp lực nước thấm tương ứng với mực nước lớn nhất khi xảy ra lũ thiết kế trong điều kiện thiết bị lọc và tiêu nước ở hạ lưu làm việc bình thường; (iv) Khối lượng đất đắp và áp lực bên của nó (đối với đê không làm bằng vật liệu đất).

Tải trọng tạm thời thường xuyên tác động lên đê bao gồm: (i) Áp lực đất phát sinh do biến dạng nền và kết cấu đê hoặc do tải trọng bên ngoài khác; (ii) Áp lực bùn cát lắng đọng ở khu vực chân đê trong thời gian khai thác; (iii) Áp lực nước thấm tương ứng với mực nước lớn nhất khi xảy ra lũ thiết kế trong điều kiện thiết bị lọc và tiêu nước ở hạ lưu không làm việc; (iv) Tải trọng gây ra do áp lực dư của kẽ rỗng trong đất bão hoà nước khi chưa cố kết hoàn toàn ở mực nước thiết kế, trong điều kiện thiết bị lọc và tiêu nước làm việc bình thường; (v) Tác động nhiệt lên trên đê và nền trong thời kỳ thi công và khai thác của năm có biên độ dao động nhiệt độ bình quân tháng của không khí là trung bình; (vi) Tải trọng do tàu, thuyền và vật trôi nổi, áp lực do sóng (Xác định theo [16]); (vii) Tải trọng do người và các phương tiện giao thông qua lại trên đê, các thiết bị nâng, bốc dỡ, vận chuyển và các máy móc, kết cấu khác (như cần trục, cẩu treo, palăng), chất hàng, có xét đến khả năng chất tải vượt thiết kế.

Tải trọng tạm thời đặc biệt có thể xuất hiện trong trường hợp làm việc đặc biệt tác động lên đê gồm: (i) Áp lực sóng khi xảy ra tốc độ gió lớn nhất thiết kế với hướng gió bất lợi nhất cho đê; (ii) Tải trọng do động đất (xác định theo TCVN 9386:2012) hoặc nổ; (iii) Áp lực nước tương ứng với mực nước khi xảy ra lũ kiểm tra; và (iv) Tải trọng phát sinh trong mái đê đất do mực nước tăng cao đột ngột và hạ thấp đột ngột (hiện tượng rút nước nhanh).

Yêu cầu chung là đê cần phải đảm bảo an toàn về chống tràn, ổn định kết cấu công trình, ổn định địa kỹ thuật thân và nền đê khi xuất hiện mực nước nhỏ hơn hoặc bằng mực nước thiết kế. Việc đánh giá an toàn tổng thể hệ thống đê thông qua đánh giá an toàn các cơ chế sự cố chính dựa theo hệ số an toàn K của từng cơ chế, so sánh với giá trị hệ số an toàn cho phép [K] phụ thuộc vào cấp đê. Các cơ chế chính sau được yêu cầu kiểm tra trong đánh giá an toàn: (i) Đảm bảo khả năng chống tràn nước khi xuất hiện mực nước thiết kế (dùng hệ số an toàn cho phép để kiểm tra); (ii) Ổn định chống trượt thân và mái đê (dùng hệ số an toàn cho phép để kiểm tra); (iii) Ổn định chống trượt nền đê (dùng hệ số an toàn cho phép để kiểm tra); (iv) Ổn định lún thân và nền đê (dùng độ lún tới hạn cho phép để kiểm tra, phụ thuộc vào chiều cao thân đê); (v) Ổn định chống thấm qua thân và nền đê (dùng gradient thấm tới hạn để kiểm tra); (vi) Ổn định kết cấu bảo vệ mái và chân đê phía sông/biển (dùng hệ số an toàn cho phép để kiểm tra), [14] [15] [16].

1.6. Phương pháp thiết kế truyền thống và những tồn tại

Thiết kế truyền thống hiện nay là tính toán công trình theo phương pháp hệ số an toàn dựa vào phương trình trạng thái giới hạn với hai tham số chính là độ bền đặc trưng và tải trọng thiết kế. Theo phương pháp này các giá trị thiết kế của tải trọng và các tham số độ bền được xác định là một giá trị đặc trưng ứng với tần suất thiết kế, tương ứng với tổ hợp thiết kế. Người thiết kế lựa chọn điều kiện làm việc của công trình và các tổ hợp tải trọng thiết kế thích hợp. Giới hạn này thường tương ứng với độ bền đặc trưng của công trình.

Theo phương pháp truyền thống, công trình được coi là an toàn khi khoảng cách giữa tải trọng và độ bền đủ lớn để đảm bảo thỏa mãn từng trạng thái giới hạn của tất cả các thành phần công trình. Đánh giá an toàn công trình được thực hiện bằng cách xác định hệ số an toàn thành phần cho các cơ chế sự cố đặc trưng của một mặt cắt đại diện [17][18][19]. Ví dụ trong thiết kế đê sông, tương ứng với mỗi giá trị tần suất thiết kế, mực nước thiết kế tương ứng với tần suất thiết kế được xác định và được coi là tải trọng thiết kế cố định. Dựa vào tiêu chuẩn quy định thiết kế, hình dạng và các kích thước của công trình được xác định. Các tiêu chuẩn quy định này được xây dựng dựa trên các trạng thái giới hạn của các cơ chế phá hỏng, trong đó có kể đến số dư an toàn thông qua hệ số an toàn. Tính toán theo cách này mới chỉ giải quyết được hai vấn đề là ổn định tổng thể

và ổn định theo độ bền của công trình. Một số tồn tại của phương pháp thiết kế hiện nay là:

- Chưa xem xét được tính ngẫu nhiên của độ bền và tải trọng và chúng đang được xác định là các giá trị cố định, ứng với tần suất thiết kế (trong thực tế là các giá trị không cố định);
- Chưa xác định được xác suất phá hỏng của từng thành phần công trình và toàn bộ hệ thống;
- Chưa xem xét đến ảnh hưởng quy mô hệ thống như chiều dài tuyến đê. Đối với công trình đê, thiết kế hiện tại thường chỉ tính toán chi tiết tại một mặt cắt tiêu biểu và áp dụng tương tự cho toàn bộ chiều dài đoạn đê. Trên thực tế, xác suất xảy ra sự cố vỡ đê sẽ gia tăng khi chiều dài hệ thống đê tăng.
- Chưa trả lời được công trình an toàn ở mức độ nào do hệ số an toàn K mới chỉ cho biết được là công trình có an toàn hay không.

1.7. Tình hình nghiên cứu ứng dụng PTRR & LTĐTC trong an toàn đê điều và rủi ro lũ lụt

1.7.1. Ứng dụng trong phân tích, đánh giá an toàn hệ thống đê phòng chống lũ

Theo phương pháp LTĐTC, tính toán thiết kế công trình và phân tích an toàn công trình được thực hiện thông qua xác suất sự cố tổng hợp (P_f) của nhiều cơ chế sự cố liên quan. Xác suất sự cố được xác định thông qua phân tích thống kê giữa các biến ngẫu nhiên của tải trọng và độ bền trong các cơ chế sự cố của công trình. Trong đó, các cơ chế sự cố được xác định thông qua hàm độ tin cậy mô phỏng quá trình vật lý tương ứng. Các điều kiện biên (biến cơ sở) được mô phỏng thông qua các hàm phân phối xác suất phản ánh sát với bản chất ngẫu nhiên của nó.

Theo phương pháp lý thuyết độ tin cậy, khả năng hư hỏng của công trình được đánh giá thông qua xác suất xảy ra sự cố (P_f) của các cơ chế sự cố của công trình đó. Nói khác đi, an toàn toàn công trình được đánh giá thông qua xác suất an toàn (Ps), là xác xuất bù của xác suất sự cố. Trong lý thuyết độ tin cậy, tiêu chí độ tin cậy được sử dụng để đánh giá chất lượng (an toàn) công trình và được lượng hóa bằng chỉ số độ tin cậy (β) của công trình.

LTĐTC được phát triển và ứng dụng từ những năm 1920 bởi M. Mayer [20] bằng việc sử dụng giá trị trung bình thống kê và độ lệch chuẩn cho sức bền, tải trọng và kích thước hình học trong việc xác định các yếu tố an toàn bằng các công thức đơn giản. Vào những năm 1960, các ý tưởng về chỉ số độ tin cậy đã được đề xuất và xem xét lại bởi E. Basler [21] [22]. LTĐTC sau đó đã được đưa vào chương trình giảng dạy cho kỹ sư xây dựng tại một số trường kỹ thuật hàng đầu của Mỹ và Châu Âu. Vấn đề an toàn kết cấu là một ứng dụng điển hình của LTĐTC và chỉ số độ tin cậy đã được xem xét là một chỉ số an toàn công trình. Các kết quả nghiên cứu và phát triển ứng dụng tiên phong trong giai đoạn này được trình bày tại [23], [24] và [25]. Sự phát triển đã được thúc đẩy mạnh mẽ bằng tiêu chuẩn hiện hành ở cả Bắc Mỹ và Châu Âu đặc biệt là Bắc Âu, khi coi chỉ số độ tin cậy (β) là một chỉ số đặc trưng về an toàn [26], [27] và [28].

Phương pháp PTRR được ứng dụng rộng rãi trên thế giới trong đánh giá sự phù hợp của TCAT hệ thống hiện tại và xác định quy mô các công trình phòng chống lũ nói chung và hệ thống đê nói riêng dựa trên quan điểm rủi ro chấp nhận; bằng cách xác lập quan hệ giữa xác suất sự cố (độ tin cậy) của công trình với thiệt hại tương ứng của đối tượng được bảo vệ thông qua hàm rủi ro. ĐTCYC của công trình được chọn từ kết quả phân tích rủi ro là giá trị rủi ro tối ưu tương ứng của hệ thống.

Mặc dù được phát triển từ rất sớm, việc ứng dụng lý thuyết độ tin cậy trong lĩnh vực xây dựng đặc biệt là ứng dụng cho hệ thống đê và công trình PCL chỉ được áp dụng từ những năm 70 của thế kỷ trước, lần đầu tiên là với hệ thống đê biển Hà Lan [29]. Đồng thời, việc kết hợp phương pháp phân tích rủi ro với lý thuyết độ tin cậy trong đánh giá an toàn cho hệ thống PCL cũng bắt đầu được nghiên cứu áp dụng. Đặc biệt TCAT cho hệ thống đê biển tại Hà Lan được xác định hoàn toàn dựa theo PTRR và xu thế này đang dần được áp dụng tại các nước phát triển khác trên thế giới.

1.7.2. Các kết quả nghiên cứu ứng dụng ở nước ngoài

Việc nghiên cứu ứng dụng PTRR & LTĐTC trong thiết kế, xây dựng và vận hành các hệ thống phòng chống lũ, hệ thống đê đã được và đang được phát triển ở nhiều nước trên thế giới như sau:

Tại Hà Lan: năm 1970 lần đầu tiên ứng dụng LTĐTC thiết kế hệ thống đê biển, đê sông và Công trình Phòng lũ Đồng bằng; Người Hà Lan đưa ra TCAT từ 1/4.000-1/10.000

năm cho hệ thống đê bảo vệ các vùng dân cư. Đến năm 1990 Hà Lan chính thức đưa phương pháp LTĐTC vào quy phạm thiết kế [30];

Các quốc gia châu Âu: Chính thức sử dụng PTRR và LTĐTC trong các quy chuẩn phòng chống lũ thông qua chương trình FLOODSite (2006). Đến năm 2010 thì EU hoàn thành việc xây dựng chương trình khung quản lý rủi ro lũ tích hợp theo phương pháp PTRR & LTĐTC [31];

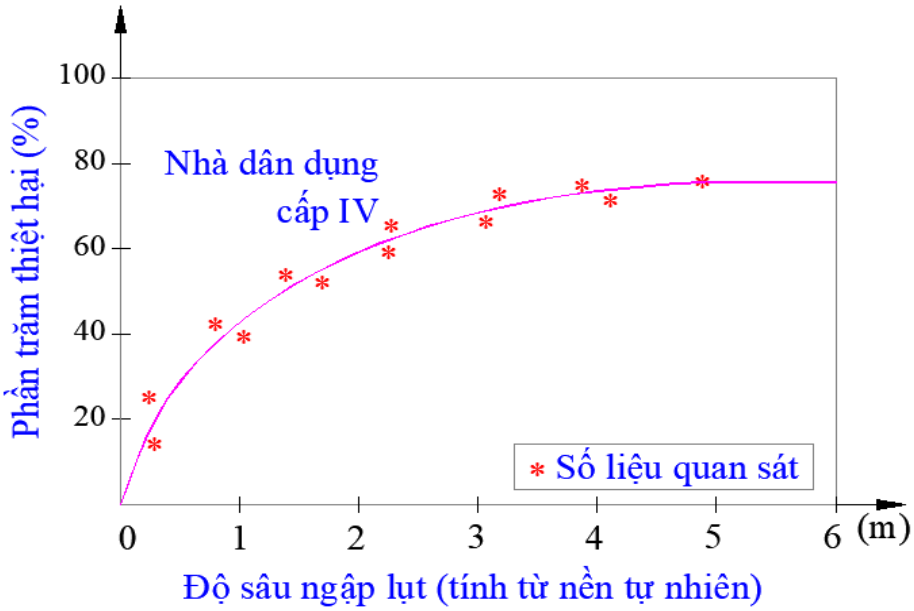
Tại Mỹ, sau trận lũ lụt lịch sử năm 2005 đã ứng dụng PTRR& LTĐTC cho công tác thiết kế, quy hoạch lại hệ thống đê chống lũ bảo vệ vùng New Orleans và hiện nay đang trong quá trình tích hợp vào tiêu chuẩn thiết kế mới [32].

Tại châu Á: Nhật và Trung Quốc đang từng bước chuyển đổi đánh giá an toàn công trình theo ĐTC; Theo đó, các công trình hồ đập, đê điều phòng chống lũ được thiết kế theo ĐTCYC định trước, thay vì hệ số an toàn cho phép [33].

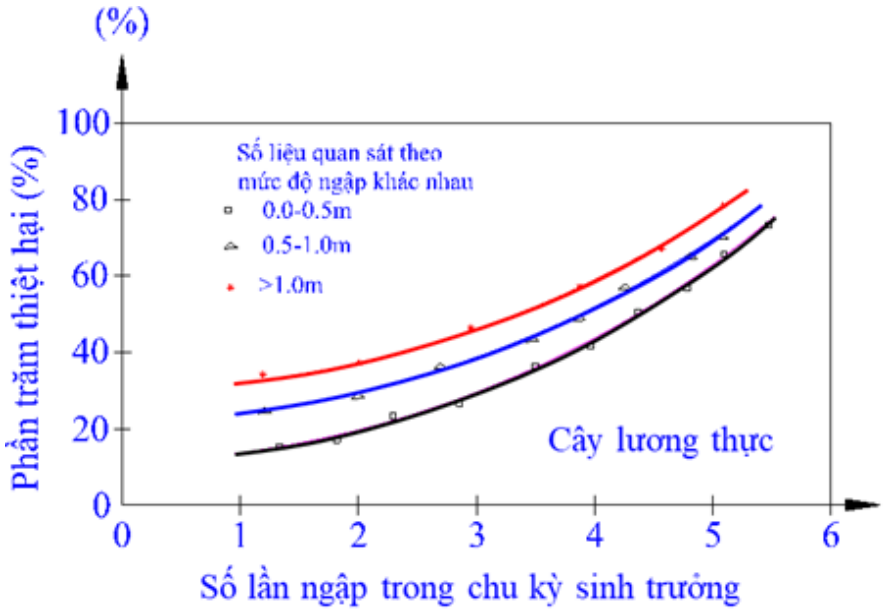
WB, ADB đã bắt đầu sử dụng phương PTRR để đánh giá rủi ro lũ phục vụ xác định qui mô các dự án phòng tránh giảm nhẹ thiên tai trước khi quyết định đầu tư [34].

Về phương pháp xác định thiệt hại lũ trong bài toán PTRR: Một số nước đã tiếp cận các phương pháp ước tính thiệt hại hữu hình [35]. Tuy nhiên, trong trường hợp của Mỹ, Nhật Bản, .. phương pháp ước tính thiệt hại chi tiết chỉ được giới hạn thiệt hại đô thị [1]. Tại Nhật Bản và Anh đã xây dựng được mô hình tính để đánh giá thiệt hại do lũ lụt ở bất kỳ khu vực nào của đất nước trong khi Mỹ cũng đang trong quá trình phát triển một tiêu chuẩn đánh giá chung [36].

Các nhà khoa học trên thế giới đã sử dụng các mô hình khác nhau để tính toán thiệt hại do lũ lụt cho một khu vực nghiên cứu. Nhiều nghiên cứu với các mô hình toán khác nhau mô tả các điều kiện thủy văn thủy lực, tính chất vật lý của lưu vực và sử dụng hàm thiệt hại khác nhau để đánh giá thiệt hại. Ví dụ như, Duttaa và nnk (2003) đã nghiên cứu mô hình tổng hợp, tính toán thiệt hại do lũ cho lưu vực sông Ichinomiya, Nhật Bản [37]. Mô hình này xem xét đến các tính chất vật lý lớn của một lưu vực sông để mô phỏng ngập lụt, xét đến hàm thiệt hại cho từng giai đoạn ngập lũ với các tính chất sử dụng đất khác nhau. Ở đây, họ xét đến các đến các loại đối tượng bị thiệt hại như nhà cửa, cây trồng… Hai trong số các hàm thiệt hại như trong Hình 1-3 và 1-4.

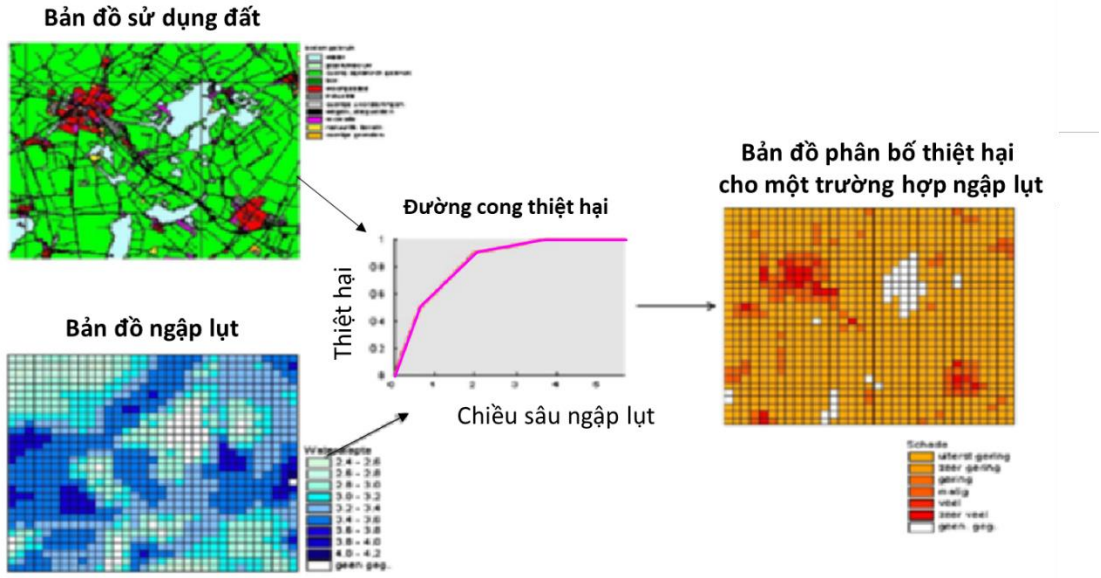


Hình 1-3: Hàm quan hệ giữa mực nước ngập với mức độ thiệt hại cho nhà dân dụng.



Hình 1-4: Hàm quan hệ giữa thời gian ngập với mức độ thiệt hai cho cây trồng.

Nhờ việc chia các lưới theo không gian và cao độ, tích hợp các thông tin sử dụng GIS, thủy văn thủy lực dòng chảy và tính toán thiệt hại, mô hình có thể cung cấp thông tin về thiệt hại của lũ lụt theo không gian tại bất kỳ thời điểm nào cũng như tổng thiệt hại của một sự kiện lũ nhất định. Các tác giả tại Hà Lan [12] và Nhật Bản [37] đều sử dụng phương pháp mô phỏng thiệt hại dựa theo bản đồ phân bố độ sâu ngập lụt và đường cong thiệt hại trong phân tích rủi ro. Sơ đồ khối tổng quát mô phỏng xác định thiệt hại được minh họa trên Hình 1-5.



Hình 1-5: Sơ đồ khối đánh giá thiệt hại dựa vào mô phỏng ngập lụt [12].

Các nghiên cứu ở nước ngoài cho thấy, trên thế giới trong hơn thập kỷ gần đây đã có nhiều nghiên cứu về rủi ro ngập lụt, an toàn đê điều và xây dựng các cơ sở khoa học để đánh giá thiệt hại do lũ lụt gây ra. Một số nước đã xây dựng các tiêu chuẩn để đánh giá và lập được bản đồ thiệt hại do lũ cho các vùng khác nhau. Khái niệm về rủi ro do lũ lụt cũng đã bắt đầu được quan tâm và có các nghiên cứu về vấn đề này. Một số nước đã đưa đánh giá rủi ro lũ lụt vào luật và đưa ra các tiêu chuẩn rủi ro cho các lĩnh vực khác nhau trong việc cấp giấy phép hoạt động.

1.7.3. Tình hình nghiên cứu trong nước

Các nghiên cứu gần đây tại Việt Nam về ứng dụng tiến bộ khoa học trong lĩnh vực an toàn, ổn định đê, rủi ro lũ lụt và độ tin cậy công trình có thể kể đến như sau:

Về an toàn, ổn định đê và các nghiên cứu địa kỹ thuật liên quan: Một số nghiên cứu đã tập trung giải quyết các nhóm vấn đề chính như nghiên cứu ổn định tổng thể, ổn định cục bộ, thấm nền đê được một số tác giả nghiên cứu tiêu biểu như [38] đưa ra một số mô hình cơ học đất cho bài toán thấm nền đê; [39] nghiên cứu bài toán thấm không ổn định trên mô hình vật lý; [40] nghiên cứu biến dạng thấm nền đê Hữu Hồng (Hà Nội) và đề xuất giải pháp bằng tường xi măng đất và [41] nghiên cứu biến dạng thấm nền hạ du sông Hồng địa phận tỉnh Thái Bình và đánh giá thực nghiệm một số giải pháp xử lý.

Về nghiên cứu mô phỏng ngập lụt và xác định thiệt hại do ngập lụt [42] đã thực hiện một nghiên cứu khá công phu về ứng dụng mô hình MIKE 21 và công cụ GIS trong tính

toán và cảnh báo diện ngập lụt cho sông Hương, tỉnh Thừa Thiên - Huế và xây dựng bản đồ ngập lụt cho khu vực này. Ngoài ra, các dự án lập kế hoạch ứng phó khẩn cấp EPP thực hiện gần đây cho một số hồ chứa ở Việt Nam như: hồ chứa nước Phú Ninh, Kẻ Gỗ do trường Đại học Thủy Lợi), hồ Đồng Nghệ do Viện Khoa học thủy lợi miền Trung và Tây Nguyên… đưa ra các kịch bản vỡ đập và lập các bản đồ ngập lụt ứng với từng kịch bản, cảnh báo ngập lụt và đề xuất các phương án ứng phó. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên về cơ bản mới chỉ sử dụng công cụ phần mềm tính toán hỗ trợ mô phỏng ngập lụt và đưa ra bản đồ ngập lụt nhằm giúp các địa phương xây dựng kế hoạch chủ động ứng phó lũ, lụt hằng năm, làm cơ sở xây dựng các phương án cảnh báo, chủ động ứng phó lũ lụt, di dời … Việc sử dụng các bản đồ ngập lụt để đánh giá thiệt hại kinh tế, đánh giá mức độ rủi ro và thiệt hại tổng hợp trong các kịch bản lũ lụt có thể xảy ra vẫn là một vấn đề mang tính thời sự nhưng chưa được tập trung nghiên cứu sâu.

Về nghiên cứu ứng dụng PTRR và LTĐTC:

Mai Văn Công & nnk (2008) đã nghiên cứu về cở sở khoa học và đề xuất quy trình phân tích rủi ro ứng dụng trong xây dựng tiêu chuẩn an toàn phục vụ xây dựng hệ thống đê biển Việt Nam [43]. Trong nghiên cứu này đã dựa trên số liệu về thiệt hại do bão, lũ và ngập lụt từ 1970 đến 2007, đường cong FN – Đường tần suất thiệt hại (về người và vật chất quy được ra tiền) đã được xây dựng (probality distribution function of the number of fatalities per year) để phục vụ công tác quy hoạch dài hạn hệ thống công trình phòng chống lũ từ biển. Trong báo cáo đề tài cấp bộ của PGS.TS. Nguyễn Bá Quỳ (2009) thuộc Chương trình nghiên cứu phục vụ xây dựng và nâng cấp đê biển (2007-2009), đã đề cấp đến cơ sở khoa học định lượng về rủi ro do bão và nước dâng trong việc lựa chọn tiêu chuẩn an toàn thiết kế đê biển [43]. Gần đây, tác giả Lê Xuân Bảo (2016) [33] đã ứng dụng phương pháp mô phỏng ngập lụt và đánh gia rủi ro ngập lụt cho khu vực hạ du sông Đồng Nai-Sài Gòn và xác định mức bảo đảm an toàn hợp lý cho hệ thống kiểm soát ngập úng vùng TP. HCM. Tuy nhiên, các nghiên cứu này mới chỉ đề cập đến rủi ro kinh tế và sử dụng phương pháp ước lượng trung bình, phân tích cho một nguyên nhân gây lũ (từ sông hoặc từ biển). Việc xác định giá trị rủi ro tổng hợp gồm yếu tố kinh tế và con người, kể đến phát triển kinh tế xã hội hiện đang còn bỏ ngỏ…

Ngoài ra, các nghiên cứu ứng dụng LTĐTC và PTRR trong an toàn công trình và rủi ro phòng chống lũ trong giai đoạn gần đây có thể kể đến như:

Nghiên cứu về độ tin cậy các công trình hồ chứa vừa và lớn cho các tỉnh miền Trung và Tây Nguyên (2006-2011) được thực hiện dưới dạng đề tài KHCN cấp nhà nước do cố GS. Nguyễn Văn Mạo chủ trì. Trong đó, LTĐTC được ứng dụng để xác định giá trị độ tin cậy của các đập chính của hệ thống đầu mối.

Các nghiên cứu về ngập lụt tại các tỉnh miền Trung và rủi ro do ngập lụt tại các lưu vực sông miền Trung (2007-2011) thực hiện thông qua các chương trình nghiên cứu hợp tác với nước ngoài, ADB và thông qua chương trình nâng cấp đê biển, đê cửa sông khu vực miền Trung [32]; Nghiên cứu tính toán rủi ro ngập úng lưu vực sông Đồng Nai Sài Gòn và xác định về mức đảm bảo an toàn chống ngập cho hệ thống kiểm soát ngập úng TP. HCM (2012-2017) được thực hiện dưới dạng chương trình nghiên cứu KHCN và sản phẩm đào tạo là luận án tiến sỹ do Lê Xuân Bảo thực hiện và đã bảo vệ thành công; Trong lĩnh vực quản lý an toàn vận hành các công trình thủy nông, luận án tiến sỹ "Nghiên cứu xây dựng phương pháp đánh giá chất lượng hệ thống công trình thủy nông theo lý thuyết độ tin cậy trong điều kiện Việt nam" do Phạm Hồng Cường thực hiện và bảo vệ thành công năm 2009 ứng dụng phương pháp phân tích độ tin cậy đánh giá chất lượng hệ thống thủy nông trong điều kiện Việt Nam [44]. Ngoài ra, còn một số nghiên cứu khác đanh gia độ tin cậy công trình xây dựng, giao thông, đê và kè biển và địa kỹ thuật như tại [45]–[51]. Các nghiên cứu này thực hiện giải bài toán độ tin cậy theo cấp độ I và II, và chủ yếu tính toán cho một thành phần công trình đơn lẻ; trong phân tích độ tin cậy, hầu hết các nghiên cứu giả thiết các biến cơ bản đầu vào được chuẩn hóa (tuân theo luật phân phối chuẩn) và hàm tin cậy được tuyến tính hóa (phương pháp gần đúng).

Mặc dù đã có một số nghiên cứu ứng dụng LTĐTC tại Việt Nam, tuy nhiên cho đến nay vẫn chưa có một nghiên cứu toàn diện nào áp dụng cho hệ thống đê điều phòng chống lũ vùng đồng bằng và chưa giải quyết bài toán ở cấp độ hệ thống, theo cấp độ tiếp cận ngẫu nhiên (cấp độ III). Ngoài ra, các nghiên cứu hiện tại cũng chưa xem xét việc tích hợp khung bài toán phân tích độ tin cậy hệ thống với bài toán phân tích rủi để xác định độ tin cậy yêu cầu hệ thống. Luận án này sẽ tập trung giải quyết các khía cạnh phân tích nêu trên, ứng dụng phân tích an toàn và xác định độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê vùng đồng bằng sông Hồng.

1.8. Luận giải vấn đề nghiên cứu của luận án

Hầu hết các hệ thống đê điều phòng chống lũ ở nước ta hiện nay được thiết kế xây dựng dựa theo kinh nghiệm từ nhiều thế hệ và đang được áp dụng theo các tiêu chuẩn an toàn từ một vài thập niên trước. Từ thực tiễn quản lý vận hành hệ thống công trình đê điều và phòng chống lũ cho thấy hệ thống chịu tác động của hai nhóm yếu tố sau:

• Tác động của tự nhiên: Trước những ảnh hưởng bất lợi do thay đổi thời tiết và diễn biến cực đoan của thiên tai do hiện tượng BĐKH dẫn đến điều kiện biên tự nhiên tác động trực tiếp lên hệ thống đê gia tăng theo hướng bất lợi (về cường độ và tần suất) so với điều kiện thiết kế khi xây dựng hệ thống đê. Do đó, cần xem xét liệu hệ thống đê hiện tại có đủ khả năng chịu tải ở thời điểm hiện tại và trong tương lai khi có xét đến ảnh hưởng của BĐKH. Trên cơ sở đó phải có sự điều chỉnh và nâng cấp cho phù hợp với điều kiện mới;

•Tác động của con người và xã hội: Do sự phát triển của các quá trình dân sinh, kinh tế và xã hội, các đặc trưng của vùng bảo vệ khi xây dựng hệ thống đê hoàn toàn khác so với hiện nay và trong tương lai. Do đó, tiêu chuẩn an toàn của vùng bảo vệ cần phải được xem xét lại nhằm phù hợp với tình hình kinh tế xã hội hiện tại và trong tương lai.

Hệ thống đê bao gồm nhiều tuyến đê, các công trình qua đê và vùng bảo vệ; hệ thống đê được mô tả bằng sơ đồ cây sự cố kể đến các cơ chê phá hỏng tiềm tàng dưới tác động tương tác của biên địa kỹ thuật và biên thủy động lực (ví dụ như trượt mái đê, xói ngầm, đẩy trồi, thấm vượt quá lưu lượng cho phép, lún thân đê,…).

An toàn hệ thống đê bao gồm an toàn ổn định tuyến đê, đoạn đê và an toàn phòng lũ của vùng được bảo vệ. Vì vậy, đánh giá an toàn hệ thống đê sẽ bao gồm hai vấn đề: (i) Đánh giá an toàn ổn định của các tuyến đê trong hệ thống theo độ tin cậy yêu cầu (tiêu chuẩn an toàn hiện tại) và (ii) Đánh giá sự phù hợp của độ tin cậy yêu cầu (tiêu chuẩn an toàn) của vùng được bảo vệ bởi hệ thống đê.

Đề tài này nghiên cứu mở rộng ứng dụng tích hợp của phương pháp thiết kế theo lý thuyết độ tin cậy và lý thuyết phân tích rủi ro để xây dựng phương pháp xác định chỉ số an toàn và độ tin cậy yêu cầu của hệ thống đê có xem xét đên các yếu tố phát triển kinh tế xã hội và BĐKH cho điều kiện hiện tại và tương lai. Vấn đề an toàn hệ thống đê trong nghiên cứu này được luận giải theo khái niệm an toàn hệ thống tích hợp, bao gồm các tuyến đê và vùng dân cư được hệ thống bảo vệ chống lũ (vùng được bảo vệ).

1.9. Kết luận Chương 1

Thông qua phân tích hiện trạng và tổng quan tình hình lũ lụt và công tác đê điều, phòng chống lũ vùng ĐBSH thấy rằng nguy cơ mất an toàn hệ thống đê và rủi ro lũ lụt vùng nghiên cứu có xu thế gia tăng. Nguyên nhân chính là do sự gia tăng theo hướng bất lợi của các yếu tố điều kiện tự nhiên trước tác động của biển đổi khí hậu, nước biển dâng, các hoạt động dân sinh và phát triển xã hội trong đó tính chất ngẫu nhiên này chưa được kể đến trong các nghiên cứu đánh giá an toàn hệ thống đê hiện tại.

Việc xác định tiêu chuẩn an toàn của hệ thống đê ảnh hưởng đến quy mô hệ thống đê và mức đảm bảo an toàn phòng chống lũ cho vùng được hệ thống đê bảo vệ. Tuy nhiên trong xác định tiêu chuẩn an toàn hiện tại chưa xem xét đến yếu tố phát triển kinh tế, xã hội của vùng được bảo vệ và rủi ro khi sự cố hệ thống đê xảy ra.

Vấn đề thực hiện trong nghiên cứu này là xác lập cở sở khoa học, xây dựng sơ đồ và thuật giải các bài toán ứng dụng xác định các chỉ số an toàn và độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê. Vấn đề nghiên cứu được giải quyết bằng cách tích hợp phương pháp thiết kế theo lý thuyết độ tin cậy và lý thuyết phân tích rủi ro và giải quyết ở cấp độ hệ thống. Ứng dụng tính toán cụ thể được thực hiện cho hệ thống đê bảo vệ khu vực trung tâm Hà Nội và vùng ven biển Giao Thủy, Nam Định.

CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP LUẬN PHÂN TÍCH AN TOÀN VÀ XÁC ĐỊNH ĐỘ TIN CẬY YÊU CẦU CHO HỆ THỐNG ĐÊ

2.1. Phương pháp phân tích độ tin cậy trong đánh giá an toàn công trình

2.1.1. Khái niệm cơ chế sự cố

Cơ chế sự cố là kiểu hư hỏng công trình do quá trình cơ học - vật lý tương tác giữa điều kiện biên và công trình. Thời điểm để cơ chế sự cố xảy ra chính là trạng thái cân bằng giữa độ bền và tải trọng. Hàm tin cậy (Z) mô tả một cơ chế sự cố tổng quát có độ bền là R và tải trọng là S như sau [52]:

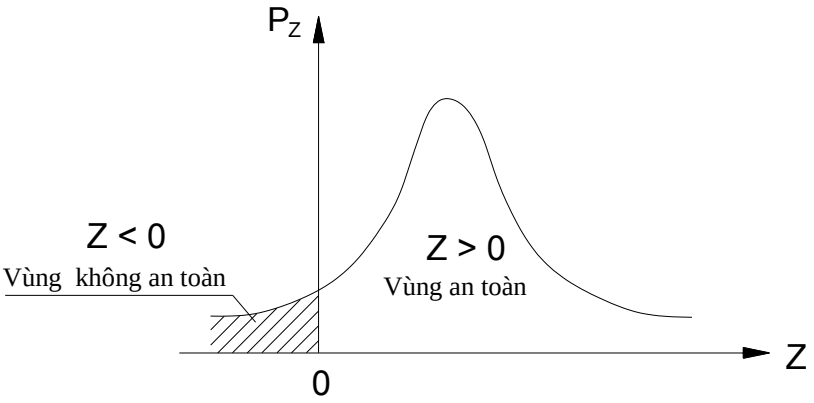
$$Z = R - S \tag{2-1}$$

Trong đó:

Z: Hàm trạng thái giới hạn

R: Khả năng chịu tải

S: Tải trọng tác dụng

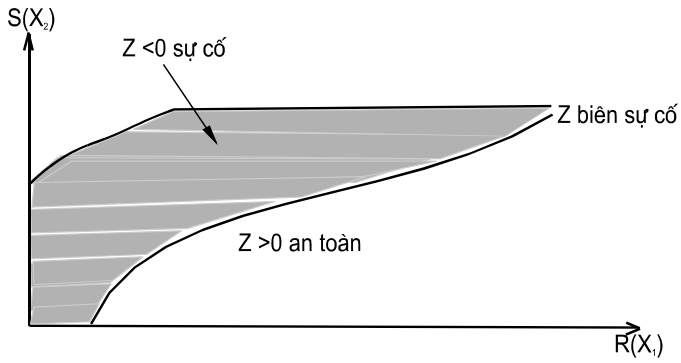


Hình 2-1: Phân bố xác suất của hàm độ tin cậy Z [32, 33, 57]

Hàm độ tin cậy Z được thiết lập sao cho các giá trị âm của nó ($Z < 0$) tương ứng với trạng thái phá hoại do cơ chế sự cố xảy ra; và ngược lại giá trị dương $Z > 0$ tương ứng với trạng thái làm việc an toàn của cơ chế đó. Hàm Z là một hàm ngẫu nhiên có thể có các dạng phân bố thống kê khác nhau. Ranh giới giữa vùng an toàn và không an toàn có giá trị $Z = 0$ gọi là biên sự cố (xem Hình 2-2). Trường hợp không xảy ra sự cố, xác suất an toàn của công trình là [53]:

$$P(R > S) \text{ hay } P(Z > 0) \tag{2-2}$$

Trong các tính toán an toàn công trình, xác suất an toàn được đối chiếu với xác suất an toàn tiêu chuẩn (P_{tc}) và được xác định theo các tiêu chuẩn thiết kế.

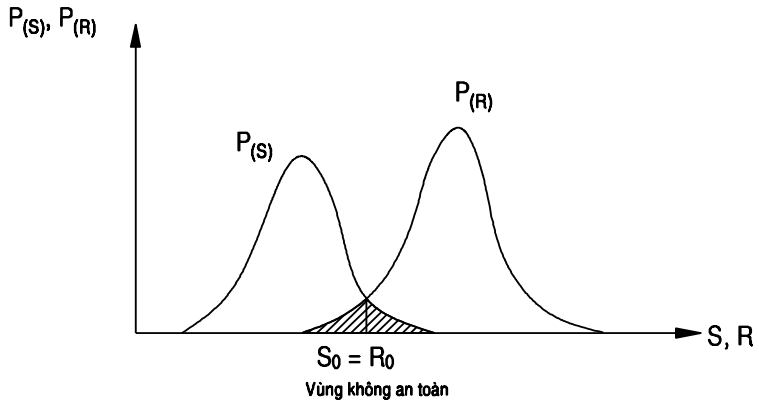


Hình 2-2: Định nghĩa biên sự cố [33]

Nếu các bài toán xác suất không phụ thuộc vào thời gian, xác suất sự cố (P_f) và xác suất an toàn (P_s) có tổng bằng 1, xác suất xảy ra sự cố được tính theo công thức (2-3).

$$P_f = 1 - P_s \tag{2-3}$$

Hàm mật độ phân bố xác suất của hàm tải trọng S và độ bền R biểu diễn trên cùng một mặt phẳng tọa độ như Hình 2-3, trong đó hai đường cong $P(S)$ và $P(R)$ cắt nhau tại điểm có $R_0 = S_0$ và hình thành vùng giao thoa là tập hợp các điểm có $R < S$ gọi là vùng không an toàn. Xác suất sự cố khi đó là diện tích của vùng giao thoa [54], [55].



Hình 2-3: Quan hệ giữa hàm tải trọng S và hàm sức chịu tải R [54], [55]

Trong trường hợp tổng quát, khi tải trọng S và độ bền R là hàm số của các biến ngẫu nhiên thành phần, khi đó xác suất sự cố được xác định theo (2-4):

$$P\{Z < 0\} = P_f = \iint_{Z<0} f_{R,S}(R,S)\,dR\,dS \tag{2-4}$$

Trong tính toán độ tin cậy, có ba cấp độ được phân biệt để xác định xác suất sự cố theo (2-4), bao gồm cấp độ I, II và III. Trong đó, cấp độ III giải quyết bài toán ngẫu nhiên hoàn toàn khi tính toán với hàm mật độ xác suất của các biến ngẫu nhiên được giữ nguyên thể [26].

Nếu hàm mật độ xác suất kết hợp $f_{R,S}(R, S)$ của độ bền R với tải trọng S đã biết thì xác suất xảy ra sự cố có thể được tính theo phương pháp tích phân:

$$P\{Z < 0\} = P_f = \iint_{Z<0} f_{R,S}(R,S)dRdS \tag{2-5}$$

Với $Z < 0$ khi $R < S$, biểu thức sau được áp dụng:

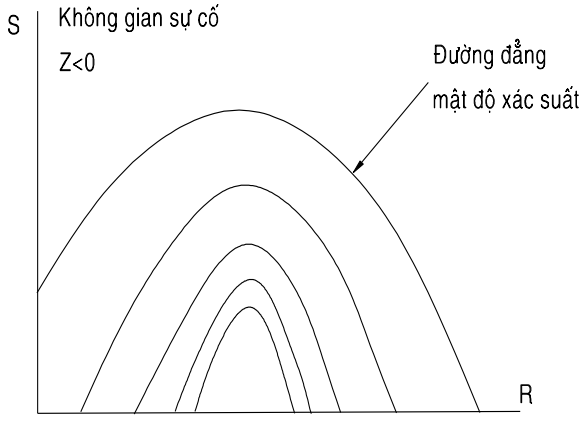
$$P_f = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{S} f_{R,S}(R,S)\,dR\,dS \tag{2-6}$$

Nếu sức bền và tải trọng là các đại lượng độc lập thì:

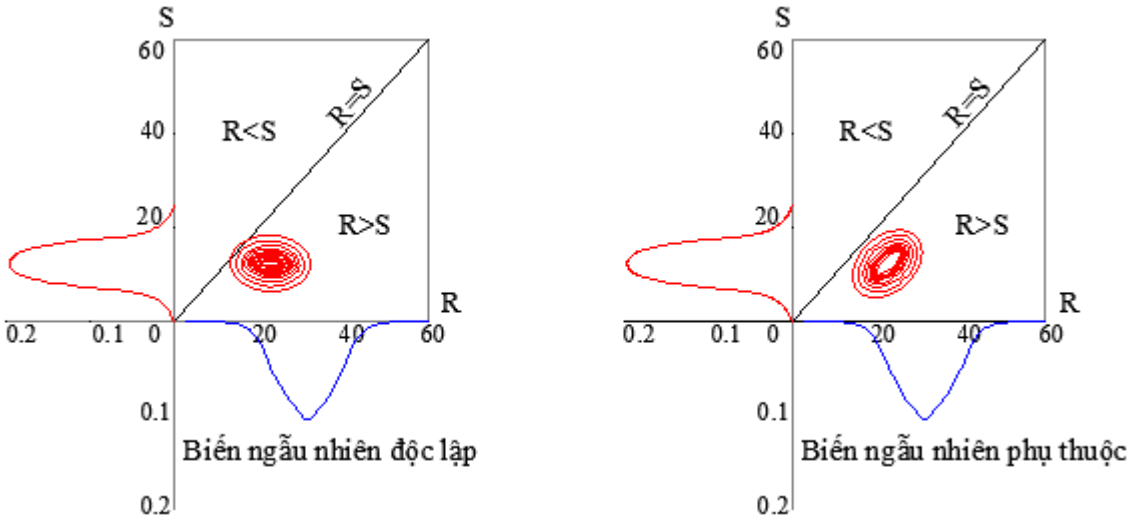
$$P_f = P(R < S) = \int_{-\infty}^{\infty}\left(\int_{-\infty}^{S} f_R(R) f_S(S)\,dR\right)dS = \int_{-\infty}^{\infty} F_R(S) f_S(S)\,dS \tag{2-7}$$

Tương tự, có thể chứng minh (nếu $R > S$):

$$P_f = P(S > R) = \int_{-\infty}^{\infty}\left(1 - F_S(R)\right) f_R(R)\,dR \tag{2-8}$$



Hình 2-4: Miền tính toán tích phân của hàm fR,S(R.S) [23]



Hình 2-5: Đường đẳng mật độ xác suất của hàm kết hợp fR(X1)fS(X2). Vùng bôi đen thể hiện vùng sự cố X1 < X2 [24]

Thông thường, sức chịu tải và tải trọng là các hàm của một hoặc nhiều biến. Khi đó hàm độ tin cậy được mô tả:

$$Z = g(X_1, X_2, ..., X_n) \tag{2-9}$$

Xác suất xảy ra sự cố có thể tính được qua tích phân:

$$P_f = \int\int_{Z<0} \dots \int f_{X_1, X_2, ..., X_n}(X_1, X_2, \dots, X_n)\, d\,X_1\, d\,X_2 \dots d\,X_n \tag{2-10}$$

Nếu các biến X_1, X_2, ..., X_n độc lập thì biểu thức có dạng:

$$P_f = \int\int_{Z<0} \dots \int f_{X_1}(X_1) f_{X_2}(X_2) \dots f_{X_n}(X_n)\, d\,X_1\, d\,X_2 \dots d\,X_n \tag{2-11}$$

Phương trình tích phân mật độ xác suất có thể được giải bằng 2 cách: phương pháp tích phân số hoặc mô phỏng ngẫu nhiên theo Monte Carlo (MCS) [55].

2.1.2. Phân tích độ tin cậy một cơ chế sự cố theo bài toán Cấp độ III - Mô phỏng ngẫu nhiên Monte-Carlo

Phương pháp mô phỏng ngẫu nhiên Monte-Carlo (MCS) được áp dụng để giải hàm độ tin cậy theo cấp độ III bằng cách mô phỏng các biến ngẫu nhiên ban đầu của hàm độ tin cậy theo các luật phân phối tương ứng. Các biến ngẫu nhiên được mô phỏng độc lập lẫn nhau và đưa vào hàm độ tin cậy để tính kết quả hàm *Z*. Tỷ số giữa số lần hàm *Z* nhận giá trị âm trên tổng số lần mô phỏng được xem là xác suất sự cố của hàm độ tin cậy.

Xét hàm độ tin cậy tổng quát của một cơ chế sự cố theo công thức (2-10). Theo phương pháp mô phỏng ngẫu nhiên Monte-Carlo, tiến hành mô phỏng ngẫu nhiên các biến thành phần theo luật phân phối của chúng và ứng với mỗi lần mô phỏng xác định giá trị của hàm độ tin cậy dựa theo phương trình của hàm Z. Số lần hàm Z nhận giá trị âm được xác định theo công thức (2-12):

$$N_f = \sum_{j=1}^{N} 1\left(g\left(\mathbf{x}_j\right)\right) \tag{2-12}$$

Trong đó N là tổng số lần mô phỏng ngẫu nhiên; 1(g(x)) là hàm đếm khi Z < 0, giá trị của hàm này được gán là 1 khi hàm Z có giá trị âm.

Do đó, xác suất sự cố được xác định là:

$$P_f \approx \frac{N_f}{N} \tag{2-13}$$

Hệ số biến thiên của xác suất sự cố được xác định bởi:

$$V_{P_f} \approx \frac{1}{\sqrt{P_f N}} \tag{2-14}$$

Trong đó P_f là giá trị xác suất sự cố xác định được thông qua mô phỏng.

Theo phương pháp này, độ chính xác của mô hình tính phụ thuộc vào số lần mô phỏng. Sai số tương đối được xác định theo:

$$\varepsilon = \frac{\frac{N_f}{N} - P_f}{P_f} \tag{2-15}$$

Kỳ vọng toán của sai số bằng không, độ lệch chuẩn được xác định:

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{1-P_f}{NP_f}} \tag{2-16}$$

Kết quả phân tích độ nhạy cho thấy khi số lần mô phỏng đủ lớn, sai số mô hình tuân theo luật phân phối chuẩn thường. Do đó, xác suất để sai số mô hình nhỏ hơn giá trị sai số cho phép định trước E được xác định bởi:

$$P\left(\varepsilon < E\right) = \Phi\left(\frac{E}{\sigma_\varepsilon}\right) \tag{2-17}$$

Với điều kiện số lần mô phỏng đủ lớn theo điều kiện sau [19]:

$$N > \frac{k^2}{E^2}\left(\frac{1}{P_f} - 1\right) \quad (2\text{-}18)$$

Trong đó: k là số nguyên, nhân các giá trị 1, 2, hoặc 3, thể hiện khoảng tin cậy theo quy luật k* tương ứng với các khoảng 95% (k = 1), 97,5% (k = 2) và 99,5% (k = 3);

Xác suất để sai số mô hình E nhỏ hơn giá trị sai số (k × σ × ε) chính bằng Φ(k). Do đó, với khoảng tin cậy cho trước k, và sai số cho phép định trước E, số lần mô phỏng tối thiểu cần có N để bảo đảm điều kiện tin cậy và sai số định trước là:

$$P(\varepsilon < E) = \Phi\left(\frac{E}{\sigma_\varepsilon}\right) \quad (2\text{-}19)$$

$$N > \frac{k^2}{E^2}\left(\frac{1}{P_f} - 1\right) \quad (2\text{-}20)$$

Trong trường hợp khoảng tin cậy yêu cầu là 95% (k = 1) với sai số cho phép E = 0,1 thì cần số lần mô phỏng là:

$$N > 400\left(\frac{1}{P_f} - 1\right) \quad (2\text{-}21)$$

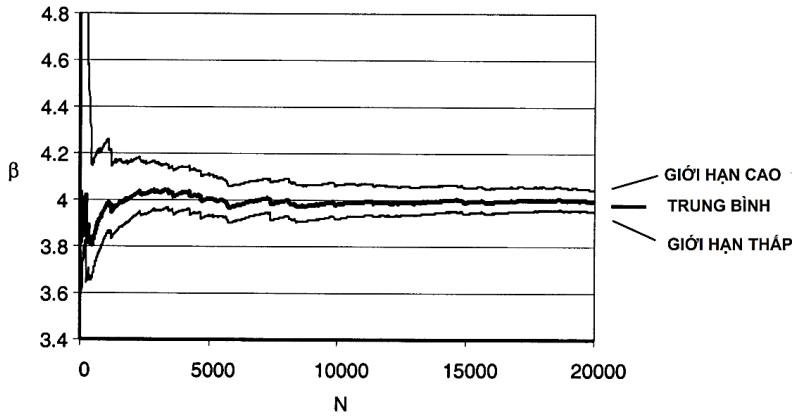
Đối với các bài toán kỹ thuật công trình thủy tại Việt Nam hiện nay, thông thường xác suất sự cố trong phân tích an toàn nằm trong giới hạn P_f = 1% ÷ 0,01%, tương đương với số lần mô phỏng từ 39.996 ÷ 399.960 lần mô phỏng [52]. Vì thế, trong nghiên cứu này số lần mô phỏng được chọn 1.000.000 lần để đảm bảo sai số trong tính toán đủ nhỏ và kết quả hội tụ.

Các bước đơn giản để giải hàm độ tin cậy theo phương pháp cấp độ III thông qua mô phỏng ngẫu nhiên Monte Carlo như sau:

- Bước 1: Gán biến đếm n = 0 (dùng để đếm số lần hàm Z nhận giá trị âm);
- Bước 2: Lấy ngẫu nhiên các cặp biến R và S dùng số ngẫu nhiên Monte-Carlo trong máy tính và hàm phân phối xác suất của biến tương ứng;
- Bước 3: Tính Z = R – S cho lần mô phỏng tương ứng;
- Bước 4: Kiểm tra nếu Z < 0 thì tính lại hàm đếm n = n + 1; nếu Z ≥ 0 hàm đếm giữ nguyên giá trị;

- Bước 5: Lặp lại các bước 2, 3, 4….đến N lần thì dừng;

- Bước 6: Kết thúc mô phỏng; tính xác suất sự cố theo công thức $P_f = n/N$.



Hình 2-6: Số lượng mẫu yêu cầu N không phụ thuộc vào số biến của hàm Z [19].

2.2. Phương pháp phân tích rủi ro hệ thống đê và vùng được bảo vệ

Khi xem xét một đối tượng (hay một hoạt động), rủi ro gắn với đối tượng đó liên quan đến khả năng xảy ra sự cố của đối tượng đó và hậu quả do sự cố đó gây ra. Trên thế giới hiện nay sử dụng định nghĩa rủi ro tổng quát là tích số của xác suất xảy ra sự cố với hậu quả của sự cố. Với định nghĩa này, xác suất xảy ra sự cố ngoài ý muốn và hậu quả của nó đóng vai trò quan trọng như nhau. Do xác suất xảy ra sự cố là đại lượng không thứ nguyên, mặt khác hậu quả của một sự cố ngoài ý muốn xảy ra thường có thứ nguyên và khác nhau về tính chất như thiệt hại về vật chất có thể quy ra đơn vị tiền tệ, thiệt hại thương vong con người và các thiệt hại khác không quy được ra tiền, vì vậy rủi ro có thứ nguyên của hậu quả thiệt hại và cũng không thể diễn tả chỉ trong một con số.

Hậu quả của một sự cố ngoài ý muốn có thể là tất định hoặc bất định. Khi hậu quả mang tính bất định thì có thể định nghĩa rủi ro bằng hàm mật độ xác suất phụ thuộc vào các biến ngẫu nhiên liên quan.

Xét một đối tượng A bất kỳ; trong đó đối tượng A chịu tác động bởi nhiều yếu tố ngẫu nhiên và có khả năng gặp sự cố không mong muốn. Giả sử rằng biến ngẫu nhiên X mô tả mức độ nghiêm trọng của sự cố không mong muốn xảy ra với đối tượng A; hậu quả do sự cố xảy ra với đối tượng A khi đó được mô tả là một hàm số g(X).

Trong đó, đại lượng ngẫu nhiên X có giá trị trung bình μ và độ lệch chuẩn σ. Xác suất của sự cố ngoài ý muốn là P_f.

Khi đó mật độ xác suất thiệt hại do sự cố không mong muốn của đối tượng A được mô tả như sau:

$$f_{g(X)}(g(X)) = \begin{cases} \infty & X = 0 \\ P_f \varphi\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right) & X \neq 0 \end{cases} \quad (2\text{-}22)$$

Rủi ro được biểu diễn thông qua giá trị kỳ vọng toán $E\{P_f \times g(X)\}$, ta có thể diễn toán hàm rủi ro như sau:

$$risk = P_f \int_{-\infty}^{\infty} g(X)\varphi\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right) dX \quad (2\text{-}23)$$

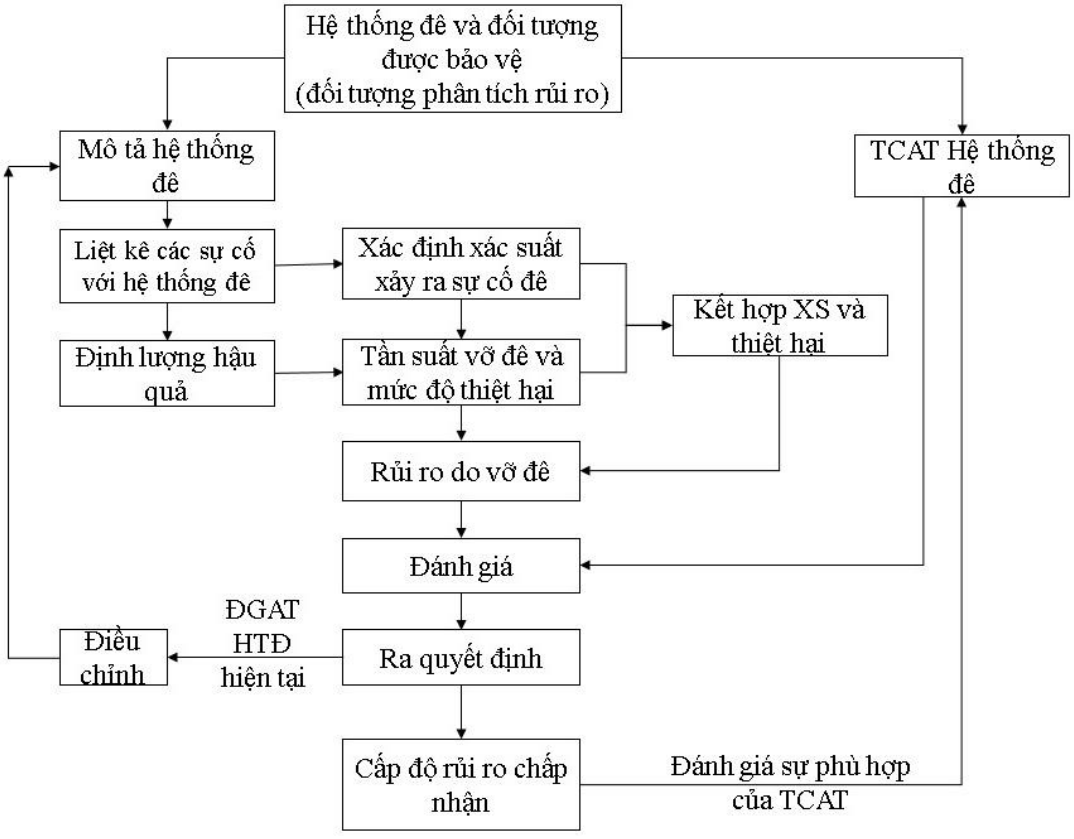
Phân tích rủi ro được dùng cho nhiều mục đích chẳng hạn kiểm tra độ an toàn của một đối tượng có phù hợp với tiêu chuẩn hay đạt tối ưu về kinh tế hay không. Mục đích chung của phân tích rủi ro là cung cấp cơ sở kỹ thuật để đưa ra quyết định cuối cùng dựa trên mức độ rủi ro của đối tượng theo các kịch bản thực tế có thể xảy ra.

Các ví dụ cho mục đích này được áp dụng trong thiết kế công trình, tối ưu hoá thiết kế hệ thống phòng chống lũ và các hệ thống tương tự, tối ưu hoá về quy hoạch, duy tu bảo dưỡng…

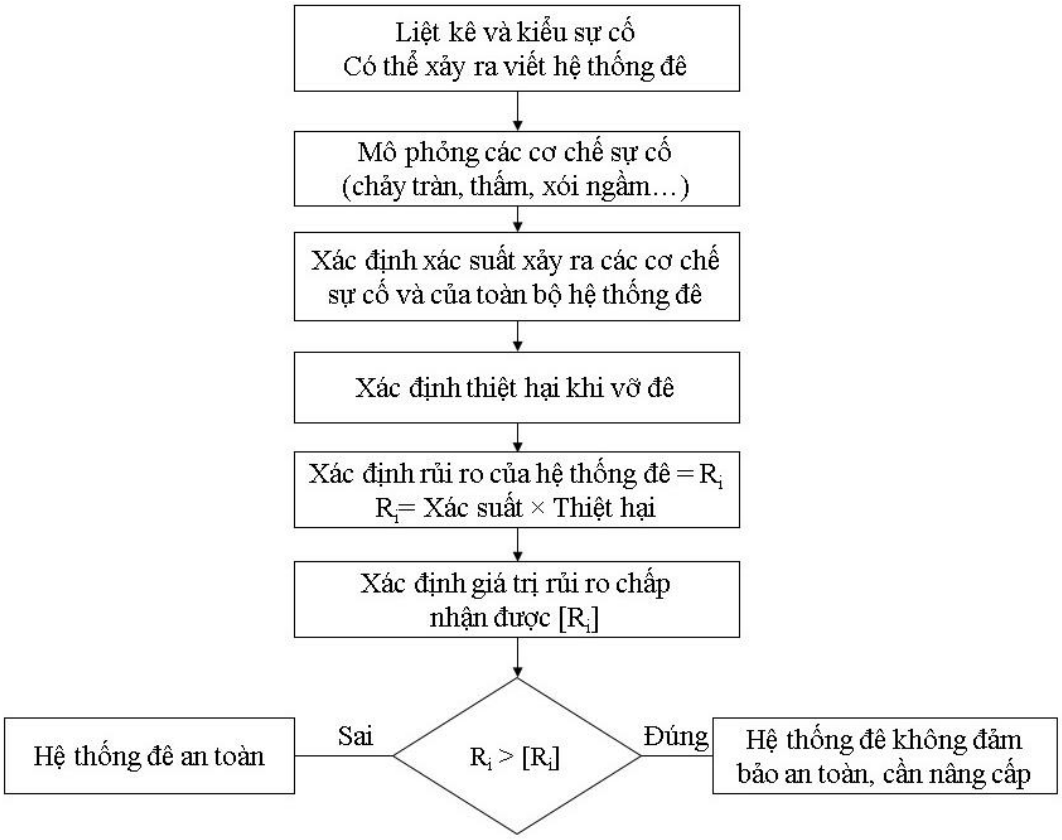
Căn cứ vào chức năng của đối tượng, kết quả phân tích rủi ro của đối tượng cần phải được so sánh với các chuẩn rủi ro đã thiết lập. Ví dụ liên quan đến các vấn đề về an toàn thì chính sách an toàn quốc gia là tiêu chuẩn để so sánh. Trong trường hợp cần thiết, thông số kỹ thuật của đối tượng phải điều chỉnh để giá trị rủi ro xác định được thỏa mãn theo các chuẩn đó.

