

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN KHOA HỌC
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

NGUYỄN XUÂN TIẾN

PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ VAI TRÒ CỦA MỘT SỐ
NHÂN TỐ CHÍNH ĐỐI VỚI ÚNG LỤT VÙNG HẠ LƯU
LƯU VỰC SÔNG CẢ

LUẬN ÁN TIẾN SĨ THỦY VĂN HỌC

Hà Nội, năm 2021

VIỆN KHOA HỌC
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

**PHÂN TÍCH, ĐÁNH GIÁ VAI TRÒ CỦA MỘT SỐ
NHÂN TỐ CHÍNH ĐỐI VỚI ÚNG LỤT VÙNG HẠ LƯU
LƯU VỰC SÔNG CẢ**

Ngành: Thủy văn học

Mã số: 9440224

LUẬN ÁN TIẾN SĨ THỦY VĂN HỌC

Tác giả Luận án



Nguyễn Xuân Tiến

Người hướng dẫn



PGS. TS Nguyễn Thanh Sơn

GS.TS. Trần Hồng Thái

Hà Nội, năm 2021

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các nội dung và kết quả nghiên cứu trong Luận án là trung thực và chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình khoa học nào.

TÁC GIẢ**Nguyễn Xuân Tiến**

LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên, tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã tận tình giúp đỡ tạo mọi điều kiện tốt nhất cho tác giả trong suốt quá trình học tập và thực hiện Luận án.

Tác giả trân trọng cảm ơn Tổng cục Khí tượng Thủy văn và Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Bắc Trung Bộ đã tạo điều kiện thuận lợi về thời gian, phương tiện, tài liệu và các thông tin cần thiết liên quan đến vấn đề nghiên cứu.

Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc, tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới PGS. TS. Nguyễn Thanh Sơn, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội và GS. TS Trần Hồng Thái, Tổng cục Khí tượng Thủy văn đã hướng dẫn, giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thiện Luận án.

Cuối cùng, tác giả xin gửi lời cảm ơn đến bố, mẹ, vợ, hai con, người thân, bạn bè, đồng nghiệp đã giúp đỡ, động viên, tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong suốt thời gian học tập, nghiên cứu và thực hiện Luận án.

TÁC GIẢ



Nguyễn Xuân Tiến

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT	ix
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	x
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ ÚNG LỤT TRÊN THỂ GIỚI VÀ VIỆT NAM	5
1.1. Một số khái niệm về ngập úng và ngập lụt	5
1.2. Tổng quan về ứng lụt ở nước ngoài và Việt Nam.....	6
1.2.1. Tình hình ứng lụt ở nước ngoài.....	6
1.2.2. Tình hình ứng lụt ở Việt Nam	11
1.3. Tổng quan về nghiên cứu ứng lụt ở nước ngoài và Việt Nam.....	16
1.3.1. Nghiên cứu về các nhân tố gây ứng lụt.....	17
1.3.2. Xây dựng các mô hình toán để giải quyết bài toán ứng lụt	19
1.3.3. Nghiên cứu tác động của hồ chứa đến ứng lụt.....	23
1.3.4. Nghiên cứu dự báo ứng lụt.....	25
1.3.5. Nghiên cứu các giải pháp giảm nhẹ thiệt hại do ứng lụt.....	28
1.3.6. Nghiên cứu ảnh hưởng của BĐKH đến ứng lụt.....	29
1.4. Một số công trình nghiên cứu ứng lụt trên lưu vực sông Cả	30
1.5. Kết luận chương 1	34
CHƯƠNG 2. PHÂN TÍCH CÁC NHÂN TỐ GÂY ÚNG LỤT HẠ DU SÔNG CẢ VÀ LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	36
2.1. Tình hình số liệu sử dụng nghiên cứu.....	36
2.1.1. Số liệu khí tượng thủy văn	36
2.1.2. Số liệu địa hình.....	40
2.1.3. Số liệu mặt cắt ngang	40
2.2. Phân tích các nhân tố gây ứng lụt trên lưu vực sông Cả.....	40
2.2.1. Các nhân tố nội sinh.....	40

2.2.2. Các nhân tố ngoại sinh	51
2.2.3. Các nhân tố nhân sinh	61
2.3. Phương pháp nghiên cứu.....	70
2.3.1. Một số phương pháp xác định ứng lụt	70
2.3.2. Lựa chọn phương pháp nghiên cứu.....	72
2.4. Bộ mô hình MIKE.....	74
2.4.1. Mô hình MIKE NAM	75
2.4.2. Mô hình MIKE 11	75
2.4.3. Mô hình MIKE 21	77
2.4.4. Mô hình MIKE FLOOD	78
2.5. Hướng nghiên cứu.....	79
2.5.1. Giới hạn vùng nghiên cứu.....	79
2.5.2. Đặc điểm tự nhiên, hệ thống đê chống lũ và tiêu thoát nước vùng nghiên cứu	80
2.5.3. Nội dung nghiên cứu	82
2.6. Kết luận chương 2	83
CHƯƠNG 3. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ NHÂN TỐ CHÍNH ĐẾN ỨNG LỤT Ở HẠ DU SÔNG CẢ	85
3.1. Mô phỏng dòng chảy bằng bộ mô hình MIKE	85
3.1.1. Khu vực ngoài đê:	85
3.1.2. Khu vực trong đê:.....	100
3.2. Đánh giá vai trò của một số nhân tố chính đến ứng lụt ở hạ du sông Cả	110
3.2.1. Đánh giá vai trò của mưa lũ thượng nguồn tới ứng lụt hạ du sông Cả	110
3.2.2. Đánh giá vai trò của hệ thống hồ chứa tới ứng lụt hạ du sông Cả.....	114

3.2.3. Đánh giá vai trò của nước biển dâng do bão tới ứng lụt hạ du sông Cả	121
3.2.4. Đánh giá vai trò của mưa nội đồng tới ngập ứng hạ du sông Cả.....	124
3.3. Kết luận chương 3	130
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	132
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ.....	135
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	136
PHẦN PHỤ LỤC	145

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

ATNĐ	Áp thấp nhiệt đới
BCH	Ban chỉ huy
BĐKH	Biến đổi khí hậu
ĐBSCL	Đồng bằng sông Cửu Long
DEM	Bản đồ số độ cao
E	Hướng Đông
GIS	Hệ thống thông tin địa lý
HCM	Hồ Chí Minh
HTNĐ	Hội tụ nhiệt đới
HTTT	Hình thái thời tiết
ITCZ	Rãnh áp thấp
KCN	Khu công nghiệp
KKL	Không khí lạnh
KTTV	Khí tượng Thủy văn
KT-XH	Kinh tế - Xã hội
NE	Hướng Đông Bắc
nnk	Những người khác
PCBL	Phòng chống bão lụt
PCTT	Phòng chống thiên tai
QL	Quốc lộ
SE	Hướng Đông Nam
SW	Hướng Đông Tây
TKCN	Tìm kiếm cứu nạn
TP	Thành phố
XTNĐ	Xoáy thuận nhiệt đới
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
EVI	Enhanced Vegetation Index
LSWI	Land surface water index

DANH MỤC CÁC BẢNG

<i>Bảng 1.1: Một số mô hình áp dụng tính toán ngập lụt áp dụng cho 3 lưu vực có đặc điểm khác nhau [99]</i>	<i>21</i>
<i>Bảng 2.1: Danh sách các trạm khí tượng trên lưu vực sông Cả</i>	<i>36</i>
<i>Bảng 2.2: Danh sách các trạm thủy văn đang hoạt động trên lưu vực sông Cả</i>	<i>38</i>
<i>Bảng 2.3: Danh sách các trạm đo mưa trên lưu vực sông Cả.....</i>	<i>39</i>
<i>Bảng 2.4. Phân loại đất trên lưu vực sông Cả.....</i>	<i>45</i>
<i>Bảng 2.5. Phân bố diện tích một số sông nhánh lớn của hệ thống sông Cả</i>	<i>48</i>
<i>Bảng 2.6. Đặc trưng hình thái một số lưu vực sông lớn</i>	<i>48</i>
<i>Bảng 2.7: Thống kê 10 trận mưa, lũ lớn trên sông Cả</i>	<i>52</i>
<i>Bảng 2.8: Khả năng xuất hiện lũ lớn nhất vào các tháng trong năm.....</i>	<i>58</i>
<i>Bảng 2.9: Tần suất xuất hiện mực nước lớn nhất một số trận lũ lớn tại một số vị trí trên sông Cả</i>	<i>59</i>
<i>Bảng 2.10: Phạm vi bảo vệ của các tuyến đê trên sông Cả.....</i>	<i>65</i>
<i>Bảng 2.11: Đê sông và nội đồng thuộc TP Vinh và phụ cận</i>	<i>65</i>
<i>Bảng 2.12: Hệ thống hồ chứa lớn trên hệ thống sông Cả</i>	<i>67</i>
<i>Bảng 2.13: Mực nước cao nhất trước lũ của các hồ trong mùa lũ [49].....</i>	<i>68</i>
<i>Bảng 3.1: Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM</i>	<i>89</i>
<i>Bảng 3.2: Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE Nam tại Sơn Diệm</i>	<i>90</i>
<i>Bảng 3.3: Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM tại Cốc Nà</i>	<i>92</i>
<i>Bảng 3.4: Kết quả thông số mô hình MIKE NAM</i>	<i>93</i>
<i>Bảng 3.5. Một số thông tin mạng thủy lực 1D</i>	<i>93</i>
<i>Bảng 3.6. Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE.....</i>	<i>99</i>
<i>Bảng 3.7. So sánh mực nước tính toán hiệu chỉnh và điều tra vết lũ</i>	<i>99</i>
<i>Bảng 3.8. Tổng hợp kết quả kiểm định mô hình MIKE.....</i>	<i>99</i>
<i>Bảng 3.9. So sánh mực nước tính toán hiệu chỉnh và điều tra vết lũ</i>	<i>99</i>
<i>Bảng 3.10. Thông tin đặc trưng mạng thủy lực 1D Khu vực trong đê</i>	<i>102</i>
<i>Bảng 3.11: Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE 21 ở Khu vực trong đê ..</i>	<i>104</i>
<i>Bảng 3.12: So sánh mực nước tính toán hiệu chỉnh và điều tra vết lũ</i>	<i>104</i>
<i>Bảng 3.13: Tổng hợp kết quả kiểm định mô hình MIKE 21 ở Khu vực trong đê ...</i>	<i>106</i>
<i>Bảng 3.14: So sánh mực nước tính toán kiểm định và điều tra vết lũ</i>	<i>106</i>
<i>Bảng 3.15: Kịch bản đánh giá ảnh hưởng của mưa lũ thượng nguồn tới ứng lụt hạ du sông Cả.....</i>	<i>110</i>
<i>Bảng 3.16: Các mức lũ tại trạm TV Chợ Tràng [46]</i>	<i>110</i>
<i>Bảng 3.17: Mưa định lượng gây ngập lụt Khu vực ngoài đê ở mức BĐ1 (mm).....</i>	<i>111</i>
<i>Bảng 3.18: Lượng mưa và diện tích ngập lụt Khu vực ngoài đê</i>	<i>111</i>
<i>Bảng 3.19: Lượng mưa và diện tích ngập lụt Khu vực ngoài đê</i>	<i>112</i>
<i>Bảng 3.20: Lượng mưa và diện tích ngập lụt Khu vực ngoài đê</i>	<i>112</i>
<i>Bảng 3.21: Kết quả ngập lụt Khu vực ngoài đê ứng với các mức lũ</i>	<i>113</i>

Bảng 3.22: Mưa định lượng gây lũ Khu vực ngoài đê khi có sự ảnh hưởng của hồ chứa (mm)	113
Bảng 3.23: Lưu lượng xả ứng với lũ thiết kế	114
Bảng 3.24: Kịch bản đánh giá ảnh hưởng của hệ thống hồ chứa tới ứng lụt hạ du sông Cả.....	115
Bảng 3.25: Mức nước tại Chợ Tràng.....	115
Bảng 3.26: Mức nước gia tăng tại Chợ Tràng	115
Bảng 3.27: Diện tích ngập lụt khi hồ chứa Bản Vẽ xả lũ thiết kế.....	116
Bảng 3.28: Mức nước tại Chợ Tràng khi một số hồ chứa kết hợp xả lũ thiết kế (m).....	118
Bảng 3.29: Mức nước gia tăng tại Chợ Tràng khi một số hồ chứa kết hợp xả lũ thiết kế (m).....	118
Bảng 3.30: Mức nước tại Chợ Tràng.....	120
Bảng 3.31: Mức nước giảm tại Chợ Tràng.....	120
Bảng 3.32: Diện tích ngập lụt khi các hồ chứa cắt lũ riêng rẽ.....	120
Bảng 3.33: Mức nước tại Chợ Tràng và diện tích ngập giảm	121
Bảng 3.34: Các kịch bản tính toán đánh giá vai trò của nước biển dâng, xả lũ thiết kế của hồ chứa tới ứng lụt hạ du sông Cả	122
Bảng 3.35: Mức nước tại Chợ Tràng khi có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão và có/không có xả lũ thiết kế của hồ chứa (m).....	122
Bảng 3.36: Mức nước gia tăng tại Chợ Tràng khi có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão và có/không có xả lũ thiết kế của hồ chứa (m).....	123
Bảng 3.37: Diện tích ngập lụt khi hồ chứa Bản Vẽ xả lũ thiết kế và có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão	123
Bảng 3.38: Tổng lượng mưa 5 ngày lớn nhất ứng với các tần suất	126
Bảng 3.39: Các kịch bản tính toán đánh giá vai trò của nước biển dâng tới ứng lụt hạ du sông Cả.....	126
Bảng 3.40: Mức nước tại cầu Đước khi xảy ra trận mưa 10% và phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2010 (m).....	127
Bảng 3.41: Mức nước tại cầu Đước khi xảy ra trận mưa 10% và phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2019 (m).....	127
Bảng 3.42: Mức nước tại cầu Đước gia tăng theo mô hình mưa giờ có cường độ lớn tháng X/2019 (m).....	128
Bảng 3.43: Diện tích ngập ứng tại Khu vực trong đê, khi xảy ra trận mưa 10% và phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2010.....	128
Bảng 3.44: Diện tích ngập ứng tại Khu vực trong đê, khi xảy ra trận mưa 10%, phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2010, xả lũ Bản Vẽ.....	128
Bảng 3.45: Diện tích ngập ứng tại Khu vực trong đê, khi xảy ra trận mưa 10%, phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2010, xả lũ Bản Vẽ, nước biển dâng do bão	129

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1: Một số trận lũ lớn xảy ra ở châu Phi từ 1997-2017 [22]	9
Hình 1.2: Kiểu cách mô hình số mô phỏng ngập lụt [99]	21
Hình 1.3: Sơ đồ sử dụng mô hình HEC-HMS/RAS, mưa ra đa và GIS	26
Hình 1.4: Phương pháp nghiên cứu dự báo, cảnh báo lũ và ứng dụng [42]	27
Hình 2.1: Bản đồ mạng lưới trạm KTTV lưu vực sông Cả	37
Hình 2.2: Mạng lưới sông suối trên lưu vực sông Cả	42
Hình 2.3: Bản đồ thổ nhưỡng lưu vực sông Cả (Phần thuộc Việt Nam)	44
Hình 2.4: Bản đồ thảm phủ thực vật lưu vực sông Cả (phần ở Việt Nam)	46
Hình 2.5: Phân phối mưa tháng tại một số trạm KTTV trên lưu vực sông Cả	51
Hình 2.6: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/1978 - Lưu vực sông Cả	53
Hình 2.7: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/1983 - Lưu vực sông Cả	54
Hình 2.8: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/1988 - Lưu vực sông Cả	54
Hình 2.9: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/1996 - Lưu vực sông Cả	55
Hình 2.10: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/2002 - Lưu vực sông Cả	55
Hình 2.11: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/2010 - Lưu vực sông Cả	56
Hình 2.12: Phân phối lưu lượng tháng trung bình nhiều năm tại các trạm thủy văn trên lưu vực sông Cả (%)	57
Hình 2.13: Bản đồ hệ thống đê trên lưu vực sông Cả	64
Hình 2.14: Bản đồ hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Cả	66
Hình 2.15: Sơ đồ nghiên cứu Luận án	74
Hình 2.16: Giới hạn vùng nghiên cứu của Luận án	80
Hình 3.1: Phân chia các tiểu lưu vực trong mô hình NAM cho lưu vực sông Cả	86
Hình 3.2: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán hiệu chỉnh mô hình tại trạm thủy văn Quỳnh Châu	88
Hình 3.3: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán kiểm định mô hình tại trạm thủy văn Quỳnh Châu	88
Hình 3.4: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán hiệu chỉnh mô hình tại trạm thủy văn Sơn Diệm	90
Hình 3.5: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán kiểm định mô hình tại trạm thủy văn Sơn Diệm	90
Hình 3.6: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán Hiệu chỉnh mô hình tại trạm thủy văn Cốc Nà	91
Hình 3.7: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán kiểm định mô hình tại trạm thủy văn Cốc Nà	92
Hình 3.8: Sơ đồ mạng lưới thủy lực một chiều sông Cả	94
Hình 3.9: Miền tính, lưới tính 2 chiều cho Khu vực ngoài đê	96
Hình 3.10: Quá trình mực nước hiệu chỉnh và kiểm định mô hình: a, b, c là quá trình hiệu chỉnh và d, e, f là quá trình kiểm định tại Nam Đàn, Linh Cảm và Chợ Trảng	97
Hình 3.11: Kết quả ngập lụt hiệu chỉnh - Trận lũ tháng X/2010	98
Hình 3.12: Kết quả ngập lụt kiểm định - Trận lũ tháng X/2013	98

<i>Hình 3.13. Phân vùng lưu vực con cho Khu vực trong đê</i>	<i>101</i>
<i>Hình 3.14. Sơ đồ mạng lưới thủy lực một chiều Khu vực trong đê.....</i>	<i>102</i>
<i>Hình 3.15. Miền tính, lưới tính 2 chiều cho Khu vực trong đê</i>	<i>103</i>
<i>Hình 3.16: Quá trình mực nước thực đo và tính toán hiệu chỉnh mô hình trận lũ 2010 tại cống Bến Thủy.....</i>	<i>105</i>
<i>Hình 3.17: Quá trình mực nước thực đo và tính toán hiệu chỉnh mô hình trận lũ 2010 tại cống Nghi Quang</i>	<i>105</i>
<i>Hình 3.18: Bản đồ ngập lụt hiệu chỉnh theo trận lũ tháng X/2010</i>	<i>107</i>
<i>Hình 3.19: Bản đồ ngập lụt kiểm định theo trận lũ tháng X/2019.....</i>	<i>108</i>
<i>Hình 3.20: Quá trình mực nước thực đo và tính toán kiểm định mô hình trận lũ 2019 tại cống Bến Thủy.....</i>	<i>109</i>
<i>Hình 3.21: Quá trình mực nước thực đo và tính toán kiểm định mô hình trận lũ 2019 tại cống Nghi Quang</i>	<i>109</i>
<i>Hình 3.22: Đường quan hệ giữa lượng mưa và diện tích ngập Khu vực ngoài đê</i>	<i>112</i>
<i>Hình 3.23: Đường quan hệ giữa lượng mưa và mực nước lớn nhất</i>	<i>113</i>
<i>Hình 3.24: Kết quả ngập lụt lớn nhất khi hồ chứa Bản Vẽ xả lưu lượng thiết kế và hạ du sông Cả ở mức lũ BĐ3</i>	<i>116</i>
<i>Hình 3.25: Quá trình mực nước tại Chợ Tràng.....</i>	<i>117</i>
<i>Hình 3.26: Kết quả ngập lụt lớn nhất khi 02 hồ chứa Bản Vẽ và Bản Mòng xả lưu lượng thiết kế trong điều kiện lũ hạ du sông Cả ở mức BĐ3.....</i>	<i>119</i>
<i>Hình 3.27: Quá trình mực nước tại Chợ Tràng.....</i>	<i>121</i>
<i>Hình 3.28: Đường lũy tích mưa giờ tại trạm KT Vinh.....</i>	<i>125</i>

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Lũ lụt là hiểm họa từ xưa đối với nhân loại. Theo Jonkman (2005) [94], tổng số người chết và bị ảnh hưởng do các loại thiên tai trên thế giới giai đoạn 1975-2001 tương ứng là 2 triệu và 4,2 tỷ. Trong đó số người chết và bị ảnh hưởng do lũ lụt trong gian đoạn này tương ứng là 175 nghìn và 2,2 tỷ người. So với các loại thiên tai khác, mặc dù không phải nguyên nhân gây tử vong lớn nhất nhưng lũ lụt lại có mức độ ảnh hưởng lớn nhất. Những trận đại hồng thủy gây chết chóc và tàn phá kinh hoàng trong lịch sử ở Trung Quốc (trên lưu vực sông Hoàng Hà, năm 1931 đã làm chết khoảng 3.700.000 người), ở Ấn Độ (sông Hằng) vẫn còn lưu truyền cho hậu thế. Ngày nay, sự cập nhật thông tin hiện đại cho thấy rõ hơn, lũ lụt đang diễn ra ác liệt khắp nơi trên thế giới: Mỹ, Anh, Pháp và toàn bộ châu Âu, Á. Những tổn thương do lũ lụt gây ra vô cùng to lớn. Hơn nữa, dưới tác động Biến đổi khí hậu, lũ lụt ngày càng có dấu hiệu gia tăng về quy mô, diện tích và tần suất cực đoan. Việc nghiên cứu và tìm biện pháp ứng phó với loại hình thiên tai này luôn là một vấn đề khoa học, cấp bách và thực tiễn.

Ở Việt Nam, từ thời đại Hùng Vương cũng đã có những trận đại hồng thủy được lưu lại qua truyền thuyết Sơn Tinh – Thủy Tinh. Bờ đê sông Hồng và đê những sông khác là chứng tích ngàn năm cho việc phòng chống lũ lụt của nhân dân ta.

Miền Trung, Việt Nam, lũ lụt ác liệt thường xuyên đe dọa cuộc sống của nhân dân. Đặc biệt, năm 1999, 2020 lũ lịch sử đã tàn phá nhiều nơi trên khúc ruột miền Trung. Riêng năm 1999, lũ lụt đã làm chết 645 người và làm thiệt hại lên đến 3.721 tỷ VNĐ.

Vùng hạ du sông Cả thường xuyên xảy ra lũ lụt. Trận lũ lịch sử năm 1978 đã gây úng lụt 31 xã thuộc 5 huyện; làm chết 37 người; làm chết khoảng 1.800 con trâu, bò; gần 28.300 ngôi nhà bị sập; 64.000 ha lúa và hoa màu bị ngập. Thiệt hại do trận lũ gây ra ước tính theo thời giá khoảng 60 tỷ đồng. Gần đây,

các đợt mưa lũ vào tháng X/2010, tháng IX/2019, tháng X/2019, tháng X/2020 đã gây úng lụt cho vùng này mỗi đợt kéo dài 10 đến 14 ngày và gây thiệt hại lớn ảnh hưởng nhiều mặt đến sự phát triển KT-XH toàn vùng.

Bởi những lý do đó “*Phân tích, đánh giá vai trò của một số nhân tố chính đối với úng lụt vùng hạ lưu lưu vực sông Cả*” được chọn làm đề tài Luận án này.

2. Mục tiêu của nghiên cứu

- Xác định các ngưỡng mưa sinh úng lụt vùng hạ du sông Cả;
- Đánh giá định lượng ảnh hưởng của mưa, hệ thống hồ chứa thượng lưu, nước biển dâng do bão đến úng lụt vùng hạ du sông Cả.

3. Đối tượng và phạm vi của nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Sự úng lụt vùng hạ du sông Cả.

Phạm vi khoa học: - Mưa, lũ trên lưu vực sông Cả gây úng lụt;

- Các hồ chứa ở thượng nguồn và vai trò của nó đến úng lụt hạ du sông Cả;

- Nước dâng do bão ảnh hưởng tới úng lụt hạ du sông Cả.

Phạm vi không gian: Miền hạ du sông Cả, có giới hạn từ trạm thủy văn Nam Đàn và Linh Cảm về đến Cửa Hội. Vị trí địa lý: từ vĩ độ $18^{\circ}31'29''$ đến $18^{\circ}51'41''$ và từ kinh độ $105^{\circ}33'13''$ đến $105^{\circ}45'32''$ (Hình 2.16).

4. Đóng góp mới

- Định lượng được ngưỡng mưa gây úng lụt khu vực ngoài đê và trong đê hạ du sông Cả ở trạng thái tự nhiên và có tác động của hệ thống hồ chứa, trong thời kỳ đầu, giữa và cuối mùa lũ;
- Xác định được mức độ ảnh hưởng của việc cắt/xả lũ của các hồ chứa trên lưu vực sông Cả đến úng lụt ở hạ du sông Cả;
- Bước đầu đánh giá được mức độ ảnh hưởng của nước biển dâng do bão đến úng lụt ở hạ du sông Cả.

5. Các luận điểm bảo vệ

5.1. Câu hỏi nghiên cứu

(1) Có tồn tại mối quan hệ giữa ngưỡng mưa và diện tích úng lụt ở hạ du sông Cả? Mối quan hệ này có thay đổi theo từng thời kỳ trong mùa lũ? Định lượng mối quan hệ đó như thế nào?

(2) Các hồ chứa ở thượng nguồn có ảnh hưởng thế nào đến úng lụt vùng hạ du sông Cả?

(3) Nước biển dâng do bão có gây trầm trọng thêm úng lụt vùng hạ du sông Cả hay không? Định lượng sự ảnh hưởng đó như thế nào?

5.2. Luận điểm bảo vệ của Luận án

Luận điểm 1: Mối quan hệ giữa ngưỡng mưa và diện tích úng lụt ở hạ du sông Cả vào các thời kỳ trong mùa lũ.

Luận điểm 2: Các hồ chứa ở thượng nguồn có vai trò nhất định đến úng lụt vùng hạ du sông Cả.

Luận điểm 3: Nước biển dâng do bão gây nguy hiểm đối với úng lụt vùng hạ du sông Cả.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu có các ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn sau:

Ý nghĩa khoa học:

- Định lượng được ảnh hưởng của một số nhân tố đến úng lụt hạ du sông Cả, bao gồm: mưa, các hồ chứa và hiện tượng nước biển dâng do bão thông qua tính toán mô phỏng bằng mô hình toán;

- Xác định được vai trò của mưa lớn nội động đối với ngập úng ở hạ du sông Cả.

Ý nghĩa thực tiễn:

- Kết quả của Luận án có thể được sử dụng trong quy hoạch, thiết kế hệ thống tiêu thoát nước vùng hạ du sông Cả nhằm giảm thiểu úng lụt;

- Góp phần trong công tác cảnh báo úng lụt hạ du sông Cả và vận hành hệ thống hồ chứa trên lưu vực;

- Làm cơ sở trong việc đề xuất các giải pháp quản lý tổng hợp lũ trên lưu vực sông Cả.

7. Cấu trúc của Luận án

Ngoài phần Mục lục, Mở đầu, Danh mục các từ viết tắt, Danh mục các bảng, Danh mục các hình, Kết luận, Tài liệu tham khảo, Luận án được trình bày trong 3 chương:

Chương 1: Tổng quan về ứng lụt trên thế giới và Việt Nam

Chương 2: Phân tích các nhân tố gây ứng lụt hạ du sông Cả và lựa chọn phương pháp nghiên cứu

Chương 3: Đánh giá ảnh hưởng của một số nhân tố chính đến ứng lụt hạ du sông Cả

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ ÚNG LỤT TRÊN THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM

1.1. Một số khái niệm về ngập úng và ngập lụt

Ngập úng là hiện tượng ngập nước do mưa lớn gây ra trên bề mặt ở một vùng đất thấp trũng [20].

Ngập lụt là hiện tượng ngập do nước từ sông tràn vào một vùng lãnh thổ thường khô, do lũ lớn, do vỡ các công trình ngăn lũ hoặc do nước dâng ở vùng cửa sông ven biển [17], [18], [20].

Úng lụt là khái niệm nói chung bao gồm cả ngập úng và ngập lụt.

Lũ nhân tạo là lũ do con người gây ra khi vận hành hồ chứa không hợp lý hoặc do sự cố tại các hồ chứa do con người xây dựng.

Lũ đầu mùa là lũ xảy ra ở thời kỳ bắt đầu mùa lũ, khi độ ẩm của lưu vực thấp, các hồ chứa có mực nước rất thấp, tổn thất của mưa rất lớn. Vì vậy, dù mưa lớn nhưng lũ thường không lớn. Trên lưu vực sông Cả, lũ đầu mùa thường xuất hiện từ tháng VII đến tháng VIII.

Lũ giữa mùa hay còn gọi là *lũ chính vụ* là lũ xảy ra ở thời kỳ giữa mùa lũ, khi độ ẩm của lưu vực đã tăng lên rõ rệt, các hồ chứa đã được tích nước ở một mức nhất định. Mưa lớn xuất hiện trong giai đoạn này gây nên lũ lớn. Trên lưu vực sông Cả lũ giữa mùa thường xuất hiện từ tháng IX đến tháng X.

Lũ cuối mùa là lũ xảy ra ở thời kỳ cuối mùa lũ, khi độ ẩm của lưu vực vượt qua mức cao nhất trong năm, các hồ chứa đã được tích đầy nước. Tuy nhiên, mưa trong giai đoạn này thường không lớn nên ít gây ra lũ đặc biệt lớn, nhưng đôi khi vẫn có khả năng gây ra lũ lớn. Trên lưu vực sông Cả, lũ cuối mùa thường xuất hiện vào tháng XI.

Mưa lớn là hiện tượng mưa với tổng lượng mưa đạt trên 50 mm trong 24 giờ, trong đó mưa với tổng lượng mưa từ trên 50 mm đến 100 mm trong 24 giờ

là mưa to, mưa với tổng lượng mưa trên 100 mm trong 24 giờ là mưa rất to [47]. Thông thường, các trận mưa có tổng lượng khoảng 220 - 250 mm trong 3 ngày sẽ gây úng lụt ở hạ du sông Cả.

1.2. Tổng quan về úng lụt ở nước ngoài và Việt Nam

1.2.1. Tình hình úng lụt ở nước ngoài

Thiên tai thường xảy ra hầu hết mọi nơi trên thế giới và Việt Nam, và ngày càng gia tăng về quy mô, tần suất và cường độ. Thiên tai và những tác động của chúng đến kinh tế, xã hội và môi trường ngày càng đáng báo động trên toàn thế giới. Một trong những thiên tai ảnh hưởng lớn đến đời sống con người là úng lụt. Đặc biệt trong những thập niên gần đây, khi BĐKH có những biểu hiện rõ rệt thì tác động của úng lụt ngày càng khốc liệt.

Tính phổ biến của thiên tai có nguồn gốc KTTV, đặc biệt là úng lụt. Một số minh chứng về vấn đề này đã từng diễn ra trên thế giới: Thái Lan, Trung Quốc, Hà Lan, Mỹ, một số nước châu Phi, châu Đại dương.

Tại Thái Lan, trong gần 100 năm qua đã xảy ra 8 trận lũ lớn (1938, 1983, 1995, 2010, 2011, 2013, 2014, 2017). Năm 2011, lũ lịch sử đã gây úng lụt nghiêm trọng ở lưu vực sông Chao Phraya cũng như sông Mekong, bắt đầu từ cuối tháng VII và tiếp tục kéo dài trong hơn hai tháng. Úng lụt đã xảy ra khoảng 6 triệu ha đất, hơn 300.000 ha trong đó đất nông nghiệp, trong 58 tỉnh, từ Chiang Mai ở miền Bắc đến các khu vực của thủ đô Bangkok nằm gần các nhánh của sông Chao Phraya. Đây được mô tả là "trận lũ lụt tồi tệ nhất tính về lượng nước và số người dân chịu ảnh hưởng". Có 7 khu công nghiệp lớn đã bị ngập sâu đến 3 mét và kéo dài khoảng 40 ngày [23].

Tại Trung Quốc, nơi có nhiều hệ thống sông lớn, trong lịch sử đã có nhiều trận lũ kinh hoàng xảy ra, gây ra những thảm họa vô cùng lớn. Trận lũ năm 1870 là trận lũ lớn nhất trên sông Dương Tử, tại Yichang với diện tích không chế của lưu vực là 1.010.000 km², xác định được lưu lượng đỉnh lũ

110.000 m³/s và dẫn đến sự tàn phá lớn ở Thượng Hải [93]; Vào tháng VIII năm 1931, Trung Quốc đã trải qua những trận mưa lớn và gây trận lũ lịch sử, gây thảm họa thiên nhiên chết chóc lớn nhất trong lịch sử Trung Quốc và làm ngập 180.000 km² [83]; Từ tháng VI đến tháng IX năm 1954, lũ sông Dương Tử gây ngập lụt thảm khốc, chủ yếu ở tỉnh Hồ Bắc. Mức nước lũ đã đạt mức cao lịch sử 44,67 m ở Kinh Châu, Hồ Bắc và 29,73 m ở Vũ Hán [93]; Năm 2020, mưa lũ lớn lại xảy ra trên lưu vực sông Dương Tử, nhiều thành phố của Trung Quốc dọc sông đã ban bố cảnh báo đỏ do nước lũ dâng cao, gây sạt lở nghiêm trọng, làm ngập và phá hủy nhiều đường xá, hoa màu. Từ tháng VI, mực nước tại hơn 400 con sông của nước này đã dâng lên mức báo động, thậm chí mực nước tại 33 con sông đã phá vỡ kỷ lục trong trận lụt lịch sử năm 1998. Nguyên nhân được cho rằng, do dải mây Mai Vũ (Mei-yu) kéo dài từ Tây Tạng qua miền nam, miền trung Trung Quốc đến phía nam Nhật Bản từ cuối mùa xuân đến mùa hè kết hợp với tác động của BĐKH. Mưa lớn ở Trung Quốc xảy ra dọc dải mây Mai Vũ. Đợt mưa lũ này kéo dài hơn 1 tháng [22].

Trên sông Hoàng Hà, năm 1887, lũ đã gây vỡ đê dẫn đến một trận lụt lớn. Do vùng đồng bằng trũng thấp gần khu vực, lây lan ngập lụt rất nhanh khắp miền Bắc Trung Quốc, trên diện tích khoảng 130.000 km², làm ngheen các khu định cư nông nghiệp và các trung tâm thương mại. Sau trận lụt, hai triệu người bị mất nhà cửa [92].

Tại châu Âu, một số trận lũ lụt lớn được Rudolf Brázdil và cộng sự [102] thống kê như sau:

Ở Tây Âu (Bỉ, Đan Mạch, Hà Lan, Ireland và Vương quốc Anh) trận lũ lịch sử được ghi lại từ tháng IX và tháng X năm 1763, gây ngập lụt ở Ireland, Anh và Scotland, do mưa bão lớn; Tháng I năm 1809 chứng kiến trận lũ lụt lớn trên phần lớn Anh, Wales và Hà Lan, lũ lụt do băng tan cũng được ghi nhận ở Trung Âu, đáng chú ý là ở Bohemia trên sông Vltava và Elbe, ở Slovakia trên

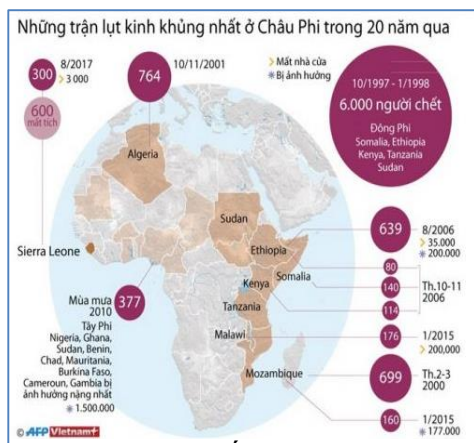
sông Danube. Ở Anh, lũ lụt ở mức cao được ghi nhận trên một số sông: Thames, Severn, Trent, Exe và Eden, trải dài trên nước Anh.