Với mục đích tối ưu hoá thiết kế thì rủi ro sẽ gắn với tổng chi phí của đối tượng bao gồm chi phí đầu tư xây dựng nâng cấp; chi phí duy tu; chi phí thiệt hại tiềm tàng khi có sự cố không mong muốn xảy ra; trong trường hợp này vấn đề cần tập trung phân tích là tìm được điểm tối ưu mà tại đó tổng chi phí liên quan đến đối tượng là nhỏ nhất. Giá trị rủi ro tương ứng với điểm tối ưu đó được gọi là giá trị rủi ro chấp nhận và coi đó là giá trị giới hạn rủi ro (chuẩn rủi ro).

Hình 2-7 mô tả các thành phần trong phân tích rủi ro của một hệ thống đê và vùng được bảo vệ. Đầu tiên là mô tả chi tiết hệ thống đê và liệt kê các thành phần của đối tượng; tiếp theo là liệt kê các kiểu sự cố không mong muốn có thể xảy ra với hệ thống đó. Đây là một bước quan trọng trong phân tích rủi ro bởi nếu thiếu một kiểu sự cố cũng có thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến kết quả phân tích. Bước tiếp theo là định lượng khả năng xảy ra sự cố (xác định xác suất sự cố) của từng cơ chế sự cố đê và định lượng hậu quả khi hệ thống đê gặp sự cố và kết hợp lại xác định giá trị rủi ro theo định nghĩa. Sau đó tiến hành đánh giá rủi ro bằng cách so sánh giá trị rủi ro xác định được với TCAT hiện tại, tiến hành điều chỉnh hệ thống đê (nâng cấp) nếu cần thiết và cuối cùng là ra quyết định về mức độ/ giá trị rủi ro chấp nhận được của đối tượng xem xét. Các bước cơ bản trong phân tích rủi ro của một hệ thống đê được trình bày tại Hình 2-8.



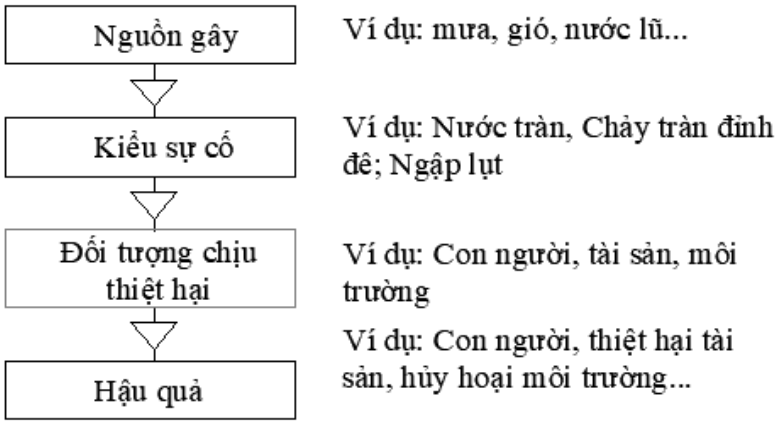
Hình 2-7: Sơ đồ nguyên lý phân tích rủi ro hệ thống đê



Hình 2-8: Các bước cơ bản trong phân tích rủi ro hệ thống đê

2.2.1. Phân tích rủi ro lũ lụt

Các nghiên cứu về khái niệm rủi ro do ngập lụt đã xuất hiện từ khá sớm nhưng những công trình có nội dung nghiên cứu sâu chỉ mới bắt đầu từ giữa thế kỷ thứ 20, khi mà các vấn đề về thiên tai như lũ lụt và bão trở lên nghiêm trọng trên toàn cầu do sự tác động và nhận biết của nhân loại về sự biến đổi khí hậu được rõ rệt. Với sự phát triển về kỹ thuật tính toán, ngày nay việc nghiên cứu tính toán và dự báo ngập lụt tại các vùng cửa sông, ven biển, vùng hạ du và duyên hải nói chung được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu, đặc biệt trong vài thập kỷ gần đây.



Hình 2-9: Các bước cơ bản trong phân tích rủi ro [1]

Khái niệm "rủi ro" trong ngập lụt được nhiều nhà khoa học sử dụng hiện nay được xem là sự tổng hợp giữa hai yếu tố: nguy cơ xảy ra ngập lụt và hậu quả của nguy cơ đó, diễn toán theo tích số của xác suất xảy ra khả năng ngập lụt và giá trị thiệt hại khi ngập lụt xảy ra như công thức (1-1). Khái niệm này được sử dụng tại Hà Lan từ năm 1953 khi xây dựng tiêu chuẩn an toàn phòng lũ và ứng dụng lần đầu trong thiết kế xây dựng hệ thống công trình đồng bằng (Deltaworks) vùng Tây Nam Hà Lan [53].

Trong vài thập kỷ trở lại đây việc nghiên cứu hiện tượng ngập lụt và rủi ro do ngập lụt được cả thế giới quan tâm nghiên và phát triển. Trong "*Hội nghị chuyên đề Quốc tế lần thứ hai về Phòng chống lũ*" (*the Second International Symposium on Flood Defence*) vào năm 2002, nhiều báo cáo về phân tích, đánh giá rủi ro do ngập lụt đã được trình bày phân tích. Wolfgang Kron (2002) đã đưa ra định nghĩa về rủi ro do ngập lụt và lựa chọn rủi ro do ngập lụt là hàm số của "hiểm hoạ" (hazard), sự "đối mặt" (Exposure) của con người và tài sản và "khả năng dễ bị tổn thương" (vulnerability). Qua công trình này ông đã đề xuất ra công thức tính độ rủi ro cho vùng ngập lụt như sau:

$$R = \int_{Q_a}^{\infty} C(Q)\, f(Q) dQ \qquad (2\text{-}24)$$

Trong đó $C(Q)$ là giá trị hoặc sự thiệt hại do lưu lượng nước Q gây ra và f(Q) là hàm mật độ xác suất của lưu lượng Q, Q_a là giá trị Q mà từ đó xảy ra sự cố rủi ro. Tích phân này được tính toán trên toàn miền và đưa ra những cảnh báo về rủi ro ngập lụt cho khu vực nghiên cứu tại Hà Lan, Anh Quốc và Đức [1].

Như vậy, theo cả hai định nghĩa trên, rủi ro ngập lụt sẽ phụ thuộc vào xác suất xảy ra một kịch bản ngập lụt và giá trị thiệt hại khi xuất hiện ra khả năng ngập lụt trên.

Do vậy, muốn phân tích được rủi ro ngập lụt, yếu tố quan trọng là phải xác định được các hiểm hoạ nghĩa là cần phải xây dựng được bản đồ ngập lụt theo các kịch bản về khả năng xảy ra, trong đó có chứa các thông số như phạm vị ngập, độ sâu ngập, thời gian ngập, vận tốc dòng chảy v.v….ngoài ra cần có các thông tin như sự đối diện trực tiếp và gián tiếp giữa nước lũ với con người và tài sản trước hiểm hoạ và sức kháng của các đối tượng trên trong quá trình diễn ra hiểm hoạ, để từ đó tính toán được giá trị thiệt hại do ngập lụt.

2.2.2. Phương pháp xác định thiệt hại do lũ

Theo các nghiên cứu trên thế giới hiện nay, thiệt hại do ngập lụt có thể chia ra làm thiệt hại trực tiếp và gián tiếp, thiệt hại hữu hình và thiệt hại vô hình không thể tính bằng tiền. Để đánh giá các thiệt hại này, có hai cách tiếp cận thường được sử dụng: sử dụng mô hình đánh giá thiệt hại đơn vị và mô hình thống kê thiệt hại từ số liệu lịch sử [56].

2.2.2.1 Phương pháp mô hình mô phỏng xác định thiệt hại do lũ

Mô hình đánh giá thiệt hại đơn vị đã được các nhà nghiên cứu Mỹ (White, 1964; Kates, 1965) phát triển, và được mở rộng nghiên cứu như [37].

Theo phương pháp đánh giá này, đối với các thiệt hại về vật chất, nếu xem xét khu vực có diện tích *A*, và biết độ sâu ngập với một tần suất lũ; thì mỗi phần diện tích A_{ij} của *A* sẽ bị ngập với chiều sâu nước trong khoảng [h_i, h_j], gây ra thiệt hại với mức độ thiệt hại p_{ij}. Do đó, tổng thiệt hại do ngập lụt gây ra với khu vực *A* là:

$$D = x\sum A_{ij}\, p_{ij} \qquad (2\text{-}25)$$

Với x là giá trị của vật chất trên một đơn vị diện tích.

Để tính toán được giá trị thiệt hại *D*, các vấn đề cần phải giải quyết là: (1) Tính toán được độ sâu ngập trên tại vị trí bất kỳ; (2) Xác định giá trị thiệt hại trên một đơn vị diện tích; (3) Xác định được mức độ thiệt hại của đối tượng theo mỗi giai đoạn ngập lũ khác nhau. Sơ đồ khối mô tả xác định thiệt hại *D* như trên Hình 2.10.

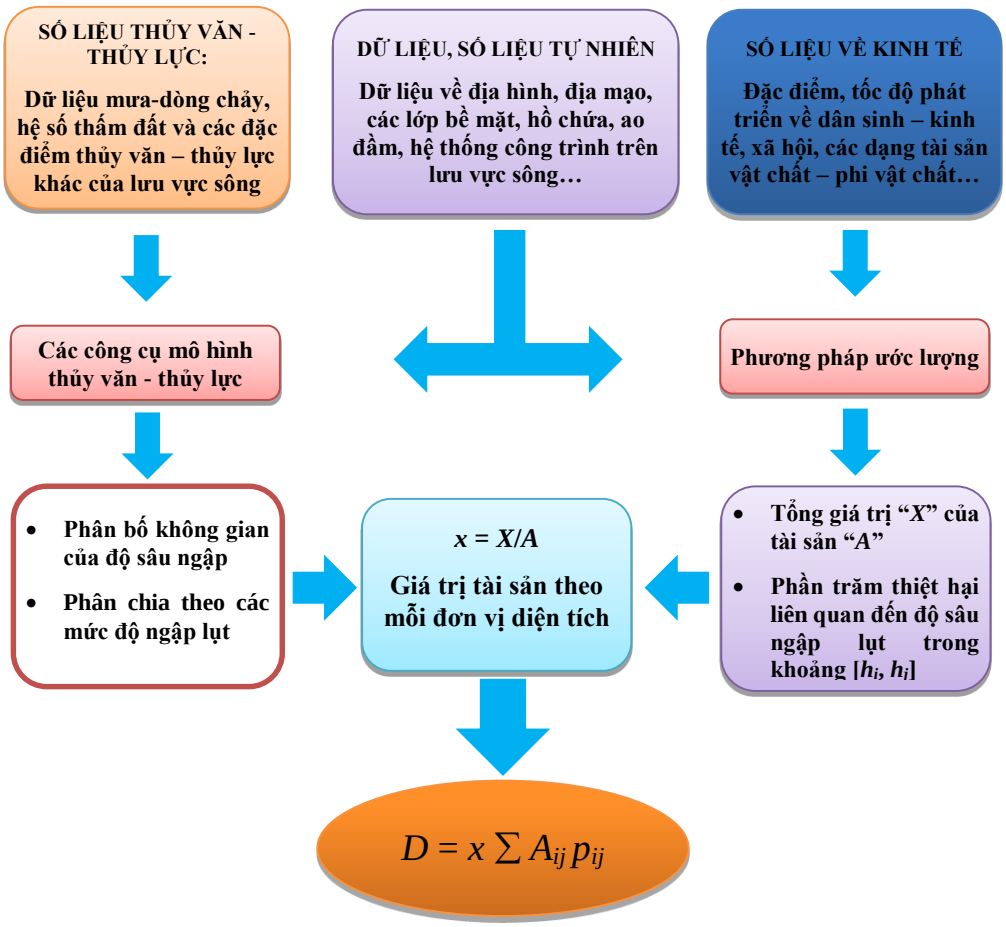
Với (1), độ sâu ngập lụt có thể được giải quyết bằng các mô hình thủy động lực học, kết hợp với GIS để thu được bản đồ ngập lụt cho khu vực.

Với (2), các thiệt hại cần được phân chia theo tính chất của thiệt hại, cũng như đặc trưng của khu vực như: thiệt hại ở khu vực thành thị, khu vực nông thôn, thiệt hại cho cơ sở hạ tầng…. Mỗi khu vực và từng loại thiệt hại có những tính chất, và giá trị khác nhau trong quá trình định lượng.

Vấn đề (3) là mối quan hệ giữa các thông số của lũ với thiệt hại của những đối tượng khác nhau. Các hàm số thiệt hại theo thời gian lũ tùy thuộc vào từng đối tượng và tính chất từng khu vực cụ thể. Mỗi khu vực sẽ có hàm số đặc trưng này với các tham số thay

đổi. Việc xác định hàm số thiệt hại với từng khu vực là vấn đề cốt lõi để đánh giá được rủi ro cho khu vực xem xét.

Như vậy, cùng với sự phát triển của kỹ thuật tính toán, trong những năm gần đây, xu hướng chuyển đổi về chính sách lũ, từ quan niệm truyền thống "phòng chống lũ" sang mô hình mới "quản lý rủi ro về lũ" [57], bao gồm hai nội dung chính phân tích rủi ro về lũ và giảm nhẹ các rủi ro do lũ, cũng là nhân tố đòi hỏi sự cần thiết phải tiến hành các nghiên cứu để đánh giá các thiệt hại và rủi ro về lũ đối với kinh tế, xã hội.



Hình 2-10: Sơ đồ mô tả mô hình tính toán thiệt hại do ngập lụt [37].

2.2.2.2 Phương pháp xác định thiệt hại theo phân tích thống kê số liệu lịch sử

Theo phương pháp này, thiệt hại do lũ lụt tại một vùng có thể được xác định dựa vào phân tích thống kê các số liệu lịch sử của nhiều trận lũ đã từng xảy ra trong quá khứ. Ngoài ra, có thể sử dụng số liệu của các vùng có tính chất tương tự đã có thống kê về thiệt hại để so sánh và hiệu chỉnh. Trên cơ sở số liệu thu thập, tiến hành phân tích thống kê xác định các đặc trưng thống kê như trị trung bình nhiều năm, sai số quân phương và xây dựng đường tần suất về thiệt hại trung bình; từ đó xác định được giá trị thiệt hại D

(trong quá khứ). Để đưa và phân tích rủi ro, giá trị thiệt hại này cần được hiệu chỉnh về thời điểm hiện tại: kể đến trượt giá, lãi xuất và tăng trưởng kinh tế…

Cách làm phổ biến theo phương pháp này là xây dựng đường cong tần suất thiệt hại (đường cong FD), thể hiện quan hệ giữa chu kỳ lặp lại của trận lũ và giá trị thiệt hại trung bình. Đường cong FD và giá trị thiệt hại về kinh tế khả dĩ có thể được xác định từ hàm mật độ xác suất (PDF) của thiệt hại $f_D(x)$:

$$1-F_D(x)=P(D>x)=\int_x^{\infty} f_D(x)\cdot dx \text{ và } E(D)=\int_0^{\infty} x\cdot f_D(x)\cdot dx \qquad (2\text{-}26)$$

Trong đó:

$f_D(x)$: Hàm mật độ xác suất thiệt hại về kinh tế;

$F_D(x)$: Hàm phân phối xác suất tích lũy thiệt hại về kinh tế;

$E(D)$: Kỳ vọng thiệt hại kinh tế.

Đường cong FD có thể được xây dựng bằng các số liệu thống kê về thiệt hại do các sự kiện bão lũ hằng năm. Ứng dụng các đặc trưng thống kê của đường cong FD này ta có thể xác định được mức độ thiệt hai, rủi ro kinh tế khả dĩ, làm đầu vào cho bài toán phân tích rủi ro.

2.2.3. Xác định rủi ro của hệ thống đê

Khung lý thuyết phân tích rủi ro tổng quát ở trên được vận dụng và phát triển để áp dụng cho hệ thống đê. Khi đó, theo định nghĩa tổng quát rủi ro (1-1), thiệt hại D được xác định là thiệt hại do lũ xảy ra do sự cố vỡ đê, quy theo giá trị dòng về thời điểm hiện tại ; xác suất xảy ra thiệt hại chính là xác suất xảy ra sự cố sự cố vỡ đê. Các bước phân tích rủi ro cho hệ thống đê gồm: mô tả các thành phần công trình trong hệ thống đê như các đoạn đê, cống và các công trình thành phần khác; tiếp theo là liệt kê các kiểu sự cố hư hỏng (cơ chế phá hoại) có thể xảy ra; sau đó là xác định xác suất xảy ra sự cố của từng cơ chế sự cố, tổng hợp xác suất sự cố của các thành phần công trình và tổng hợp xác suất sự cố hệ thống; xác định thiệt hại tương ứng với xác xuất sự cố đã được xác định và cuối cùng là xác định giá trị rủi ro theo công thức (2-4). Chi tiết xây dựng bài toán phân tích rủi ro cho hệ thống đê được mô tả cụ thể tại Chương 3.

Trong bước xác định xác suất sự cố tổng hợp của hệ thống (P_f) được tổng hợp từ xác suất sự cố của các công trình trong hệ thống. Trường hợp đối tượng là hệ thống đê, các công trình có thể bao gồm: cống, đê, kè… xác suất sự cố của từng công trình trong hệ thống được tổng hợp từ xác suất sự cố của các hạng mục trong công trình đó. Nếu công trình là cống thì hạng mục có thể là trụ cống, bản đáy hoặc cửa van... Để xác định được xác suất sự cố tổng hợp của hệ thống cần sử dụng lý thuyết độ tin cậy phân tích sơ đồ cây sự cố được trình bày trong Mục 2.1 và 2.3.

2.2.4. Giá trị rủi ro chấp nhận của hệ thống đê

2.2.4.1. Rủi ro theo quan điểm kinh tế

Chức năng chính của một hệ thống đê là chống không cho lũ tràn vào vùng được bảo vệ. Khi hệ thống đê gặp sự cố, vùng được bảo vệ có khả năng bị ngập lụt dẫn đến hậu quả thiệt hại trực tiếp và gián tiếp về tài sản, các thiệt hại vô hình khác và có thể cả sinh mạng.

Đặc điểm chung của hệ thống đê là khả năng xảy ra sự cố thấp, nhưng khi sự cố xảy ra thì hậu quả là rất lớn. Sự cố hệ thống dẫn đến ngập lụt chỉ được chấp nhận với chuẩn xác suất rất nhỏ định trước bởi quy phạm và tiêu chuẩn an toàn của từng quốc gia. Chuẩn xác suất này chính là giá trị rủi ro chấp nhận được của hệ thống đê hay còn gọi là ĐTCYC của hệ thống và được xác định thông qua so sánh tối ưu giữa chi phí (gồm đầu tư xây dựng ban đầu hoặc chi phí đầu tư nâng cấp, chi phí vận hành, bảo dưỡng) và rủi ro tiềm tàng phản ánh tổng thiệt hại khi hệ thống gặp sự cố.

ĐTCYC cần phải được xác định trong giai đoạn quy hoạch, thiết kế vì nó quyết định quy mô đầu tư hệ thống và giá trị xác suất sự cố ngập lụt cho phép. Đối với mỗi vùng bảo vệ cụ thể. Khi quy mô đầu tư lớn, hệ thống có mức độ an toàn cao, tức là xác suất sự cố xảy ra ngập lụt nhỏ, dẫn đến rủi ro tiềm tàng thấp. Trong trường hợp ngược lại, rủi ro tiềm tàng sẽ cao. Rõ ràng, không thể gia tăng quy mô đầu tư rất cao để có được rủi ro là rất thấp, mà với mỗi vùng được bảo vệ sẽ phải chấp nhận một mức độ rủi ro hợp lý làm cơ sở để quyết định quy mô đầu tư và mức bảo đảm an toàn thiết kế. Giá trị rủi ro hợp lý này chính là giới hạn lớn nhất của rủi ro tiềm tàng cho vùng nghiên cứu và được gọi là "giá trị rủi ro chấp nhận được". Bài toán xác định giá trị rủi ro chấp nhận được cho hệ thống đê theo quan điểm kinh tế được thiết lập chi tiết tại Chương 3.

2.2.4.2. Rủi ro chấp nhận dựa theo nguy cơ thiệt hại về con người (quan điểm cá nhân)

Để thiết lập xác suất xảy ra sự cố chấp nhận được theo quan điểm cá nhân là coi nó tương đương với xác suất thương vong tính theo bình quân số người thiệt mạng. Các phân tích rủi ro dựa trên dữ liệu thống kê về tai nạn có thể đưa ra một giá trị trung bình về mức độ chấp nhận rủi ro theo quan điểm chung của cộng đồng. Theo phương pháp phân tích dựa trên lý trí và nhận thức, các cá nhân tham gia một hoạt động luôn ý thức về tính cân bằng giữa mức độ chấp nhận rủi ro và lợi nhuận khi quyết định tham gia một hoạt động. Ý thức này được đánh giá thông qua chỉ số về mức độ tự nguyện tham gia hoạt động (β – chỉ số về mức độ tình nguyện).. Vì vậy sẽ có sự khác biệt về mức độ chấp nhận rủi ro giữa các hoạt động khác nhau.

Giá trị rủi ro cá nhân chấp nhận được (P_{di}) dành cho một hoạt động cụ thể được tính bằng:

$$P_i = \frac{N_{di}}{N_{pi}} = \frac{N_{pi} P_{fi} P_{d/Fi}}{N_{pi}} \qquad (2\text{-}27)$$

Trong đó:

- N_{pi} là số thành viên của hoạt động thứ i;
- N_{di} là số người thiệt mạng do tai nạn của của hoạt động thứ i;
- P_{fi} là xác suất động thứ i; $P_{d/Fi}$ là xác suất thiệt mạng khi xảy ra tai nạn của hoạt động thứ i;

Trong thực tế rất khó để có thể mô phỏng được mức độ rủi ro này do đó người ta đề xuất xem xét mức độ rủi ro này thông qua số liệu thống kê về tai nạn.

Từ số liệu thống kê của các nước phương Tây, người ta tổng kết rằng mức độ rủi ro cá nhân có liên quan đến nhiều hoạt động là khá ổn định qua nhiều năm và mức độ rủi ro này hầu như bằng nhau ở các nước phát triển. Điều này cho thấy có sự thống nhất trong việc xác định giới hạn rủi ro liên quan đến một số hoạt động cụ thể và nó có liên quan đến mức độ tự nguyện tham gia các hoạt động. Xác suất một người bị thiệt mạng trong các hoạt động cuộc sống hàng ngày chẳng hạn khi lái xe hay khi đang làm việc trong nhà máy thấp hơn từ một đến hai lần xác suất thiệt mạng tổng cộng do các nguyên nhân khác.

Tại Hà Lan, một đất nước có bề dày kinh nghiệm trong phân tích và đánh giá rủi ro, giới hạn của rủi ro cá nhân được dùng làm tiêu chuẩn an toàn vời giá trị gần với rủi ro trung bình gây nên do các hoạt động mang tính nguy hiểm và rủi ro tự nhiên khi tham gia giao thông. Giá trị rủi ro cá nhân được Bộ Quy hoạch không gian và nhà ở (VROM) giới hạn $IR=P_i < 10^{-6}$ (1/năm). Giá trị giới hạn này được thiết lập áp dụng cho các hoạt động có tính chất không tự nguyện.

Số liệu thống kê về tổng hợp các nguyên nhân gây tử vong (kể cả trường hợp do bệnh tật tự nhiên) có xác suất xấp xỉ 10^{-4} đối với các hoạt động tự do có ý thức tự nguyện ở mức trung bình (như tham gia giao thông) [52], [58]. Mức rủi ro này được dùng làm chuẩn rủi ro trung bình khi so sánh nguy cơ rủi ro giữa các hoạt động và thiết lập chuẩn rủi ro cho các lĩnh vực. Các hoạt động nguy hiểm mang tính tự nguyện cao, chẳng hạn như tham gia leo núi, thì sẽ đưa đến rủi ro cao (xem Hình 2-11).

Giới hạn rủi ro tổng quát hơn được Hội đồng tư vấn chuyên môn về phòng chống lũ quy định (TAW 1985):

$$P_i = \frac{N_{di}}{N_{pi}} = \frac{N_{pi} P_{fi} P_{d/Fi}}{N_{pi}} \leq \beta x 10^{-4}$$

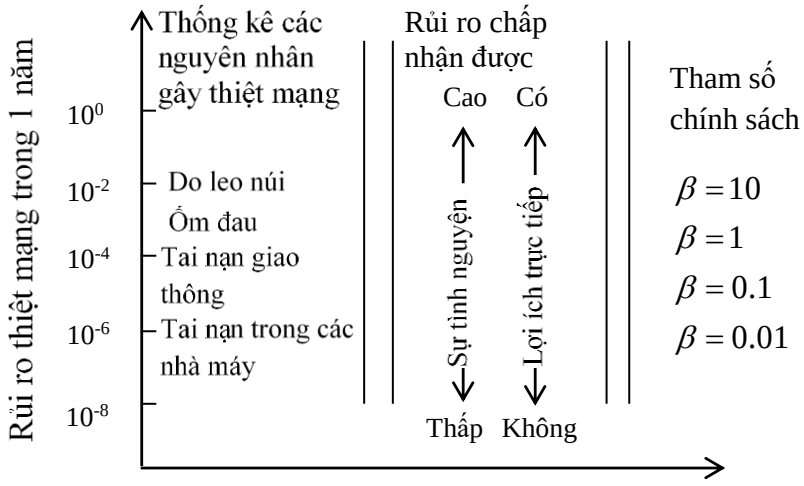
Trong đó, β_i được là tham số liên quan đến mức độ tự nguyện. Nó có giá trị thay đổi theo các hoạt động có tính chất khác nhau, phụ thuộc vào mức độ tự nguyện tham gia các hoạt động. Giá trị β_i nằm trong khoảng từ 100 (cho các hoạt động hòa toàn tự nguyện như thể thao leo núi) đến 0.01 (trong trường hợp tham gia các hoạt động một cách bị động). Theo Vrijling (1998) β_i nhận giá trị từ 0,1 đến 1,0 cho trường hợp rủi ro do bão lũ. Bảng dưới đây đưa ra giá trị đề nghị cho tham số chính sách β_i (là hàm số của các hoạt động tự nguyện và mức độ hưởng lợi từ hoạt động đó).

Kết quả nghiên cứu tại các nước Châu Âu cho thấy, hoạt động leo núi thường có rủi ro thương vong cao và chỉ có những người thực sự thích sự mạo hiểm mới tham gia và họ tham gia hoàn toàn tự nguyện, mặc dù biết trước nguy cơ rủi ro rất cao, khi đó chỉ số tình nguyện $\beta=10$ (rất cao). Ngược lại, tham gia giao thông được đánh giá là hoạt động trung tính, tương ứng với mức độ tự nguyện trung bình (hoạt động tự nhiên – có hưởng lợi trực tiếp) có rủi ro ở mức trung bình (khi đó chỉ số tình nguyện $\beta=1$ (trung bình). Theo nghiên cứu của [19] và [58], người dân sống trong vùng chịu lũ tại khu vực ven

biển vùng đồng bằng sông Hồng được đánh giá là hoạt động có tính chất nằm giữa mức độ tự nhiên và không tự nguyện và có hưởng lợi, do đó mức độ tự nguyện và hưởng lợi được đánh giá là thấp hơn so với tham gia hoạt động giao thông. Vì vậy, chỉ số tự nguyện trong trường hợp này là β=0.1 [19] [8].

Do đó, rủi do chấp nhận cho cộng đồng dân cư sống trong vùng có nguy cơ chịu lũ là:

$$P_i = \frac{N_{di}}{N_{pi}} = \frac{N_{pi} P_{fi} P_{d/Fi}}{N_{pi}} \le 10^{-5}$$



Hình 2-11: Rủi ro cá nhân tại các nước phương Tây dựa trên cơ sở thống kê các nguyên nhân gây thiệt mạng và tổng số người tham gia các hoạt động [52].

Bảng 2-1: Chỉ số tình nguyện khi tham gia các hoạt động

β_i	**Mức độ tự nguyện**	**mức độ hưởng lợi**	**ví dụ hoạt động**
100	Tự nguyện	Hưởng lợi trực tiếp	Leo núi
10	Tự nguyện	Hưởng lợi trực tiếp	Đua xe
1,0	Tự nhiên	Hưởng lợi trực tiếp	Lái xe
0,1	Không tự nguyện	Có hưởng lợi	Sống trong vùng có nguy cơ chịu lũ; hoặc làm việc trong nhà máy
0,01	Không tự nguyện	Không hưởng lợi	Sống gần trạm xăng

2.2.4.3. Rủi ro theo quan điểm cộng đồng

Nền tảng cơ bản trong việc xác định rủi ro của một hoạt động theo quan điểm cộng đồng là hàm mật độ xác suất mô phỏng số người thiệt mạng hằng năm do hoạt động đó gây ra. Trên cơ sở hàm mật độ xác suất chúng ta có thể xây dựng được đường tần suất giới

hạn về số người thiệt mạng, FN-Curve. Đường cong này thể hiện quan hệ giữa tần suất vượt quá (giới hạn) và số người thiệt mạng tích lũy và thường được biểu diễn trên trục lo-ga-rit hóa.

$$1 - F_N(x) = P(N > x) = \int_x^{\infty} f_N(x) \cdot dx \qquad (2\text{-}28)$$

Trong đó, $f_n(x)$ là hàm mật độ xác suất lý thuyết về số người thiệt mạng hằng năm; $F_N(x)$ là hàm phân phối xác suất lý thuyết về số người thiệt mạng hằng năm, mô phỏng xác suất xảy ra thiệt mạng với ít hơn x người thiệt mạng trên năm.

VROM giới hạn rủi ro của một hoạt động theo quan điểm cộng đồng theo:

$$1 - F_N(x) < \frac{10^{-3}}{x^2} \text{ với x } \geq 10 \qquad (2\text{-}29)$$

Trong đó:

- F_{Ndij} = là hàm tích lũy xác suất về số người thiệt mạng do hoạt động thứ i tại địa điểm j gây ra.

Để xác định tổng rủi ro có thể xảy ra cho cộng đồng người ta quan niệm rằng rủi ro xác định thông qua thống kê tai nạn phản ánh bản chất tự nhiên của một quá trình mang tính xã hội trước sự gánh chịu rủi ro. Như vậy giá trị rủi ro này được xem như kỳ vọng toán với một độ lệch chuẩn nào đó. Thêm vào đó Vrijling *et al.* (1995) chỉ ra rằng khi xác định rủi ro tổng cộng cần kể đến khả năng chịu đựng rủi ro của từng xã hội cụ thể, phụ thuộc vào đặc tính của từng xã hội cụ thể. Việc mô phỏng này được thực hiện bằng cách thêm hệ số chịu đựng rủi ro k vào trong hàm xác định rủi ro tổng cộng.

Vrijling *et al.* (2000) đề xuất rằng rủi ro mang tính cộng đồng cần được đánh giá theo cấp độ quốc gia, bằng cách giới hạn tổng số người thiệt mạng trong năm nhỏ hơn tiêu chuẩn an toàn quốc gia $\beta_i * M$:

$$E(N_{di}) + k * \sigma(N_{di}) < \beta_i * MF \qquad (2\text{-}30)$$

Hệ số MF có giá trị phụ thuộc vào từng vùng, từng quốc gia cụ thể và phụ thuộc vào tỉ lệ tử vong hằng năm; tỉ lệ giữa số người thiệt mạng do tai nạn khi tham gia các hoạt động có tính chất không tự nguyện và tổng số các hoạt động đó của một quốc gia; tổng dân số.

Theo tiêu chuẩn an toàn này, nếu một hoạt động nào đó diễn ra trong xã hội mà hậu quả do nó gây ra dẫn đến thiệt mạng ít hơn $\beta_i * MF$ người thì hoạt động đó được chấp nhận theo quan điểm cộng đồng. Tiêu chuẩn này đã được áp dụng thử nghiệm cho nhiều hoạt động tại Hà Lan với k = 3 và MF = 100.

Trong thực tế, thiệt hại về người ở Việt nam khi có bão lũ xảy ra không chỉ phụ thuộc vào độ sâu ngập lụt mà còn phụ thuộc vào rất nhiều các yếu tố khác nữa như: tốc độ dòng chảy, cây đổ đè, sóng nhấn chìm, sét đánh trong bão vv...Trong khuôn khổ của luận án này, áp dụng phương pháp nêu ra ở đây chỉ mang ý nghĩa về mặt phương pháp luận. Để áp dụng vào thực tế cần xem xét, thử nghiệm và kiểm định với nhiề hoạt động khác.

2.2.5. Đánh giá rủi ro

Trường hợp có các tiêu chuẩn rủi ro, đánh giá rủi ro được thực hiện bằng cách so sánh kết quả phân tích được với các giá trị trong tiêu chuẩn và đề xuất các giải pháp điều chỉnh hệ thống để đảm bảo thỏa mãn tiêu chuẩn rủi ro. Nếu rủi ro tính toán của hệ thống hiện tại vượt quá giá trị rủi ro chấp nhận của chính hệ thống đó, hệ thống cần được nâng cấp. Trường hợp ngược lại, hệ thống được coi là an toàn.

2.2.6. Ra quyết định dựa trên kết quả phân tích rủi ro

Kết quả phân tích rủi ro được sử dụng làm nền tảng hỗ trợ cho quá trình ra quyết định. Trên thực tế, quyết định cuối cùng được coi là quyết định mang tính chính trị của mỗi quốc gia, phụ thuộc vào điều kiện kinh tế và bối cảnh thực tế. Tuy nhiên kết quả phân tích rủi ro đưa ra cơ sở khách quan cho các nhà hoạch định chính sách dựa vào đó để ra quyết định.

2.3. Phương pháp đánh giá an toàn tổng thể hệ thống đê

2.3.1. Khái niệm hệ thống

Một hệ thống là "một nhóm các thành phần hoặc quá trình có chung mục đích". Giữa các thành phần và các quá trình có mối liên hệ lẫn nhau và với các thành phần hay quá trình nằm ngoài hệ thống. Một hệ thống được hình thành từ nhiều hệ thống con hoặc nhiều thành phần con. Trong phân tích độ tin cậy, hệ thống được mô tả thông qua sơ đồ cây sự cố. Độ tin cậy của một hệ thống phụ thuộc vào độ tin cậy của các thành phần cũng như mối quan hệ giữa các thành phần với nhau.

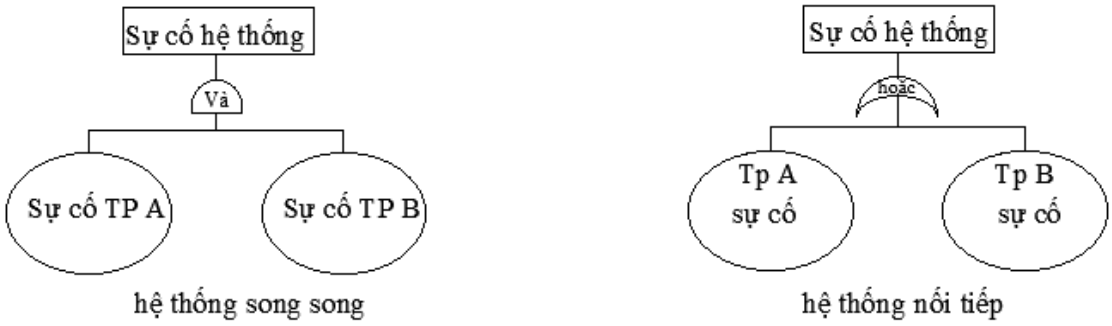
2.3.2. Các hệ thống liên kết cơ bản

Có 2 kiểu liên kết cơ bản sử dụng trong kỹ thuật xây dựng bao gồm: liên kết nối tiếp và liên kết song song. Việc tính toán xác suất sự cố cho hệ thống cũng phụ thuộc vào từng loại liên kết.

2.3.2.1. Hệ thống liên kết nối tiếp

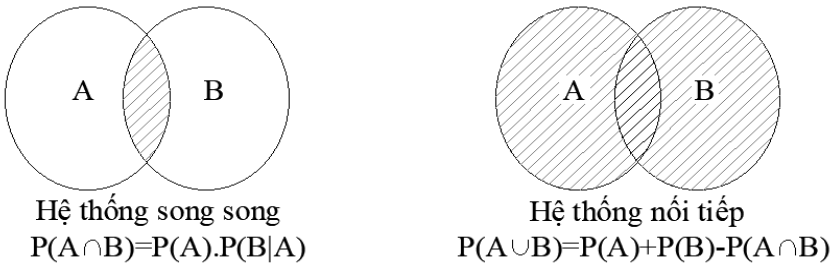
Hệ thống liên kết nối tiếp là hệ thống có các thành phần con được liên kết với nhau sao cho sự cố của bất cứ một thành phần con nào thuộc hệ thống sẽ dẫn đến sự cố hệ thống (xem Hình 2-12). Biên của xác suất xảy ra sự cố trong hệ thống nối tiếp có *n* thành phần là:

$$\max(P(R_i < S_i)) \le P_f \le \sum_{i=1}^{n} P(R_i < S_i) \qquad (2\text{-}31)$$



(a) (b)

Hình 2-12: Sơ đồ cây sự cố của hệ thống: (a) song song và (b) nối tiếp



(a) (b)

Hình 2-13: Tổ hợp xác suất sự cố của hai hệ thống cơ bản: (a) song song và (b) nối tiếp.

Công thức tính các biên hẹp hơn của xác suất xảy ra sự cố đối với *n* thành phần được cho bởi Ditlevens [27]:

$$P(R_1 < S_1) + \sum_{i=2}^{n} \max\left[\left(P(R_i < S_i) - \sum_{j=1}^{i-1} P(R_i < S_i \cap R_j < S_j)\right), 0\right] \le P_f$$
$$P_f \le \sum_{i=1}^{n} P(R_i < S_i) - \max_{j<i} P(R_i < S_i \cap R_j < S_j) \quad (2\text{-}32)$$

Trong đó: $P(R_1 < S_1)$ là …; $P(R_i < S_i \cap R_j < S_j)$ là …; $\cap$ là phép liên kết gộp

2.3.2.2. Hệ thống liên kết song song

Hệ thống liên kết song song là hệ thống có các thành phần con được liên kết với nhau sao cho sự cố của một hoặc vài thành phần con sẽ không gây ra sự cố hệ thống (Hình 2-12). Hệ thống chỉ được coi là gặp sự cố khi tất cả các thành phần con gặp sự cố. Đặc trưng của hệ thống song song là các thành phần có thể bổ trợ cho nhau. Sự hư hỏng của một thành phần không dẫn đến hư hỏng của cả hệ thống một cách tự động. Các hình thức và mức độ bù đắp có thể rất khác nhau. Sự cố của hệ thống song song có thể được định nghĩa là bù của phần không hư hỏng. Một hệ thống không được gọi là gặp sự cố nếu có ít nhất một thành phần không hỏng. Vì vậy xác suất xảy ra sự cố được biểu diễn bằng công thức:

$$P_f = 1 - P_s^1 P_s^2 P_s^3 ... P_s^n \quad (2\text{-}33)$$

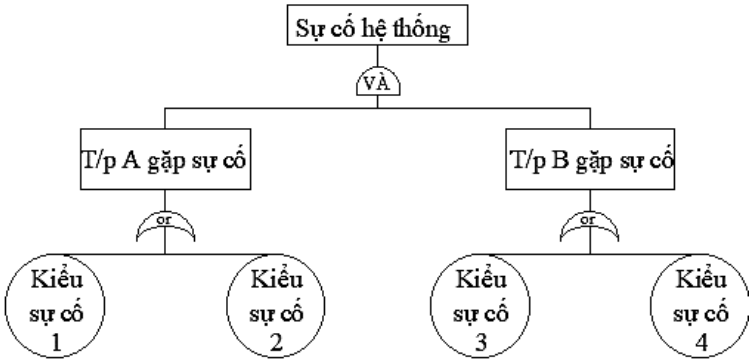
Trong đó P_s^1 là xác suất an toàn của cơ chế sự cố thứ i là phép liên kết song song.

Nếu dùng phương pháp cấp độ II thì biên trên và dưới của xác suất xảy ra sự cố có thể được tính theo công thức Ditlevsen (2-33) [27]. Trong trường hợp xác định xác suất xảy ra sự cố theo cấp độ III, phương pháp mô phỏng Monte Carlo sẽ được sử dụng.

2.3.3. Phân tích hệ thống

2.3.3.1. Giới thiệu phương pháp phân tích hệ thống

Một hệ thống trong thực tế thường không chỉ đơn thuần là một hệ thống nối tiếp hay song song. Khi đó, cần phải tiến hành chia hệ thống thành các hệ thống con để phân tích. Phân tích hệ thống thường bắt đầu bằng việc mô tả hệ thống và phân tách hệ thống thành các hệ thống con (Hình 2-14).

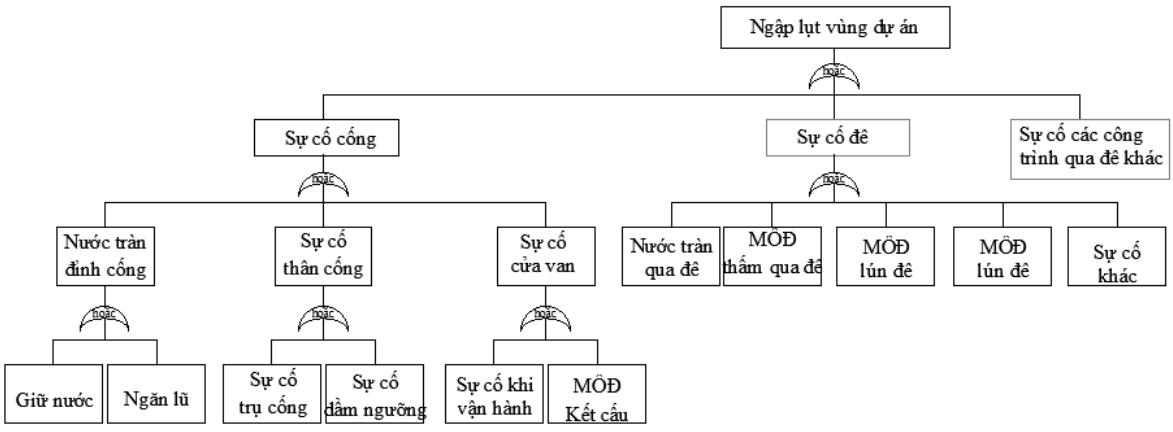


Hình 2-14: Sơ đồ cây sự cố của hệ thống phức hợp

Hầu hết các hệ thống con là tập hợp của một số các thành phần vật lý hay các quá trình vật lý. Hơn nữa, một hệ thống con cũng có thể được phân biệt theo chức năng của nó trong hệ thống. Theo cách phân chia này, những yêu cầu về chức năng của hệ thống cũng là những yêu cầu về chức năng của các hệ thống con. Trong phân tích hệ thống, có nhiều công cụ hữu dụng có thể dùng trong việc phân tích chuyên sâu về chức năng hay sự cố của hệ thống. Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng phương pháp phân tích sơ đồ cây sự cố.

2.3.3.2. Cây sự cố

Cây sự cố đưa ra một chuỗi logic cho tất cả các sự kiện mà có thể dẫn đến cùng một sự cố không mong muốn gọi là *"sự cố cuối cùng"* hay sự cố của hệ thống đang xem xét. Sự cố này nằm ở cấp trên cùng, tại ngọn của cây sự cố. Hình 2-15 minh họa cây sự cố cho một hệ thống đê, trong đó *sự cố cuối cùng* là *ngập lụt vùng dự án*.



Hình 2-15: Sơ đồ minh họa cây sự cố của một hệ thống đê điển hình

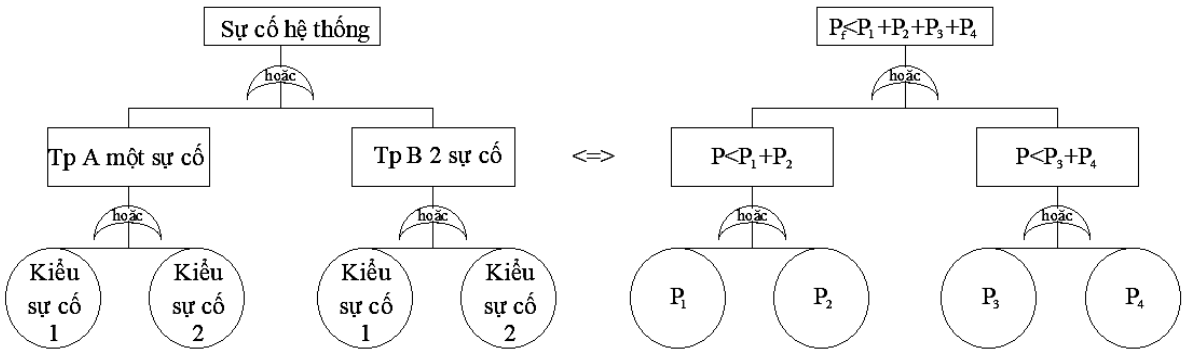
Để xây dựng cây sự cố của một hệ thống, các điều kiện liên quan giữa các sự cố cơ sở được gọi là các cổng liên kết. Trong cây sự cố, tất cả hệ thống con của hệ thống đều nằm dưới một cổng liên kết riêng biệt. Ký hiệu của các loại cổng liên kết phổ biến sử dụng trong phân tích sơ đồ cây sự cố được liệt kê trong Bảng 2-2. Ký hiệu của các kiểu sự cố/sự kiện trong sơ đồ cây sự cố được liệt kê trong Bảng 2-3. Xác định biên trên của xác suất sự cố hệ thống nối tiếp được minh họa như trên Hình 2-16.

Bảng 2-2: Kí hiệu và ý nghĩa của các loại cổng liên kết trong sơ đồ cây sự cố.

STT	Tên tiếng Việt	Ký hiệu	Ý nghĩa
1	Và		Các sự cố bên dưới xảy ra thì sự cố tiếp theo mới xảy ra
2	Hoặc		Ít nhất 1 sự cố bên dưới xảy ra thì sự cố tiếp theo sẽ xảy ra
3	Biểu quyết		Đòi hỏi một số sự cố bên dưới xảy ra thì sự cố tiếp theo xảy ra
4	Điều kiện		Cần một trong những sự cố bên dưới là điều kiện
5	Và ưu tiên		Yêu cầu tất cả các sự cố bên dưới xảy ra theo thứ tự từ trái sang phải
6	Hoặc loại trừ		Nếu 1 trong những sự cố bên dưới xảy ra thì sự cố kép sẽ xảy ra

Bảng 2-3: Ký hiệu của các sự cố/sự kiện trong sơ đồ cây sự cố

STT	Ký hiệu	Ý nghĩa
1		Sự kiện cơ sở
2		Sự kiện đơn
3		Sự kiện trung gian loại 1
4		Sự kiện trung gian loại 2
5		Sự kiện phụ thuộc
6		Sự kiện cụ thể, chi tiết
7		Tham chiếu



Hình 2-16: Minh họa gán xác suất xảy ra sự cố của hệ thống nối tiếp có các thành phần con độc lập thống kê.

2.4. Kết luận

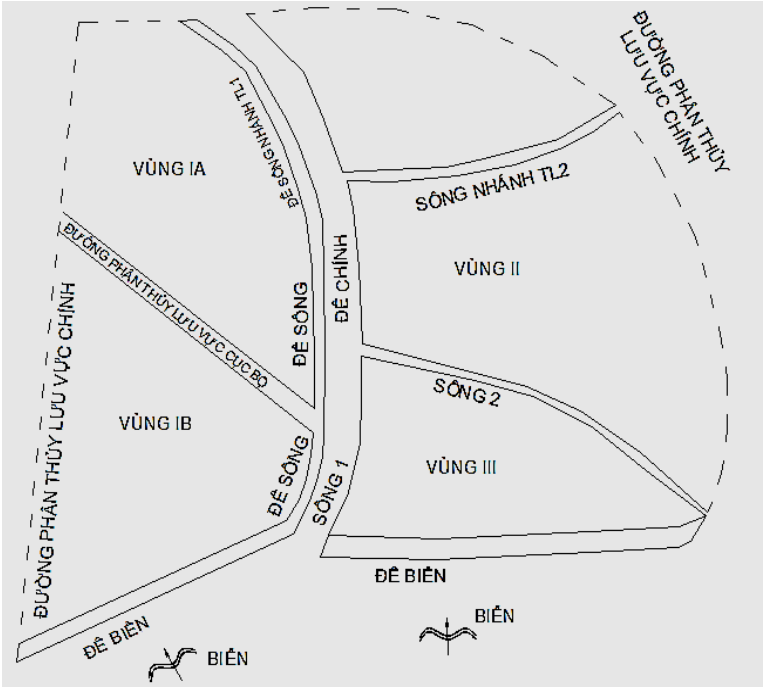
Chương 2 trình bày tóm tắt cơ sở khoa học của phương pháp phân tích rủi ro và lý thuyết độ tin cậy. Chương này cũng giới thiệu về các phương pháp xác định rủi ro, giá trị rủi ro chấp nhận, độ tin cậy, độ tin cậy yêu cầu và xác suất sự cố. Trên cơ sở này, luận án sẽ tập trung phát triển các bài toán ứng dụng bao gồm: phân tích rủi ro hệ thống đê, phân tích độ tin cậy từng cơ chế sự cố, từng thành công trình và toàn bộ hệ thống đê. Trong đó, phân tích rủi ro sẽ được triển khai theo cả hai phương pháp đó là phân tích thống kê số liệu thiệt hại lịch sử sử dụng đường cong FD và phương pháp mô hình mô phỏng ngập lụt xác định thiệt hại. Phương pháp xác định giá trị rủi ro chấp nhận theo quan điểm kinh tế cho thấy sự phù hợp hơn khi áp dụng vào điều kiện Việt Nam và được lựa chọn để ứng dụng. Phương pháp xác định giá trị rủi ro chấp nhận theo quan điểm cá nhân và cộng đồng dựa theo số người thiệt mạng chỉ đảm bảo tính chính xác khi có số liệu thông kê tin cậy về số người thiệt mạng do lũ (do độ sâu ngập). Tuy nhiên, trên thực tế các con số về thiệt hại nhân mạng ở Việt nam khi có bão lũ xảy ra thường do tổng hợp từ nhiều nguyên nhân, không chỉ phụ thuộc vào độ sâu ngập lụt mà còn phụ thuộc vào rất nhiều các yếu tố khác nữa như: tốc độ dòng chảy, cây đổ đè, sóng nhấn chìm, sét đánh trong bão vv...Do đó, trong khuôn khổ của luận án này, áp dụng phương pháp nêu ra ở đây chỉ mang ý nghĩa về mặt phương pháp luận. Để áp dụng vào thực tế cần xem xét, thử nghiệm và kiểm định với nhiều hoạt động khác.

CHƯƠNG 3 THIẾT LẬP BÀI TOÁN XÁC ĐỊNH CHỈ SỐ AN TOÀN VÀ ĐỘ TIN CẬY YÊU CẦU CHO HỆ THỐNG ĐÊ

3.1. Sơ đồ hóa hệ thống đê phòng chống lũ vùng đồng bằng

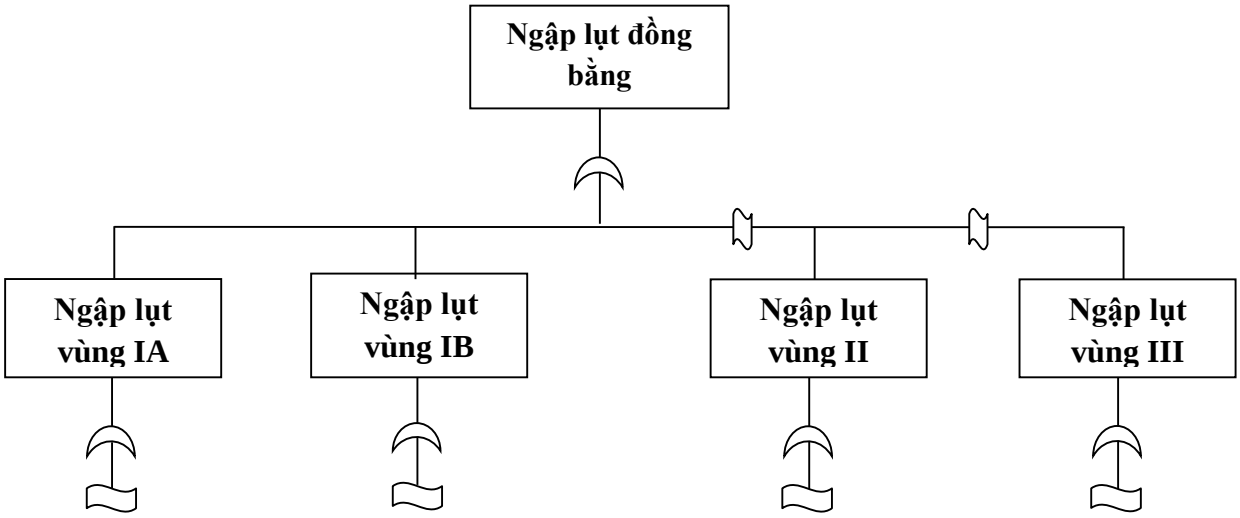
Hệ thống đê phòng lũ gồm nhiều thành phần hợp thành hệ thống khép kín để bảo vệ các vùng đất và khu dân cư. Mức độ an toàn bảo vệ phụ thuộc vào tiêu chuẩn an toàn khi thiết kế và xây dựng hệ thống này. Các mức độ khác nhau của tiêu chuẩn an toàn được quy định cụ thể trong các tiêu chuẩn ngành, tiêu chuẩn quốc gia và được ứng dụng trong công tác thiết kế. Theo khung phân tích rủi ro (trong Chương 2), bước đầu tiên là phải tiên hành mô tả được hệ thống đê dưới dạng cây sự cố. Phần này sẽ mô tả tổng quát một hệ thống đê phòng chống lũ vùng đồng bằng như sơ đồ hóa trong Hình 3-1. Để đảm bảo phòng chống lũ từ sông và biển gây các tuyến đê được xây dựng bao quanh các khu vực cần bảo vệ là vùng I, vùng II và vùng III. Như vậy các thành phần của hệ thống này bao gồm:

- Các tuyến đê bao quanh các sông I và sông II;
- Các tuyến đê biển;
- Các vùng được bảo vệ: Vùng I, vùng II và vùng III;
- Các công trình qua đê như: Cống tiêu, trạm bơm, …



Hình 3-1: Sơ đồ hóa hệ thống đê phòng chống lũ vùng đồng bằng

Hệ thống đê thường bao gồm nhiều thành phần, mỗi thành phần có thể bị sự cố theo nhiều nguy cơ và cơ chế khác nhau. Sự cố của bất cứ thành phần nào cũng có thể dẫn đến nguy cơ sự cố của toàn bộ hệ thống. Khi đó, liên kết giữa các thành phần được mô tả theo kiểu liên kết "nối tiếp". Với mỗi thành phần của hệ thống đê, sự cố không xảy ra nếu tất cả các cơ chế phá hỏng không xuất hiện. Sơ đồ cây sự cố tổng quát cho vùng đồng bằng như tại Hình 3-2.



Hình 3-2: Sơ đồ cây sự cố ngập lụt vùng đồng bằng.

Từ hệ thống tổng quát có thể tách ra 2 hệ thống con để phân tích chi tiết như sau:

Hệ thống 1: Hệ thống đê bảo vệ khu vực chỉ chịu tác động của dòng chảy lũ sông. Hệ thống 1 được sơ đồ hóa tại Hình 3-1, khi đó chỉ xem xét tuyến đê sông bảo vệ khu vực phía thượng lưu vùng IA hoặc vùng II.

Hệ thống 2: Hệ thống vòng đê bảo vệ khu vực dân cư thuộc hạ du ven biển chịu ảnh hưởng của cả yếu tố sông và yếu tố biển: lũ từ sông, thủy triều, nước dâng và sóng từ biển… Hệ thống 2 được sơ đồ hóa tại Hình 3-1, khi đó hệ thống được xem xét bao gồm tuyến đê sông và đê biển bảo vệ khu vực phía hạ lưu vùng IB hoặc vùng III.

Trong luận án này giới hạn chỉ nghiên cứu cho vùng IA và IB.

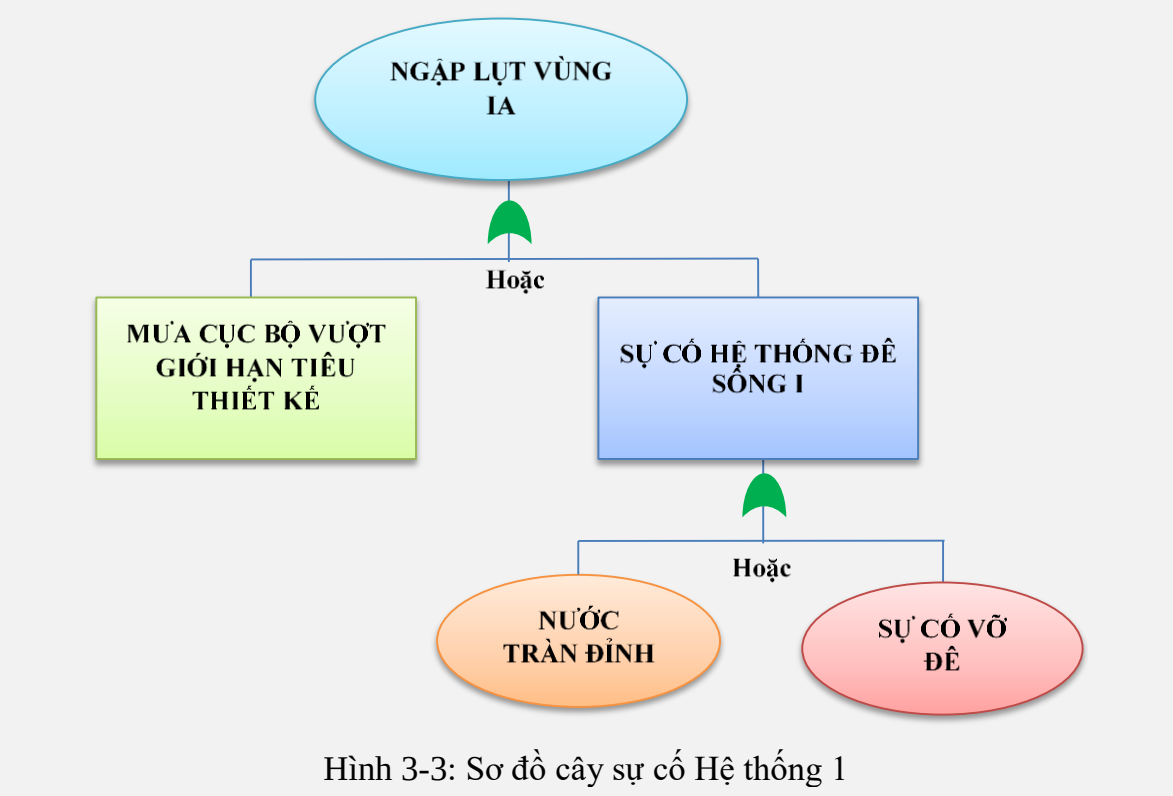
3.2. Thiết lập sơ đồ cây sự cố cho các hệ thống đặc trưng

Sơ đồ cây sự cố cho các hệ thống đặc trưng được xây dựng trên cơ sở xem xét biến cố ngập lụt vùng bảo vệ là sự kiện cuối cùng của sơ đồ cây sự cố. Áp dụng xây dựng sơ đồ cây sự cố cho các hệ thống xem xét ta có:

Đối với Hệ thống 1: Ngập lụt vùng bảo vệ có thể xảy ra khi ít nhất một trong các tình huống sau xảy ra:

- Mưa cục bộ vượt quá năng lực tiêu úng của vùng nghiên cứu, trong điều kiện hệ thống vẫn đang làm việc an toàn và đảm bảo được chức năng chống lũ từ sông;
- Xảy ra hiện tượng chảy tràn qua đỉnh đê do mực nước tổng cộng trước đê vượt quá cao trình đỉnh đê thực tế, trong điều kiện thân đê vẫn ổn định, chưa bị nước tràn gây xói thân đê và thân đê chưa bị mất ổn định do các cơ chế sự cố khác;
- Xảy ra sự cố vỡ đê tại ít nhất một đoạn đê thuộc hệ thống đê;

Khi đó, sơ đồ cây sự cố tổng quát cho Hệ thống 1 được thiết lập theo sơ đồ Hình 3-3. Hệ thống trong trường hợp này làm việc theo sơ đồ nối tiếp và các sự kiện thành phần trong sơ đồ cây sự cố liên kết với nhau theo liên kết Hoặc.



Hình 3-3: Sơ đồ cây sự cố Hệ thống 1

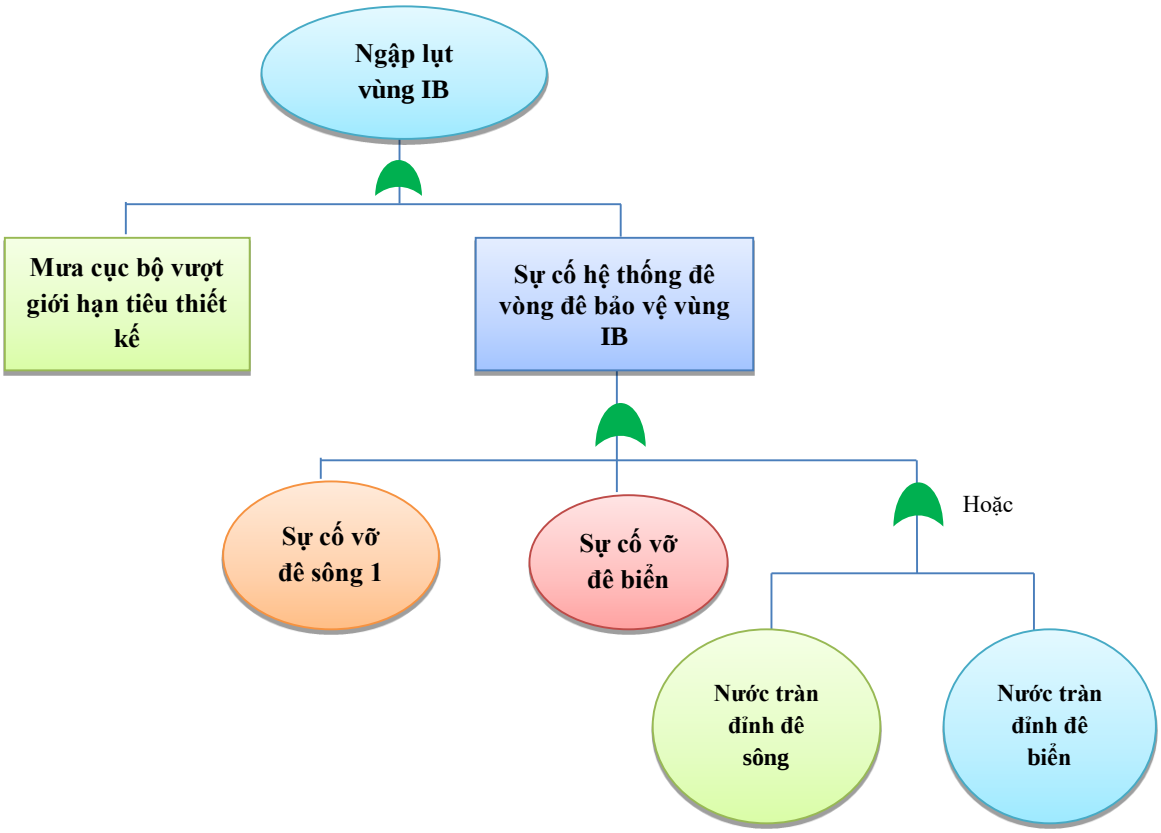
Đối với Hệ thống 2: Ngập lụt vùng bảo vệ có thể xảy ra khi ít nhất một trong các tình huống sau xảy ra:

- Mưa cục bộ vượt quá năng lực tiêu úng của vùng nghiên cứu, trong điều kiện hệ thống vòng đê vẫn đang làm việc an toàn và đảm bảo được chức năng chống lũ từ sông và biển;
- Xảy ra hiện tượng chảy tràn qua đỉnh đê sông hoặc đê biển do mực nước tổng cộng trước đê vượt quá cao trình đỉnh đê thực tế, trong điều kiện thân đê vẫn ổn

định, chưa bị nước tràn qua đỉnh gây xói thân đê và thân đê chưa bị mất ổn định do các cơ chế sự cố khác;

- Xảy ra sự cố vỡ đê tại ít nhất một đoạn đê thuộc tuyến đê sông;
- Xảy ra sự cố vỡ đê tại ít nhất một đoạn đê thuộc tuyến đê biển;

Trong trường hợp này, sơ đồ cây sự cố tổng quát cho Hệ thống 2 được thiết lập theo sơ đồ Hình 3-4. Hệ thống trong trường hợp này làm việc theo sơ đồ nối tiếp và các sự kiện thành phần trong sơ đồ cây sự cố liên kết với nhau theo liên kết.



Hình 3-4: Sơ đồ cây sự cố Hệ thống 2

3.3. Thiết lập cây sự cố chi tiết cho hệ thống đê

Đối với hệ thống đê phòng lũ đơn thuần chỉ là một vòng đê khép kín, các cơ chế sự cố sau thường xảy ra phổ biến, bao gồm:

1. Chảy tràn/ sóng tràn;
2. Trượt mái đê;
3. Hư hỏng kết cấu bảo vệ mái, đỉnh đê – xói thân đê;
4. Xói ngầm/đẩy trồi nền đê;
5. Thấm qua thân và nền đê;
6. Xói chân đê phía sông vượt giới hạn.

Ngoài ra, còn có các cơ chế phá hỏng khác như: mất ổn định cục bộ thân đê; mất ổn định cục bộ các bộ phận công trình trong hệ thống đê. Sơ đồ cây sự cố cho mỗi vùng bảo vệ đặc trưng được xây dựng tại như Hình 3-4 (áp dụng cho vùng IB).

Việc phân tích an toàn hệ thống đê phòng chống lũ cho vùng IB theo sơ đồ nêu trên chính là phân tích độ tin cậy hệ thống theo sơ đồ cây sự cố nêu tại Hình 3-5. Trình tự như sau:

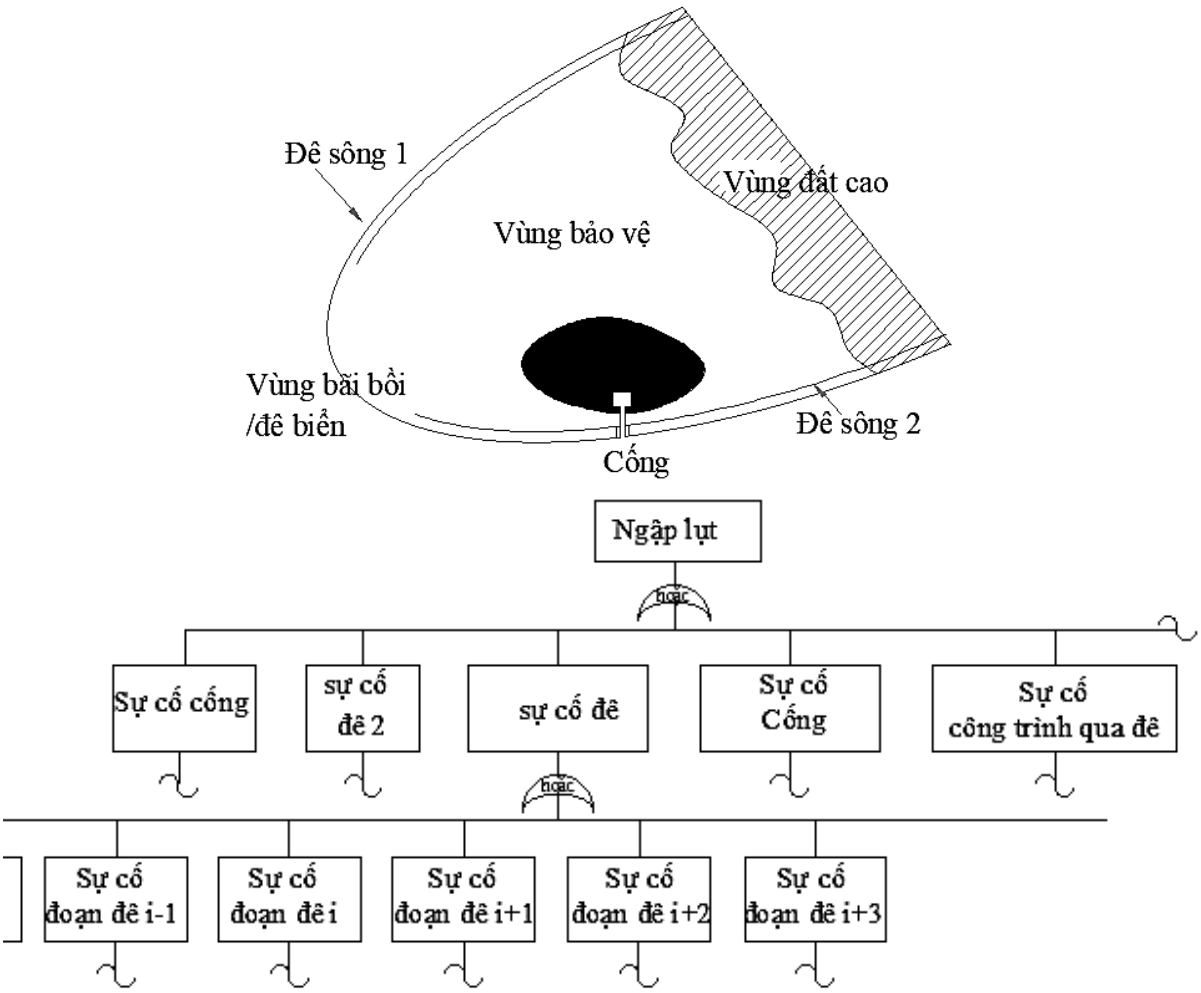
- Phân tích độ tin cậy cho các cơ chế phá hỏng có thể xảy ra của các đoạn đê: thiết lập hàm độ tin cậy cho từng cơ chế sự cố và giải hàm tin cậy tìm ra xác suất sự cố và chỉ số độ tin cậy;
- Phân tích độ tin cậy các đoạn đê và hệ thống đê: dựa theo sơ đồ cây sự cố, áp dụng lý thuyết phân tích độ tin cậy hệ thống để xác định chỉ số độ tin cậy của các đoạn đê và toàn hệ thống đê.

Trong luận án này, việc giải hàm tin cậy và phân tích độ tin cậy hệ thống đê được giải quyết theo cấp độ tiếp cận III (ngẫu nhiên hoàn toàn và theo phương pháp mô phỏng ngẫu nhiên Monte- Carlo).

Đối với cả hệ thống bao gồm đê sông và đê biển, các cơ chế phá hỏng phổ biến đối với chúng có thể xảy ra bao gồm như dưới đây:

- Chảy tràn;
- Mất ổn định trượt mái đê phía đồng;
- Đẩy trồi - Xói ngầm (mạch đùn);
- Thấm qua thân và nền đê;
- Xói cục bộ chân đê vượt quá giới hạn cho phép do dòng chảy (đê sông);
- Hư hỏng kết cấu bảo vệ mái, đỉnh đê – xói thân đê;
- Sóng tràn vượt giới hạn cho phép (đê biển);
- Xói cục bộ chân đê vượt quá giới hạn cho phép (đê biển).

Ngoài ra, còn có các cơ chế phá hỏng khác như: mất ổn định cục bộ thân đê, mất ổn định cục bộ các bộ phận công trình trong hệ thống… Tuy nhiên đối với từng cơ chế những yếu tố tác động gây mất an toàn đối với đê sông và đê biển là khác nhau.



Hình 3-5: Sơ đồ cây sự cố ngập lụt tổng quát

Sau đây tác giả sẽ phân tích một số cơ chế mất ổn định an toàn chính với các hệ thống phòng chống lũ như sau:

3.3.1. Cơ chế sự cố do chảy tràn

Nguyên nhân gây ra cơ chế này là khi mực nước trước đê chảy tràn qua đỉnh đê và có hướng gió thổi từ sau đê ra ngoài, sóng có hướng đi ra xa bờ và trường hợp này yếu tố sóng được bỏ qua.

Cơ chế này xảy ra khi mực nước xuất hiện trước đê cao hơn cao trình đỉnh đê. Khi đó hàm tin cậy được viết như công thức (3-1) sau:

$$Z = H_k - H \tag{3-1}$$

Trong đó: H_k là cao trình của đỉnh đê; H là cao trình mực nước xuất hiện trước đê.

Đối với đê sông, cao trình mực nước trước đê được xác định theo công thức (3-2) sau:

$$H = MNL + \Delta_h \tag{3-2}$$

Trong đó: *MNL* là mực nước lũ; Δ_h là chiều cao nước dềnh do gió gây ra.

Khi đó hàm tin cậy (3-1) sẽ được viết thành:

$$Z = H_k - (MNL + \Delta_h) \quad (3\text{-}3)$$

3.3.2. Cơ chế sự cố mất ổn định cấu kiện bảo vệ mái

Dưới tác dụng của điều kiện biên thủy động lực học, kết cấu bảo vệ mái đê có thể bị mất ổn định. Một trong những nguyên nhân chính gây nên cơ chế phá hoại này là do tác động của dòng chảy áp sát mái đê. Hàm tin cậy chung cho trường hợp này được định nghĩa như công thức (3-4) sau:

$$Z = t_R - t_S \quad (3\text{-}4)$$

Trong đó:

- t_R – Chiều dày của kết cấu mái bảo vệ đê;
- t_S – Chiều dày kết cấu bảo vệ cần thiết đảm bảo điều kiện ổn định;

a. Đối với kết cấu bảo vệ mái đê là đá lát khan

Chiều dày t tính theo công thức sau [59]:

$$t = K_1 \frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \frac{H}{\sqrt{m}} \sqrt[3]{\frac{L}{H}} \quad (3\text{-}5)$$

Trong đó:

- K_1 - Hệ số phụ thuộc vào loại đá, đá thường lấy bằng 0,266; đá vuông và đá cột (chẻ) lấy bằng 0,225;
- γ_b - Khối lượng riêng của đá;
- γ - Khối lượng riêng của nước;
- H - Chiều cao sóng tính toán;
- d - Độ sâu nước trước chân kè;
- L - Chiều dài sóng;
- m - Hệ số mái dốc;

Khi đó hàm tin cậy cho cơ chế mất ổn định mái bảo vệ theo công thức (3-4) được viết lại thành:

$$Z = t_R - K_1 \frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \frac{H}{\sqrt{m}} \sqrt[3]{\frac{L}{H}} \quad (3\text{-}6)$$

b. Đối với kết cấu bảo vệ mái đê là tấm lát bê tông

Chiều dày có thể xác định theo công thức sau:

$$t = \eta H \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \frac{L}{Bm}} \quad (3\text{-}7)$$

Trong đó:

- t - Chiều dày tấm bản bê tông, m;
- η - hệ số, đối với bản khe hở lấy 0,075; đối với trường hợp trên là bản khe hở, dưới là bản kín khe, lấy 0,10.
- H - Chiều cao sóng tính toán, m, lấy $H_{1\%}$;
- γ_b - Khối lượng của khối phủ, kg/m^3;
- γ - Khối lượng riêng của nước, kg/m^3;
- L - Chiều dài sóng, m;
- B - Chiều dài cạnh tấm bản theo hướng vuông góc với đường mép nước, m;
- m - Hệ số mái, m = cotgα, với α là góc mái nghiêng với mái bờ.

Khi đó hàm tin cậy cho cơ chế mất ổn định mái bảo vệ theo công thức (3-4) được viết lại thành:

$$Z = t_R - \eta H \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_b - \gamma} \frac{L}{Bm}} \quad (3\text{-}8)$$

Chiều dày một tấm còn có thể xác định từ ổn định chống nổi. Tấm có kích thước cạnh hình vuông $l_t \leq 5$ m, khi có tầng lọc ngược liên tục và có mạch hở, tính theo công thức của M.Lupinski:

$$t = c.\frac{0{,}1.\gamma.H}{(\gamma_b - \gamma)\sqrt{B}} \frac{\sqrt{1+m^2}}{m} \quad (3\text{-}9)$$

Hệ số c lấy bằng từ 1,25÷1,5 tùy theo cấp công trình; B là chiều rộng tấm bê tông.
Khi đó hàm tin cậy cho cơ chế mất ổn định mái bảo vệ theo công thức (3-4) được viết lại thành:

$$z = t_R - c.\frac{0{,}1.\gamma.H}{(\gamma_b - \gamma)\sqrt{B}}.\frac{\sqrt{1+m^2}}{m} \quad (3\text{-}10)$$

3.3.3. Cơ chế xói chân đê:

Cơ chế này xảy ra khi chiều sâu hố xói trước chân đê lớn hơn chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê. Hàm tin cậy của cơ chế này được viết như sau:

$$Z = h_t - h_x \quad (3\text{-}11)$$

Trong đó:

- h_t – Chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê;
- h_x – Chiều sâu hố xói dự kiến trước chân đê.

Đối với đê sông có thể nhận thấy rằng xác suất xảy ra vỡ đê do cơ chế xói chân đê là xác suất có điều kiện khi xảy ra đồng thời các điều kiện sau:

(1) Chân đê bị xói do dòng chảy trong suốt quá trình làm việc (cơ chế này có thể xảy ra do dòng chảy lũ, dòng chảy trong điều kiện thường, dòng chảy kiệt) đạt đến trạng thái giới hạn; Xác suất trong trường hợp này là $P_{\text{xói chân}}$ (có thể được xác định dựa vào các khảo sát thực địa và các thống kê lịch sử tại khu vực nghiên cứu);

(2) Vị trí chân đê bị xói đạt đến trạng thái giới hạn là vị trí chịu tác động trực tiếp của dòng chảy lũ; Xác suất này gọi là $P_{\text{vỡ đê/xói chân}}$;

$$\Rightarrow \; P_{\text{vỡ đê do xói chân}} = P_{\text{xói chân}} \times P_{\text{vỡ đê/xói chân}}$$

Độ sâu hố xói cục bộ vùng sát đáy chân công trình có thể được xác định tùy theo hướng dòng chảy so với bờ.

+ Trường hợp dòng chảy song song với bờ:

$$h_x = h_p\left[\left(\frac{V_Q}{V_c}\right)^n - 1\right] \quad (3\text{-}12)$$

Trong đó:

- h_x: Độ sâu hố xói cục bộ tính từ mặt nước, m;
- h_p: Độ sâu nước tại vị trí xói, là độ sâu lớn nhất tính từ mực nước thiết kế (khi chưa có công trình), m;
- V_Q: Lưu tốc trung bình thủy trực dưới lưu lượng lũ thiết kế, m/s;
- V_c: Lưu tốc cho phép không xói đáy; m/s;
- n: Hệ số có liên quan đến hình dạng lăng thể chân kè, thường lấy n = 1/4;

Như vậy hàm tin cậy trong trường hợp dòng chảy song song với bờ được viết thành:

$$z = h_z - h_p.\left[\left(\frac{V_Q}{V_c}\right)^n - 1\right] \quad (3\text{-}13)$$

+ Trường hợp dòng chảy xiên góc với bờ:

$$h_z = \frac{23tg\frac{\alpha}{2}V_g^2}{\sqrt{1+m^2}.g} - 30d \quad (3\text{-}14)$$

Trong đó:

- h_p = Độ sâu xói cục bộ tính từ đáy sông;
- α – Góc giữa lưu hướng dòng chảy ở mực nước lũ tính toán và mái bờ;
- m – Hệ số mái chân kè;
- d – đường kính hạt tính toán của đất đáy sông tại sát chân kè, cm. Đối với đất không dính, lấy bằng đường kính lỗ sàng lớn hơn 15% (tính bằng trọng lượng);
- V_j: lưu tốc xói cục bộ (m/s), được tính toán theo quy định và phụ thuộc vào lòng dẫn có bãi hay không có bãi.

Đối với lòng dẫn có bãi:

$$V_j = \frac{Q_1}{B_1 H_1}\frac{2\eta}{1+\eta} \quad (3\text{-}15)$$

Trong đó:

- B_1: Chiều rộng bãi, khoảng cách từ mép đến chân dốc;
- Q_1: Phần lưu lượng thiết kế thông qua bãi;
- H_1: Độ sâu trên bãi;
- η: Hệ số phân bố không đều của lưu tốc, tra Bảng 3-1 theo góc α;

Bảng 3-1: Hệ số không đều của lưu tốc η

α (độ)	≤15	20	30	40	50	60	70	80	90
η	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00

Như vậy hàm tin cậy trong trường hợp dòng chảy xiên góc với bờ và lòng dẫn có bãi được viết thành:

$$Z = h_t - \left(\frac{23tg\frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1+m^2}\,g} \times \frac{Q_1^2}{B_1^2 H_1^2}\frac{4\eta^2}{(1+\eta)^2} - 30d\right) \quad (3\text{-}16)$$

Đối với trường hợp lòng dẫn không có bãi, V_j tính theo công thức:

$$V_j = \frac{Q}{W - W_p} \tag{3-17}$$

Trong đó:

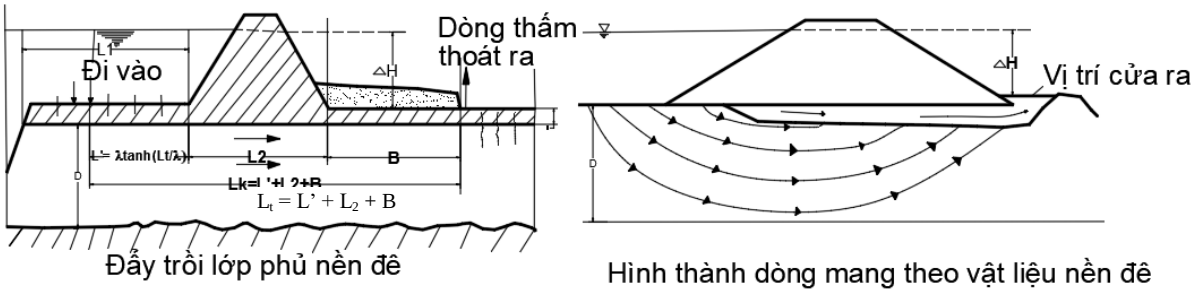
- Q - Lưu lượng thiết kế;
- W - Diện tích mặt cắt ngang dòng sông;
- W_p - Diện tích ngang lòng sông sau khi thu hẹp;

Hàm tin cậy trong trường hợp dòng chảy xiên góc với bờ và lòng dẫn không có bãi được viết thành:

$$Z = h_t - \left(\frac{23tg\frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1+m^2}\,g} \times \frac{Q^2}{(W - W_p)^2} - 30d \right) \tag{3-18}$$

3.3.4. Cơ chế xói ngầm và đẩy trồi

Cơ chế này xảy ra khi lớp đất bên dưới nền đê bị rửa trôi do dòng thấm dẫn đến sự sụp đổ của thân đê. Nguyên nhân xảy ra cơ chế này là do có một hay nhiều lớp đất nền tiếp xúc trực tiếp với môi trường nước có sự chênh lệch cột nước. Đầu tiên là sự xuất hiện đẩy trồi nền đê phía hạ lưu, tiếp theo là sự phát triển dòng chảy ngầm của vật liệu nền đê. Xói ngầm xảy ra khi sự xói mòn vật liệu nền đê do dòng thấm tăng, làm cho các hạt cát thuộc lớp đất nền đê liên tục di chuyển về phía hạ lưu [60]. Quá trình tiếp diễn trong một thời gian sẽ dẫn đến sự xuất hiện dòng chảy cát dưới nền đê, gây rỗng nền đê và đe dọa sự an toàn của thân đê. Cơ chế xói ngầm/đẩy trồi thể hiện trên Hình 3-6 sau:



Hình 3-6: Cơ chế xói ngầm/đẩy trồi

Cơ chế xói ngầm xảy ra khi nó đồng thời thỏa mãn hai điều kiện:

- Lớp sét nền đê bị chọc thủng;

- Xuất hiện dòng chảy vận chuyển cát ngầm dưới đê.

Điều kiện (1): Lớp sét nền đê bị chọc thủng khi áp lực dòng thấm do chênh cao cột nước lớn hơn trọng lượng đơn vị bão hòa của lớp đất nền. Hàm tin cậy của điều kiện thứ nhất có dạng sau:

$$Z_1 = \rho_c g d - \rho_w g \Delta H \tag{3-19}$$

Trong đó:

ρ_c – Trọng lượng đơn vị bão hòa của lớp đất nền;

ρ_w – Trọng lượng đơn vị của nước;

g – Gia tốc trọng trường;

d – Bề dày lớp đất sét tính từ chân đê đến lớp cát nền bên dưới;

ΔH – Cột nước áp lực;

Điều kiện (2): Được xét theo tiêu chuẩn Blight hay Sellmeijer.

Theo Blight: Hàm tin cậy của cơ chế xói ngầm có dạng sau:

$$Z_2 = m\frac{L_t}{c} - \Delta H \tag{3-20}$$

Trong đó:

$L_t = L' + L_2 + B + d$ (xem Hình 3-6);

$c = c_B$ – Hằng số phụ thuộc vào loại đất theo Blight;

ΔH – Chênh lệch mực nước ở trước và sau đê;

m – Thông số mô hình, để tính toán sự phân tán theo kinh nghiệm khảo sát.

Theo Sellmeijer: có thể biểu diễn áp lực lớn nhất mà không gây ra sự di chuyển của các hạt cát theo dòng thấm. Hiện tượng xói ngầm xảy ra khi chênh lệch cột nước thấm lớn hơn cột nước tới hạn. Hàm tin cậy khi đó có dạng sau:

$$Z_2 = m_p h_p - m_h\left(h - h_b\right) \tag{3-21}$$

Trong đó:

h – Mực nước trước đê;

m_p và m_h – Các thông số mô hình, xác định bằng kinh nghiệm hoặc từ mô hình vật lý;

h_p – Cột nước tới hạn, xác định theo công thức sau:

$$h_p = \alpha c B \left(\frac{\gamma_p}{\gamma} - 1 \right)_h (0.68 - 0.1 \ln c) \tan \varphi \quad (3\text{-}22)$$

Trong đó:

γ_p – Trọng lượng thể tích của cát nền;

φ – Góc ma sát trong của cát nền;

α và c – Các hệ số được xác định theo các công thức sau:

$$\alpha = \left(\frac{D}{B} \right)^{\left(\frac{D}{B} \right)^{\frac{0.28}{2.8}} - 1} \quad (3\text{-}23)$$

$$c = \left(\frac{d_{10}^2}{K} \frac{d_{70}^2}{d_{10}^2} \frac{d_{70}}{B} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3\text{-}24)$$

Trong đó:

B – Hằng số White;

d_{10} – Đường kính hạt chiếm 10% trong đường cong cấp phối;

d_{70} – Đường kính hạt chiếm 70% trong đường cong cấp phối;

K – Module hệ số thấm của lớp cát;

3.3.5. Cơ chế mất ổn định trượt mái – mất ổn định tổng thể

Phân tích ổn định mái dốc theo phương pháp ngẫu nhiên cho phép kể đến sự thay đổi của các thông số đầu vào của bài toán theo luật phân bố xác suất và đưa ra xác suất phá hỏng mái dốc do trượt. Cơ chế này xảy ra khi mái dốc không đảm bảo tiêu chuẩn an toàn chống trượt hay nói cách khác hệ số an toàn ổn định trượt mái đê *SF* nhỏ hơn giá trị hệ số an toàn cho phép theo tiêu chuẩn thiết kế [*SF*]. Hàm tin cậy được viết theo công thức sau:

$$Z = SF - [SF] \quad (3\text{-}25)$$

Hệ số an toàn ổn định mái đê *SF* có thể được xác định bằng nhiều phương pháp khác nhau. Phương pháp sử dụng phổ biến là mặt trượt trụ tròn theo Bishop, Ranbu hoặc tổng quát.

3.3.6. Cơ chế chảy tràn đê biển

Đối với đê biển mực nước trước đê được xác định theo công thức sau:

$$H = MSL + Z_{tide} + \Delta Z_{wind\ setup} + \Delta Z_{gust} + \Delta Z_{rise} \quad (3\text{-}26)$$

Trong đó:

MSL – Mực nước biển trung bình theo cao độ quốc gia, được xác định là cao độ triều trung bình của mặt biển đối với tất cả các trạng thái thủy triều được đo liên tục trong chu kỳ ít nhất là 19 năm;

Z_{tide} – Cao độ triều cường so với *MSL*;

$\Delta Z_{wind\ setup}$ – Độ gia tăng mực nước trước đê do bão hay độ dềnh nước do gió. Đây là chiều cao nước dâng trên mực nước biển trung bình ở cửa biển phụ thuộc vào tác động ma sát của gió lên mặt biển. Khi có bão hoặc áp thấp xảy ra, cần phải kể thêm thành phần gia tăng mực nước do có sự chênh lệch áp suất;

ΔZ_{gust} – Mực nước gia tăng dưới tác động của gió giật trong bão;

ΔZ_{rise} – Mực nước biển dâng cao do tác động của hiệu ứng nhà kính.

Khi đó hàm tin cậy được viết thành:

$$Z = H_k - (MSL + Z_{tide} + \Delta Z_{wind\ setup} + \Delta Z_{gust} + \Delta Z_{rise}) \quad (3\text{-}27)$$

3.3.7. Cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ đối với đê biển

Hàm tin cậy trong trường hợp này có thể viết thành:

$$Z_2 = \left(\frac{H_S}{\Delta D}\right)_R - \left(\frac{H_S}{\Delta D}\right)_S \quad (3\text{-}28)$$

Trong đó:

$(H_S/\Delta D)_R$ – Đặc trưng không thứ nguyên của độ bền;

$(H_S/\Delta D)_S$ – Đặc trưng không thứ nguyên của tải trọng;

Δ – Tỉ trọng của vật liệu;

D – Đường kính đặc trưng viên đá hoặc chiều dày cấu kiện;

Các đặc trưng không thứ nguyên trên được tính toán theo phương pháp Pilarczyk:

$$\frac{H_S}{D_{50}\Delta} = \psi_u \frac{\varphi}{\xi_{op}^b}\cos\alpha \qquad (3\text{-}29)$$

Trong đó:

H_S – Chiều cao sóng thiết kế, xác định bằng $H_{1/3}$;

ξ_{0p} – Số sóng vỡ: $\xi = \dfrac{\tan\alpha}{\sqrt{\dfrac{H_S}{L_{0p}}}} = \dfrac{1}{\cot g\alpha\sqrt{S_0}} = \dfrac{1}{m\sqrt{S_0}}$ (S_0: Độ dốc sóng)

φ – Hệ số ổn định phụ thuộc vào hình dạng, phương thức thi công, loại liên kết;

ψ_u – Hệ số chất lượng ổn định của mái kè (xác định theo loại kè, chuẩn $\psi_u = 1$ cho mái kè đá đổ hai lớp), $\psi_u < 2{,}25$.

b – Lấy bằng 0,5 với đá tự nhiên, lấy bằng 0,5 ÷ 1,0 cho các loại vật liệu khác;

α: Góc nghiêng của mái dốc kè;

Khi đó, hàm tin cậy được viết thành:

$$Z_2 = D - \frac{H_s}{\psi_u \phi \Delta_m \cos\alpha}\xi_p^b \qquad (3\text{-}30)$$

3.3.8. Cơ chế sự cố do xói chân đối với đê biển

Chiều sâu hố xói dự kiến trước chân đê có thể được xác định theo Sumer and Fredsoe (2001) [61]:

$$\frac{h_x}{H_S} = \frac{f(\alpha)}{\left[\sinh\left(\dfrac{2\pi h}{L}\right)\right]^{1.35}} \text{ với } \quad f(\alpha) = 0{,}3 - 1{,}77e^{\frac{\alpha}{15}} \qquad (3\text{-}31)$$

Trong đó:

h_x – Chiều sâu hố xói trước chân đê;

h – Chiều sâu nước trước chân đê;

H_S – Chiều cao sóng trước chân đê;

L – Chiều dài sóng trước đê;

α – Góc mái thượng lưu đê.

Trường hợp hiện tại: h = MNTK - $\nabla_{MĐTN}$

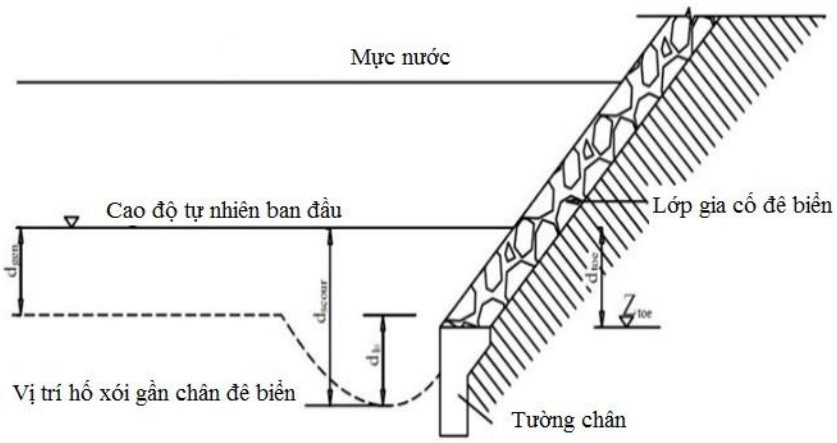
Trong đó:

MNTK – Mực nước thiết kế;

$\nabla_{MĐTN}$ – Cao trình mặt đất tự nhiên của bãi trước chân đê;

Khi đó, hàm tin cậy của cơ chế sự cố do xói chân đê biển có thể được viết là:

$$Z_3 = h_t - H_S \frac{0{,}3 - 1{,}77e^{\frac{\alpha}{15}}}{\left[\sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)\right]^{1{,}35}} \quad (3\text{-}32)$$



Hình 3-7: Cơ chế xói chân đê biển

3.3.9. Cơ chế sự cố mất ổn định thấm

Cơ chế mất ổn định thấm xảy ra khi độ dốc dòng thấm cục bộ vượt quá độ dốc dòng thấm cho phép của đất đắp đê hoặc đất nền.

Hàm tin cậy của cơ chế mất ổn định thấm được xây dựng cho đê đất đồng chất đắp trên nền không thấm nước, giả thiết mái đê phía trong vùng được bảo vệ không bị ngập:

$$Z = [j_0] - j_0 = [j_0] - \frac{1}{\sqrt{1+m^2}} \quad (3\text{-}33)$$

Trong đó:

J_0: Gradient dòng thấm thoát ra ở mái trong đồng, khi hạ lưu không có nước;

m: Hệ số mái phía đồng.

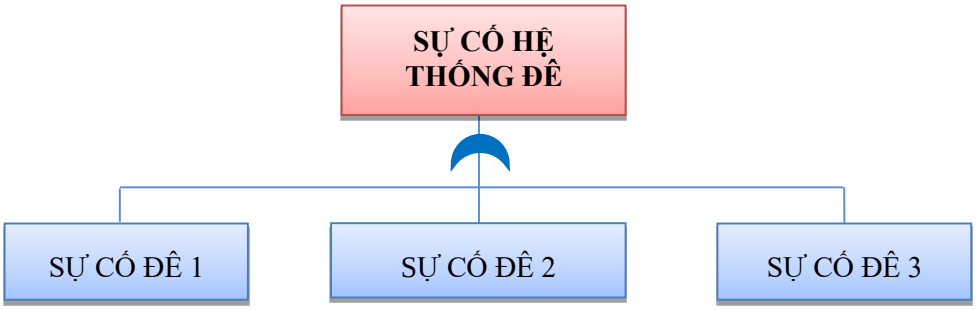
3.4. Phương pháp xác định độ tin cậy hệ thống đê hiện tại

Việc phân tích an toàn hệ thống đê phòng chống lũ cho vùng IB theo sơ đồ nêu trên chính là phân tích độ tin cậy hệ thống theo sơ đồ cây sự cố nêu tại Hình 3-8. Trình tự như sau:

- *Phân tích độ tin cậy cho các cơ chế phá hỏng có thể xảy ra của các đoạn đê:* Thiết lập hàm tin cậy cho từng cơ chế sự cố và giải hàm tin cậy tìm ra xác suất sự cố và chỉ số độ tin cậy;
- *Phân tích độ tin cậy các đoạn đê và hệ thống đê:* Dựa theo sơ đồ cây sự cố, áp dụng lý thuyết phân tích độ tin cậy hệ thống để xác định chỉ số độ tin cậy của các đoạn đê và toàn hệ thống.

Phân tích độ tin cậy của hệ thống đê được thực hiện theo các bước sau:

- *Bước 1*: Mô tả các thành phần con thuộc hệ thống đê và toàn bộ hệ thống đê cho vùng nghiên cứu. Xác định các thành phần con của hệ thống, mối quan hệ lẫn nhau; phân tích thống kê các biến ngẫu nhiên tải trọng và độ bền; phân tích quy mô kích thước chính của hệ thống đê;
- *Bước 2*: Liệt kê các kiểu nguy cơ và sự cố có thể xảy ra cho các hệ thống con và toàn bộ hệ thống đê; Có thể hư hỏng do một hoặc nhiều cơ chế sự cố khác nhau;
- *Bước 3*: Xây dựng sơ đồ cây sự cố của các hệ thống con và toàn hệ thống đê; dựa trên các cơ chế xảy ra sự cố phổ biến với hệ thống đê, sơ đồ cây sự cố tổng quát như Hình 3-8 dưới đây.



Hình 3-8: Sơ đồ cây sự cố hệ thống đê nhiều thành phần

- *Bước 4:* Xây dựng các hàm tin cậy của từng cơ chế sự cố và giải hàm tin cậy để xác định xác suất sự cố.
- *Bước 5:* Phân tích sơ đồ cây sự cố xác định xác suất xảy ra sự cố của từng hệ thống con và toàn hệ thống đê; Tổng hợp kết quả xác suất sự cố của các cơ chế xảy ra sự cố cho từng hệ thống con và toàn bộ hệ thống đê theo các cách hiển thị khác nhau: đường cong sự cố, ma trận sự cố.

Kết quả phân tích có thể được trình bày dưới dạng ma trận sự cố như minh họa tại Bảng 3.2.

Trên ma trận sự cố, tất cả các thành phần công trình thuộc hệ thống đê được liệt kê tại cột đầu tiên (cột 1) và hàng đầu tiên liệt kê tất cả các dạng sự cố có thể xảy ra đối với từng thành phần công trình. Các ô thành phần thuộc ma trận giao giữa hàng thứ *j* và cột thứ *i* thể hiện xác suất sự cố của thành phần công trình thứ *j* theo cơ chế sự cố thứ *i* (ô vị trí (*ji*). Trong trường hợp cơ chế sự cố đó không xảy ra với thành phần công trình đang xem xét thì giá trị này không xác định (ô *ji* để trống). Hàng cuối cùng thể hiện tổng xác suất sự cố theo từng cơ chế sự cố; cột cuối cùng thể hiện tổng xác suất sự cố của từng thành phần công trình.

Trong bài toán đánh giá an toàn hệ thống, phân tích cột cuối cùng cho ta thông tin về thành phần công trình nào có nguy cơ xảy ra sự cố cao nhất (tương ứng với hàng có xác suất tổng cộng tại cột cuối cùng lớn nhất). Nếu so sánh giá trị xác suất sự cố tổng cộng tại từng hàng với xác suất sự cố cho phép của từng thành phần công trình sẽ cho ta biết được thành phần công trình nào cần phải tập trung để nâng cấp.

Mặt khác, khi xem xét giá trị xác suất tổng cộng tại hàng cuối cùng, chiếu theo từng cột ta xác định được tổng xác suất sự cố theo từng cơ chế riêng biệt của tất cả các thành phần công trình. Kết quả này tạo cơ sở quan trọng để đánh giá cơ chế sự cố nào có khả năng xảy ra cao nhất, từ đó có thể điều chỉnh thiết kế hoặc chỉ định nâng cấp tập trung vào cơ chế sự cố có nguy cơ xảy ra cao nhất.

Bảng 3-2: Ma trận sự cố cho hệ thống đê gồm m *đoạn đê và* n *cơ chế sự cố*

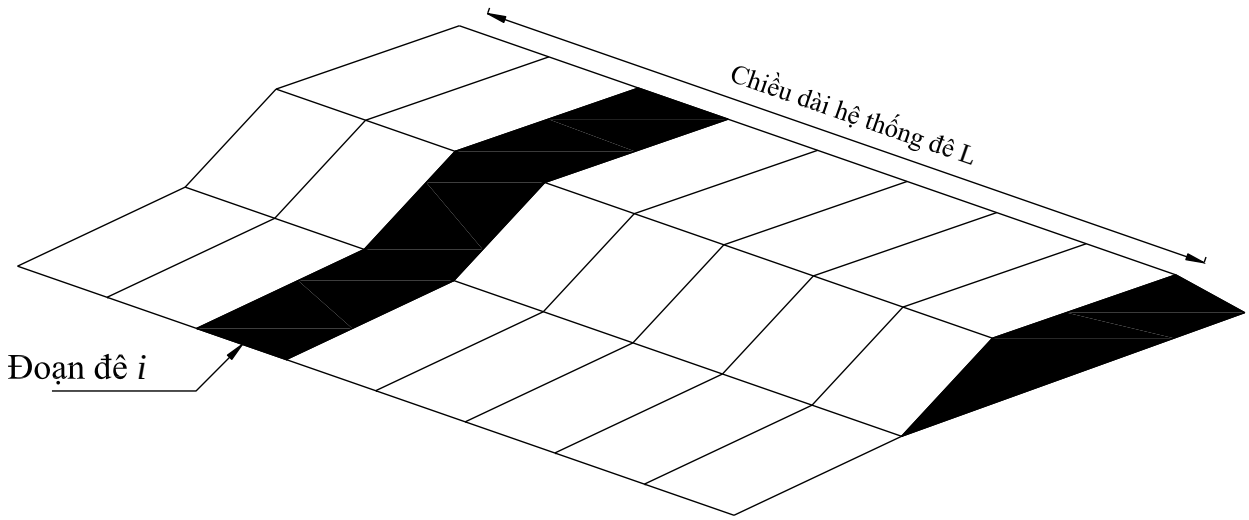
Các thành phần thuộc hệ thống	**Cơ chế sự cố (SC)**						**Tổng**
	SC 1	**SC 2**	**…**	**SC i**	**…**	**SC n**	
(1)	(2)			(i)		(n)	
Đoạn đê 1	p_{11}	p_{12}	…	p_{1i}	…	p_{1n}	$\boldsymbol{P_1}$
Đoạn đê 2	p_{21}	p_{22}	…	p_{2i}	…	p_{2n}	$\boldsymbol{P_2}$
…	…	…	…	…	…	…	**…**
Đoạn đê j	p_{j1}	pj_2	…	p_{ji}	…	pj_n	$\boldsymbol{P_3}$
…	…	…	…	…	…	…	**…**
Đoạn đê m	p_{m1}	p_{m2}	…	p_{mi}	…	p_{mn}	$\boldsymbol{P_m}$
Tổng hợp	$\boldsymbol{P_{SC1}}$	$\boldsymbol{P_{SC2}}$	**…**	$\boldsymbol{P_{SCi}}$	**…**	$\boldsymbol{P_{SCn}}$	$\boldsymbol{P_{HT}}$

3.5. Phương pháp xác định hiệu ứng chiều dài trong phân tích độ tin cậy hệ thống đê

3.5.1. Đặt vấn đề

Xem xét một hệ thống đê có một mặt cắt đại diện áp dụng cho toàn bộ chiều dài tuyến *L*. Hệ thống đê này được xem xét như một hệ thống nối tiếp bao gồm *m* đoạn đê có chiều dài bằng nhau. Việc chia số đoạn đê *m* phụ thuộc vào mức độ biến đổi địa chất của thân và nền đê và mức độ biến đổi tải trọng ngẫu nhiên tác động lên tuyến đê. Chiều dài đoạn đê độc lập *d* được xem xét đủ nhỏ để các đoạn đê được xem là làm việc độc lập thống kê với nhau (xem Hình 3-9).

Chiều dài độc lập *d* của hàm tin cậy cho một đoạn đê $Z = R - S$ phụ thuộc vào mức độ ngẫu nhiên của các biến tải trọng *S* và độ bền *R* theo phương dọc tim tuyến đê.



Hình 3-9: Sơ họa tuyến đê gồm nhiều đoạn đê liên tiếp

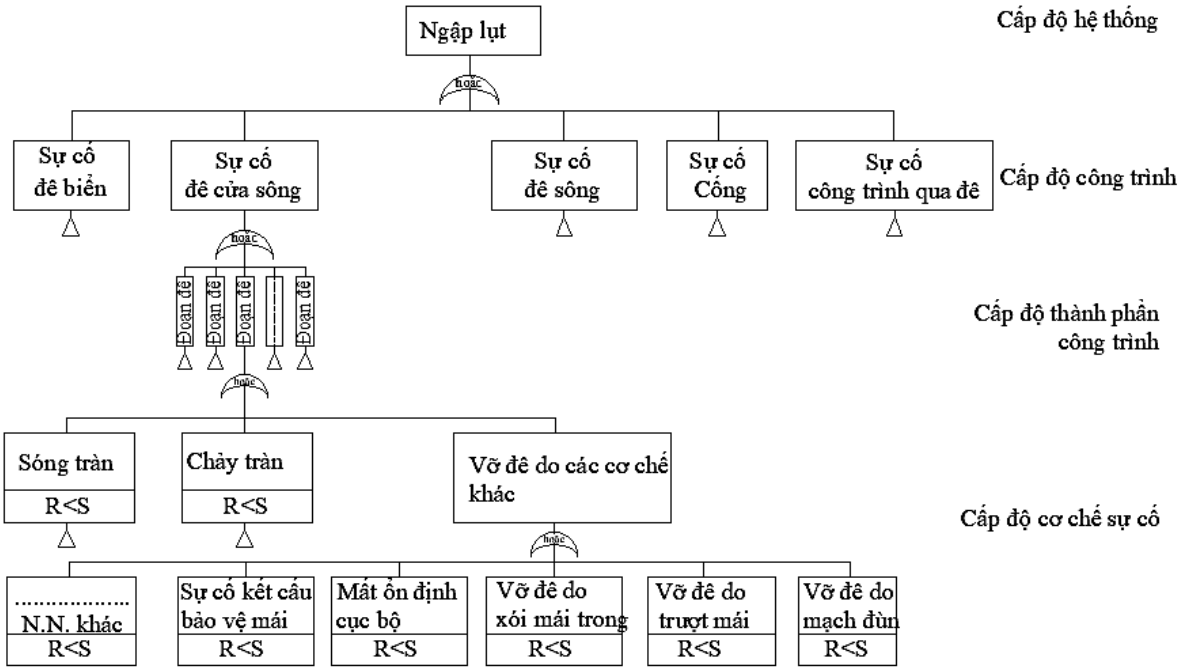
Khi hiệu ứng chiều dài được kể đến, sơ đồ cây sự cố của hệ thống đê được xem xét theo hai cách:

Coi chiều dài độc lập *d* là tương tự cho các cơ chế sự cố. Khi đó hiệu ứng chiều dài được kể đến sau khi đã xác định được độ tin cậy của đoạn đê (Hình 3-10).

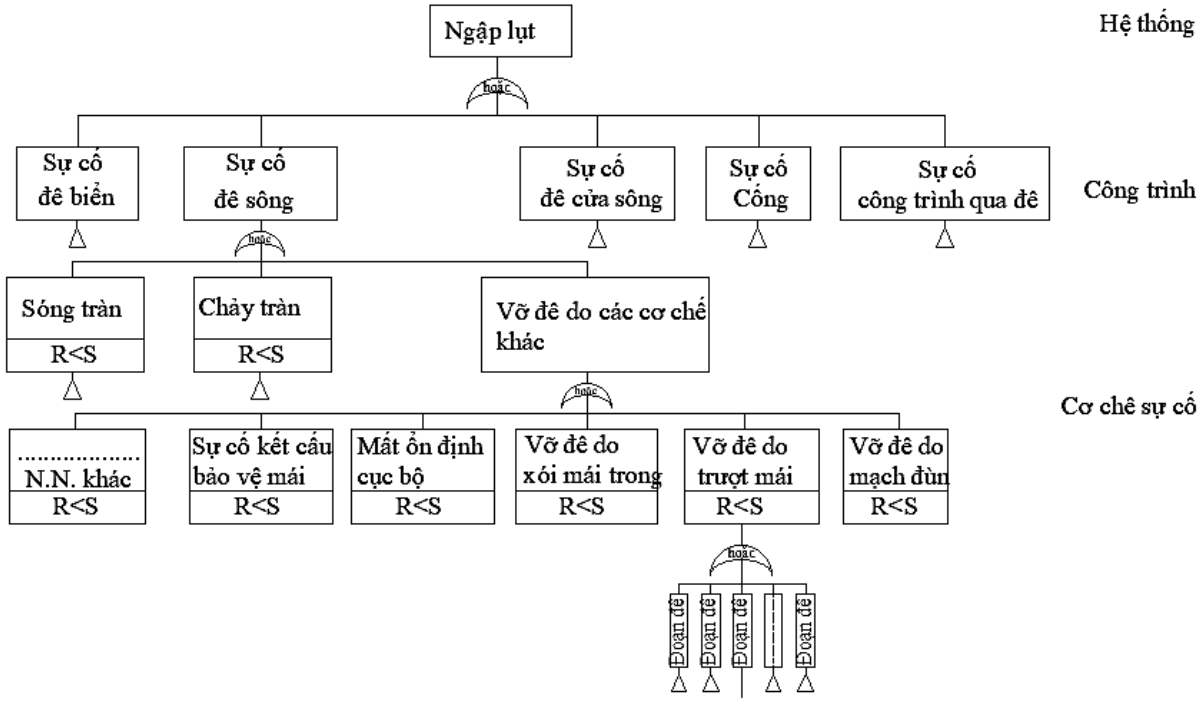
Coi mỗi cơ chế sự cố của một đoạn đê có chiều dài độc lập *d* khác nhau. Khi đó hiệu ứng chiều dài được kể đến ngay khi xác định xác suất sự cố từng cơ chế, trước khi tổ hợp xác suất sự cố đoạn đê (Hình 3-11).

Luận án này sẽ nghiên cứu thiết lập công thức xác định hiệu ứng chiều dài khi xác định độ tin cậy của hệ thống đê theo hai trường hợp giả thiết:

- *Trường hợp 1:* Hệ thống đê có mặt cắt đoạn đê đồng nhất áp dụng cho toàn bộ tuyến đê. Trường hợp này phù hợp với các tuyến đê thẳng, chạy dọc theo đoạn sông có mặt cắt ngang ổn định và trên vùng đồng bằng bằng phẳng có địa chất tương đối đồng đều.
- *Trường hợp 2:* Hệ thống đê có mặt cắt thay đổi theo từng đoạn. Trường hợp này phù hợp với các tuyến đê chạy dọc theo đoạn sông uốn khúc, có mặt cắt không đồng nhất, địa hình và địa chất nền biến đổi mạnh.



Hình 3-10: Hiệu ứng chiều dài được xem xét theo sự cố tổng hợp của cả đoạn đê



Hình 3-11: Hiệu ứng chiều dài được xem xét theo từng cơ chế sự cố của đoạn đê

3.5.2. Xác định độ tin cậy hệ thống đê khi xem xét hiệu ứng chiều dài đê

Các giả thiết:

- Hệ thống đê có tổng chiều dài là *L*, chia làm *n* đoạn đê có chiều dài bằng nhau và bằng *d*;
- Hệ thống đê có cấu tạo mặt cắt ngang đồng nhất dọc theo tuyến đê;
- Mức độ ảnh hưởng của các cơ chế sự cố đến độ tin cậy của từng đoạn đê là như nhau.

Khi đó, đoạn đê có thể gặp sự cố do xuất hiện một trong các cơ chế sự cố bất kỳ thứ *i*. Hàm tin cậy của cơ chế sự cố thứ *i* được viết như sau:

$$Z_i = R_i - S_i \tag{3-34}$$

Trên cơ sở các giả thiết nêu trên, xác suất sự cố đoạn của hệ thống đê có thể xác định được theo công thức tổng quát sau:

$$P_{f_sys} = \sum_{i=1}^{n} P_{f,\sec}^{i} * f_L^i \tag{3-35}$$

Trong đó:

P_{f_sys} : Xác suất sự cố của hệ thống đê có tổng chiều dài *L;*

$P^i_{f,\text{sec}}$: Xác suất sự cố của một đoạn đê do cơ chế sự cố thứ *i* gây ra;

f^i_L : Hệ số hiệu ứng chiều dài của cơ chế sự cố thứ *i;*

n : Số cơ chế sự cố có thể xảy ra với đoạn đê xem xét.

Trong trường hợp tổng quát: Gọi *x* là biến ngẫu nhiên biểu diễn một yếu tố độ bền hoặc tải trọng có phân bố ngẫu nhiên theo không gian. Theo một phương không gian, biến ngẫu nhiên *x* sẽ có phân bố như sau :

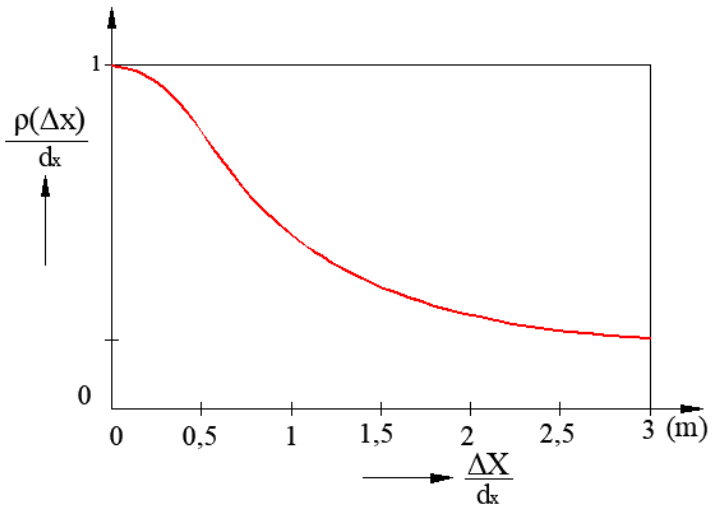
$$\rho_{x,x+\Delta x}(\Delta x) = e^{-\left(\frac{\Delta x}{d}\right)^2 \cdot \frac{\pi}{4}} \tag{3-36}$$

$$\rho_{x,x+\Delta x}(\Delta x) = \rho_{rest} + (1-\rho_{rest})e^{-\left(\frac{\Delta x}{d}\right)^2} \tag{3-37}$$

Khoảng độc lập của biến *x* được xác định theo:

$$d = \int_0^\infty \rho_{x,x+\Delta x}(\Delta x)d(\Delta x) \tag{3-38}$$

Trong đó, Δx là khoảng cách giữa hai điểm xem xét với hệ số tương quan tương ứng là $\rho_{x,x+\Delta x}$.



Hình 3-12: Hệ số tương quan đối xứng của biến ngẫu nhiên x

Bảng 3-3: Khoảng độc lập của các biến ngẫu nhiên liên quan đến biên tải trọng hệ thống đê [52]

Loại tải trọng	**Khoảng độc lập của các biến (km)**
Mực nước trước đê	50 - 100 km
Dao động nước dâng	5 - 10 km
Sóng	20 - 50 km
Địa hình bãi trước đê	5 - 10 km
Tốc độ gió trong bão	1 - 5 km

Bảng 3-4: Khoảng độc lập của các biến ngẫu nhiên liên quan đến biên độ bền hệ thống đê [52]

Độ bền	**Khoảng độc lập của các biến**
Cao trình đỉnh	0.2 - 0.5 km
Đường kính hạt của một lớp đất (D_{n50})	1 - 10 km
Mái dốc	0.2 - 0.5 km
Chiều rộng công trình	0.5 - 5 km
Cao độ bãi	0.5 - 5 km

Với giả thiết hệ thống đê là một hệ thống liên tục có các đoạn đê liên kết nối tiếp với nhau thì tại hai điểm bất kỳ cách nhau một khoảng cách Δx dọc theo tuyến đê, biến ngẫu nhiên độ bền R có thể được diễn tả thông qua kỳ vọng toán và độ lệch chuẩn và có sự phụ thuộc thống kê thông qua hàm số phụ thuộc ρ [19].

$$\rho(R_x, R_{x+\Delta x}) = \exp\left(-\left(\frac{\Delta x}{d}\right)^2\right) \tag{3-39}$$

Trong đó:

- $\rho(R_x, R_{x+\Delta x})$: Hàm phụ thuộc của biến độ bền R tại điểm có tọa độ x và $x + \Delta x$ dọc theo tim tuyến đê;
- d: là chiều dài độc lập.

Với giả thiết đê có mặt cắt đồng nhất theo phương dọc, các đoạn đê sẽ có cùng chỉ số độ tin cậy trung bình là β; tuy nhiên giá trị tức thời tại từng vị trí sẽ có sự biến thiên phụ thuộc theo hàm ρ.

Khi đó hiệu ứng chiều dài có thể xác định được một cách gần đúng dựa theo chu kỳ biến đổi của β theo hàm ρ [53]:

$$f_L^i = \frac{P\left(Z^i(x) < \xi \ in \ (0,L)\right)}{P\left(Z^i(x) < \xi\right)} = \frac{\Phi\left(-\beta^i\right) + \Phi\left(\beta^i\right)\left(1 - e^{-n_{Z_i} L}\right)}{\Phi\left(-\beta^i\right)} \tag{3-40}$$

Trong đó n_Z là kỳ vọng toán của số lần hàm tin cậy dao động quanh trị trung bình trên một đơn vị chiều dài.

$$n_Z = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{1}{2}\beta^2} . \sqrt{\left\{-\rho_z^{"}(0)\right\}} \tag{3-41}$$

Thay vào công thức (3-42) ta có:

$$f_L^i = 1 + \frac{\Phi\left(\beta^i\right)}{\Phi\left(-\beta^i\right)} \left(1 - e^{-\frac{1}{2\pi} e^{-\frac{1}{2}\beta^2} . \sqrt{\left\{-\rho_z^{"}(0)\right\}} L} \right) \tag{3-42}$$

Với:

$$\rho_{z,z}^{"}(0) \approx -\sum_{j=1}^{V} \left(\frac{2\alpha_j^i}{d_j} \right)^2 \quad if \quad \rho(\Delta) = \sum_j \alpha_j^2 . e^{\left(-\left(\frac{\Delta}{d_j} \right)^2 \right)} \tag{3-43}$$

Do đó, hệ số hiệu ứng chiều dài được xác định theo:

$$f_L^i = 1 + \frac{\Phi\left(\beta^i\right)}{\Phi\left(-\beta^i\right)} \left(1 - e^{-\frac{L}{\pi} . e^{-\frac{1}{2}(\beta^i)^2} . \sqrt{\sum_{j=1}^{V} \left(\frac{\alpha_j^i}{d_j} \right)^2}} \right) \tag{3-44}$$

Trong đó:

α_j^i: Hệ số ảnh hưởng của biến độ bền R_j trong cơ chế sự cố i;

β^i: Chỉ số độ tin cậy của cơ chế sự cố i;

d_j: Khoảng cách độc lập của biển độ bền R_j;

v: Tổng số biến ngẫu nhiên độ bền trong hàmtin cậy của cơ chế sự cố i;

L: Tổng chiều dài hệ thống đê.