Ở *Trung Âu*: Tháng VII năm 1342 xảy ra trận lũ lan rộng, được cho là nghiêm trọng ở Trung Âu trong suốt một nghìn năm qua, do mưa lớn kéo dài trong tám ngày gây ra. Trên các lưu vực sông: Mainz, Neckar, Werra, Fulda, Elbe, Danube và sông Rhine đến Mainz đều xuất hiện lũ lớn. Mô đun đỉnh lũ có thể đạt đến 160 -180 l/skm² trên dòng chính, dẫn đến xói lở trên diện rộng. Trận lũ tháng II và tháng III năm 1784: do mùa đông 1783/1784 kéo dài trên phần lớn châu Âu. Tháng II năm 1784, một cơn gió Nam ẩm dẫn đến sự tan băng bất ngờ trên khắp châu Âu, cũng như trên các dòng sông băng. Ngoài ra, đã có tuyết rơi dữ dội và mưa lớn, gây ra thảm họa lũ lụt trên khắp châu Âu. Ở Trung Âu, lũ lụt kéo dài trên các khu vực rộng lớn của Đức, Áo, Séc và Slovakia, Bỉ, Hà Lan, Luxemburg và phía Bắc nước Pháp. Trận lụt gây thiệt hại nặng nề về tài sản (phá hủy nhiều cây cầu, nhà máy và nhà cửa) và con người. Đây là trận lụt mùa đông lớn nhất từ trước đến nay.

Ở *Địa Trung Hải*: Lũ lụt thảm khốc tháng XI năm 1617 là một trong những trận lụt lớn nhất trên các khu vực ven biển Valencia và Catalonia. Ở Bắc Âu: Một vụ trượt lở đất lớn đã xảy ra vào tháng IX năm 1345, làm nghẽn lòng sông Gaula ở Sør-Trøndelag ở Na Uy và một hồ nước nhanh chóng hình thành. Khi chỗ nghẽn được giải phóng, một trận lũ lớn di chuyển xuôi dòng về phía vịnh hẹp ở hạ du; Tháng XII năm 1743, một khu vực rộng lớn ở phía tây Na Uy đã bị ngập lụt do tuyết và băng tan ở một phần núi cao của Na Uy. Nước đã ngập 2,5 m trên bức tường của nhà thờ, khoảng 500 trang trại bị thiệt hại, chủ yếu là do tuyết lở và sạt lở đất; Tháng VII năm 1789, trận lụt tàn khốc nhất ở Na Uy, Ofsen hay Storofsen xảy ra vào tại một khu vực rất lớn phía đông Na Uy, làm chết ít nhất 79 người và gây thiệt hại lớn cho hơn 1.500 trang trại,

nguyên nhân do mùa đông 1788/1789 tuyết rơi nhiều, đến tháng V năm 1789 tuyết bắt đầu tan đồng thời xuất hiện mưa lớn do bão.

Tại châu Mỹ, năm 1844 xảy ra trận lụt kỷ lục trên sông Mississippi tại St. Louis. Sau trận lụt, Quốc hội năm 1849 đã thông qua Đạo luật đầm lầy cung cấp các khoản trợ cấp đất để xây dựng những con đê lớn hơn; Năm 1927, một trận lũ lụt tàn phá lớn nhất trong lịch sử Hoa Kỳ, bắt đầu khi những cơn mưa lớn trút xuống Mississippi vào mùa hè năm 1926, đến tháng IX, các nhánh sông của Mississippi ở Kansas và Iowa dâng cao. Vào ngày đầu năm 1927, mực nước đỉnh lũ tại sông Cumberland ở Nashville đạt kỷ lục 17 m. Hệ thống đê bị vỡ 145 chỗ và làm ngập 70.000 km², có nơi bị ngập sâu tới 10 m; Năm 1965, xảy ra trận lũ lụt tàn công các thị trấn dọc theo thượng nguồn Mississippi, bao gồm Wabasha, Trin. Đây là trận lũ lịch sử trên sông này. Một trong những nơi bị ảnh hưởng nặng nề nhất là thị trấn Clinton, Iowa, nơi bị ngập đến 9 m; Trận lụt nghiêm trọng năm 1983, lớn thứ hai ở lưu vực hạ lưu Mississippi trong 56 năm, tại Red River Landing ở Louisiana bị ngập trong 115 ngày; Năm 1993, nước lũ dâng dọc theo sông Mississippi và Missouri và các nhánh của chúng ở Trung Tây, diện tích bị ngập lụt lên đến 80.000 km² và là thảm họa tồi tệ nhất với Mỹ trong 66 năm về mực nước ngập, diện tích bị ngập, số người phải di dời, thiệt hại tài sản và lượng nước sông kỷ lục [90].



Hình 1.1: Một số trận lũ lớn xảy ra ở châu Phi từ 1997-2017 [27]

Tại châu Phi, từ năm 1997 - 2017 [27] đã xảy ra lũ lớn vào các năm: 1997, 2000, 2001, 2010, 2015, 2017 (Hình 1.1). Những trận mưa lớn năm 1997 ở Ethiopia cùng với những cơn mưa đặc biệt lớn ở miền nam Somalia - nhiều hơn rất nhiều so với trung bình mùa đã dẫn đến thảm họa về lũ lụt. Mực nước dâng cao ở vùng đầm lầy Shabelle, tạo ra vùng

ngập lụt rộng hơn 12 km² [19]. Tháng III/2019, lũ lụt cũng làm 732 người chết ở Nam Phi (417 người ở Mozambique, 259 người ở Zimbabwe và 56 người ở Malawi) và gây ngập lụt lớn [21].

Tại Úc, thống kê các trận lũ lụt từ lớn đến nhỏ như sau: *Tháng VI/1852* tại Gundagai, New South Wales (NSW) xuất hiện trận lũ đặc biệt lớn trên sông Murrumbidgee, đã cuốn trôi hầu hết thị trấn Gundagai chỉ còn ba ngôi nhà. Thị trấn sau đó đã được xây dựng lại trên nền đất cao hơn; *Tháng XII năm 2010* đến tháng I năm 2011, xảy ra ngập lụt tại Brisbane và South East Queensland (QLD), hơn 200.000 người bị ảnh hưởng trên toàn tiểu bang. Riêng tại Brisbane, lũ đạt đỉnh 4,46 m vào ngày 13 tháng I, làm ngập hơn 28.000 ngôi nhà và khiến 100.000 người không có điện; *Tháng XII/1916* tại Clermont and Peak Downs, QLD, một cơn lốc xoáy quét qua bờ biển dọc theo đường đèo Whitsunday, mang theo lượng mưa lớn cho Clermont, Sapphire, nhấn chìm vùng thấp của Clermont, vì vậy sau đó thị trấn được xây dựng lại trên vùng đất cao hơn; *Cuối Tháng XI năm 1934*, trận mưa 140 mm trong khoảng thời gian 48 giờ tại Melbourne, 350 mm ở Nam Gippsland, đã làm lở đất và nhiều con đường ngập nước; *Tháng II năm 1893* tại Ipswich, QLD, thường được gọi là Lũ tháng hai đen, do cơn bão nhiệt đới Bundinyong gây nên mưa lớn. Trạm thời tiết Crohamhurst đã ghi nhận trận mưa 914 mm và tại một điểm đo khác ghi nhận lượng mưa gần 889 mm ở Brisbane; *Tháng II năm 1927* tại Brisbane, Cairns, Townsville, QLD, một cơn bão nhiệt đới đã tấn công ở phía Bắc của Cairns, gây ra lượng mưa lớn qua Queensland, đến tận Toowoomba. Cơn mưa xối xả, từ ngày 9 đến 17 tháng II đã gây lũ lớn trong vùng; *Tháng IV năm 1929* tại Bắc Tasmania, khu vực phía Bắc Tasmania dễ bị mưa lớn trong thời gian ngắn và mưa lên tới 500 mm trong ba ngày. Nước lũ đã tạo nên một con đường xuyên khu vực, phá hủy mọi thứ trên đường đi của nó, bao gồm cả phương tiện, tòa nhà và đường ray xe lửa; *Tháng II năm 1955* tại thung lũng Hunter, NSW, phần lớn

các hệ thống sông trong tiểu bang bị lũ lụt. Những trận lụt ở Thung lũng Hunter đã trở thành biểu tượng trong tâm lý người Úc về bản chất kịch tính của thiệt hại và cứu hộ lũ lụt. Khoảng 15.000 người đã được sơ tán từ xung quanh hai thị trấn này; *Tháng I đến tháng IV năm 1974* tại Brisbane, QLD, sau một năm đặc biệt ẩm ướt, thành phố Brisbane bị ngập trong nước khi cơn bão nhiệt đới Wanda đổ bộ vào phía Bắc thành phố vào ngày 25 tháng I năm 1974. Ngày 29 tháng I, khu vực Brisbane đã ghi nhận trận mưa 900 mm (314 mm trong 24 giờ); *Tháng VIII năm 1986*, mưa đạt 327,6 mm trong 24 giờ đã gây lũ trên sông Hawkesbury và Georges, NSW. Cơn mưa xối xả đã làm những con đường ngập nước khiến nhiều người lái xe phải từ bỏ xe hơi. Dịch vụ xe buýt đã bị gián đoạn nghiêm trọng trong thành phố và xe lửa đã bị dừng do đường hầm ngập nước [26].

Tóm lại, úng lụt là loại hình thiên tai xảy ra trên khắp thế giới và gây thiệt hại rất lớn về người và của. Quy mô của úng lụt phụ thuộc vào quy mô của lưu vực sông (diện tích lưu vực, chiều dài sông...) và điều kiện khí hậu. Lũ do băng tan có quy mô khá nhỏ (Na Uy, năm 1789, làm ngập 2,5m). Trên lưu vực sông lớn, như sông Mississippi vào năm 1927 làm ngập một vùng rộng lớn lên đến 70.000 km², có nơi bị ngập tới độ sâu 10 m. Ở những lưu vực lớn và do tác nhân của băng tạo nên các đập tự nhiên rồi vỡ thì gây úng lụt vô cùng lớn (sông Kuray, nước Nga, lưu lượng đỉnh lũ lên đến 18 triệu m³/s [88]).

Vì vậy, lũ lụt là vấn đề được các nhà khoa học trên thế giới đã, đang và sẽ đặc biệt quan tâm.

1.2.2. Tình hình úng lụt ở Việt Nam

Việt Nam là một nước thường xuyên chịu tác động của thiên tai, đặc biệt là loại hình thiên tai có nguồn gốc KTTV như: Bão, ATNĐ, lũ, lũ quét, nắng nóng, rét đậm, rét hại... Thiên tai đã, đang và sẽ gây thiệt hại cả về người và của diễn ra thường xuyên và rộng khắp cả nước, do Việt Nam là một trong những nước có vị trí địa lý dễ bị “tổn thương”. Hơn nữa, trong điều kiện BĐKH,

sự phát triển nhanh chóng về kinh tế, xã hội và các hoạt động khai thác công trình thủy lợi, thủy điện... thì những tác động xấu của thiên tai đối với kinh tế - xã hội ngày càng nghiêm trọng.

Theo [41], trong 1.000 năm qua, có 188 cơn lũ làm vỡ đê sông Hồng, gây ngập lụt nghiêm trọng ở đồng bằng sông Hồng, đặc biệt vào các năm: 1945, 1968, 1969, 1971, 1978. Riêng trong thế kỷ 19, xảy ra 26 lần vỡ đê, trong đó đáng chú ý nhất là trận lũ năm 1893. Thế kỷ 20 có 20 lần vỡ đê, đặc biệt là trận lũ năm 1945 và 1971. *Trận lụt ở đồng bằng sông Hồng năm 1971* là một đợt lũ lụt đặc biệt lớn. Đây được xem là trận lũ lụt lớn nhất trong vòng 250 năm qua ở miền Bắc Việt Nam. Từ ngày 12 đến ngày 21 tháng VIII năm 1971, tổ hợp thời tiết bao gồm dải hội tụ nhiệt đới, rãnh thấp nóng phía Tây, cao áp Thái Bình Dương và hoàn lưu của một cơn bão đổ bộ vào miền Nam Trung Quốc, gây ra mưa lớn với lượng từ to đến rất to trên toàn miền Bắc Việt Nam. Bình quân lượng mưa đo được trên lưu vực sông Hồng là 255 mm; lưu vực sông Thái Bình là 247 mm. Có những điểm mưa với lượng lớn, như ở Sìn Hồ 454 mm, Lào Cai 386 mm, Tân Cương 678 mm. Lượng mưa trung bình ở đồng bằng Bắc Bộ vào khoảng 200 mm. Vùng hạ lưu ở sông Hồng và sông Thái Bình đã xảy ra trận lũ lịch sử, được xem là lớn nhất kể từ năm 1902 đến năm 1999. Ngày 20 tháng VIII, đỉnh lũ ở Hà Nội là 14,13 m, vượt mức báo động 3 là 2,63 m, thời gian duy trì trên mức BĐ3 là 8 ngày. Cùng ngày, tại Phả Lại, mực nước lũ đạt mức 7,21 m, vượt báo động 3 là 1,71 m, thời gian duy trì trên báo động 3 là 12 ngày. Lũ trên hệ thống sông Đáy đạt đỉnh ở mức BĐ3. Tại tỉnh Lào Cai, vào ngày 19 tháng III năm 1971 đã ghi nhận mực nước lũ lên đến 86,85 m. Ngày 19 tháng VIII, nước lũ tràn vỡ các đê ở hạ lưu sông Lô, sông Đà và tả ngạn sông Hồng thuộc huyện Vĩnh Tường, đê bồi Thanh Trì phía hữu ngạn sông Hồng. Đến ngày 20, vỡ đê Lâm Thao; sang ngày hôm sau thì vỡ đê Vĩnh Lại và đê Cao Xá. Nhiều đoạn đê khác cũng đã bị vỡ với chiều dài tương

đôi lớn. Vỡ đê đã gây ngập lụt diện rộng trên khu vực đồng bằng Bắc Bộ. Chỉ tính riêng 4 tỉnh Hải Hưng, Hà Bắc, Vĩnh Phú, Hà Tây (cũ), trận lụt đã làm 1.062 xã của 94 huyện với 2,9 triệu hộ gia đình bị ngập lụt nặng, tương đương với trên 40% tổng số hộ gia đình [25]. Ngoài ra, có một số năm ngập úng lớn như: Năm 1913 làm ngập 307.670 ha ruộng lúa; năm 1915 làm ngập 325.000 ha ruộng lúa; lũ 1945 đã làm vỡ 52 đoạn đê với 4.180 m, ngập 312.100 ha hoa màu.

Ở đồng bằng sông Cửu Long, hàng năm, nước lũ sông Mê Kông tràn về gây ngập lụt kéo dài trên một vùng rộng lớn các tỉnh. Lũ được hình thành từ tháng V khi gió mùa Tây Nam bắt đầu thổi mạnh và gây mưa. Đỉnh lũ lớn nhất trên sông Mê Kông xuất hiện tại Tân Châu và Châu Đốc vào tháng IX hoặc đầu tháng X. Mùa lũ thường kéo dài từ cuối tháng VI cho đến cuối tháng XII và được chia ra ba giai đoạn. Trong giai đoạn 1, từ cuối tháng VI đến tháng VIII, nước lũ chảy vào các kênh và các mương rạch vùng Đồng Tháp Mười và Tứ giác Long Xuyên. Cao điểm lũ lụt xảy ra trong giai đoạn 2 vào tháng IX khi mực nước sông Tiền ở Tân Châu cao hơn 4,2 m và mực nước sông Hậu ở Châu Đốc cao hơn 3,5 m. Giai đoạn 3 bắt đầu từ tháng X khi mực nước hạ thấp dần cho đến cuối tháng XII. Hằng năm, ĐBSCL có khoảng 1,4 triệu ha bị ngập lụt vào những năm lũ nhỏ và 1,9 triệu ha vào những năm lũ lớn, thời gian ngập lụt từ 3 - 6 tháng. Lũ ĐBSCL mỗi ngày lên (cường suất) trung bình 5 - 7 cm/ngày, lúc cao nhất có thể đạt 20 - 30 cm/ngày. Đỉnh lũ lớn nhất thường xuất hiện vào cuối tháng IX, đầu tháng X. Lưu lượng lũ trung bình toàn ĐBSCL khoảng 38.000 m³/s. Những năm lũ lớn đạt 40.000 - 45.000 m³/s. Tổng lượng lũ vào ĐBSCL khoảng 350 - 400 tỉ m³ [70]. Lưu lượng đỉnh lũ lớn nhất xác định được vào năm 1939 là 66.700 m³/s tại Kratie, với diện tích khống chế của lưu vực là 646.000 km² [88].

Tại Miền Trung, theo [41], là nơi chịu nhiều bão lũ nhất cả nước do vị trí địa lý và đặc điểm địa hình. Lũ ở khu vực này rất ác liệt do lượng mưa lớn, cường độ mưa cao, sông ngắn và dốc. Trong 20 năm qua đã xảy ra 4 đợt mưa bão lớn, gây nhiều thiệt hại về người và của cho khu vực này:

- Năm 1999: Con bão số 9 đổ bộ vào khu vực Trung Trung Bộ ngày 20 tháng X năm 1999 gây ra mưa lớn ở Trung Bộ kèm gió mạnh. Một tuần sau, ngày 1 tháng XI năm 1999, một đợt gió mùa Đông Bắc mạnh tràn xuống Việt Nam, ban đầu ảnh hưởng đến các tỉnh Bắc Bộ sau đó lan xuống các tỉnh Trung Bộ. Cùng lúc đó không khí lạnh gặp dải thấp xích đạo tác động đến miền Trung Việt Nam, kết hợp với các nhiễu động của đới gió đông trên cao hội tụ lại thành một hình thế thời tiết gây mưa đặc biệt lớn.

Do ảnh hưởng của hệ thống thời tiết trên, từ ngày 1 đến ngày 6 tháng XI ở các tỉnh miền Trung đã xảy ra mưa lớn với lượng mưa từ 600 – 1.000 mm. Mưa tại tỉnh Thừa Thiên - Huế rất lớn, nhiều điểm đạt khoảng 1.000 mm trong 1 ngày, trong đó nổi bật là tại thành phố Huế, lượng mưa 1, 2 ngày đạt 1.384 và 2.288 mm, và tổng lượng mưa cả đợt ở Huế được xem là gần bằng tổng lượng mưa trung bình cả năm. Tại vùng đồng bằng các huyện Hương Thủy, Quảng Điền, Phong Điền, Phú Vang, Phú Lộc và một số nơi ở thành phố Huế, nước ngập sâu đến 4 mét.

Mưa lớn dồn dập đã gây ra một đợt lũ lụt diện rộng tại các tỉnh Trung Bộ, nhiều điểm đạt tới mức báo động 3 và trên mức báo động 3. Đặc biệt, một số sông đạt giá trị xấp xỉ hoặc vượt mức lũ lịch sử và được xem là lớn nhất trong vòng từ 70 - 100 năm qua. Đáng chú ý lũ trên sông Hương lên nhanh, cường suất lũ lên tới mức 1,0 m/h [24].

Năm 2007: từ ngày 5 - 8/VIII, tại tỉnh Quảng Bình đã xảy ra lũ lịch sử trên sông Gianh. Mưa lũ đã làm ngập 90.225 nhà, 101.800 ha.

Năm 2016: Từ giữa tháng X - giữa tháng XII/2016, liên tiếp xảy ra 5 đợt mưa lũ lớn diện rộng tại các tỉnh miền Trung, đặc biệt tại Bình Định lũ lớn xấp xỉ mức lũ lịch sử. Đợt mưa lũ đã làm ngập 236.196 nhà, 103.902 ha.

Năm 2017: Bão số 12 đổ bộ trực tiếp vào khu vực Nam Trung Bộ, đây là cơn bão rất mạnh hiếm gặp ở phía Nam. Gió mạnh khi bão đổ bộ đã gây thiệt hại lớn tại các tỉnh Khánh Hoà, Phú Yên, Bình Định. Mưa rất lớn trên diện rộng gây lũ lớn trên mức trên báo động 3 ở hầu hết các sông.

Năm 2020, do ảnh hưởng của không khí lạnh kết hợp với dải hội tụ nhiệt đới có trục qua Trung Bộ nối với ATNĐ, đã xảy ra đợt mưa đặc biệt lớn từ ngày 07 đến 13/X, lũ đặc biệt lớn xảy trên nhiều sông. Đỉnh lũ nhiều sông đạt trên mức BĐ3 như sông Nhật Lệ, sông Thạch Hãn, Sông Hiếu, Sông Bồ, Sông Hương, sông Vu Gia- Thu Bồn, Sông Vệ. Đặc biệt lũ nhiều sông đã đạt mức xấp xỉ và vượt đỉnh lũ lịch sử như: Sông Hiếu tại Đông Hà: 4.70m (cao hơn lũ lịch sử tháng X/1983 là 0.12m); sông Thạch Hãn tại Thạch Hãn: 7.17m (thấp hơn lũ lịch sử tháng XI/1999 là 0.12m); Sông Bồ tại Phú Ốc 5.24m (cao hơn lũ lịch sử tháng XI/1999 là 0.06m).

Tại sông Cả, từ 1954 đến nay đã xảy ra những trận lũ lớn có ảnh hưởng nghiêm trọng đến hạ du như sau: 1954, 1964, 1978, 1983, 1988, 1996, 2002, 2010.

Năm 1954: lũ đã làm vỡ 20 đoạn đê thuộc đê Tả Lam, hàng ngàn hộ dân bị nước lũ cuốn trôi phải chịu cảnh đói rét. Thiệt hại do lũ lụt gây ra ở Nghệ An từ 1945 đến 1954 như sau: diện tích bị úng nặng là 63.293 ha; diện tích bị mất trắng là 19.668 ha [16]. Đáng chú ý nhất, trận lũ lịch sử tháng IX năm 1978 làm ngập 9.698 ha lúa; hệ thống đê ngăn lũ bị vỡ 397 chỗ, trên tổng chiều dài là 29.400 m, với khối lượng đất vỡ là 587.000 m³, trong đó, đê trung ương vỡ 7 chỗ, dài 570m, khối lượng 14.400 m³; đê địa phương vỡ 220 chỗ, dài 9.800 m, khối lượng 278.000 m³ [72].

Tóm lại, ở Việt Nam mặc dù quy mô của các lưu vực sông không lớn như: Trường Giang, Hoàng Hà (Trung Quốc), Rhein (châu Âu), Nile (châu Phi), Amazon (Nam Mỹ), Mississippi (Mỹ)... nhưng cũng đã xảy ra thảm họa về lũ lụt vào các năm: năm 1945, 1971 ở sông Hồng, năm 1999, 2020 ở miền Trung và năm 1978 ở sông Cả...

Dưới tác động của biến đổi khí hậu, mức độ cực đoan của mưa, lũ đang có xu hướng gia tăng, nhất là ở khu vực miền Trung. Theo [65], ở khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và miền Trung có sự gia tăng đỉnh lũ cao nhất năm trong 3 thập kỷ gần đây. Sau lũ năm 1978, ngoài các trận lũ lớn xảy ra ở hạ du sông Cả như: 1983, 1988, 1996, 2002, 2010, còn có nhiều trận lũ đặc biệt lớn trên các nhánh nhỏ. Trên sông Hiếu, lũ lớn xảy ra vào các năm: 1987, 2007 (lũ lịch sử), 2009, 2011, 2016. Trên sông Nậm Mộ, lũ lớn xảy ra vào các năm: 1980, 2005, 2011 (lũ lịch sử), 2012, 2018. Trên sông Ngàn Phố, lũ lớn xảy ra vào các năm: 1983, 1988, 1989, 2002 (lũ lịch sử), 2013. Trên sông Ngàn Sâu, lũ lớn xảy ra vào các năm: 1983, 2002, 2007, 2010 (lũ lịch sử), 2013. Thống kê cho thấy liên tiếp xuất hiện các trận lũ đặc biệt lớn và lịch sử trên các sông nhánh thuộc sông Cả trong những năm gần đây. Đó là những minh chứng về sự gia tăng hiện tượng cực đoan của lũ lụt trên sông Cả. Cộng với đặc điểm địa hình ngấn và dốc của các sông Miền Trung nói chung và sông Cả nói riêng, lũ lụt ở đây đang diễn ra rất đáng quan tâm.

1.3. Tổng quan về nghiên cứu ứng lụt ở nước ngoài và Việt Nam

Nghiên cứu về ứng lụt nhằm hiểu biết để kiểm soát và làm giảm thiểu những thiệt hại do nó gây ra. Các nhà khoa học ở nhiều lĩnh vực trên thế giới đã tập trung làm rõ các khía cạnh sau: (1) Nghiên cứu về các nguyên nhân gây ứng lụt: mưa, tuyết tan, thủy triều; địa hình, địa chất, mặt đệm; hệ thống các công trình khai thác tổng hợp: công trình thủy lợi, thủy điện đa mục tiêu, đê,

kè, đường giao thông; (2) Nghiên cứu thông qua địa hình, địa mạo; (3) Nghiên cứu thông qua các mô hình mô phỏng ứng lự.

1.3.1. Nghiên cứu về các nhân tố gây ứng lự

1.3.1.1. Ảnh hưởng của các nhân tố KTTV:

Rudolf Brázdil và cộng sự [102] đã nhận định ngập do thủy triều ở Tây Âu, phần lớn lãnh thổ Bỉ, Đan Mạch, Hà Lan và một phần Vương quốc Anh ảnh hưởng lớn hơn do lũ lự; Lũ lự ở Trung Âu thường do các nhân tố sau gây ra: mưa lớn kéo dài, kết hợp mưa do bão, và tuyết tan.

Anujit Vansarojana và cộng sự (2016) [82] đã phân tích những thay đổi về lượng mưa ở lưu vực sông Huai Luang, Thái Lan và nhận thấy lượng mưa hàng năm có xu hướng gia tăng trong thời gian trong 32 năm từ 1982 đến 2013. Lượng mưa hàng năm trong giai đoạn thứ hai (1998 - 2015) cao hơn giai đoạn đầu (1982-1997) là 20%. Lượng mưa ngày lớn nhất tại ba trạm quan trắc trong giai đoạn thứ hai cũng cao hơn giai đoạn đầu 19,22 - 45,76%. Lũ lự nghiêm trọng ở thượng nguồn ở lưu vực nghiên cứu xảy ra thường xuyên hơn trong giai đoạn 1998-2013.

Bùi Đức Long và Đặng Thanh Mai [37] đã có những tổng kết và đưa ra nhận định về các nhân tố gây ra đợt lũ lự lịch sử năm 1999 ở Miền Trung; Nguyễn Văn Cư [12], Nguyễn Viết Thi [60] đã tiến hành nghiên cứu và tổng kết các hình thể thời tiết chính gây mưa lũ lớn trên các sông suối Miền Trung;

Nguyễn Khánh Vân và cộng sự (2013) [77], đã nghiên cứu nguyên nhân và quy luật của thời tiết mưa lớn khu vực đèo Hải Vân - đèo Cả, vùng Nam Trung Bộ (giai đoạn 1986 - 2010). Tác giả đã thống kê, phân tích nguyên nhân, diễn biến, tần suất xuất hiện của các HTTT mưa lớn ở khu vực từ đèo Hải Vân đến đèo Cả và đã rút các kết luận: Các HTTT Bão (ATNĐ), KKL, Bão (ATNĐ) kết hợp với KKL, HTNĐ kết hợp với KKL có tần số xuất hiện lớn hơn 3 hình thể còn lại (HTNĐ; HTNĐ và Bão (ATNĐ); XTNĐ hoặc ITCZ và gió SE, Đới

gió E trên cao, Gió NE, Gió SW...; Tổ hợp của 2 HTTT xảy ra đồng thời hoặc gối tiếp nhau có nhiều khả năng gây mưa lớn và rất lớn trên diện rộng, thời gian mưa kéo dài, gây ngập lụt nghiêm trọng. Thời gian kéo dài của các HTTT gây mưa trong khoảng thời gian từ 2 - 6 ngày, chủ yếu từ 2 - 4 ngày; Các HTTT xuất hiện vào giữa mùa (các tháng IX - XI, đặc biệt vào hai tháng X và XI) thường gây ra mưa lớn và rất lớn. Những đợt mưa với lượng lớn như vậy thường gắn liền với KKL kết hợp với hoạt động của đới gió Đông mạnh, KKL kết hợp với bão (ATNĐ) hoặc dải HTNĐ; HTTT Bão (ATNĐ) đổ bộ trực tiếp vào khu vực có thể gây mưa to nhưng thời gian kéo dài không quá 3 ngày.

Tăng Văn An và cộng sự (2019) [1] đã nghiên cứu xác định những hình thể thời tiết gây mưa lớn trên địa bàn tỉnh Nghệ An. Các hình thể gây mưa lớn cho lưu vực sông Cả bao gồm: Rãnh áp thấp (ITCZ); Xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ); Bão hoặc ATNĐ; Nhiễu động gió Đông (SE); Không khí lạnh (KKL). Tổ hợp một số hình thể thời tiết trên như: Tổ hợp của hai hình thể thời tiết hoặc có thể xuất hiện tổ hợp cả 3 dạng hình thể thời tiết. Tác giả nhận thấy các hình thái kết hợp có tần suất xuất hiện nhiều nhất là dạng XTNĐ + ITCZ và ITCZ + KKL, riêng dạng XTNĐ + KKL xuất hiện không nhiều nhưng lại gây mưa lớn nhất.

1.3.1.2. Ảnh hưởng của các nhân tố mặt đệm:

Nguyễn Thanh Sơn [52], [53] đã ứng dụng mô hình toán thực nghiệm số tính thấm trong phương pháp SCS cho lưu vực sông Vệ, trạm An Chỉ (2006), áp dụng mô hình 1DKWM – FEM & SCS đánh giá tác động của quá trình đô thị hóa đến dòng chảy lũ trên một số sông ngòi Miền Trung (2006);

Nguyễn Văn Cư và cộng sự [11] đã đánh giá hiện trạng và bước đầu tìm kiếm các nguyên nhân gây lũ lụt ở vùng Nam Trung Bộ; TP Hồ Chí Minh, nơi thường xuyên bị ảnh hưởng của ngập úng. Đã có nhiều nghiên cứu xác định nguyên nhân và các giải pháp chống ngập được đưa ra cho TP Hồ Chí Minh.

Lê Sâm (2010) đã tính toán cân bằng tiêu nước nhằm xác định cốt nền hệ thống tiêu (đê bờ bao, hồ điều hòa, hệ thống kênh, cống tiêu...) và giải pháp tiêu nước cho các dự án điển hình; Định hướng phát triển hệ thống hồ điều hòa cho toàn thành phố; Đề xuất hệ thống quan trắc, giải pháp công nghệ cảnh báo, giám sát ngập cho TP HCM; Tích hợp GIS, viễn thám và mô hình thủy lực trong đánh giá mức độ thiệt hại do ngập lụt; Xây dựng cơ sở dữ liệu nhằm hỗ trợ cảnh báo và giám sát ngập nước cho TP HCM [51]. Đào Xuân Học đã phân tích các đặc điểm và nguyên nhân gây ngập úng ở TP HCM, nổi bật là: thành phố nằm ở vùng cửa sông lớn, sát biển nên chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của dòng chảy trên sông, dòng triều từ Biển, trong đó ảnh hưởng của Biển đang có xu thế ngày càng tăng; địa hình thành phố thấp trũng; nền địa chất yếu, dễ bị sụt lún; Thành phố có lịch sử phát triển 300 năm nên hệ thống tiêu thoát nước quá cũ kỹ, chắp vá và có nhiều bất cập. Tác giả đã đề xuất một số giải pháp giải quyết ngập do mưa; giải quyết ngập do lũ; và ngập do lũ và triều [15].

Các nghiên cứu của tác giả Đào Đình Bắc, Vũ Văn Phái, Đặng Văn Bào, Nguyễn Hiệu [4], [5], [6], [14] cho thấy rằng sự chia cắt lưu vực có tác dụng quyết định đến các lòng sông cổ và chia cắt địa hình gây ảnh hưởng lớn đến thoát lũ từ đó góp phần vào cảnh báo và giảm nhẹ thiên tai do lũ lụt gây ra.

1.3.2. Xây dựng các mô hình toán để giải quyết bài toán úng lụt

Quá trình hình thành dòng chảy và gây úng lụt trên một lưu vực diễn ra rất phức tạp, phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: mưa, địa hình, thảm phủ thực vật, địa chất, các công trình thủy lợi, thủy điện, giao thông... Hơn nữa, tài liệu quan trắc về dòng chảy thường không được đầy đủ, nên phương pháp mô hình toán mô phỏng là lựa chọn hợp lý nhất để nghiên cứu úng lụt. Vì vậy, Luận án sẽ tập trung tìm hiểu các mô hình toán để giải quyết một số vấn đề về úng lụt chưa được nghiên cứu kỹ lưỡng.

Từ những năm 1960 của thế kỷ XX, xuất hiện nhiều sơ đồ giải những bài toán truyền lũ cỡ lớn như của Preissman (Pháp), Vaxiliev (Liên Xô cũ), Cunge (Pháp)... Những thuật giải này cũng đã được áp dụng ở Việt Nam. Từ thời kỳ này, các mô hình thủy văn tính toán dòng chảy từ mưa, mô hình đường lũ đơn vị, mô hình diễn toán dòng chảy trong sông, mô hình điều tiết hồ chứa và tính toán cân bằng nước phát triển rất mạnh.

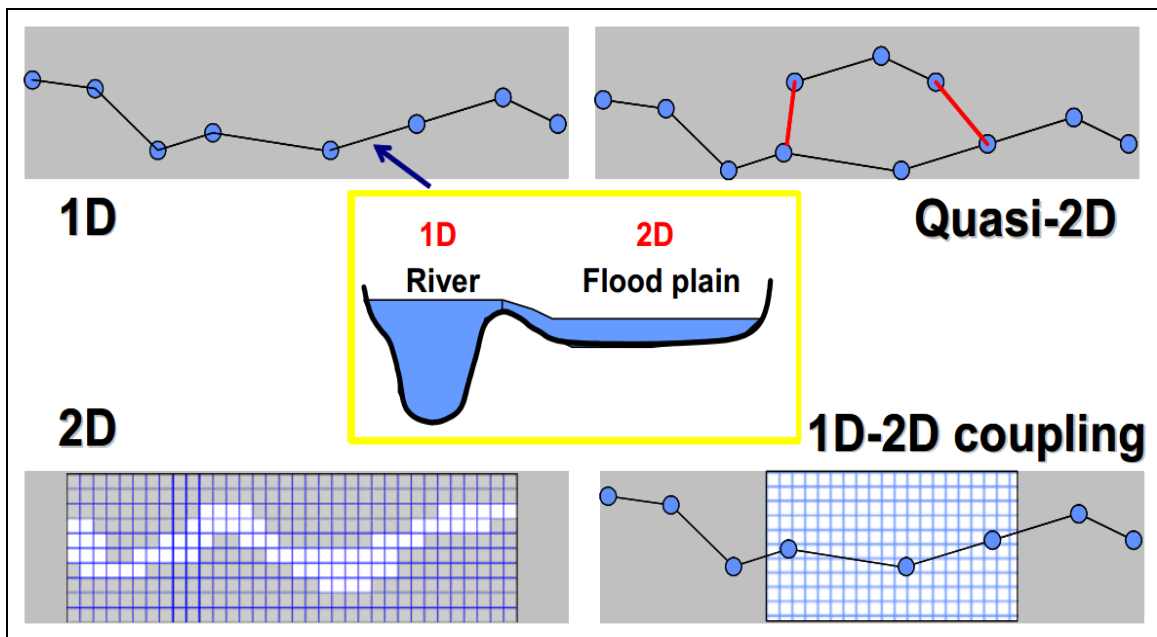
Từ năm 1980 đến nay, nhờ sự tiến bộ nhanh chóng của công nghệ thông tin, hàng loạt các mô hình thủy văn, thủy lực ra đời. Trước hết là những mô hình thủy văn thông số tập trung được ra đời và phát triển như NAM (Đan Mạch), TANK (Nhật), SSARR (Mỹ)... Cùng với sự phát triển của việc thu thập dữ liệu về KTTV, địa hình, tài liệu sử dụng đất các mô hình thủy văn (cả tập trung và phân bố) phát triển mạnh như: TOPMDEL (Mỹ), DIMOSOP (Italia), HBV (Thụy điển), WETSPA (Bi), MARINE (Pháp), IFAS (Nhật)... Đồng thời các mô hình thủy lực cũng phát triển mạnh như bộ mô hình họ HEC (Mỹ), MIKE (Đan Mạch), ISIS (Anh)...