Ta lại có:

$$\Phi\left(-\beta\right)=1-\Phi\left(\beta\right)=Q\left(-\beta\right)=e^{-\frac{1}{2}\beta^2}.\frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}} \quad (3\text{-}45)$$

Do đó,

$$\frac{\Phi(\beta^i)}{\Phi(-\beta^i)}=\frac{\Phi(\beta^i)}{1-\Phi(\beta^i)}=\left(\frac{\beta^i\sqrt{2\pi}}{e^{-\frac{1}{2}(\beta^i)^2}}-1\right) \quad (3\text{-}46)$$

Hiệu ứng chiều dài có thể được xác định như sau:

$$f_L^{\,i}=1+\left(\frac{\beta^i\sqrt{2\pi}}{e^{-\frac{1}{2}(\beta^i)^2}}-1\right)\left(1-e^{-\frac{L}{\pi}.e^{-\frac{1}{2}(\beta^i)^2}.\sqrt{\sum_{j=1}^{V}\left(\frac{\alpha_j^i}{d_j}\right)^2}}\right) \quad (3\text{-}47)$$

Với bài toán có chỉ số độ tin cậy $\beta > 2{,}0$, có thể xác định gần đúng theo:

$$f_L^{\,i}=1+\frac{1}{\Phi(-\beta^i)}n_zL=1+\frac{1}{\Phi(-\beta^i)}\frac{L}{2\pi}e^{-\frac{1}{2}\beta^2}.\sqrt{\left\{-\rho_z^{"}(0)\right\}} \quad (3\text{-}48)$$

Với:

$$\Phi\left(-\beta\right)=1-\Phi\left(\beta\right)=Q\left(-\beta\right)=e^{-\frac{1}{2}\beta^2}.\frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}} \quad (3\text{-}49)$$

Và cuối cùng, ta có:

$$f_L^{\,i}=1+\frac{\beta^i}{2\pi}L\sqrt{\left\{-\rho_z^{"}(0)\right\}}=1+\frac{\beta^i}{2\pi}L\sqrt{\left\{\sum_{j=1}^{V}\left(\frac{2\alpha_j^i}{d_j}\right)^2\right\}}=1+\frac{\beta^i}{\pi}L\sqrt{\left\{\sum_{j=1}^{V}\left(\frac{\alpha_j^i}{d_j}\right)^2\right\}} \quad (3\text{-}50)$$

Các bước xác định hệ số hiệu ứng chiều dài:

<u>Bước 1:</u> Mô tả các biến ngẫu nhiên và xác định khoảng cách độc lập

Các biến ngẫu nhiên liên quan đến từng cơ chế sự cố được mô tả theo bảng sau đây:

Bảng 3-5: Các biến ngẫu nhiên liên quan đến sự cố hệ thống đê

Ký hiệu	Mô tả biến	Đơn vị	Hàm phân phối và đặc trưng thống kê			Khoảng cách độc lập *d* (m)
			Kiểu phân phối	Kỳ vọng toán	Độ lệch chuẩn	
S	Tải trọng	m	Loại hàm PP 1	nom	σ_S	-
R_1	Biến độ bền thứ 1	m	Loại hàm PP 2	μ_{R_1}	σ_{R_1}	d_{R_1}
R_2	Biến độ bền thứ 2	m	Loại hàm PP i	μ_{R_1}	σ_{R_1}	d_{R_1}
…	…	…	…	…	…	…
R_j	Biến độ bền thứ i	m	Loại hàm PP i	μ_{R_j}	σ_{R_j}	d_{R_j}

<u>Bước 2:</u> Xác định hệ số ảnh hưởng của từng biến đến cơ chế sự cố

Trên cơ sở phân tích hàm tin cậy, hệ số ảnh hưởng α_i có thể được xác định theo bảng dưới đây.

Bảng 3-6: Hệ số ảnh hưởng của các biến đến cơ chế sự cố

Ký hiệu	Mô tả biến	Độ lệch chuẩn	Phương sai	α_i	$(\alpha_i / d_i)^2$
S	Tải trọng	σ_S	σ^2_S	α_S	-
R_1	Biến độ bền thứ 1	σ_{R_1}	$\sigma^2_{R_1}$	α_{R_1}	$\frac{\alpha_{R_2}}{d_{R_2}}$
R_2	Biến độ bền thứ 2	σ_{R_2}	$\sigma^2_{R_2}$	α_{R_2}	$\frac{\alpha_{R_2}}{d_{R_2}}$
…	…	…	…		
R_j	Biến độ bền thứ i	σ_{R_j}	$\sigma^2_{R_j}$	α_{R_j}	$\frac{\alpha_{R_i}}{d_{R_i}}$

<u>Bước 3:</u> Xác định hệ số hiệu ứng chiều dài cho từng cơ chế

Đối với bài toán độ tin cậy trong kỹ thuật xây dựng, hầu hết các trường hợp có độ tin cậy β > 2,0. Vì vậy, hệ số hiệu ứng chiều dài cho từng cơ chế được xác định theo công thức sau:

$$f_L^{\text{Failure mode } i} = \left(1 + \frac{\beta^{\text{Failure mode } i}.L}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\left(\frac{\alpha_{R_1}}{d_{R_1}}\right)^2 + \left(\frac{\alpha_{R_2}}{d_{R_2}}\right)^2 + ... + \left(\frac{\alpha_{R_v}}{d_{R_v}}\right)^2}\right) \quad (3\text{-}51)$$

Trường hợp cơ chế sự cố chỉ có một biến độ bền R, hệ số hiệu ứng chiều dài có thể xác định theo công thức đơn giản sau:

$$f_L^i = \left(1 + \alpha_{\mathrm{R}} \frac{\beta\, \mathrm{L}}{\sqrt{\pi}\, \mathrm{d}}\right) \quad (3\text{-}52)$$

Trong đó

$\alpha_R = \frac{\sigma_{\mathrm{R}}}{\sqrt{\sigma_{\mathrm{R}}^2 + \sigma_{\mathrm{S}}^2}}$: Hệ số ảnh hưởng của biến R;

d: Khoảng cách độc lập của biến độ bền cơ bản R;

L: Tổng chiều dài hệ thống đê xem xét.

<u>Bước 4:</u> Xác định xác suất sự cố toàn hệ thống do một cơ chế sự cố

Với khoảng biến thiên khả dĩ của biến ngẫu nhiên tải trọng, ta có thể xác định được độ tin cậy của từng cơ chế sự cố cho các mức tải trọng khác nhau theo FORM hoặc mô phỏng Monte Carlo. Từ đó xác định được hệ số hiệu ứng chiều dài của từng cơ chế sự cố. Cuối cùng là xây dựng được đường cong phá hủy của hệ thống đê do từng cơ chế sự cố gây ra.

Bảng 3-7: Ví dụ hiệu ứng chiều dài và đường cong phá hủy của một tuyến đê có chiều dài 10 km

Trung bình *S*	**Trung bình *Z***	β^i	$P^i_{f,\sec}$	f_L^i	$P^i_{f_sys}$
4,75	5,25	8,49	0,0E+00	12,28	0,00E+00
5,00	5,00	8,08	0,0E+00	11,74	0,00E+00
5,25	4,75	7,68	7,9E-15	11,21	8,83E-14
5,50	4,50	7,28	1,7E-13	10,67	1,83E-12
5,75	4,25	6,87	3,2E-12	10,13	3,21E-11
6,00	4,00	6,47	5,0E-11	9,59	4,78E-10

<u>Bước 5:</u> Xác định xác suất sự cố tổng hợp của hệ thống đê

Với hệ thống đê, biến ngẫu nhiên tải trọng chính được xem xét là mực nước lũ xuất hiện trước đê và các biến tải trọng khác thường là biến phụ thuộc vào mực nước. Xác suất sự cố của hệ thống đê do mực nước tức thời gây ra được xác định heo công thức:

$$P_{f_sys}^{H_a} = \sum_{i=1}^{n} P_{f,\sec}^{i} * f_L^i \qquad (3\text{-}53)$$

Trong đó:

H_a: Mực nước tức thời xuất hiện trước đê;

$P^i_{f,\sec}$: Xác suất sự cố hệ thống đê do cơ chế sự cố thứ *i;*

f_L^i: Hệ số hiệu ứng chiều dài của cơ chế sự cố thứ i;

n: Tổng số cơ chế sự cố.

Xem xét tất cả các khả năng xảy ra mực nước trước đê, tổng xác suất sự cố hệ thống đê do tất cả các cơ chế sự cố gây ra là:

$$P_{f_sys}^{all\,H} = \int_0^{\infty} f(H).P_{f_L}^{system}(H).dH = \int_0^{\infty} f(H)\left(\sum_{i=1}^{m}.P_{f,\sec}^{i} * f_L^i\right).dH \qquad (3\text{-}54)$$

Trong thực tế, có thể rời rạc hóa biến mực nước theo bước rời rạc như $[H_1{:}\Delta H{:}\, H_k]$. Khi đó:

$$P_{f_sys}^{all\,H} = \sum_{H_{j=1}}^{H_{j=k}} f(H_j)\left(\sum_{i=1}^{m}.P_{f,\sec}^{i} * f_L^i\right).\Delta H \qquad (3\text{-}55)$$

Trong đó:

k : Số bước gia tăng mực nước trong khoảng biên của biến;

ΔH : Khoảng gia tăng giữa hai bước kế tiếp.

Trong luận án này, việc tính toán xác định độ tin cậy hệ thống và hệ số hiệu ứng chiều dài được thiết lập dưới dạng bảng tính EXCEL tổng quát để có thể áp dụng cho nhiều trường hợp.

3.6. Phương pháp xác định độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê

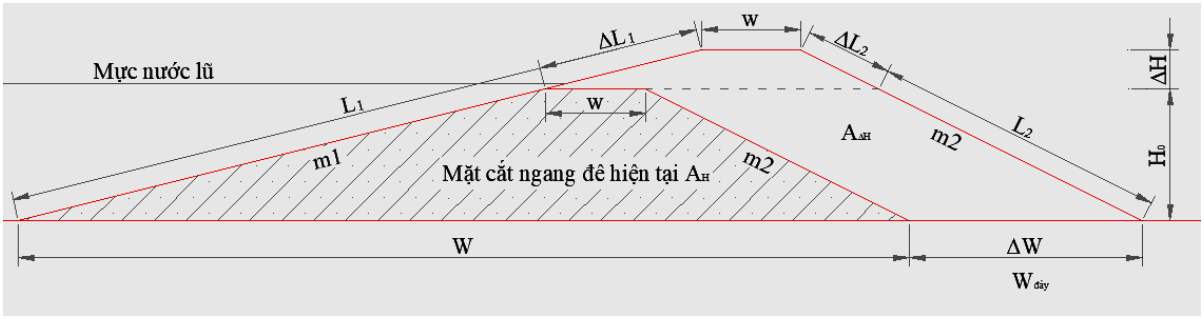
3.6.1. Phương pháp xác định giá trị rủi ro chấp nhận

Giá trị rủi ro chấp nhận của vùng được bảo vệ bởi hệ thống đê được xác định bằng cách cân bằng giữa mức độ đầu tư để đạt được một chuẩn an toàn và các thiệt hại tiềm tàng (hay rủi ro tiềm tàng có thể xảy ra) theo các kịch bản đầu tư khác nhau. Giá trị này được coi là độ tin cậy yêu cầu của hệ thống. Trong luận án này, giá trị rủi ro chấp nhận được xác định dựa theo hai tiêu chí:

- *Rủi ro chấp nhận dựa theo quan điểm kinh tế:* Tối ưu tổng chi phí của hệ thống đê bằng cách cân bằng giữa đầu tư và giá trị rủi ro do thiệt hại quy được ra tiền;
- *Rủi ro chấp nhận dựa theo quan điểm cộng đồng:* Được xác định thông qua so sánh xác suất xảy ra các tai nạn từ các hoạt động khác, trong đó kể đến thiệt hại nhân mạng tiềm tàng và so sánh với các hoạt động khác trong vùng dự án mà cộng đồng và dân cư vùng đó đã chấp nhận.

3.6.2. Độ tin cây yêu cầu từ giá trị rủi ro chấp nhận dựa theo quan điểm kinh tế

Theo cách tiếp cận rủi ro về thiệt hại kinh tế, tổng chi phí khả dĩ cho một hệ thống đê được xác định là tổng giá trị đầu tư xây dựng hệ thống và giá trị rủi ro khả dĩ do lũ lụt gây ra cho hệ thống xem xét. Độ tin cậy yêu cầu được xác định tại điểm tối ưu trên đường cong tổng chi phí, là điểm mà tại đó có tổng chi phí khả dĩ của hệ thống là nhỏ nhất. Tổng chi phí của một hệ thống (C_{tot}) được xác định bằng tổng cộng giá trị đầu tư ($I_{\Delta H}$) nâng cấp hệ thống để đạt được độ an toàn cao hơn; chi phí khả dĩ cho duy tu và bảo dưỡng M và thiệt hại kinh tế khả dĩ D [19].



Hình 3-13: Sơ họa mặt cắt ngang đê khi gia tăng độ cao ΔH

Tổng giá trị hệ thống khi nâng cấp đê với độ cao gia tăng ΔH là:

$$C_{tot}(H_0, \Delta H_{P_f}) = \left[I_{0,P_{f0}} + I_{\Delta H_{P_f}}(\Delta H_{P_f}) + PV(M) + PV(P_f * D) \right] \quad (3\text{-}56)$$

Mức độ an toàn tối ưu được thể hiện bởi $P_{f\text{-}opt}$ tương ứng với điểm cực trị của hàm tổng chi.

$$\min(C_{tot}) = \min\left[I_{0,P_{f0}} + I_{\Delta H_{P_f}}(\Delta H_{P_f}) + PV(M) + PV(P_f * D) \right] \quad (3\text{-}57)$$

Khi đó, tiêu chuẩn an toàn tối ưu được xác định thông qua hệ phương trình tối ưu tổng quát sau:

* Hàm mục tiêu & hàm ràng buộc:

$$C_{tot} = \min\left(\sum_{i=1}^{n} C_{P_i} \right) \quad , \quad P_f = \sum_{i=1}^{n} P_{Z_i<0} = P_{f\text{-opt}} \quad (3\text{-}58)$$

Trong đó:

P_f - Xác suất xảy ra sự cố của hệ thống;

$P_{f\text{-}opt}$ - Tiêu chuẩn an toàn tối ưu của hệ thống. $P_{f\text{-}opt}$ có thể nhận các giá trị 1/10, 1/100, 1/1000, …

$P_{Zi<0}$ - Xác suất xảy ra sự cố của từng cơ chế;

C_{tot} - Chi phí đầu tư nâng cấp toàn hệ thống;

C_{Pi} - Chi phí đầu tư để giảm xác suất xảy ra sự cố của mỗi cơ chế;

n - Số cơ chế sự cố xem xét tính toán.

Khi xem xét yêu tố phát triển kinh tế, chi phí duy tu bảo dưỡng khả dĩ và giá trị thiệt hại khả dĩ cần được quy về thời điểm hiện tại theo lãi suất ròng r và được ước tính theo:

$$PV(M) = E(M) \times \sum_{i=0}^{i=T} \frac{1}{(1+r)^i} = E(M) \frac{(1+r)^T - 1}{r(1+r)^T} \quad (3\text{-}59)$$

$$R_{P_f} = PV(P_f \times D) = P_f \times E(D) \times \sum_{i=0}^{i=T} \frac{1}{(1+r)^i} = P_f \times E(D) \frac{(1+r)^T - 1}{r(1+r)^T} \quad (3\text{-}60)$$

Nếu thời gian quy hoạch đủ dài (ví dụ T = 100 năm) thì giá trị thiệt hại quy về hiện tại xác định xấp xỉ theo:

$$R_{P_f} = PV(P_f \times D) = P_f \times \frac{E(D)}{r} \quad (3\text{-}61)$$

Trong đó:

P_f: Xác suất sự cố trong 1 năm;

E(M): Chi phí duy tu bảo dưỡng khả dĩ năm;

E(D): Thiệt hại có thể trong trường hợp lũ xảy ra;

r: Tỷ lệ lãi suất hiệu quả;

T: Thời đoạn quy hoạch (tuổi thọ công trình), tính bằng năm.

3.6.3. Độ tin cậy yêu cầu từ giá trị rủi ro chấp nhận theo quan điểm cộng đồng về nguy cơ thiệt mạng

Theo quan điểm xã hội (cộng đồng), giá trị rủi ro chấp nhận của hệ thống đê phòng chống lũ cho một vùng là xác suất trung bình nhiều năm xảy ra thiệt mạng do lũ lụt của vùng đó. Giá trị rủi ro này được cộng đồng dân cư sống trong vùng chịu lũ chấp nhận khi nó nhỏ hơn chuẩn xác suất xảy ra thiệt mạng tổng cộng do các nguyên nhân khác như do bệnh tật tự nhiên, tai nạn giao thông hoặc tai nạn khi tham gia các hoạt động khác diễn ra trong vùng vv… Căn cứ vào số liệu lịch sử thống kê các nguyên nhân tử vong tại Việt Nam, [36] đã xác định được chuẩn rủi ro cho các khu vực dân cư ven biển vùng đồng bằng sông Hồng là 10^{-4} (1/năm). Do đó giá trị rủi ro chấp nhận được $[P_{li}]$ dành cho người dân sống trong vùng có nguy cơ chịu lũ vùng đồng bằng ven biển là:

$$[P_l] = \frac{N_{d-l}}{N_{pl}} = \frac{N_{pi} P_{fl} P_{d/Fl}}{N_{pl}} \le \beta \times 10^{-4} \quad (3\text{-}62)$$

Trong đó:

N_{pl}: Là tổng số dân của vùng được bảo vệ bởi hệ thống đê;

N_{dl}: Tổng số người thiệt mạng do lũ;

P_{fl}: Là xác suất xảy ra vỡ đê gây lũ lụt;

$P_{d/Fl}$: Là xác suất thiệt mạng khi có lũ xảy ra;

β: Chỉ số mô tả mức độ tự nguyện sống trong vùng chịu lũ.

Xác suất để xảy ra thiệt mạng một cá nhân nào đó khi xảy ra ngập lụt $P_{d/Fl}$ phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Thời gian cảnh báo trước khi lũ lụt xảy ra;

- Loại lũ lụt (dự đoán được hoặc không thể đoán trước);

- Nơi trú ẩn có thể, mức độ tiếp xúc với lũ lụt, hiệu quả của sơ tán…

3.7. Kết luận chương 3

Toàn bộ phần lý thuyết cơ bản trình bày trong Chương 2 đã được sử dụng để xây dựng các bài toán tổng quát cho hệ thống đê trong Chương 3. Theo đó, các bài toán thiết lập có tích hợp được các yếu tố sau đây:

- Mô tả được tính ngẫu nhiên của các yếu tố tải trọng và sức chịu tải trong phân tích độ tin cậy đánh giá an toàn hệ thống đê;
- Kể đến hiệu ứng chiều dài hệ thống đê trong đánh giá an toàn và xác định độ tin cậy hệ thống đê;
- Các thiệt hại tiềm tàng của vùng được bảo vệ có kể đến tốc độ phát triển kinh tế trong tương lai, tích hợp vào trong bước xác định hàm thiệt hại và phân tích rủi ro theo quan điểm kinh tế. Cân bằng giữa chi phí đầu tư và rủi ro để xác định độ tin cậy yêu cầu tối ưu;
- Kể đến rủi ro tiềm tàng về số người gặp nạn khi lũ lụt xảy ra trong việc xác định độ tin cậy yêu cầu của hệ thống đê.

Như vậy các bài toán ứng dụng phát triển tại Chương 3 hoàn toàn có thể giải quyết các câu hỏi nghiên cứu nêu tại phần mở đầu của luận án.

CHƯƠNG 4 ỨNG DỤNG PHÂN TÍCH ĐỘ TIN CẬY CHO CÁC HỆ THỐNG ĐÊ ĐIỂN HÌNH VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG

4.1. Lựa chọn hệ thống đê điển hình vùng đồng bằng sông Hồng và kịch bản phân tích

4.1.1. Hệ thống đê điển hình

Để ứng dụng các bài toán đã được thiết lập tại Chương 3 cho trường hợp thực tế, hai trường hợp điển hình mang tính đại diện cao thuộc hệ thống đê phòng chống lũ tại vùng đồng bằng sông Hồng được lựa chọn để phân tích, đó là:

- *Hệ thống 1 (HT1):* Hệ thống đê sông vùng đồng bằng bảo vệ khu vực thành phố đông dân cư và có tốc độ phát triển kinh tế xã hội nhanh: Hệ thống đê Hữu Hồng bảo vệ khu vực trung tâm thành phố Hà Nội;
- *Hệ thống 2 (HT2):* Hệ thống đê phức hợp bao gồm đê sông, đê cửa sông và đê biển tạo thành vòng bảo vệ khép kín cho vùng dân cư nông thôn ven biển: Hệ thống đê bảo vệ khu vực ven biển thuộc huyện Giao Thủy, tỉnh Nam Định.

4.1.2. Kịch bản phân tích

Trong nghiên cứu này các bài toán phân tích kể đến ảnh hưởng của hai yếu tố:

- Biến đổi khí hậu làm gia tăng điều kiện biên tải trọng tác dụng lên hệ thống đê: Trực tiếp xem xét ảnh hưởng của BĐKH đến biến mực nước trước đê.
- Tốc độ phát triển kinh tế của vùng được bảo vệ tác động gia tăng giá trị cần được bảo vệ trong tương lai.

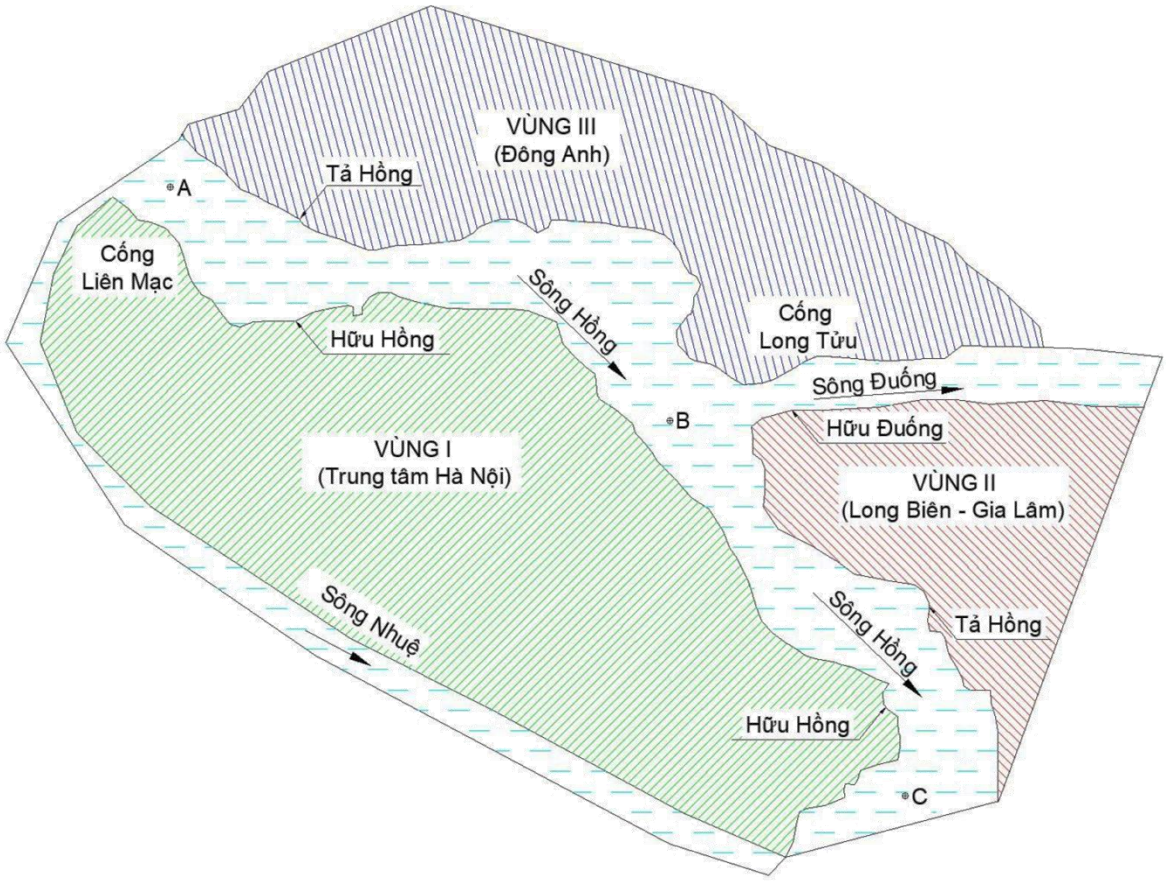
Trên cơ sở đó, 02 kịch bản được phân tích bao gồm:

- KB1: Kịch bản hiện tại - mực nước trong thời kỳ cơ sở (1965-2015). Đây là trường hợp hiện trạng;
- KB2: Kịch bản tương lai - kể đến BĐKH và phát triển kinh tế xã hội dự báo đến năm 2050;

4.2. Xác định chỉ số an toàn và độ tin cậy yêu cầu của hệ thống đê Hữu Hồng bảo vệ khu vực trung tâm thành phố Hà Nội (HT1)

4.2.1. Mô tả hệ thống đê Hà Nội

Hà Nội hiện có 20 tuyến đê chính dài khoảng 470 km, trong đó có hơn 37 km đê Hữu Hồng là đê cấp đặc biệt, 211,5 km đê cấp I; 67,4 km đê cấp II và còn lại là đê cấp III và cấp IV. Có thể mô tả hệ thống đê tại đoạn qua Hà Nội thành 03 khu vực, đó là Vùng I, Vùng II và Vùng III (xem Hình 4-1). Tuy nhiên, để đơn giản trong tính toán, tác giả sẽ phân tích các cơ chế gây mất ổn định và tổng hợp xác suất xảy ra ngập lụt cho Vùng I – Trung tâm thành phố Hà Nội được bảo vệ bởi tuyến đê Hữu Hồng. Do mực nước dọc sông Nhuệ hoàn toàn chủ động điều tiết thông qua việc vận hành hợp lý cống Liên Mạc, hệ thống đê tả sông Nhuệ được giả thiết là đảm bảo an toàn theo tiêu chuẩn hiện hành. Sơ đồ hóa hệ thống được trình bày trên Hình 4-1.



Hình 4-1: Sơ họa hệ thống đê khu vực trung tâm thành phố Hà Nôi

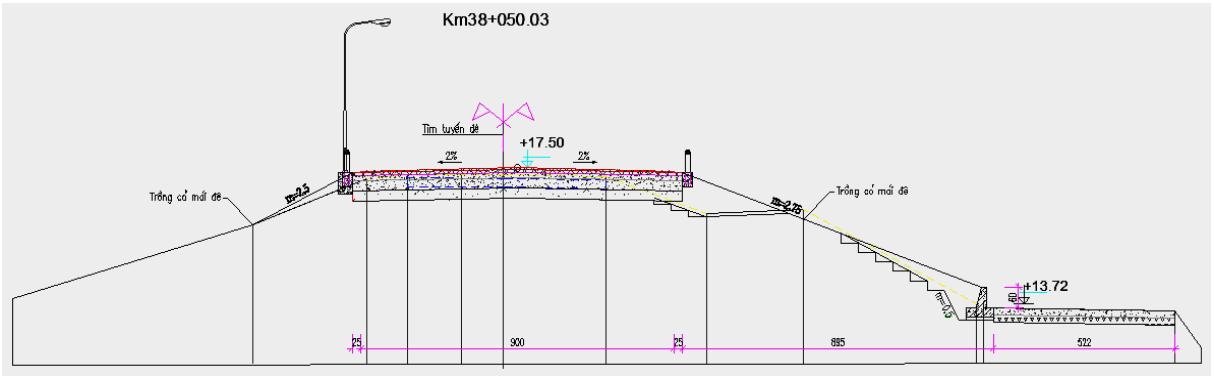
4.2.2. Xác định độ tin cậy và đánh giá an toàn hệ thống đê hiện tại

4.2.2.1. Thiết lập sơ đồ cây sự cố hệ thống đê

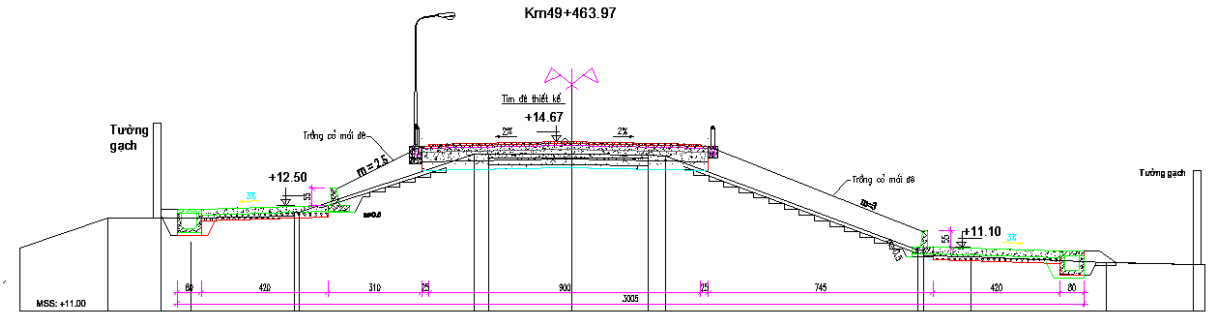
Tuyến đê Hữu Hồng bảo vệ khu vực nội thành thành phố Hà Nội được chia thành 3 đoạn như trình bày trong Bảng 4-1. Tuyến đê này có tổng chiều dài là 49.220 m và bắt đầu từ cống Liên Mạc (K31+100) đến khu vực Văn Uyên, Thanh Trì (K80+340). Mặt cắt ngang đại diện cho 03 đoạn của đê Hữu Hồng được thể hiện trong Hình 4-2, 4-3 và 4-4.

Bảng 4-1: Phân chia đoạn tuyến đê Hữu Hồng qua trung tâm thành phố Hà Nội

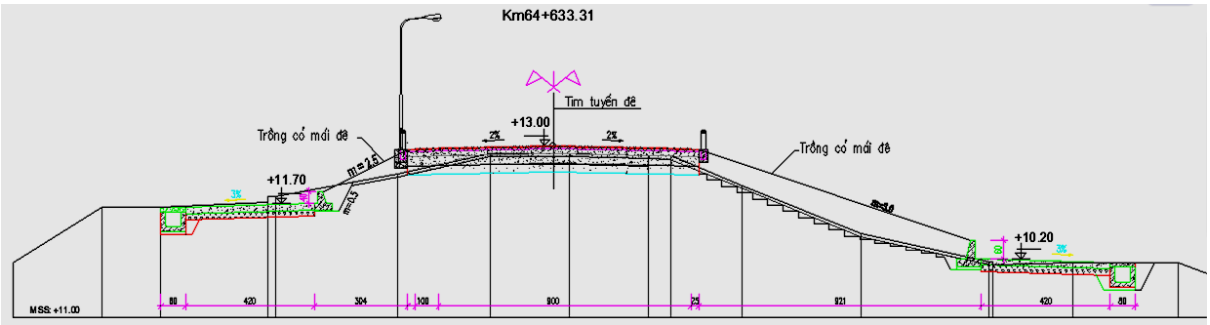
Các phân đoạn	Vị trí	Chiều dài (m)
Đoạn 1	Hữu Hồng K31+100÷K47+980	16.880
Đoạn 2	Hữu Hồng K48+000÷K57+000	9.000
Đoạn 3	Hữu Hồng K57+000÷K80+340	23.340
Tổng		**49.220**



Hình 4-2: Mặt cắt ngang đại diện Đoạn 1, đê Hữu Hồng (nguồn: Sở NN&PTNT Hà Nội, *2017)*

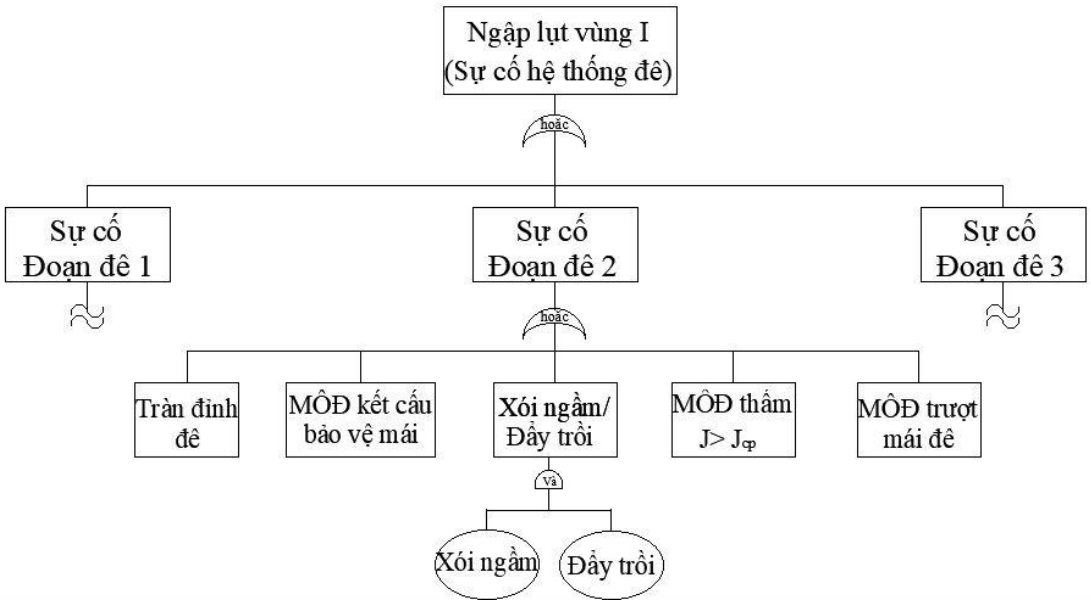


Hình 4-3: Mặt cắt ngang đại diện Đoạn 2, đê Hữu Hồng (nguồn: Sở NN&PTNT Hà Nội, 2017)



Hình 4-4: Mặt cắt ngang đại diện Đoạn 3, đê Hữu Hồng (nguồn: Sở NN&PTNT Hà Nội, 2017)

Trên cơ sở sơ đồ hệ thống mô tả tại Hình 4-1 và xem xét các cơ chế có thể xảy ra với hệ thống đê tại Mục 3.1, sơ đồ cây sự cố cho hệ thống đê Hữu Hồng tại đoạn qua thành phố Hà Nội được thiết lập như trong Hình 4-5.



Hình 4-5: Sơ đồ cây sự cố cho hệ thống đê Hữu Hồng (HT1)

4.2.2.2. Phân tích độ tin cậy và xác suất xảy ra sự cố của các cơ chế

a. Cơ chế chảy tràn

Cơ chế chảy tràn xảy ra khi mực nước xuất hiện trước đê cao hơn cao trình đỉnh đê. Hàm tin cậy của cơ chế sự cố chảy tràn được viết theo công thức (3-1). Do *MNL* được lấy từ số liệu thực đo đã bao gồm chiều cao nước dềnh do gió gây ra nên công thức (3-1) sẽ không có thành phần này. Khi đó, hàm tin cậy cho HT1 được viết lại thành:

$$Z_1 = Z_D - MNL \qquad (4\text{-}1)$$

Từ chuỗi số liệu mực nước lũ (*MNL*), sử dụng phần mềm BESTFIT tìm hàm phân phối xác suất phù hợp nhất và các tham số thống kê của nó. Trong nghiên cứu này sử dụng số liệu thực đo của mực nước cực trị năm tại trạm thủy văn Hà Nội với liệt số liệu trong khoảng từ năm 1969 đến 2015. Liệt số liệu này phù hợp với hàm phân phối Gumbel với các tham số thống kê tại Bảng 4-2.

Trường hợp KB2 khi xem xét ảnh hưởng của BĐKH, mực nước gia tăng trong mùa lũ là hệ quả của sự gia tăng lượng mưa thượng nguồn với mức độ gia tăng dự báo đến năm 2050 là +20% [62]. Với mức gia tăng này, mực nước mùa lũ sông Hồng gia tăng trung bình là 0,5 m.

Chi tiết phân tích thống kê các hàm phân phối ngẫu nhiên và đặc trưng thống kê của các biến liên quan được trình bày tại Phụ lục 4 và tóm tắt tại Bảng 4-2. Kết quả phân tích độ tin cậy theo cơ chế sự cố chảy tràn đỉnh đê được trình bày tại Bảng 4-3 và Hình 4-6.

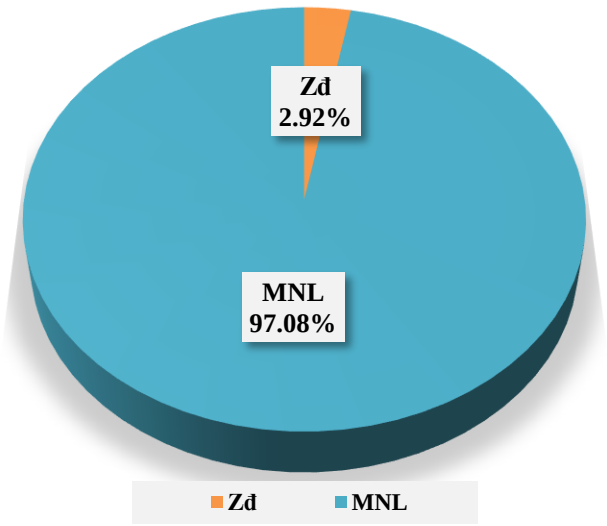
Bảng 4-2: Giá trị biến ngẫu nghiên của cơ chế chảy tràn đỉnh đê của HT1

TT	**Biến ngẫu nhiên**	**Các phân đoạn**	**Kí hiệu**	**Luật phân phối**	**Kỳ vọng toán μ** (m)		**Độ lệch σ** (m)
					KB1	**KB2**	
1	Cao trình đỉnh đê	Đoạn 1	ZĐ1	Normal	17,5	17,5	0,10
		Đoạn 2	ZĐ2	Normal	14,67	14,67	0,10
		Đoạn 3	ZĐ3	Normal	13,0	13,0	0,10
2	Mực nước lũ	Đoạn 1	MNL_1	Gumbel	**15,7**	**16,2**	1,15
		Đoạn 2	MNL_2	Gumbel	**13,6**	**14,1**	1,15
		Đoạn 3	MNL_3	Gumbel	**10,8**	**11,3**	1,15

(Normal là luật phân phối chuẩn thường; Gumbel là luật phân phối cực trị Gumbel)

Bảng 4-3: Kết quả phân tích độ tin cậy của cơ chế chảy tràn của HT1

TT	**Đoạn**	**KB1**		**KB2**	
		Xác suất $P(Z<0)$	Độ tin cậy β	Xác suất $P(Z<0)$	Độ tin cậy β
1	Đoạn 1	0,0061	2,506	0,0094	2,349
2	Đoạn 2	0,0018	2,911	0,0072	2,447
3	Đoạn 3	0,0028	2,770	0,0089	2,370



Hình 4-6: Hệ số ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế chảy tràn của HT1

b. Cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê sông

Hàm tin cậy chung cho cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê sông được viết theo công thức (3-3). Chi tiết phân tích thống kê các hàm phân phối ngẫu nhiên và đặc trưng thống kê của các biến liên quan được trình bày tại Phụ lục 4 và tóm tắt tại Bảng 4-4.

Bảng 4-4: Giá trị biến ngẫu nghiên của cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái

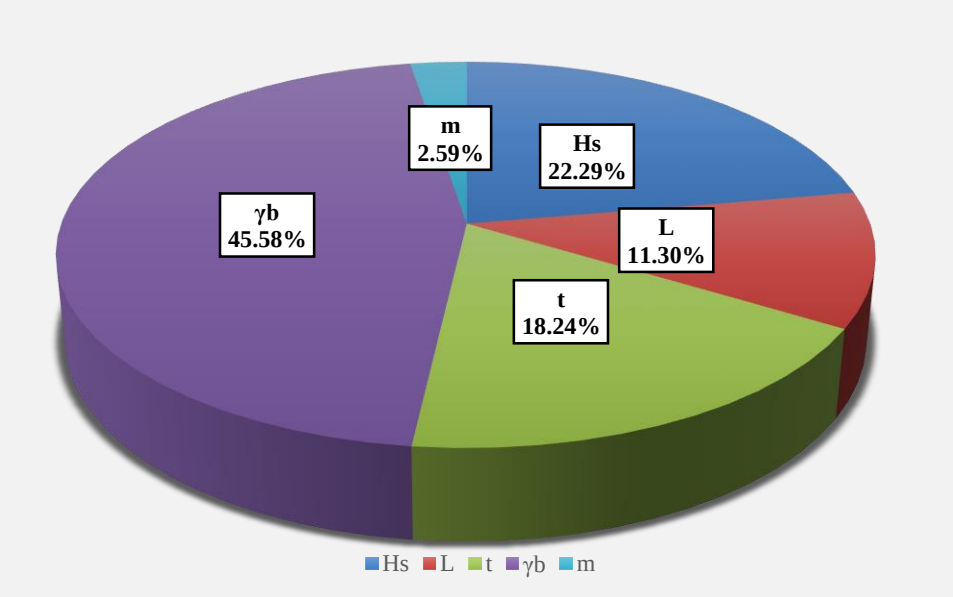
TT	Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Đặc trưng thống kê		
				Luật P.Phối	Kỳ vọng μ	Phương sai σ^2
1	Chiều cao sóng dềnh KB1	H_{s1}	m	LogNorm	0,32	0,15
	Chiều cao sóng dềnh KB2	H_{s2}	m	LogNorm	0,38	0,15
2	Chiều dài sóng	L	m	Normal	3,20	0,30
3	Chiều dày lớp áo kè	t	m	Norm	0,20	0,05
4	Độ sâu nước trước chân kè	d	m	Norm	6,00	0,25
5	Khối lượng riêng của nước	γ	KN/m^3	Deter	1,00	-
6	Khối lượng riêng của đá	γ_b	KN/m^3	Norm	2,40	0,05
7	Hệ số mái dốc (Cotg)	m	-	Norm	5,00	0,05

(Normal là luật phân phối chuẩn thường; LogNorm là luật phân phối logarit chuẩn; Deter là giá trị tất định)

Kết quả phân tích độ tin cậy của cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê được trình bày tại Bảng 4-5 và Hình 4-7.

Bảng 4-5: Độ tin cậy của cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê của HT1

TT	Đoạn	KB1		KB2	
		Xác suất $P(Z<0)$	Độ tin cậy β	Xác suất $P(Z<0)$	Độ tin cậy β
1	Đoạn 1	$2{,}71\times10^{-4}$	3,46	$2{,}94\times10^{-4}$	3,43
2	Đoạn 2	$2{,}71\times10^{-4}$	3,46	$2{,}94\times10^{-4}$	3,43
3	Đoạn 3	$2{,}71\times10^{-4}$	3,46	$2{,}94\times10^{-4}$	3,43



Hình 4-7: Ảnh hưởng của các biến đến cơ chế mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê của HT1

c. *Cơ chế xói chân đê*

Đối với đê Hữu Hồng, ta có thể nhận thấy rằng xác suất xảy ra vỡ đê do cơ chế xói chân đê là xác suất có điều kiện khi xảy ra đồng thời các điều kiện sau:

(1) Chân đê bị xói do dòng chảy trong suốt quá trình làm việc (cơ chế này có thể xảy ra do dòng chảy lũ, dòng chảy trong điều kiện thường và dòng chảy kiệt) đạt đến trạng thái giới hạn. Xác suất xảy ra điều kiện này là $P_{3\text{-}1}$;

(2) Vị trí chân đê bị xói đạt đến trạng thái giới hạn là vị trí chịu tác động trực tiếp của dòng chảy lũ. Xác suất xảy ra điều kiện này là $P_{3\text{-}2}$;

Do đó, xác suất xảy ra cơ chế xói chân đê của HT1 là:

$$P_3 = P_{3\text{-}1} \times P_{3\text{-}2} \qquad (4\text{-}2)$$

- Xác định $P_{3\text{-}1}$:

Điều kiện (1) xảy ra khi chiều sâu hố xói trước chân đê lớn hơn chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê. Các biến ngẫu nhiên liên quan và tham số thống kê của chúng được liệt kê tại Bảng 4-6.

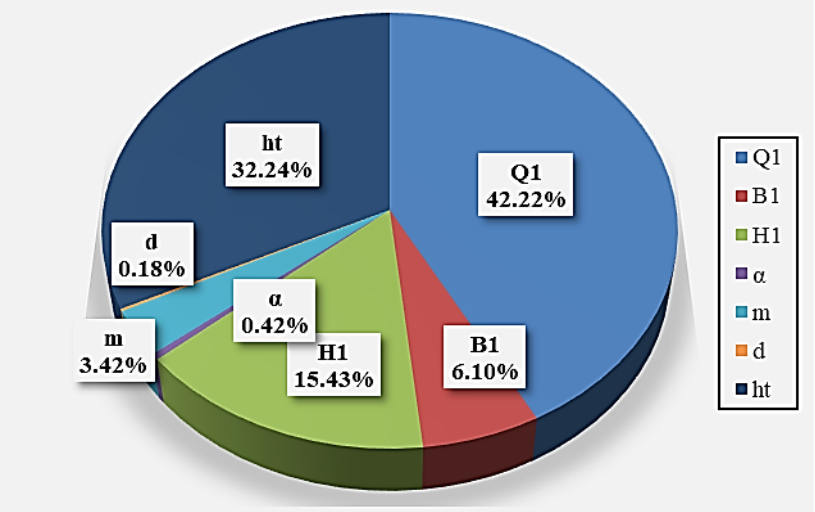
Bảng 4-6: Biến ngẫu nhiên theo cơ chế xói chân đê của HT1

Đoạn đê	**Biến ngẫu nhiên**	**Kí hiệu**	**Đơn vị**	**Đặc trưng thống kê**		
				Luật P.Phối	Kỳ vọng μ	Phương sai σ^2
1,2 &3	Lưu lượng lũ sông KB1	Q_1	m^3/s		18.000	0,05
	Lưu lượng lũ sông KB2	Q_2	m^3/s	Norm	21.600	0,05
Đoạn 1	Chiều rộng bãi (khoảng cách từ mép nước đến chân dốc)	B_1	m	Norm	500	0,2
	Độ sâu trên bãi	H_1	m	Norm	5,0-5,5	0,2
	Hệ số phân bố không đều của lưu tốc	η	-	Deter	2	-
	Góc giữa lưu hướng dòng chảy ở mực nước lũ tính toán và mái bờ	α	rad	Norm	0,53	0,05
	Hệ số mái chân kè	m	-	Norm	3	0,1
	Đường kính hạt tính toán của đất đáy sông tại sát chân kè	d	m	Norm	0,01	0,0005
	Chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê	h_t	m	Norm	3	0,2
Đoạn 2	Chiều rộng bãi (khoảng cách từ mép nước đến chân dốc)	B_1	m	Norm	350	0,2
	Độ sâu trên bãi	H_1	m	Norm	6,0-6,5	0,2
	Hệ số phân bố không đều của lưu tốc	η	-	Deter	2	-
	Góc giữa lưu hướng dòng chảy ở mực nước lũ tính toán và mái bờ	α	rad	Norm	0,53	0,05
	Hệ số mái chân kè	m	-	Norm	3	0,1
	Đường kính hạt tính toán của đất đáy sông tại sát chân kè	d	m	Norm	0,01	0,05
	Chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê	h_t	m	Norm	4	0,2
Đoạn 3	Chiều rộng bãi (khoảng cách từ mép nước đến chân dốc)	B_1	m	Norm	650	0,2
	Độ sâu trên bãi	H_1	m	Norm	5,0-5,5	0,2
	Hệ số phân bố không đều của lưu tốc	η	-	Deter	2	-
	Góc giữa lưu hướng dòng chảy ở mực nước lũ tính toán và mái bờ	α	rad	Norm	0,53	0,05
	Hệ số mái chân kè	m	-	Norm	3	0,1
	Đường kính hạt tính toán của đất đáy sông tại sát chân kè	d	m	Norm	0,01	0,05
	Chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê	h_t	m	Norm	2,5	0,2

Chi tiết phân tích thống kê các hàm phân phối ngẫu nhiên và đặc trưng thống kê của các biến liên quan trình bày tại Phụ lục 4.1. Kết quả phân tích độ tin cậy theo cơ chế sự cố xói chân đê trình bày tại Bảng 4-7 và Hình 4-8.

Bảng 4-7: Độ tin cậy của cơ chế xói chân đê theo điều kiện (1) của HT1

TT	Đoạn	KB1		KB2	
		Xác suất $P_{3\text{-}1}$ (Z<0)	Độ tin cậy β	Xác suất $P_{3\text{-}1}$ (Z<0)	Độ tin cậy β
1	Đoạn 1	0,135	1,103	0,142	1,071
2	Đoạn 2	0,113	1,211	0,184	0,900
3	Đoạn 3	0,179	0,919	0,198	0,849



Hình 4-8: Ảnh hưởng của các biến đến cơ chế xói chân đê theo điều kiện (1) của HT1

- Xác định $P_{3\text{-}2}$:

Qua quan sát và khảo sát hiện trạng các điều kiện làm việc của đê, cứ 100 điểm xung yếu do xói mất chân đê thì có 01 điểm có nguy cơ xảy ra rất cao khi có lũ sông tràn về mà khu vực này không kịp thời sửa chữa. Như vậy ta có thể xác định được $P_{3\text{-}2}$ = 0,01.

Do đó, xác suất vỡ đê do hiện tượng xói chân đê của HT1 được xác định theo công thức $P_3 = 0{,}01 \times P_{3\text{-}1}$. Kết quả tính toán P_3 cho HT1 được trình bày trong Bảng 4-8.

Bảng 4-8: Độ tin cậy cho cơ chế xói chân đê của HT1

TT	Đoạn	KB1		KB2	
		Xác suất P_3(Z<0)	Độ tin cậy β	Xác suất P_3(Z<0)	Độ tin cậy β
1	Đoạn 1	0,00135	3,000	0,00142	2,300
2	Đoạn 2	0,00113	3,054	0,00184	2,366
3	Đoạn 3	0,00179	2,913	0,00198	2,387

d. Cơ chế xói ngầm và đẩy trồi

Hàm tin cậy của cơ chế xói ngầm và đẩy trồi được xác định theo các công thức (3-19) đến (3-21). Các hàm phân phối ngẫu nhiên và đặc trưng thống kê của các biến được xác định chi tiết tại Phụ lục 2 và được tóm tắt tại Bảng 4-9. Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế đẩy trồi và xói ngầm được trình bày lần lượt trong Hình 4-9 và Hình 4-10.

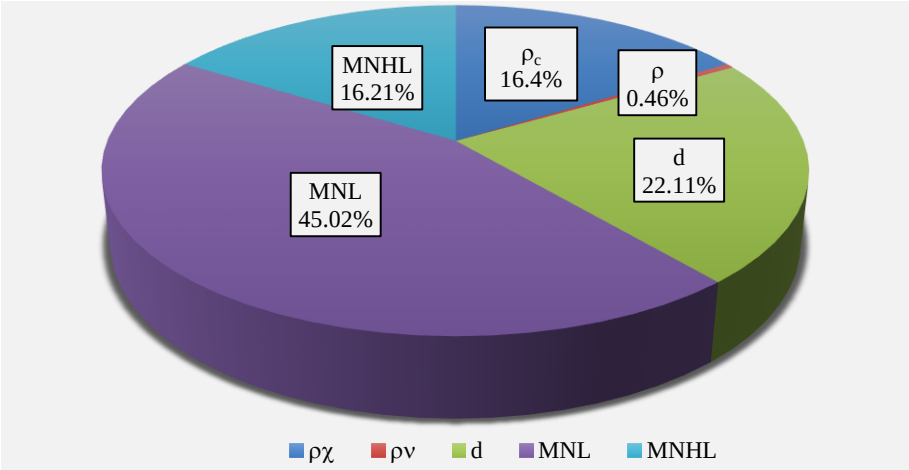
Bảng 4-9: Các biến ngẫu nhiên của cơ chế xói ngầm và đẩy trồi của HT1

Đoạn đê	Biến ngẫu nhiên	Ký hiệu	Đơn vị	Tham số thống kê			
				Luật phân bố	μ KB1	μ KB2	Độ lệch σ
Đoạn 1, 2 & 3	Dung trọng bão hòa của nền đất	ρ_χ	T/m^3	Nor	1,8		0,09
	Dung trọng của nước	ρ_ω	T/m^3	Deter	1,0		-
	Thông số mô hình	μ	-	Nor	2,0		0,2
	Chỉ số Blight	C_B	-	Deter	2,0		0,4
Đoạn 1	Mực nước lũ ngoài sông	*MNL*	m	Gumbel	15,7	16,20	0,4
	Mực nước trong đê	*MNTĐ*	M	Normal	6,5	6,50	0,3
	Chiều dài đường viền thấm	L_t	m	Nor	78,4	78,40	7,8
	Chiều dày lớp sét	*d*	m	lognormal	2,0	2,00	0,5
Đoạn 2	Mực nước lũ ngoài sông	*MNL*	m	Gumbel	13,6	14,1	0,4
	Mực nước trong đê	*MNTĐ*	M	Normal	4,4	4,4	0,3
	Chiều dài đường viền thấm	L_t	m	Nor	77,2	77,2	7,7
	Chiều dày lớp sét	*d*	m	lognormal	3,0	3,0	0,5
Đoạn 3	Mực nước lũ ngoài sông	*MNL*	m	Gumbel	10,8	11,3	0,4
	Mực nước trong đê	*MNTĐ*	M	Normal	2,0	2,0	0,3
	Chiều dài đường viền thấm	L_t	m	Nor	75,6	75,6	7,5
	Chiều dày lớp sét	*d*	m	lognormal	3,3	3,3	0,5

Giải hàm độ tin cậy ta xác định được xác suất sự cố do xói ngầm và đẩy trồi của HT1 và kết quả tính toán được trình bày tại Bảng 4-10 và Bảng 4-11.

Bảng 4-10: Kết quả phân tích độ tin cậy cho cơ chế đẩy trồi của HT1

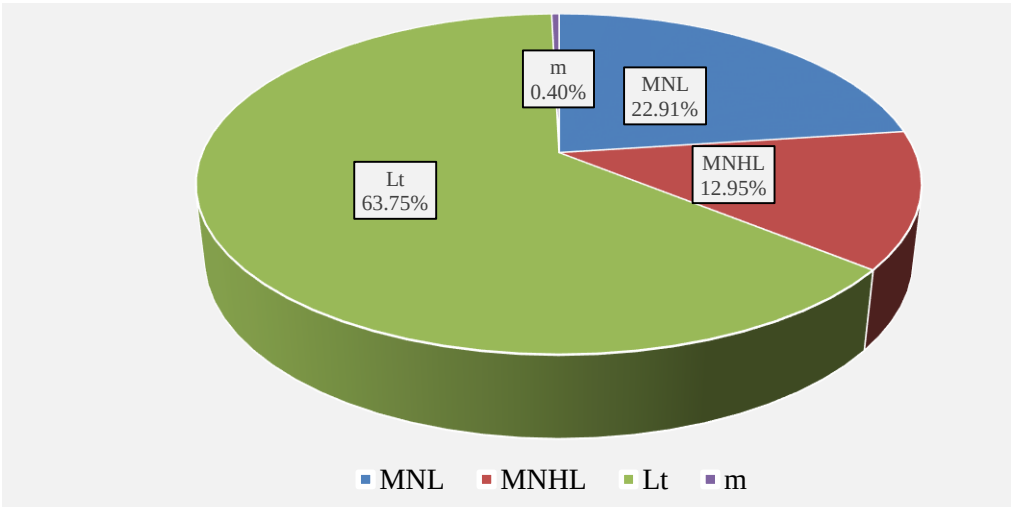
TT	Đoạn	KB1		KB2	
		Xác suất $P(Z<0)$	Độ tin cậy β	Xác suất $P(Z<0)$	Độ tin cậy β
1	Đoạn 1	0,184	0,900	0,218	0,779
2	Đoạn 2	0,021	2,034	0,047	1,675
3	Đoạn 3	0,004	2,652	0,009	2,366



Hình 4-9: Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế đẩy trồi của HT1

Bảng 4-11: Độ tin cậy cho cơ chế xói ngầm của HT1

TT	Đoạn	KB1		KB2	
		Xác suất $P(Z<0)$	Độ tin cậy β	Xác suất $P(Z<0)$	Độ tin cậy β
1	Đoạn 1	0,047	1,675	0,061	0,779
2	Đoạn 2	0,007	2,457	0,010	1,675
3	Đoạn 3	0,003	2,748	0,008	2,366



Hình 4-10: Ảnh hưởng của các biến ngẫu nhiên đến cơ chế xói ngầm của HT1

Bảng 4-12: Độ tin cậy cho cơ chế xói ngầm và đẩy trồi (mạch đùn) của HT1

TT	Đoạn	KB1		KB2	
		Xác suất	Độ tin cậy	Xác suất	Độ tin cậy
		$P(Z<0)$	β	$P(Z<0)$	β
1	Đoạn 1	0,008648	2,380	0,013298	2,217
2	Đoạn 2	0,000147	3,621	0,000470	3,308
3	Đoạn 3	0,000012	4,224	0,000072	3,801

e. Cơ chế mất ổn định do trượt mái phía đồng

Hàm tin cậy của cơ chế mất ổn định do trượt mái đê của HT1 được xác định theo Mục 3.3.5. Các hàm phân phối ngẫu nhiên và đặc trưng thống kê của các biến được xác định chi tiết tại Phụ lục 4 và tóm tắt tại Bảng 4-13.

Bảng 4-13: Độ tin cậy cho cơ chế ổn định mái đê của HT1

TT	Đoạn đê	KB1		KB2	
		P_f	β	P_f	β
1	Đoạn 1	$5{,}2 \times 10^{-6}$	4,409	$1{,}9 \times 10^{-5}$	4,119
2	Đoạn 2	$0{,}18 \times 10^{-4}$	4,117	$2{,}1 \times 10^{-4}$	3,527
3	Đoạn 3	$0{,}8 \times 10^{-5}$	4,314	$1{,}4 \times 10^{-5}$	4,189

Kết quả phân tích cho thấy cơ chế mất ổn định trượt mái đê phía đồng có khả năng xảy ra rất nhỏ.

4.2.2.3. Xác định độ tin cậy hệ thống và đánh giá an toàn

Trong mục này, tác giả phân tích bài toán mẫu cho một đoạn đê đại diện kể đến 05 cơ chế hư hỏng chính như đã nêu ở trên. Sau đó, tổng hợp xác suất xảy ra hư hỏng của đoạn đê đại diện được thực hiện theo sơ đồ cây sự cố trình bày như trên Hình 4-5. Xác suất tổng hợp xảy ra sự cố của hệ thống HT1 được xác định như sau:

$$P_{\text{vỡ đê}} = P(Z_1<0 \cup Z_2<0 \cup Z_{3\text{-}1}<0 \cap Z_{3\text{-}2}<0 \cup Z_{4\text{-}1}<0 \cap Z_{4\text{-}2}<0 \cup Z_5<0) \quad (4\text{-}3)$$

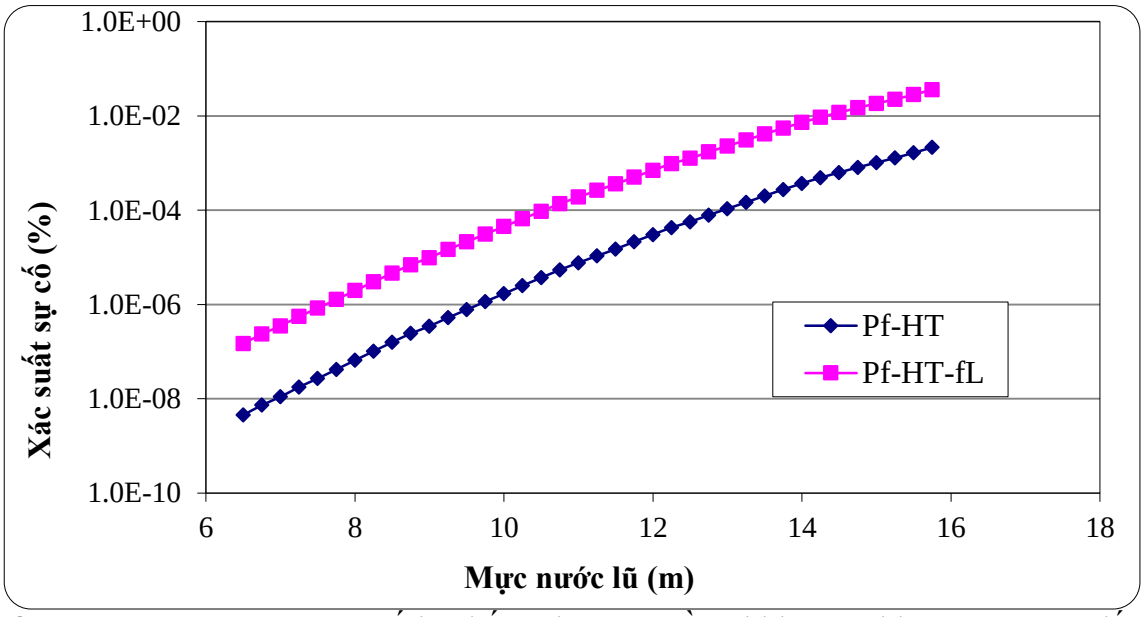
Trong đó:

- $Z_1<0$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng sóng tràn/chảy tràn;
- $Z_2<0$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng hư hỏng kết cấu bảo vệ mái đê;
- $Z_{3\text{-}1}$; $Z_{3\text{-}2}$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng phá hỏng do chiều sâu xói chân đê vượt quá chiều sâu bảo vệ;
- $Z_{4\text{-}1}$; $Z_{4\text{-}2}$ biểu thị sự xảy ra hiện tượng xói ngầm, đẩy trồi;
- Z_5 biểu thị sự xảy ra hiện tượng hư hỏng do trượt mái đê phía đồng.

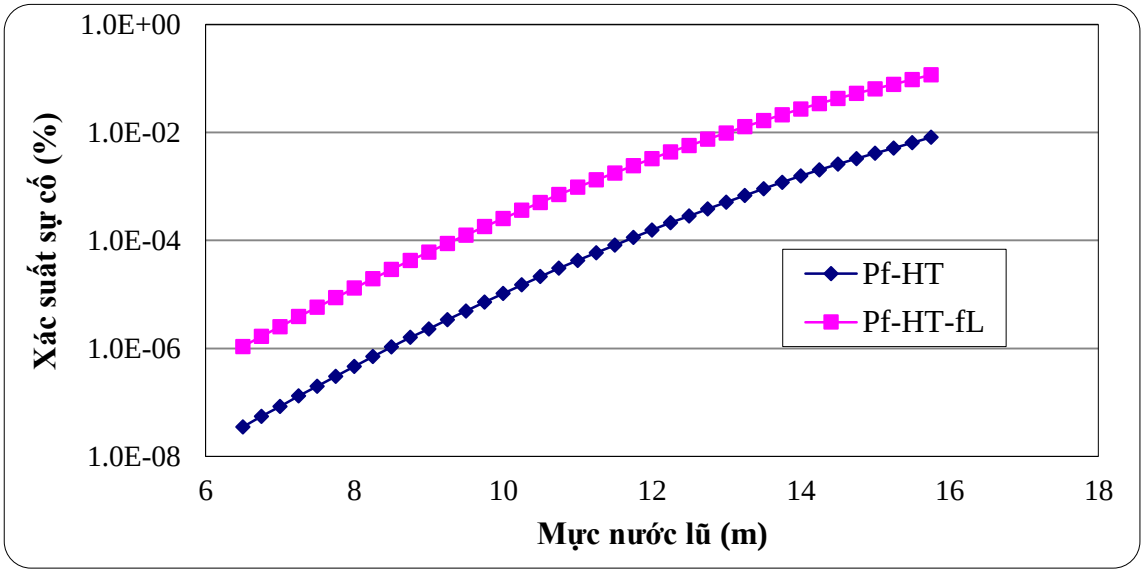
Phân tích độ tin cậy hệ thống đê HT1 theo phương pháp mô phỏng Monte Carlo xác định được xác suất xảy ra sự cố hệ thống đê Hữu Hồng. Kết quả của kịch bản KB1 là P_f = 0,00198 (~1/501.2) và của kịch bản KB2 là P_f = 0,0085 (~1/117). So sánh với độ tin cậy yêu cầu hiện tại là $[P_f]$ = 1/500 thì hệ thống đê không đảm bảo an toàn theo kịch bản

KB2 khi xét đến ảnh hưởng của BĐKH. Kết quả phân tích cũng chỉ ra rằng cơ chế nước tràn đỉnh đê ảnh hưởng nhiều nhất đến an toàn đê sông (76 %). Ngoài ra, các cơ chế sự cố khác như mất ổn định kết cấu bảo vệ mái đê chiếm 12 %, xói ngầm và đẩy trồi chiếm 11 %.

Áp dụng công thức xác định hệ số hiệu ứng chiều dài cho hệ thống đê theo công thức (3-55) tác giả đã xác định được xác suất sự cố hệ thống đê Hữu Hồng và đường cong sự cố của nó. Kết quả được trình bày trong Hình 4-11 (cho kịch bản KB1) và Hình 4-12 (cho kịch bản KB2).



Hình 4-11: Đường cong sự cố hệ thống đê Hữu Hồng khi có và không xem xét đến hiệu ứng chiều dài cho kịch bản KB1.



Hình 4-12: Đường cong sự cố hệ thống đê Hữu Hồng khi có và không xem xét đến hiệu ứng chiều dài cho kịch bản KB2.

Bảng 4-14: Tổng hợp kết quả xác định độ tin cậy của hệ thống đê HT1 (đê Hữu Hồng)

Xác suất sự cố hệ thống đê	**P_f**	**β**
Kịch bản 1	0,00198 (~1/500.1)	2.88
Kịch bản 2	0,0085 (~1/117)	2.35

Bảng 4-14 tổng hợp xác suất xảy ra sự cố cho hệ thống đê HT1 (đê Hữu Hồng). Như kết quả thể hiện trong Bảng 4-14 cho thấy rằng, đối với hệ thống đê Hữu Hồng đang xem xét, xác suất sự cố gia tăng đáng kể khi có xét đến ảnh hưởng của hiệu ứng chiều dài đê.

Theo kết quả thể hiện trong Bảng 4-14 cho thấy đê Hữu Hồng (đoạn qua thành phố Hà Nội) hiện tại cơ bản đảm bảo được nhiệm vụ đã thiết kế ban đầu của nó. Tuy nhiên, theo các báo cáo đánh giá về hiện trạng tuyến đê này và kết quả phân tích độ tin cậy của hệ thống đê đã chỉ ra rằng: mức đảm bảo an toàn phòng lũ hiện tại không đạt được với tiêu chí thiết kế theo qui phạm hiện hành và cần thiết phải nâng cấp hệ thống đê, đặc biệt là cho những đoạn đê xung yếu.

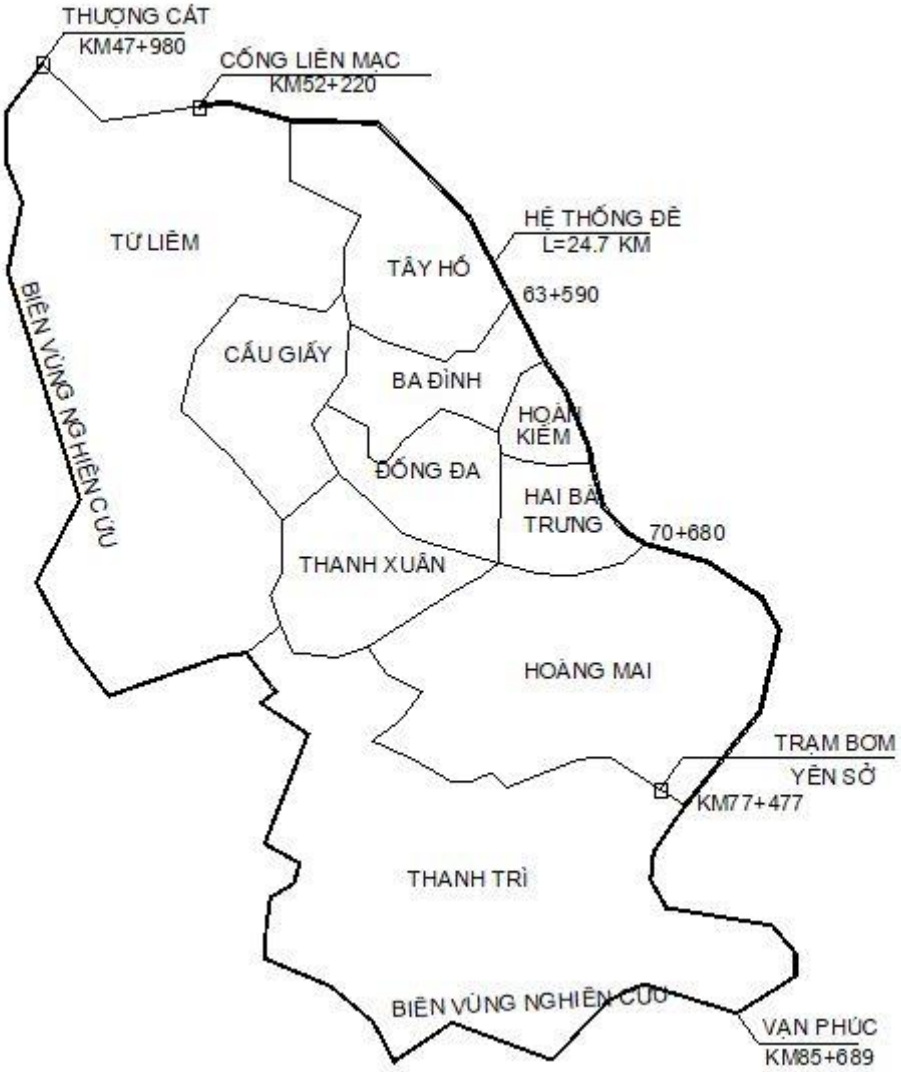
Cơ chế nước tràn đỉnh chiếm 72 % xác suất sự cố tổng cộng. Như vậy, việc nâng cấp tuyến đê nên tập trung vào nâng cao trình đỉnh đê.

4.2.3. Xác định độ tin cậy yêu cầu hệ thống đê Hà Nội theo rủi ro kinh tế

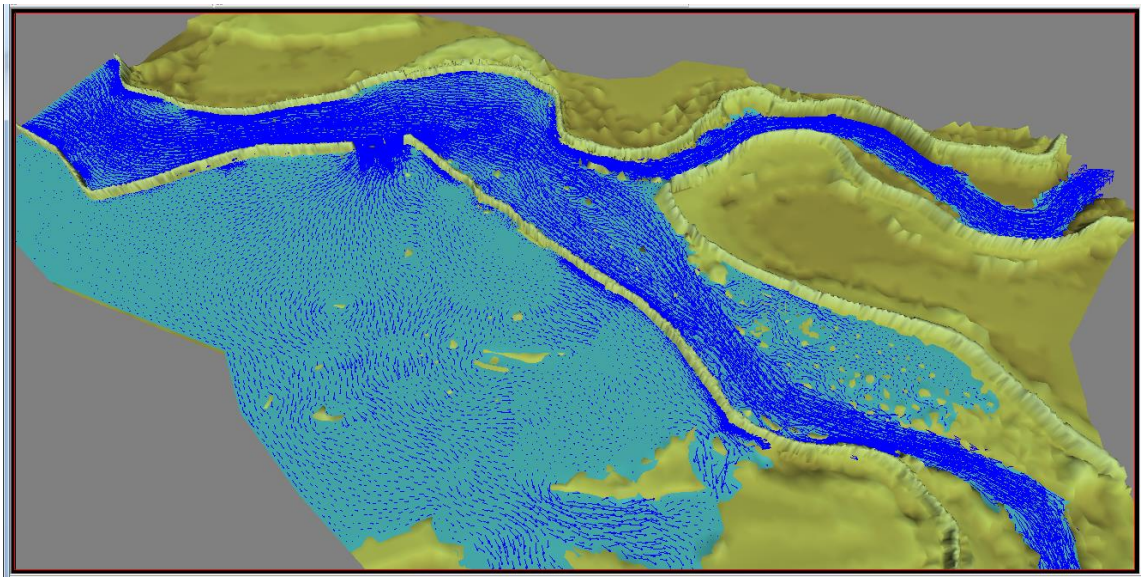
4.2.3.1. Mô phỏng ngập lụt và xác định giá trị thiệt hại do ngập lụt

Trong luận án này mô phỏng ngập lụt được thực hiện ứng với mực nước lũ và lưu lượng lũ đạt tần suất thiết kế theo tiêu chuẩn hiện hành, với P = 1/500 tại trạm Hà Nội (Tại Hà Nội mực nước sông Hồng là +13,40 m, lưu lượng lũ là 20.000 m^3/s); mô phỏng được thực hiện với các giả thiết về vị trí vết vỡ và chiều rộng vỡ đê tương tự như sự kiện năm 1971 tại Liên Trì. Trên cơ sở bản đồ phân bố độ ngập sâu trung bình và đường cong thiệt hại cho vùng Hà Nội, giá trị thiệt hại được xác định. Chi tiết về mô phỏng ngập lụt và xác định thiệt hại được trình bày tại Phụ lục 3.

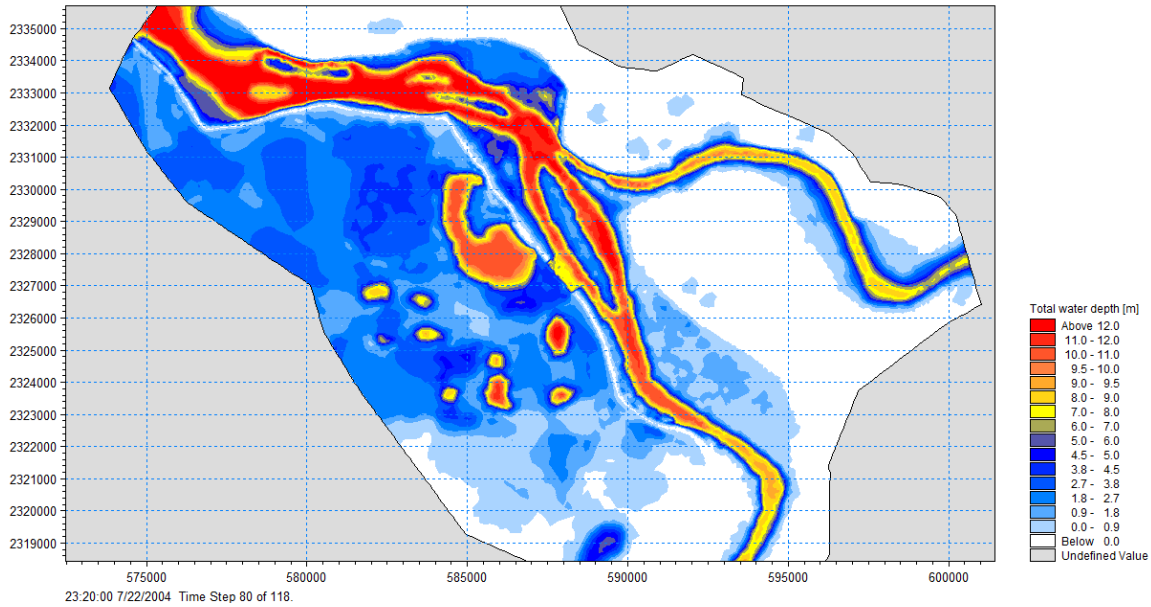
- **Trường hợp 1**: Vết vỡ giả định có chiều dài 80 m tại khu vực Liên Trì (khu vực đã từng xảy ra vỡ đê năm 1971, với cùng chiều rộng);
- **Trường hợp 2:** Vết vỡ giả định có chiều dài 80 m tại khu vực Liên Mạc;
- **Trường hợp 3:** Vết vỡ giả định có chiều dài 80 m tại khu vực hồ Thanh Trì (phía Nam trạm bơm Yên Sở).



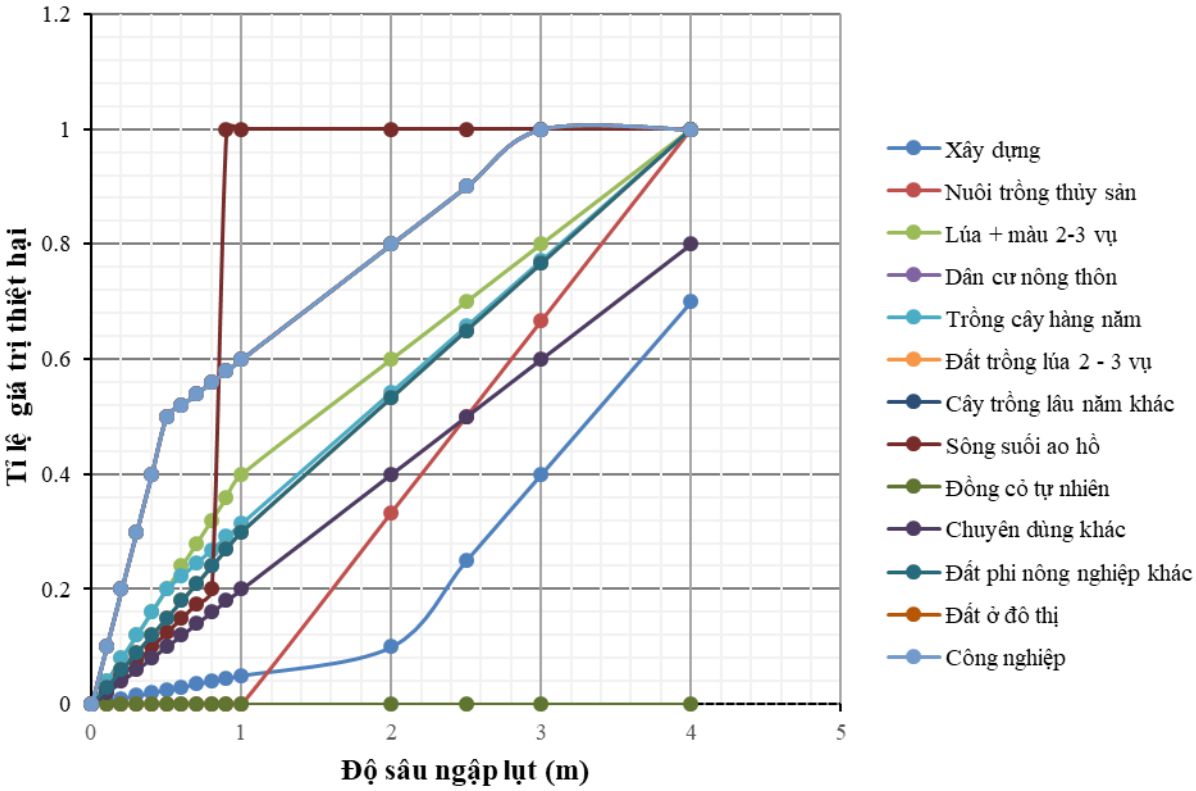
Hình 4-13: Sơ họa khu vực nghiên cứu mô phỏng ngập lụt



Hình 4-14: Phân bố ngập lụt thời điểm đỉnh lũ (Trường hợp 1).



Hình 4-15: Độ sâu ngập lụt ổn định (Trường hợp 1)



Hình 4-16: Đường cong thiệt hại cho khu vực thành phố Hà Nội.

Bảng 4-15: Tổng hợp độ sâu ngập lụt cho 3 trường hợp

Quận/Huyện	**Diện tích** (km^2)	**Diện tích ngập lụt** (km^2)	**Độ sâu ngập lụt trung bình** (m)		
			TH1	**TH2**	**TH3**
Ba Đình	9,3	9,11	2,85	2,65	0,75
Hoàn Kiếm	5,3	4,96	3,15	3,15	2,80
Đống Đa	10,2	9,13	2,25	2,50	2,25
Thanh Xuân	9,1	8.28	1,85	2,25	2,25
Cầu Giấy	12,0	11,86	2,20	2,80	1,00
Hai Bà Trưng	9,6	5,75	1,80	1,20	2,50
Tây Hồ	24,0	23,50	2,54	3,20	1,20
Hoàng Mai	40,2	11,16	0,80	0,80	2,20
Từ Liêm	32,27	31,56	2,71	2,71	0,35

Giá trị thiệt hại trung bình theo các kịch bản mô phỏng đã được xác định và được trình bày tại bảng sau đây:

Bảng 4-16: Giá trị thiệt hại trung bình theo các kịch bản mô phỏng ngập lụt

Quận/Huyện	**Độ sâu ngập trung bình (m)**	**Diện tích ngập** (km^2)	**Thiệt hại** (triệu USD)		
			TH1	**TH2**	**TH3**
Ba Đình	2,85	9,11	45,06	9,31	33,34
Hoàn Kiếm	3,15	4,65	25,75	19,81	19,81
Đống Đa	2,25	8,25	113,64	135,64	135,64
Thanh Xuân	1,85	8,67	34,98	23,21	23,21
Cầu Giấy	2,20	7,85	46,27	18,07	45,57
Hai Bà Trưng	1,80	8,75	114,29	125,06	82,43
Tây Hồ	2,54	8,55	407,35	148,54	374,36
Hoàng Mai	0,80	34,16	321,94	448,16	203,31
Từ Liêm	2,71	4,56	546,91	78,36	502,62
Tổng cộng		55,24	1.656,19	1.006,16	1.420,30

4.2.3.2. Xây dựng đường cong đầu tư nâng cấp hệ thống đê

Cách tiếp cận tối ưu trong xác định tiêu chuẩn an toàn theo quan điểm kinh tế trình bày trong Mục 3.6.2 được áp dụng để tính toán độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê HT1 (đê Hữu Hồng). Hệ số chi phí để nâng cấp của đê Hữu Hồng được tổng kết lại trong Bảng 4-17. Để đơn giản hóa trong việc tính toán, việc xác định hệ số chi phí của đường cong đầu tư được thực hiện cho 1km đê, sau đó điều chỉnh theo chiều dài tuyến đê.

Từ quan hệ giữa tần suất đảm bảo phòng lũ với cao trình đỉnh đê và chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê ta xác định được quan hệ giữa tần suất đảm bảo phòng lũ với chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê. Kết quả tính toán chi phí đầu tư nâng cấp tuyến đê và tổng hợp chi phí đầu tư nâng cấp toàn bộ hệ thống đê ứng với mỗi tần suất đảm bảo phòng lũ được thể hiện trong Bảng 4-18.

Bảng 4-17: Hệ số chi phí nâng cấp của đê Hữu Hồng, Hà Nội

Hạng mục nâng cấp	**Hệ số**	**Đơn vị**	**Chi phí**
Thân đê	C_1	10^9đ/m^2/km	1,86
Gia cố mái ngoài	C_2	10^9đ/m/km	2,65
Gia cố mái trong	C_3	10^9đ/m/km	0,99
Sử dụng mặt bằng	C_4	10^9đ/m/km	6,06
Bảo vệ đỉnh đê	C_5	10^9đ/km	5,92

Bảng 4-18: Tần suất đảm bảo và chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê Hữu Hồng

Tần suất	**Cao trình đỉnh đê**		**Chiều dài đê**	**Các thông số đê nâng cấp**				**Chi phí nâng cấp**
P_f (%)	Nâng cấp (m)	Gia tăng (m)	L (km)	A (m^2)	L_1 (m)	L_2 (m)	W (m)	$I_{\Delta H}$ (tỉ đồng)
2	13		100	14,45	15	1,28	1,75	4.798,88
1	13,25	0,25		38,03	16,21	3,31	3,25	6.584,39
0.6	13,65	0,65		61,61	17,42	5,34	4,75	8. 369,90
0.4	13,95	0,95		85,19	18,63	7,37	6,25	10.155,41
0.2	14,28	1,28		108,77	19,84	9,4	7,75	11.940,92
0.1	14,6	1,6		132,35	21,05	11,43	9,25	13.726,43
0.05	14,93	1,93		155,93	22,26	13,46	10,75	15.511,94
0.02	15,25	2,25		179,51	23,47	15,49	12,25	17.297,45
0.01	15,58	2,58		203,09	24,68	17,52	13,75	19.082,96

4.2.3.3. Xác định chi phí quản lý vận hành PV(M):

Theo số liệu của Chi cục đê điều Hà Nội thì chi phí quản lý vận hành hàng năm của tuyến kè Phú Đa vào khoảng 2% tổng chi phí đầu tư. Do đó xác định được chi phí quản lý vận hành hàng năm tăng thêm và kết quả được trình bày trong Bảng 4-19. Trong đó, tổng chi phí đầu tư của hệ thống I_{Pf} bằng tổng chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê $I_{\Delta H}$ và chi phí quản lý vận hành $PV(M)$. Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 4-19.

Bảng 4-19: Chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê IΔH và chi phí quản lý vận hành PV(M) cho đê Hữu Hồng, Hà Nội

Tuổi thọ CT (năm)	**Tần suất thiết kế** P_f	**Chi phí nâng cấp đê** $I_{\Delta H}$ (tỉ đồng)	**Chi phí QLVH hàng năm** $PV(M)$ (tỉ đồng)	**Tổng chi phí đầu tư** I_{pf} (tỉ đồng)
10	0,100000	3.850	639	4.489,45
50	0,020000	4.358	724	5.081,88
100	0,010000	4.799	797	5.595,92
250	0,004000	6.036	1.003	7.038,52
500	0,002000	7.182	1.193	8.374,53
750	0,001333	8.465	1.406	9.870,41
1000	0,001000	10.570	1.756	12.325,50
1250	0,000800	11.898	1.976	13.874,67
1500	0,000667	13.227	2.197	15.423,84
2000	0,000500	14.555	2.418	16.973,01
3000	0,000333	15.884	2.638	18.522,18

4.2.3.4. Xác định tổng giá trị thiệt hại khả dĩ và rủi ro tiềm tàng

Kết quả xác định tổng giá trị thiệt hại khả dĩ do lũ lụt theo các kịch bản mô phỏng ngập lụt cho Hà Nội (theo đơn vị hành chính) được thống kê và trình bày trong Phụ lục 3. Tổng giá trị thiệt hại khả dĩ khi ngập lụt xảy ra cho HT1 là $E(D)$ = 89.818 tỉ đồng.

Giá trị rủi ro tiềm tàng cho các trường hợp mức đảm bảo an toàn khác nhau được xác định theo công thức (3-61) và cho kết quả được trình bày trong Bảng 4-20.

Bảng 4-20: Giá trị rủi ro tiềm tàng do ngập lụt của HT1

Chu kỳ xuất hiện (năm)	**Tần suất thiết kế** P_f	**Chi phí rủi ro** R_{Pf} (tỉ đồng)	
		KB1	**KB2**
10	0,100000	74.577,7	149.155,4
50	0,020000	14.915,5	29.831,1
100	0,010000	7.457,8	14.915,5
250	0,004000	2.983,1	5.966,2
500	0,002000	1.491,6	2.983,1
750	0,001333	994,4	1.988,7
1000	0,001000	745,8	1.491,6
1250	0,000800	596,6	1.193,2
1500	0,000667	497,2	994,4
2000	0,000500	372,9	745,8
3000	0,000333	248,6	497,2

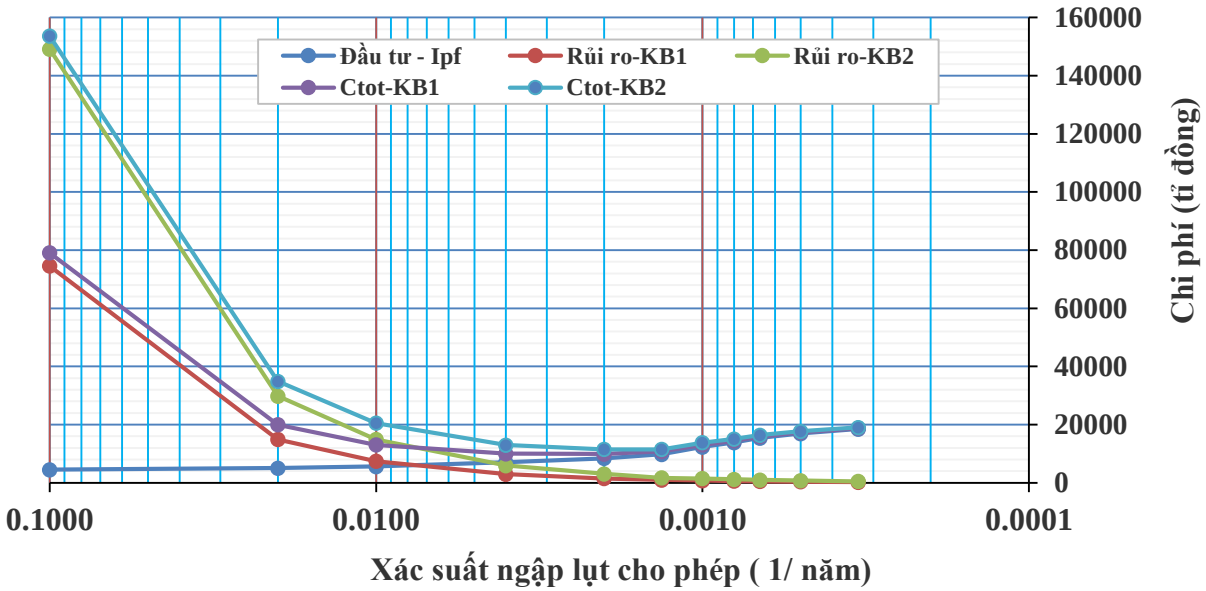
4.2.3.5. Xác định độ tin cây yêu cầu

Tần suất đảm bảo phòng lũ, tổng chi phí đầu tư, chi phí rủi ro và tổng chi phí của hệ thống HT1 đã được xác định và trình bày trong Bảng 4-21.

Bảng 4-21: Tần suất đảm bảo phòng lũ, tổng chi phí đầu tư, chi phí rủi ro và tổng chi phí của hệ thống HT1.

Chu kỳ xuất hiện lại (năm)	**Tần suất** P_f	**Tổng chi phí đầu tư** I_{pf} (tỉ đồng)	**Rủi ro** (tỉ đồng)		**Tổng chi phí hệ thống** (tỉ đồng)	
			R_{Pf} -KB1	R_{Pf} -KB2	C_{tot}-KB1	C_{tot}-KB2
10	0,100000	4.489	74.578	149.155	79.067	153.645
50	0,020000	5.082	14.916	29.831	19.997	34.913
100	0,010000	5.596	7.458	14.916	13.054	20.511
250	0,004000	7.039	2.983	5.966	10.022	13.005
500	0,002000	8.445	1.492	3.083	9.936	11.528
750	0,001333	9.780	994	1.729	10.775	11.509
1000	0,001000	12.325	746	1.492	13.071	13.817
1250	0,000800	13.875	597	1.193	14.471	15.068
1500	0,000667	15.424	497	994	15.921	16.418
2000	0,000500	16.973	373	746	17.346	17.719
3000	0,000333	18.522	249	497	18.771	19.019

Dựa vào kết quả tổng hợp trong Bảng 4-21, tác giả tiến hành xây dựng các đường cong quan hệ giữa tổng chi phí nâng cấp đê (I_{Pf}), rủi ro (R_{Pf}) và tổng chi phí hệ thống (C_{tot}) theo hai kịch bản phân tích (KB1 & KB2). Kết quả được trình bày trong Hình 4 -17.



Hình 4-17: Quan hệ giữa tần suất đảm bảo phòng lũ, tổng chi phí đầu tư, chi phí rủi ro và tổng chi phí của hệ thống HT1 (Hữu Hồng, Hà Nội).

Từ kết quả trình bày trong Hình 4-17, ta thấy vùng bảo vệ nội thành Hà Nội có tiêu chuẩn an toàn phòng lũ tối ưu theo quan điểm kinh tế nằm trong khoảng từ 1/500 năm đến 1/750 tương ứng lần lượt với kịch bản KB1 và KB2. Hiện tại đê Hữu Hồng, Hà Nội đang được thiết kế với độ tin cậy yêu cầu là β = 2,88 tương ứng với mức đảm bảo an toàn chống lũ 1/500 năm. Như vậy, tiêu chuẩn an toàn hiện hành đáp ứng đủ an toàn cho vùng nghiên cứu. Xem xét độ dốc của đường cong đầu tư (I_{Pf}) và đường cong tổng chi phí hệ thống (C_{tot}) trong Hình 4-17, Hà Nội nên đầu tư để hệ thống đê Hữu Hồng đạt được độ tin cậy yêu cầu β = 3,00 ứng với mức đảm bảo chống lũ là 1/750 năm. Điều này hoàn toàn phù hợp khi xem xét đến sự biến đổi gia tăng của các yếu tố điều kiện biên dưới tác động của BĐKH và sự gia tăng tài sản cần bảo vệ do quá trình phát triển kinh tế xã hội trong tương lai.

4.3. Xác định chỉ số an toàn và độ tin cậy yêu cầu của hệ thống đê Giao Thủy, Nam Định (HT2)

4.3.1. Mô tả hệ thống đê Giao Thủy, Nam Định

Giao Thuỷ là một huyện ven biển của tỉnh Nam Định, nằm ở rìa đồng bằng châu thổ sông Hồng và cách thành phố Nam Định khoảng 45 km về phía Nam. Hệ thống đê phòng chống lũ huyện Giao Thủy gồm có hơn 31km đê biển từ K0+000 đến K31+161 và gần 30 km đê sông (trong đó đoạn đê Hữu Hồng dài 11,7km có vị trí từ K208+000 đến K219+702, xem Hình 4-18).

Các tuyến đê và kè biển huyện Giao Thuỷ được xây dựng cách đây đã rất lâu (khoảng 250 năm) và được xây dựng trên nền đất yếu, đó là đất bồi tụ phù sa của hệ thống sông Hồng. Tuyến đê chạy dài từ cửa sông Hồng ở phía Bắc (đầu tuyến) đến sông Sò (Cửa sông Hà Lạn) ở phía Nam (cuối tuyến) trên địa hình phức tạp có điều kiện địa hình và địa chất thay đổi thường xuyên. Do chịu ảnh hưởng trực tiếp của thuỷ triều và gió bão từ biển Đông kết hợp dòng chảy lũ đổ vào biển Đông của các sông ngòi nội địa, cho nên những năm qua tuyến bờ biển huyện Giao Thuỷ có diễn biến phức tạp. Đặc biệt tại đoạn giữa tuyến đê trực diện với biển, tình trạng biển tiến và biển thoái đã gây xói lở nghiêm trọng ảnh hưởng tới tuyến đê.

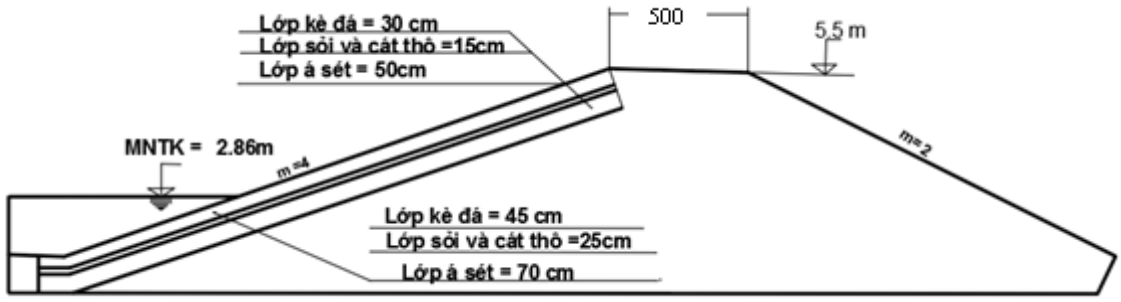
Hình 4-18: Bản đồ tổng thể hệ thống đê bảo vệ huyện Giao Thủy, Nam Định (Sở NN&PTNT Nam Định, 2015)

Thêm vào nữa, nhiều đoạn đê có chất lượng đất đắp thân đê và nền đê rất kém, chủ yếu là đất cát và đất cát pha, do đó dễ bị sạt lở khi chịu tác động của mưa và sóng. Tại những vị trí xung yếu của đoạn đê trực diện với biển, tuy đã được kè lát mái bảo vệ nhưng vẫn thường xuyên bị phá hoại do kết cấu mái kè và chân kè được làm bằng các cấu kiện chưa hợp lý (ví dụ như kè và phần mái kè làm bằng đá hộc lát khan). Hầu hết các loại cống này đã bị hư hỏng và xuống cấp nhiều, do đó không đáp ứng được yêu cầu phòng chống

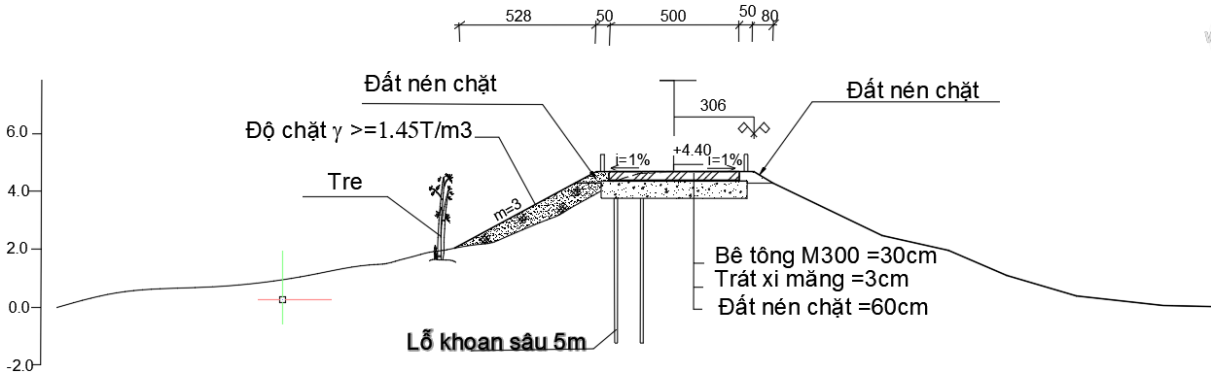
lụt bão hiện nay. Mặt cắt ngang đại diện cho đê biển và đê sông Hữu Hồng tại Giao Thủy được thể hiện trong Hình 4-19 và Hình 4-20.

Mặc dù đê hiện tại được xây dựng và nâng cấp qua các thời kỳ nhằm đạt tiêu chuẩn an toàn phòng lũ ở tần suất P_f = 1/50, nhưng qua thực tế cho thấy sự cố vẫn thường xuyên xảy ra tại các vị trí xung yếu dọc theo các tuyến đê sông và đê biển.

Phần này tập trung phân tích độ tin cậy của hệ thống đê hiện tại và mức đảm bảo phòng lũ của hệ thống đê bảo vệ khu vực ven biển huyện Giao Thủy – Nam Định nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quy hoạch nâng cấp đê và đảm bảo tiêu chuẩn an toàn trong tình hình hiện nay khi có xét đến ảnh hưởng của BĐKH và phát triển kinh tế trong tương lai.



Hình 4-19: Mặt cắt ngang đại diện đê biển Giao Thủy (nguồn: Sở NN&PTNT Nam Định, 2017).



Hình 4-20: Mặt cắt ngang đại diện đê Hữu Hồng tại Giao Thủy (nguồn: Sở NN&PTNT Nam Định, 2017)

4.3.2. Xác định chỉ số an toàn hệ thống đê Giao Thủy

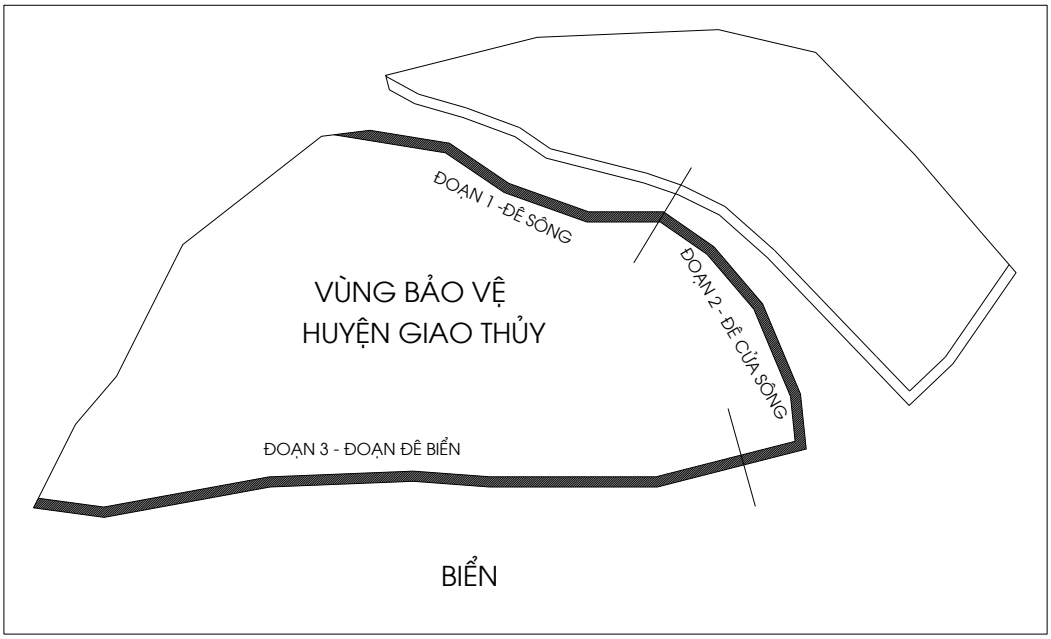
4.3.2.1. Thiết lập sơ đồ cây sự cố hệ thống đê

Khu vực ven biển huyện Giao Thủy chịu tác động đồng thời của dòng chảy sông và các yếu tố bất lợi từ biển. Hệ thống đê bảo vệ vùng này dưới dạng "vòng đê" bao gồm các đoạn đê sông kết hợp với đê biển khép kín có nhiệm vụ quan trọng trong việc đảm bảo an toàn lũ để bảo vệ cho vùng dân cư.

Để có thể đánh giá an toàn hệ thống đê của huyện Giao Thủy – Nam Định cần thông qua việc xác định xác suất hư hỏng của từng thành phần hệ thống, của toàn hệ thống và xác suất xảy ra ngập lụt cho vùng bảo vệ. Việc đầu tiên để đánh giá an toàn hệ thống trước hết ta phải sơ đồ hóa hệ thống, xác định các cơ chế ảnh hưởng đến hệ thống. Đối với hệ thống phòng chống lũ huyện Giao Thủy, các thành phần ảnh hưởng lớn đến an toàn hệ thống phòng chống lũ được mô tả trong Hình 4-21. Ảnh hưởng của tuyến đê sông bao quanh phía Tây huyện Giao Thủy (dọc quanh sông Sò) đã được lược bỏ trong nghiên cứu này do lưu lượng sông chảy qua sông Sò là nhỏ ngay cả trong mùa lũ.

Hệ thống công trình bảo vệ bờ và phòng chống lũ huyện Giao Thủy bao gồm các thành phần:

- Tuyến đê biển;
- Tuyến đê sông và vùng cửa sông;
- Kè bảo vệ bờ biển;
- Tường biển và các công trình qua đê như cống tiêu, trạm bơm…

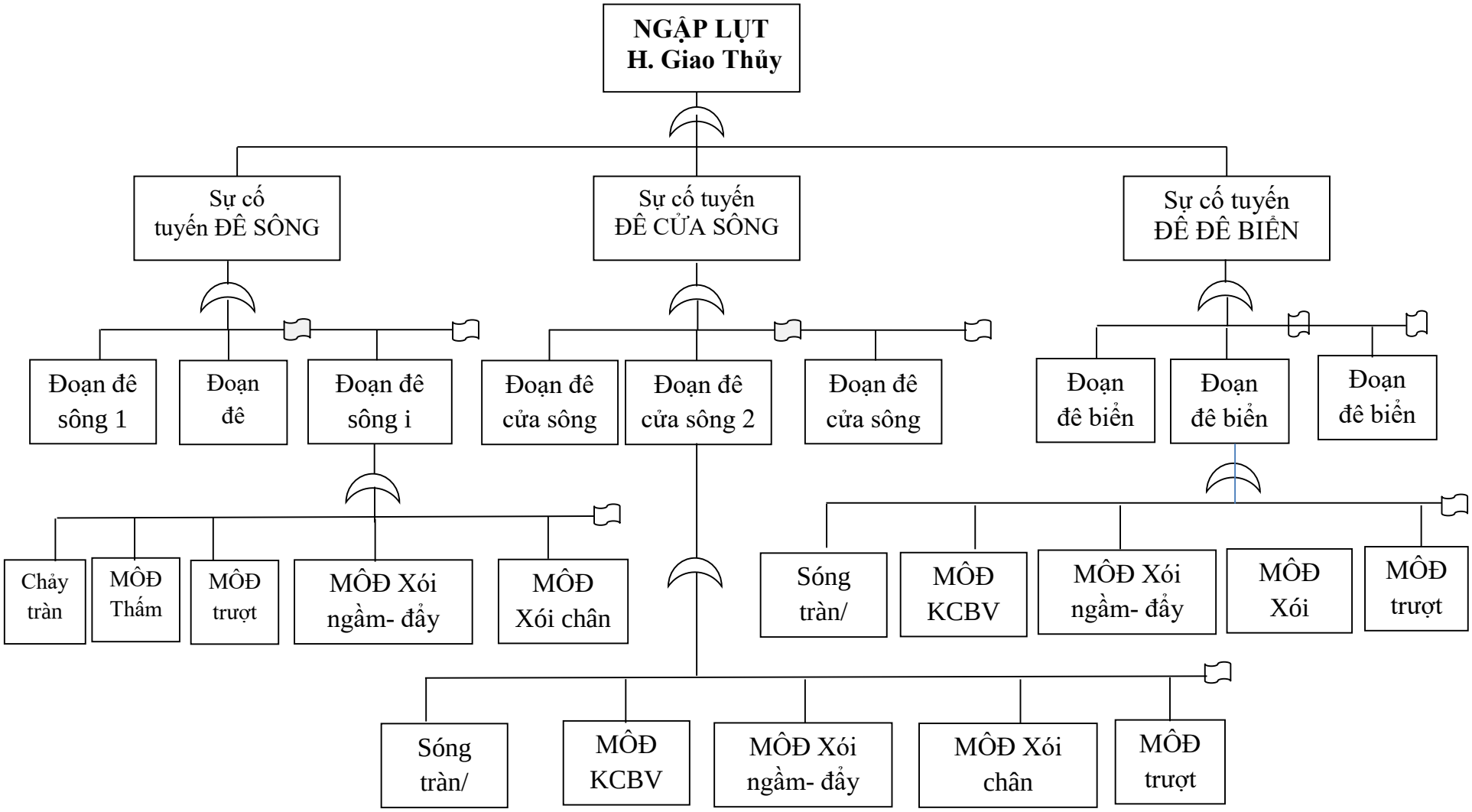


Hình 4-21: Sơ họa hệ thống đê phòng chống lũ huyện Giao Thủy – Nam Định

Khu vực huyện Giao Thủy, Nam Định là khu vực cửa sông ven biển điển hình, trong đó vùng bảo vệ được bao quanh bởi cả ba loại đê điển hình là đê sông, đê cửa sông và đê biển. Cũng do tính đặc thù của khu vực nghiên cứu như vậy, có thể chia vòng đê bảo vệ thành ba phân đoạn chính có tính chất riêng biệt (Hình 4-21). Các thành phần này hợp thành hệ thống khép kín để bảo vệ các vùng đất và khu dân cư sau nó. Mức độ an toàn bảo vệ phụ thuộc vào tiêu chuẩn an toàn khi thiết kế và xây dựng hệ thống này. Các cơ chế điển hình của từng loại đê được thể hiện trong Bảng 4-22. Sơ đồ cây sự cố được thiết lập như thể hiện trong Hình 4-22.

Bảng 4-22: Các cơ chế sự cố điển hình

Stt	Loại cơ chế	Đê sông	Đê cửa sông	Đê biển
1	Chảy tràn	X	X	X
2	Sóng tràn	-	X	X
3	Thấm	X	-	-
4	Xói ngầm – đẩy trồi	X	X	X
5	Mất ổn định trượt tổng thể	X	X	X
6	Mất ổn định kết cấu kè bảo vệ	-	X	X
7	Xói chân	X	X	X



Hình 4-22: Sơ đồ cây sự cố hệ thống đê bảo vệ huyện Giao Thủy

4.3.2.2. Xác định độ tin cậy và đánh giá an toàn

Phân tích độ tin cậy được thực hiện cho các cơ chế sự cố điển hình nêu tại Bảng 4-22 cho cả ba thành phần của hệ thống là tuyến đê sông, tuyến đê cửa sông và tuyến đê biển (tương tự như thực hiện cho HT1 tại Mục 4.2). Hàm tin cậy của các cơ chế sự cố được thiết lập theo lý thuyết nêu tại Mục 3.3. Mô tả thống kê các biến ngẫu nhiên liên quan được trình bày tại Phụ lục 2. Kết quả phân tích độ tin cậy của các cơ chế sự cố thuộc HT2 được trình bày tóm tắt tại Bảng 4-23 đến 4-25; Trong đó xác suất sự cố tổng hợp của từng thành phần công trình tại cuối mỗi bảng được xác định theo Phương pháp Monte Carlo phân tích sơ đồ cây sự cố cho hai trường hợp: không và có xem xét hiệu ứng chiều dài các tuyến đê.

Bảng 4-23: Độ tin cậy tuyến đê sông thuộc HT2

TT	Cơ chế sự cố	KB1		KB2	
		Xác suất	Độ tin cậy	Xác suất	Độ tin cậy
		$P(Z<0)$	β	$P(Z<0)$	β
1	Chảy tràn	0,0021	2,86	0,0048	2,59
2	Thấm	0,0022	2,85	0,0084	2,39
3	Xói ngầm – đẩy trồi	0,0015	2,97	0,0061	2,51
4	Mất ổn định trượt tổng thể	0,0003	3,43	0,0005	3,29
5	Xói chân	0,0062	2,5	0,0091	2,36
Tuyến đê	***Sự cố khi chưa kể hiệu ứng chiều dài***	***0,0074***	***2,44***	***0,0173***	***2,11***
	Sự cố khi kể đến hiệu ứng chiều dài	***0,0364***	***1,79***	***0,0837***	***1,38***

Từ kết quả tính toán trong Bảng 4-23 cho thấy tuyến đê sông tại Giao Thủy có xác suất sự cố tổng hợp là $P_{f\text{-sông}}$ = 0,0074 (~1/135) và có với độ tin cậy là β = 2,44 trong điều kiện hiện nay (KB1). Khi xem xét ảnh hưởng của BĐKH đến 2050 theo KB2, xác suất sự cố tổng hợp là $P_{f\text{-sông}}$ = 0,0173 (~1/57) và có độ tin cậy là β = 2,11. Tuyến đê này đã được thiết kế với tiêu chuẩn an toàn là $[P_f]$ = 1/50, như vậy, theo cả hai kịch bản tính

toán (KB1 và KB2) thì tuyến đê sông tại Giao Thủy đảm bảo an toàn theo quy định hiện hành.

Bảng 4-24: Độ tin cậy của tuyến đê cửa sông thuộc HT2

TT	Cơ chế sự cố	KB1		KB2	
		Xác suất	Độ tin cậy	Xác suất	Độ tin cậy
		$P(Z<0)$	β	$P(Z<0)$	β
1	Sóng tràn-chảy tràn	0,0011	3,05	0,0081	2,4
2	Mất ổn định kết cấu bảo vệ mái	0,0087	2,38	0,0098	2,33
3	Xói chân đê	2,50E-05	4,05	0,0014	2,99
4	Xói ngầm/ Đẩy trồi	3,90E-05	3,95	7,60E-05	3,79
5	Trượt mái đê phía đông	8,50E-05	3,76	1,00E-04	3,72
Tuyến đê	***Sự cố khi chưa kể hiệu ứng chiều dài***	0,01	2,33	0,0195	2,06
	Sự cố khi kể đến hiệu ứng chiều dài	0,0199	2,06	0,0386	1,77

Đối với tuyến đê cửa sông trong điều kiện hiện nay (KB1), xác suất sự cố tổng hợp là: $P_{f\text{-}cửa\ sông}$ = 0,01 (1/100) và độ tin cậy là β = 2,33 (xem Bảng 4-24). Theo kịch bản KB2, xác suất sự cố tổng hợp của đê cửa sông là $P_{f\text{-}cửa\ sông}$ = 0,0195 (~1/51) và có độ tin cậy là β = 2,06 (xem Bảng 4.24). Như vậy, theo cả hai kịch bản tính toán thì tuyến đê cửa sông đảm bảo an toàn theo quy định hiện hành.

Bảng 4-25: Kết quả phân tích độ tin cậy tuyến đê biển thuộc HT2

TT	Cơ chế sự cố	KB1		KB2	
		Xác suất	Độ tin cậy	Xác suất	Độ tin cậy
		$P(Z<0)$	β	$P(Z<0)$	β
1	Sóng tràn	0,0177	2,1	0,0188	2,08
2	Mất ổn định kết cấu bảo vệ mái	0,0143	2,19	0,0891	1,35
3	Xói chân đê	0,0036	2,69	0,0214	2,03
4	Xói ngầm/ Đẩy trồi	5,1E-05	3,88	9,3E-05	3,74
5	Trượt mái đê phía biển/ phía đông	8,2E-05	3,77	1,4E-04	3,63
Tuyến đê	***Sự cố khi chưa kể hiệu ứng chiều dài***	0,0214	2,02	0,0777	1,42
	Sự cố khi kể đến hiệu ứng chiều dài	0,063	1,53	0,1494	1,04

Đối với tuyến đê biển, xác suất sự cố tổng hợp là $P_{f\text{-}biển}$ = 0,0214 (~1/46) và có độ tin cậy là β = 2,02 trong điều kiện hiện tại (KB1); như vậy đê biển hiện tại chỉ đáp ứng được điều kiện an toàn theo tiêu chuẩn thiết kế cũ (trước năm 2012, tiêu chuẩn an toàn áp dụng cho đê biển Nam Định là 1/25), nhưng không đảm bảo an toàn theo quy định hiện hành là 1/50. Kết quả tính toán theo kịch bản KB2 cho đê biển Giao Thủy thì xác suất sự cố tổng hợp là $P_{f\text{-}biển}$ = 0,0777 (~1/13) và độ tin cậy là β = 2,42 cho thấy nếu kể đến ảnh hưởng của BĐKH đến năm 2050 tuyến đê biển sẽ không đảm bảo an toàn theo quy định hiện hành.

Độ tin cậy của toàn bộ hệ thống đê bảo vệ huyện Giao Thủy được xác định thông qua tổ hợp xác suất sự cố của ba thành phần hệ thống con (đê sông, đê cửa sông và đê biển). Kết quả phân tích và tính toán được tóm tắt trong Bảng 4-26.

Theo kết quả trong Bảng 4-26 thì hệ thống đê bảo vệ vùng ven biển huyện Giao Thủy có xác suất xảy ra sự cố hệ thống khá cao và không đảm bảo an toàn theo yêu cầu an toàn. Theo đó, xác suất sự cố $P_{f\text{-}HT}$ = 0,0349 (1/28,6) theo KB1 và $P_{f\text{-}HT}$ = 0,1031 (1/9,7) theo KB2 mặc dù hệ thống đê được thiết kế với tiêu chuẩn an toàn là 1/50 (tương ứng với xác suất sự cố cho phép là $[P_f]$ = 0,02). Điều này cho thấy rằng, mặc dù từng thành phần con thuộc hệ thống có thể đảm bảo an toàn, nhưng tổng thể thì hệ thống không đảm bảo. Qua nghiên cứu này cho thấy thành phần đê biển là nguyên nhân chính gây nên mất an toàn hệ thống đê Giao Thủy.

Cũng từ kết quả phân tích độ tin cậy của các cơ chế cho thấy cơ chế sự cố do chảy tràn – sóng tràn có nguy cơ xảy ra cao nhất đối với cả 3 tuyến đê. Ngoài ra, tuyến đê sông có nguy cơ gặp sự cố do hiện tượng thấm và xói ngầm và đê cửa sông và đê biển có nguy cơ gặp sự cố do mất ổn định kết cấu bảo vệ mái và xói chân đê phía biển. Cơ chế sự cố trượt mái đê phía đồng có xác suất xảy ra rất thấp.

Bảng 4-26: Tổng hợp xác suất sự cố của hệ thống đê HT2 bảo vệ Giao Thủy, Nam Định

Thành phần công trình - Hệ thống con	KB1			KB2		
	Xác suất	Chu kỳ lặp (năm)	Độ tin cậy	Xác suất	Chu kỳ lặp (năm)	Độ tin cậy
	$P(Z<0)$	$T = 1/P$	β	$P(Z<0)$	$T = 1/P$	β
Tuyến đê sông	0,0074	135,5	2,44	0,0173	57,7	2,11
Tuyến đê cửa sông	0,01	99,9	2,33	0,0195	51,3	2,06
Tuyến đê biển	0,0214	46,6	2,02	0,0777	12,9	1,42
Không kể đến hiệu ứng chiều dài	***0,0349***	**28,6**	***1,81***	***0,1031***	**9,7**	***1,26***
Có kể đến hiệu ứng chiều dài	***0,1012***	**9,9**	***1,27***	***0,2785***	**3,6**	***0,59***

4.3.3. Xác định độ tin cậy yêu cầu hệ thống đê Giao Thủy theo rủi ro kinh tế

4.3.3.1. Xác định chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê biển $I_{\Delta H}$

Mặt cắt đại diện dùng để xác định chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê biển Giao Thủy – Nam Định hiện tại được mô tả như Hình 4-23. Chi phí đầu tư ($I_{\Delta H}$) để nâng cao đỉnh đê lên một đoạn ΔH cho 1 km chiều dài đê được xác định theo:

$$I_{\Delta H} = C_1 A + C_2 L_1 + C_3 L_2 + C_4 W + C_5 \quad (4\text{-}4)$$

Trong đó:

+ C_1 – Chi phí đầu tư xây dựng cho 1 m^2 mặt cắt đê trên 1 km dài đê;

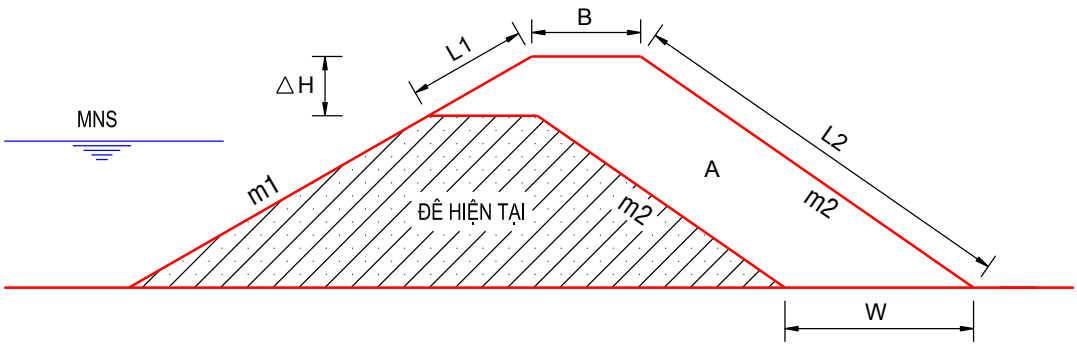
+ C_2 – Chi phí đầu tư xây dựng cho 1 m bảo vệ mái ngoài đê trên 1 km dài đê;

+ C_3 – Chi phí đầu tư xây dựng cho 1 m bảo vệ mái trong đê trên 1 km dài đê;

+ C_4 – Chi phí sử dụng đất cho 1 m mặt bằng chân đê trên 1 km dài đê;

+ C_5 – Chi phí đầu tư xây dựng cho kết cấu bảo vệ đỉnh đê trên 1 km dài đê;

Trên cơ sở các tài liệu thiết kế và báo cáo chi phí nâng cấp đê biển Giao Thủy - Nam Định, các hệ số chi phí C_1, C_2, …, C_5 được xác định và kết quả được trình bày trong Bảng 4-27.



Hình 4-23: Mặt cắt đại diện đê hiện tại và khi nâng cấp.

Bảng 4-27: Hệ số chi phí nâng cấp của đê biển Giao Thủy

Hạng mục nâng cấp	**Hệ số**	**Đơn vị**	**Chi phí**
Thân đê	C1	tỉ đồng/m^2/km	0,211
Gia cố mái ngoài	C2	tỉ đồng/m/km	0,933
Gia cố mái trong	C3	tỉ đồng/m/km	0,053
Sử dụng mặt bằng	C4	tỉ đồng/m/km	0,453
Bảo vệ đỉnh đê	C5	tỉ đồng/km	12,100

Để đơn giản hóa trong việc tính toán, coi toàn bộ tuyến đê biển cần nâng cấp có mặt cắt ban đầu là giống nhau. Kết quả tính toán cao trình đỉnh đê biển Giao Thủy – Nam Định theo tần suất đảm bảo phòng lũ được trình bày tại Phụ lục 1. Bảng 4-28 thể hiện tần suất đảm bảo phòng lũ và chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê Giao Thủy.

Bảng 4-28: Tần suất đảm bảo phòng lũ và chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê.

Tần suất TK	**Các thông số đê nâng cấp**				**Chi phí nâng cấp**
P_f	A	L_1	L_2	W	$I_{\Delta H}$
(%)	(m2)	(m)	(m)	(m)	(tỉ đồng)
10					
5	4,6	0,5	12,6	0,7	74,8
3	15,5	1,6	13,2	2,3	202,4
2	34,6	3,5	14,2	5,1	422,4
1	91,6	8,4	17	12,3	1.047,2
0,8	110	9,8	17,8	14,4	1.243,0
0,67	147,9	12,6	19,3	18,5	1.634,6
0,5	178,6	14,8	20,5	21,7	1.944,8

Tần suất TK	Các thông số đê nâng cấp				Chi phí nâng cấp
P_f	A	L_1	L_2	W	$I_{\Delta H}$
0,2	260	19,9	23,4	29,6	2.747,8
0,1	355,8	25,3	26,4	37,2	3.647,6

4.3.3.2. Xác định chi phí quản lý vận hành PV(M)

Theo số liệu của Chi cục Thủy lợi tỉnh Nam Định thì chi phí quản lý vận hành trung bình hàng năm của hệ thống đê Giao Thủy – Nam Định vào khoảng 2% tổng chi phí đầu tư. Do đó chi phí quản lý vận hành hàng năm tăng thêm được xác định và kết quả được trình bày trong Bảng 4-29.

Bảng 4-29: Chi phí quản lý vận hành tăng thêm theo tần suất thiết kế của HT2

Chu kỳ xuất hiện	Tần suất thiết kế	Chi phí nâng cấp đê	Chi phí QLVH hàng năm	Chi phí QLVH hàng năm quy về hiện tại
T (năm)	P_f (%)	$I_{\Delta H}$ (Tỉ đồng)	M (Tỉ đồng)	$PV(M)$ (Tỉ đồng)
20	5	74,80	2,20	20,46
33	3	202,40	3,96	54,34
50	2	422,40	8,36	114,84
100	1	1.047,20	20,90	287,10
125	0,8	1.243,00	24,86	341,66
150	0,67	1.634,60	32,78	450,34
200	0,5	1.944,80	38,94	535,04
500	0,2	2.747,80	55,00	755,70
1.000	0,1	3.647,60	73,04	1.003,64

4.3.3.3. Tổng chi phí đầu tư I_{Pf}

Tổng chi phí đầu tư của hệ thống (I_{Pf}) bằng tổng chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê ($I_{\Delta H}$) và chi phí quản lý vận hành $PV(M)$. Kết quả tính toán xác định tổng chi phí đầu tư cho hệ thống đê Giao Thủy, Nam Định được trình bày trong Bảng 4-30.