Để giảm khối lượng tính toán trong các mô hình thủy lực 2D, nhiều nghiên cứu thường bỏ qua một số thành phần của phương trình động lượng của hệ phương trình Saint Venant.

Nathalie Asselman và các tác giả khác (2009) [99] đã công bố nghiên cứu về một số mô hình số mô phỏng ngập lụt. Tác giả đã phân tích các kiểu mô hình số mô phỏng ngập lụt (*Hình 1.2*). Mục tiêu của nghiên cứu là lựa chọn kiểu mô hình thích hợp cho các vùng ngập lụt khác nhau. Tác giả đã chọn 3 lưu vực sau để tính toán thử nghiệm (*Bảng 1.1*): vùng cửa sông Scheldt (Hà Lan) có địa hình thấp và được bảo vệ bởi đê; một vùng dọc theo sông Thames (Anh), là vùng đồng bằng thấp trũng có đê bảo vệ; lưu vực sông Brembo (Italia) có địa hình núi cao, lòng sông dốc.

Qua nghiên cứu, tác giả đã nhận xét tổng quan việc áp dụng các kiểu mô hình mô phỏng tương ứng với các lưu vực như sau:

+ Đối với các lưu vực sông thấp, vùng ngập lụt rộng, phẳng hoặc vùng cửa sông có vùng ngập lụt rộng thì áp dụng mô hình 2 chiều có lưới cấu trúc hoặc không cấu trúc. Cũng có thể sử dụng ô ruộng nếu vùng đó mang tính chất chứa là chủ yếu và thiếu số liệu địa hình chi tiết;



Hình 1.2: Kiểu cách mô hình số mô phỏng ngập lụt [99]

Bảng 1.1: Một số mô hình áp dụng tính toán ngập lụt áp dụng cho 3 lưu vực có đặc điểm khác nhau [99]

Kiểu mô hình	Lưu vực		
	Scheldt	Thames	Brembo
1D			SOBEK 1D, SV1D, SANA1D, ORSAID-Roe
1D kiểu tựa 2D	SOBEK 1D		
2D giả		RFSM	
2D	SOBEK 2D, SV2D	SOBEK 2D, LISTFLOODFP, INFORWORK2D	

+ Đối với lưu vực sông có lòng sông dốc và vùng ngập rộng: nếu có đủ dữ liệu yêu cầu thì sử dụng mô hình 2 chiều kết hợp với dòng chính; nếu có đủ số liệu về mặt cắt ngang sông nhưng thiếu tài liệu địa hình thì dùng mô hình 1 chiều kết hợp với dòng chính.

+ Với lưu vực sông có dòng sông dốc và vùng ngập hẹp: thì sử dụng mô hình 1 chiều hoặc 2 chiều kết hợp với dòng chính; cũng có thể sử dụng mô hình 1 chiều với sự thay đổi khối lượng và động lượng giữa các ô.

+ Với vùng đô thị khi có đầy đủ dữ liệu: bản đồ địa hình, bản đồ số độ cao (DEM), dữ liệu KTTV thì sử dụng mô hình 2 chiều, với mô hình nước nông đầy đủ ở những nơi có ảnh hưởng lớn của quán tính cục bộ. Hiện nay đã có mô hình ô chứa 2 chiều cho kết quả hợp lý tuy nhiên chi phí tính toán cao.

A. Pathirama và các tác giả (2011) [81] đã phát triển mô hình EPA-SWMM5 để tính toán ngập lụt đô thị. Mô hình EPA-SWMM5 được phát triển trên cơ sở mô hình 2 chiều được đơn giản hóa kết hợp với mô hình tiêu thoát lũ 1 chiều SWMM5. Mô hình 2 chiều được đơn giản hóa thành dạng nằm giữa sóng khuếch tán và sóng động lực áp dụng cho vùng nước nông. Tác giả đã áp dụng tính toán ngập lụt cho một lưu vực tại Brazil. Do đơn giản hóa bằng sơ đồ sai phân ẩn hướng xen kẽ (Alternating Direct Implicit Finite difference method) ở mô hình 2 chiều nên mô hình chạy nhanh, ổn định và độ chính xác của mực nước chấp nhận được.

Zhifeng Li và các tác giả khác (2014) [106] đã sử dụng ô lưới tam giác không đều CD-TIN (Constrained Delauney Triangle Irregular Network) để tính toán ngập lụt cho vùng đô thị. Việc sử dụng ô tam giác đã tăng độ chính xác khi mô phỏng ở địa hình phức tạp vùng đô thị.

Đánh giá sự ảnh hưởng của tài liệu địa hình tới kết quả mô phỏng, Yung-Chia Hsua và nnk (2016) [105] đã sử dụng bản đồ DEM ở nhiều độ phân giải khác nhau để mô phỏng ngập lụt. Kết quả cho thấy rằng diện tích vùng ngập

lụt tăng lên với các DEM thô hơn. Cụ thể, diện tích ngập lụt khi sử dụng DEM 40 x 40 m lớn hơn 1,5 lần so với DEM 1 x 1 m; Fatemeh Geravand và nnk (2020) [89] đã nghiên cứu sự ảnh hưởng của tài liệu địa hình đến kết quả mô phỏng ngập lụt, đã xác định được khoảng cách giữa các mặt cắt ngang có ảnh hưởng lớn hơn so với khoảng cách các điểm trên từng mặt cắt (độ chính xác của từng mặt cắt).

1.3.3. Nghiên cứu tác động của hồ chứa đến ứng lụt

Ngày càng có nhiều hồ chứa sử dụng tổng hợp được xây dựng ở thượng nguồn các con sông. Thực tế cho thấy, sau khi hình thành hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Hồng (Sơn La, Hoà Bình, Thác Bà, Tuyên Quang, Lai Châu, Bản Chát, Huội Quảng), việc kiểm soát lũ lụt ở hạ du đã được cải thiện rõ rệt [45]. Điều này cũng thể hiện rõ rệt ở các hệ thống sông khác trên thế giới và Việt Nam. Vì vậy, nhiều nhà khoa học ở nước ngoài và trong nước đã nghiên cứu việc điều khiển hồ chứa để đạt được tối ưu trong phát điện, cấp nước và giảm ngập lụt ở hạ du:

Tran Hong Thai (2005) [103] đã sử dụng phương pháp số hóa để ước lượng thông số trong mô hình và điều khiển tối ưu hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Hồng. Việc tối ưu hóa xả lũ các hồ chứa trên sông Hồng được giải quyết bằng phương pháp Gauss-Newton rút gọn và được thực hiện bằng phần mềm PARFIT và FIXFIT. Tác giả đã phát triển mã nguồn của FIXFIT để ước lượng các thông số của mô hình.

Long N. L và cộng sự (2007) [97] đã nghiên cứu kết hợp mô hình mô phỏng và thuật toán tối ưu để vận hành hồ Hoà Bình, giải quyết xung đột chính giữa phòng lũ và phát điện ở giai đoạn cuối mùa lũ và đầu mùa kiệt. Tác giả đã sử dụng phần mềm MIKE 11 để mô phỏng hệ thống sông và hồ chứa kết hợp với các thuật toán tối ưu SCE (shuffled complex evolution) để tìm ra quỹ đạo tối ưu (pareto) khi xem xét cả hai ưu tiên giữa phòng lũ và phát điện. Kết quả

đạt được cho thấy hoàn toàn có thể dùng mô hình mô phỏng để giải quyết vấn đề phòng lũ cho công trình và cho hạ du mà vẫn có thể duy trì mực nước cao ở cuối mùa lũ để đảm bảo hiệu ích cao trong phát điện ở mùa kiệt kế tiếp. Đồng thời, nghiên cứu cũng cho thấy thuật toán tối ưu SCE là một công cụ hữu hiệu trong giải quyết các bài toán hệ thống phức tạp.

Kumar, Viện Khoa học Ấn độ (2007) [95] đã sử dụng thuật toán tối ưu SWARM nghiên cứu vận hành hệ thống liên hồ chứa gồm 4 hồ mà trước đây Larson đã sử dụng Quy hoạch động để giải quyết. Hai nhà thủy văn Kumar và Singh cũng đã áp dụng các thuật toán GA - giải đoán gen. Tiếp đó Giáo sư Kumar lại thử nghiệm áp dụng cho hệ thống hồ chứa Bhadra của Ấn độ. Kết quả cho thấy thuật toán tối ưu SWARM có khả năng rất tốt vào giải quyết bài toán vận hành liên hồ chứa.

Wei, C. C. và Hsu, N. S (2009) [104] nghiên cứu vận hành tối ưu với các quy tắc nhánh cây (treebased rules) cho hệ thống hồ chứa đa mục tiêu phòng lũ với thời gian thực bằng việc tích hợp vào hệ thống mô hình dự báo thủy văn. Phương pháp này đã được áp dụng cho hệ thống hồ chứa trên sông Tanshui ở Đài Loan. Kết quả vận hành thử nghiệm cho trận mưa lũ lịch sử năm 2004, cho thấy phương pháp này có kết quả tốt, đảm bảo cắt được đỉnh lũ theo yêu cầu của các điểm kiểm soát ở hạ lưu mà vẫn đảm bảo yêu cầu tích nước vào cuối mùa lũ ở các hồ chứa.

Nguyễn Hữu Khải, Lê Thị Huệ (2011) [34] đã mô phỏng vận hành liên hồ chứa sông Ba mùa lũ bằng mô hình HEC-ResSim. Kết quả cho thấy, nếu dựa vào cảnh báo lũ, có thể hạ thấp mực nước trước lũ trước 48h đối với hồ sông Hinh và Krông H' năng và trước 24 h đối với các hồ còn lại, như vậy việc xả sẽ chủ động, an toàn và không gây lũ nhân tạo. Điện năng cũng không bị tổn thất nhiều; Hạ thấp mực nước trước lũ có tác dụng giảm lũ hạ lưu, tuy nhiên cần cắt lũ ở phạm vi lưu lượng đến bằng khoảng 75-85% lưu lượng đỉnh lũ đến hồ đối

với hồ sông Ba hạ và bằng 35-45% Q đỉnh lũ đối với hồ sông Hình và Krông H' năng tùy từng dạng lũ (đỉnh lũ theo dự báo); Khi điều tiết như trên có thể giảm đỉnh lũ tại Củng Sơn xuống 20 - 25%, mực nước tại Củng Sơn xuống 0,80 - 1,50 m.

Hoàng Thanh Tùng (2011) [74] đã lựa chọn hướng tiếp cận kết hợp giữa mô hình mô phỏng (HEC-HMS, HEC-ResSim) với mô hình điều khiển hệ thống trong đó sử dụng cả hai phương pháp “Ẩn” và “Hiện” để xác định các ưu tiên vận hành cho từng hồ trong hệ thống (phân nhỏ các vùng dung tích để vận hành theo các ưu tiên của biểu đồ điều phối của từng hồ sao cho có hiệu quả) và các ưu tiên vận hành kết hợp giữa các hồ với các ưu tiên về ràng buộc giữa mực nước và lưu lượng của các vùng bị ảnh hưởng dưới hạ lưu để đảm bảo mục tiêu phòng lũ cho các công trình và vùng hạ du các công trình.

Trần Thiết Hùng và các tác giả khác (2015) [30] đã đề xuất phương pháp lựa chọn hệ thống trong mô phỏng ảnh hưởng của các công trình thủy điện, thủy lợi đến lũ lụt hạ du các lưu vực sông Miền Trung;

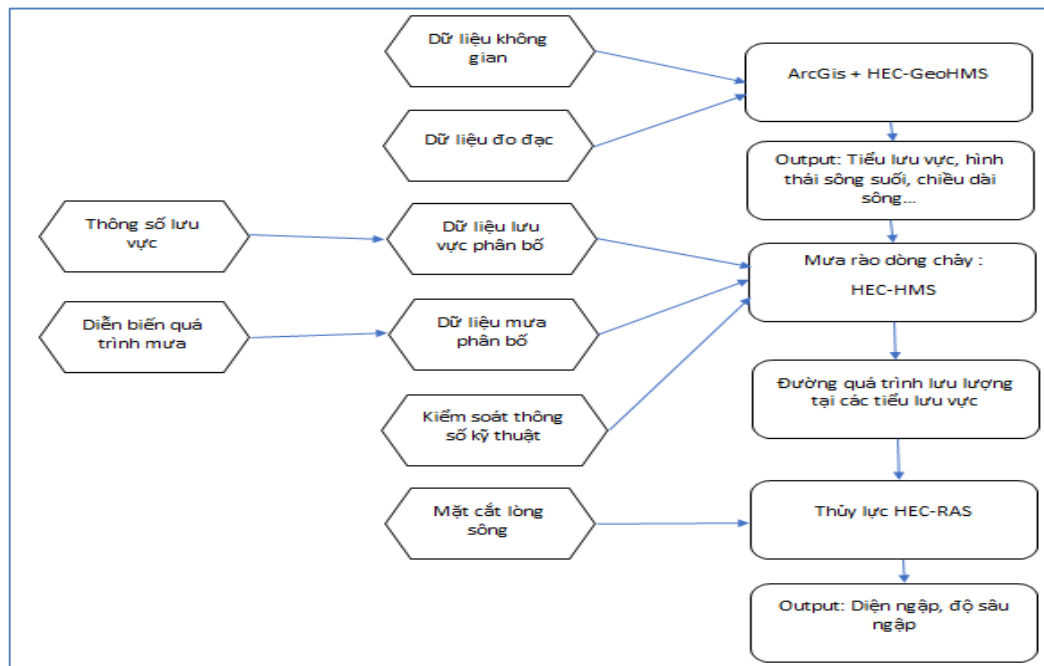
Lê Hùng (2013) [28] đã áp dụng mô hình HEC-ResSim mô phỏng hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn, từ đó đề xuất quy tắc vận hành hồ chứa cho trường hợp mực nước trước khi lũ về nhỏ hơn mực nước đón lũ, nhằm xả lũ an toàn cho hạ du, mà không ảnh hưởng lớn đến mục tiêu phát điện của các hồ chứa.

1.3.4. Nghiên cứu dự báo ứng lụt

M.R. Knebla và các tác giả khác (2005) [98] đã áp dụng mô hình HEC-HMS/RAS để mô phỏng ngập lụt quy mô lớn có sử dụng dữ liệu ra đa và GIS. Sơ đồ tính toán được thể hiện tại *Hình 1.3*. Tác giả đã chọn vùng nghiên cứu là lưu vực sông San Antonio (khoảng 10.000 km²) ở trung tâm Texas, Mỹ, là vùng thường xảy ra lũ quét nghiêm trọng. Trận lũ vào mùa hè năm 2002 được

chọn để hiệu chỉnh thông số mô hình. Kết quả của nghiên cứu được ứng dụng cho việc dự báo ngập lụt ở khu vực lớn.

Việc áp dụng các mô hình toán để dự báo lũ đã được áp dụng rộng rãi ở Việt Nam: Lê Xuân Cầu và Nguyễn Văn Chương (2000) [8] đã ứng dụng mạng thần kinh nhân tạo (ANN) để dự báo lũ sông Cầu, Trà Khúc và sông Vệ; Nguyễn Hữu Khải và Lê Xuân Cầu (2000) [32] đã ứng dụng mạng thần kinh nhân tạo (ANN) để dự báo lũ quét; Trần Thực và nnk (2000) [63] đã ứng dụng mô hình mạng thần kinh nhân tạo (ANN) để tính toán dự báo lũ cho các sông Tả Trạch, Trà Khúc, Vệ và lũ quét trên sông Dinh;



Hình 1.3: Sơ đồ sử dụng mô hình HEC-HMS/RAS, mưa ra đa và GIS để tính toán ngập lụt

Trần Thanh Xuân, Hoàng Minh Tuyển (2000) [79] đã sử dụng mô hình TANK để tính toán lũ trên sông Tả Trạch; Ho Thi Phuong và nnk [91] đã sử dụng mô hình TANK để đánh giá sự thay đổi của dòng chảy trên sông Hiếu.

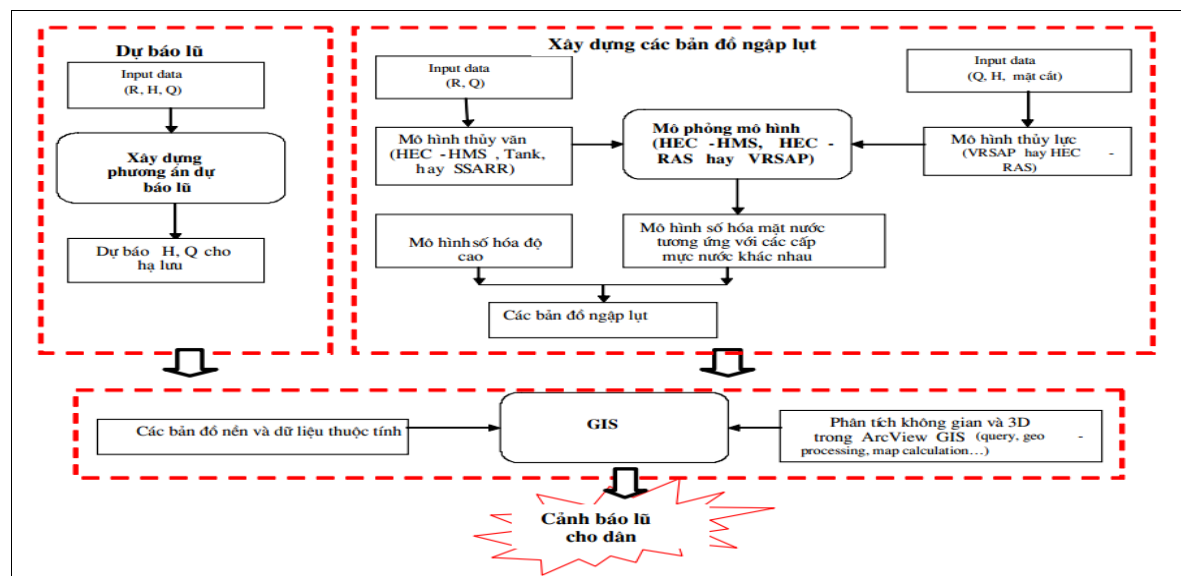
Vũ Minh Cát (2000) [7] đã áp dụng mô hình DIMOSOP để dự báo lũ trung hạn cho hệ thống sông Hồng và sông Thái Bình [71]. Đây là mô hình thủy văn thông số tập trung, có khả năng sử dụng thông tin toàn cầu như bản đồ đất,

hiện trạng sử dụng đất, ảnh vệ tinh để mô phỏng lưu vực. Mô hình đặc biệt hữu ích cho các lưu vực liên quốc gia như lưu vực hệ thống sông Hồng và Thái Bình, khi mà thông tin phân lưu vực thuộc Trung Quốc hầu như không có.

Bùi Đức Long [38], [39] áp dụng mô hình SSARR để dự báo lũ trên sông Trà Khúc (2001) và sông Cả (2003); Lê Văn Nghinh và Hoàng Thanh Tùng (2007) [42] đã ứng dụng các mô hình toán và Hệ thống Thông tin địa lý để xây dựng các phương án dự báo, cảnh báo lũ và ngập lụt cho các sông lớn ở miền Trung. Phương pháp nghiên cứu của tác giả được thể hiện tại *Hình 1.4*.

Trần Thục (2005) [64] đã áp dụng bộ mô hình MIKE để xây dựng công nghệ tính toán dự báo lũ lớn trên hệ thống sông Hồng-Thái Bình trước 48 giờ.

Nguyễn Lan Châu (2006) [9] đã ứng dụng thành công mô hình MARINE để xây dựng công nghệ dự báo lũ sông Đà, phục vụ điều tiết hồ Hòa Bình trong công tác phòng chống lũ lụt.



Hình 1.4: Phương pháp nghiên cứu dự báo, cảnh báo lũ và ứng dụng [42]

Bùi Đình Lập và nnk (2016) [36] đã nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo dòng chảy lũ hạn ngắn đến các hồ chứa trên sông Hồng bằng mô hình MARINE.

Trịnh Thu Phương và nnk (2017) [44] đã áp dụng mô hình MIKE, mô hình mạng thần kinh nhân tạo ANN và mô hình thống kê nhiều biến được xây dựng trong Matlab để nhận định lũ lớn thời hạn 5-10 ngày, nhận định dòng chảy lũ và cạn trước 1 tháng, 3 tháng và 6 tháng trên hệ thống sông Hồng.

Lương Hữu Dũng (2018) [13] đã áp dụng bộ mô hình MIKE, mô hình ngẫu nhiên mô hình ANN và mô hình hồi quy nhiều biến với phần mềm SPSS để xây dựng công nghệ dự báo tài nguyên nước mặt cho lưu vực sông Ba và sông Kôn ở Nam Trung Bộ và Tây Nguyên. Nghiên cứu đã đưa ra những dự báo về tài nguyên nước phục vụ lập kế hoạch sử dụng nước, điều hành hợp lý hệ thống hồ chứa và giải quyết các mâu thuẫn ngày càng gay gắt giữa phát điện và cấp nước trong mùa cạn, giữa phòng lũ và tích nước cuối mùa lũ, giúp các nhà quản lý hiệu quả nguồn nước và đưa ra những chính sách dài hạn phân phối nguồn nước hợp lý của các lưu vực sông.

1.3.5. Nghiên cứu các giải pháp giảm nhẹ thiệt hại do úng lụt

Việc nghiên cứu để đưa ra các giải pháp giảm nhẹ thiệt hại do lũ lụt gây ra, có một số nghiên cứu sau: Trần Ngọc Anh (2011) [2] đã nghiên cứu xây dựng bản đồ ngập lụt cho hạ lưu lưu vực sông Bến Hải và Thạch Hãn; Võ Thị Thanh Xuân (2005) đã thực hiện Luận án Tiến sỹ “Nghiên cứu một số giải pháp hoàn thiện quy hoạch thoát nước và xử lý nước thải lưu vực sông Tô Lịch - Thành phố Hà Nội”. Tác giả đã sử dụng phương pháp: tổng hợp, phân tích các quy hoạch thoát nước một số đô thị nhằm đúc rút kinh nghiệm để thiết lập các cơ sở khoa học và phương pháp luận trong quy hoạch thoát nước và xử lý nước thải đô thị, làm cơ sở phân tích, đánh giá quy hoạch thoát nước lưu vực sông Tô Lịch; Phương pháp kế thừa các nghiên cứu về quy hoạch thoát nước thành phố Hà Nội đã có; Phương pháp mô hình toán: sử dụng mô hình thủy văn, thủy lực SWMM để thiết kế và kiểm tra hệ thống thoát nước với các trận mưa thực tế [80]; Nguyễn Thị Thảo Hương (2011) đã sử dụng mô hình MIKE FLOOD

để nghiên cứu quy hoạch phòng chống và tiêu thoát lũ sông Trà Khúc và sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi [31]; Hoàng Thị Nguyệt Minh (2014) đã thực hiện "Nghiên cứu cơ sở khoa học và đề xuất giải pháp tiêu úng, thoát lũ sông Phan - Cà Lò". Tác giả đã sử dụng bộ mô hình MIKE để mô phỏng lũ, ngập lụt lưu vực sông Phan - Cà Lò. Qua đó đánh giá các phương án tiêu thoát lũ cho lưu vực nghiên cứu [41].

- Nguyen Mai Dang (2010) [100] đã nghiên cứu đánh giá rủi ro lũ lụt tổng hợp cho vùng phân lũ sông Đáy, thuộc hệ thống sông Hồng. Trong đó tác giả đã sử dụng bộ mô hình MIKE để mô phỏng lũ vùng nghiên cứu để đưa ra đánh giá rủi ro lũ lụt tổng hợp trên các mặt: mối nguy hiểm (độ sâu ngập, thời gian ngập, tốc độ dòng chảy), kinh tế (nhà dân, sử dụng công cộng đặc biệt, hạ tầng cơ sở xã hội, nông nghiệp), xã hội (dân số, nhận thức về lũ lụt, giá trị tinh thần, thu nhập), môi trường (ô nhiễm, xói mòn, không gian mở), tổn thương (kinh tế, xã hội, môi trường).

1.3.6. Nghiên cứu ảnh hưởng của BĐKH đến úng lụt

Đối với BĐKH, ở Việt Nam đến nay đã có nhiều công trình được công bố, như các công trình của Nguyễn Đức Ngữ (2008) [101]; Mai Trọng Thông (2010), đã đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến điều kiện tự nhiên, môi trường và phát triển kinh tế - xã hội ở Trung Trung Bộ Việt Nam [62]. Liên quan đến vấn đề thích ứng với BĐKH trong lĩnh vực tài nguyên nước và phòng chống thiên tai lũ lụt, Nguyễn Thanh Sơn (2012), nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến biến động tài nguyên nước và vấn đề ngập lụt lưu vực các sông Nhuệ, sông Đáy trên địa bàn thành phố Hà Nội [54], Đánh giá mức độ tổn thương về kinh tế - xã hội do lũ lụt trên một số lưu vực sông chính ở miền Trung trong bối cảnh biến đổi khí hậu và khai thác công trình thủy điện, thủy lợi (2015) [55]; Phan Văn Tân và nnk (2011) đã nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến các yếu tố và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam,

khả năng dự báo và giải pháp chiến lược ứng phó [56]; Nguyễn Văn Thắng và nnk (2012) đã đưa ra những kết luận về biến đổi của XTND, lượng mưa và nước biển dâng ở Việt Nam nói chung và ở Nghệ An nói riêng [58]; Trần Ngọc Anh và các tác giả khác (2013) đã xây dựng phương pháp đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng tới công trình hạ tầng kỹ thuật và thử nghiệm cho khu vực ven biển tỉnh Khánh Hòa [3]; Trần Hồng Thái và nnk (2014) đã đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước và ngập lụt vùng đồng bằng sông Cửu Long [57]; Trần Thục và Koos Neefjes (2015) đã thực hiện Báo cáo đặc biệt của Việt Nam về quản lý rủi ro thiên tai và các hiện tượng cực đoan nhằm thúc đẩy thích ứng với biến đổi khí hậu [65]. Nguyễn Bá Quý (2010) đã đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến các thiên tai liên quan đến dòng chảy (lũ lụt, khô hạn) ở tỉnh Quảng Nam [48]. Tuy nhiên các tác giả chưa đánh giá chi tiết về sự biến đổi về lượng và quá trình của mưa gây lũ (mưa thời đoạn ngắn), một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến ứng lụt ở hạ lưu các sông.

1.4. Một số công trình nghiên cứu ứng lụt trên lưu vực sông Cả

Trên lưu vực sông Cả cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu về ứng lụt. Đáng chú ý là các công trình sau:

Năm 2002, Trung tâm Thủy văn ứng dụng và Kỹ thuật môi trường thuộc Trường Đại học Thủy lợi đã thực hiện Dự án “Khảo sát, điều tra, tính toán hoàn nguyên lũ 1978 với thực trạng sông Cả như hiện nay”. Dự án đã sử dụng mô hình HEC-HMS và KOD để mô diễn toán quá trình truyền lũ trong sông và trên các ô ruộng ngập nước; Sử dụng phần mềm HEC-HMS để tính dòng chảy cho các biên và lượng nhập lưu từ số liệu mưa. Dự án đã hoàn nguyên trận lũ 1978 trên sông Cả từ trạm thủy văn Dừa tới cửa sông [72].

Bùi Đức Long (2003) đã ứng dụng mô hình SSARR để dự báo dòng chảy lũ sông Cả tại Nam Đàn. Kết quả nghiên cứu đã được đưa vào sử dụng dự báo tác nghiệp cho hệ thống sông Cả và cho kết quả khá tốt [39].

Nguyễn Hữu Khải (2003) đã ứng dụng mô hình ANN và HEC-RAS vào dự báo lũ sông Cả [33]. Kết quả cho thấy, chất lượng dự báo tốt với thời gian dự kiến 1 - 2 ngày; Mô hình ANN cho khả năng dự báo biên thượng lưu đạt chất lượng tốt, thích hợp với các đoạn sông chỉ có trạm đo mực nước.

Năm 2004, Viện Quy hoạch Thủy lợi thuộc Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn đã thực hiện Dự án “Quy hoạch tổng hợp nguồn nước sông Cả”, trong đó đã phân tích các đặc điểm khí tượng thủy văn và thống kê, tính toán các đặc trưng thủy văn công trình trên lưu vực sông Cả [78].

Năm 2006, Công ty CP Tư vấn và Xây dựng thủy lợi Nghệ An đã thực hiện Đề tài nghiên cứu khoa học “Giải pháp thoát nước, phòng chống ngập úng, lụt cho thành phố Vinh và vùng phụ cận”. Dự án đã tính toán, mô phỏng quá trình truyền lũ trong sông và trên các ô ruộng ngập nước và đã đưa ra nhiều phương án thoát nước chống úng cho thành phố Vinh và vùng phụ cận [10].

Năm 2011, Hoàng Thanh Tùng, Trường Đại học Thủy lợi, trong Luận án Tiến sỹ đã nghiên cứu dự báo mưa, lũ trung hạn cho vận hành hệ thống hồ chứa phòng lũ - Ứng dụng cho lưu vực sông Cả. Tác giả đã xây dựng cơ sở khoa học cho việc vận hành phối hợp các hồ chứa phòng lũ trên lưu vực sông Cả, bao gồm: i) bảng nhận dạng hình thái thời tiết gây mưa lớn trên lưu vực; ii) đặc điểm, tổ hợp lũ và kết quả mô phỏng mô hình toán thủy văn tính toán và dự báo lũ đến các hồ chứa, nhập lưu khu giữa trong hệ thống; iii) mô hình mô phỏng hệ thống hồ chứa kết hợp với các quy tắc phối hợp vận hành các hồ chứa phòng lũ cho lưu vực. Luận án đã tích hợp được mô hình dự báo mưa, lũ với mô hình vận hành hệ thống hồ chứa, tạo tiền đề cho việc vận hành phối hợp các hồ chứa phòng lũ trên lưu vực theo thời gian thực [73], [74].

Năm 2012, Trần Duy Kiều, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thực hiện Luận án tiến sỹ: “Nghiên cứu quản lý lũ lớn lưu vực sông Lam”. Luận án đã xác định được các vấn đề cốt lõi liên quan đến lũ lớn trên lưu vực sông Lam, bao gồm: i) phân tích, tổng hợp các nguyên nhân, đặc điểm lũ lớn và tổ hợp lũ lớn trên lưu vực sông Lam; ii) xác định được quy luật biến đổi đỉnh lũ theo diện tích lưu vực sông trên hệ thống sông Lam; đã xây dựng được bảng nhận dạng dấu hiệu lũ lớn tại một số tuyến sông, bước đầu phục vụ công tác cảnh báo, dự báo lũ lớn. Luận án đã xây dựng được bộ chỉ tiêu đánh giá và phân vùng nguy cơ lũ lớn; xây dựng các bản đồ ngập lụt vùng hạ lưu sông Lam với các phương án khác nhau [35].

Năm 2013, Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn Nghệ An thực hiện Dự án: “Quy hoạch tiêu vùng Nam - Hưng - Nghi và Thành phố Vinh, tỉnh Nghệ An đến năm 2020, tầm nhìn 2050”, đã sử dụng mô hình thủy lực MIKE 11 để mô phỏng lũ trên hệ thống sông Cả từ trạm thủy văn Nghĩa Khánh, Cửa Rào về cửa biển; đồng thời dự án đã mô phỏng lũ vùng Nam - Hưng - Nghi và thành phố Vinh. Dự án đã đưa ra một số giải pháp tiêu úng cho các huyện Nam Đàn, Hưng Nguyên, Nghi Lộc và thành phố Vinh [59].

Năm 2013, Trường Đại học Công nghệ Vạn Xuân thực hiện Đề tài NCKH: “Nghiên cứu và đề xuất giải pháp ứng phó với tác động của biến đổi khí hậu đối với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội ở tỉnh Nghệ An”. Đề tài đã điều tra, đánh giá và làm sáng tỏ tính chất biến đổi và xu thế biến đổi các yếu tố khí tượng thủy văn giai đoạn từ 1961- 2012 và phân tích, đánh giá diễn biến của BĐKH, đặc biệt các hiện tượng, các chiều hướng bất lợi cho môi trường tự nhiên, sinh thái và phát triển kinh tế- xã hội của tỉnh Nghệ An; Đề xuất giải pháp ứng phó với BĐKH ở tỉnh Nghệ An về các lĩnh vực: tài nguyên nước, y tế và sức khỏe, đa dạng sinh học, sản xuất nông - lâm - ngư nghiệp, các khu đô thị, các vùng dân cư [29].

Nguyễn Thanh Sơn và cộng sự (2014) đã thử nghiệm đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến ngập lụt vùng hạ lưu sông Lam [54].

Năm 2014, Lê Thị Kim Thoa, Viện Địa lý thực hiện Dự án: “Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS kết hợp mô hình thủy văn, thủy lực thành lập bản đồ nguy cơ ngập lụt ở Nghệ An”, đã thiết lập được quy trình công nghệ lập bản đồ nguy cơ ngập lụt phục vụ công tác phòng chống lụt bão ở Nghệ An [61].

Nguyễn Xuân Tiến và nnk (2016) [109] đã ứng dụng hệ thống phân tích lũ tích hợp IFAS dự báo, cảnh báo lũ thượng nguồn sông Nậm Non và Nậm Mộ, tỉnh Nghệ An. Đây là vùng không có dữ liệu mưa thực đo, nên đã dùng số liệu mưa từ ảnh mây vệ tinh. Kết quả dự báo đã góp phần cho việc ra quyết định vận hành liên hồ chứa trên sông Cả. Nguyễn Xuân Tiến và nnk (2018) [67] đã xây dựng mô hình TL trên cơ sở phương pháp đường lũ đơn vị dạng tam giác, phương pháp diễn toán Muskingum và thuật toán tối ưu bằng ngôn ngữ lập trình Delphi để tính toán lũ trên sông Cả từ trạm thủy văn Yên Thượng trở lên thượng nguồn và cho kết quả khá tốt.

Có thể nói rằng, có rất nhiều công trình trên thế giới và Việt Nam nghiên cứu về ứng dụng để nhằm mục đích khai thác hợp lý tài nguyên nước, giảm thiệt hại do lũ lụt gây ra, thích ứng với lũ lụt. Trong các phương pháp nghiên cứu đã đề cập ở trên thì phương pháp mô hình hoá được dùng rộng rãi và hợp lý nhất. Mô hình toán ứng dụng trong tính toán lũ lụt có thể chia thành 2 dạng: (1) Ứng dụng các công cụ toán học và logic học để xác định các mối liên hệ định lượng giữa các đặc trưng dòng chảy và các yếu tố hình thành nó là quá trình mô hình hóa các hệ thống thủy văn. Các mô hình toán trong hệ thống thủy văn, sử dụng đầu vào là mưa, đầu ra là các đặc trưng của dòng chảy, thường là lưu lượng hoặc mực nước (hay gọi tắt là mô hình thủy văn); (2) Việc giải hệ phương trình Saint Venant bằng phương pháp sai phân đã ra đời một loạt mô hình thủy lực khác nhau (các mô hình thủy lực 1 chiều, 2 chiều).