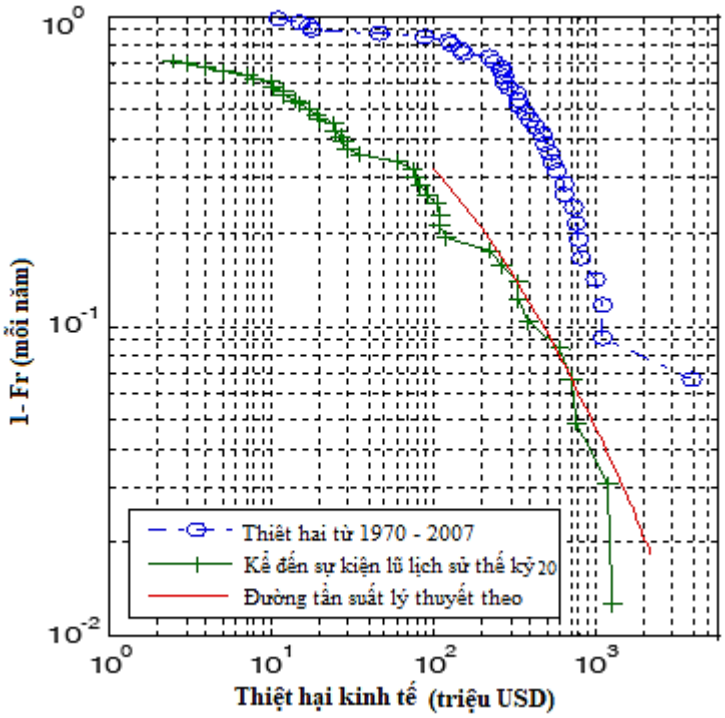
Bảng 4-30: Chi phí đầu tư nâng cấp hệ thống đê IΔH và Chi phí quản lý vận hành PV(M) cho hệ thống đê Giao Thủy – Nam Định (HT2)

Chu kỳ xuất hiện	**Tần suất thiết kế**	**Chi phí nâng cấp đê**	**Chi phí QLVH hàng năm**	**Tổng chi phí đầu tư**
T (năm)	P_f (%)	$I_{\Delta H}$ (Tỉ đồng)	$PV(M)$ (Tỉ đồng)	I_{pf} (Tỉ đồng)
20	5	74,8	20,5	95,0
33	3	202,4	54,3	255,6
50	2	422,4	114,8	537,7
100	1	1.047,2	287,1	1.335,4
125	0,8	1.243,0	341,7	1.584,2
150	0,67	1.634,6	450,3	2.084,9
200	0,5	1.944,8	535,0	2.479,4
500	0,2	2.747,8	755,7	3.502,4
1.000	0,1	3.647,6	1.003,6	4.650,4

*4.3.3.4. Ước lượng thiệt hại kinh tế khi có lũ xảy ra PV(P_f*D)*

Tại vùng Giao Thủy, Nam Định hiện chưa có nghiên cứu nào đưa ra đường cong thiệt hại (kinh tế) phụ thuộc vào độ sâu ngập lụt. Trong luận án này sử dụng phương pháp thống kê và phân tích số liệu thiệt hại do các trận lũ lụt và vỡ đê lịch sử xảy ra tại các vùng ven biển Việt Nam nói chung và vùng biển Nam Định nói riêng để xác định giá trị thiệt hại khả dĩ cho khu vực nghiên cứu.

Để ước lượng thiệt hại về kinh tế khi có lũ xảy ra, tác giả sử dụng đường cong thiệt hại đã được thiết lập với các dữ liệu thiệt hại trong lịch sử Việt Nam thống kê từ năm 1930 (ADCP, 2005). Dựa trên bộ số liệu lịch sử và sử dụng công cụ phân tích thống kê là phần mềm BESTFIT thấy rằng hàm phân phối Chuẩn-Thường (Lognormal) phù hợp nhất để mô tả thống kê số liệu. Các tham số thống kê được xác định là kỳ vọng toán $E(D)$ = 24.415,6 (tỉ đồng) và độ lệch σ = 6.809,0 (tỉ đồng). Trên cơ sở kết quả này, đường tần suất thiệt hại FD-Curve được xây dựng như trình bày trên Hình 4-24. Dựa trên đường tần suất thiệt hại FD, các giá trị đặc trưng của khả năng thiệt hại xảy ra do lũ lụt đối với vùng biển Nam Định được ước tính.



Hình 4-24: Đường cong thiệt hại được thiết lập với các dữ kiệt thiệt hại trong lịch sử Việt Nam

Ngoài ra, để kể đến tính ngẫu nhiên của điều kiện biên phía biển, các biến động kinh tế vùng bảo vệ trong toàn bộ thời kỳ xem xét theo KB1 và KB2, giá trị trung bình thống kê $E(D)$ được tính như sau [53]:

$$E(D)_i = E(D)_0 + \sigma * k \quad (4\text{-}5)$$

Trong đó:

$E(D)_0$ – Giá trị trung bình thiệt hại được xác định bằng số liệu thống kê.

$E(D)_i$ – Giá trị trung bình thiệt hại khi kể đến tính không chắc chắn của các yếu tố ngẫu nhiên;

σ – Sai số quân phương xác định dựa theo số liệu thống kế lịch sử;

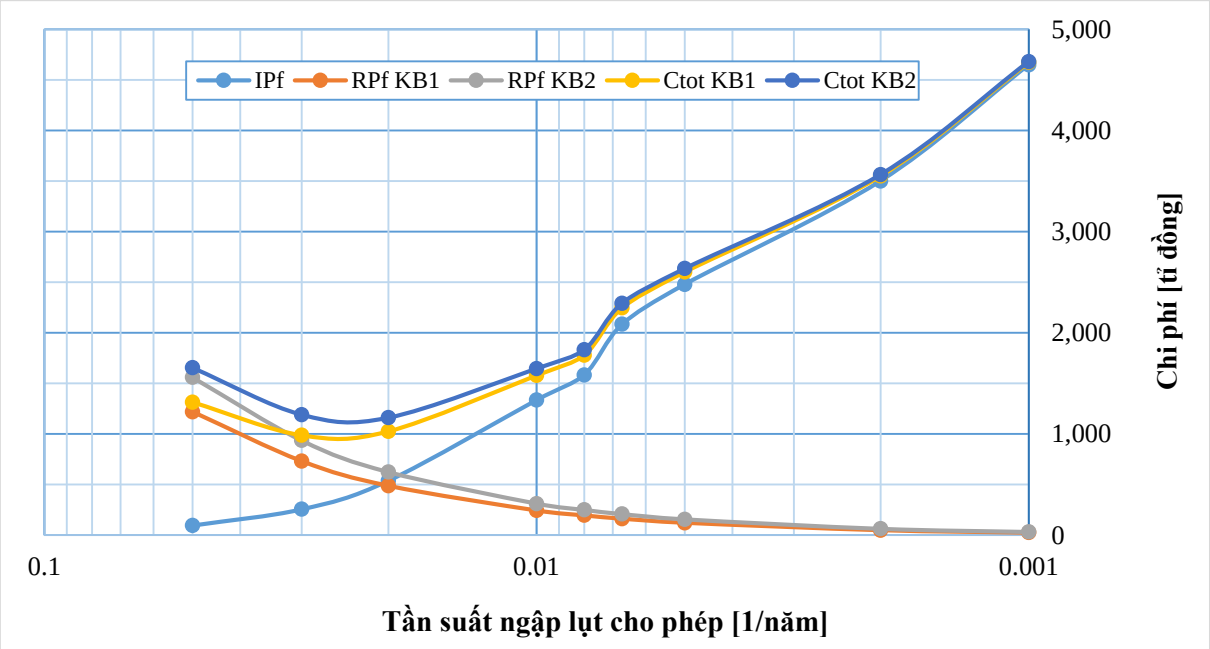
k – Hệ số kể đến tính không chắc chắn của các yếu tố ngẫu nhiên, k = 0, 1, 2, 3;

Phân tích cho hai kịch bản trong nghiên cứu này (kịch bản KB1 & KB2), chọn k = 0 cho trường hợp KB1 (hiên trạng) và k = 1 cho KB2 khi xem xét đến sự gia tăng giá trị của vùng được bảo vệ trong tương lai, ước tính đến năm 2050. Xác định đường tần suất thiệt hại kinh tế khả dĩ xảy ra do bão lũ. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 4-31 và

Hình 4-25. Biểu đồ quan hệ giữa tần suất đảm bảo phòng lũ, tổng chi phí đầu tư, chi phí rủi ro và tổng chi phí của hệ thống được thể hiện trong Hình 4-25.

Bảng 4-31: Tần suất đảm bảo, tổng chi phí đầu tư, rủi ro và tổng chi phí của hệ thống đê HT2.

Chu kỳ lặp lại (năm)	Tần suất 1/năm P_f	Tổng chi phí đầu tư (Tỉ đồng) I_{Pf}	Rủi ro (Tỉ đồng) R_{Pf}		Tổng chi phí của hệ thống (Tỉ đồng) C_{tot}	
			KB1	KB2	KB1	KB2
20	0,05	95,04	1.219,90	1.560,46	1.314,94	1.655,50
33,3	0,03	255,64	731,94	936,32	987,58	1.191,96
50	0,02	537,68	487,96	624,14	1.025,64	1.161,82
100	0,01	1.335,40	243,98	312,18	1.579,38	1.647,58
125	0,008	1.584,22	195,14	249,70	1.779,36	1.833,92
150	0,0067	2.084,94	162,58	208,12	2.247,52	2.293,06
200	0,005	2.479,40	122,10	155,98	2.601,50	2.635,38
500	0,002	3.502,40	48,84	62,48	3.551,24	3.564,88
1000	0,001	4.650,36	24,42	31,24	4.674,78	4.681,60



Hình 4-25: Quan hệ giữa tần suất đảm bảo phòng lũ Pf với Chi phí rủi ro kinh tế Rpf và Tổng chi phí nâng cấp của hệ thống Ctot cho hệ thống đê Giao Thủy – Nam Định

Kết quả phân tích nêu trên cho thấy vùng bảo vệ huyện Giao Thủy – Nam Định tiêu chuẩn an toàn phòng lũ tối ưu theo quan điểm kinh tế cho KB1 và KB2 nằm trong khoảng P_f =3%÷2%; tương ứng với độ tin cậy yêu cầu β = 1,89 đến 2,05.

4.5. Đề xuất giải pháp nâng cao an toàn và giảm thiểu rủi ro lũ lụt vùng nghiên cứu

Từ công thức định nghĩa rủi ro (1-1) để giảm rủi ro có thể thực hiện theo hai nhóm giải pháp: giảm Xác suất xảy ra ngập lụt hoặc giảm Hậu quả của ngập lụt;

Nhóm giải pháp 1 - Giảm Xác suất xảy ra ngập lụt:

Theo nhóm giải pháp này có thể thực hiện bằng các biện pháp công trình để nâng cao an toàn của các hệ thống phòng chống lũ lụt như gia tăng biên độ bền công trình. Nhóm giải pháp này còn được gọi là nhóm giải pháp chống lũ chủ động.

Nhóm giải pháp 2 - Giảm thiểu hậu quả thiệt hại bằng các biện pháp phi công trình như lập kế hoạch ứng phó khẩn cấp, cứu hộ, cứu nạn kịp thời; điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất, sử dụng không gian hợp lý như dự phòng các vùng đất trũng phát triển nông nghiệp một vụ dự phòng trữ nước trong mùa mưa, gia tăng các hồ điều hòa tại các khu vực thường xuyên chịu ngập lụt, tăng cường tính chính xác của hệ thống dự báo và cảnh bảo sớm; bảo hiểm lũ lụt…. Nhóm giải pháp này còn được gọi là nhóm giải pháp phòng tránh ngập lụt.

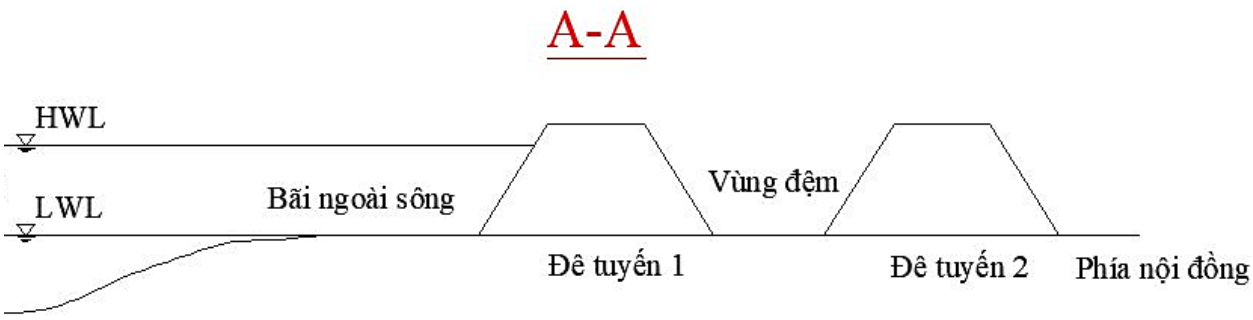
Theo nhóm giải pháp 1: các đề xuất cụ thể nâng cao an toàn hệ thống chống lũ như sau:

Đối với HT1:

- Gia tăng cao trình đỉnh đê chính để giảm xác suất xảy ra chảy tràn. Theo kết quả phân tích, gia tăng cao trình đỉnh lên 0,2 m thì xác xuất sự cố do chảy trản giảm đi xuống 10 lần.
- Tăng cường ổn định địa kỹ thuật thân đê và nền đê: Giảm xác suất sự cố các cơ chế như thấm, mất ổn định trượt mái, mạch đùn mạch sủi.

Đối với HT2:

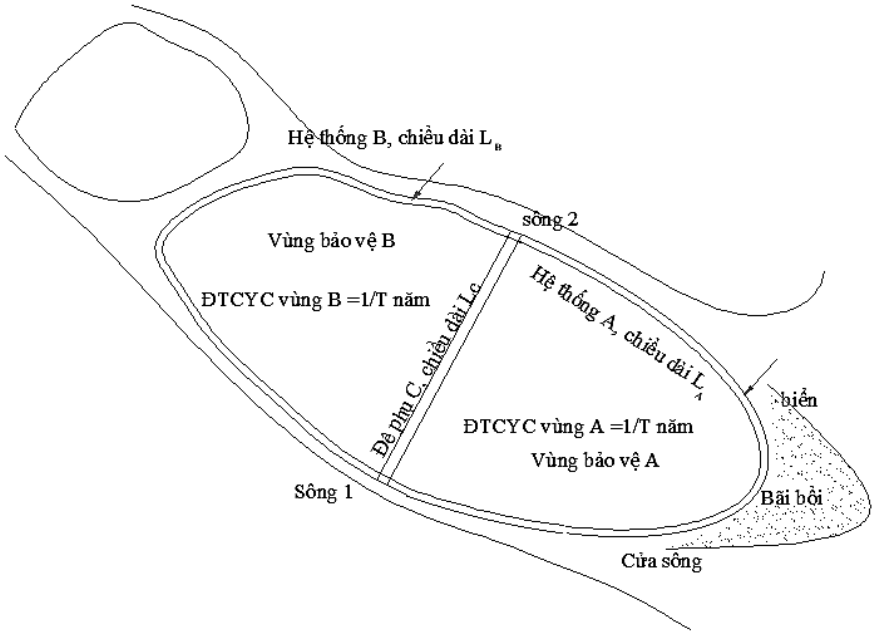
- Đê biển đang là thành phần chủ yếu giảm độ tin cậy hệ thống, vì vậy cần đầu tư nâng cấp toàn diện tuyến đê biển để đạt được độ an toàn yêu cầu;
- Ngoài ra, gia tăng cao trình đỉnh đê các tuyến đê sông và đắp bổ sung tầng phản áp phía chân mái hạ lưu đê sẽ làm gia tăng độ tin cậy đáng kể do giảm được xác suất sự cố của các cơ chế thấm cục bộ, xói ngầm- đẩy trồi.
- Sử dụng hệ thống đê 2 lớp để tạo thành hệ thống song song (Hình 4-29);



Hình 4-26: Xây dựng thêm tuyến đê dự phòngtạo thành hệ thống song song 2 lớp đê

Theo nhóm giải pháp 2:

Ngoài việc tăng cường công tác giảm thiểu hậu quả thiệt hại bằng các giải pháp quản lý, phi công trình, có thể xem xét giải pháp chia nhỏ vùng được bảo vệ bằng cách kết hợp nâng cấp các tuyến đường nội khu thành các tuyến đê phụ phân vùng có nguy có chịu ngập lụt. Từ đó có thể hạn chế phạm vị ngập lụt và tạo vùng tranh trú an toàn khi một trong các khu vực bị ngập lụt do vỡ đê. Nguyên lý bố trí giải pháp xem Hình 4-30. Hiệu quả trung bình của giải pháp này là có thể giảm được 50% rủi ro do vỡ đê.



Hình 4-27: Tạo tuyến đê phụ phân chia vùng có nguy cơ ngập lụt thành các vùng nhỏ hơn

4.6. Kết luận Chương 4

Bằng việc áp dụng các bài toán xây dựng được tại Chương 3 cho 02 hệ thống điển hình vùng ĐBSH luận án. Kết quả chính như sau:

1) Đối với hệ thống đê bảo vệ khu vực thành phố Hà Nội:

- ĐTCYC xác định cho thời kỳ hiện tại (tính đến 2015, KB1) xác định được là 1/500 năm. Kết quả này cho thấy khu vực Hà Nội có mức chấp nhận rủi ro ngập lụt rất thấp, do giá trị thiệt hại khi xảy ra ngập lụt rất lớn so với giá trị đầu tư nâng cấp hệ thống đê. Khi xét đến ảnh hưởng của BĐKH và phát triển kinh tế trong tương lai tính đến năm 2050 (KB2), giá trị ĐTCYC xác định được là 1/750 năm.

- Kết quả phân tích xác định chỉ số an toàn của hệ thống đê hiện tại cho thấy, tuyến đê đảm bảo điều kiện an toàn với điều kiện hiện tại; tuy nhiên khi xem xét ảnh hưởng của hiệu ứng chiều dài và BĐKH trong tương lai thì hệ thống đê chưa đảm bảo an toàn.

- Hà Nội là thành phố thủ đô và là nơi có tầm quan trọng cả về kinh tế và chính trị. Với mục tiêu phát triển để không những trở thành một đô thị đầu tàu của Việt Nam, mà còn là trung tâm kinh tế và văn hóa đạt tầm khu vực, việc lựa chọn độ tin cậy yêu cầu phòng chống lũ cao là cần thiết để tạo dựng hình ảnh một thành phố an toàn, thuận lợi cho đầu

tư và phát triển bền vững của thành phố Hà Nội. Vì vậy, việc quyết định lựa chọn giá trị độ tin cậy yêu cầu làm TCAT cho khu vực này thì cần thiết phải chọn về phía bên trái của điểm tối ưu trên đường cong tổng chi phí (Hình 4-17). Xét theo khía cạnh hiệu quả đầu tư thì điều này hoàn toàn hợp lý vì khi đó vốn đầu tư gia tăng không đáng kể (do độ dốc nhỏ của đường đầu tư) mà đạt được TCAT gia tăng đáng kể. Điều này cũng khẳng định rằng, việc lựa chọn TCAT là 1/500 năm như hiện nay cho hệ thống đê khu vực Hà Nội là lựa chọn hợp lý cho tình hình hiện tại.

2)Đối với hệ thống đê bảo vệ khu vực Giao Thủy- Nam Định:

- ĐTCYC xác định cho thời kỳ hiện tại (KB1) và tương lai (KB2) nằm trong khoảng từ 1/33 năm đến 1/50 năm. Kết quả phân tích cho thấy khu vực này có mức chấp nhận rủi ro ngập lụt khá cao, do giá trị thiệt hại do ngập lụt tương đối cân bằng so với giá trị đầu tư nâng cấp toàn bộ hệ thống đê. Do độ đường cong đầu tư và đường cong tổng chi phí có độ dốc tương đối lớn (so với độ dốc của các đường cong tương ứng tại trường hợp đê Hà Nội), việc lựa chọn TCAT cao hơn giá trị ĐTCYC là không hiệu qua khi xem xét yếu tố kinh tế- kỹ thuật.

- Kết quả phân tích xác định chỉ số an toàn của hệ thống đê hiện tại cho thấy, đối với trường hợp hiện này (KB1) tuyến đê sông và đê cửa sông đảm bảo tốt điều kiện an toàn, nhưng tuyến đê biển có nguy cơ mất an toàn cao hơn so với TCAT hiện tại. Tuy nhiên, khi xem xét ảnh hưởng của hiệu ứng chiều dài và BĐKH trong tương lai (KB2) thì toàn hệ thống đê chưa đảm bảo an toàn.

TCAT của một hệ thống đê phòng chống lũ không phải là một giá trị cố định lâu dài, mà nó cần được điều chỉnh theo một chu kỳ thời gian, phụ thuộc vào sự thay đổi của biên tải trọng và độ bền của hệ thống đê và sự thay đổi giá trị của vùng được bảo vệ. Vì vậy, trong bối cảnh BĐKH toàn cầu và tốc độ phát triển kinh tế xã hội nhanh của vùng ĐBSH, cần phải có các nghiên cứu đánh giá lại sự phù hợp của TCAT đối với mỗi hệ thống đê theo định kỳ từ 5 năm đến 10 năm, căn cứ theo tình hình thực tế.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Luận án đã trình bày tổng quan về tình hình rủi ro lũ lụt và công tác phòng chống lũ tại vùng đồng bằng sông Hông bằng giải pháp đê điều. Thông qua nghiên cứu tổng quan luận án đã đánh giá được thực trạng an toàn của hệ thống đê và phân tích được các nguyên nhân chính gây mất an toàn hệ thống đê điều vùng ĐBSH. Luận án tập trung xây dựng các bài toán tích hợp phân rủi ro và phân tích độ tin cậy xác định các chỉ số an toàn hiên tại và độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê đặc trưng vùng đồng bằng. Trên cơ sở áp dụng các bài toán đã xây dựng tính toán cụ thể cho các trường hợp điển hình thuộc vùng ĐBSH là hệ thống đê Hữu Hồng bảo vệ khu vực trung tâm thành phố Hà Nội và hệ thống đê phức hợp (đê sông, đê cửa sông, đê biển) bảo vệ vùng dân cư ven biển thuộc huyện Giao Thuỷ, Nam Định. Kết quả nghiên cứu phù hợp với với diễn biến thực tế trong những năm gần đây, điều này khẳng định rằng phương pháp PTRR & LTĐTC và các bài toán ứng dụng đã xây dựng là đáng tin cậy và hoàn toàn có thể áp dụng được trong điều kiện Việt Nam, trả lời được các câu hỏi nghiên cứu từ thực tiễn, đáp ứng được mục tiêu nghiên cứu của luận án.

Các kết luận và kiến nghị rút ra từ luận án bao gồm:

1 Kết quả đạt được của luận án

(1) Đánh giá tổng quan được xu thế gia tăng rủi ro lũ lụt và thực trạng an toàn hệ thống đê vùng ĐBSH; phân tích và khái quát hóa được các nguyên nhân chính gây mất an toàn hệ thống đê vùng ĐBSH;

(2) Phân tích chỉ ra được các tồn tại trong xác định tiêu chuẩn an toàn và phương pháp xác định các chỉ tiêu an toàn hiện tại của hệ thống đê: chưa kể yếu tố phát triển kinh tế xã hội trong xác định TCAT; chưa xem xét đến tính ngẫu nhiên của biên tải trọng và độ bền trong đánh giá an toàn;

(3) Phân tích khái quát được tình hình phát triển và ứng dụng phương pháp PTRR & LTĐTC trên thế giới và tại Việt Nam trong giải quyết các bài toán đánh giá an toàn xác định độ tin cậy hiện tại, phân tích rủi ro xác định độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống công trình phòng chống lũ nói chung và hệ thống đê nói riêng; trên cơ sở đó chỉ ra

được các khoảng trống chuyên môn trong ứng dụng tính toán cho hệ thống đê phòng chống lũ và đề xuất hướng nghiên cứu của luận án;

(4) Tích hợp được các bài toán ứng dụng của phương pháp PTRR&LTĐTC trong đánh giá an toàn xác định độ tin cậy hiện tại và độ tin cậy yêu cầu cho hệ thống đê vùng đồng bằng; áp dụng tính toán được cho hai hệ thống điển hình là: *1) Hệ thống đê sông vùng đồng bằng, bảo vệ thành phố đông dân cư* (**HT1**); *2) Hệ thống đê phức hợp bao gồm đê sông, đê cửa sông, đê biển tạo thành vòng bảo vệ khép kín cho vùng dân cư nông thôn ven biển* (**HT2**);

(5) Thiết lập cây sự cố và hàm tin cậy cho các cơ chế sự cố phổ biến của các thành phần công trình thuộc HT1 và HT2. Thiết lập được các bước giải chi tiết cho bài toán phân tích độ tin cậy theo cấp độ III xác định các chỉ số an toàn hiện tại của hệ thống đê, trong đó có xét đến ảnh hưởng của chiều dài tuyến đê và mức độ gia tăng điều kiện biên trong tương lai do ảnh hưởng của BĐKH;

(6) Thiết lập các kịch bản vỡ đê và mô phỏng ngập lụt do vỡ đê để xây dựng bản đồ phân bố độ sâu ngập lụt, thiết lập được hàm thiệt hại và xác định giá trị thiệt hại cho vùng được bảo vệ thuộc HT1 và HT2 có xem xét đến yếu tố phát triển kinh tế trong tương lai;

(7) Áp dụng bài toán tích hợp PTRR và ĐTC để xác định ĐTCYC của HT1 và HT2 cho hai trường hợp kịch bản: thời kỳ cơ sở (hiện trạng) và tương lai khi xem xét đến tác động của BĐKH-NBD và phát triển kinh tế đến năm 2050. Đê thuộc HT1 đảm bảo an toàn trong điều kiện hiện tại, tuy nhiên khi xem xét đến ảnh hưởng của BĐKH và hiệu ứng chiều dài hệ thống thì HT1 không đáp ứng được điều kiện an toàn. Đối với HT2, mặc dù tuyến đê sông và đê cửa sông có các chỉ số an toàn đảm bảo, nhưng do đê biển có chỉ số an toàn thấp do đó toàn bộ HT2 có chỉ số an toàn không đáp ứng được TCAT hiện hành.

2 Những đóng góp mới của luận án

(1) Xây dựng được sơ đồ và thuật giải các bài toán ứng dụng phân tích rủi ro và lý thuyết độ tin cậy để xác định chỉ số an toàn hiện tại có xét đến ảnh hưởng của hiệu ứng chiều dài và độ tin cậy yêu cầu của hệ thống đê được nâng cấp cho

tương lai có xét đến yếu tố thiệt hại kinh tế do ngập lụt và phát triển kinh tế của vùng bảo vệ khi đê bị sự cố;

(2) Đã kết nối, tích hợp được hàm rủi ro của hệ thống đê phức hợp bao gồm các đoạn đê sông, đê cửa sông và đê biển điển hình cho khu vực dân cư ven biển của đối tượng nghiên cứu;

(3) Tính toán cho các hệ thống đê điển hình đã lượng hóa được chỉ số an toàn hiện tại và độ tin cậy yêu cầu khi nâng cấp đê tính đến năm 2050 của đê Hữu Hồng và đê Giao Thủy.

3 Những tồn tại:

1) Chưa xem xem xét được sự cố của các công trình qua đê như các cống, trạm bơm và các công trình khác;
2) Trong tính toán chưa xem xét đến ảnh hưởng trực tiếp của việc vận hành các hồ chứa thượng nguồn đến an toàn hệ thống đê. Đặc biệt là ảnh hưởng của việc vận hành hồ chứa thượng nguồn đến các biến ngẫu nhiên tải trọng và phân tích sự phụ thuộc thống kê giữa hệ thống hồ đập thượng nguồn và hệ thống đê điều vùng hạ du.

4 Hướng phát triển:

Hướng phát triển tiếp theo là tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện ứng dụng PTRR & LTĐTC một cách toàn diện vào các bài toán thực tế, bao gồm:

1) Nghiên cứu lượng hoá mối quan hệ thống kê giữa việc vận hành an toàn các hồ chứa thượng nguồn và an toàn đê điều vùng hạ dụ;
2) Phân tích độ tin cậy cho hệ thống toàn diện hơn khi xem xét đến các sự cố của các công trình ngang đê như các cống, trạm bơm và các công trình khác… trong sơ đồ cây sự cố;
3) Nghiên cứu bài toán xác định độ tin cậy yêu cầu cho các hệ thống công trình PCL đa thành phần đa mục tiêu, xem xét đến các yếu tố thiệt hại phi vật chất trong hàm rủi ro;

5 Kiến nghị

Đánh giá an toàn công trình nói chung và hệ thống đê nói riêng bằng phương pháp PTRR&LTĐTC là một phương pháp mới ưu việt giúp giải quyết nhiều vấn đề kỹ thuật mà tiêu chuẩn hiện hành chưa đáp ứng được. Tuy vậy, việc tính toán khá phức tạp và đòi hỏi số liệu đầu vào khá lớn để đảm bảo tính tin cậy. Vì vậy, cần phải có các chương trình, dự án thiết lập hệ thống cơ sở dữ liệu về sự cố đê; cơ sở dữ liệu về thiệt hại, rủi ro và các biến ngẫu nhiên tải trọng và sức chịu tải phục vụ việc phân tích xác định độ tin cậy yêu cầu cho các hệ thống công trình thủy lợi tại Việt Nam;

Việc phân cấp đê và quy định Mức đảm bảo an toàn phòng chống lũ được quyết định lựa chọn trên cơ sở phân tích rủi ro toàn hệ thống. Trong đó giá trị thiệt hại của vùng được bảo vệ cần được cập nhật thường xuyên theo sự thay đổi do các hoạt động xây dựng và phát triển kinh tế xã hội trong vùng nghiên cứu. Cần có quy trình đánh giá định kỳ để có cơ sở điều chỉnh phân cấp đê và tiêu chuẩn an toàn cho phù hợp với thực tế.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

[1] Trần Quang Hoài, Mai Văn Công (2012). Update of design standards of sea dikes in Vietnam. Proceedings of the 4th International Conference on Estuaries and Coasts. October, 2012. Hanoi.

[2] Trần Quang Hoài, Lê Xuân Bảo, Nguyễn Quang Đức Anh, Mai Văn Công (2016). Ứng dụng phân tích độ tin cậy trong đánh giá an toàn công trình thủy tại Việt Nam. Tuyển tập hội nghị khoa học thường niên năm 2016 trường Đại học Thủy Lợi, trang 132-134.

[3] Mai Van Cong, Pham Viet Dinh, Pham Tien Hung, Le Xuan Bao, Tran Quang Hoai (2016). Reliability analysis of flood defence system of an estuarine – coastal region – A case study of Giao Thuy, Nam Dinh. Proceedings of Vietnam – Japan workshop on estuaries coasts and rivers 2016, page 105-120.

[4] Trần Quang Hoài, Mai Văn Công (2016). Phân tích độ tin cậy đê Hữu Hồng đoạn qua thành phố Hà Nội. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi Trường trường ĐHTL, Số 52 (3/2016), trang 52-57.

[5] Trần Quang Hoài, Nguyễn Quang Đức Anh, Mai Văn Công (2016). Tiêu chuẩn an toàn phòng lũ tối ưu khu vực ven biển huyện Giao Thủy – Nam Định. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi Trường trường ĐHTL, Số 53 (6/2016).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] FLOODsite, “Review of Flood Hazard Mapping,” T03-07-01, 2008.

[2] Quốc hội nước cộng hoà xã hội chủ nghĩa việt nam, “Luật Phòng chống thiên tai.” 2014.

[3] Quốc hội nước cộng hoà xã hội chủ nghĩa việt nam, “Luật đê điều.” 2006.

[4] Đào Duy Anh, Đất nước Việt Nam qua các đời. Huế: NXB Thuận Hóa, 1994.

[5] Quốc sử quán triều Nguyễn – Đại Nam thực lục (chính biên). NXB Khoa học xã hội, 1962.

[6] Phan Khánh, Sơ thảo lịch sử thủy lợi Việt Nam, vol. 1. Hà Nội: NXB Khoa học xã hội, 1981.

[7] Cục Phòng chống lụt bão và quản lý đê điều, “50 năm đê điều, phòng chống lụt, bão, giảm nhẹ thiên tai ở Việt Nam.” 1996.

[8] Mai Văn Công, “Risk based approach for a long-term solution of coastal flood defences—A Vietnam case | Levee | Risk,” Scribd. [Online]. Available: https://www.scribd.com/document/235175467/Risk-based-approach-for-a-long-term-solution-of-coastal-flood-defences-A-Vietnam-case. [Accessed: 08-Dec-2017].

[9] Mai Văn Công, “Ứng dụng lý thuyết phân tích rủi ro trong thiết kế hệ thống phòng chống lũ ở Việt Nam,” Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Và Kinh Tế Nông Nghiệp Và Phát Triển Nông Thôn Chuyên Đề Ứng Dụng Lý Thuyết Phân Tích Rủi Ro Trong Thiết Kế Và Quản Lý Hệ Thống Thủ Lợi, pp. 15–32, 2005.

[10] Mai Văn Công, P. H. A. J. M. van Gelder, and J. K. Vrijling, Safety of coastal defences and flood risk analysis. 2006.

[11] P. van Gelder, B. Foekje, ter H. Wouter, K. Wim, and Mai Văn Công Reliability analysis of flood defence structures and systems in Europe. 2008.

[12] S. n. Jonkman, M. Kok, M. Van Ledden, and J. k. Vrijling, “Risk-based design of flood defence systems: a preliminary analysis of the optimal protection level for the New Orleans metropolitan area,” J. Flood Risk Manag., vol. 2, no. 3, pp. 170–181, Sep. 2009.

[13] Cục Phòng chống lụt bão và quản lý đê điều, “Báo cáo tổng hợp thực trạng đê điều và công tác phòng chống lụt bão,” 2012.

[14] Bộ Khoa học và công nghệ, “TCVN 9902 : 2016 Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê sông.” 2016.

[15] Bộ Khoa học và công nghệ, “TCVN 9901:2014 Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê biển.” 2014.

[16] Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn, “QCVN 04-05:2012/BNNPTNT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia - Công trình thủy lợi - Các quy định chủ yếu về thiết kế.” 2012.

[17] Mai Văn Công, Thiết kế công trình theo lý thuyết ngẫu nhiên và phân tích độ tin cậy. Nhà xuất bản Hà Nội, 2013.
[18] Nguyễn Vi, Độ tin cậy khai thác của các công trình bến cảng xét đến các hao mòn vật lý và hao mòn vô hình. Đại học Hàng hải, 1991.
[19] Mai Văn Công, "Probabilistic design of coastal flood defences in Vietnam," PhD thesis, TU Delft, The Netherlands, 2010.
[20] M. Mayer, Die Sicherheit der Bauwerke und ihre Berechnung nach Grenzkräften anstatt nach zulässigen Spannungen,. Berlin: J. Springer, 1926.
[21] E. Basler, Untersuchungen über den Sicherheitsbegriff von Bauwerken. Solothurn: Vogt-Schild, 1961.
[22] H. Madsen et al., "Combined flow prediction and reservoir control system optimizes production at Hoa Binh," Int. J. Hydropower Dams, vol. 14, no. 1, pp. 80–83, 2007.
[23] C. A. Cornell, "A Probability-Based Structural Code," J. Proc., vol. 66, no. 12, pp. 974–985, Dec. 1969.
[24] E. Rosenblueth and L. Esteva, "Reliability Basis for Some Mexican Codes," Spec. Publ., vol. 31, pp. 1–42, Jan. 1972.
[25] C. J. Turkstra, Applications of Bayesian decision theory: Seminar no. 3, November 3, 1969. Solid Mechanics Division, University of Waterloo, 1969.
[26] A. M. Freudenthal, "Safety and the Probability of Structural Failure," Trans. Am. Soc. Civ. Eng., vol. 121, no. 1, pp. 1337–1375, 1956.
[27] O. Ditlevsen and U. of W. S. M. Division, Structural Reliability and the Invariance Problem. University of Waterloo, 1973.
[28] A. M. Hasofer and N. C. Lind, "Exact and Invariant Second-Moment Code Format," J. Eng. Mech. Div., vol. 100, no. 1, pp. 111–121, 1974.
[29] J. Vrijling, T. Schweckendiek, and W. Kanning, "Safety standards of flood defenses," in ISGSR 2011, Munich, Germany, 2001.
[30] Mai Văn Công, "Thiết kế công trình theo lý thuyết ngẫu nhiên và phân tích độ tin cậy," Tạp chí Khoa học Công nghệ và Kinh tế, Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, vol. 8, no. 6, 2004.
[31] M. Naulin, A. Kortenhaus, and H. Oumeraci, "Failure probability of flood defence structures/systems in risk analysis for extreme storm surges," ResearchGate, vol. 1, no. 32, Jan. 2010.
[32] Trần Quang Hoài and Mai Văn Công, "Recent updates of technical design guidelines for sea dikes in Vietnam," presented at the 4st International Conference on Estuaries and Coasts, Ha Noi, 2012.
[33] Lê Xuân Bảo and Mai Văn Công, "Đánh giá rủi ro kinh tế do ngập lụt, ứng dụng cho dự án chống ngập khu vực thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1, Số 55 11/2016," Tạp Chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủ Lợi Và Môi Trường Trường ĐHTL, pp. 65–72, 2016.

[34] Mai Văn Công, Phạm Việt Đỉnh, Phạm Tiến Hùng, Lê Xuân Bảo, and Trần Quang Hoài, "Reliability analysis of flood defence system of an estuarine – coastal region – A case study of Giao Thuy, Nam Dinh," presented at the Vietnam – Japan workshop on estuaries coastal and rivers 2016, 2016, pp. 105–120.
[35] M. H. Hsu et al., Flood impact assessment under climate change scenarios in central Taipei area, Taiwan. Centre for Water Systems, University of Exeter, 2013.
[36] Trần Quang Hoài and Mai Văn Công, "Xác định tiêu chuẩn an toàn phòng chống lũ biển và cập nhật đề xuất Tiêu chuẩn thiết kế đê biển," presented at the Kỷ yếu hội nghị Quốc tế ICEC 201, Hà Nội, 2016.
[37] D. Dutta, S. Herath, and K. Musiake, "A mathematical model for flood loss estimation," J. Hydrol., vol. 277, no. 1, pp. 24–49, Jun. 2003.
[38] Nguyễn Công Mẫn, "Một số vấn đề địa kỹ thuật của đê vùng sông Hồng, phương pháp kiểm toán, xử lý, nâng cấp," presented at the Hội nghị khoa học Địa chất công trình và môi trường Việt Nam, Hà Nội, 2005.
[39]Phạm Văn Quốc, "Nghiên cứu bài toán thấm không ổn định trên mô hình vật lý," PhD thesis, Đại học Thuỷ lợi, Hà Nội, 2002.
[40] Tô Xuân Vu, "Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng đặc tính biến dạng thấm của một số trầm tích đến ổn định nền đê," PhD thesis, Đại học Mỏ Địa chất, Hà Nội, 2002.
[41] Bùi Văn Trường "Nghiên cứu biến dạng thấm nền hạ du sông Hồng địa phận tỉnh Thái Bình và đánh giá thực nghiệm một số giải pháp xử lý," Đại học Mỏ Địa chất, Hà Nội, 2009.
[42] Nguyễn Tiến Giang, C. Joric, and Trần Phương Anh, "A method to construct flood damage map with an application to Huong river basin, in Central Vietnam," VNU J. Sci., pp. 10–19, 2009.
[43] Mai Văn Công, J. K. Vrijling, and P. H. A. J. M. van Gelder, "Risk analysis of coastal flood defences - A Vietnam case.," in Proceedings of the 4th international symposium on flood defence; managing flood risk, reliability & vulnerability, Toronto, 2007, vol. 1, p. 931:938.
[44] Phạm Hồng Cường, Nghiên cứu xây dựng phương pháp đánh giá chất lượng hệ thống công trình thuỷ nông theo lý thuyết độ tin cậy trong điều kiện Việt Nam. 2009.
[45] Phạm Khắc Hùng, "Xác định độ tin cây công trình dạng hệ thanh giao chịu tác dụng của tải trọng ngẫu nhiên," 1977.
[46] Tạ Thanh Vân, "Nghiên cứu độ tin cậy của kết cấu tấm và vỏ mỏng đàn hồi chịu tải trọng tĩnh," PhD thesis, Đại học Xây dựng Hà Nội, 2005.
[47] Trần Tuấn Anh, "Tính toán độ tin cậy của tường chắn cứng.," Tạp chí Khoa học Công nghệ và Kinh tế, Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2010.
[48] Vũ Lê Minh and Nguyễn Vi, "Tính toán ổn định trượt sâu công trình tường cừ một neo theo quan điểm xác suất," Tạp chí Bờ và Biển, 2010.

[49] Nguyễn Lê Minh, "Xác định độ tin cậy về sức chịu tải của cọc khoan nhồi," Tạp chí Địa kỹ thuật, 2011.
[50] Bùi Thanh Tùng and Mai Văn Công, Ứng dụng lý thuyết độ tin cậy trong phân tích an toàn ổn định kết cấu chân kè biển Việt Nam. 2004.
[51] Mai Cao Trí, Mai Văn Công, J. V. Henk, and Nguyễn Khắc Nghĩa, "The application of a tandem dike system in Vietnam," presented at the Proceedings of the 4th International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC2012), Hanoi, 2012.
[52] J. . Vrijling and P. H. A. J. M. van Gelder, Probabilistic design in Civil Engineering. Delft University of Technology, 2000.
[53] W. T. Bakker and J. K. Vrijling, "Probabilistic Design of Sea Defences," in Coastal Engineering 1980, American Society of Civil Engineers, 1980, pp. 2040–2059.
[54] Nguyễn Vi, Độ tin cậy của công trình bến cảng và Phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước trong tính toán độ tin cậy của các công trình cảng. 2011.
[55] Mai Văn Công, Giáo trình Độ tin cậy. Trường đại học thuỷ lợi, 2010.
[56] Trần Quang Hoài, Lê Xuân Bảo, Nguyễn Quang Đức Anh, and Mai Văn Công, "Ứng dụng phân tích độ tin cậy trong đánh giá an toàn công trình thủy tại Việt Nam," presented at the Hội nghị khoa học thường niên năm 2016, Trường Đại học Thủy Lợi, 2016, pp. 132–134.
[57] "Hội thảo quốc tế về giảm bớt thảm hoạ (National Report on Disaster Reduction)," Vietnam, 2004.
[58] S. n. Jonkman, M. Kok, M. Van Ledden, and J. k. Vrijling, "Risk-based design of flood defence systems: a preliminary analysis of the optimal protection level for the New Orleans metropolitan area," J. Flood Risk Manag., vol. 2, no. 3, pp. 170–181, Sep. 2009.
[59] Nguyễn Quyền, Nguyễn Văn Mạo, Nguyễn Chiến, and Phạm Văn Quốc, "Thiết kế đê và công trình bảo vệ bờ." NXB Xây dựng, 2001.
[60] Trần Văn Tư, "Phân tích đánh giá hiện tượng phá hủy tầng phủ hạ lưu do tác dụng của dòng thấm," Tập San Thuỷ Lợi, vol. 264, 1988.
[61] Mai Văn Công and J. K. Pilarczyk, "Safety aspects of seadikes in Vietnam - a Nam Dinh case," in IAHR congress, proceedings for International Symposium on Stochastic Hydraulics 2005, 2005, vol. 1, pp. 47–56.
[62] MONRE, "Kịch bản Biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam," 170, 2016.
[63] Nguyễn Quốc Dũng, "Nghiên cứu các giải pháp khoa học công nghệ để nâng cấp sửa chữa các cống dưới đê thuộc sông Hồng và sông Thái Bình," Viện Khoa học Thuỷ lợi, Hà Nội, 2002.

PHỤ LỤC

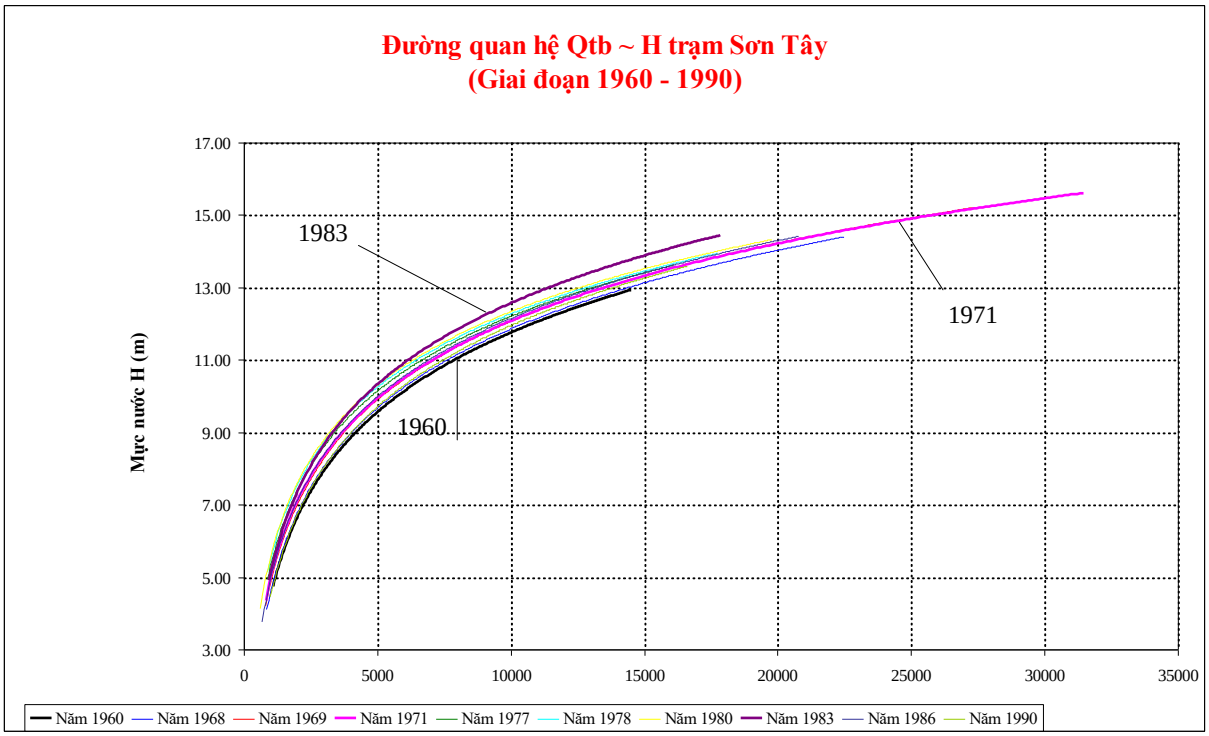
PHỤ LỤC 1
CÁC SỐ LIỆU THỦY VĂN ĐẦU VÀO CHO HỆ THỐNG SÔNG HỒNG

Bảng 1: Tổng hợp quan hệ Q_{tb} ~ H trạm Sơn Tây từ số liệu thực đo 1960- 1990

Năm / H	1960	1968	1969	1971	1977	1978	1980	1983	1986	1990
H_{min}	**360**	**503**	**444**	**478**	**543**	**508**	**469**	**530**	**474**	**522**
5,00	1100	850	810	820			602		675	
5,50	1350	1200	1080	1010	870	870	850	945	930	980
6,00	1600	1550	1380	1260	1120	1070	1120	1200	1280	1430
6,50	1850	1950	1720	1590	1420	1330	1430	1490	1690	1880
7,00	2300	2350	2090	1980	1780	1660	1780	1830	2170	2360
7,50	2800	2780	2510	2430	2170	2020	2160	2230	2690	2860
8,00	3300	3250	2980	2980	2620	2440	2590	2680	3240	3360
8,50	3800	3780	3500	3580	3130	2940	3040	3160	3830	3900
9,00	4350	4370	4090	4220	3710	3520	3550	3680	4430	4480
9,50	5100	5020	4760	4930	4370	4190	4120	4240	5090	5120
10,00	5850	5760	5520	5700	5130	4910	4750	4840	5790	5840
10,50	6750	6610	6400	6600	5950	5700	5450	5510	6520	6640
11,00	7750	7620	7450	7620	6900	6560	6260	6250	7330	7520
11,50	9000	8770	8650	8760	7960	7580	7210	7150	8240	8500
12,00	10300	10100	10000	10800	9190	8760	8320	8160	9270	9600
12,50	12200	11600	11500	11580	10640	10140	9770	9330	10440	10240
13,00	14500	13600	13200	13280	12330	11880	11750	10700	11850	13440
13,50		15700	15200	15320	14170	14300	14090	12440	13660	15020
14,00		18500	17700	17710	16110	17760	16810	14730	15760	16620
14,50		22500	20200	20380			19800	17840	18200	
15,00			23300	23420					20800	
15,50			27400	27000						
16,00				31460						
H_{max}	**1301**	**1454**	**1556**	**1619**	**1401**	**1404**	**1455**	**1462**	**1510**	**1459**

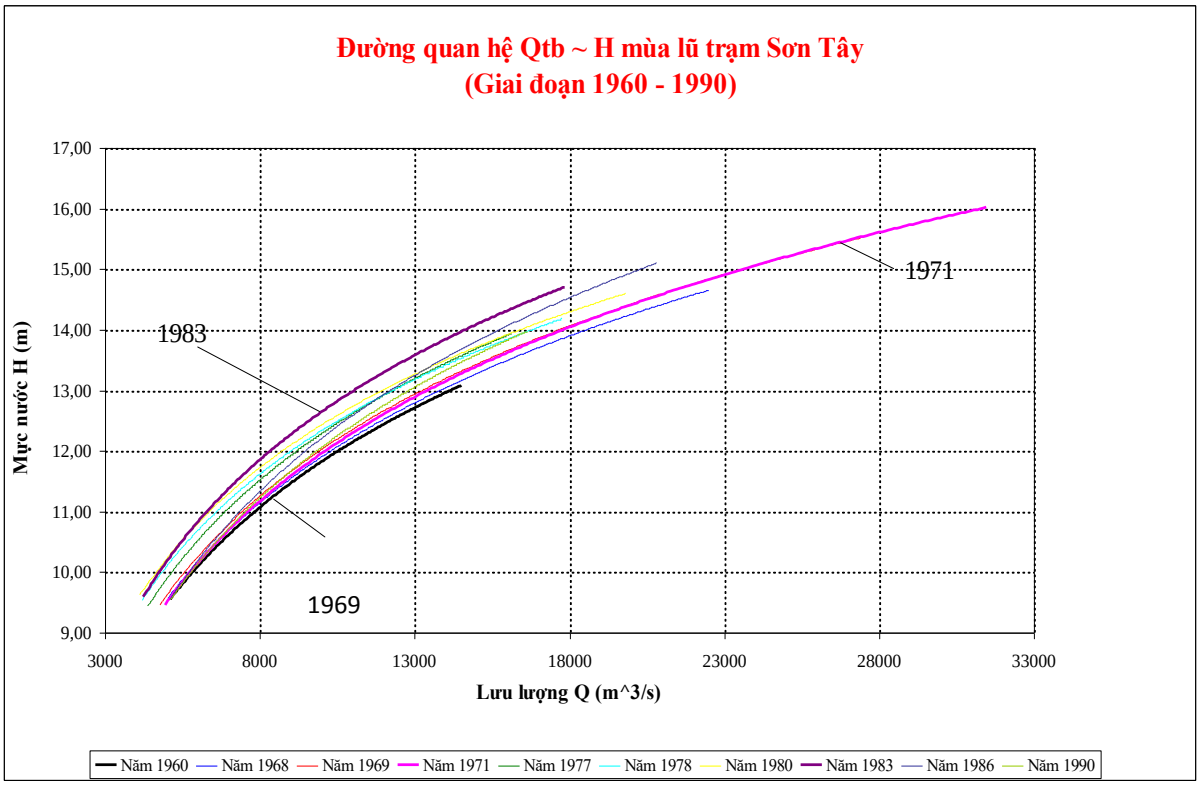
Bảng 2: Tổng hợp quan hệ Q_{tb} ~ H trạm Sơn Tây từ số liệu thực đo 1995-2009

Năm / H	1995	1996	1998	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
H_{min}	**583**	**529**	**500**	**481**	**490**	**434**	**401**	**380**	**364**	**333**	**293**
5,00			1010	1100	1040	1180	1580	1630	1890	1900	2050
5,50		1340	1320	1220	1180	1520	1930	2000	2200	2320	2500
6,00	1890	1600	1680	1450	1450	1940	2380	2500	2590	2750	2920
6,50	2030	1900	2060	1740	1810	2390	2840	2920	3000	3250	3470
7,00	2260	2240	2490	2090	2240	2890	3300	3500	3450	3600	3900
7,50	2540	2620	2960	2510	2700	3420	3810	4000	3920	4100	4500
8,00	2880	3060	3480	3020	3230	3990	4300	4590	4500	4600	5200
8,50	3280	3560	4030	3660	3830	4590	4910	5200	5180	5300	5750
9,00	3750	4140	4650	4440	4510	5250	5500	5900	5800	6000	6500
9,50	4320	4780	5310	5300	5280	5960	6250	6550	6500	6550	7200
10,00	4960	5480	6050	6210	6150	6730	7070	7430	7110	7250	8000
10,50	5690	6230	6870	7190	7100	7580	8000	8300	7750	8050	8600
11,00	6550	7060	7810	8210	8100	8500	8970	9170	8500	9050	9450
11,50	7760	7980	8910	9320	9150	9500	10090	10400	9310	10150	10200
12,00	9150	9040	10280	10550	10200	10590	10950	11430	10200	11250	11250
12,50	10700	10260	11920	11880		11760		12500	11400	12300	
13,00	12260	11700	13610	13380		12970				13450	
13,50	14010	13280	15310	15080		14220				14500	
14,00	16040	15020	17050	17030							
14,50		17020		18770							
15,00		19300									
H_{max}	**1433**	**1509**	**1416**	**1468**	**1206**	**1369**	**1216**	**1284**	**1281**	**1351**	**1210**

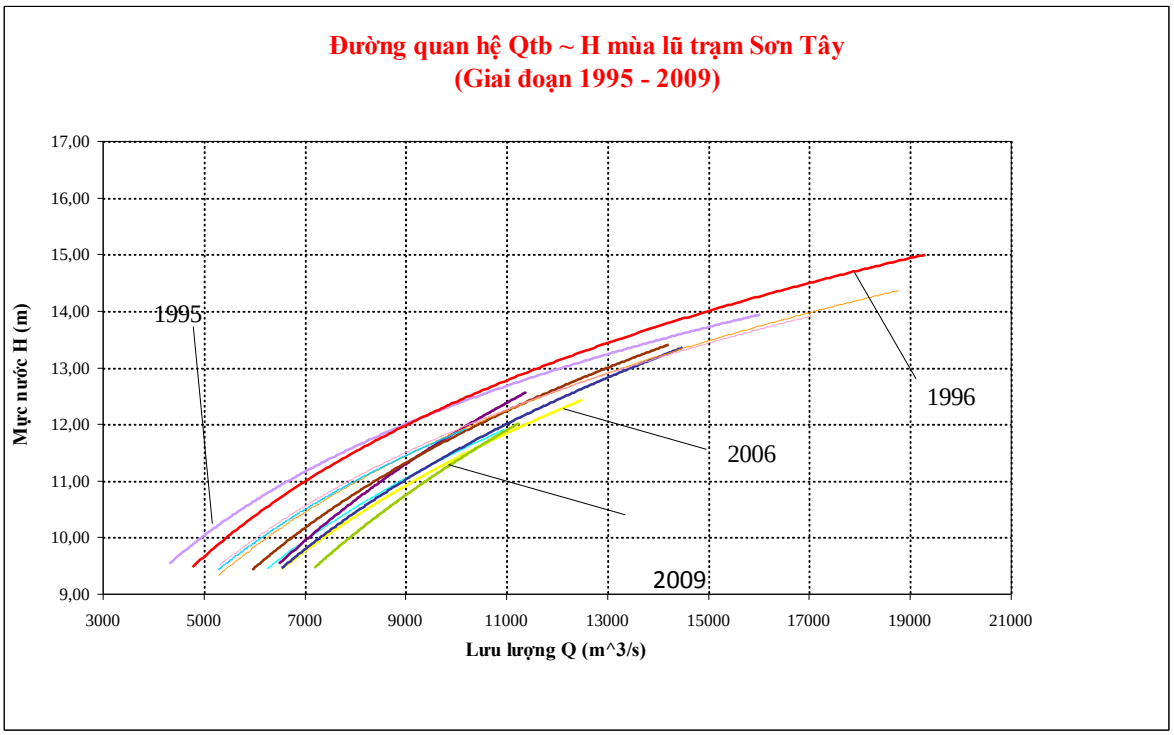


Hình 1: Quan hệ Q_{tb}~H trạm Sơn Tây (1960÷1990)

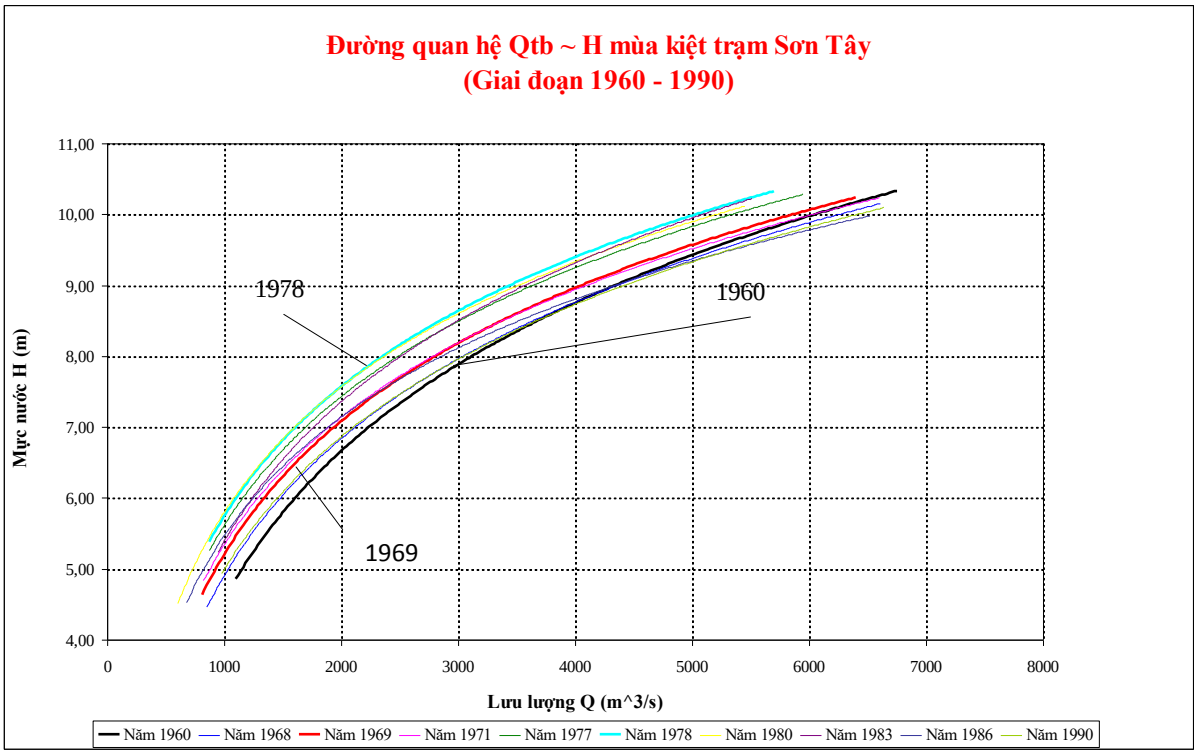
Hình 2: Quan hệ Q_{tb}~H trạm Sơn Tây (1995÷2009)



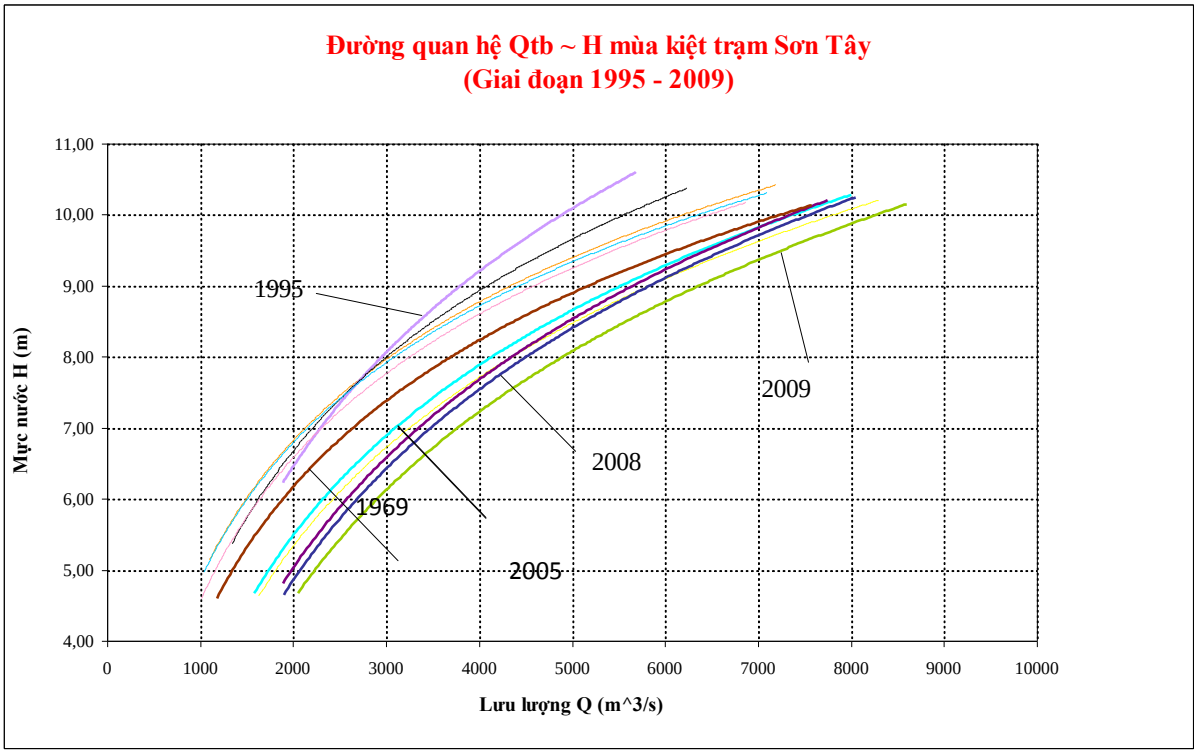
Hình 3: Quan hệ Q_{tb}~H mùa lũ trạm Sơn Tây (1960÷1990)



Hình 4: Quan hệ Q_{tb}~H mùa lũ trạm Sơn Tây (1995÷2009)



Hình 5: Quan hệ Q_{tb}~H mùa kiệt trạm Sơn Tây (1960÷1990)



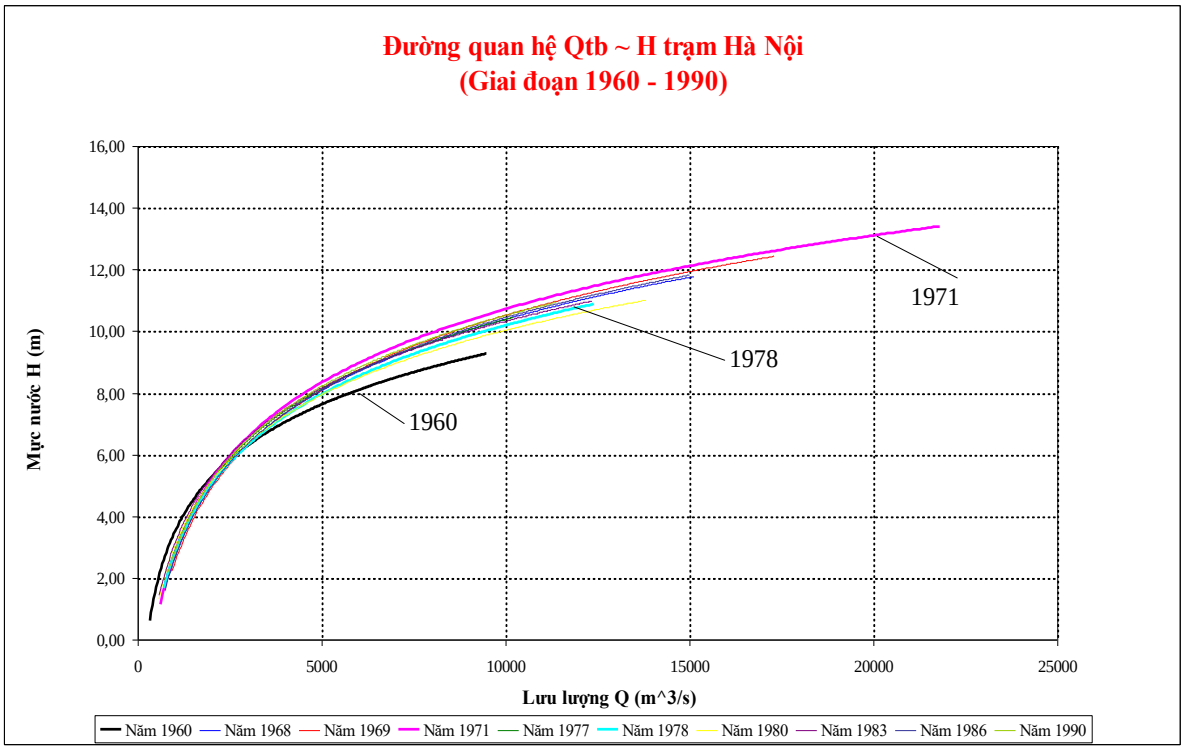
Hình 6: Quan hệ Q_{tb}~H mùa kiệt trạm Sơn Tây (1995÷2009)

Bảng 3: Tổng hợp quan hệ Q_{tb} ~ H trạm Hà Nội từ số liệu thực đo 1960 – 1990

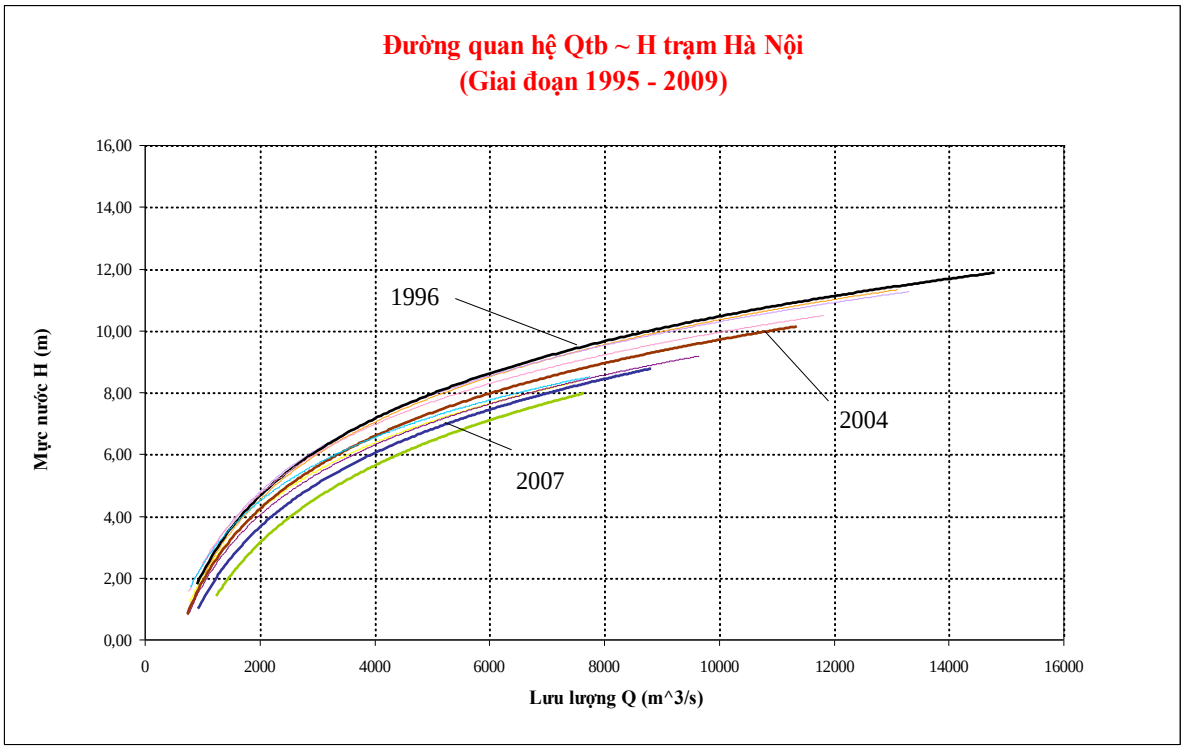
Năm / H	1960	1968	1969	1971	1977	1978	1980	1983	1986	1990
H_{min}	**190**	**237**	**205**	**235**	**249**	**223**	**221**	**234**	**217**	**260**
2,50	600	740		616	703	710	567	580	735	
3,00	900	980	930	827	933	960	846	780	985	815
3,50	1200	1250	1180	1110	1160	1220	1140	1020	1240	1050
4,00	1530	1550	1480	1430	1420	1520	1460	1340	1540	1350
4,50	1880	1860	1780	1770	1730	1840	1820	1690	1840	1690
5,00	2280	2210	2130	2160	2060	2190	2210	2070	2190	2080
5,50	2710	2560	2520	2580	2440	2580	2640	2520	2580	2480
6,00	3160	2960	2960	3030	2840	3010	3120	3020	3010	2930
6,50	3640	3380	3430	3520	3270	3500	3630	3550	3460	3390
7,00	4200	3830	3950	4060	3790	4060	4170	4140	3990	3900
7,50	4800	4320	4520	4650	4380	4660	4740	4750	4560	4450
8,00	5480	4940	5170	5300	5000	5350	5360	5440	5160	5040
8,50	6240	5630	5940	6000	5720	6150	6045	6160	5810	5670
9,00	7100	6470	6820	6760	6490	7080	6810	6940	6530	6370
9,50	8180	7450	7800	7560	7350	8130	7750	7770	7310	7150
10,00	9480	8650	8870	8400	8270	9180	8940	8630	8270	8030
10,50		9980	10060	9300	9230	10230	10400	9530	9360	9030
11,00		11400	11340	10300	10200	11320	12000	10440	10600	10140
11,50		12960	12720	11400		12400	13820	11390	12000	11360
12,00		15120	14200	12800				12350	15000	
12,50			15750	14600						
13,00			17300	16900						
13,50				19400						
H_{max}	**1021**	**1207**	**1306**	**1397**	**1123**	**1152**	**1165**	**1207**	**1217**	**1178**

Bảng 4: Tổng hợp quan hệ Q_{tb} ~ H trạm Hà Nội từ số liệu thực đo 1995 ~ 2009

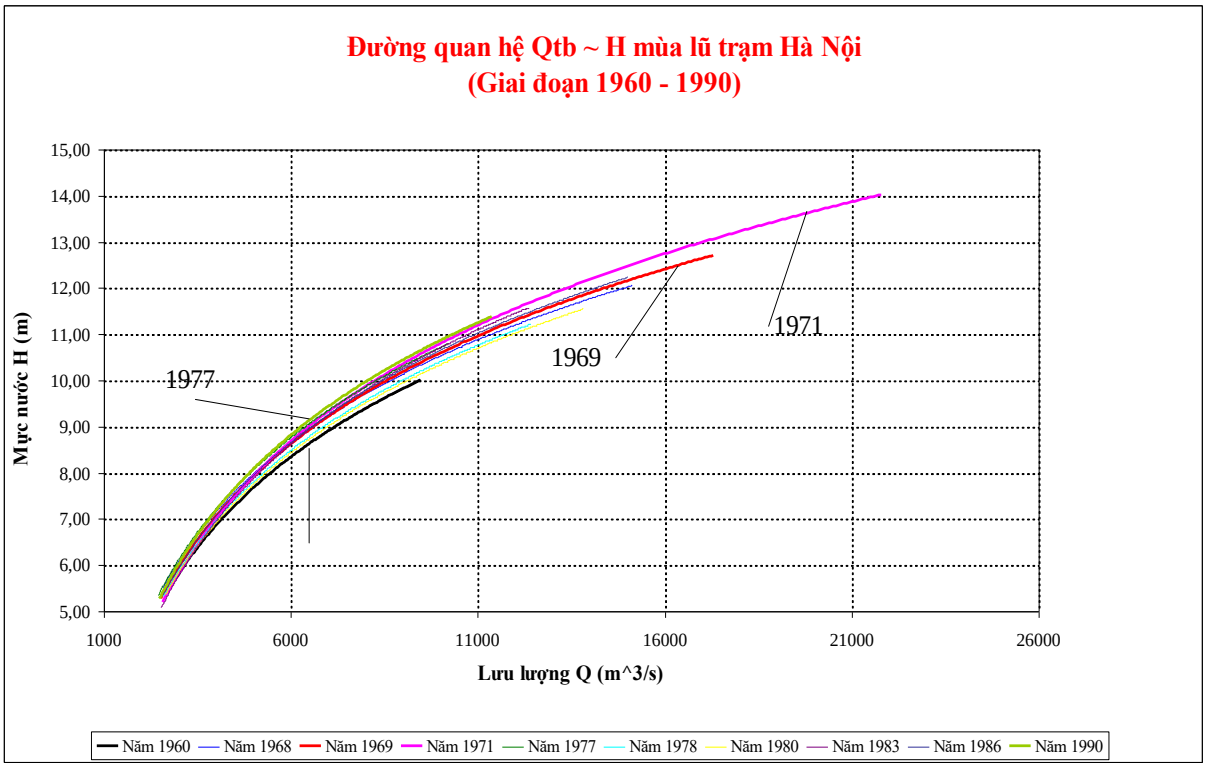
Năm H	1995	1996	1998	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2009
H_{min}	**301**	**240**	**222**	**257**	**234**	**197**	**168**	**140**	**121**	**82**
2,00						740	770	750	930	1250
2,50		910	760		790	1040	1060	1130	1280	1580
3,00	1000	1120	1050	1040	1140	1350	1380	1480	1800	2000
3,50	1270	1370	1350	1340	1490	1700	1740	1850	2150	2350
4,00	1570	1670	1690	1670	1890	2100	2080	2280	2530	2750
4,50	1920	2020	2070	2040	2290	2530	2500	2710	2910	3200
5,00	2290	2400	2480	2440	2710	2990	2950	3190	3400	3620
5,50	2690	2800	2930	2880	3160	3490	3430	3650	3790	4180
6,00	3120	3240	3430	3330	3640	4010	3940	4200	4400	4750
6,50	3570	3710	3950	3830	4150	4560	4500	4740	4910	5310
7,00	4060	4230	4500	4340	4720	5150	4960	5370	5500	5830
7,50	4580	4790	5090	4930	5340	5770	5480	5900	6080	6430
8,00	5190	5410	5710	5620	6030	6420	6150	6580	6710	7060
8,50	5890	6120	6420	6380	6820	7100	6840	7300	7830	7650
9,00	6740	6920	7210	7220	7750	7810	7530	8080	8000	
9,50	7760	7810	8090	8120		8570		8880	8820	
10,00	8940	8810	9120	9060		9410		9650		
10,50	10270	10300	10330	10020		10330				
11,00	11740	11130	11820	11020		11360				
11,50	13320	12430		12040						
12,00		13730		13120						
12,50										
13,00										
13,50										
14,00										
H_{max}	**1157**	**1243**	**1100**	**1201**	**917**	**1104**	**945**	**1035**	**983**	**874**



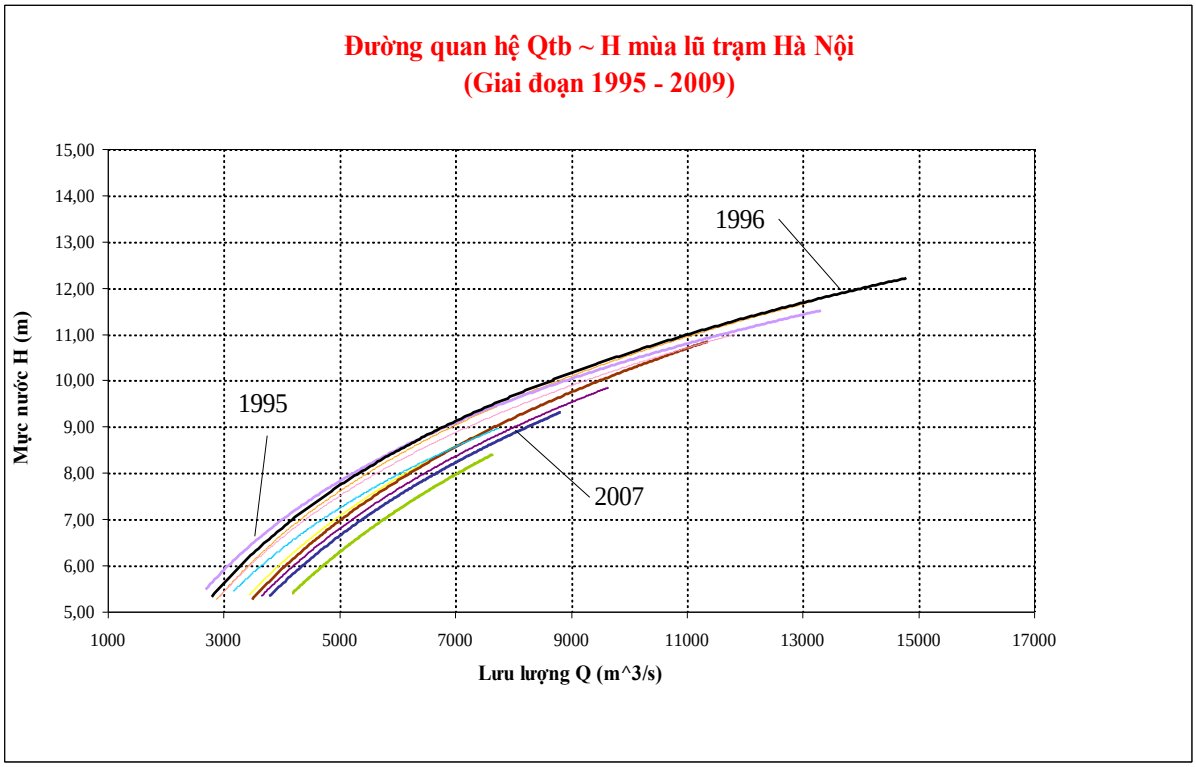
Hình 7: Quan hệ Q_{tb}~H trạm Hà Nội (1960÷1990)



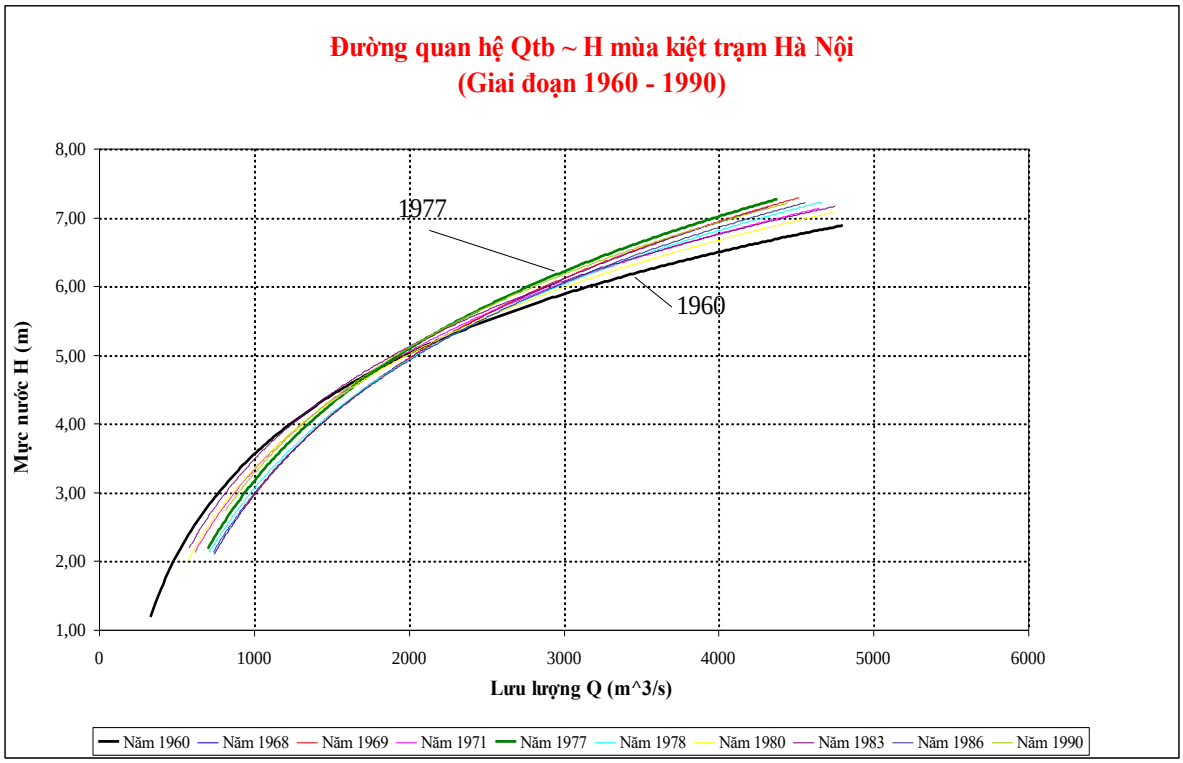
Hình 8: Quan hệ Q_{tb}~H trạm Hà Nội (1995÷2009)



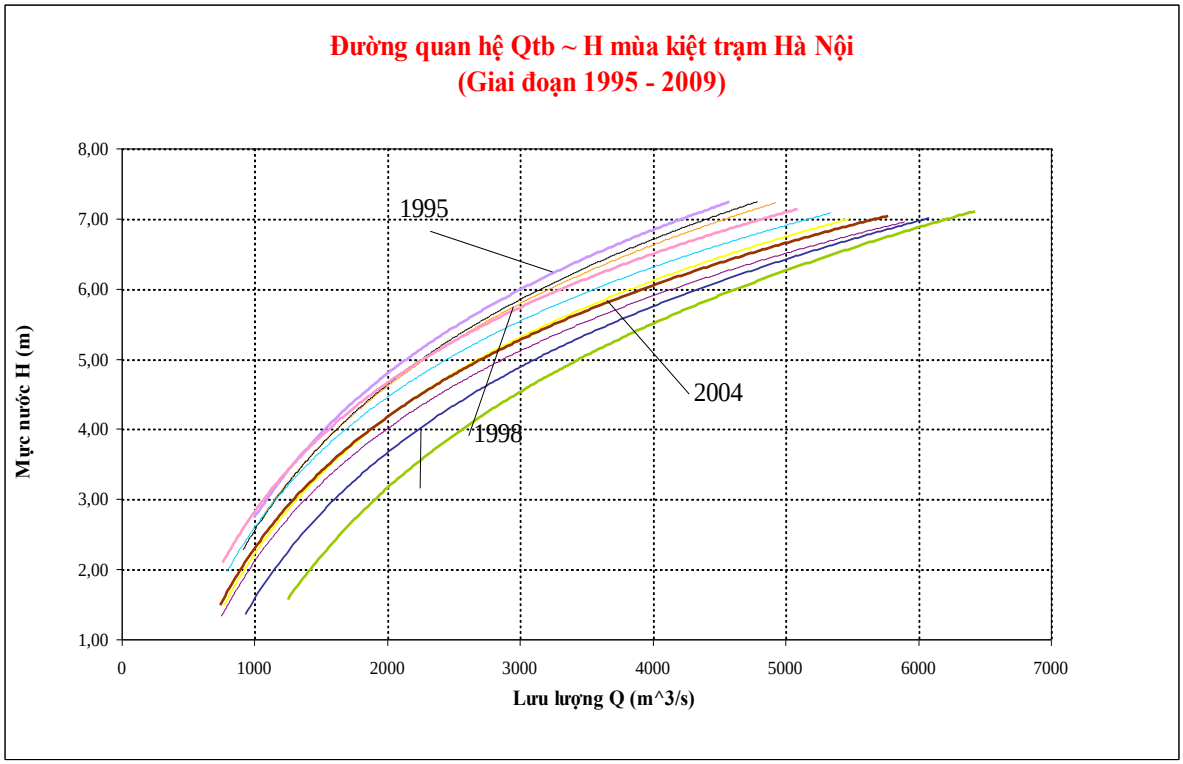
Hình 9: Quan hệ Q_{tb}~H mùa lũ trạm Hà Nội (1960÷1990)



Hình 10: Quan hệ Q_{tb}~H mùa lũ trạm Hà Nội (1960÷1990)



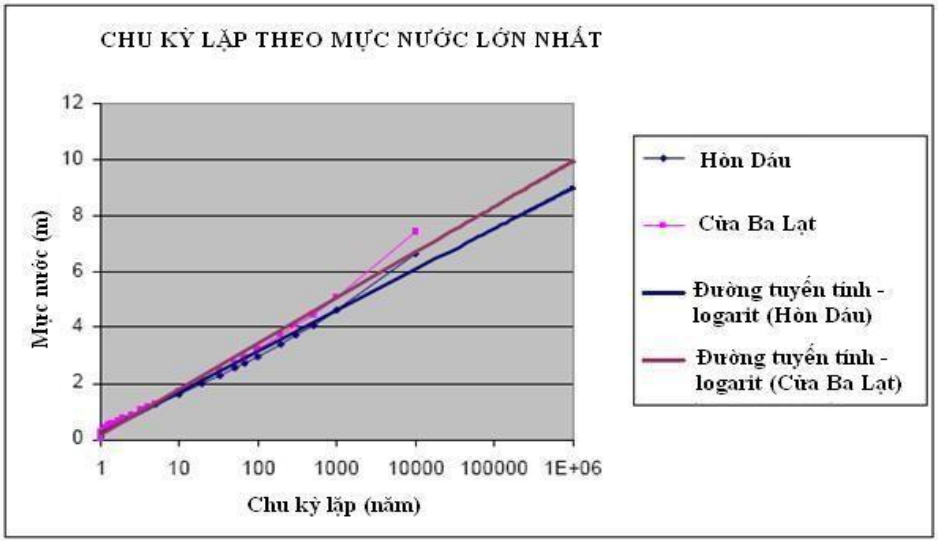
Hình 11: Quan hệ Q_{tb}~H mùa kiệt trạm Hà Nội (1960÷1990)



Hình 12: Quan hệ Q_{tb}~H mùa kiệt trạm Hà Nội (1995-2009)

Bảng 5: Mực nước và Lưu lượng lũ tuyến đê Hữu Hồng đoạn qua Giao thủy-Nam Định theo các phương án quy hoạch thoát lũ

Vị trí	Mực nước (m)			Lưu lượng (m^3/s)		
	TK	**QH12**	**QH12NV**	**TK**	**QH12**	**QH12NV**
K160 Hữu Hồng	6.11	6.14	6.07	12080	12040	12053
K161 Hữu Hồng	6.07	6.09	6.02	12082	12041	12048
K163 Hữu Hồng	5.97	6.00	5.92	12023	11982	12045
K165 Hữu Hồng	5.61	5.64	5.55	7725	7660	7806
K167 Hữu Hồng	5.20	5.25	5.14	7646	7583	7722
K171 Hữu Hồng	4.89	4.94	4.84	7557	7584	7628
K173 Hữu Hồng	4.66	4.72	4.68	7536	7467	7607
K175 Hữu Hồng	4.48	4.55	4.55	7538	7463	7606
K179 Hữu Hồng	4.35	4.42	4.40	7298	7227	7349
K185 Hữu Hồng	4.30	4.36	4.31	7295	7222	7346
K190 Hữu Hồng	4.23	4.28	4.17	5867	5821	5873
K193 Hữu Hồng	4.25	4.29	4.16	5893	5854	5918
K195 Hữu Hồng	4.07	4.08	3.99	5489	5453	5535
K198 Hữu Hồng	3.97	3.99	3.91	5515	5485	5556
K200 Hữu Hồng	3.99	4.01	3.93	5515	5483	5560
K201 Hữu Hồng	3.95	3.96	3.86	5491	5456	5545
K203 Hữu Hồng	3.90	3.90	3.81	5496	5462	5034
K204 Hữu Hồng	3.84	3.84	3.77	5007	4997	5020
K205 Hữu Hồng	3.84	3.84	3.76	4946	4940	4979
K206 Hữu Hồng	3.82	3.83	3.75	4932	4923	4969
K211 Hữu Hồng	3.64	3.65	3.63	4930	4920	4977
K214 Hữu Hồng	3.58	3.59	3.57	4951	4940	4997
K216 Hữu Hồng	3.51	3.51	3.51	4968	4299	4047
K218 Hữu Hồng	3.50	3.50	3.49	4208	4252	3965
K219 Hữu Hồng	3.46	3.46	3.45	4188	4199	3955



Hình 13: Đường tần suất mực nước khu vực ven biển vùng ĐBSH

PHỤ LỤC 2
PHÂN BỐ THỐNG KÊ VÀ THAM SỐ CỦA CÁC BIẾN NGẪU NHIÊN ĐÊ HÀ NỘI

Bảng 6: Các biến ngẫu nhiên của hệ thống đê hữu Hồng, Hà Nội

TT	Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Luật phân phối	Tham số thống kê		
					Kỳ vọng toán μ		Độ lệch σ
					KB1	KB2	
1	Cao trình đỉnh đê						
	Đoạn 1	$Z_{Đ1}$	m	Normal	17,5	17,5	0,1
	Đoạn 2	$Z_{Đ2}$	m	Normal	14,67	14,67	0,1
	Đoạn 3	$Z_{Đ3}$	m	Normal	13	13	0,1
2	Mực nước lũ						
	Đoạn 1	MNL_1	m	Gumbel	15,7	16,2	1,15
	Đoạn 2	MNL_2	m	Gumbel	13,6	14,1	1,15
	Đoạn 3	MNL_3	m	Gumbel	10,8	11,3	1,15
3	Chiều cao sóng dềnh KB1	H_s	m	LogNorm	0,32	0,38	0,15
4	Chiều dài sóng	L	m	Normal	3,2	3,2	0,3
5	Chiều dày lớp áo kè	t	m	Norm	0,2	0,2	0,05
6	Độ sâu nước trước chân kè	d	m	Norm	6	6	0,25
7	Khối lượng riêng của nước	γ	KN/m^3	Deter	1	1	-
8	Khối lượng riêng của đá	γ_b	KN/m^3	Norm	2,4	2,4	0,05
9	Hệ số mái dốc (cotan)	m	-	Norm	5	5	0,05
10	Lưu lượng lũ sông	Q	m^3/s		18000	21600	900
11	Chiều rộng bãi, khoảng cách từ mép nước đến chân dốc						
	Đoạn 1	B_1	m	Norm	500	500	
	Đoạn 2	B_2	m	Norm	350	350	
	Đoạn 3	B_3	m	Norm	650	650	
12	Độ sâu trên bãi						
	Đoạn 1	Hb_1	m	Norm	5	5,5	0,5
	Đoạn 2	Hb_2	m	Norm	5-	5,5	0,5
	Đoạn 3	Hb_3	m	Norm	6	6,5	0,6
13	Hệ số phân bố không đều của lưu tốc	η	-	Deter	2	2	
14	Góc giữa lưu hướng dòng chảy ở mực nước lũ tính toán và mái bờ	α	rad	Norm	0,53	0,53	0,05
15	Hệ số mái chân kè	m	-	Norm	3	3	0,15

TT	Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Luật phân phối	Tham số thống kê		
					Kỳ vọng toán μ		Độ lệch σ
					KB1	KB2	
16	Đường kính hạt tính toán của đất đáy sông tại sát chân kè	d	m	Norm	0,01	0,01	0,001
17	Chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê	h_t	m	Norm	4		0,0015
18	Dung trọng bão hòa của nền đất	ρ_c	T/m^3	Nor	1,8	1,8	0,09
19	Dung trọng của nước	ρ_w	T/m^3	Deter	1	1	-
20	Thông số mô hình	m	-	Nor	2.00	2.00	0.20
21	Chỉ số Blight	C_B	-	Deter	2	2	0.4
22	Chiều dài đường viền thấm						
	Đoạn 1	L_t	m	Nor	78.4	78.4	7.8
	Đoạn 2	L_t	m	Nor	77.2	77.2	7.7
	Đoạn 3	L_t	m	Nor	75.6	75.6	7.5
23	Chiều dày lớp sét						
	Đoạn 1	d	m	lognormal	2	2	0.5
	Đoạn 2	d	m	lognormal	3	3	0.5
	Đoạn 3	d	m	lognormal	3.3	3.3	0.5

PHÂN BỐ THỐNG KÊ VÀ THAM SỐ CỦA CÁC BIẾN NGẪU NHIÊN ĐÊ BIỂN GIAO THỦY- NAM ĐỊNH

Bảng 7: Các biến ngẫu nhiên của đê biển Giao Thủy, Nam Định

TT	Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Luật phân phối	Tham số thống kê		
					Kỳ vọng toán μ		Độ lệch σ
					KB1	KB2	
1	Cao trình đỉnh đê hiện tại	Z_c	m	Nor	5.5	5.5	0.1
2	Mực nước tổng hợp	*MNTH*	m	Nor	2.86	3.16	0.43
3	Dâng nước do hiệu ứng nhà kính	*S.L rise*	m	Nor	0.1	0.3	0.05
4	Chiều cao sóng trước chân công trình	H_s	m	logNor-	1.8	2.0	0.3
5	Chiều cao leo mái đê	$R_{sl,p}$	m	Nom-	2.02	2.12	0.4
6	Hệ số gradien thấm qua nền đê	J			0.32	0.32	0.17
7	Hệ số gradien thấm cho phép	*[J]*			0.37	0.37	0.12
8	Chiều cao sóng	H_s	m	LogNor	1.52	1.52	0.4
9	Chỉ số sóng vỡ	ξ_p	-	LogNor	3.5	3.5	0.5
10	Tỉ trọng của vật liệu	Δ	T/m^3	Deter	1.45	1.45	-

TT	Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Luật phân phối	Tham số thống kê		
					Kỳ vọng toán μ		Độ lệch σ
					KB1	KB2	
11	Chiều dày áo kè hiện tại	D_1	m	Nor	0.28	0.28	0.02
12	Hệ số ổn định mái kè	Ψ_u	-	Nor	1.50	1.50	0.15
13	Chỉ số mũ kinh nghiệm	b	-	Nor	0.65	0.65	0.05
14	Hệ số ổn định	φ	-	Nor	3.0	3.0	0.15
15	Chiều sâu bảo vệ kết cấu chân đê	h_t	m	Nor	2	2	0.15
16	Chiều cao sóng thiết kế	H_s	m	LogNor	1.7	1.7	0.1
17	Góc mái dốc	α	rad	Nor	0.245	0.245	0.05
18	Cột nước trước đê	h	m	Nor	1.2	1.2	0.2
19	Chiều dài sóng	L	m	Nor	25	25	2.5
20	Dung trọng b.hòa đất nền	ρ_c	T/m^3	Nor	1.80	1.80	0.09
21	Dung trọng riêng của nước	ρ_w	T/m^3	Deter	1.00	1.00	
22	Thông số mô hình	m	-	Nor	2.00	2.00	0.20
23	Chiều dài viền thấm	L_t	m	Nor	45.00	45.00	4.50
24	Hằng số Blight	C_B	-	Deter	15.00	15.00	
25	Chiều dày lớp sét	d	m	Nor	4	4	0.4
26	Mực nước ngoài biển	$MNTL$	m	Nor	2.86	2.16	0.3
27	Mực nước trong đồng	$MNHL$	m	Nor	0.50	0.50	0.05

PHÂN BỐ THỐNG KÊ VÀ THAM SỐ CỦA CÁC BIẾN NGẪU NHIÊN ĐÊ SÔNG GIAO THỦY- NAM ĐỊNH

Bảng 8: Các biến ngẫu nhiên của đê sông Giao Thủy, Nam Định

No.	Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Tham số thống kê		
				Luật phân phối	Kỳ vọng toán μ	Độ lệch chuẩn σ
1	Cao trình đỉnh đê	H_k	m	Nor	4.24	0.29
2	Mực nước lũ	FWL	m	Nor	3.62	0.15
3	Chiều cao sóng đềnh KB1	H_S	m	LogNor	0.42	0.063
4	Chiều dài sóng	L	m	Nor	10	1.5
5	Chiều dày lớp áo kè	t	m	Nor	0.2	0.01

No.	Biến ngẫu nhiên	Kí hiệu	Đơn vị	Tham số thống kê		
				Luật phân phối	Kỳ vọng toán μ	Độ lệch chuẩn σ
6	Độ sâu nước trước chân kè	d	m	Nor	1.2	0.3
7	Khối lượng riêng của nước	γ	kN/m$_3$	Deter	10	
8	Khối lượng riêng của đá	γ_b	kN/m$_3$	Nor	24	1
9	Hệ số mái dốc (cotan)	m	-	Nor	3	0.15
10	Lưu lượng lũ sông	Q_1	m^3/s	Nor	4730	365
11	Chiều rộng bãi, khoảng cách từ mép nước đến chân dốc	B_1	m	Nor	315	10
12	Độ sâu trên bãi	H_1	m	Nor	1.6	0.2
13	Hệ số phân bố không đều của lưu tốc	η	-	Deter	2	
14	Góc giữa lưu hướng dòng chảy ở mực nước lũ tính toán và mái bờ	α	rad	Nor	0.53	0.05
15	Hệ số mái chân kè	m	-	Nor	3	0.1
16	Đường kính hạt tính toán của đất đáy sông tại sát chân kè	d	m	Nor	0.01	0.0005
17	Chiều sâu bảo vệ của kết cấu chân đê	h_t	m	Nor	1.8	0.2
18	Dung trọng bão hòa của nền đất	ρ_c	t/m^3	Nor	1.80	0.09
19	Dung trọng của nước	ρ_w	t/m^3	Deter	1.00	-
20	Thông số mô hình	m	-	Nor	2.00	0.2
21	Chiều dài đường viền thấm	L_t	m	Nor	40.00	4.00
22	Chỉ số Blight Blight constant	C_B	-	Deter	15.00	-
23	Chiều dày lớp sét	d	m	Nor	3	0.3
24	MN phía sông	MNS	m	Nor	3.54	0.38
25	MN phía đồng	$MNĐ$	m	Nor	0.5	0.05

PHỤ LỤC 3
MÔ PHỎNG NGẬP LỤT VÀ THIẾT LẬP BẢN ĐỒ PHÂN BỐ ĐỘ SÂU KHU VỰC NGHIÊN CỨU

1. LỰA CHỌN MÔ HÌNH

Để có thể ước tính thiệt hại khi có lũ lụt xảy ra cho vùng nghiên cứu thì việc mô phỏng ngập lụt theo các kịch bản khác nhau, để từ đó xây dựng bức tranh ngập lụt chi tiết cho khu vực là việc làm hết sức cần thiết. Sử dụng công cụ mô phỏng, mô hình hóa bằng các mô hình thủy văn, thủy lực có hiệu quả hơn rất nhiều và cũng là cách tiếp cận hiện đại và đang được sử dụng rộng rãi trong thời gian gần đây trên cả thế giới và ở Việt Nam trong sự kết hợp với cả các lợi thế của phương pháp truyền thống.

Trên thế giới và trong nước hiện có nhiều mô hình thủy động lực đang được áp dụng cho nhiều mục đích khai thác khác nhau như nghiên cứu, quy hoạch và thiết kế hệ thống công trình.., tiêu biểu có thể kể đến SORBEK, DELFT 3D (Hà Lan), MIKE (Đan Mạch), tuy nhiên, mỗi mô hình đều có những ưu nhược điểm riêng và cho đến nay vẫn chưa có một đánh giá toàn diện và chi tiết về khả năng áp dụng trong thực tế của các mô hình nói trên. Sau khi cân nhắc, so sánh các mô hình toán có thế áp dụng cho khu vực phù hợp với mục tiêu nghiên cứu, Tác giả lựa chọn mô hình MIKE 21 Coupled Model FM là công cụ để xây dựng mô phỏng ngập lụt cho khu vực thành phố Hà Nội. MIKE 21 Coupled Model FM cho phép kết hợp kết quả của mô hình mạng thủy lực MIKE 11 và MIKE 21 FM, trong đó MIKE 21 FM là mô hình thuỷ động lực học dòng chảy 2 chiều, có khả năng mô phỏng mực nước và dòng chảy trên sông, cửa sông, vịnh và ven biển, cũng như mô phỏng dòng không ổn định hai chiều ngang trên đồng bằng ngập lũ. Nó có khả năng kết hợp với mô hình 1 chiều Mike 11 chiều mô phỏng chế độ thủy lực của mạng lưới sông. Ưu điểm của mô hình 2 chiều Mike 21 HD là mô phỏng chính xác diện ngập lụt và trường vận tốc trên bề mặt đồng bằng ngập lũ. Do đó MIKE 21 Coupled Model FM có được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu cũng như có nhiều ứng dụng trong thực tiễn ở Việt Nam và trên thế giới.

Dòng chảy trong vùng ngập lũ là dòng chảy 2 chiều theo phương ngang, vừa có dòng chảy tập trung trong các mạng lưới sông suối vừa có dòng chảy tràn trên bề mặt, do vậy nếu sử dụng mô hình 2 chiều để mô phỏng quá trình này thì yêu cầu lưới tính khá chi tiết để mô tả đủ chính xác ảnh hưởng của dòng chảy tập trung trong các kênh, rãnh. Mặt

khác, dòng chảy tràn trên bề mặt chỉ xuất hiện khi có mực nước trong sông cao hơn cao trình bờ (hoặc đê). Trong luận văn này, để giảm thời gian và khối lượng tính toán, việc mô phỏng chế độ ngập lụt của thành phố Hà Nội tác giả sử dụng mô hình MIKE 21 FM (mô phỏng dòng chảy nước nông 2 chiều theo phương ngang) kết hợp với kết quả mô phỏng mạng lưới thủy lực của mô hình MIKE 11 (sử dụng kết quả nghiên cứu đã có sẵn làm biên đầu vào cho mô hình Mike 21FM).

2. CƠ SỞ CỦA MÔ HÌNH MIKE 21 FM

Mô hình thủy lực với lưới tính toán phi cấu trúc (Flexible Mesh viết tắt FM) là một hệ thống mô hình toán hoàn chỉnh cho các bài toán thủy lực 2 chiều (2D) mới được Viện nghiên cứu thủy ực Đan Mạch (DHI) phát triển. Mô hình 2 chiều mới này có cùng thuật toán với mô hình Mike 21HD trước đây nhưng được bổ sung thêm 2 chữ FM do lưới tính toán giờ được cải tiến thành hệ lưới tính toán phi cấu trúc thay cho hệ thống lưới tính toán chữ nhật trước đây.

Hệ phương trình cơ bản của chương trình tính toán được xây dựng trên cơ sở 2 nguyên lý bảo toàn động lượng và bảo toàn khối lượng. Kết quả đầu ra của nghiên cứu là tập hợp các bộ mực nước, dòng chảy (lưu tốc, lưu hướng, lưu lượng trên miền tính toán) tại các nút tính toán tương ứng với các thời đoạn tính.

Mô đun dòng chảy được giải bằng phương pháp lưới phần tử hữu hạn. Mô đun này dựa trên nghiệm số của hệ các phương trình Navier-Stokes trung bình Reynolds cho chấtlỏng không nén được 2 hoặc 3 chiều kết hợp với giả thiết Boussinesq và giả thiết áp suất thuỷ tĩnh. Do đó, mô đun bao gồm các phương trình: phương trình liên tục, động lượng, nhiệt độ, độ muối và mật độ và chúng được khép kín bởi sơ đồ khép kín rối. Với trường hợp ba chiều thì sử dụng xấp xỉ chuyển đổi hệ toạ độ sigma.

Việc rời rạc hoá không gian của các phương trình cơ bản được thực hiện bằng việc sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn trung tâm. Miền không gian được rời rạc hoá bằng việc chia nhỏ miền liên tục thành các ô lưới/phần tử không trùng nhau. Theo phương ngang thì lưới phi cấu trúc được sử dụng còn theo phương thẳng đứng trong trường hợp 3 chiều thì sử dụng lưới có cấu trúc. Trong trường hợp hai chiều các phần tử có thể là phần tử tam giác hoặc tứ giác. Trong trường hợp ba chiều các phần tử có thể là hình lăng

trụ tam giác hoặc lăng trụ tứ giác với các phần tử trên mặt có dạng tam giác hoặc tứ giác. Các phương trình cơ bản:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial u}{\partial z}=S$$

Phương trình động lượng theo phương x và phương y tương ứng:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial u^2}{\partial x}+\frac{\partial vu}{\partial y}+\frac{\partial wu}{\partial z}=fv-g\frac{\partial \eta}{\partial t}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial \rho_0}{\partial x}-\frac{g}{\rho_0}\int_z^{\eta}\frac{\partial \rho_0}{\partial x}dz+F_u+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_t\frac{\partial u}{\partial z}\right)+u_s s$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial v^2}{\partial x}+\frac{\partial vu}{\partial y}+\frac{\partial wu}{\partial z}=-fu-g\frac{\partial \eta}{\partial t}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial \rho_0}{\partial y}-\frac{g}{\rho_0}\int_z^{\eta}\frac{\partial \rho_0}{\partial y}dz+F_u+\frac{\partial}{\partial z}\left(v_t\frac{\partial v}{\partial z}\right)+v_s s$$

Trong đó, t là thời gian; x, y và z là toạ độ Đề các; là dao động mực nước; d là độ sâu; h=η +d là độ sâu tổng cộng; u, v và w là thành phần vận tốc theo phương x, y và z; f=2Ω sinφ là tham số Coriolis; g là gia tốc trọng trường; là mật độ nước; t là nhớt rối thẳng đứng; pa là áp suất khí quyển; o là mật độ chuẩn; S là độ lớn của lưu lượng do các điểm nguồn và (u_s, v_s) là vận tốc của dòng lưu lượng đi vào miền tính. F_u, F_v là các số hạng ứng suất theo phương ngang.

3. MÔ HÌNH NGẬP LỤT THÀNH PHỐ HÀ NỘI

3.1. Thiết lập lưới tính cho mô hình ngập lụt

3.1.1. Các tiêu chí và xác định phạm vi mô hình:

- Các điểm mở phải đặt ở điểm đủ cách xa nhau sao cho chúng độc lập với nhau hay ít phụ thuộc vào nhau;
- Các điểm biên mở thượng lưu để chạy các phương án dự báo tác động của dòng chảy sông lũ đến khu vực đê vỡ tại vị trí giả định phải đặt ở vị trí đủ xa sao cho có thể mô phỏng tác động của nó đến khu vực nghiên cứu được thể hiện chính xác, không thấy xuất hiện các biến động bất thường trong quá trình và kết quả mô phỏng mô hình toán.

Vì vậy phạm vi nghiên cứu trên mô hình toán được thiết lập như sau:

- Giới hạn biên trên: là nơi gán các trị số về lưu lượng tại khu vực Liên Trung cách khu vực giả định vỡ đê TH1 là 15km về phía Bắc;

- Giới hạn biên dưới: là nơi gán các trị số về mực nước tại vị trí cầu Thanh Trì; Miền tính toán được khống chế bởi Quốc Lộ 5 và Tỉnh lộ 70A.

3.1.2. Các yếu tố địa hình cần thiết lập:

Để khoanh vùng nguy cơ ngập lụt cho khu vực Hà Nội bằng mô hình Mike 21FM, công tác chuẩn bị các dữ liệu đầu vào các thông số đòi hỏi nhiều thời gian và khá phức tạp, các dữ liệu đầu vào có vai trò hết sức quan trọng vì nó quyết định độ chính xác của mô hình. Các dữ liệu được sử dụng trong mô hình gồm: Các loại bản đồ địa hình tỷ lệ 1/25000; bản đồ cao độ số (DEM) với độ phân giải (15×15) m; dữ liệu địa hình mặt cắt ngang lòng dẫn; dữ liệu khí tượng thủy văn; các thông tin về tình hình ngập lụt (vết lũ, nguy cơ; diện tích, mức độ ảnh hưởng, …); hệ thống các công trình tiêu, thoát nước.

Bản đồ địa hình tỷ lệ 1/25.000 với bảy lớp thông tin gồm: địa hình, ranh giới hành chính, giao thông, thảm thực vật, hệ thống sông ngòi, cơ sở, dân cư. Các bản đồ này được sử dụng làm bản đồ nền để thể hiện kết quả khoanh vùng ngập lụt khu vực Hà Nội;

Mô hình cao độ số (DEM) với độ phân giải (15×15) m: trên dữ liệu bản đồ địa hình tỷ lệ 1:25.000 tiến hành gán thuộc tính của các đường đồng mức, thuộc tính của các điểm cao độ, sau đó sẽ xây dựng mô hình cao độ số để làm đầu vào dạng nền địa hình cho mô hình Mike 21.

Dữ liệu mặt cắt ngang lòng dẫn: được thu thập từ các đề tài, dự án đã thực hiện, số liệu mặt cắt trên các sông được cập nhật đến năm 2010;

3.1.3. Phương pháp thiết lập:

a- Thiết lập điều kiện địa hình tự nhiên:

Điều kiện địa hình tự nhiên ở đây bao gồm địa hình lòng sông và bãi sông tự nhiên và cao độ địa hình nền toàn bộ khu vực nghiên cứu. Phương pháp thiết lập như sau: Từ tập hợp các toạ độ điểm theo 3 phương X, Y và Z của số liệu bình đồ, đã được nhập vào mô hình Mike 21FM. Do kích thước lưới chia nhỏ hơn khoảng cách giữa các điểm địa hình, cho nên sẽ xuất hiện những ô lưới thiếu số liệu. Những số liệu còn thiếu này sẽ được bổ sung bằng phương pháp nội suy từ những số liệu đã tồn tại.

b- Thiết lập địa hình vật cản, nhà cửa trên bãi sông lên mô hình:

Thế mạnh của mô hình 2 chiều so với mô hình 1 chiều là có thể mô phỏng được những vật cản, nhà cửa trên bãi sông, những đối tượng có tác động làm thu hẹp thể tích

chứa nước của lòng dẫn. Trong khi đó, mô hình 1 chiều chỉ thể hiện tác động này thông qua hệ số nhám trung bình cho cả đoạn dài nơi mà có mặt những vật cản trên đó.

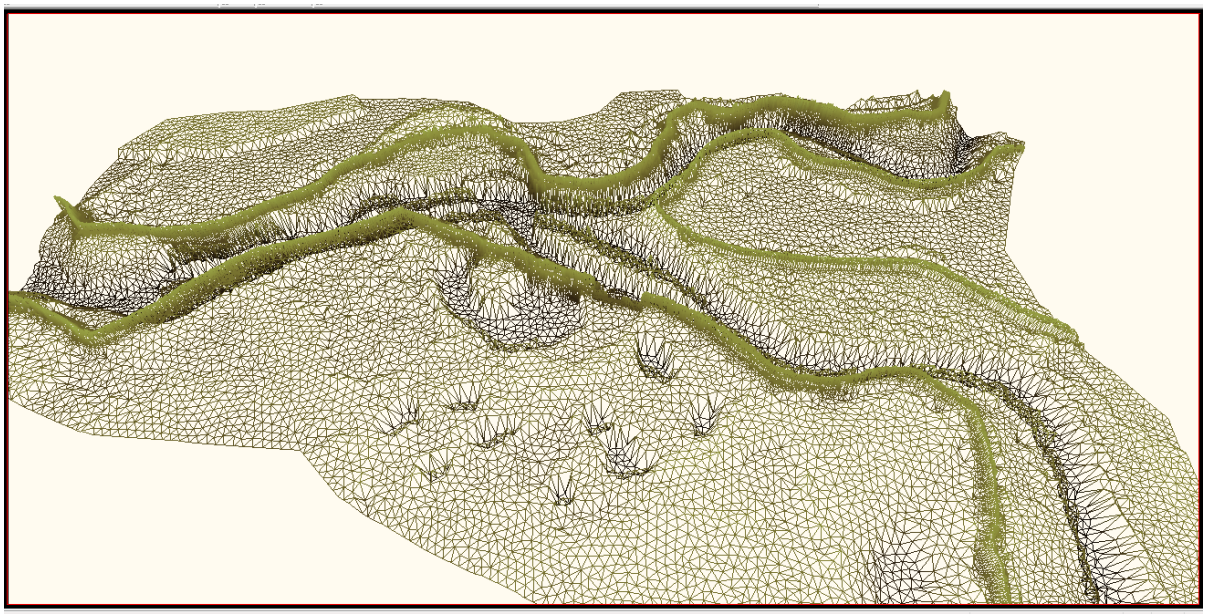
Việc mô phỏng các vật cản nói chung và nhà cửa nói riêng trên mô hình toán 2 chiều có thể được thực hiện theo cách:

- Coi vật cản có một sức cản với dòng chảy và thể hiện nó thông qua hệ số nhám n (Manning cofficient).
- Coi vật cản như là một điểm địa hình, có nghĩa là vật cản nằm trong ô địa hình nào thì ô địa hình đó sẽ có cao độ được gán bằng một giá trị thích hợp sao cho dòng chảy lũ không tràn qua trong suốt thời gian tính toán.

Xét trên thực tế, rất ít các hộ dân sống độc lập ở 1 vùng bãi sông nào đó, thường thì họ phải sống gần nhau để hình thành các cụm dân cư. Hình ảnh này được thấy trên các bãi sông Hồng, như các cụm dân cư thuộc địa phận xã Hải Bối, các quận trung tâm Hà Nội, xã Bát Tràng, xã Yên Mỹ, xã Duyên Hà v.v.. Cho nên, cách mô phỏng thứ 2 là phù hợp để mô phỏng nhà cửa, khu dân cư trên mô hình.

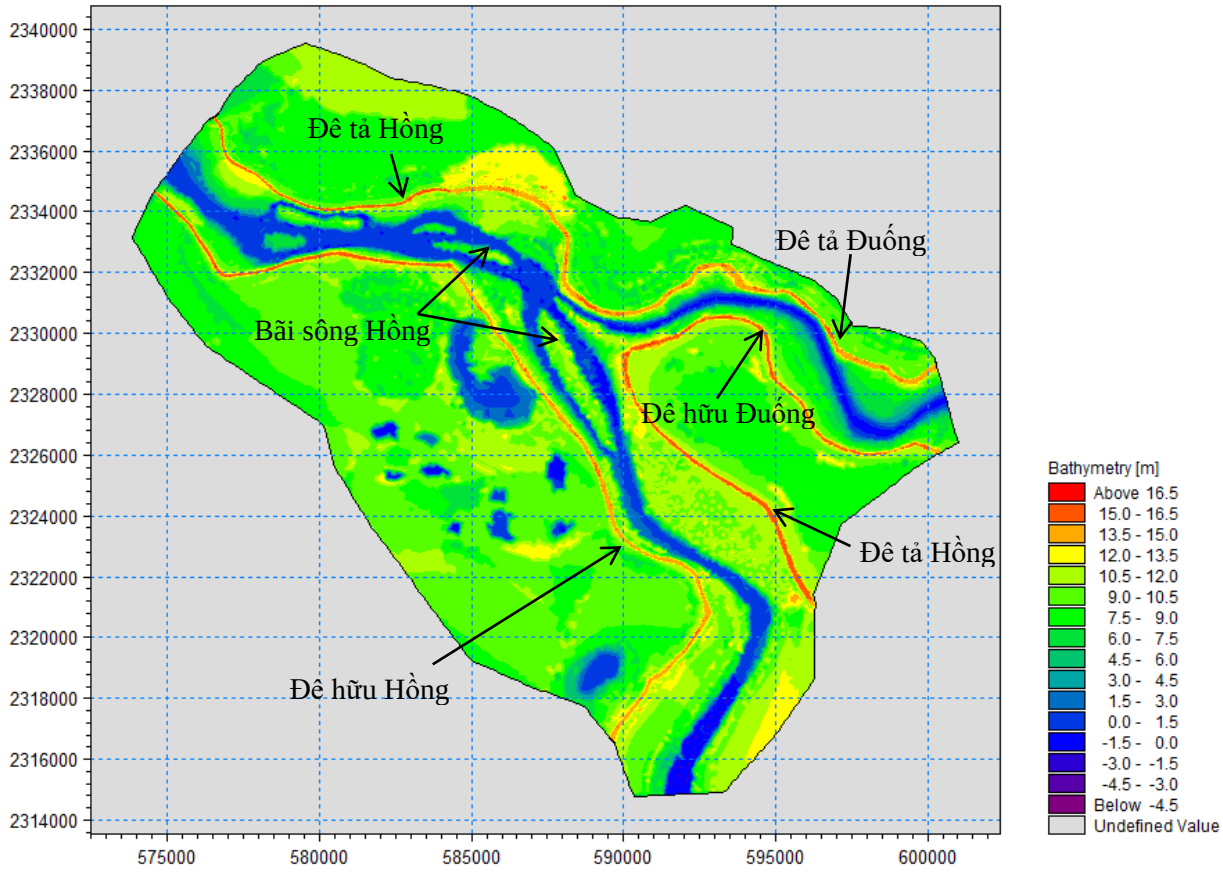
3.1.4. Kết quả thiết lập địa hình:

Hệ thống lưới phi cấu trúc của MIKE 21 cung cấp khả năng mô phỏng tối đa những biến đổi đa dạng của địa hình trong khu vực nghiên cứu. Các phần tử tính toán có kích thước nhỏ có thể được sử dụng trong các khu vực cần quan tâm như tại các khu vực hệ thống đê, ngược lại các phần tử lớn hơn được áp dụng trong các khu vực ít quan trọng hơn. Điều này làm giảm đáng kể khối lượng tính toán không cần thiết, tăng tốc độ tính toán.



Hình 14: Hệ thống lưới tính toán phi cấu trúc

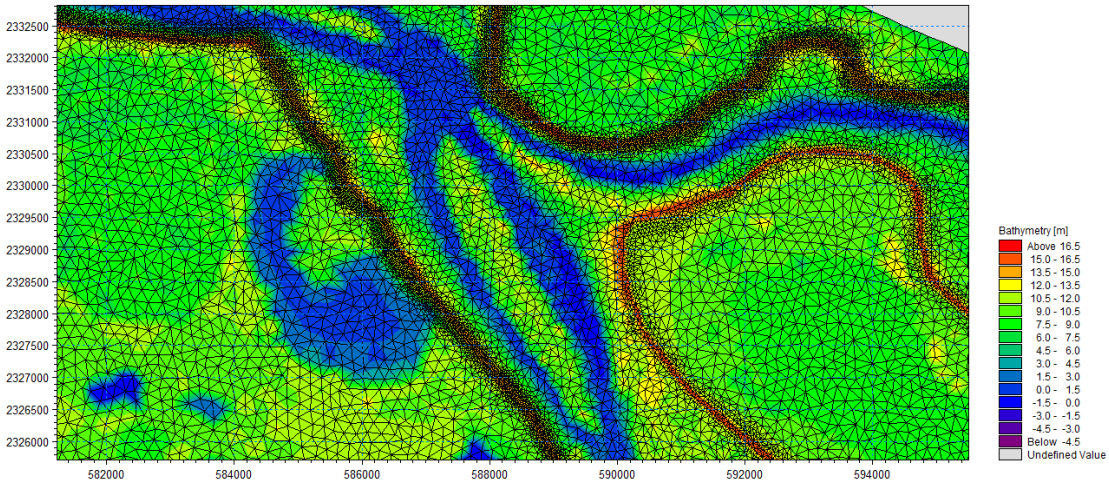
Kết quả thiết lập địa hình của khu vực nghiên cứu được thể hiện trên hình sau:



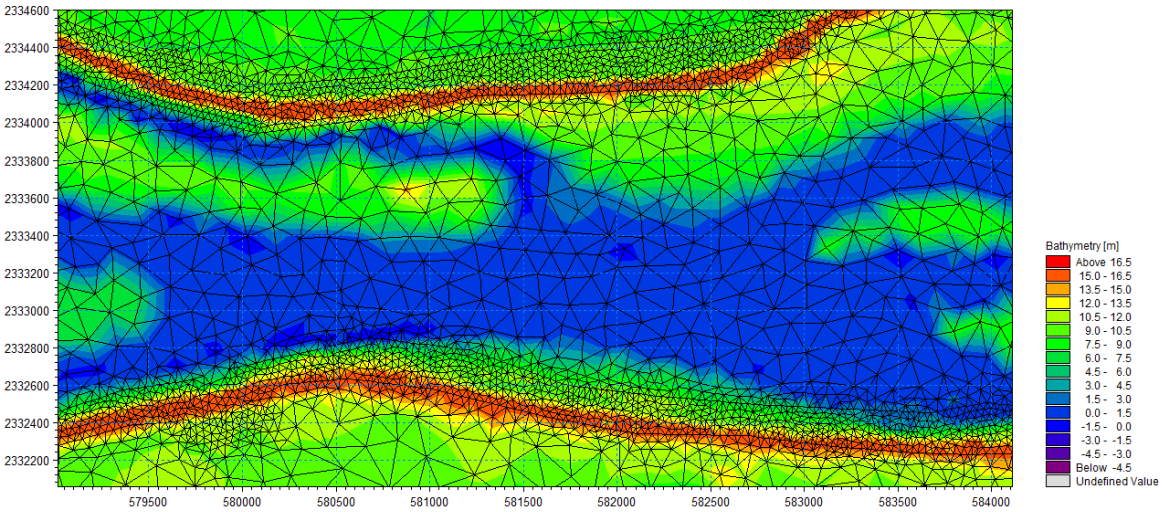
Hình 15: Địa hình khu vực nghiên cứu

Qua đó cho thấy địa hình đã mô phỏng rõ ràng, đầy đủ địa hình lòng sông, bãi sông, các bãi nổi (island), các khu vực dân cư sẽ được điều chỉnh hệ số nhám sao cho phù hợp với các điều kiện về dòng chảy.