Qua các công trình nghiên cứu nhận thấy rằng, để giải quyết bài toán ứng lụt, phải sử dụng kết hợp 3 loại mô hình toán mô phỏng sau: mô hình thủy văn để tính toán dòng chảy từ mưa, mô hình thủy lực 1 chiều (1D) để diễn toán lũ trong sông và mô hình thủy lực 2 chiều (2D) để diễn toán lũ ở vùng ứng lụt.

1.5. Kết luận chương 1

Ứng lụt là một dạng thiên tai phổ biến trên thế giới và Việt Nam. Các nhà khoa học ở nhiều lĩnh vực trên thế giới có nhiều nghiên cứu liên quan đến ứng lụt như: (1) Nghiên cứu về tác động của các nhân tố KTTV; (2) Nghiên cứu về tác động của các nhân tố mặt đệm; (3) Nghiên cứu, áp dụng các mô hình toán để mô phỏng lũ lụt.

Ứng lụt đã được các nhà khoa học nghiên cứu ở nhiều lưu vực sông khác nhau, bằng các mô hình toán mô phỏng khác nhau. Các mô hình thủy văn được xây dựng dựa trên cơ sở các phương pháp: đường lũ đơn vị (HEC-HMS, MIKE URBAN...), dạng bể chứa (TANK, SSARR, DIMOSOP, MIKE NAM, IFAS...), đường đẳng thời (MIKE URBAN). Các mô hình thủy lực được xây dựng dựa trên cơ sở giải hệ phương trình Saint Venant bằng phương pháp sai phân. Mô hình thủy lực một chiều (1D) được áp dụng để tính toán lũ trong lòng sông, kênh mương, cống... (MIKE 11, HEC-RAS, MIKE URBAN, SOBEK, KOD, VRSAP...). Mô hình thủy lực 2 chiều (2D) được áp dụng cho vùng cửa sông, ngập lụt ven sông, vùng đồng bằng (MIKE 21, SOBEK...). Để mô phỏng ứng lụt thường được kết hợp mô hình 1D và 2D (MIKE FLOOD, MIKE URBAN...). Một số tác giả đã sử dụng đã đơn giản hóa mô hình thủy lực 2D khi mô phỏng ứng lụt vùng nước nông [81], [96] mục đích để rút ngắn thời gian tính toán nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác cho phép.

Mặc dù ứng lụt đã được nghiên cứu tương đối nhiều trên thế giới và Việt Nam, tuy nhiên, do mỗi lưu vực có những đặc điểm KTTV, địa hình, địa chất, thảm phủ thực vật, công trình thủy lợi, thủy điện, giao thông khác nhau. Vì vậy, tính chất, quy mô, mức độ ứng lụt ở mỗi lưu vực sẽ khác nhau. Lưu vực sông Cả có nhiều khác biệt về đặc điểm địa hình, địa chất, thảm phủ thực vật; đặc

điểm KTTV; hệ thống công trình thủy lợi, thủy điện; hệ thống phòng chống lũ... Luận án sẽ đi sâu vào phân tích, xác định vai trò của các nhân tố gây ung lựt đối với vùng hạ du sông Cả.

Do bộ mô hình MIKE đã được sử dụng kiểm chứng tốt ở Việt Nam nên bộ mô hình này được chọn làm công cụ để thực hiện các mục tiêu của Luận án.

CHƯƠNG 2. PHÂN TÍCH CÁC NHÂN TỐ GÂY ỨNG LỤT HẠ DU SÔNG CẢ VÀ LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tình hình số liệu sử dụng nghiên cứu

2.1.1. Số liệu khí tượng thủy văn

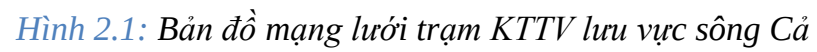
Trước 1957 có một số trạm khí tượng hoặc đo mưa được thiết lập nhưng quan trắc không liên tục do ảnh hưởng của chiến tranh. Một số trạm có số liệu dài như Vinh từ năm 1906, Tương Dương từ 1938, Đô Lương từ 1935, Mùng Xén từ 1931, Chu Lễ từ 1932, Linh Cảm từ 1933. Tuy nhiên số liệu các trạm này đều bị gián đoạn. Chỉ sau năm 1954, đặc biệt từ năm 1957 tài liệu mới được liên tục (Hình 2.1).

Trên lưu vực sông Cả có 9 trạm khí tượng là Quỳnh Châu, Quỳnh Hợp, Tây Hiếu, Tương Dương, Con Cuông, Đô Lương, Vinh, Hương Khê, Hương Sơn. Các trạm này đo các yếu tố như: mưa, nhiệt độ, độ ẩm, bốc hơi, gió, nắng... (Bảng 2.1, Hình 2.1).

Bảng 2.1: Danh sách các trạm khí tượng trên lưu vực sông Cả

TT	Tên trạm	Tọa độ	Yếu tố quan trắc	Năm quan trắc
1	Quỳnh Châu	20°20'10" - 105°30'20"	X, T, R, V, Z	1961- nay
2	Quỳnh Hợp	19°19'30" - 105°11'23"	X, T, R, V, Z	1960 - nay
3	Tây Hiếu	19°19'26" - 105°24'45"	X, T, R, V, Z	1960 - nay
4	Tương Dương	19°15'50" - 104°28'02"	X, T, R, V, Z	1960 - nay
5	Con Cuông	19°02'49" - 104°53'17"	X, T, R, V, Z	1960 - nay
6	Đô Lương	18°53'55" - 105°18'24"	X, T, R, V, Z	1958 - nay
7	Vinh	18°40'31" - 105°41'28"	X, T, R, V, Z	1956 - nay
8	Hương Khê	18°10'42" - 105°42'05"	X, T, R, V, Z	1960 - nay
9	Hương Sơn	18°30'26" - 105°25'10"	X, T, R, V, Z	1962 - nay

Ghi chú: X: mưa, T: nhiệt độ, R: độ ẩm tương đối, V: tốc độ gió, Z: bốc hơi.



Hình 2.1: Bản đồ mạng lưới trạm KTTV lưu vực sông Cả

Hiện nay trên lưu vực có 16 trạm thủy văn (*Bảng 2.2*) gồm:

+ 08 trạm thủy văn cấp I: Mỹ Lý, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Mường Xén, Dừa, Yên Thương, Hòa Duyệt và Sơn Diệm; các yếu tố đo đạc là mực nước, lượng mưa, lưu lượng, phù sa. Trạm thủy văn Mỹ Lý là trạm dùng riêng đặt ở thượng nguồn sông Nậm Nơn, phục vụ điều hành hồ chứa Bản Vẽ.

+ 05 trạm thủy văn cấp III vùng sông không ảnh hưởng triều: Thạch Giám, Con Cuông, Đô Lương, Nam Đàn, Chu Lễ; các yếu tố đo đạc là mực nước, lượng mưa.

+ 04 trạm thủy văn cấp III vùng sông ảnh hưởng triều: Chợ Tràng, Bến Thủy, Cửa Hội, Linh Cảm. Riêng trạm Bến Thủy thuộc Sở NN và PTNT tỉnh Nghệ An quản lý.

Bảng 2.2: Danh sách các trạm thủy văn đang hoạt động trên lưu vực sông Cả

TT	Tên trạm	Lưu vực sông	Tọa độ	Yếu tố quan trắc	Năm quan trắc
1	Mỹ Lý	Cả	19°37'59" - 104°18'48"	X, H, Q	2010 - nay
2	Mường Xén	Nậm Mộ	19°24'17" - 104°08'25"	X, H, Q, T	1969 - nay
3	Thạch Giám	Cả	19°15'54" - 104°28'00"	X, H, T	1959 - nay
4	Con Cuông	-	19°02'49" - 104°53'17"	X, H, T	1962 - nay
5	Quỳnh Châu	Hiếu	19°33'07" - 105°05'45"	X, H, Q, ρ, T	1961 - nay
6	Nghĩa Khánh	-	19°12'22" - 105°23'35"	X, H, Q, ρ, T	1969 - nay
7	Dừa	Cả	18°59'15" - 105°02'43"	X, H, Q, ρ, T	1959 - nay
8	Đô Lương	-	18°54'48" - 105°17'57"	X, H, T	1962 - nay
9	Yên Thương	-	18°41'14" - 105°26'22"	X, H, Q, ρ, T	1968 - nay
10	Nam Đàn	-	18°41'47" - 105°29'46"	X, H, T	1962 - nay
11	Chu Lễ	Ngàn Sâu	18°10'55" - 105°42'05"	X, H, T	1974 - nay
12	Hòa Duyệt	-	18°23'08" - 105°35'57"	X, H, Q, ρ, T	1959 - nay
12	Sơn Diệm	Ngàn Phố	18°30'25" - 105°21'55"	X, H, Q, ρ, T	1961 - nay
13	Linh Cảm	La	18°31'35" - 105°33'18"	X, H, T	1963 - nay

TT	Tên trạm	Lưu vực sông	Tọa độ	Yếu tố quan trắc	Năm quan trắc
14	Chợ Tràng	Cả	18°34'50" - 105°38'49"	X, H, T	1962 - nay
15	Bến Thủy	-	18°39'03" - 105°42'30"	X, H, T	1960 - nay
16	Cửa Hội	-	18°44'59" - 105°44'13"	X, H, T	1965 - nay

Ghi chú: H: mực nước, Q: lưu lượng, ρ : phù sa

Toàn lưu vực có 9 trạm đo mưa (Bảng 2.3). Từ năm 2018, các trạm đo mưa này được nâng cấp thành trạm đo mưa tự động.

Bảng 2.3: Danh sách các trạm đo mưa trên lưu vực sông Cả

TT	Tên trạm	Tọa độ	Yếu tố quan trắc	Năm quan trắc
1	Quế Phong	19°36'29" - 104°55'23"	X	2008 - nay
2	Nông trường 3/2	19°21'59" - 105°16'59"	X	1960 - nay
3	Nông trường 1/5	19°22'59" - 105°29'59"	X	1960 - nay
4	Đông Hiếu	19°18'0.2" - 105°29'59"	X	1960 - nay
5	Khe Lá	19° 05'00" - 105°19'59"	X	1958 - nay
6	Khe Bó	19°10'53" - 104°39'55"	X	1960 - nay
7	Thác Muối	19° 05'00" - 104°45'00"	X	1956 - nay
8	Thanh Mai	18°37'59" - 105°22'00"	X	1960 - nay
9	Vũ Quang	18°22'43" - 105°30'09"	X	1962 - nay

Tài liệu KTTV gồm: mưa, bốc hơi, mực nước, lưu lượng được Đài KTTV khu vực Bắc Trung Bộ cung cấp. Tài liệu mưa ngày đồng bộ từ năm 1970 - 2019 tại 28 trạm. Nghiên cứu đã sử dụng 15 năm số liệu (2005 - 2019) với thời đoạn mưa là 6 giờ. Tổng số trận lũ xuất hiện ở hạ du sông Cả trong 15 năm trên là 23 trận, trận lũ lớn nhất xuất hiện tháng X/2010 với đỉnh lũ là 4,96 m và trận lũ nhỏ nhất xuất hiện tháng IX/2019 với đỉnh lũ là 2,09 m tại Chợ Tràng. Riêng số liệu dòng chảy tại Cốc Nà chỉ có từ 1961-1976.

2.1.2. Số liệu địa hình

Số liệu địa hình nền kế thừa từ Đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường “Nghiên cứu chi tiết hóa cấp độ rủi ro thiên tai do ngập lụt gây ra ở vùng đô thị và đồng bằng ven biển khu vực Bắc Trung Bộ” năm 2019;

Bản đồ DEM 1:10.000 toàn bộ lưu vực sông Cả kế thừa từ Dự án “Xây dựng xã hội thích ứng với thiên tai giai đoạn 2 - tỉnh Nghệ An” của Tổ chức JICA thực hiện năm 2014 [69].

2.1.3. Số liệu mặt cắt ngang

Mặt cắt ngang trên các sông chính ở Nghệ An và Hà Tĩnh nhận được từ Liên đoàn Khảo sát KTTV đo đạc năm 2001. Dự án “Xây dựng chương trình tính toán dự báo lũ phục vụ vận hành hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Cả” (2016), cung cấp bổ sung 70 mặt cắt, bao gồm 56 mặt cắt trên sông Cả từ trạm TV Dừa đến Cửa Hội và 14 mặt cắt trên sông La từ trạm TV Hòa Duyệt đến ngã ba Chợ Tràng.

2.2. Phân tích các nhân tố gây úng lụt trên lưu vực sông Cả.

Các nhân tố gây ra thiên tai thường chia làm 3 nhóm: nội sinh, ngoại sinh và nhân sinh. Cụ thể, trên lưu vực sông Cả và vùng hạ du sông Cả, các nhân tố gây úng lụt được phân tích như sau:

2.2.1. Các nhân tố nội sinh

2.2.1.1. Vị trí địa lý

Lưu vực sông Cả trải dài từ $18^{\circ}15'50''$ đến $20^{\circ}10'30''$ vĩ độ Bắc, từ $103^{\circ}45'10''$ đến $105^{\circ}15'20''$ kinh độ Đông. Phía Bắc giáp lưu vực sông Chu, phía Tây giáp lưu vực sông Mê Kông, phía Nam giáp lưu vực sông Gianh và phía Đông giáp Biển Đông, trên lãnh thổ hai quốc gia Việt Nam và Lào, tổng diện tích lưu vực là 27.200 km^2 , trong đó phần diện tích ở Việt Nam là 17.950 km^2 , chiếm 66,0% diện tích lưu vực; diện tích thuộc Lào là 9.250 km^2 , chiếm 34,0% diện tích lưu vực. Dòng chính sông Cả có chiều dài 531 km, trong đó 170 km chảy trên lãnh thổ Lào và trên địa phận nước ta là 361 km (Hình 2.2).

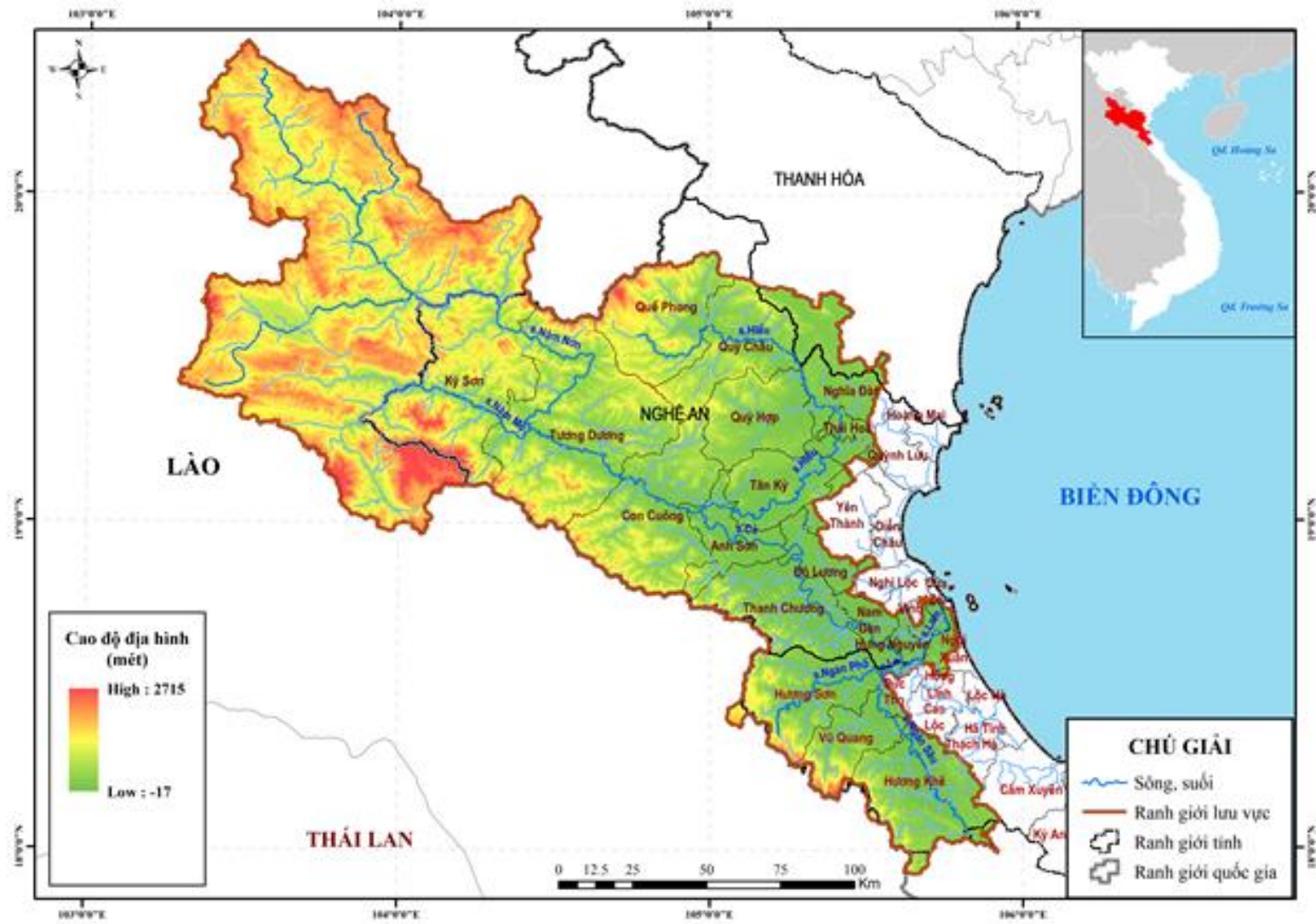
Với vị trí gần nguồn ẩm lớn là Biển Đông nên vào mùa gió Đông Bắc, lưu vực có điều kiện sinh thủy rất thuận lợi, dễ dàng hình thành những đợt mưa lớn, gây úng lụt vùng hạ du lưu vực. Bên cạnh đó, lưu vực sông Cả còn chịu ảnh hưởng của khối KKL ở phía Bắc tràn xuống và khối không khí nóng ẩm từ vịnh Bengal thổi lên. Với sự hoạt động đơn lẻ hay tương tác lẫn nhau cộng với sự ảnh hưởng của địa hình phức tạp đã tạo cho lưu vực sông Cả có nhiều vùng chế độ mưa lũ khác nhau: vùng thượng nguồn sông Cả thuộc Lào mưa lũ thường sớm từ tháng VI đến IX; vùng sông Hiếu mưa lũ thường từ tháng VII đến X; vùng sông La muộn hơn, từ tháng VIII đến tháng XI.

2.2.1.2. Địa hình

Lưu vực sông Cả có các dạng địa hình chính:

- Địa hình vùng núi cao tập trung ở phía Tây, Tây Bắc và Tây Nam lưu vực. Dạng địa hình này có độ cao từ 800 ÷ 1.500 m như một bức tường ngăn giữa lưu vực sông Mê Kông và lưu vực sông Cả. Dạng địa hình này có độ dốc lớn, thung lũng hẹp, chiếm tới 60% diện tích lưu vực. *Địa hình núi cao này thuận lợi cho việc hình thành mưa lớn khi có nguồn ẩm từ Biển Đông vào mùa mưa bão, gây lũ trên lưu vực sông Cả (Hình 2.2).*

- Dạng đồi trung du thuộc các huyện Nghĩa Đàn, Quỳnh Hợp, Tân Kỳ, Anh Sơn, Thanh Chương (Nghệ An), Vũ Quang, Hương Sơn và Hương Khê (Hà Tĩnh) (Bảng 2.4), tổng diện tích dạng địa hình này vào khoảng 680.000 ha. Đây là dạng địa hình phức tạp, bị chia cắt mạnh có thể dốc nhiều chiều do các sông nhỏ tạo nên, có thể dốc chung theo hướng Tây - Đông, Tây Bắc - Đông Nam, Tây Nam - Đông Bắc và rón trũng nhất là cửa sông Cả. Độ dốc bình quân lưu vực lớn. *Địa hình vùng này có độ dốc lớn cả trên lưu vực lẫn dưới lòng sông với độ chia cắt lớn tạo điều kiện để dòng chảy thoát nhanh về hạ du gây úng lụt.* Địa hình đồng bằng và đồng bằng ven biển nhỏ, hẹp và nằm sát với dòng chính. Vùng đồng bằng từ Đô Lương trở xuống được bảo vệ bằng đê bên hai bờ sông, trừ vùng hữu ngạn Thanh Chương và Nam Đàn được bảo vệ bằng đê bồi. Vùng đồng bằng thuộc địa bàn Hà Tĩnh từ huyện Vũ Quang đến Đức Thọ không có đê bảo vệ.



Hình 2.2: Mạng lưới sông suối trên lưu vực sông Cả

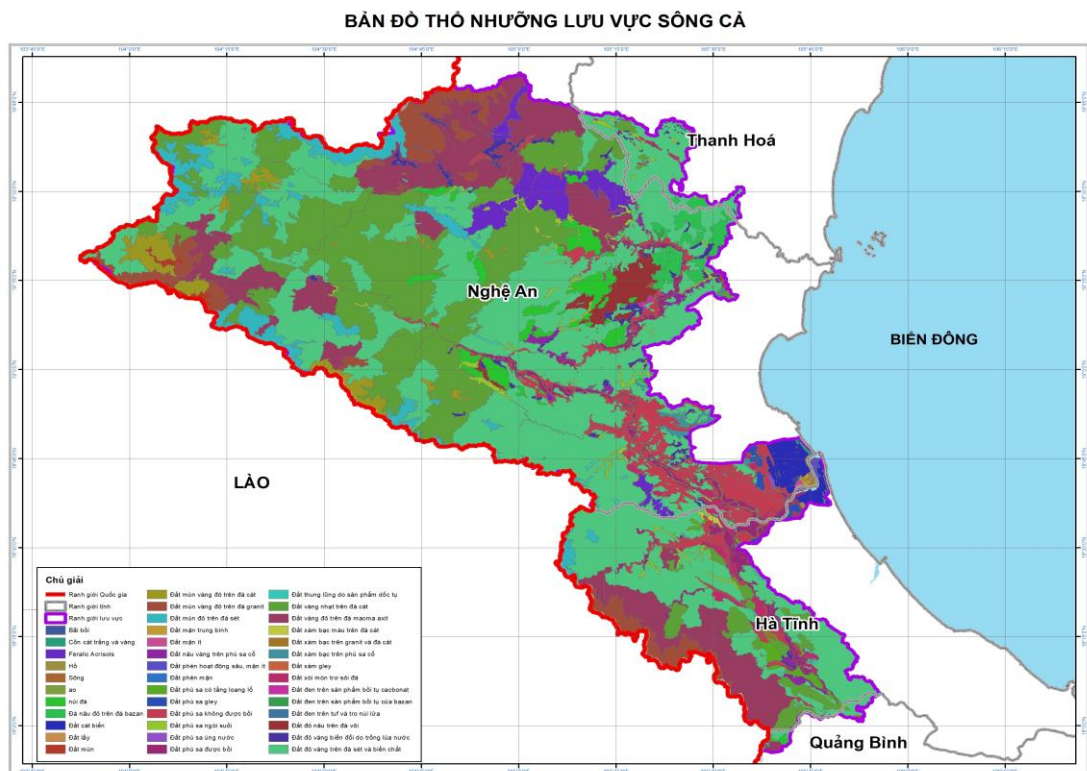
- Dạng vùng đồng bằng, có tổng diện tích vùng này vào khoảng 350.000 ha chiếm 10% diện tích lưu vực sông Cả. *Địa hình trùng ở đồng bằng với hệ thống giao thông cắt ngang và đô thị hóa là điều kiện thuận lợi gây ra ngập úng khi có mưa lớn nội đồng.*

2.2.1.3. *Địa chất, thổ nhưỡng*

Lưu vực sông Cả nằm trong miền uốn nếp Bắc Bộ và miền uốn nếp Varixet Đông Dương, ranh giới giữa hai miền uốn nếp là đới khâu sông Mã. Những nghiên cứu trong chuyên khảo “*Thành hệ địa chất và địa động học Việt Nam 1993*” do Nguyễn Xuân Tùng [75] biên tập, xếp lưu vực sông Cả nằm trong “*lĩnh vực Bắc bộ- Dương Tử- KaTaZia*” giữa đai vỏ lục địa Bắc Trường Sơn tuổi Paleozoi. Thời kỳ trước Cambri đến Paleozoi sớm đến Paleozoi muộn, lưu vực sông Cả tồn tại chế độ đại dương vi lục địa, sườn châu lục địa, cận lục địa. Chế độ rift và prerift tồn tại trong thời gian Paleozoi muộn đến Merozoi muộn. Từ Merozoi muộn phát sinh các bồn trũng nhỏ mang tính orogen dọc theo đứt gãy sông Cả lấp đầy bởi trầm tích lục nguyên vụn thô.

Đất trong lưu vực có các nguồn gốc hình thành khác nhau. Ở vùng đồi núi, đất được phát triển trên nhiều loại nham thạch. Phần lớn vùng đồi núi nằm dưới độ cao 800 - 1.000 m, nên bị phong hoá mạnh. Quá trình feralít là quá trình chủ yếu. Nhóm đất feralít đồi và núi thấp, phân bố ở độ cao dưới 800 - 1.000 m, chiếm diện tích lớn nhất và là nơi hoạt động của con người. Nhóm đất địa thành, chiếm đến 83,5% toàn lưu vực, bao gồm các loại sau: Đất đỏ vàng trên phiến sét, có hầu hết trên tất cả các loại địa hình nhưng tập trung ở vùng núi thấp, độ dốc lớn, tầng đất khá dày, độ dày tầng đất phần nhiều trên 50 cm. Đây là loại đất đồi núi có đặc tính giữ nước và giữ màu tốt; Đất vàng nhạt phát triển trên sa thạch và cuội kết. Do thành phần cơ giới nhẹ hơn so với đất phiến thạch sét nên loại đất này thường bị xói mòn mạnh, tầng đất tương đối mỏng và nhiều nơi trơ sỏi đá. Chỉ có một số nơi địa hình đồi núi cao, thảm

phủ thực vật che phủ khá mới có độ dày tầng đất từ 50-70 cm. Loại đất này có khả năng giữ nước và kết dính kém; Đất vàng đỏ phát triển trên các đá axit. Phần lớn loại đất này có thành phần cơ giới nhẹ, nghèo dinh dưỡng, bị xói mòn rửa trôi mạnh nên khả năng giữ nước kém; Đất đỏ nâu trên đá vôi, ngược lại với các loại đất khác, loại đất này ở các vùng địa hình thấp thường có tầng đất dày hơn, ở vùng cao thường bị phong hoá và rửa trôi mạnh nên tầng đất mỏng hơn. Vì vậy, loại đất này có khả năng giữ nước tốt hơn; Đất nâu đỏ bazan, phân bố chủ yếu ở vùng Phú Quỳ. Loại đất này có tầng dày trên 1 m, địa hình khá bằng phẳng, độ phì cao, tơi xốp, thoát nước tốt nhưng giữ nước kém; Đất Feralit đỏ vàng trên núi, đất mùn trên núi cao, loại đất này chiếm 29,0% diện tích thổ nhưỡng. Tuy có độ phì cao nhưng do tập trung chủ yếu ở núi cao, địa hình dốc và bị chia cắt mạnh nên khả năng giữ nước cũng có hạn [76].



Hình 2.3: Bản đồ thổ nhưỡng lưu vực sông Cả (Phần thuộc Việt Nam)

Ở vùng đồng bằng, đất được hình thành từ phù sa sông gồm các nhóm

đất cát phù sa, đất phèn, đất mặn, đất than bùn và đất đen (Hình 2.3) và việc phân chia các loại đất thể hiện ở Bảng 2.4. Nhìn chung, phần đất feralit vàng trên đồi và trên núi chiếm phần diện tích rất lớn trên lưu vực sông Cả, riêng ở Nghệ An và Hà Tĩnh đã chiếm đến hơn 70% của vùng này. Do đặc điểm dễ thấm nước nên khả năng giữ nước trên lưu vực tốt, thuận lợi cho việc điều tiết dòng chảy. Tuy nhiên, do địa hình rất dốc ở vùng núi cao phía Tây của lưu vực sông Cả tạo điều kiện tập trung nước rất nhanh đã hạn chế khả năng giữ nước của vùng đất nói trên.

Bảng 2.4. Phân loại đất trên lưu vực sông Cả [55]

Tên đất	Nghệ An		Hà Tĩnh		Toàn lưu vực	
	Diện tích (ha)	%	Diện tích (ha)	%	Diện tích (ha)	%
Tổng diện tích điều tra thổ nhưỡng	1.640.849	100	395.000	100	2.035.849	100
Trong đó diện tích các loại đất	1.498.492	100	320.400	100	1.818.892	100
I. Đất thủy thành	173.600	11,6	126.400	39,5	300.000	16,5
- Trong đó nhóm phù sa dốc tụ	146.400	84,3	93.600	74,1	240.000	80,0
II. Đất địa thành	1.324.892	88,4	194.000	60,6	1.518.892	83,5
Trong đó: Nhóm đất Feralít vàng vùng đồi (170 - 200 m)	381.120	29,9	40.740	21,0	423.861	27,9
Nhóm đất Feralít vàng trên núi từ 170 - 200m đến 800-1.000m)	568.264	42,9	83.420	43,0	651.584	42,9
Nhóm màu vàng trên núi (từ 800-1000m đến 1.700-2.000m)	302.069	28,2	69.840	36,0	371.909	29,2

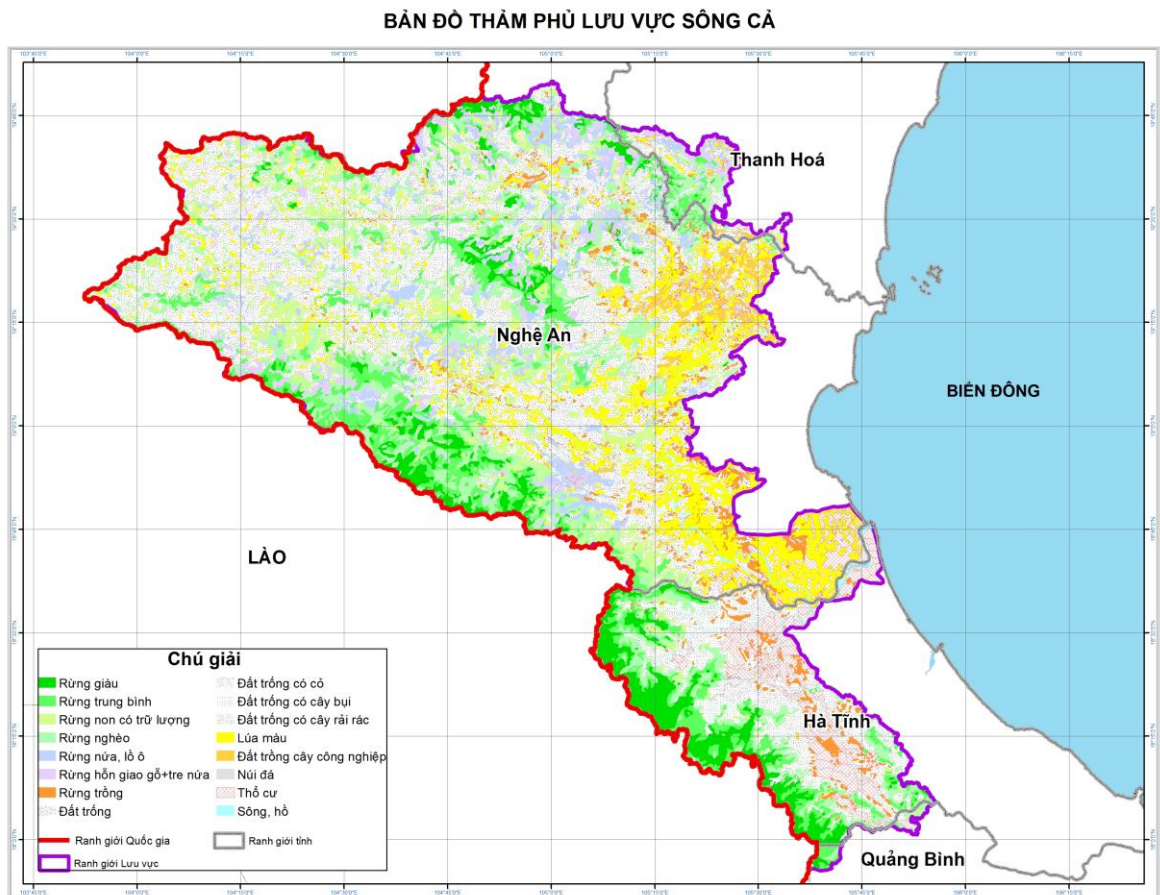
2.2.1.4. *Thảm phủ thực vật*

Trên lưu vực sông Cả có các loại hình thảm phủ thực vật sau:

+ Thảm phủ thực vật vùng canh tác nông nghiệp:

Diện tích canh tác nông nghiệp trên toàn lưu vực chỉ chiếm khoảng 7% diện tích toàn lưu vực. Trên diện tích đất này, được canh tác với hệ số quay vòng ruộng đất từ 1,7 đến 1,8 lần trong năm, nghĩa là trong một năm chỉ có khoảng 6 tháng có cây che phủ còn lại 6 tháng đất trống. Trong 6 tháng phần cây có lá che phủ cho diện tích chỉ chiếm 3,5 - 4 tháng, có thể đánh giá thảm

phủ thực vật trên đất nông nghiệp chỉ đạt 20 - 25%.



Hình 2.4: Bản đồ thẩm phủ thực vật lưu vực sông Cả (phần ở Việt Nam)

+ Thẩm phủ thực vật trên đất lâm nghiệp:

Rừng ở lưu vực sông Cả tập trung chủ yếu ở ba tỉnh thuộc Lào (Bô-li-khăm-xay, Xiêng Khoảng và Hủa Phăn). Theo khảo sát sơ bộ và đánh giá tài nguyên, riêng phía Lào thẩm phủ còn hơn 555.000 ha. Toàn lưu vực có ba vùng rừng quốc gia là Pù Mát, Pù Hoạt (Nghệ An) và Vũ Quang (Hà Tĩnh). Trước năm 1995 rừng trên lưu vực sông Cả bị suy giảm nhanh do chế độ khai thác kém, bảo dưỡng và trồng bổ sung không kịp với tốc độ cháy rừng, phá rừng làm nương rẫy và du canh du cư của đồng bào dân tộc ít người. Theo tài liệu điều tra rừng trên lưu vực sông Cả phía Việt Nam, năm 1943 có khoảng 1,2 triệu ha, đến năm 1999 rừng chỉ còn khoảng 710.000 ha, mức che phủ còn 35,5

% so với cùng thời kỳ các khu vực khác phía Bắc như Tuyên Quang còn 28,5%, vùng Tây Bắc còn 8%, thì lưu vực sông Cả rừng còn phong phú hơn (Hình 2.4).

Từ năm 1995 đến 2003, do tốc độ trồng rừng nhanh cộng với chính sách giao đất, giao rừng và các chương trình phát triển kinh tế miền núi cho tới nay rừng trên lưu vực đã được bảo tồn và phục hồi. Độ che phủ rừng đã đạt 41,5% ở Nghệ An và 39,2% ở Hà Tĩnh, trong đó có trên 90% là rừng tự nhiên (Hình 2.4) [35]. Năm 2019, tỷ lệ che phủ rừng ở Nghệ An đạt 58,5%, trong đó rừng tự nhiên chiếm 81,0% tổng diện tích rừng [50]. Như vậy, mức độ che phủ của rừng trên lưu vực sông Cả mặc dù đã được cải thiện nhiều trong những năm gần đây, tuy nhiên độ che phủ còn thấp, hạn chế việc điều tiết lũ trên lưu vực.

2.2.1.5. *Mạng lưới sông suối*

Mạng lưới sông suối là yếu tố vận chuyển nước từ thượng nguồn về hạ du, vì vậy nó là 1 nhân tố quan trọng ảnh hưởng đến ứng lụt. Sông Cả bắt nguồn từ dãy núi cao tỉnh Xiêng Khoảng, thuộc lãnh thổ Lào có độ cao đỉnh núi 2.455 m, chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam vào Việt Nam, cách cửa biển 40 km chảy theo hướng Đông Nam đổ ra biển tại Cửa Hội. Sông Cả không có phân lưu, toàn bộ lượng nước về mùa lũ và mùa kiệt đều được chảy ra biển tại Cửa Hội. Phân bố diện tích một số sông nhánh lớn được trình bày tại *Bảng 2.5*. Đặc trưng hình thái một số sông lớn được trình bày tại *Bảng 2.6*. Các sông nhánh lớn như sông Hiếu, sông Giăng, đều đổ vào đoạn trung hạ du sông Cả. Những sông này đều bắt nguồn từ vùng có lượng mưa năm lớn (2.100 - 2.400 mm) nên đã bổ sung nguồn nước đáng kể cho hạ du sông Cả. Dòng chính sông Cả già và ổn định bãi bồi. Chiều rộng đoạn sông ở thượng nguồn từ 50 - 60 m, phần trung du từ 60 - 150 m, đoạn hạ du độ rộng trung bình 200 - 300 m. Độ dốc trung bình đoạn sông từ biên giới tới Cửa Rào là 1,30‰, từ Cửa Rào tới Con Cuông là 0,54‰, từ Dừa tới Đô Lương là 0,40‰, từ Đô Lương tới Nam Đàn là 0,30‰,

từ Nam Đàn tới Cửa Hội là 0,09%. Do lòng sông dốc, mật độ sông lớn nên lũ ở đây thường tập trung nhanh, lên nhanh, xuống nhanh rất nguy hiểm.

Bảng 2.5. Phân bố diện tích một số sông nhánh lớn của hệ thống sông Cả

TT	LV sông	Toàn bộ		Phần VN		Phần Lào	
		F (km ²)	%	F (km ²)	%	F (km ²)	%
1	Nậm Mộ	3.76	14,6	1.500	5,51	2.260	8,31
2	Nậm Non	8.75	32,2	1.550	5,70	7.200	26,5
3	Hiếu	5.46	20,1	5.460			
4	Giăng	1.05	3,9	1.050			
5	La	3.24	11,9	3.240			
6	Cả	27.2	100	17.740	65,2	9.460	34,8

Bảng 2.6. Đặc trưng hình thái một số lưu vực sông lớn

TT	Lưu vực	F (km ²)	Lsông (km)	Độ cao bq (m)	Độ dốc bqlv (‰)	Bbq (km)	Mật độ lưới sông (km/km ²)	HS không đối xứng	HS hình dạng LV
1	Cả	27.200	531	294	1,83	89,0	0,60	-0,14	0,29
2	Nậm Mộ	3.760	173	960	2,57	38,2		0,22	0,27
3	Nậm Non	8.540	285		4,13	33,0			
4	Hiếu	5.460	228	303	1,30	32,5	0,71	0,02	0,20
5	Giăng	1.050	77	492	1,72	15,8		-0,09	0,24
6	La	3.240	135	362	2,82	46,6	0,80	0,53	0,68

Đặc điểm chính của một số sông nhánh lớn của hệ thống sông Cả:

Sông Nậm Mộ: Dòng chính sông Nậm Mộ bắt nguồn từ dãy Phu Săm Sum có độ cao 2.620 m thuộc tỉnh Xiêng Khoảng (Lào), sông chảy và đổ vào dòng chính sông Cả tại Cửa Rào. Sông chảy qua vùng có lượng mưa năm nhỏ chỉ đạt trung bình từ 1.200 - 1.300 mm, là vùng mưa nhỏ nhất ở Bắc Trung Bộ.

Do vậy mặc dù diện tích lưu vực sông đạt 3.970 km² chiếm 14,6% diện tích toàn lưu vực nhưng lượng dòng chảy năm chỉ chiếm 9,3% tổng lượng dòng chảy năm của lưu vực. Chiều dài dòng sông chính là 160 km, độ rộng lòng sông 30 - 35 m, chiều rộng bình quân lưu vực là 38,2 km.

Sông Huổi Nguyên đổ vào sông Cả tại vị trí cách Cửa Rào khoảng 50 km về phía hạ lưu. Diện tích lưu vực Huổi Nguyên là 800 km², chiếm 2,9% diện tích lưu vực sông Cả. Chiều dài sông là 60 km, độ dốc trung bình lòng sông là 0,30‰.

Sông Hiếu bắt nguồn từ vùng núi cao Phu Hoạt có độ cao đỉnh núi là 2.452 m thuộc huyện Quế Phong. Thượng nguồn sông chảy qua vùng mưa lớn có lượng mưa năm 2.100 - 2.200 mm thuộc huyện Quế Phong và chảy qua hai huyện Quỳnh Châu và Nghĩa Đàn có lượng mưa năm đạt 1.500 - 1.800 mm. Phần hạ lưu sông chảy qua huyện Tân Kỳ có lượng mưa nhỏ hơn đạt 1.500 - 1.600 mm, rồi đổ vào sông Cả ở ngã ba Cây Chanh. Tổng diện tích lưu vực là 5.340 km², chiều dài sông chính là 228 km, độ cao bình quân lưu vực 303 m, mật độ lưới sông 0,7 km/km². Lòng sông Hiếu hẹp và dốc từ Thác Dừa trở lên, càng về hạ lưu sông càng mở rộng và ít dốc hơn. Sông Hiếu có các sông nhánh lớn như sông Chàng, sông Dinh, sông Sào đổ vào trung hạ lưu sông.

Sông Giăng bắt nguồn từ vùng núi cao của dãy Trường Sơn, có chiều dài 77 km, diện tích lưu vực là 1.050 km². Sông chảy qua vùng mưa lớn với lượng mưa năm trung bình trên lưu vực 2.200 mm. Lòng sông hẹp, ngắn và dốc đổ vào sông Cả tại Thanh Tiên. Dòng sông nhiều thác ghềnh, đáng chú ý nhất là Thác Muối có khả năng xây dựng nhà máy thủy điện, hồ chứa lợi dụng tổng hợp.

Sông La là nhánh sông lớn đổ vào hạ du sông Cả tại ngã ba Chợ Tràng, có diện tích không chế là 3.370 km², chiếm 12,4% diện tích toàn lưu vực. Sông

chảy qua vùng có mưa lớn nên khả năng sinh lũ lớn, đồng thời do độ dốc lòng sông nhỏ nên thường gây ngập lụt lớn ở vùng hạ du này.

Sông Nghèn là sông nhánh bắt nguồn từ Trung Lương (sông Cả) và đổ vào sông Rào Cái tại cống Nghèn. Vào mùa cạn, cống Trung Lương mở để lấy nước tưới cho các huyện thuộc Hà Tĩnh như: Nghi Xuân, thị xã Hồng Lĩnh, Can Lộc. Vào mùa lũ, sông có nhiệm vụ tiêu úng qua cống Nghèn. Diện tích của lưu vực sông là 580 km², chiều dài là 39 km. Sông có độ dốc nhỏ nên khả năng tiêu thoát lũ kém.

Các sông ở vùng phụ cận thành phố Vinh: Khu vực thành phố Vinh và phụ cận nằm ở bên bờ tả sông Cả, với tổng diện tích 755 km². Vùng phụ cận bao gồm các huyện: Nam Đàn, Hưng Nguyên, Đô Lương, Nghi Lộc, Cửa Hội, và thị xã Cửa Lò. Vùng này được chia thành 3 vùng đặc trưng: vùng đồi núi, vùng đồng bằng, và vùng đô thị, tuy nhiên phần lớn là đồng bằng thấp trũng, có nhiều kênh nhỏ cắt ngang. Hệ thống tiêu thoát nước của khu vực này như sau: sông Cả nằm ở phía Nam; sông Cấm ở phía Bắc và Tây Bắc; hệ thống sông nội đồng: sông Cửa Tiền, sông Rào Dùng, Kênh Thấp, Kênh Gai. Các sông này đều có độ dốc nhỏ nên khả năng tiêu thoát lũ rất kém.

+ *Sông Rào Dùng*: bắt nguồn từ phía Bắc TP Vinh, chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam và đổ ra sông Cả tại cống Rào Dùng. Sông có chiều dài là 13,0 km, diện tích không chế là 63,8 km².

+ *Kênh Thấp*: xuất phát từ cống Nam Đàn đến ngã ba cầu Đước, có chiều dài là 23,3 km. Sông chảy theo hướng Tây Đông.

+ *Sông Cửa Tiền*: xuất phát từ cống ngã ba cầu Đước đến Bến Thủy, có chiều dài là 6,0 km. Sông chảy theo hướng Tây Đông và đổ ra sông Cả tại cống Bến Thủy.

+ *Kênh Gai*: xuất phát từ ngã ba cầu Đước đến cầu Cấm, có chiều dài là 17,0 km. Sông chảy theo hướng Nam Bắc.

+ *Sông Cấm*: xuất phát từ ngã ba Phương Tích đến cửa Nghi Quang, chiều dài là 19,7 km; diện tích không chế là 243 km². Sông chảy theo hướng Tây Đông và đổ ra biển Đông tại cống Nghi Quang (Cửa Lò).

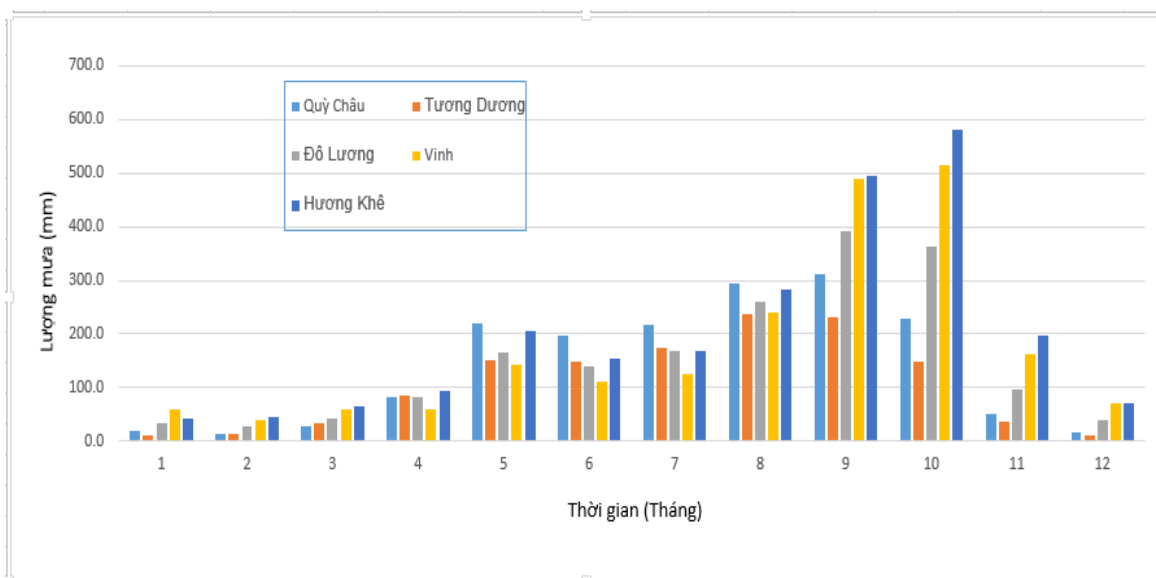
Tóm lại, mạng lưới sông ở lưu vực sông Cả, có mật độ dày và lòng sông có độ dốc lớn, tạo điều kiện cho sự tập trung nước nhanh nên thường gây lũ lớn, nguy hiểm. Tuy nhiên, khu vực trong đê mặc dù có mật độ sông, suối dày nhưng do độ dốc nhỏ nên khả năng thoát lũ kém.

2.2.2. Các nhân tố ngoại sinh

2.3.2.1. Mưa

Mưa là nhân tố chính gây ra úng lụt trên lưu vực sông Cả nói chung và miền hạ du nói riêng.

a. Mùa mưa



Hình 2.5: Phân phối mưa tháng tại một số trạm KTTV trên lưu vực sông Cả

Thống kê lượng mưa tháng tại một số trạm trên lưu vực sông Cả đại diện cho các vùng khác nhau như: Quỳnh Châu, Tương Dương, Đô Lương, Vinh và Hương Khê. Phân phối mưa tháng tại các trạm KTTV được thể hiện tại Hình 2.5. Kết quả cho thấy, mùa mưa trên lưu vực sông Cả kéo dài từ tháng V đến tháng XI. Tại lưu vực sông Hiếu xuất hiện sớm và kết thúc sớm: từ tháng V đến tháng X, tháng có lượng mưa lớn nhất là tháng VIII và tháng IX; tại vùng hạ,

trung lưu sông Cả và sông La kết thúc muộn hơn: từ tháng V đến tháng XI, tháng có lượng mưa lớn nhất là tháng IX và tháng X; vùng thượng nguồn sông Cả, tập trung từ tháng VII đến tháng X, tháng có lượng mưa lớn nhất là tháng VIII và IX.

b. Phân bố những trận mưa gây úng lụt lớn ở hạ du sông Cả

Căn cứ đặc điểm địa hình và sự phân bố mưa theo không gian, có thể phân lưu vực sông Cả thành 5 vùng như sau: Thượng nguồn sông Cả thuộc Lào tính từ trạm Mường Xén và Mỹ Lý trở lên gọi tắt là *Vùng Lào*, ký hiệu là *V-Lao*; Từ ngã ba Cây Chanh trở lên đến Vùng Lào gọi tắt là *Vùng Con Cuông - Mường Xén*, ký hiệu là *V-CC-MX*; toàn bộ lưu vực sông Hiếu gọi là *Vùng sông Hiếu*, ký hiệu là *V-Hieu*; toàn bộ lưu vực sông La gọi là *Vùng sông La*, ký hiệu là *V-La*; từ ngã ba Cây Chanh trở xuống gọi là *Vùng Trung Hạ lưu*, ký hiệu là *V-Tr-Ha*.

Chọn trạm thủy văn Chợ Tràng và 28 trạm đo mưa trên lưu vực sông Cả, tính lượng mưa trung bình của lưu vực sông Cả thuộc phần lãnh thổ Việt Nam và 4 vùng kể trên, trừ Vùng Lào không có số liệu mưa. Theo số liệu quan trắc trên lưu vực sông Cả, từ năm 1970 đến 2018, ở hạ du sông Cả xuất hiện 74 trận lũ (*Bảng 2 - Phần phụ lục*). Trị số Hmax trận lũ tháng IX/1978 tại Chợ Tràng theo hoàn nguyên là 780 cm (Trị số thực đo là 705) [68].

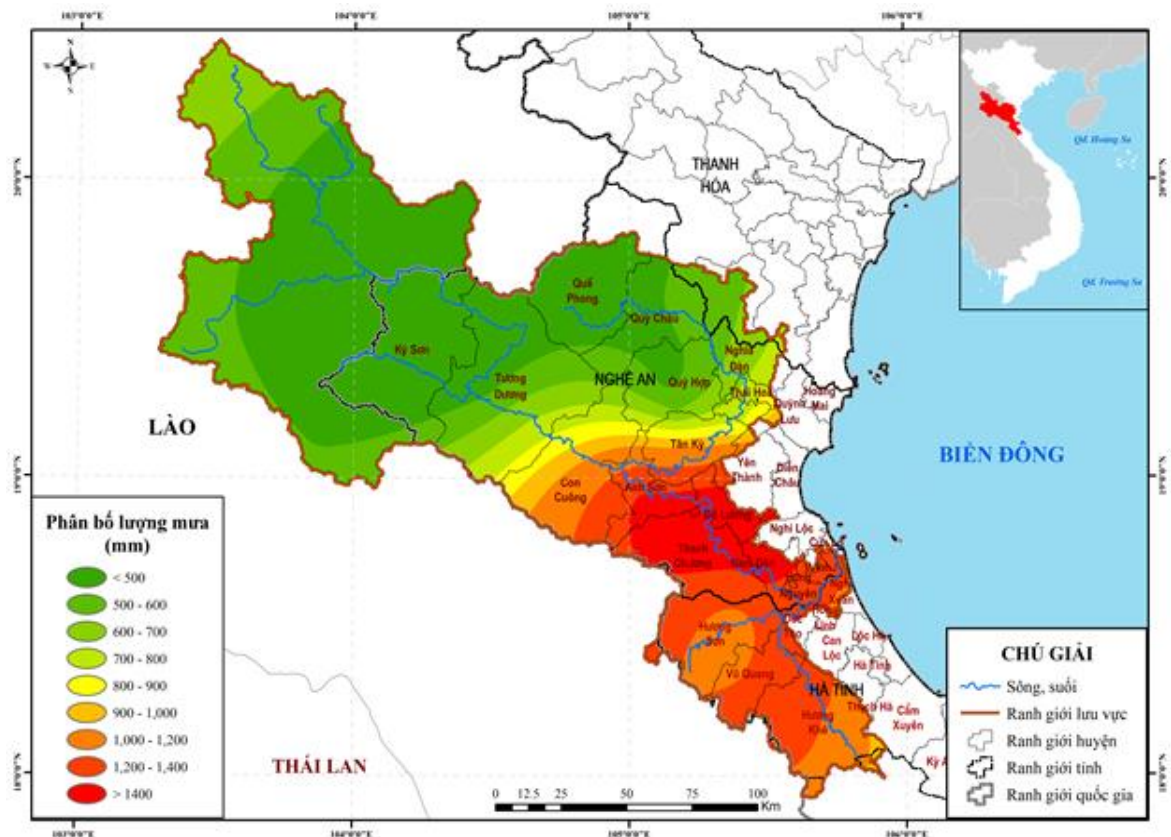
Bảng 2.7: Thống kê 10 trận mưa, lũ lớn trên sông Cả

TT	Tháng xuất hiện	Xtb (mm)					Hmax Chợ Tràng (cm)
		Toàn lưu vực thuộc Việt nam	V-Tr-Ha	V-La	V-CC- MX	Xtb VHieu	
1	10/1971	274.3	427.5	338.8	210.0	252.3	436
2	08/1979	259.9	369.6	455.0	179.3	195.8	436
3	08/1972	333.4	368.3	612.4	237.6	279.9	444
4	09/2006	418.2	676.1	688.6	235.6	361.4	462
5	09/1996	279.1	366.7	546.4	142.8	257.1	488

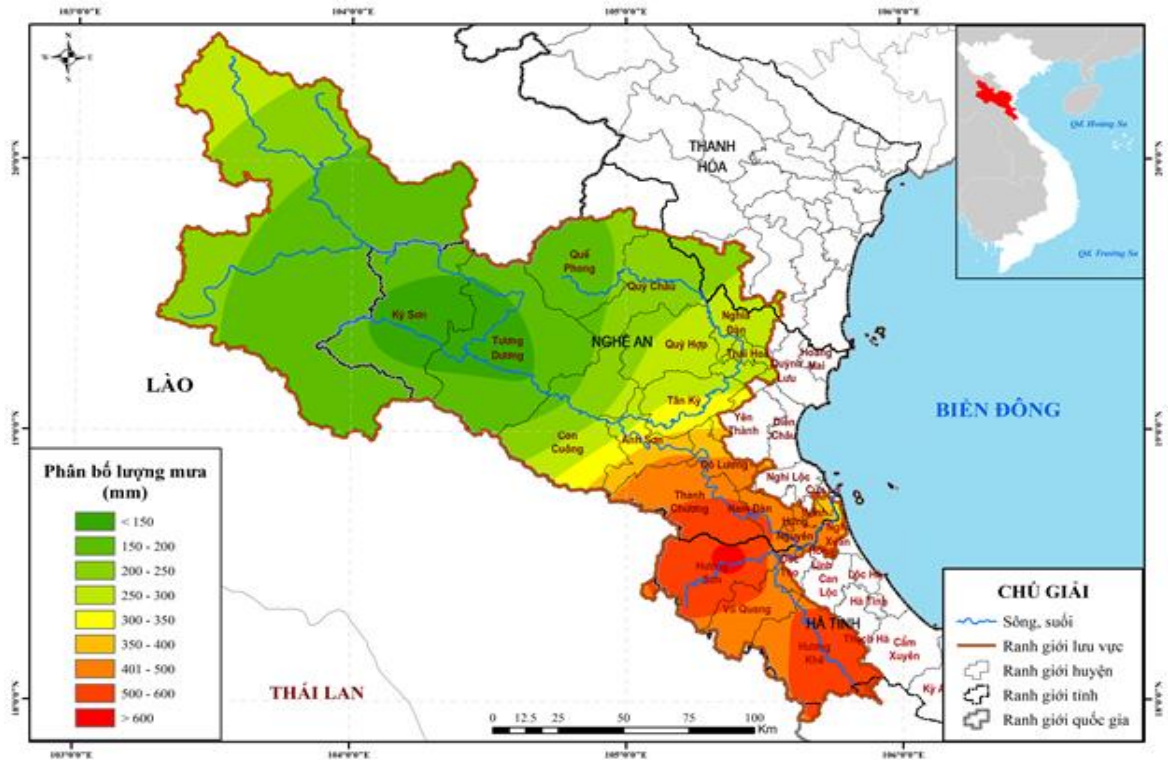
6	10/2010	400.5	473.8	927.1	225.3	281.2	496
7	10/1983	301.9	375.2	613.9	159.4	264.0	518
8	09/2002	317.2	384.5	664.9	201.5	234.7	545
9	10/1988	673.1	894.6	908.4	623.8	510.7	666
10	09/1978	814.2	1434.4	1196.7	535.1	646.2	780

Theo số liệu thống kê tại *Bảng 2.7*, trong 10 trận lũ gây ngập lớn nhất ở hạ du thì thứ tự vùng mưa lớn đến nhỏ gây ngập hạ du sông Cả được sắp xếp như sau: vùng sông La, vùng trung hạ du sông Cả, vùng sông Hiếu, vùng Con Cuông - Mường Xén. Hai vùng sông La và trung hạ du sông Cả có vai trò quyết định sự ngập lụt ở hạ du sông Cả. Những trận lũ gây ngập lớn cho vùng hạ du sông Cả thường xuất hiện vào tháng IX và X (8/10 trận).

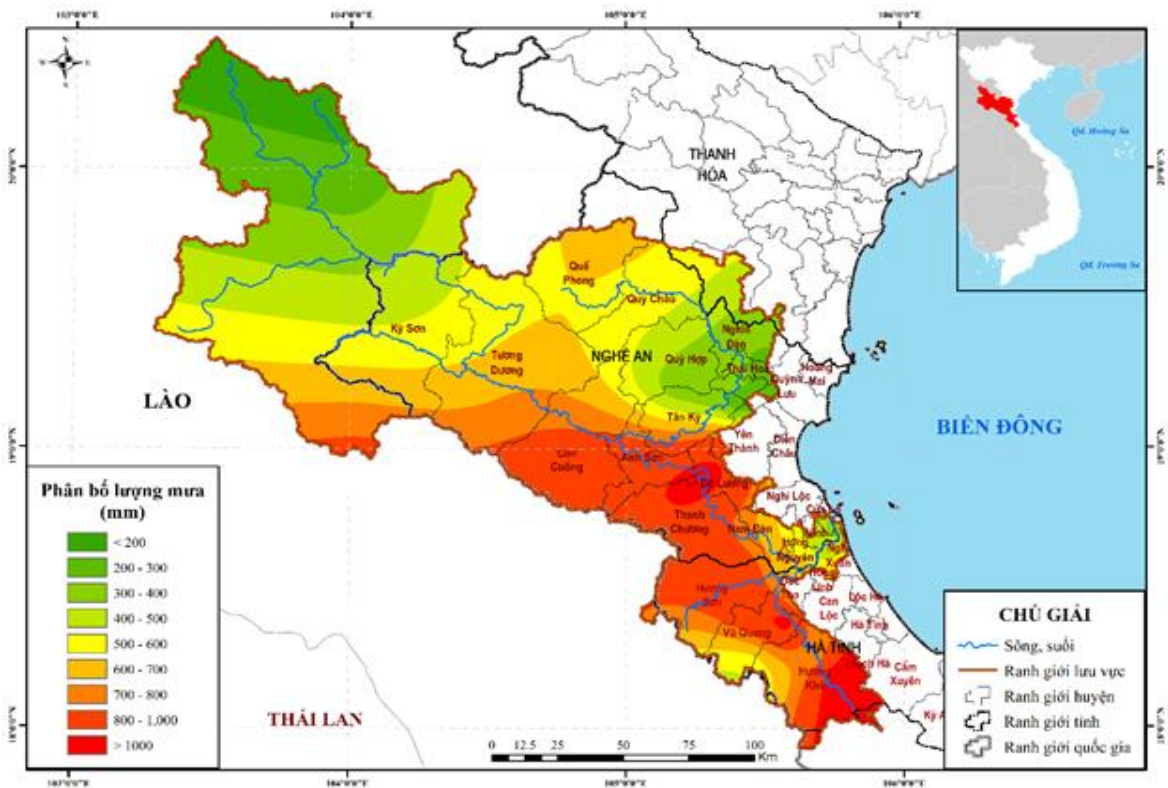
Sự phân bố một số trận mưa gây úng lụt lớn hạ du sông Cả được thể hiện tại các *Hình 2.6 đến Hình 2.11*.



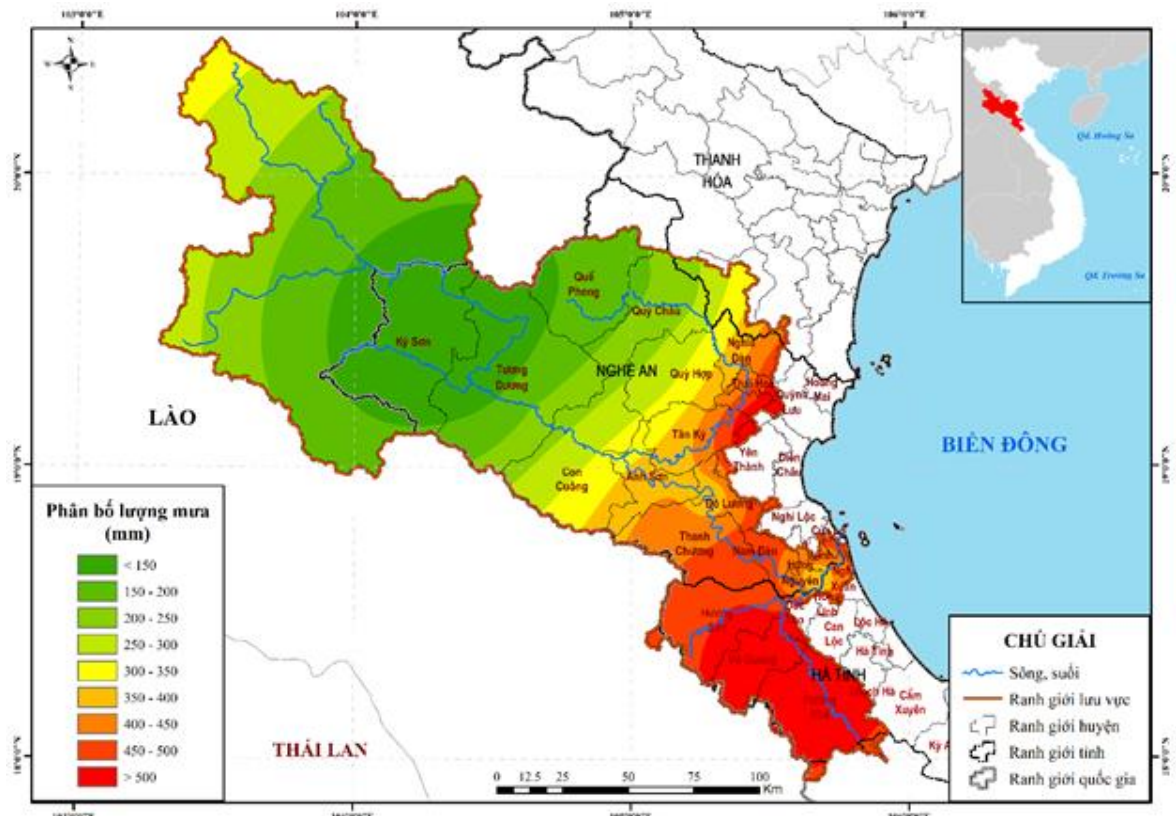
Hình 2.6: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/1978 - Lưu vực sông Cả



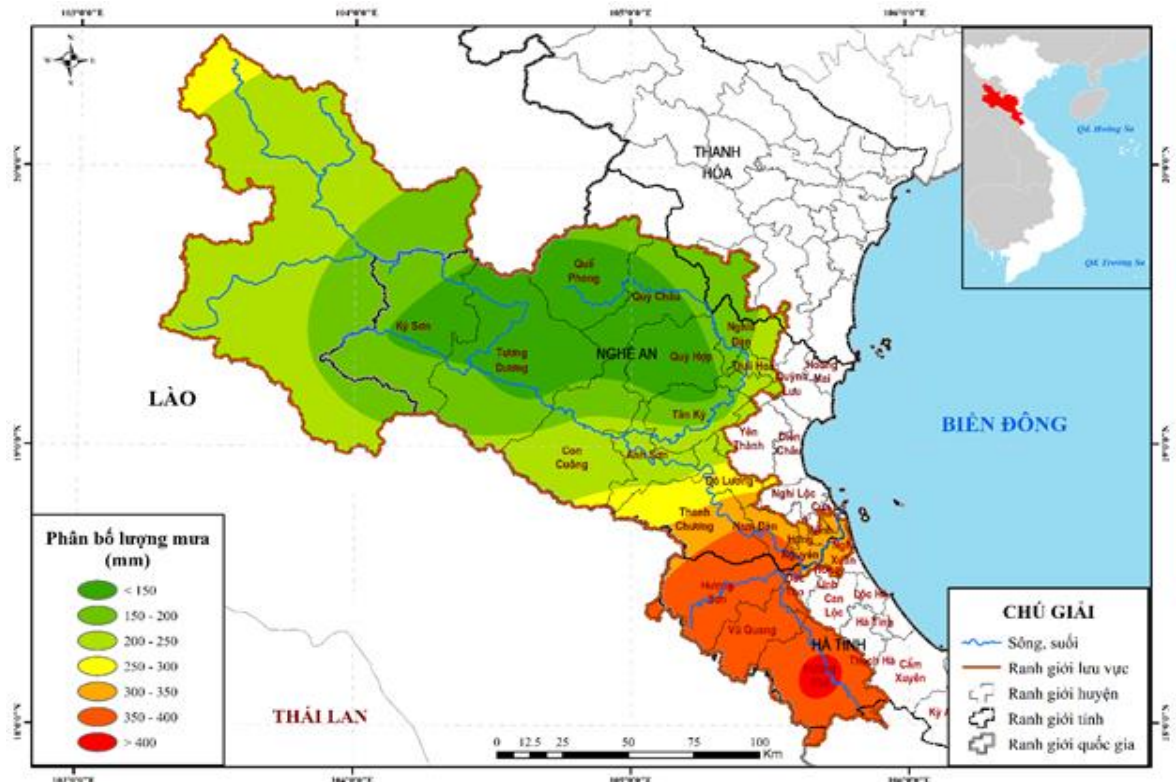
Hình 2.7: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/1983 - Lưu vực sông Cả



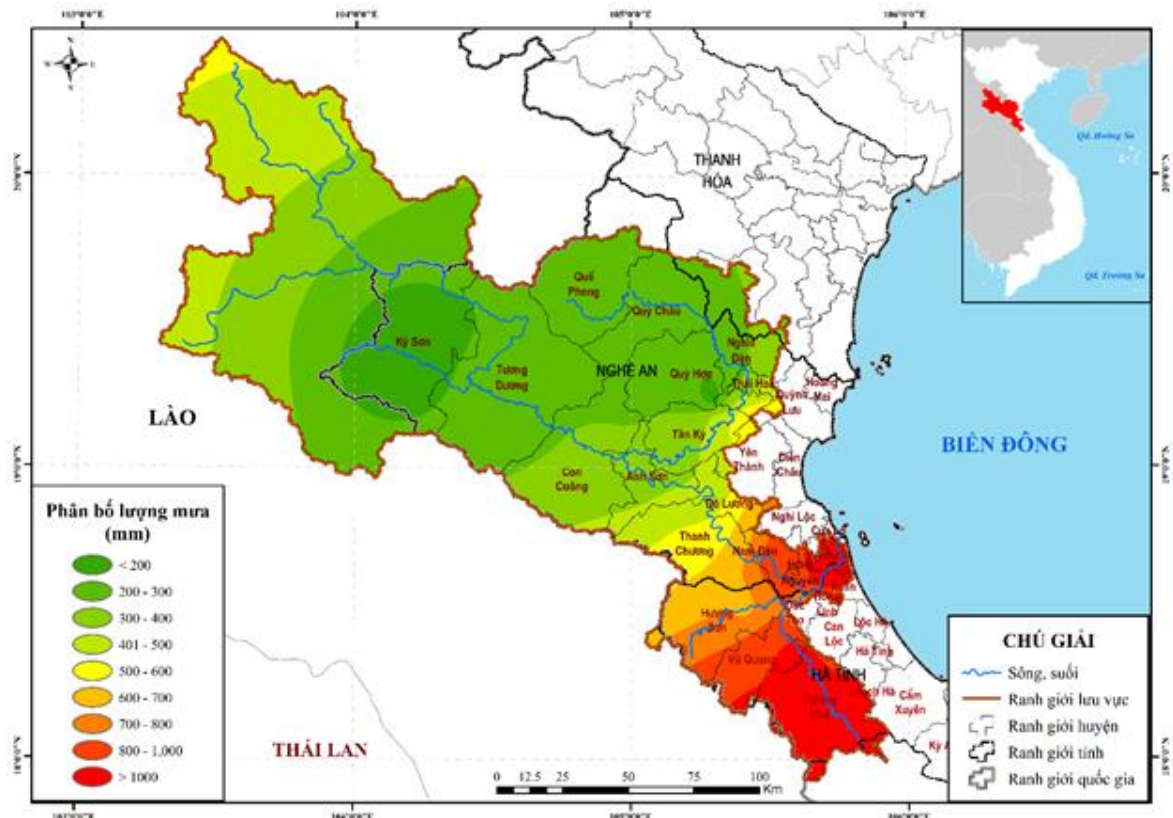
Hình 2.8: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/1988 - Lưu vực sông Cả



Hình 2.9: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/1996 - Lưu vực sông Cả



Hình 2.10: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/2002 - Lưu vực sông Cả



Hình 2.11: Bản đồ phân bố tổng lượng mưa từ 16-30/IX/2010 - Lưu vực sông Cả

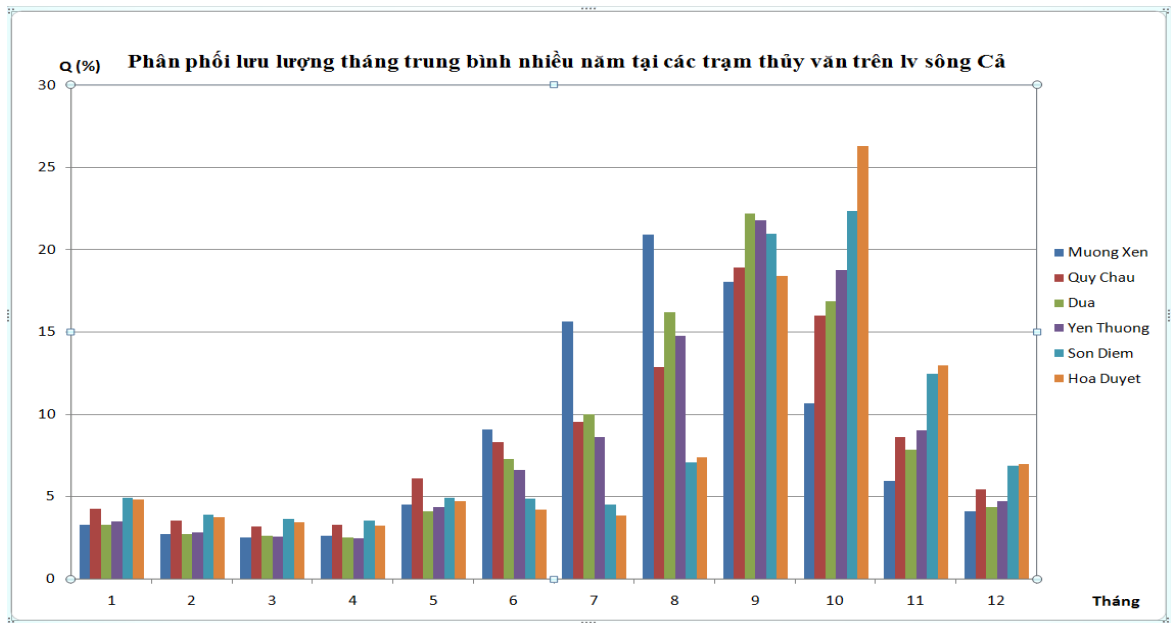
Phân tích phân bố mưa gây ra 6 trận lũ lớn ở hạ du sông Cả (Hình 6 - 11), thấy rằng tâm mưa tập trung ở trung, hạ du sông Cả hoặc sông La. Xem xét 10 trận mưa gây lũ lớn nhất ở hạ du sông Cả trong 50 năm qua (Bảng 2 - Phần phụ lục), lũ lớn thường xuất hiện khi xảy ra mưa lớn ở trung, hạ du sông Cả và lưu vực sông La. Trận mưa gây lũ năm tháng IX/1978 và tháng IX/1988 có tổng lượng mưa rất lớn và tập trung ở trung, hạ du sông Cả và sông La. Tóm lại, vai trò của mưa ở trung, hạ du sông Cả và lưu vực sông La rất quan trọng đối với ngập lụt vùng hạ du sông Cả.