Kết quả số hóa địa hình và hạ tầng hiện trạng khu vực nghiên cứu để chạy mô hình Mike 21FM như các hình…Kết quả phân tích đã lựa chọn miền tính có diện tích khoảng 300 km^2 , trong đó phần diện tích bên bờ hữu Hồng khoảng 200 km^2; Lưới tính của mô hình gồm 63875 phần tử và 28596 nút tính đủ để mô phỏng chi tiết địa hình trong khu vực nghiên cứu và đủ mịn để chạy các phương án mô phỏng lũ hiện trạng tại vùng nghiên cứu. Các ô lưới trung bình có diện tích 20,000 m^2 ở khu vực thành phố, dân cư; Các khu vực có ô lưới mịn nhất là các tuyến đê có diện tích khoảng 400 m^2.



Hình 16: Địa hình và hệ thống lưới tính toán chi tiết cho 1 khu vực thuộc phạm vi nghiên cứu



Hình 17: Địa hình và hệ thống lưới tính toán chi tiết hệ thống đê thuộc phạm vi nghiên cứu

3.1.5. Thiết lập các điều kiện biên của mô hình:

- Biên cứng: Được giới hạn bởi Quốc lộ QL5 và Tỉnh lộ TL70A

- Biên hở thượng lưu (Kí hiệu CODE2): nằm trên sông Hồng, được biểu diễn dưới dạng lưu lượng dòng chảy qua toàn bộ mặt cắt ngang tại khu vực Liên Trung;

+ Điểm bên phải: X1= 574791.494; Y1= 2334925.932;

+ Điểm bên trái: X2= 576333.503; Y2= 2336807.180;

- Biên hở hạ lưu 1 (Kí hiệu CODE3): nằm trên sông Hồng khu vực cầu Thanh Trì 3 km, được biểu diễn dưới dạng mực nước.

+ Điểm bên phải: X1= 590564.449; Y1= 2314902.028

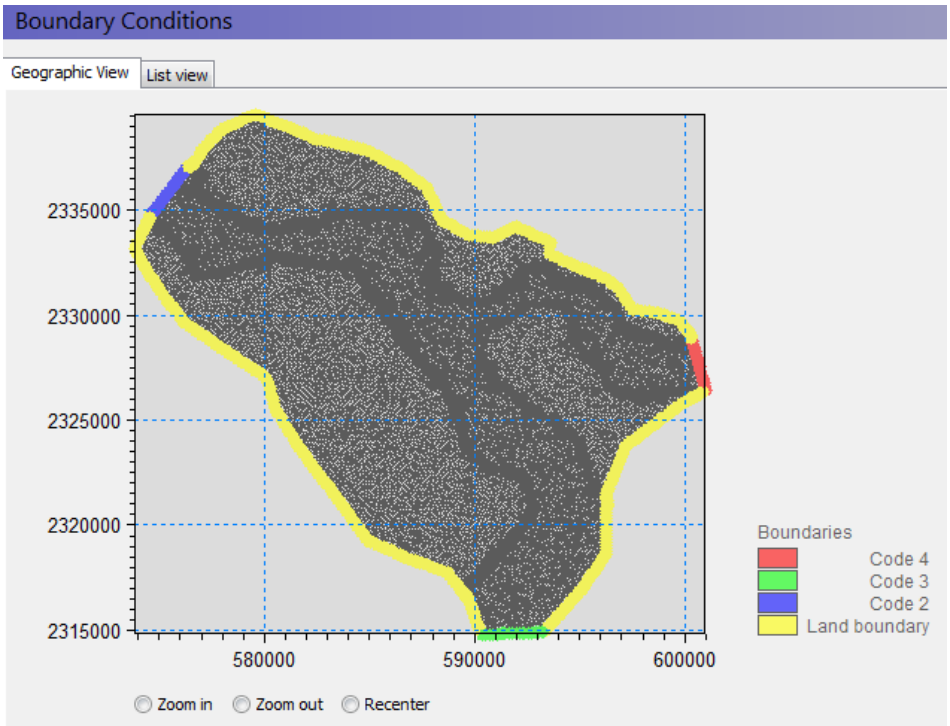
+ Điểm bên trái: X2= 592250.194; Y2= 2314901.285

- Biên hở hạ lưu 2 (Kí hiệu CODE4): nằm trên sông Đuống, được biểu diễn dưới dạng mực nước.

+ Điểm bên phải: X1= 600522.303; Y1= 2327490.329;

+ Điểm bên trái: X2= 600385.804 ; Y2= 2328284.506;

Do không có trạm thuỷ văn đo đạc dòng chảy và mực nước tại các biên, cho nên các điều kiện biên dòng chảy trong mô hình Mike 21FM ứng dụng cho khu vực nghiên cứu đều được trích từ các kết quả tính toán của mô hình 1 chiều Mike 11 tính toán cho toàn hệ thống sông Hồng, sông Thái Bình.



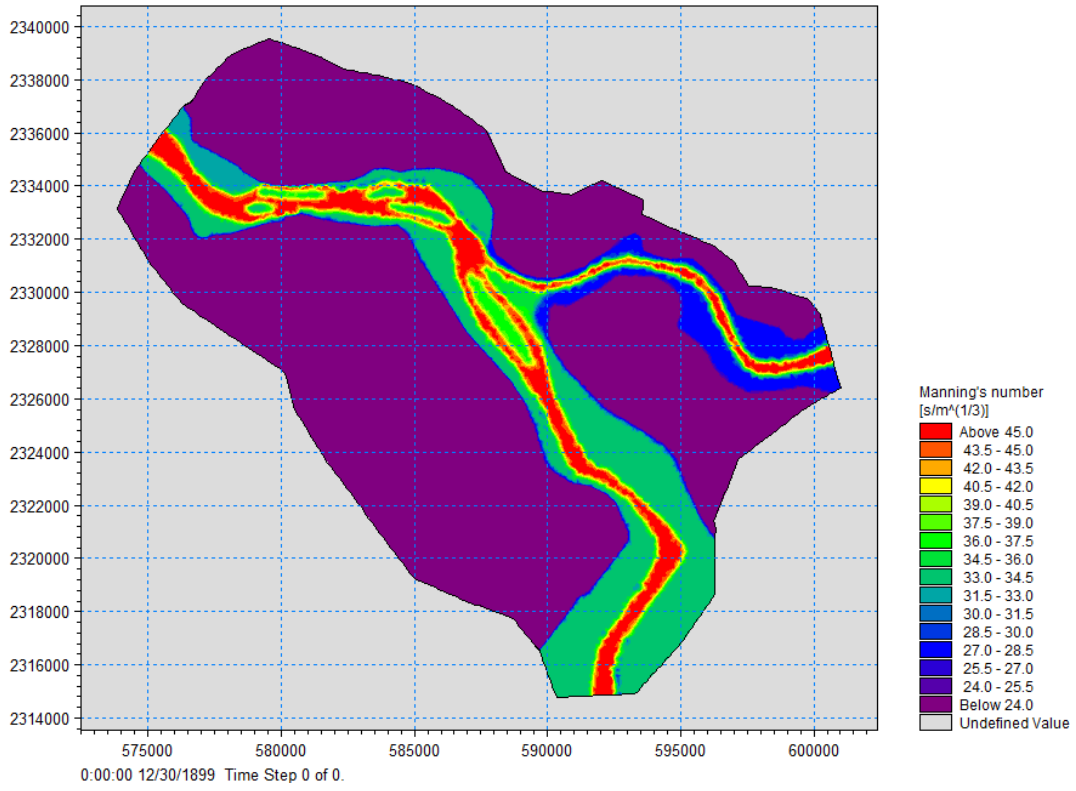
Hình 18: Các biên tính toán mô hình thủy lực

3.1.6. Các thông số chính của mô hình:

- Bước thời gian tính toán **Δt = 180 giây**, được lựa chọn trên cơ sở kích thước ô lưới tính toán, tốc độ dòng chảy sao cho số Courant (Cr) nằm dưới giới hạn cho phép và mô hình ổn định trong suốt quá trình tính toán.
- Hệ số nhớt ε = 1,5 $m^{1/2}/s$, có tác dụng trong việc làm tăng tính ổn định của mô hình.
- Hệ số nhám theo Manning (M) được xác định cụ thể cho phần lòng sông, bãi giữa, bãi bên và các khu vực dân cư trong trường hợp mô phỏng cho dòng chảy lũ tràn qua. Hệ số nhám phụ thuộc vào đặc điểm hình thái sông trên khu vực nghiên cứu (sông phù sa, địa hình lòng sông, thảm phủ thực vật bãi sông v.v.) và được điều chỉnh phù hợp trên cơ sở kết quả kiểm định thủy lực của mô hình

Bảng 9: Hệ số nhám Manning

Sông	Manning coefficient (1/n)				Ghi chú
	Lòng chính	Bãi sông	Bãi giữa	Dân cư	
Hồng	43.478	33.333	37.037	25.333	
Hồng	45.454	33.333	37.037	25.333	
Đuống	28.571	25	28.571	25.333	
Khu dân cư	23.333				



Hình 19: Bộ thông số Manning's number

3.1.7. Kết quả hiệu chỉnh mô hình thủy lực

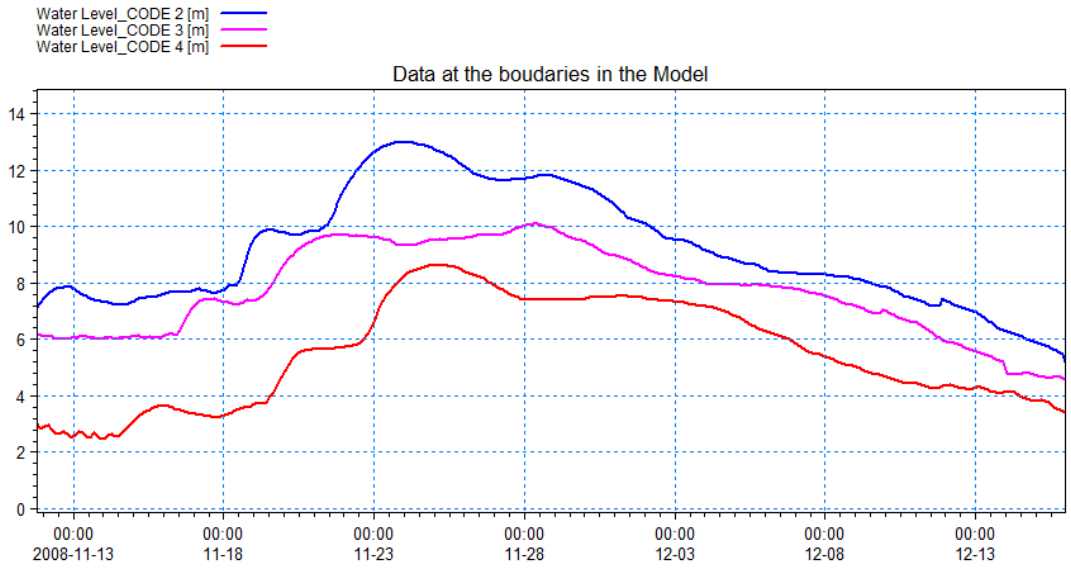
Mục đích của việc hiệu chỉnh mô hình là nhằm đồng nhất tất cả các bộ thông số của mô hình về mặt thời gian sao cho giảm đến mức nhỏ nhất những sai lệch của kết quả mô phỏng. Trong phần này tác giả thực hiện hiệu chỉnh với các bước và kết quả như sau:

3.1.7.1. Nguyên tắc hiệu chỉnh

- Xác định các số liệu biên và số liệu tại các trạm hiệu chỉnh bên trong hệ thống.
- Chạy mô hình thuỷ lực theo các số liệu biên đã có.
- Thay đổi độ nhám (Hệ số Manning) để tìm ra bộ thông số nhám hợp lý cho hệ thống sông sao cho kết quả tính toán mô phỏng từ mô hình gần nhất với số liệu thực đo tại các trạm đo.
- Đánh giá sự khác nhau giữa mực nước, lưu lượng thực đo và tính toán tại các trạm kiểm định.
- Nếu sự chênh lệch lớn hơn độ chính xác cho phép thì hiệu chỉnh số liệu nhám và quay lại bước chạy mô hình cho đến khi đạt kết quả mong muốn.

3.1.7.2. Trận lũ dùng để hiệu chỉnh

Trong quá trình thực hiện tác giả thu thập được số liệu thực đo đợt lũ xảy ra tháng 11 năm 2008, từ ngày 8/11 đến 28/12, chuỗi số liệu mực nước như sau:



Hình 20: Quá trình mực nước tại các biên mô hình

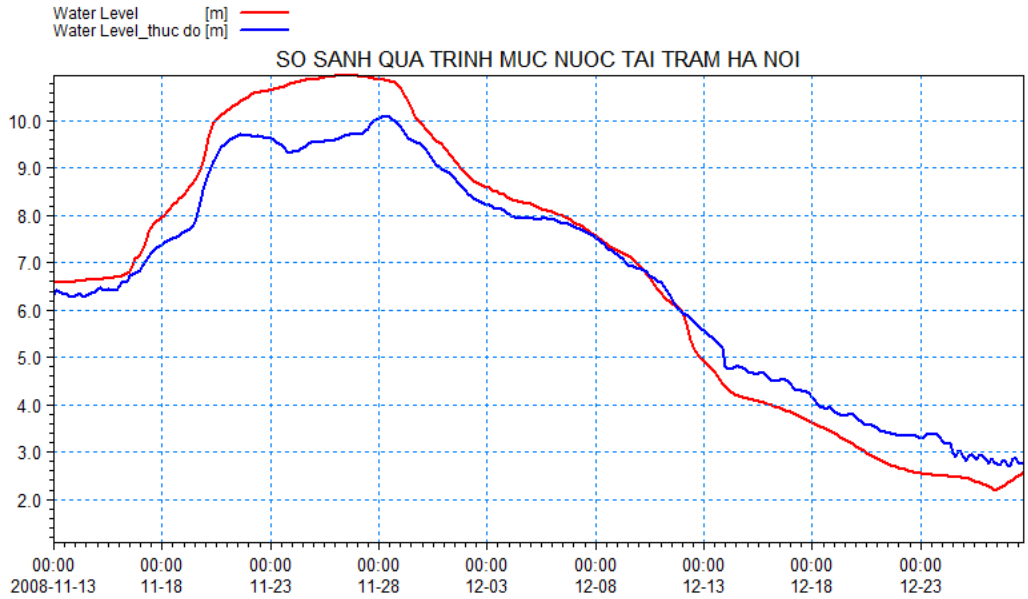
- Q_{max} tại CODE2=14,500 m^3;
- H_{max} tại CODE2= 12.89 m;
- H_{max} tại CODE3= 10.15 m;

- H_{max} tại CODE4= 8.56 m;

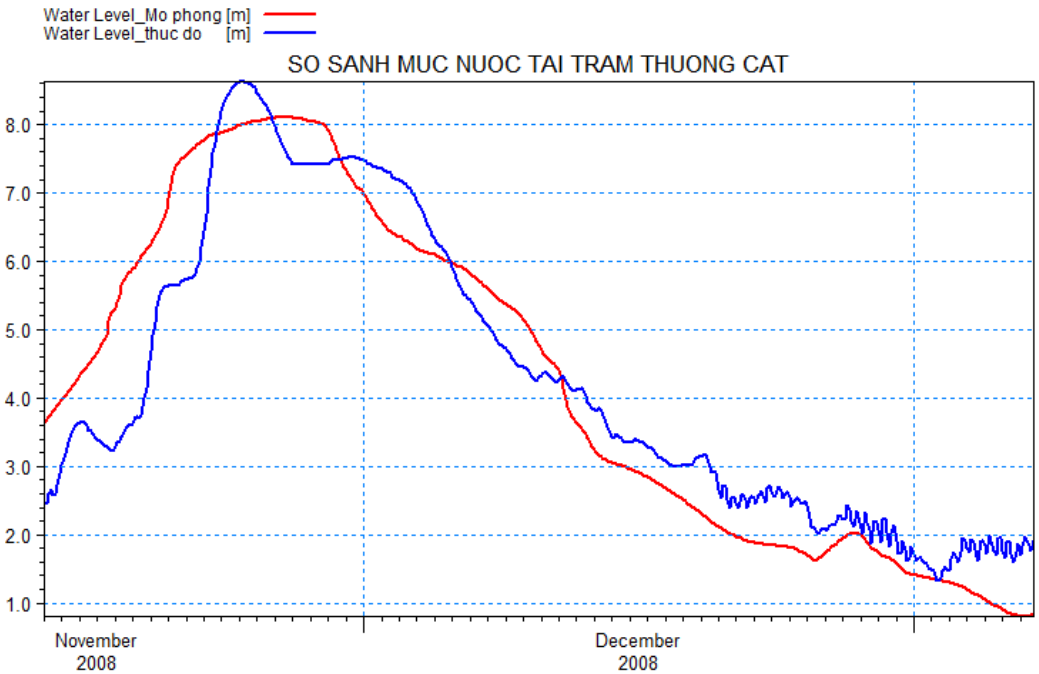
3.1.7.3. Kết quả hiệu chỉnh mô hình thủy lực:

Kết quả tính toán thuỷ lực từ mô hình Mike 21 FM được so sánh với số liệu thực đo tại 2 vị trí trạm thủy văn Hà Nội (sông Hồng) và Thượng Cát (sông Đuống) với các yếu tố kiểm định là:

- Quá trình mực nước H~t tại các trạm thủy văn Thượng Cát và Hà Nội.



Hình 21: So sánh mực nước tại trạm Hà Nội



Hình 22: So sánh mực nước tại trạm Thượng Cát

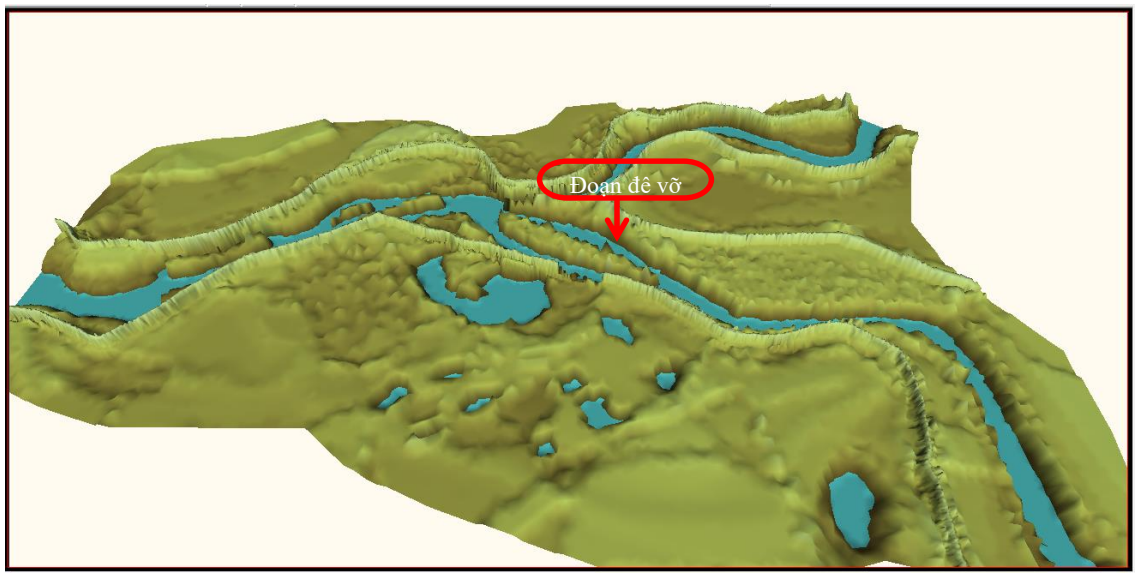
Nhận xét:

Nhìn chung kết quả hiệu chỉnh cho thấy tương đối tốt. Có sự sai khác về mực nước tương đối nhỏ giữa kết quả mô phỏng và số liệu mực nước thực đo tại trạm Hà Nội; Kết quả hiệu chỉnh tại trạm Hà Nội cũng cho thấy đường quá trình mực nước thiên lớn vào quãng thời gian đỉnh lũ và thiên nhỏ khi lũ rút; Kết quả tương tự đối với trạm Thượng Cát, tuy nhiên đối với trạm Thượng Cát độ chênh lệch là nhỏ hơn giữa mực nước thực đo và mô phỏng trong quá trình lũ lên . Điều này có thể giải thích do kết quả mô hình cũng nhạy với độ chính xác của địa hình. Sự chênh lệch giữa kết quả mô phỏng với các số liệu thực đo cũng có nguyên nhân lớn là do sự không đồng nhất về các thời điểm đo mực nước và địa hình. Trong quá trình thực hiện tác giả đã dày công để thực hiện các điều chỉnh về bộ thông số nhám để tìm ra được một bộ thông số cho kết quả tốt nhất

Từ đánh giá nêu trên, cho thấy việc thiết lập mô hình và các thông số nhập vào mô hình Mike 21FM cho việc mô phỏng thuỷ lực trên đoạn sông nghiên cứu có sự phù hợp. Điều này cho phép mô hình có đủ độ tin cậy làm cơ sở để tính toán phân tích thủy lực trong các trường hợp nghiên cứu theo các kịch bản mô phỏng ngập lụt khác nhau.

3.2. Các kịch bản mô phỏng ngập lụt

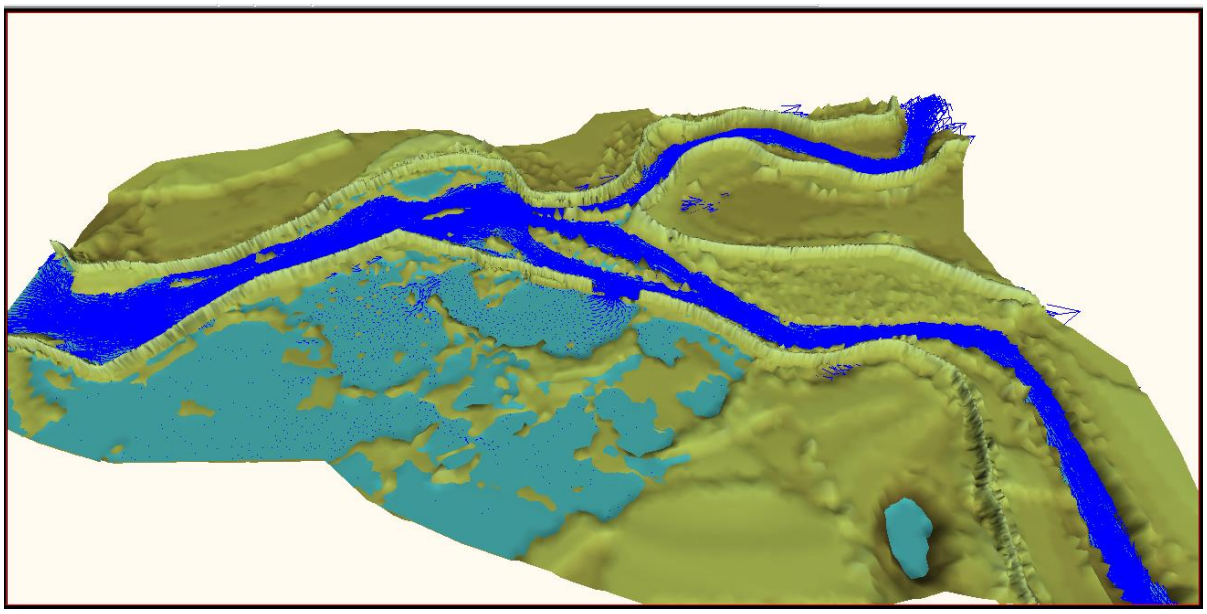
- **Kịch bản 1**: Ngập lụt do vỡ đê hữu Hồng vào mùa lũ khi ứng với mực nước và lưu lượng đạt tần suất thiết kế với P=1/500 năm tại trạm Hà Nội (Tại Hà Nội mực nước sông Hồng là 13,40m, lưu lượng lũ là 25000m^3) với giả thuyết đê sông bị vỡ có chiều dài khoảng 80m tại khu vực Liên Trì (khu vực đã từng xảy ra vỡ đê năm 1971)
- **Kịch bản 2:** Ngập lụt do vỡ đê hữu Hồng vào mùa lũ khi ứng với mực nước và lưu lượng đạt tần suất thiết kế với P=1/500 năm tại trạm Hà Nội (Tại Hà Nội mực nước sông Hồng là 13,40m, lưu lượng lũ là 25000m^3) với giả thuyết đê sông bị vỡ có chiều dài khoảng 80m tại khu vực Liên Mạc.
- **Kịch bản 3:** Ngập lụt do vỡ đê hữu Hồng vào mùa lũ khi ứng với mực nước và lưu lượng đạt tần suất thiết kế với P=1/500 năm tại trạm Hà Nội (Tại Hà Nội mực nước sông Hồng là 13,40m, lưu lượng lũ là 25000m^3) với giả thuyết đê sông bị vỡ có chiều dài khoảng 80m gần cống Yên Sở (khu vực hồ Thanh Trì)



Hình 23: Địa hình 3D khu vực nghiên cứu Kịch bản 1

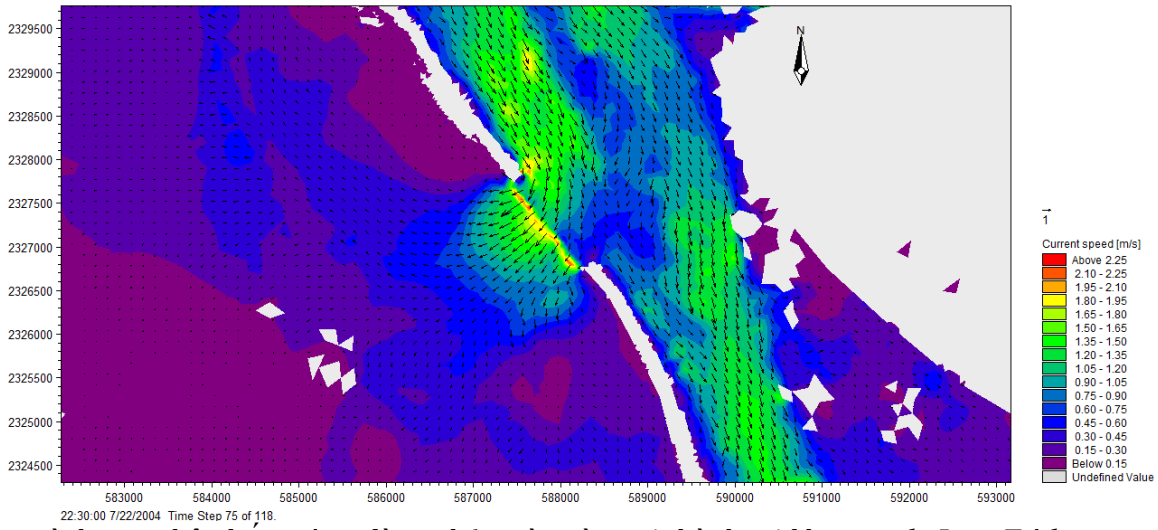
3.3. Kết quả mô phỏng

3.3.1. Kịch bản 1



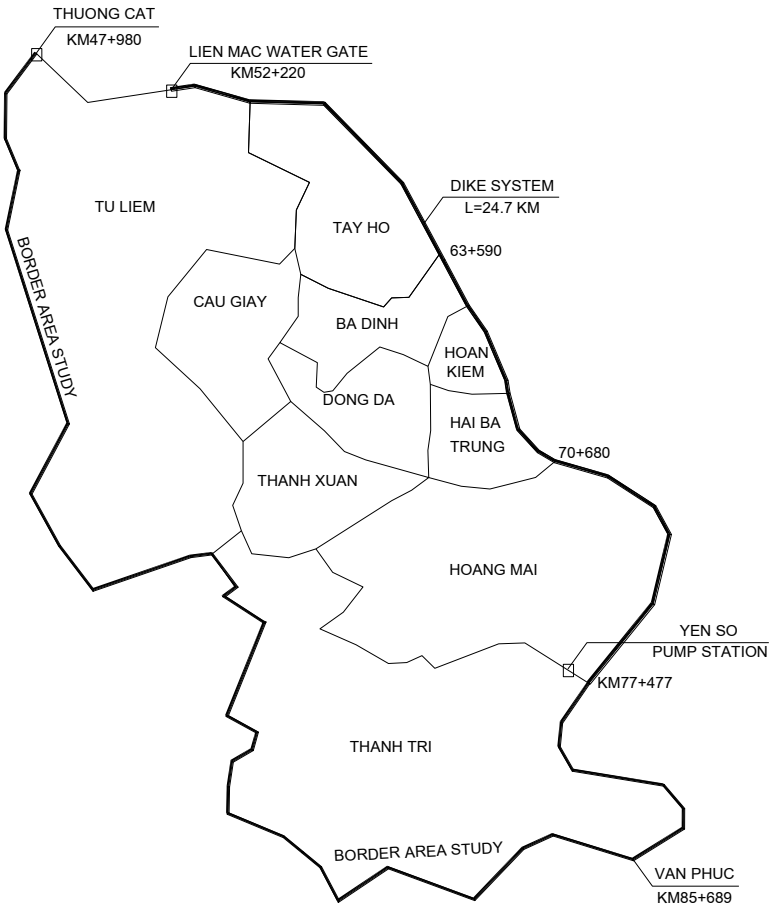
Hình 24: Phân bố ngập lụt thời điểm đỉnh lũ, kịch bản đê Hữu Hồng bị vỡ tại Liên Trì với chiều rộng vết vỡ 80m.

Phân bố trường vận tốc dòng chảy ngập lụt thời điểm đỉnh lũ



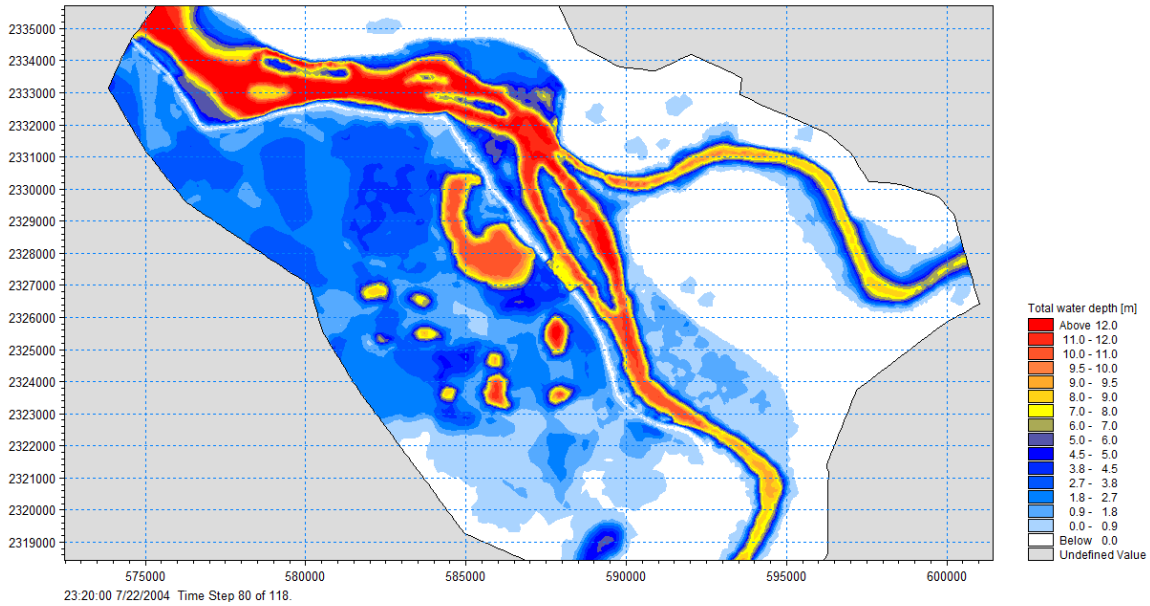
Hình 25: Phân bố trường dòng chảy tràn vào nội thành tại khu vực đê Liên Trì bị vỡ

Để có thể xác định ảnh hưởng của dòng chảy ngập lụt đến từng quận huyện dựa vào bản đồ hành chính các quận nội thành Hà Nội như sau:



Hình 26: Vị trí các quận nội thành Hà Nội trong khu vực nghiên cứu

Kết quả trường độ sâu ngập lụt theo kịch bản một như sau:



Hình 27: Độ sâu ngập lụt theo kịch bản 1

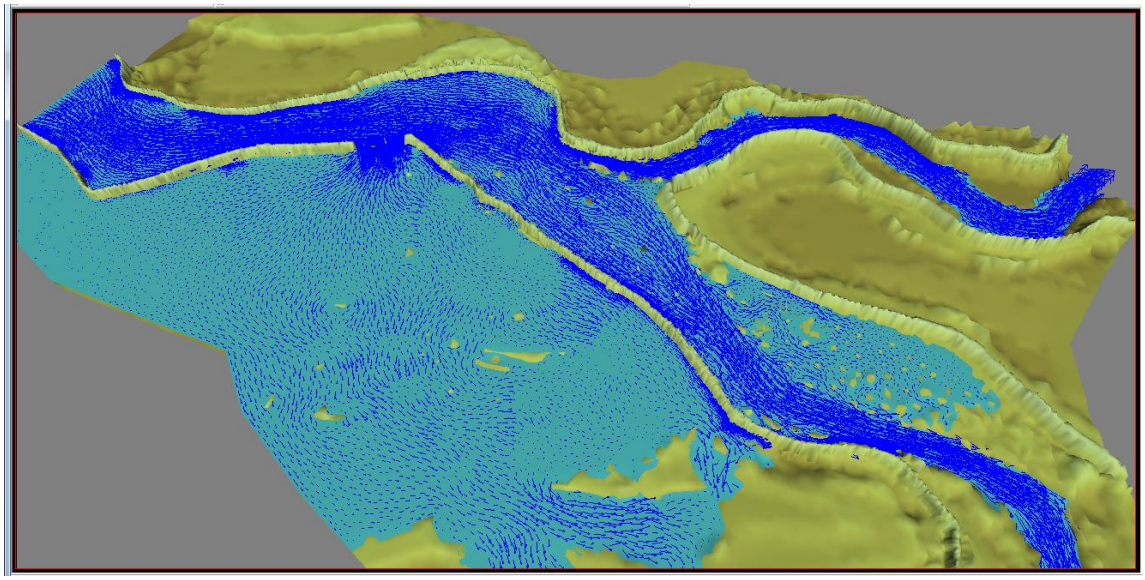
Dựa vào kết quả mô phỏng ngập lụt ta xác định được diện tích ngập lụt và độ sâu ngập lụt tại các quận, huyện nội thành Hà Nội theo kịch bản 1 như sau:

Bảng 10: Độ sâu ngập lụt theo kịch bản 1

Quận/Huyện	**Diện tích (km^2)**	**Diện tích ngập lụt (km2)**	**Độ sâu ngập lụt trung bình (m)**	**Vận tốc dòng chảy lớn nhất (m/s)**
Ba Đình	9,3	9,11	2,85	**1,50**
Hoàn Kiếm	5,3	4,91	3,15	**1,80**
Đống Đa	10,2	8,86	2,25	**0,80**
Thanh Xuân	9,1	8,28	1,85	**0,60**
Cầu Giấy	12,0	10,56	2,2	**0,65**
Hai Bà Trưng	9,6	7,23	1,8	**1,40**
Tây Hồ	24,0	19,2	2,54	**0,80**
Hoàng Mai	40,2	15,16	0,8	**0,60**
Từ Liêm	32,27	28,56	2,71	**0,40**

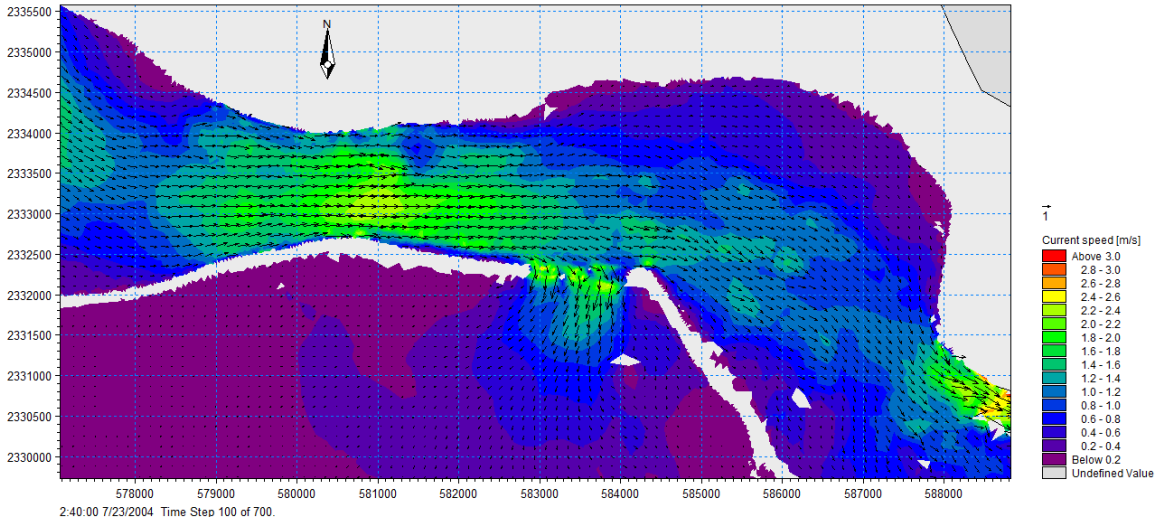
Nhìn chung kết quả mô phỏng ngập lụt là hợp lý, các quận gần khu vực đê bị vỡ có dòng chảy và diện tích ngập lụt là lớn. Các quận bị ngập nặng nhất như: Ba Đình với độ sâu ngập lụt trung bình là 2.85 m; quận Hoàn Kiếm với độ sâu ngập lụt là 3.15 m;

3.3.2. Kịch bản 2



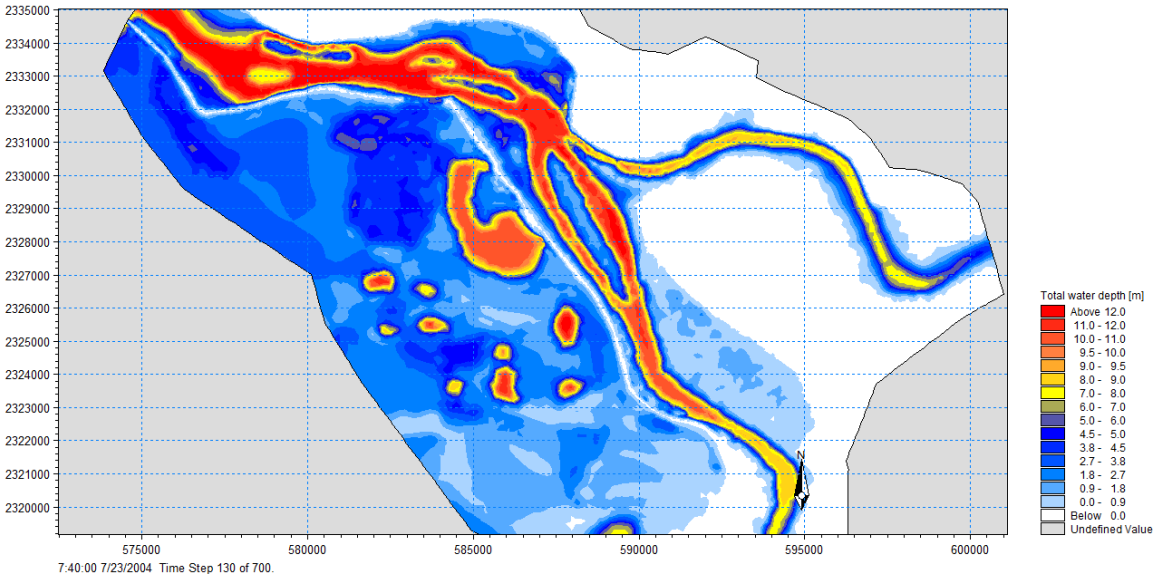
Hình 28: Phân bố ngập lụt thời điểm đỉnh lũ, kịch bản đê Hữu Hồng bị vỡ tại Liên Mạc với chiều rộng vết vỡ 80m.

Từ kết quả mô phỏng có thể nhận thấy, dòng chảy lũ hầu như gây ngập lụt phần lớn nội thành Hà Nội với mức độ khác nhau phù thuộc vào địa hình của từng khu vực.



Hình 29: Trường dòng chảy ngập lụt tại vị trí vỡ đê theo kịch bản 2

Tại khu vực đê vỡ dòng chảy ngập lụt có thể đạt đến 2.5 m/s, dòng chảy lũ theo vết vỡ đê xâm nhập vào vùng được bảo vệ, cũng vì lý do này bên ngoài sông tốc độ dòng chảy lũ giảm xuống đáng kể chỉ khoảng 1.5 m/s;



Hình 30: Độ sâu ngập lụt theo kịch bản 2

Kết quả mô phỏng ngập lụt theo kịch bản 2 như sau:

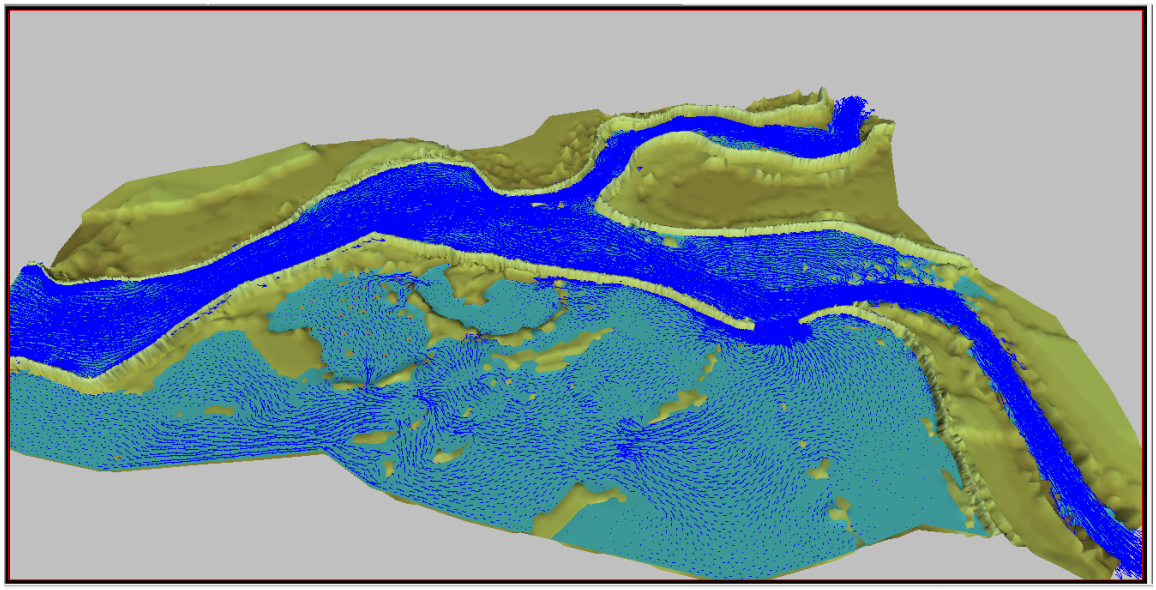
Bảng 11: Độ sâu ngập lụt theo kịch bản 2

Quận/Huyện	**Diện tích (km^2)**	**Diện tích ngập lụt (km2)**	**Độ sâu ngập lụt trung bình (m)**	**Vận tốc dòng chảy lớn nhất (m/s)**
Ba Đình	9,3	9,11	2,65	**1,5**
Hoàn Kiếm	5,3	4,96	3,15	**1,8**
Đống Đa	10,2	9,13	2,50	**0,8**
Thanh Xuân	9,1	8.28	2.25	**0,6**
Cầu Giấy	12,0	11,86	2,8	**1,35**
Hai Bà Trưng	9,6	5,75	1,2	**1,4**
Tây Hồ	24,0	23,5	3,2	**1,8**
Hoàng Mai	40,2	11.16	0.8	**0,6**
Từ Liêm	32,27	31.56	2.71	**0,4**

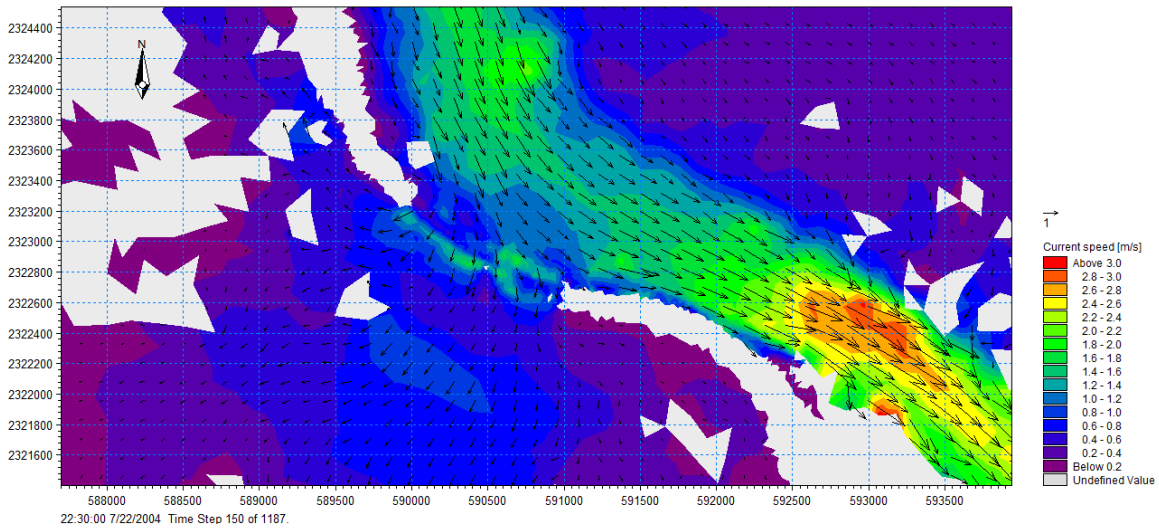
Các quận bị ngập nặng nhất là Quận Hoàn Kiếm với độ sâu ngập lụt trung bình lên tới 3.15m với hơn 90% Tổng diện tích bị nhấn chìm trong nước; tương tự với Quận Tây Hồ độ sâu ngập lụt trung bình 3.2m, vận tốc dòng chảy ngập lụt tại thời điểm dòng chảy lớn nhất là 1.8m/s.

3.3.3. Kịch bản 3

Tương tự như các trường hợp ở kịch bản 1 &2, ta xem xét phân bố độ sâu ngập lụt và tốc độ dòng chảy ngập lụt khi vỡ đê xảy ra như sau:

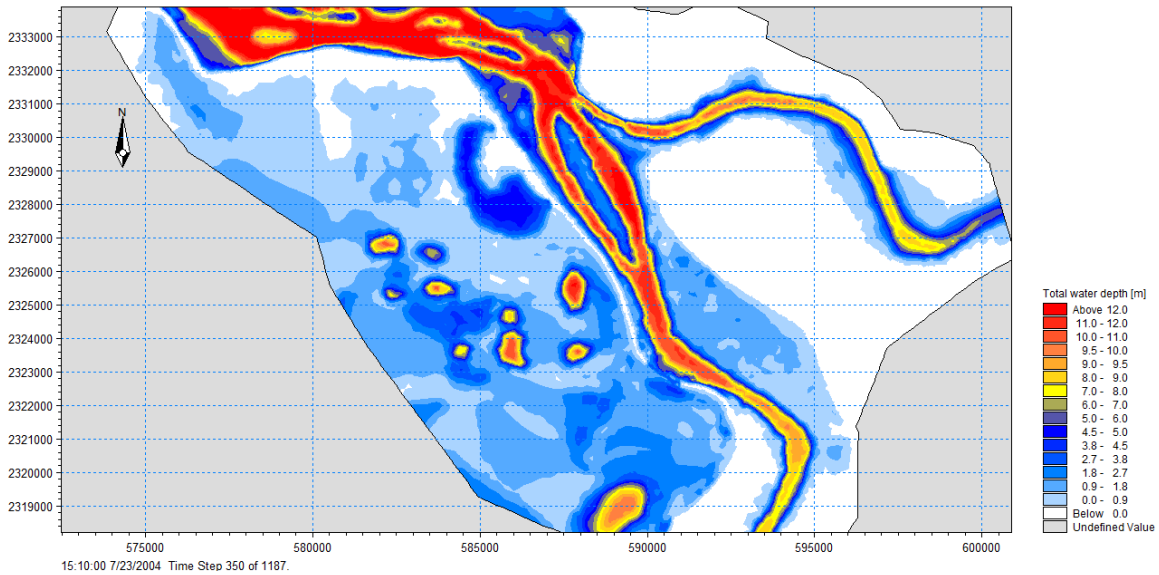


Hình 31: Phân bố ngập lụt thời điểm đỉnh lũ theo kịch bản 3



Hình 32: Trường dòng chảy ngập lụt tại vị trí vỡ đê theo kịch bản 3

Tại khu vực đê vỡ dòng chảy ngập lụt vận tốc dòng chảy lớn nhất có thể đạt đến là 1.5 m/s, dòng chảy lũ theo vết vỡ đê xâm nhập vào vùng được bảo vệ, dòng chảy qua vết vỡ nhỏ hơn kịch bản 2 có thể lý giải do vị trí khu vực đê vỡ là tương đối xa với dòng chảy chủ lưu nằm đang có xu thế lệch về phía trái.



Hình 33: Độ sâu ngập lụt theo kịch bản 3

Kết quả mô phỏng ngập lụt theo kịch bản 3 như sau:

Bảng 12: Độ sâu ngập lụt theo kịch bản 3

Quận/Huyện	**Diện tích (km^2)**	**Diện tích ngập lụt (km2)**	**Độ sâu ngập lụt trung bình (m)**	**Vận tốc dòng chảy lớn nhất (m/s)**
Ba Đình	9,3	9,11	0.75	0,5
Hoàn Kiếm	5,3	4,65	2.8	0.85
Đống Đa	10,2	8,25	2,25	0,8
Thanh Xuân	9,1	8.67	2.25	0,8
Cầu Giấy	12,0	7.85	1.0	0.65
Hai Bà Trưng	9,6	8,75	2.5	1,4
Tây Hồ	24,0	8,55	1.2	0.25
Hoàng Mai	40,2	34.16	2.2	1.2
Từ Liêm	32,27	4.56	0.35	0,2

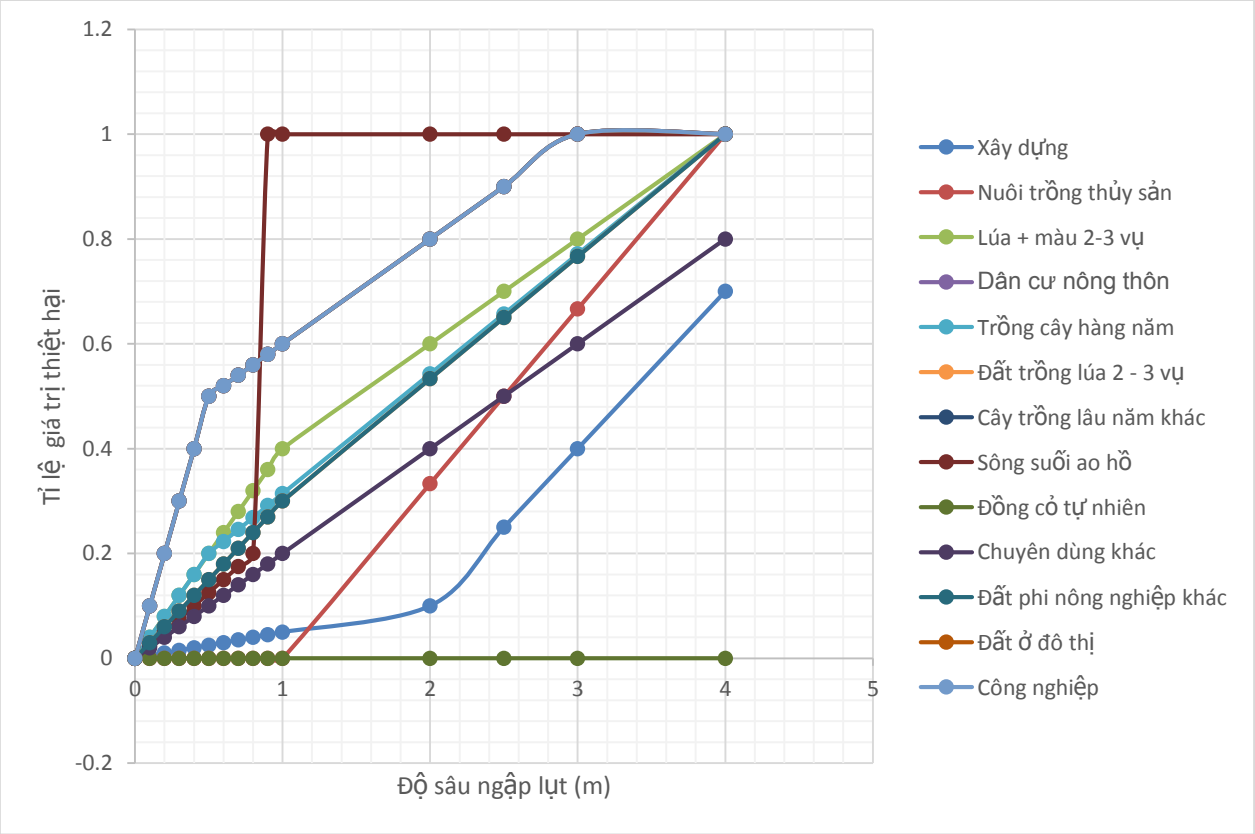
Với kịch bản 3, có thể nhận thấy do khu vực đê bị vỡ nằm khá cách xa khu vực các quận như Tây Hồ, Từ Liêm, Cầu Giấy nên mức độ ảnh hưởng của ngập lụt đến các quận này là

nhỏ hơn so với các kịch bản 1 &2. Các quận bị ảnh hưởng ngập lụt lớn nhất là quận Hoàng Mai với 75% diện tích bị ngập lụt độ sâu ngập lụt trung bình là 2.5m; Quận Hai Bà Trung do là khu vực khá trũng nên bị ngập lụt cũng khá nặng với 90% Diện tích bị ngập lụt, độ sâu ngập lụt trung bình là 2.5m.

PHỤ LỤC 4
XÁC ĐỊNH THIỆT HẠI DO NGẬP LỤT VÙNG HÀ NỘI

1. ƯỚC LƯỢNG THIỆT HẠI KINH TẾ DO NGẬP LỤT KHU VỰC THÀNH PHỐ HÀ NỘI THEO CÁC TRƯỜNG HỢP MÔ PHỎNG

Trên cơ sở bản đồ phân bố độ ngập sâu trung bình và đường cong thiệt hại cho vùng Hà Nội xác định giá trị thiệt hại trung bình theo các kịch bản mô phỏng tại các bảng sau.



Hình 34: Đường cong thiệt hại khu vực thành phố Hà Nội

Bảng 13: Tổng thiệt hại kịch bản 1

(Triệu USD)

Quận/Huyện	Độ sâu ngập lụt trung bình	Đất thổ cư	Xây dựng	Đất công nghiệp	Đất phi nông nghiệp	Cây trồng lâu năm	Đất trồng cây hàng năm khác	Lúa + màu 2-3 vụ	Nuôi trồng thủy sản	Sông, ngòi, kênh rạch	Tổng giá trị thiệt hại
Ba Đình	2,85	1.623	5.334	0.203	37.825	0.011	0.051	0.000	0.000	0.015	45.06
Hoàn Kiếm	3,15	0.630	2.776	0.523	21.625	0.006	0.000	0.005	0.169	0.014	25.75
Đống Đa	2,25	6.786	13.914	8.544	78.110	0.320	0.666	4.910	0.097	0.292	113.64
Thanh Xuân	1,85	0.868	3.824	0.225	29.800	0.008	0.040	0.006	0.202	0.007	34.98
Cầu Giấy	2,2	1.147	5.054	0.343	39.380	0.010	0.053	0.008	0.267	0.010	46.27
Hai Bà Trưng	1,8	6.385	17.736	7.276	73.490	0.301	0.626	8.349	0.091	0.040	114.29
Tây Hồ	2,54	19.958	40.916	34.310	229.713	1.081	1.957	29.665	48.991	0.761	407.35
Hoàng Mai	0,8	18.843	38.629	5.249	216.871	0.517	1.848	16.520	23.462	0.000	321.94
Từ Liêm	2,71	26.796	54.934	46.066	308.413	1.451	2.628	39.829	65.777	1.022	546.91
Tổng thiệt hại kịch bản 1											1,656.20

Bảng 14: Tổng thiệt hại kịch bản 2 (Triệu USD)

Quận/Huyện	Độ sâu ngập lụt trung bình	Đất ở đô thị	Xây dựng	Đất công nghiệp	Đất phi nông nghiệp	Cây trồng lâu năm	Đất trồng cây hàng năm khác	Lúa + màu 2-3 vụ	Nuôi trồng thủy sản	Sông, ngòi, kênh rạch	Tổng giá trị thiệt hại
Ba Đình	2,85	1.623	2.134	0.508	28.999	0.015	0.039	0.000	0.000	0.023	33.34
Hoàn Kiếm	3,15	0.630	1.110	1.308	16.579	0.008	0.000	0.004	0.147	0.021	19.81
Đống Đa	2,25	6.786	1.739	68.352	52.073	0.479	0.452	4.824	0.061	0.875	135.64
Thanh Xuân	1,85	0.868	0.478	1.802	19.867	0.012	0.027	0.005	0.126	0.022	23.21
Cầu Giấy	2,2	1.433	2.527	3.428	37.739	0.019	0.051	0.011	0.334	0.029	45.57
Hai Bà Trưng	1,8	4.789	1.109	43.656	27.559	0.338	0.246	4.614	0.000	0.121	82.43
Tây Hồ	2,54	19.958	16.366	85.776	176.113	1.409	1.510	29.482	42.601	1.141	374.36
Hoàng Mai	0,8	18.843	2.504	80.983	84.339	1.331	0.841	14.119	0.000	0.349	203.31
Từ Liêm	2,71	26.796	21.974	115.164	236.450	1.892	2.027	39.584	57.198	1.532	502.62
Tổng thiệt hại kịch bản 2											1,420.28

Bảng 15: Tổng thiệt hại kịch bản 3

(Triệu USD)

Quận/Huyện	Độ sâu ngập lụt trung bình	Đất ở đô thị	Xây dựng	Đất công nghiệp	Đất phi nông nghiệp	Cây trồng lâu năm	Đất trồng cây hàng năm khác	Lúa + màu 2-3 vụ	Nuôi trồng thủy sản	Sông, ngòi, kênh rạch	Tổng giá trị thiệt hại
Ba Đình	2,85	0.877	0.187	0.274	7.943	0.008	0.013	0.000	0.000	0.004	9.31
Hoàn Kiếm	3,15	0.630	1.110	1.308	16.579	0.008	0.000	0.004	0.147	0.021	19.81
Đống Đa	2,25	6.786	1.739	68.352	52.073	0.479	0.452	4.824	0.061	0.875	135.64
Thanh Xuân	1,85	0.868	0.478	1.802	19.867	0.012	0.027	0.005	0.126	0.022	23.21
Cầu Giấy	2,2	0.860	0.316	2.057	14.768	0.011	0.021	0.004	0.000	0.029	18.07
Hai Bà Trưng	1,8	6.385	2.217	58.208	48.993	0.451	0.425	8.202	0.057	0.121	125.06
Tây Hồ	2,54	11.975	2.046	51.466	68.914	0.846	0.615	11.536	0.000	1.141	148.54
Hoàng Mai	0,8	27.915	7.154	119.974	214.193	1.971	1.858	35.858	37.241	1.996	448.16
Từ Liêm	2,71	8.039	0.824	34.549	27.757	0.568	0.315	6.196	0.000	0.115	78.36
Tổng thiệt hại kịch bản 3											1,006.15