2.3.2.2. Lũ từ thượng nguồn đổ về

a. Mùa lũ

Mùa lũ sông Cả thường kéo dài từ tháng VIII đến XI do hoạt động của các hình thể thời tiết gây mưa lớn. Lũ tiểu mãn có thể xuất hiện khoảng cuối tháng V, đầu tháng VI.

Do ảnh hưởng mạnh mẽ của địa hình, thời gian bắt đầu, kết thúc mùa lũ và thời gian xuất hiện lũ lớn trên dòng chính sông Cả và các sông nhánh thường khác nhau. Phân phối lưu lượng trung bình tháng nhiều năm tại các trạm thủy văn đại diện cho các lưu vực sông thể hiện tại *Hình 2.12*.



Hình 2.12: Phân phối lưu lượng tháng trung bình nhiều năm tại các trạm thủy văn trên lưu vực sông Cả (%)

- Trên dòng chính sông Cả mùa lũ bắt đầu từ tháng VII và kết thúc vào đầu tháng XI ở thượng lưu, kết thúc vào cuối tháng XI ở trung và hạ lưu. Lũ lớn nhất thường xuất hiện vào tháng VIII ở thượng lưu; tháng IX, X ở trung lưu và hạ lưu.

- Trên sông Hiếu mùa lũ bắt đầu từ tháng VIII, kết thúc vào đầu tháng XI. Lũ lớn nhất thường xuất hiện vào tháng IX.

- Trên sông La mùa lũ bắt đầu từ đầu tháng IX, kết thúc vào cuối tháng XI, có thể kết thúc muộn vào đầu tháng XII. Lũ lớn nhất thường xuất hiện vào tháng X.

- Thượng nguồn sông Cả (sông Nậm Non và Nậm Mộ), mùa lũ bắt đầu từ đầu tháng VII, kết thúc vào đầu tháng X. Lũ lớn nhất thường xuất hiện vào

tháng VIII; Hạ du sông Cả, mùa lũ bắt đầu từ đầu tháng VIII, kết thúc vào cuối tháng X. Lũ lớn nhất thường xuất hiện vào tháng IX.

b. Sự lệch pha của lũ ở các sông:

Thông kê tần suất xuất hiện những trận lũ lớn nhất vào các tháng tại *Bảng 2.8* cho thấy, trong gần 60 năm lại đây, có 44 năm thời gian xuất hiện mực nước lũ lớn nhất tại Nam Đàn và Chợ Tràng trùng nhau (đạt tần suất xấp xỉ 77%), có 41 năm thời gian xuất hiện mực nước lũ lớn nhất tại Linh Cảm và Chợ Tràng trùng nhau (đạt tần suất xấp xỉ 73%) và có 32 năm thời gian xuất hiện mực nước lũ lớn nhất tại Linh Cảm, Nam Đàn và Chợ Tràng trùng nhau (đạt tần suất xấp xỉ 57%). Các trận lũ có đỉnh lũ lớn tại Chợ Tràng đều có sự đồng pha với lũ lớn ở sông La và dòng chính sông Cả.

Thời gian xuất hiện đỉnh lũ tại các sông: lũ lớn ở hạ du sông Cả thường xuất hiện vào tháng IX hoặc X với tần suất khá gần nhau. Lũ lớn nhất năm ở các sông thuộc sông Cả xuất hiện như sau: thượng nguồn sông Cả (Nậm Mộ và Nậm Non) thường vào tháng VIII; sông Hiếu thường vào tháng IX; sông La thường vào tháng X. Lũ lớn ở vùng trung lưu sông Cả thường đồng pha với lũ sông Hiếu.

Bảng 2.8: Khả năng xuất hiện lũ lớn nhất vào các tháng trong năm trên lưu vực sông Cả (%)

TT	Trạm	Sông	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	Mường Xén	Nậm Mộ		4.0	26.0	36.0	24.0	6.0	
2	Quỳ Châu	Hiếu	3.33	5.0	15.0	43.3	25.0	8.33	
3	Nghĩa Khánh	Hiếu		1.7	10.3	20.7	37.9	24.1	5.2
4	Dừa	Cả		1.7	3.3	20.0	38.3	31.7	5.0
5	Yên Thượng	Cả		1.7	8.3	16.7	40.0	28.3	5.0
6	Chợ Tràng	Cả		1.8	1.8	14.0	42.1	33.3	7.0
7	Sơn Diệm	Ngàn Phố	1.7	5.2	1.7	3.4	41.4	39.7	6.9
8	Hòa Duyệt	Ngàn Sâu	1.7	1.7	3.3	8.3	30.0	50.0	5.0
9	Linh Cảm	La	1.8	1.8	1.8	7.1	32.1	48.2	7.1

Thống kê các trận lũ từ mức BĐ2 trở lên cho thấy, thời gian duy trì lũ ở mức cao (trên BĐ3) ở thượng lưu ngắn, chỉ khoảng 6 - 12 giờ; ở hạ lưu: 1 - 2 ngày tại Nam Đàn, 1 ngày tại Linh Cảm. Tuy nhiên, trong những trận lũ đặc biệt lớn, thì thời gian duy trì lũ trên BĐ3 khá dài, như trận lũ lịch sử năm 1978 tại Nam Đàn và Linh Cảm, kéo dài tới 5 ngày; trận lũ năm 1988 kéo dài tới 8 ngày tại Nam Đàn và 4 ngày tại Linh Cảm... Đặc tính chung, lũ lớn nhất trong năm ở vùng hạ du thường xuất hiện muộn hơn so với đỉnh lũ năm ở thượng nguồn khoảng một tháng. Càng về hạ du lòng sông được mở rộng, nước lũ bị điều tiết mạnh, do ảnh hưởng của thủy triều nên thời gian duy trì đỉnh lũ kéo dài, thời gian nước rút chậm, thời gian duy trì mực nước lũ ở mức nước cao dài hơn, ảnh hưởng tới việc bảo vệ đê và sản xuất nông nghiệp.

c. Sự xuất hiện lũ lớn trên các sông:

Diện tích lưu vực rộng và bị chia cắt đã tạo ra sự lệch pha của các trận lũ lớn trên sông Cả. Thống kê các trận lũ lớn điển hình tại các sông thuộc hệ thống sông Cả, cho thấy, thời gian xuất hiện các đỉnh lũ lớn cùng thứ tự trên các sông Cả, Hiếu, La là khác nhau (Bảng 2.9).

Bảng 2.9: Tần suất xuất hiện mực nước lớn nhất một số trận lũ lớn tại một số vị trí trên sông Cả

TT	Trạm	Sông	$H_{\max TB}$ nhiều năm (cm)	Thứ tự lũ lớn nhất	Năm	$H_{\max}$ (cm)	Tần suất (P%)	Ngày xuất hiện
1	Mường Xén	Nam Mộ	13.876	1	2011	14.534	0,4	25/VI
				2	2018	14.333	1,6	17/VIII
				3	2005	14.215	3,9	28/IX
				4	1973	14.047	12,9	27/VIII
				5	2016	14.029	14,7	19/VIII
2	Quỳ Châu	Hiếu	7.469	1	2007	8.019	2,4	05/X
				2	1988	8.005	2,7	14/X
				3	1980	7.932	4,6	07/IX
				4	1966	7.915	5,2	14/XI
				5	2009	7.897	6,1	26/IX

TT	Trạm	Sông	$H_{\max TB}$ nhiều năm (cm)	Thứ tự lũ lớn nhất	Năm	$H_{\max}$ (cm)	Tần suất (P%)	Ngày xuất hiện
3	Dừa	Cả	2.082	1	1988	2498	2,7	18/X
				2	1978	2490	2,9	28/IX
				3	1973	2366	13,8	28/VIII
				4	1980	2357	14,3	17/IX
				5	2007	2354	14,5	06/X
4	Nam Đàn	Cả	682	1	1978	1.034	0,4	29/IX
				2	1988	941	2,0	19/X
				3	1996	830	10,7	25/IX
				4	1962	809	14,6	03/X
				5	1980	808	14,7	19/IX
5	Sơn Diệm	Ngàn Phố	1.166	1	2002	1.582	1,9	20/IX
				2	1989	1.535	3,3	06/V
				3	2013	1.462	7,2	16/X
				4	1988	1.460	7,4	17/X
				5	1983	1.445	8,4	01/X
6	Hòa Duyệt	Ngàn Sâu	943	1	2010	1283	2,0	17/X
				2	1960	1274	2,3	06/X
				3	2007	1205	5,6	08/VIII
				4	2002	1178	7,7	01/IX
				5	1979	1147	10,4	05/IX
7	Linh Cảm	La	426	1	1978	825	0,9	29/IX
				2	2002	771	1,9	21/IX
				3	1988	728	3,5	18/X
				4	2010	728	3,5	17/VIII
				5	1983	639	10,0	12/X
8	Chợ Tràng	Cả	343	1	1978	780	0,5	29/IX
				2	1988	666	1,7	16/X
				3	2002	545	6,4	21/IX
				4	1983	518	8,5	27/X
				5	2010	496	10,3	18/X

2.3.2.3. *Nước biển dâng do bão*

Nước biển dâng do bão là một nhân tố làm cho úng lụt ở hạ du sông Cả thêm trầm trọng. Hằng năm, trên khu vực Bắc Trung Bộ thường chịu ảnh hưởng trực tiếp từ 1 - 2 XTNĐ và ảnh hưởng gián tiếp một số XTNĐ nữa. Đặc biệt, cơn bão DAN (số 9) ngày 13/X/1989 đổ bộ vào Nghệ An với sức gió mạnh nhất 40 - 45 m/s (cấp 13, cấp 14) và gây nước dâng rất cao tại vùng biển Nghệ An – Hà Tĩnh. Mức nước lớn nhất quan trắc được tại trạm TV Cửa Hội là 4,71 m vào lúc 21h ngày 13/X/1989. Mức nước dâng do bão đạt 1,7 - 1,8 m.

2.2.3. *Các nhân tố nhân sinh*

2.2.3.1. *Sự đô thị hóa*

Cùng với sự phát triển KT-XH cả nước, Nghệ An và Hà Tĩnh, 02 tỉnh trên lưu vực sông Cả, đã và đang phát triển mạnh. Quá trình đô thị hoá đang ngày càng có những tác động mạnh mẽ đến tình hình úng lụt trên lưu vực sông Cả, đặc biệt là vùng hạ du. Đường giao thông (Đường bộ và đường sắt), khu công nghiệp, công trình kiến trúc, nhà ở làm giảm diện tích vùng thấm nước và gây cản trở sự thoát nước trên lưu vực. Do sự phát triển của đô thị, nhiều vùng hồ ao bị san lấp xây dựng công trình, làm giảm sự điều hoà dòng chảy. Đường sắt Bắc Nam, đường Quốc lộ 1, đường Hồ Chí Minh... có hướng cắt ngang dòng chảy từ Tây sang Đông làm cản trở dòng chảy, gây nên úng lụt. Do không đủ số liệu, nên Luận án này không đề cập vấn đề.

Về giao thông: Đường giao thông làm tăng cường dòng chảy mặt, đồng thời là yếu tố gây cản trở dòng chảy làm gia tăng úng lụt. Trên lưu vực sông Cả có các đường giao thông chính sau: Đường sắt Bắc Nam cắt ngang từ cầu Cẩm, thị trấn Quán Hành, Vinh, đến cầu Yên Xuân qua sông Cả, rồi đi dọc theo sông Ngàn Sâu và sang Quảng Bình; Đường Quốc lộ 1A đi vào thành phố gồm các đường Nguyễn Trãi, Mai Hắc Đế, Lê Lợi, Quang Trung, Trần Phú, Lê Duẩn, Nguyễn Du, có mặt cắt rộng 41- 45 - 56 m; Đường 1A đoạn tránh TP Vinh:

Điểm đầu cách thị trấn Quán Hành về phía Bắc gần 1 km, điểm cuối nhập vào đường 1A cũ tại cầu Bến Thủy. Đoạn đường tránh có chiều dài 25,0 km, mặt đường rộng 11,0 m; Đường Quốc lộ 46: từ Cửa Lò qua Vinh đi Nam Đàn - Thanh Chương đến Cửa khẩu Thanh Thủy, nối với nước bạn Lào, dài 80,7 km; Đường Quốc lộ 8B (cầu Cửa Tiền - Yên Xuân): Tổng chiều dài 8,0 km, nền đường 6,50 m mặt đường đá dăm láng nhựa 5,50 m.

Tình hình sử dụng đất ở TP Vinh:

Về đất ở: Năm 2018, tổng diện tích đất TP Vinh là 10.499 ha, trong đó đất ở chiếm 1.913 ha [43]. Tốc độ đô thị hóa cao, đứng đầu các thành phố vùng Bắc Trung Bộ và thuộc vào nhóm thứ II có tốc độ đô thị hóa cao trên toàn quốc. Tại khu vực nội thành cũ như các phường Lê Mao, Hồng Sơn, Hưng Bình, mật độ dân cư khá cao, khó khăn trong việc phát triển đất ở mới. Đất thương mại dịch vụ tập trung chủ yếu ở các phường Vinh Tân, Quang Trung, Lê Lợi và dọc theo các tuyến đường lớn. Thành phố Vinh hiện nay tập trung nhiều các cơ quan, công trình sự nghiệp cấp tỉnh và cấp vùng. Đất cây xanh phân bố chưa đồng đều, đất công nghiệp bố trí khu công nghiệp Bắc Vinh và một số nằm rải rác tại các khu công nghiệp nhỏ, khu tiểu thủ công nghiệp. Đất nông nghiệp còn khoảng 1.052 ha, phần lớn là mặt nước nuôi trồng thủy sản, tập trung tại các phường: Đông Vĩnh, Hưng Dũng và Hưng Hòa.

Về đất công trình công cộng: Các công trình di tích lịch sử, văn hóa được chú trọng bảo vệ, bảo tồn, tôn tạo và được phân bố khắp các khu vực thuộc thành phố; trong đó tập trung nhiều nhất ở các khu vực như: Thành cổ Vinh, Núi Dũng Quyết và Phụng Hoàng - Trung Đô, cụm di tích Làng Đỏ - Hưng Dũng và một số đền, chùa lớn như Đền Hồng Sơn, Đền Ông Hoàng Mười, Chùa Càn Linh... Tổng diện tích đất các công trình di tích lịch sử, văn hóa trên thành phố đang được bảo vệ, gìn giữ là 11,525 ha.

Khu vực phía Tây và phía Đông Nam thành phố có nền thấp, chủ yếu trồng lúa nước và nuôi trồng thủy sản, tập trung chủ yếu đất sản xuất nông nghiệp của thành phố, cần hạn chế phát triển xây dựng. Diện tích đất không thuận lợi xây dựng khoảng 43,27 km², chiếm 15,81% tổng diện tích đất thành phố trong phạm vi nghiên cứu.

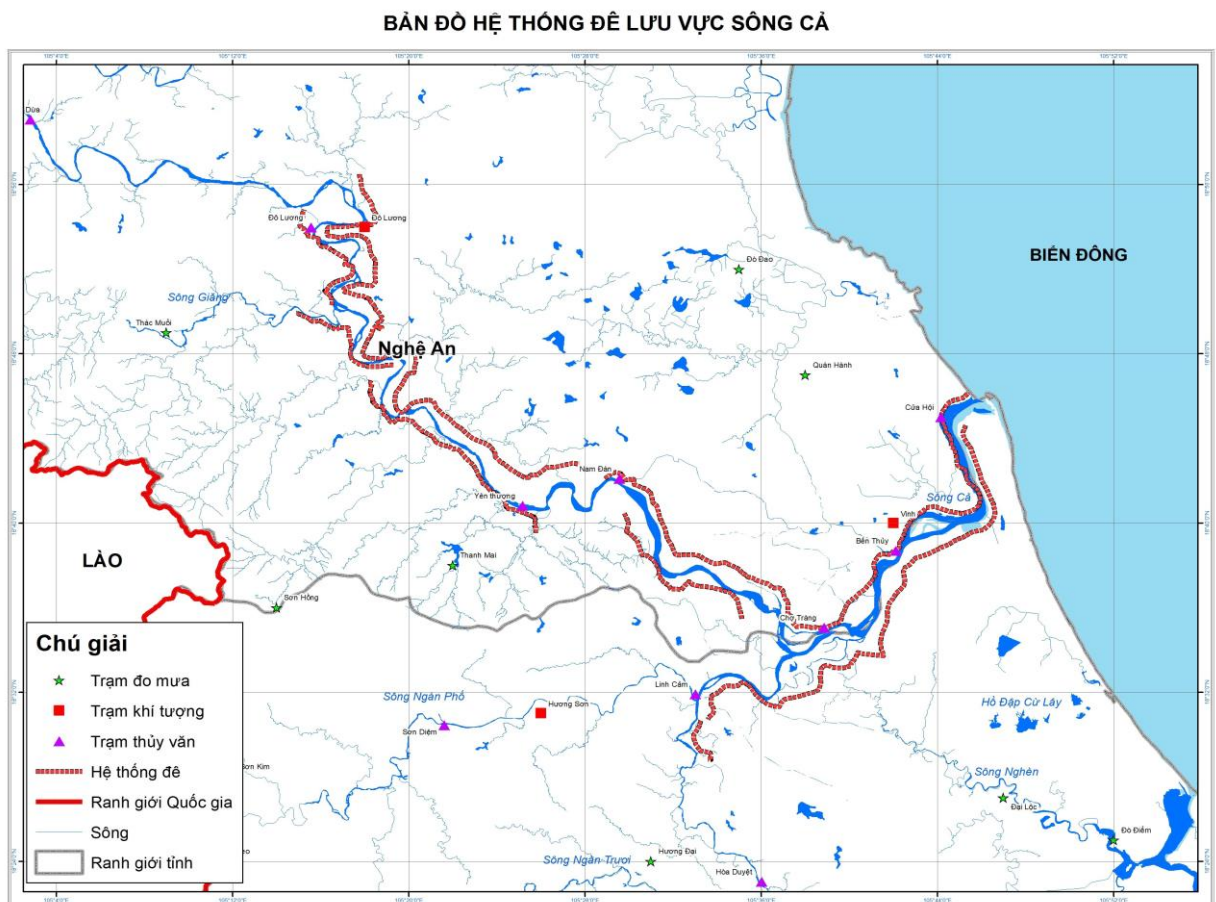
Phần diện tích kéo dài từ khu vực nội thành TP Vinh đến thị xã Cửa Lò có cốt nền cao (> 3 m), có các tuyến giao thông huyết mạch chạy qua, không có các yếu tố địa hình bất lợi, rất thuận lợi cho việc xây dựng và phát triển đô thị. Diện tích phần đất thuận lợi xây dựng là 150,88 km², chiếm 55,27 % tổng diện tích khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, hiện tại trong khu vực này còn tồn tại khá nhiều di tích lịch sử, văn hóa, đất an ninh quốc phòng. Phần diện tích không được phép xây dựng này chiếm khoảng 5% diện tích.

Việc gia tăng mức độ đô thị hóa và các khu công nghiệp ở phần hạ du lưu vực sông, đặc biệt ở thành phố Vinh, làm gia tăng diện tích không thấm trên bề mặt, các hồ ao bị san lấp làm mất chỗ chứa tự nhiên, đã góp phần làm trầm trọng mức độ ngập úng vùng nghiên cứu. Nhiều con đường được nâng cấp, xây dựng đã ngăn cản việc tiêu thoát nước làm gia tăng ngập úng cục bộ các khu phố. Đặc biệt đường tránh Vinh chạy cắt ngang đường tiêu nước của các xã thuộc Hưng Nguyên, làm khó khăn cho việc tiêu thoát nước của các vùng trũng, các khu công nghiệp.

2.2.3.2. Hệ thống đê chống lũ sông Cả

Trên địa bàn Nghệ An, các tuyến đê bên bờ tả sông Cả từ Đô Lương về đến cửa biển bảo vệ cho các vùng dân cư, thành phố Vinh, các khu canh tác nông nghiệp...; Bên bờ hữu có một số tuyến ngắn như: Nam Bắc Đặng, đê hữu Thanh Chương, Đê Nam Kim. Trên địa bàn Hà Tĩnh có tuyến đê La Giang, xuất phát từ trạm thủy văn Linh Cảm về đến Bến Thủy, tiếp đó đến cửa biển là đê Hữu Lam. Phạm vi bảo vệ của các tuyến đê trên dòng chính sông Cả được

thể hiện tại *Hình 2.13* và *Bảng 2.10*. Nói chung, hệ thống đê trên dòng chính sông Cả có khả năng bảo vệ lũ xuất hiện với tần suất $P = 1,0\%$ cho các vùng kinh tế trọng điểm hai bên bờ thuộc huyện Đô Lương, Thanh Chương, Hưng Nguyên, Nghi Lộc, TP Vinh, TX Cửa Hội và Nam Đàn. Riêng các xã thuộc huyện Nam Đàn bên bờ hữu chỉ chịu được lũ ở mức BD2. Ngoài ra, còn có hệ thống đê thuộc TP Vinh và phụ cận (*Bảng 2.11*). Hệ thống đê này có nhiệm vụ bảo vệ ngập úng nội thành Vinh và một số khu dân cư.



Hình 2.13: Bản đồ hệ thống đê trên lưu vực sông Cả

Đê Hữu Lam xuất phát từ Nam Đàn đến cửa biển có nhiệm vụ bảo vệ TP Vinh và các huyện Nam Đàn, Hưng Nguyên, Nghi Lộc. Tuyến đê này tạo nên sự ngăn cách giữa vùng trong đê và ngoài đê. Khi lũ trên sông Cả thấp, nước ở vùng trong đê sẽ được tiêu thoát qua cống Bến Thủy, Rào Đùng và một số cống

nhỏ khác. Khi lũ trên sông Cả cao, các cống này sẽ được đóng lại, lũ được tiêu thoát qua cống Nghi Quang (Cửa Lò).

Bảng 2.10: Phạm vi bảo vệ của các tuyến đê trên sông Cả [59]

TT	Tuyến đê	Cao trình (m)	Phạm vi phụ trách chống lũ
I	Tả Lam		
1	K0 - K25+450	21,3 – 17,3	Phía bờ Tả Đô Lương, Thanh Chương (Nghệ An)
2	Đê Đồng Văn	15,6 – 13,9	Xã Đồng Văn - huyện Thanh Chương (Nghệ An)
3	Lương Yên	13,1 – 12,9	3 xã Tả sông Lam thuộc huyện Thanh Chương (Nghệ An)
4	K55-K104+200	11,5 – 6,4 – 4,3	Các xã phía Tả sông Lam của huyện Nam Đàn, Hưng Nguyên, TP Vinh, TX Cửa Lò, Huyện Nghi Lộc (Nghệ An)
II	Hữu Lam		
1	Tuyến Nam Bắc Đặng	20,0 – 15,0	3 xã Nam Sơn, Bắc Sơn, Đặng Sơn, Đô Lương (Nghệ An)
2	Đê hữu Thanh Chương	15,6 – 12,6	Các xã Hữu sông Lam còn lại của huyện Thanh Chương (Nghệ An)
4	Đê Nam Kim	8,2 – 6,2	5 xã phía Hữu sông Lam của huyện Nam Đàn, (Nghệ An)
5	Đê La Giang	11,5 – 7,0	Can lộc (Hà Tĩnh)
6	Đê Hữu Lam	6,5 – 4,3	TX Hồng Lĩnh, TT Xuân An, Nghi Xuân, Can Lộc (Hà Tĩnh)

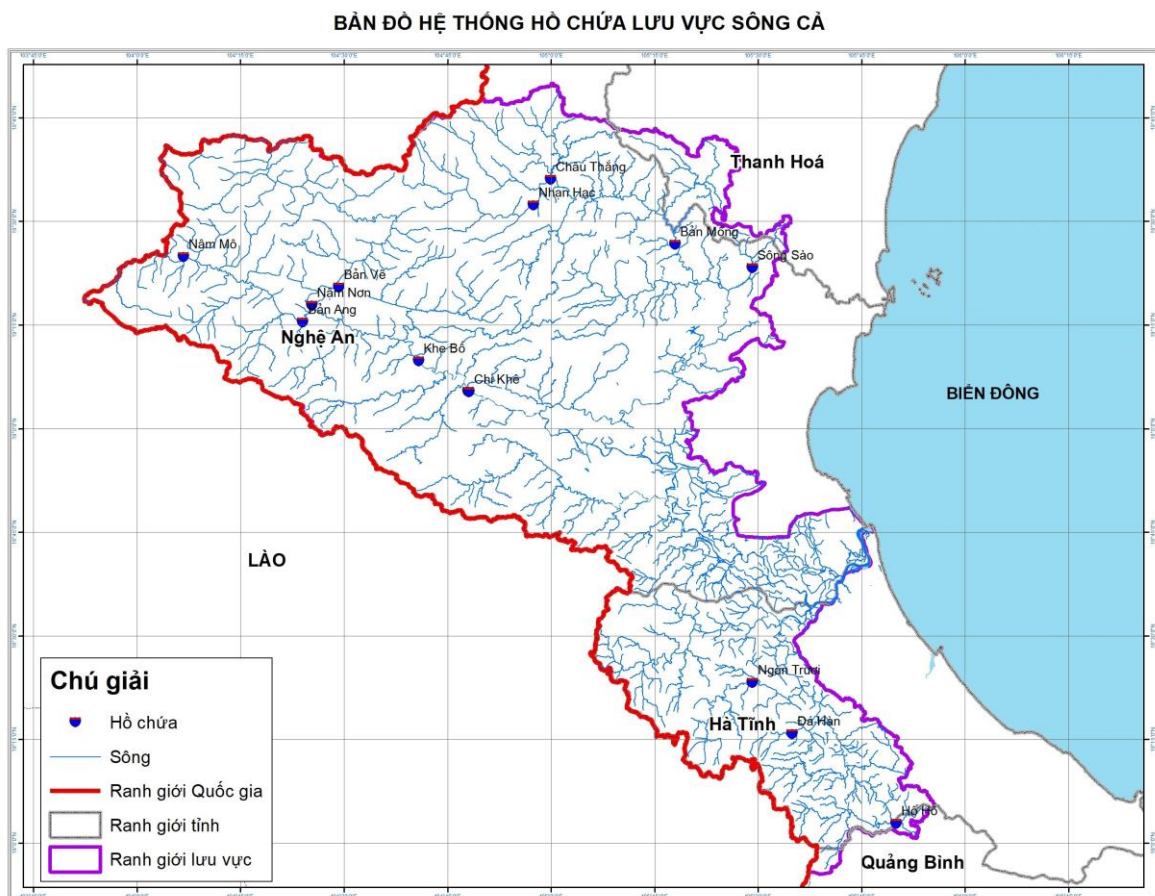
Bảng 2.11: Đê sông và nội đồng thuộc TP Vinh và phụ cận [59]

TT	Tuyến đê	Chiều dài (km)	Cao trình đỉnh đê (m)	Địa điểm
<i>I</i>	<i>Đê sông</i>			
1	Đê tả sông Cẩm	8,30	+ (1 - 2)	Bắc cầu Phương tích – TB Nghi Quang
2	Đê hữu sông Cẩm	5,00	+ (0,2 - ,06)	Xã Nghi Hoa – QL1A (Nghi Thuận)
3	Đê hữu sông Rào Đùng	8,00	+ (4,0)	Hưng Dũng – Hưng Hòa- đê Tả Lam

4	Đê tả sông Cửa Tiền	5,086	+ (3,5 - 5,0)	Đ.sắt Bắc Nam – Cầu Bến Thủy
5	Đê hữu Sông Cửa Tiền	5,80	+ (4,0 – 5,0)	Ngã 3 Đuốc – cống Bến Thủy
II	Đê nội đồng			
1	Đê tả Kênh Thấp	7,425	+ (3,0 – 5,0)	Nam Anh – Hưng Chính
2	Đê hữu Kênh Thấp	7,425	+ (4,0 – 5,5)	Nam Anh – Ngã 3 Đuốc
3	Đê tả Lam Trà	11,623	+ (3,0 – 6,5)	Nam Lĩnh – Hưng Đạo
4	Đê hữu Lam Trà	11,623	+ (2,9 – 6,0)	Nam Lĩnh - Nam Cát
5	Đê tả Hoàng Cầm	4,280	+ (3,3 – 4,3)	Cống số 1 – cống số 2
6	Đê hữu Hoàng Cầm	4,280	+ (4,0 – 4,6)	Cống số 1 – cống số 2

2.2.3.3. Hệ thống hồ chứa và quy trình vận hành trên lưu vực sông Cả

* Hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Cả:



Hình 2.14: Bản đồ hệ thống hồ chứa trên lưu vực sông Cả

Ngày 13 tháng XI năm 2019, Thủ tướng đã ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Cả. Mười một hồ chứa được đưa vào Quy trình: trên dòng chính sông Cả gồm: Bản Vẽ, Nậm Non, Khe Bó, Chi Khê; trên sông Nậm Mô: Nậm Mô, Bản Ang; trên sông Hiếu gồm: Nhạn Hạc, Châu Thắng, Bản Mòng; trên sông Ngàn Sâu gồm: Hồ Hồ, Ngàn Trươi [49]. Ngoài ra còn có một số hồ chứa thủy lợi có ảnh hưởng đáng kể đến chế độ dòng chảy của hạ lưu sông Cả như: hồ Sông Sào trên sông Sào một nhánh cấp 1 của sông Hiếu, hồ Đá Hàn trên sông Rào Nỏ một nhánh cấp 1 của sông Ngàn Sâu, hồ Thác Muối trên sông Giăng một nhánh cấp 1 của sông Cả (Hình 2.14).

Các hồ chứa lớn trên lưu vực sông Cả (13 hồ) tại Bảng 2.12 được đưa vào tính toán trong Luận án này.

Ngoài số hồ chứa lớn kể trên, trên địa bàn Nghệ An thuộc lưu vực sông Cả có 84 hồ thủy lợi vừa và nhỏ có dung tích lớn hơn 0,5 triệu m³, có diện tích lưu vực không chế bởi số hồ chứa này là 480 km². Trên địa bàn Hà Tĩnh thuộc lưu vực sông Cả có 27 hồ thủy lợi vừa và nhỏ có dung tích lớn hơn 0,5 triệu m³, tổng diện tích lưu vực không chế bởi số hồ chứa này là 90,5 km² (Bảng 1 - Phần phụ lục).

Bảng 2.12: Hệ thống hồ chứa lớn trên hệ thống sông Cả

TT	Tên hồ chứa	Lưu vực sông	Dung tích hữu ích (10 ⁶ m ³)	Dung tích phòng lũ (10 ⁶ m ³)	Hình thức điều tiết
1	Bản Vẽ	Cả	1.834	300	Nhiều năm
2	Nậm Non	-	6,1	-	Ngày
3	Khe Bó	-	97,8	-	-
4	Chi Khê	-	33,5	-	-
5	Nậm Mô	Nậm Mô	2,68	-	-
6	Bản Ang	-	3,0	-	-
7	Nhạn Hạc	Hiếu	6,9	-	-

TT	Tên hồ chứa	Lưu vực sông	Dung tích hữu ích (10^6 m^3)	Dung tích phòng lũ (10^6 m^3)	Hình thức điều tiết
8	Châu Thắng	-	18,2	-	-
9	Bản Mòng	-	224,5	45	Năm
10	Ngàn Trươi	Ngàn Trươi	775,7	210	Nhiều năm
11	Hồ Hồ	Ngàn Sâu	38,0	-	Ngày
12	Sông Sào	Sào	51,4	-	Năm
13	Đá Hàn	Rào Nổ	0,67	-	Năm

Trong 13 hồ tại *Bảng 2.12*, có 3 hồ có quy mô lớn và có dung tích phòng lũ là Bản Vẽ, Bản Mòng và Ngàn Trươi, nên các hồ này sẽ có khả năng cắt lũ cho hạ du sông Cả.

Với tổng diện tích lưu vực do các hồ chứa không chế (không tính đối với các hồ chứa nằm trong lưu vực đã không chế của hồ chứa khác và các hồ điều tiết ngày) là 13.002 km^2 , chiếm 47,8% so với tổng diện tích toàn lưu vực sông Cả. Vì vậy, hồ chứa có tác động rất lớn tới chế độ dòng chảy, đặc biệt vào giai đoạn đầu mùa lũ khi hồ chứa đã cạn nước và giữa, cuối mùa lũ khi hồ đã tích nước hoặc khi hồ đã tích nước đầy và vận hành xả lũ không hợp lý.

* Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Cả:

Trong 11 hồ chứa thuộc Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Cả, có 3 hồ chứa có dung tích phòng lũ và 8 hồ chứa thuộc loại điều tiết ngày, không có dung tích phòng lũ [49]. Các hồ chứa điều tiết ngày có tác dụng điều tiết dòng chảy nhất định trong mùa cạn và khi xảy ra lũ nhỏ. Khi xảy ra lũ lớn, các hồ chứa loại này sẽ thực hiện chế độ xả lưu lượng đến bằng lưu lượng về hồ, nên không có tác động cắt lũ. Các hồ chứa có dung tích phòng lũ (Bản Vẽ, Bản Mòng và Ngàn Trươi) có quy trình vận hành trong mùa lũ như sau:

a. Vận hành giảm lũ cho hạ du đối với hồ Bản Vẽ

Bảng 2.13: Mức nước cao nhất trước lũ của các hồ trong mùa lũ [49]

Hồ	Mức nước hồ (m)					
	Đầu vụ			Giữa vụ		Cuối vụ
	Từ 20 tháng VII đến 31 tháng VII	Từ 01 tháng VII đến 14 tháng VIII	Từ 15 tháng VIII đến 31 tháng VIII	Từ 01 tháng IX đến 30 tháng IX	Từ 01 tháng X đến 31 tháng X	Từ 01 tháng XI đến 30 tháng XI
Bản Vẽ	192,5	192,5	192,5	193,0 - 197,0	195,0-200,0	197,5-200,0
Bản Mòng	74,0	74,5	74,5	74,5	75,0	75,5-76,4
Ngàn Trươi	Mùa cạn		46,0	46,0	51,0	51,5-52,0
Hồ Hồ	Mùa cạn		69,5			

Trường hợp mực nước hồ lớn hơn giá trị quy định tại *Bảng 2.13*:

- Nếu mực nước tại trạm thủy văn Con Công đang dưới báo động I thì thực hiện vận hành để hạ dần mực nước hồ, nhưng tối đa không thấp hơn giá trị quy định tại *Bảng 2.13*.

- Nếu mực nước tại trạm thủy văn Con Công vượt mức báo động I nhưng vẫn dưới mức báo động II hoặc lưu lượng đến hồ từ 1.000 m³/s đến 1.200 m³/s thì thực hiện vận hành duy trì mực nước hồ.

- Nếu mực nước tại trạm thủy văn Con Công hoặc Chợ Tràng vượt mức báo động II hoặc lưu lượng đến hồ lớn hơn 1.200 m³/s thì thực hiện vận hành cắt, giảm lũ cho hạ du.

b. Vận hành giảm lũ cho hạ du đối với hồ Bản Mòng

Trường hợp mực nước hồ lớn hơn giá trị quy định tại *Bảng 2.13*:

- Nếu mực nước tại trạm thủy văn Nghĩa Khánh đang dưới báo động I thì thực hiện vận hành hạ thấp mực nước hồ để hạ dần mực nước hồ, nhưng tối đa không thấp hơn giá trị quy định tại *Bảng 2.13*.

- Nếu mực nước tại trạm thủy văn Nghĩa Khánh vượt mức báo động I nhưng vẫn dưới mức báo động II hoặc lưu lượng đến hồ từ 1.500 m³/s đến 2.000 m³/s thì thực hiện vận hành duy trì mực nước hồ.

- Nếu mực nước tại trạm thủy văn Nghĩa Khánh hoặc Chợ Tràng vượt mức báo động II hoặc lưu lượng đến hồ lớn hơn $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ thì thực hiện vận hành cắt, giảm lũ cho hạ du.

c. Vận hành giảm lũ cho hạ du đối với hồ Ngàn Trươi

Trường hợp mực nước hồ lớn hơn giá trị quy định tại *Bảng 2.13*:

- Nếu mực nước tại các trạm thủy văn Linh Cảm và Chợ Tràng đang dưới báo động I thì thực hiện vận hành hạ thấp mực nước hồ để hạ dần mực nước hồ, nhưng tối đa không thấp hơn giá trị quy định tại *Bảng 2.13*.

- Nếu mực nước tại trạm thủy văn Linh Cảm hoặc Chợ Tràng vượt mức báo động I nhưng vẫn dưới mức báo động II hoặc lưu lượng đến hồ từ $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ đến $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$ thì thực hiện vận hành duy trì mực nước hồ.

- Nếu mực nước tại trạm thủy văn Linh Cảm hoặc Chợ Tràng vượt mức báo động II hoặc lưu lượng đến hồ lớn hơn $1.300 \text{ m}^3/\text{s}$ thì thực hiện vận hành cắt, giảm lũ cho hạ du.

2.2.3.4. *Sụt lún địa chất*

Một trong những nhân tố gia tăng thêm ứng lút ở vùng đô thị là sự sụt lún địa chất làm hạ thấp địa hình. Tuy nhiên, do TP Vinh chưa phát hiện ra hiện tượng sụt lún địa chất và chưa bị ngập úng do triều cường. Vì vậy, nhân tố sụt lún địa chất không được xem xét trong Luận án này.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. *Một số phương pháp xác định ứng lút*

Nội dung của tính toán ứng lút là xác định: độ sâu ngập, thời gian ngập, diện tích ngập, tổng lượng nước ngập, cường suất lên/xuống ngập... tại vùng nghiên cứu. Một số phương pháp xác định ứng lút thường được sử dụng được trình bày dưới đây.

2.3.1.1. *Phương pháp điều tra vết lũ*

Việc xác định mức ngập tại nhiều điểm trong một khu vực đã từng xảy ra

trong quá khứ thông qua các dấu vết mà trận lũ để lại trên bờ, cây cối, các công trình kiến trúc xây dựng; phỏng vấn dân cư sống trong đó và các cơ quan nhà nước trên địa bàn nghiên cứu. Từ đó tạo ra một bộ số liệu đủ dày, kết hợp với địa hình để khoanh vùng được vùng ngập, xác định được mức độ ngập.

Phương pháp này được sử dụng ở những vùng không có quan trắc KTTV và thể hiện một bức tranh khái quát về ngập lụt ở một vùng cụ thể.

2.3.1.2. *Phương pháp ảnh Viễn thám*

Ngày nay, công nghệ Viễn thám và GIS đã cung cấp các công cụ mạnh mẽ để thu thập dữ liệu, phân tích không gian và hiển thị đồ họa. Hiện tại, đã có nhiều nghiên cứu về ứng dụng GIS và viễn thám trong theo dõi cũng như xác định vùng úng lụt. Trên cơ sở sử dụng chuỗi thời gian của các chỉ số bao gồm chỉ số khác biệt thực vật NDVI và chỉ số thực vật tăng cường EVI cũng như chỉ số mặt nước LSWI để mô tả khu vực bị ngập với lớp phủ thực vật trên bề mặt đất.

Ưu điểm của phương pháp Viễn thám là có thể xác định được vùng úng lụt ở những nơi không có số liệu quan trắc KTTV. Tuy nhiên, trong quá trình giám sát các trận lũ có thể xuất hiện mây mù làm ảnh hưởng đến chất lượng của ảnh viễn thám.

Thông thường phương pháp ảnh Viễn thám thường được kết hợp với phương pháp mô hình mô phỏng để so sánh đánh giá việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

2.3.1.3. *Phương pháp mô hình toán*

Trong trường hợp ít số liệu quan trắc KTTV và không đồng nhất thì phương pháp mô hình toán thường được áp dụng. Nguyên lý của phương pháp này là dựa trên bản chất vật lý của dòng chảy là một quá trình liên tục chịu tác động trực tiếp của các yếu tố khí tượng, địa hình, địa chất, mặt đệm và hoạt động của con người, người ta sử dụng các phương trình toán học để mô tả các quá trình vận động, tương tác đó.

Thực tế, mỗi phương pháp đều có các ưu nhược điểm riêng trong việc xác

định ứng lụt. Phương pháp điều tra thực địa vết lũ các trận lũ lớn xảy ra trong quá khứ có cơ sở thực tiễn, đơn giản, dễ thực, tuy nhiên chỉ tái hiện lại được tình trạng ứng lụt, mà chưa dự tính được khả năng ngập khi có sự thay đổi về điều kiện KTTV hoặc/và mặt đệm, công trình xây dựng trên hệ thống. Phương pháp này tốn nhiều công sức, mất nhiều thời gian và có những điểm không thể đo đạc được hoặc không thu thập được số liệu. Tuy nhiên, nó vẫn mang ý nghĩa to lớn về nhiều mặt trong công tác chỉ huy phòng chống lũ lụt cũng như làm cơ sở để đánh giá, so sánh với các nghiên cứu khác.

Sử dụng phương pháp mô toán là rất thiết thực, có hiệu quả cao và cũng là cách tiếp cận hiện đại và đang được sử dụng rộng rãi trong thời gian gần đây trên thế giới và Việt Nam.

Thực tế, việc kết hợp phương pháp mô hình toán với điều tra vết lũ hoặc/và ảnh viễn thám được coi là tối ưu. Phương pháp tổng hợp này đã được Nguyễn Thanh Sơn và cộng sự [55], Vũ Đức Long [40] áp dụng khá thành công. Số liệu thu được từ công tác điều tra khảo sát và ảnh vệ tinh các trận lũ thực tế trong quá khứ sẽ là căn cứ để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Phương pháp mô hình hóa được sử dụng để mô phỏng toàn cảnh bức tranh ngập lụt theo thời gian của trận lũ cũng như các kịch bản cực đoan chưa từng xảy ra trong quá khứ.

2.3.2. Lựa chọn phương pháp nghiên cứu

Để giải quyết mục tiêu đặt ra của Luận án, một số phương pháp sau được sử dụng: Phương pháp kế thừa, phương pháp thống kê, phương pháp điều tra vết lũ và phương pháp mô hình toán.

Phương pháp kế thừa: Luận án đã kế thừa số liệu khí tượng thủy văn, địa hình, vết lũ, kết quả tính toán từ một số công trình nghiên cứu về ứng lụt trên sông Cả.

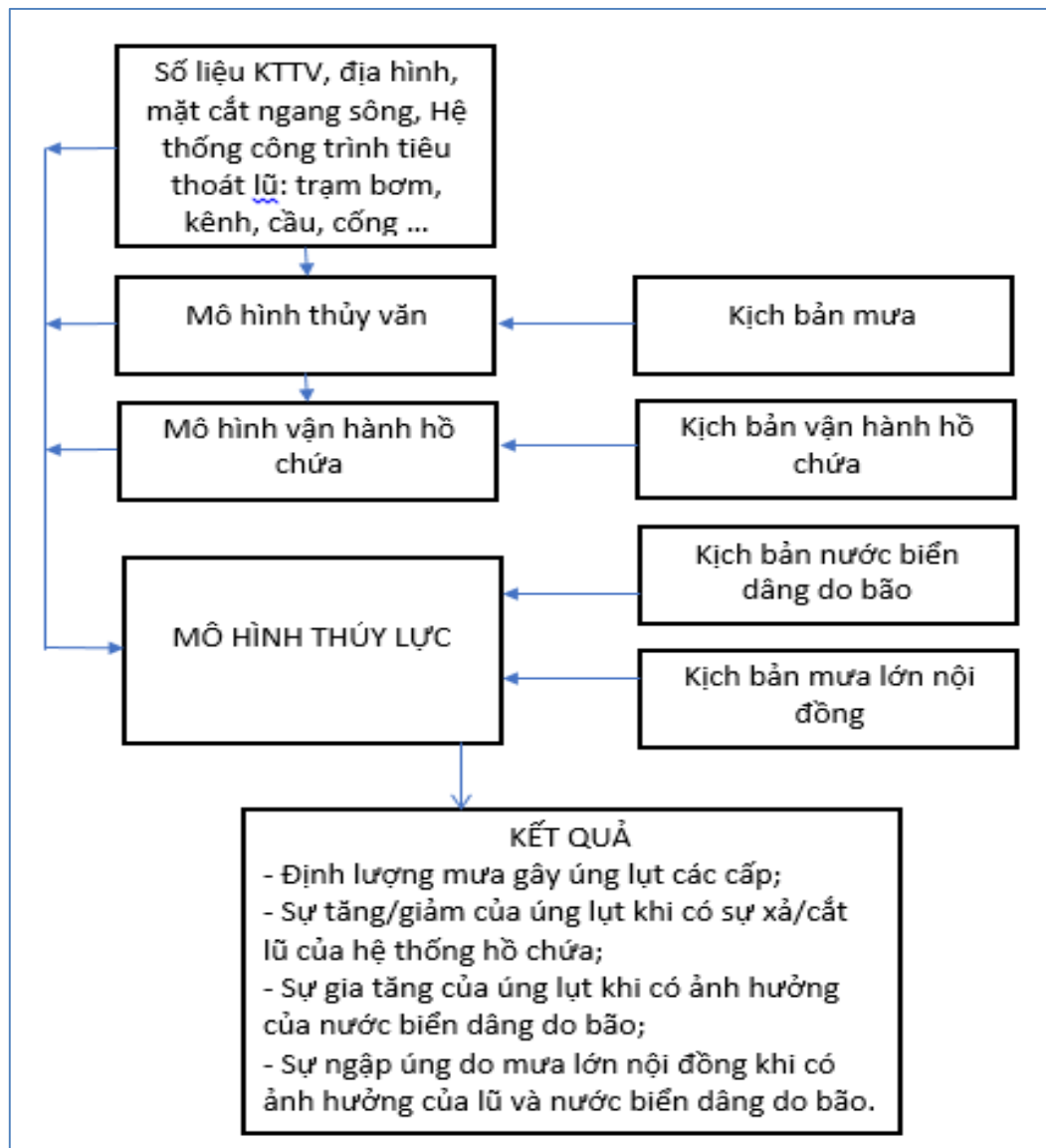
Phương pháp thống kê: Luận án đã sử dụng phương pháp này để tính toán các đặc trưng lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình, tần suất xuất hiện của một số đại lượng như: mưa, mực nước, lưu lượng nước.

Phương pháp mô hình toán kết hợp cùng phương pháp điều tra vết lũ được sử dụng để xác định ứng lựt một cách hiệu quả nhất. Do vùng nghiên cứu của Luận án không lớn và đã có mạng lưới đo đạc thủy văn dày nên Luận án đã không sử dụng phương pháp ảnh viễn thám. Đối với một số vùng không có số liệu thủy văn, Luận án đã sử dụng phương pháp điều tra vết lũ để nâng cao chất lượng của mô hình mô phỏng.

Hiện nay, có rất nhiều mô hình toán có thể biểu diễn được mối quan hệ mưa - dòng chảy; diễn toán lũ trong kênh, rạch, sông, hồ; diễn toán ngập lụt bãi sông, vùng trũng ven sông như đã trình bày trong *Chương 1*. Mô hình mưa rào – dòng chảy được sử dụng để đánh giá vai trò của nhân tố: nội sinh như địa hình, địa chất, thổ nhưỡng, thảm phủ thực vật; ngoại sinh như mưa. Mô hình thủy lực 1D được sử dụng để đánh giá vai trò của các nhân tố: nội sinh như địa hình, mạng lưới sông suối; ngoại sinh như lũ từ thượng nguồn đổ về, nước biển dâng do bão; nhân sinh như hệ thống hồ chứa. Mô hình thủy lực 2D được sử dụng để đánh giá vai trò của các nhân tố: nội sinh như địa hình; nhân sinh như sự đô thị hóa, hệ thống đê chống lũ, các công trình giao thông, thủy lợi (cầu, kè, đường).

Một số nhân tố có biến đổi rất ít theo thời gian, không được đưa vào đánh giá vai trò đối với ứng lựt như: địa hình, địa chất, thổ nhưỡng, mạng lưới sông suối, sự đô thị hoá, hệ thống đê chống lũ, các công trình giao thông...Luận án này sẽ đi sâu vào đánh giá tác động của một số nhân tố có nguồn gốc KTTV như: Mưa, lũ từ thượng nguồn đổ về, hồ chứa và nước biển dâng do bão.

Những phân tích trên đây là cơ sở khoa học định hướng và giới hạn cho nghiên cứu của Luận án (*Hình 2.15*).



Hình 2.15: Sơ đồ nghiên cứu Luận án

Trong khuôn khổ của Luận án, tác giả đã chọn các mô đun thủy văn, thủy lực trong bộ mô hình MIKE làm công cụ tính toán úng lụt cho lưu vực sông Cả. Sau đây sẽ lần lượt giới thiệu các mô hình con thuộc bộ mô hình MIKE.

2.4. Bộ mô hình MIKE

Mô hình MIKE là bộ phần mềm thương mại nên phần giao diện rất mạnh, hữu hiệu, có sự tích hợp rất tốt với phần mềm GIS. Các thành phần của mô hình được kết nối với nhau dễ dàng, nên có thể sử dụng bộ mô hình MIKE NAM,

MIKE 11, MIKE 21 và MIKE FLOOD để tính toán ứng lựt cho một lưu vực sông.

Mô hình MIKE do DHI Water & Environment phát triển, là một gói phần mềm dùng để mô phỏng dòng chảy, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát ở các cửa sông, sông, kênh tưới và các vật thể khác.

Các công trình được mô phỏng trong mô hình MIKE bao gồm: Đập đỉnh rộng, đập tràn; Công (công hình chữ nhật, hình tròn...); Bơm; Hồ chứa; Công trình điều tiết; Mô đun cầu...

2.4.1. Mô hình MIKE NAM

Mô hình MIKE NAM được xây dựng trên cơ sở 5 bể chứa xếp theo chiều thẳng đứng, bao gồm: bể tuyết, bể chứa mặt, bể chứa sát mặt, 02 bể chứa ngầm (tầng trên và tầng dưới) và 02 bể điều tiết nằm ngang [84].

Mô hình MIKE NAM thường được sử dụng để tính toán dòng chảy từ mưa cho các lưu vực không có đo đạc lưu lượng hoặc kéo dài tài liệu dòng chảy cho các lưu vực có số năm quan trắc lưu lượng ngắn.

2.4.2. Mô hình MIKE 11

Mô hình MIKE 11 là mô hình tính toán mạng sông dựa trên việc giải hệ phương trình một chiều Saint -Venant [84]:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial A}{\partial t} \quad (2.1)$$

hoặc
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (2.2)$$

Phương trình chuyển động:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0. \quad (2.3)$$

Trong đó: A là diện tích mặt cắt ngang (m^2); t là thời gian (s); Q là lưu lượng nước (m^3/s); x là biến không gian; h là độ sâu dòng chảy; g là gia tốc trọng trường (m/s^2); ρ là mật độ của nước (kg/m^3); b là độ rộng của lòng dẫn (m); C là hệ số Sedi và R là bán kính thủy lực (m).

Phương pháp giải:

Hệ phương trình Saint - Venant về nguyên lý là không giải được bằng các phương pháp giải tích, vì thế trong thực tế tính toán, người ta phải giải gần đúng bằng cách rời rạc hóa hệ phương trình. Có nhiều phương pháp rời rạc hóa hệ phương trình, và trong mô hình MIKE 11, các tác giả đã sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn 6 điểm ẩn Abbott.

Để sơ đồ sai phân hữu hạn ổn định cần tuân thủ các điều kiện sau:

- Địa hình phải đủ tốt để mực nước và lưu lượng được giải một cách thoả đáng. Giá trị tối đa cho phép đối với Δx phải được chọn trên cơ sở này.

- Điều kiện Courant dưới đây có thể dùng như một hướng dẫn để chọn bước thời gian sao cho đồng thời thoả mãn được các điều kiện trên. Biểu thức, giá trị của C_r là 10 đến 15, nhưng các giá trị lớn hơn (lên đến 100) đã được sử dụng [87].

$$C_r = \frac{\Delta t(V + \sqrt{gy})}{\Delta x} \quad (2.4)$$

Với V là vận tốc và y là độ sâu dòng chảy.

C_r thể hiện tốc độ nhiễu động sóng tại nước nông (biên độ nhỏ). Số Courant biểu thị số các điểm lưới trong một bước sóng phát sinh từ một nhiễu động di chuyển trong một bước thời gian. Sơ đồ sai phân hữu hạn dùng trong MIKE 11 cho phép số Courant từ 10 - 20 nếu dòng chảy dưới phân giới (số Froude nhỏ hơn 1) [87].

Diễn toán hồ chứa: Thực tế trong mô hình MIKE 11, hồ chứa không được xây dựng riêng, nên có thể thiết lập bằng cách đưa một vùng chứa và công trình

xả vào vị trí đặt hồ chứa. Các công trình xả gồm: cống, tràn tự do, cửa van... Vì vậy, không thể thiết lập vận hành hồ chứa theo quy trình trong mô hình MIKE 11. Thông thường để giải quyết bài toán điều hành xả lũ theo mực nước hồ, mực nước các điểm không chế ở hạ lưu, lưu lượng đến hồ người ta thường dùng một mô đun riêng thiết kế cho hồ chứa và dùng kết quả ở đầu ra làm biên trên cho mô hình MIKE 11. Nghiên cứu này đã xây dựng chương trình diễn toán lũ qua hồ chứa để tính toán lưu lượng xả.

2.4.3. Mô hình MIKE 21

Mô hình MIKE 21 là một mô hình thuộc bộ chương trình MIKE do Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) phát triển, là một phần mềm dùng để mô phỏng dòng chảy, lưu lượng, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát và các chất ô nhiễm ở các cửa sông, sông, hồ, biển và các khu vực chứa nước khác [85].

Mô đun dòng chảy được giải bằng phương pháp lưới phần tử hữu hạn, dựa trên nghiệm số của hệ các phương trình Navier-Stokes trung bình Reynolds cho chất lỏng không nén được 2 hoặc 3 chiều kết hợp với giả thiết Boussinesq và giả thiết áp suất thủy 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 rồi. Với trường hợp ba chiều thì sử dụng xấp xỉ chuyển đổi hệ tọa 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. Các phần tử được chia có dạng hình tam giác.

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (2.5)$$

Phương trình động lượng theo phương x và y tương ứng

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} =$$

$$fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$
(2.6)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} =$$

$$-fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$
(2.7)

Trong đó t là thời gian; x, y và z là toạ độ Đề các; η là dao động mực nước; d là độ sâu; $h=\eta+d$ là độ sâu tổng cộng; u, v và w là thành phần vận tốc theo phương x, y và z ; $f=2\Omega \sin\phi$ là tham số Coriolis; g là gia tốc trọng trường; ρ là mật độ nước; v_t là nhớt rối thẳng đứng; p_a là áp suất khí quyển; ρ_0 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.

2.4.4. Mô hình MIKE FLOOD

Dòng chảy trong vùng ngập lụt 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), vì thế để giảm thời gian và khối lượng tính toán, có thể kết hợp các ưu điểm của cả mô hình 1 và 2 chiều bằng cách kích hoạt mô đun tính toán 2 chiều khi xuất hiện dòng chảy tràn. Mô hình MIKE FLOOD thực hiện các kết nối giữa mô hình MIKE 11 (tính toán thủy lực mạng sông 1 chiều) với mô hình MIKE 21 (mô phỏng dòng chảy nước nông 2 chiều theo phương ngang) bằng 4 loại kết nối [86]:

- Kết nối tiêu chuẩn: sử dụng khi một nhánh sông một chiều đổ trực tiếp

vào vùng ngập 2 chiều;

- Kết nối bên: sử dụng khi một nhánh sông nằm kề vùng ngập, và khi mực nước trong sông cao hơn cao trình bờ thì sẽ kết nối với ô lưới tương ứng của mô hình 2 chiều;

- Kết nối công trình (ảnh): sử dụng các dạng liên kết qua công trình;

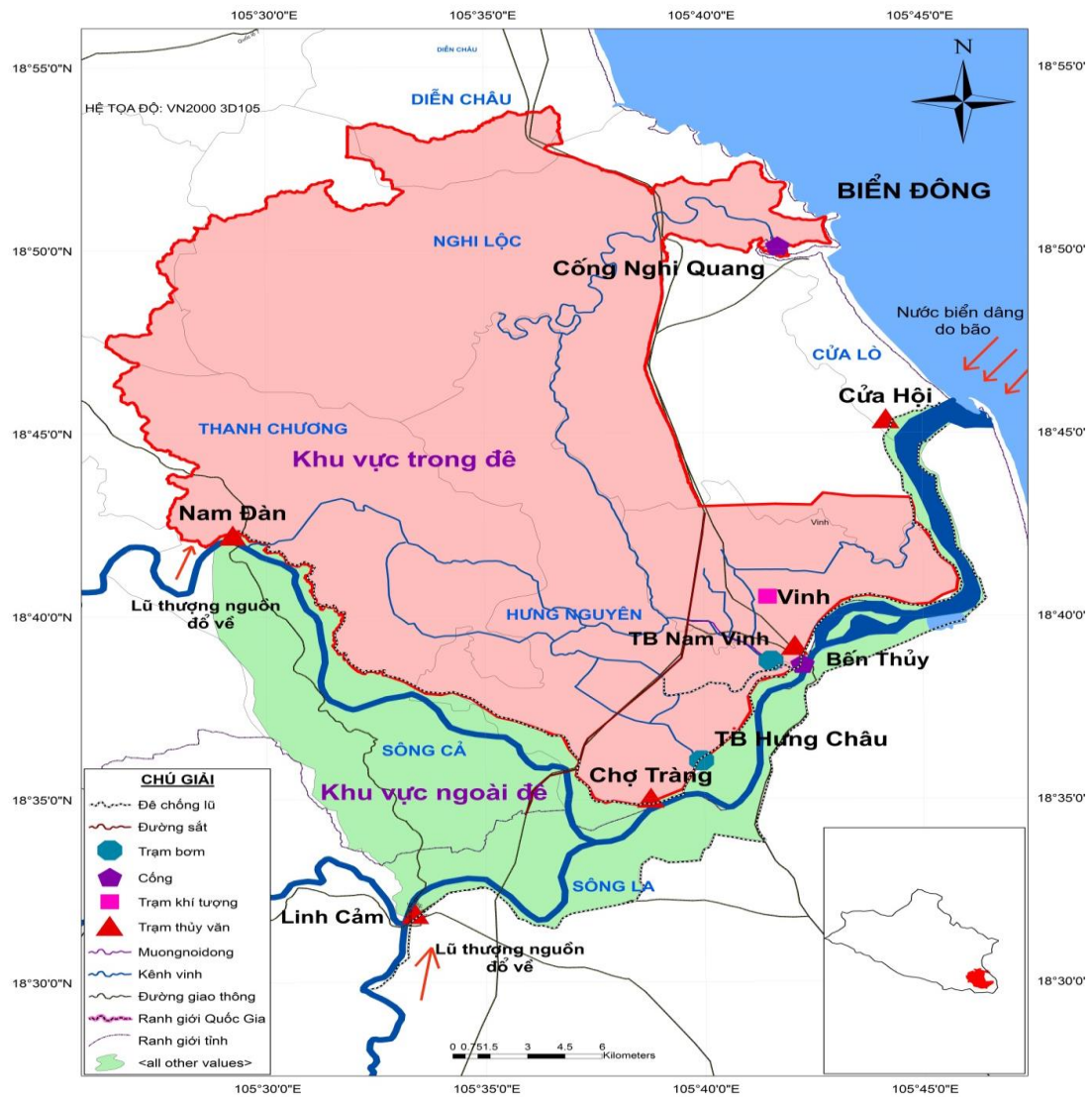
- Kết nối khô (zero flow link): là kết nối không cho dòng chảy tràn qua.

Một số nhận xét về bộ mô hình MIKE: về điểm mạnh, là bộ mô hình thương mại có giao diện dễ sử dụng, có sự tương thích tốt với phần mềm xử lý bản đồ GIS. Phần mềm này đã được sử dụng, kiểm nghiệm rất rộng rãi trên thế giới và Việt Nam nên có độ tin cậy cao. Tuy nhiên còn một số hạn chế như: do sử dụng sơ đồ sai phân dạng 6 điểm Abbott nên đòi hỏi dữ liệu mặt cắt dày; thiết lập hồ chứa còn hạn chế, không tính toán được quá trình xả lũ thông qua điều kiện: lưu lượng đến hồ, mực nước hồ, mực nước tại 1 điểm không chế ở hạ lưu nên khó có thể vận hành hồ chứa theo ý muốn của người sử dụng. Để khắc phục phần tính diễn toán qua hồ chứa cho hệ thống hồ chứa, NCS đã xây dựng chương trình tính toán quá trình xả tại mỗi hồ chứa. Quá trình xả được tính dựa trên quá trình lưu lượng đến hồ, quy mô công trình xả và mực nước tại hồ.

2.5. Hướng nghiên cứu

2.5.1. Giới hạn vùng nghiên cứu

Vùng nghiên cứu trong Luận án được chọn là miền hạ du sông Cả, gồm 02 khu vực: a) Khu vực ngoài đê, nằm trong sông tính từ trạm thủy văn Linh Cảm (Ngã ba sông Ngàn Phố, Ngàn Sâu và sông La) và trạm thủy văn Nam Đàn trên sông Cả đến cửa sông (Cửa Hội); b) Khu vực trong đê bao gồm thành phố Vinh và vùng phụ cận (Lưu vực sông Cẩm). Hai khu vực này được ngăn cách bởi hệ thống đê Tả Lam (Hình 2.16). Nước từ Khu vực trong đê được tiêu thoát ra Khu vực ngoài đê qua cống Bến Thủy và Rào Đứng. Khi lũ trong sông cao hơn nước ở nội đồng, cống Bến Thủy và Rào Đứng sẽ đóng lại.



Hình 2.16: Giới hạn vùng nghiên cứu của Luận án

2.5.2. Đặc điểm tự nhiên, hệ thống đê chống lũ và tiêu thoát nước vùng nghiên cứu

2.5.2.1. Đặc điểm tự nhiên vùng nghiên cứu

Địa hình vùng nghiên cứu có xu thế thấp dần về phía Đông (Biển Đông). Phía Tây là vùng đồi, núi thấp thuộc địa phận các huyện Nam Đàn, Nghi Lộc, có cao độ từ 190 – 330 m. Phần còn lại là vùng thấp trũng gồm: các khu đô thị, dân cư, đồng ruộng. Đặc biệt, khu vực trong đê có địa hình rất thấp, tập trung

chủ yếu ở huyện Hưng Nguyên, có cao độ dao động từ 0,2 - 0,5 m. Do vậy, các vùng ven sông Cả và các vùng trũng thuộc khu vực trong đê thường bị úng lụt đe dọa.

Mạng lưới sông ngòi trong vùng nghiên cứu: Trong khu vực ngoài đê có 2 đoạn sông chính: dòng chính sông Cả từ Nam Đàn đến cửa biển, có chiều dài 38,0 km; và Sông La từ Linh Cảm đến ngã ba Chợ Tràng, có chiều dài 12,1 km. Đặc điểm của các đoạn sông này có độ rộng và độ sâu lớn. Mức độ ngập lụt khu vực này phụ thuộc vào lũ từ thượng nguồn đổ về và tác động của thủy triều ở cửa ra. Khu vực trong đê, hệ thống sông suối rất phức tạp, tạo thành mạng lưới khá dày.

2.5.2.2. Hệ thống đê chống lũ ở vùng nghiên cứu

Trong vùng nghiên cứu có 2 hệ thống đê chống lũ: (1) Hệ thống đê tả/ hữu Lam và nội đô bảo vệ TP Vinh (Đã được trình bày tại Mục 2.3.3.2). Hệ thống đê tả/ hữu Lam là 2 tuyến đê cấp III có khả năng chống được lũ lịch sử năm 1978. Hệ thống đê nội đô TP Vinh được xây dựng hai bên sông Cửa Tiền. Hệ thống đê này kết hợp với tuyến đường sắt Bắc Nam có nhiệm vụ ngăn lũ từ Nam Đàn về, không tràn vào TP Vinh và các vùng trũng thuộc huyện Hưng Nguyên.

2.5.2.3. Hệ thống tiêu thoát nước ở vùng nghiên cứu

Nước trong khu vực ngoài đê được tiêu thoát ra biển qua Cửa Hội. Trong khi đó, khu vực trong đê vừa tiêu thoát ra biển qua cống Nghi Quang và ra sông Cả qua cống Bến Thủy, Rào Đứng. Ngoài hệ thống sông chính tiêu thoát nước đã trình bày ở Mục 2.5.2.1, vùng nghiên cứu còn có mạng lưới tiêu thoát nước rất phức tạp của đô thị Vinh và hệ thống các trạm bơm tiêu. Khu vực trong đê có 3 trạm bơm tiêu: Hưng Châu, Nam Vinh và Bến Thủy, riêng trạm bơm Bến Thủy đã lâu không còn hoạt động. Trạm bơm tiêu úng Nam Vinh với tổng công suất 57.000 m³/h, có nhiệm vụ tiêu nước cho vùng trũng thuộc địa phận phường

Vinh Tân, Trường Thi ra sông Cửa Tiền. Khi mực nước trong vùng tiêu cao hơn mực nước sông Cửa Tiền thì nước tự chảy và ngược lại khi không thể tự chảy được, trạm bơm Nam Vinh sẽ hoạt động. Trạm bơm tiêu úng Hưng Châu với tổng công suất 64.000 m³/h, có nhiệm vụ tiêu nước cho vùng trũng thuộc địa phận huyện Hưng Nguyên. Khi mực nước trong đồng vượt cao trình 1,5 m thì trạm bơm Hưng Châu sẽ hoạt động để tiêu nước cho vùng trũng có diện tích $F = 2.000$ ha.

2.5.3. Nội dung nghiên cứu

Để đánh giá được ảnh hưởng của các nhân tố gây úng lụt vùng hạ du sông Cả, tác giả sẽ đi sâu vào nghiên cứu 04 nhân tố chính: Tác động của mưa lũ thượng nguồn trong điều kiện tự nhiên/có ảnh hưởng của hồ chứa; Tác động của hệ thống hồ chứa; Tác động của nước biển dâng do bão; và tác động của mưa lớn nội đồng.

2.5.3.1. Đánh giá vai trò của mưa lũ thượng nguồn tới úng lụt hạ du sông Cả

Quá trình lũ ở hạ du của một lưu vực sông là hệ quả của quá trình mưa trên lưu vực. Mưa trên lưu vực là quá trình phức tạp, thay đổi theo không gian và thời gian. Bên cạnh đó, điều kiện địa hình, địa chất và mặt đệm cũng có những ảnh hưởng không nhỏ. Với vấn đề này, tác giả sẽ định lượng lượng mưa gây ngập lụt hạ du sông Cả ở các mức lũ tại 3 giai đoạn: đầu mùa lũ, giữa mùa lũ và cuối mùa lũ.

2.5.3.2. Đánh giá vai trò của hệ thống hồ chứa tới úng lụt hạ du sông Cả

Khi xây dựng hệ thống hồ chứa, dòng chảy trong sông thiên nhiên sẽ không tuân theo quy luật tự nhiên nữa. Dòng chảy sẽ được gia tăng hoặc giảm tùy thuộc vào việc xả hay tích của hồ chứa. Với vấn đề này, Luận án sẽ xác định mức gia tăng/giảm ngập lụt hạ du sông Cả khi hồ chứa xả/cắt lũ và hiện trạng hạ du đang ở các mức lũ.

2.5.3.3. *Đánh giá vai trò của nước biển dâng do bão tới úng lụt hạ du sông Cả*

Tác động của nước biển dâng do bão làm cho lũ ở hạ du khó thoát ra biển, làm úng lụt gia tăng. Với vấn đề này, nghiên cứu sẽ xác định mức gia tăng ngập lụt ở vùng ngoài đê và ngập úng ở vùng trong đê khi có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão và hiện trạng hạ du đang ở các mức lũ.

2.5.3.4. *Đánh giá vai trò của mưa nội đồng tới ngập úng hạ du sông Cả*

Vùng trong đê được hệ thống đê Tả Lam bảo vệ, nên không bị ảnh hưởng ngập lụt do lũ ở thượng nguồn truyền về. Ngập úng của vùng này do các nhân tố sau quyết định: mưa nội đồng, tiêu thoát qua công Bến Thủy, Rào Đùng, Nghi Quang, và các trạm bơm tiêu. Các công này đều bị ảnh hưởng thủy triều. Riêng công Bến Thủy và Rào Đùng còn chịu ảnh hưởng của lũ sông Cả. Ngoài ra, ngập úng ở đây còn phụ thuộc trạm bơm tiêu úng Phía Nam và Hưng Châu. Trong phần này, Luận án sẽ đánh giá sự ảnh hưởng của mưa nội đồng (về lượng và cường độ mưa), lũ trên sông Cả và nước biển dâng do bão gây ngập úng vùng trong đê.

2.6. **Kết luận chương 2**

Chương 2 đã phân tích 3 nhân tố ảnh hưởng đến úng lụt gồm: nhân tố nội sinh, ngoại sinh và nhân sinh. Nhân tố nội sinh rất ít biến đổi theo thời gian. Trong đó nhân tố vị trí địa lý, địa hình và địa chất ít biến đổi theo thời gian nhất. Các nhân tố nội sinh có vai trò rất quan trọng đến úng lụt tuy nhiên do nó biến đổi theo thời gian rất ít nên không được đưa vào đánh giá định lượng trong nghiên cứu này. Các nhân tố ngoại sinh là các nhân tố gây úng lụt có nguồn gốc KTTV có sự thay đổi rất lớn theo không gian và thời gian. Do tác động của địa hình, lưu vực sông Cả được chia thành 5 vùng mưa, lũ khác nhau. Trong đó, nhân tố mưa, lũ thượng nguồn là quan trọng nhất. Sự lệch pha mưa, lũ giữa các vùng đã tạo nên sự đa dạng của úng lụt ở hạ du sông Cả. Thực tế, vùng trung, hạ lưu có tác động lớn nhất đến mức độ úng lụt vùng nghiên cứu. Trong

nhân tố ngoại sinh, nhân tố nước biển dâng do bão cũng là một nhân tố quan trọng ảnh hưởng tới ứng lụt ở hạ du sông Cả nên cũng được đưa vào nghiên cứu kỹ lưỡng.

Dưới tác động của phát triển KT – XH (nhân tố nhân sinh), sự ảnh hưởng của hệ thống hồ chứa ở thượng nguồn sông đóng một vai trò rất quan trọng. Nghiên cứu đã đưa 13 hồ chứa lớn, đặc biệt là 3 hồ chứa lớn có nhiệm vụ cắt lũ trong Quy trình vận hành liên hồ chứa vào tính toán, đánh giá định lượng ảnh hưởng của nó đến ứng lụt ở hạ du.

Do sự đồng bộ về số liệu, thiếu tài liệu theo không gian, nên đã lựa chọn công cụ giải quyết bài toán ứng lụt ở hạ du sông Cả là bộ mô hình MIKE.

CHƯƠNG 3. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ NHÂN TỐ CHÍNH ĐẾN ỨNG LỤT Ở HẠ DU SÔNG CẢ

Như đã trình bày trong *Chương 2*, nghiên cứu này chỉ đi sâu vào các nhân tố gây ứng lụt có nguồn gốc khí tượng thủy văn. Cụ thể là xét tới 4 kịch bản: 1) Ứng lụt do mưa lớn ở thượng nguồn 2) Ứng lụt do sự xả/cắt lũ vận hành các hồ chứa ở thượng du 3) Ứng lụt do nước biển dâng do bão, và 4) Ngập ứng do mưa lớn tại nội đồng. Việc đó được thực hiện nhờ bộ công cụ MIKE với các mô đun: MIKE NAM, MIKE 11, MIKE 21, MIKE FLOOD. Trong chương này, sẽ tiến hành xây dựng công cụ mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Cả bằng bộ mô hình MIKE; xây dựng các kịch bản tính toán; tính toán các kịch bản ứng lụt từ đó đánh giá vai trò của một số nhân tố chính đến ứng lụt ở vùng hạ du sông Cả.

3.1. Mô phỏng dòng chảy bằng bộ mô hình MIKE

Do bị ngăn cách bởi hệ thống đê Tả Lam, nên để thuận tiện cho việc thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình mô phỏng, vùng nghiên cứu đã được phân thành 2 khu vực: khu vực ngoài đê và trong đê. Dưới đây sẽ trình bày việc mô phỏng dòng chảy bằng bộ mô hình MIKE cho 2 khu vực nêu trên.

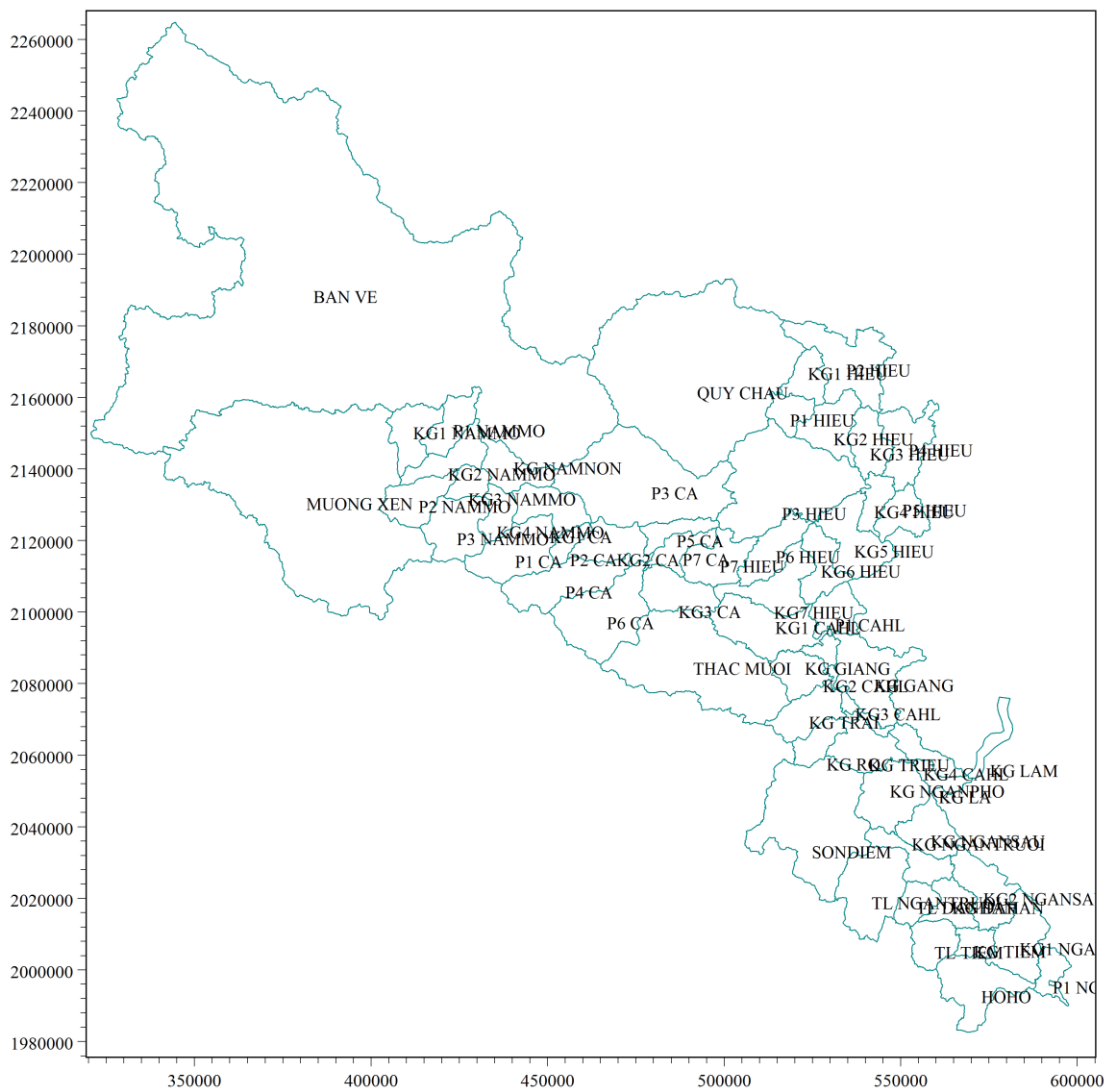
3.1.1. Khu vực ngoài đê:

3.1.1.1. Mô phỏng dòng chảy bằng mô hình MIKE NAM

a) Thiết lập

Mạng lưới sông Cả đã được trình bày chi tiết tại *Mục 2.2.1.5, Chương 2*. Dòng chính sông Cả bắt nguồn từ Lào và đổ ra biển tại Cửa Hội. Các nhánh sông lớn gồm: Nậm Mộ, Huồi Nguyên, Khe Choang, Hiếu, Giăng, La. Mạng lưới trạm đo mưa sử dụng để tính toán dòng chảy từ mô hình MIKE NAM là 28 trạm, gồm: 9 trạm khí tượng (*Bảng 2.1*); 14 trạm thủy văn (*Bảng 2.2*, không sử dụng trạm Mỹ Lý và Bến Thuỷ); 5 trạm đo mưa (*Bảng 2.3*, không dùng trạm

đo mưa nhân dân có số liệu mưa ngày: Quế Phong, Nông trường 3/2, Nông trường 1/5, Đông Hiếu). Căn cứ mạng lưới sông và vị trí của trạm đo mưa, lưu vực sông Cả khu vực ngoài đê được chia thành 57 lưu vực con (*Bảng 3 - Phần phụ lục*). Sử dụng công cụ ArcGIS để số hóa, kết quả được bản đồ phân vùng lưu vực thể hiện tại *Hình 3.1*.



Hình 3.1: Phân chia các tiểu lưu vực trong mô hình NAM cho lưu vực sông Cả
b) Hiệu chỉnh và kiểm định

Thực tế, trên lưu vực sông Cả, có khá nhiều trạm TV đo lưu lượng. Tuy nhiên, nhiều nhánh sông không có trạm đo, vì vậy cần thiết phải sử dụng mô

hình MIKE NAM để mô phỏng dòng chảy từ mưa làm các biên trên và gia nhập khu giữa cho mô hình MIKE 11. Hiện tại chỉ có 7 trạm TV đo lưu lượng đang hoạt động: Mường Xén, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Dừa, Yên Thượng, Sơn Diệm, Hoà Duyệt. Trong đó, trạm Mường Xén có lưu vực ở Lào, không có quan trắc lượng mưa; trạm Dừa và Yên Thượng có diện tích không chế rất lớn và một phần lớn lưu vực thuộc địa phận Lào nên không có trạm quan trắc mưa; sông Ngàn Sâu có độ dốc nhỏ và vùng ngập lụt lớn nên trạm Hoà Duyệt là trạm thủy văn bị ảnh hưởng lũ, ngập rất lớn. Vì vậy, nghiên cứu không chọn các trạm Mường Xén, Dừa, Yên Thượng và Hoà Duyệt để mô phỏng dòng chảy bằng mô hình MIKE NAM. Trạm Cốc Nà, chỉ có số liệu đo đặc lưu lượng 1961-1976, là trạm có diện tích không chế nhỏ ($F = 416 \text{ km}^2$) có thể sử dụng làm lưu vực đại biểu cho các lưu vực lân cận. Các lưu vực sau được chọn để mô phỏng dòng chảy bằng mô hình MIKE NAM:

- Lưu vực sông Hiếu tính đến trạm thủy văn Quỳnh Châu (đại diện cho lưu vực sông Hiếu): diện tích không chế $F = 2.000 \text{ km}^2$, số liệu quan trắc mưa, mực nước, lưu lượng từ 1961 - 2019;

- Lưu vực sông Ngàn Phố tính đến trạm thủy văn Sơn Diệm: diện tích không chế $F = 790 \text{ km}^2$, số liệu quan trắc từ mưa, mực nước, lưu lượng 1961-2019, từ 1982 - 1996 không có số liệu đo lưu lượng;

- Lưu vực khe Choang tính đến trạm thủy văn Cốc Nà: diện tích không chế $F=416 \text{ km}^2$, số liệu quan trắc từ mưa, mực nước, lưu lượng 1961-1976.

* Lưu vực Quỳnh Châu

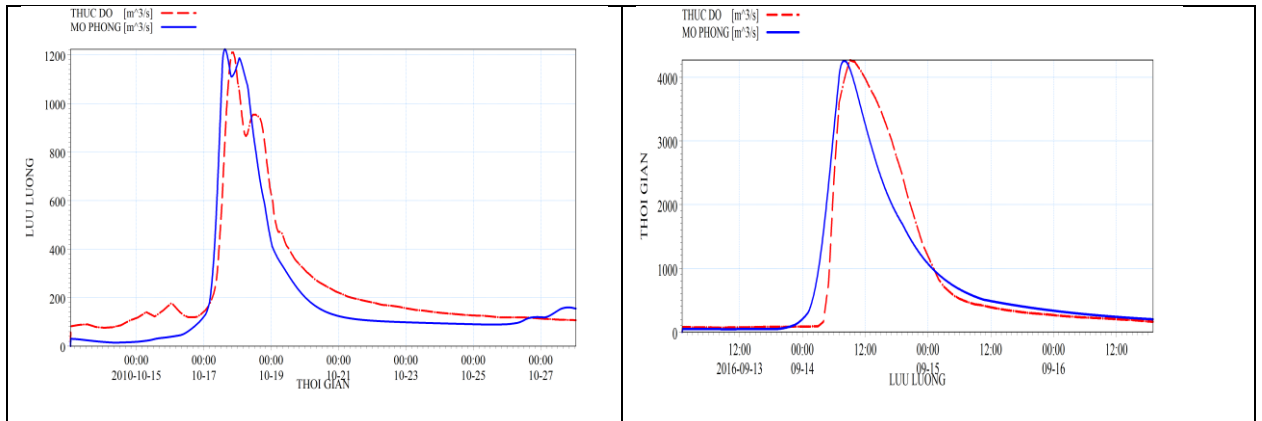
Các trận lũ được lựa chọn để hiệu chỉnh mô hình MIKE NAM là các trận lũ lớn, có số liệu quan trắc mưa thời đoạn ngắn và lưu lượng đồng thời. Bao gồm các trận lũ sau:

- Trận lũ 1 để hiệu chỉnh mô hình: thời gian từ 13 - 28/X/2010, có đỉnh lũ là $1.205 \text{ m}^3/\text{s}$ - xuất hiện ngày 17/X/2010.

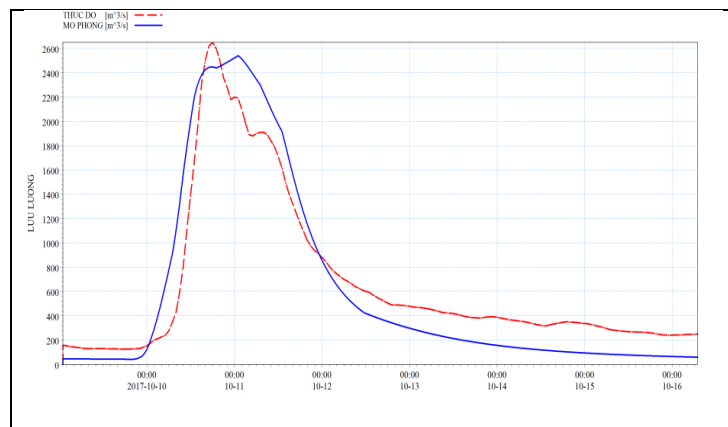
- Trận lũ 2 để hiệu chỉnh mô hình: thời gian từ 12 - 16/IX/2016, có đỉnh lũ là $4.270 \text{ m}^3/\text{s}$ - xuất hiện ngày 14/IX/2016.

- Trận lũ để kiểm định mô hình: thời gian từ 09 - 16/X/2017, có đỉnh lũ là $2.620 \text{ m}^3/\text{s}$ - xuất hiện ngày 10/X/2017.

Kết quả hiệu chỉnh thể hiện tại Hình 3.2, Hình 3.3 và Bảng 3.1.



Hình 3.2: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán hiệu chỉnh mô hình tại trạm thủy văn Quý Châu



Hình 3.3: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán kiểm định mô hình tại trạm thủy văn Quý Châu

Bảng 3.1: Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM tại Quỳ Châu

Trận lũ	Hệ số Nash-Sutcliffe	Sai số đỉnh lũ ΔQ (%)	Chênh lệch thời gian xuất hiện đỉnh (h)	Sai số tổng lượng (%)
Tháng X/2010	0,90	+0,5	-1	-0,5
Tháng IX/2016	0,90	+0,5	-1	+1.8
Tháng X/2017	0,86	-3,8	+3	-7,4

Nhận xét: Quá trình tính toán và thực đo khá phù hợp nhau về xu thế ở sườn lên và xuống của các nhánh lũ; hệ số Nash-Sutcliffe đạt được cao, dao động từ $0,86 \div 0,90$; sai số đỉnh lũ trong phạm vi nhỏ, dao động từ $-3,8 \div +0,5\%$; thời gian xuất hiện đỉnh lũ trong phạm vi ngắn, dao động từ $-1 \div +3$ giờ; sai số tổng lượng giới hạn trong phạm vi nhỏ, dao động từ $-0,5 \div -7,4\%$. Vì vậy, bộ thông số xác định được tại *Bảng 3.4* đáng tin cậy. Bộ thông số này có thể được sử dụng để tính toán quá trình dòng chảy tại Quỳ Châu và các lưu vực tương tự trên lưu vực sông Cả.

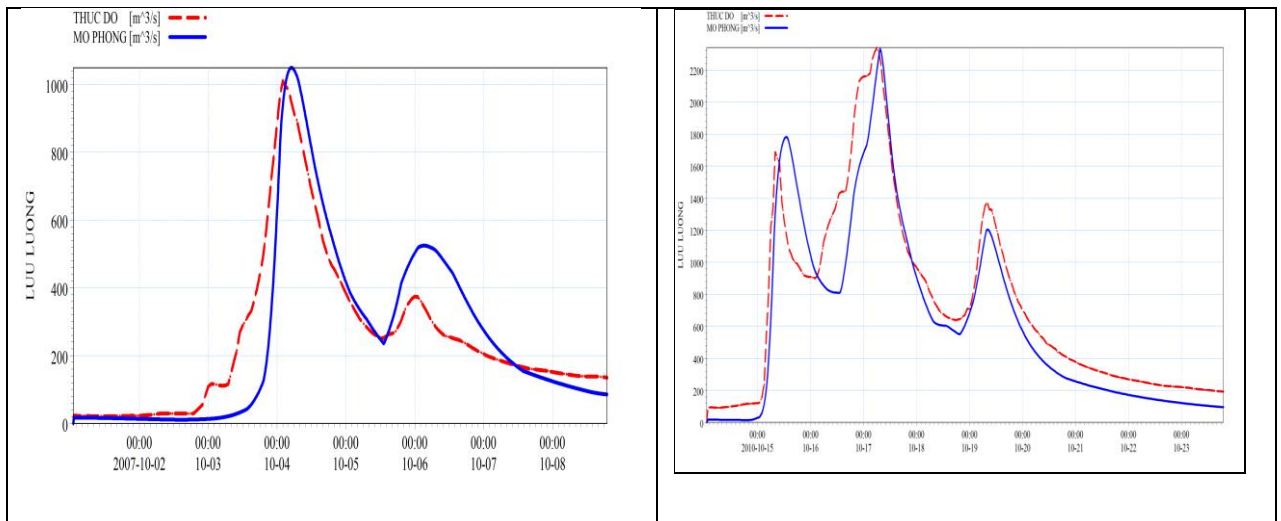
* Lưu vực Sơn Diệm

Lựa chọn các trận lũ để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình như sau:

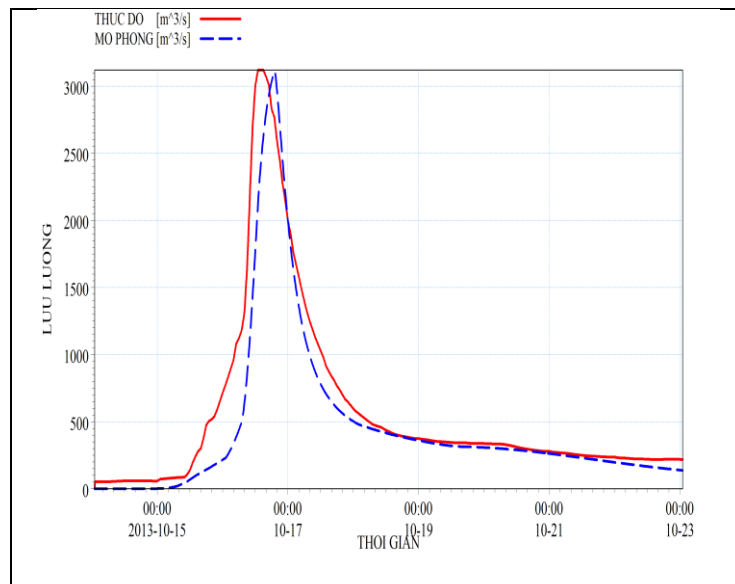
- Hiệu chỉnh: trận lũ 1 từ 02/X - 09/X/2007 có đỉnh lũ $Q_{\max}=1.010 \text{ m}^3/\text{s}$ xuất hiện ngày 4/X; Trận lũ 2 từ 14/X - 23/X/2010 có 3 đỉnh lũ, trong đó $Q_{\max}=2.340 \text{ m}^3/\text{s}$ xuất hiện vào ngày 17/X, hai đỉnh lũ còn lại có $Q = 1.690 \text{ m}^3/\text{s}$ và $1.380 \text{ m}^3/\text{s}$ xuất hiện lần lượt vào ngày 15/X và 19/X;

- Kiểm định: trận lũ từ 14/X - 23/X/2013 có đỉnh lũ $Q_{\max}=3.120 \text{ m}^3/\text{s}$ xuất hiện vào ngày 17/X.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định thể tại *Hình 3.4*, *Hình 3.5* và *Bảng 3.2*.



Hình 3.4: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán hiệu chỉnh mô hình tại trạm thủy văn Sơn Diệm



Hình 3.5: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán kiểm định mô hình tại trạm thủy văn Sơn Diệm

Bảng 3.2: Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE Nam tại Sơn Diệm

Trận lũ	Hệ số Nash-Sutcliffe	Sai số đỉnh lũ ΔQ (%)	Chênh lệch thời gian xuất hiện đỉnh (h)	Sai số tổng lượng (%)
Tháng X/2007	0,79	+3,8	+2	+3,0
Tháng X/2010	0,86	+0,2	0	+12,0
Tháng X/2013	0,87	-0,1	-2	+20

Nhận xét: Quá trình tính toán và thực đo khá phù hợp nhau về xu thế ở sườn lên và xuống của các nhánh lũ; hệ số Nash-Sutcliffe đạt được cao, dao động từ $0,79 \div 0,86$; sai số đỉnh lũ trong phạm vi nhỏ, dao động từ $-0,1 \div +3,8\%$; thời gian xuất hiện đỉnh lũ trong phạm vi ngắn, dao động từ $-2 \div +2$ h; sai số tổng lượng dao động từ $+12,0 \div +3,0\%$. Quá trình hiệu chỉnh trận lũ thứ 2 (Tháng X/2010) được lựa chọn có 2 đỉnh và cho kết quả tốt. Vì vậy, bộ thông số xác định được tại *Bảng 3.4* đáng tin cậy. Bộ thông số này có thể được sử dụng để tính toán quá trình dòng chảy tại Sơn Diệm và các lưu vực tương tự trên lưu vực sông La.

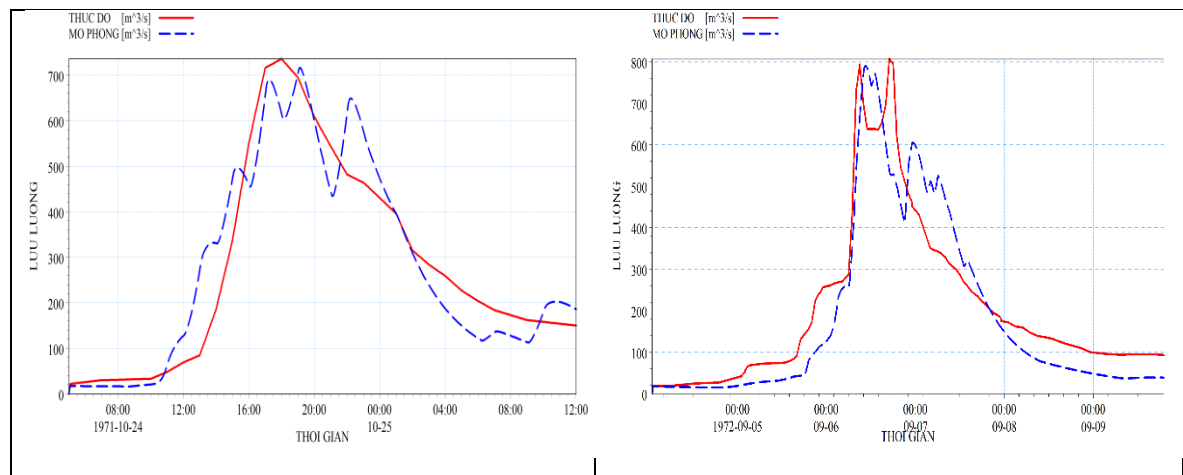
* Lưu vực Cốc Nà

Lựa chọn các trận lũ sau để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình:

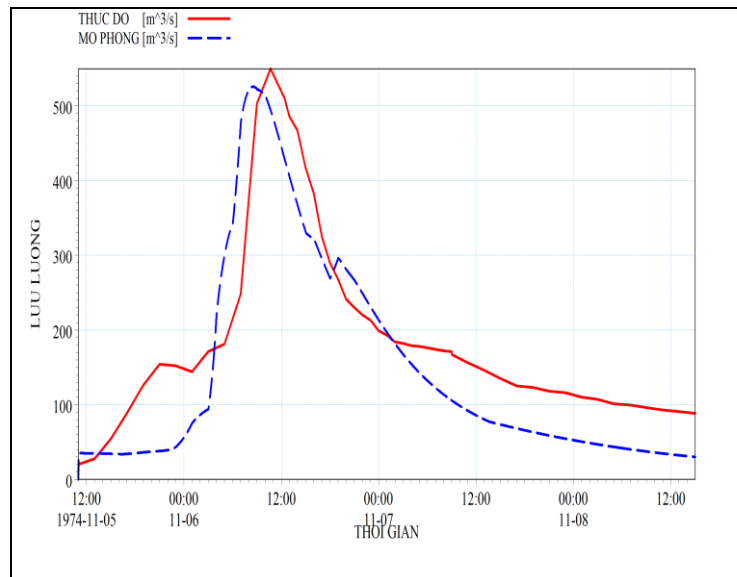
- Hiệu chỉnh: trận lũ 1 từ 24/X - 25/X/1971 có đỉnh lũ $Q_{\max}=712 \text{ m}^3/\text{s}$ xuất hiện vào 25/X; trận lũ 2 từ 04/IX - 12/IX/1972 có đỉnh lũ $Q_{\max}=807 \text{ m}^3/\text{s}$ xuất hiện vào 07/IX;

- Kiểm định: trận lũ từ 05/XI - 09/XI/1974 có đỉnh lũ $Q_{\max}=551 \text{ m}^3/\text{s}$ xuất hiện vào 06/XI.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định thể tại *Hình 3.6*, *Hình 3.7* và *Bảng 3.3*.



Hình 3.6: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán Hiệu chỉnh mô hình tại trạm thủy văn Cốc Nà



Hình 3.7: Quá trình lưu lượng thực đo và tính toán kiểm định mô hình tại trạm thủy văn Cốc Nà

Bảng 3.3: Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM tại Cốc Nà

Trận lũ	Hệ số Nash-Sutcliffe	Sai số đỉnh lũ ΔQ (%)	Chênh lệch thời gian xuất hiện đỉnh (h)	Sai số tổng lượng (%)
Tháng X/1971	0,78	+1,0	-1,0	-18
Tháng IX/1972	0,90	-1,1	+1,0	-8,2
Tháng XI/1974	0,83	-4,9	+1,5	-22

Nhận xét: Quá trình tính toán và thực đo khá phù hợp nhau về xu thế ở sườn lên và xuống của các nhánh lũ; hệ số Nash-Sutcliffe-Sutcliffe đạt được cao, dao động từ $0,79 \div 0,86$; sai số đỉnh lũ trong phạm vi nhỏ, dao động từ $+0,2 \div +3,8\%$; thời gian xuất hiện đỉnh lũ trong phạm vi ngắn, dao động từ $1,0 \div +1,5$ h; sai số tổng lượng dao động từ $+12,0 \div +3,0\%$. Quá trình hiệu chỉnh trận lũ thứ nhất (Tháng X/2007) được lựa chọn có 2 đỉnh và cho kết quả tốt. Vì vậy, bộ thông số xác định được tại *Bảng 3.4* đáng tin cậy. Bộ thông số này có thể được sử dụng để tính toán quá trình dòng chảy tại Cốc Nà và các lưu vực tương tự trên lưu vực sông Cả.

Bảng 3.4: Kết quả thông số mô hình MIKE NAM

Thông số	Quỳ Châu	Sơn Diệm	Cốc Nà
F (km ²)	2.000	790	416
U _{max}	15,3	10,6	16,2
L _{max}	189	100	81,3
CQOF	0,85	0,80	0,904
CKIF	107,5	415,7	101,9
CK1,2	15,0	29,8	18,2
TOF	0,664	0,105	0,873
TIF	0,282	0,082	0,511
TG	0,461	0,964	0,313
CKBF	1.342	1.014	1.502

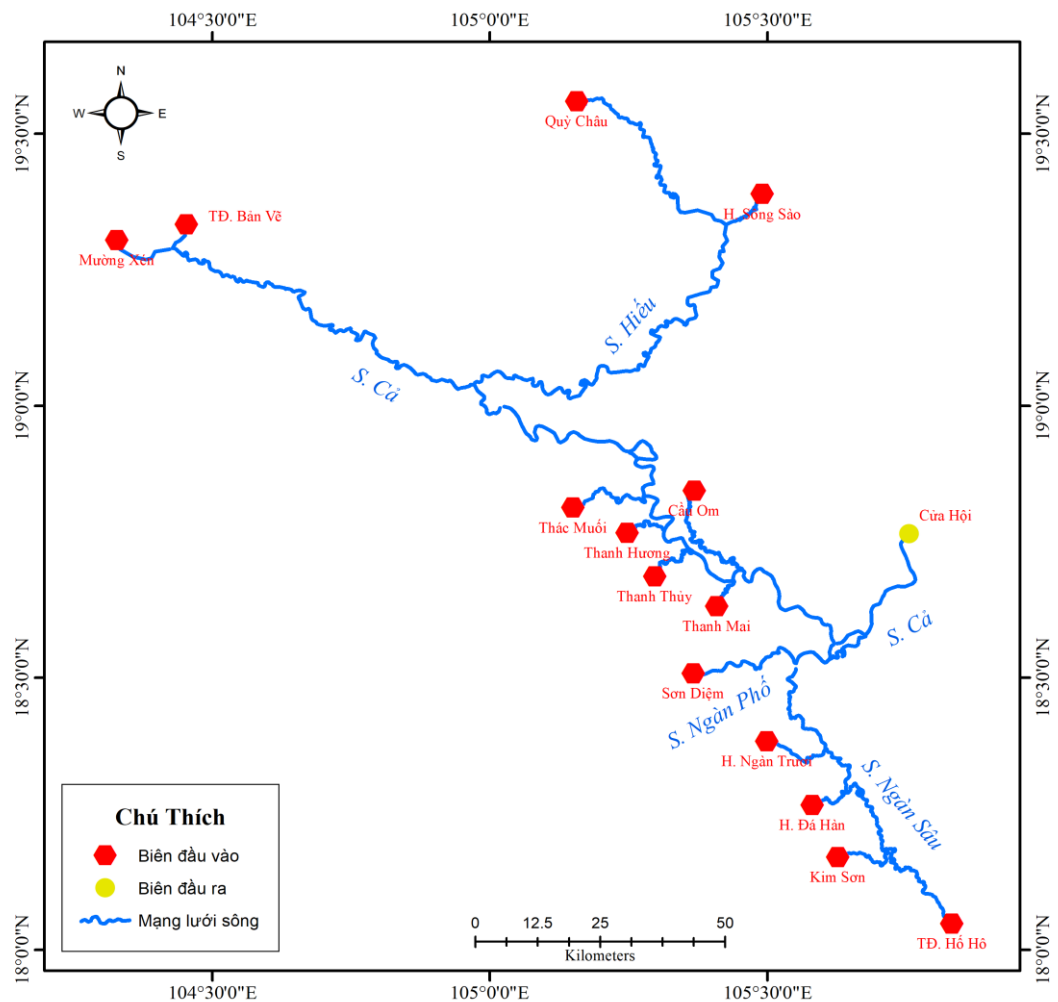
3.1.1.2. Thiết lập mô hình MIKE 11

Đặc trưng mạng thủy lực 1 chiều thiết lập cho hệ thống sông Cả bao gồm 17 sông (Bảng 3.5).

Bảng 3.5. Một số thông tin mạng thủy lực 1D

TT	Tên sông	Chiều dài (km)	Số mặt cắt	Điểm đầu	Điểm cuối
1	Cả	255	223	Cửa Rào	Cửa Hội
2	Nậm Mộ	51	43	Mường Xén	Cửa Rào
3	Nậm Nơn	16	14	Bản Vẽ	Cửa Rào
4	Hiếu	105	48	Quỳ Châu	Nhập lưu vào sông Cả
5	Giăng	23	12	Thác Muối	Nhập lưu vào sông Cả
6	Trai	11	17	Thanh Hương	Nhập lưu vào sông Cả
7	Rộ	15	19	Thanh Thủy	Nhập lưu vào sông Cả
8	Hối Triều	9	19	Thanh Mai	Nhập lưu vào sông Cả
9	Gang	37	18	Cầu Om	Nhập lưu vào sông Cả
10	Ngàn Phố	30	16	Sơn Diệm	Linh Cảm

TT	Tên sông	Chiều dài (km)	Số mặt cắt	Điểm đầu	Điểm cuối
12	Ngàn Sâu	92	55	Hố Hồ	Linh Cảm
13	Hào	6,3	4	Sông La	Sông Cả
14	Tiêm	16	20	Kim Sơn	Nhập lưu vào sông Ngàn Sâu
15	Rào Nổ	10	20	Đá Hàn	Nhập lưu vào sông Ngàn Sâu
16	Ngàn Trươi	19	35	Ngàn Trươi	Nhập lưu vào sông Ngàn Sâu
17	La	13	12	Linh Cảm	Ngã ba Chợ Trảng



Hình 3.8. Sơ đồ mạng lưới thủy lực một chiều sông Cả

Các biên ở trên gồm: biên lưu lượng tại Mương Xén, Bản Vẽ, Quỳ Châu, Sông Sào, Thác Muối, Thanh Hương, Thanh Thủy, Thanh Mai, Cầu Om, Sơn Diệm, Hồ Hồ, Đá Hàn, Kim Sơn, Ngàn Trươi. Biên dưới là mực nước tại trạm thủy văn Cửa Hội. Sơ đồ thủy lực một chiều sông Cả được thể hiện tại *Hình 3.8*.

3.1.1.3. *Thiết lập mô hình MIKE 21*

Nghiên cứu đã xây dựng lưới tính cho miền tính 2 chiều bao gồm các bãi chứa lũ dọc theo các sông từ các vị trí ở thượng nguồn: Dừa, Sơn Diệm, Hồ Hồ, Đá Hàn, Ngàn Trươi và Kim Sơn ra đến vị trí hạ nguồn (Cửa Hội). Khu vực này có diện tích là 3.200 km², được rời rạc hóa thành 89.861 phần tử hữu hạn dạng tam giác (FEM) với kích thước mỗi cạnh ô lưới từ 300 - 400 m cho khu vực có địa hình tương đối bằng phẳng, còn với những khu vực có sự thay đổi nhiều về địa hình như hệ thống giao thông, khu rìa các bờ sông, đê kè, hay các khu dân cư thì lưới tính nhỏ hơn với kích thước thay đổi dần từ 50 - 100 m. Hệ thống các đê ngăn lũ trong tại *Bảng 2.10* được đưa vào thiết lập trong mô hình. Kết quả thiết lập mô hình 2D thể hiện tại *Hình 3.9*. Sau khi xây dựng mạng lưới thủy lực trong MIKE 11 và Mike 21, tiến hành kết nối (coupling) 2 mạng lưới thủy lực, liên kết bên được lựa chọn để kết nối 2 mô hình.

3.1.1.4. *Mô phỏng dòng chảy bằng mô hình MIKE FLOOD*

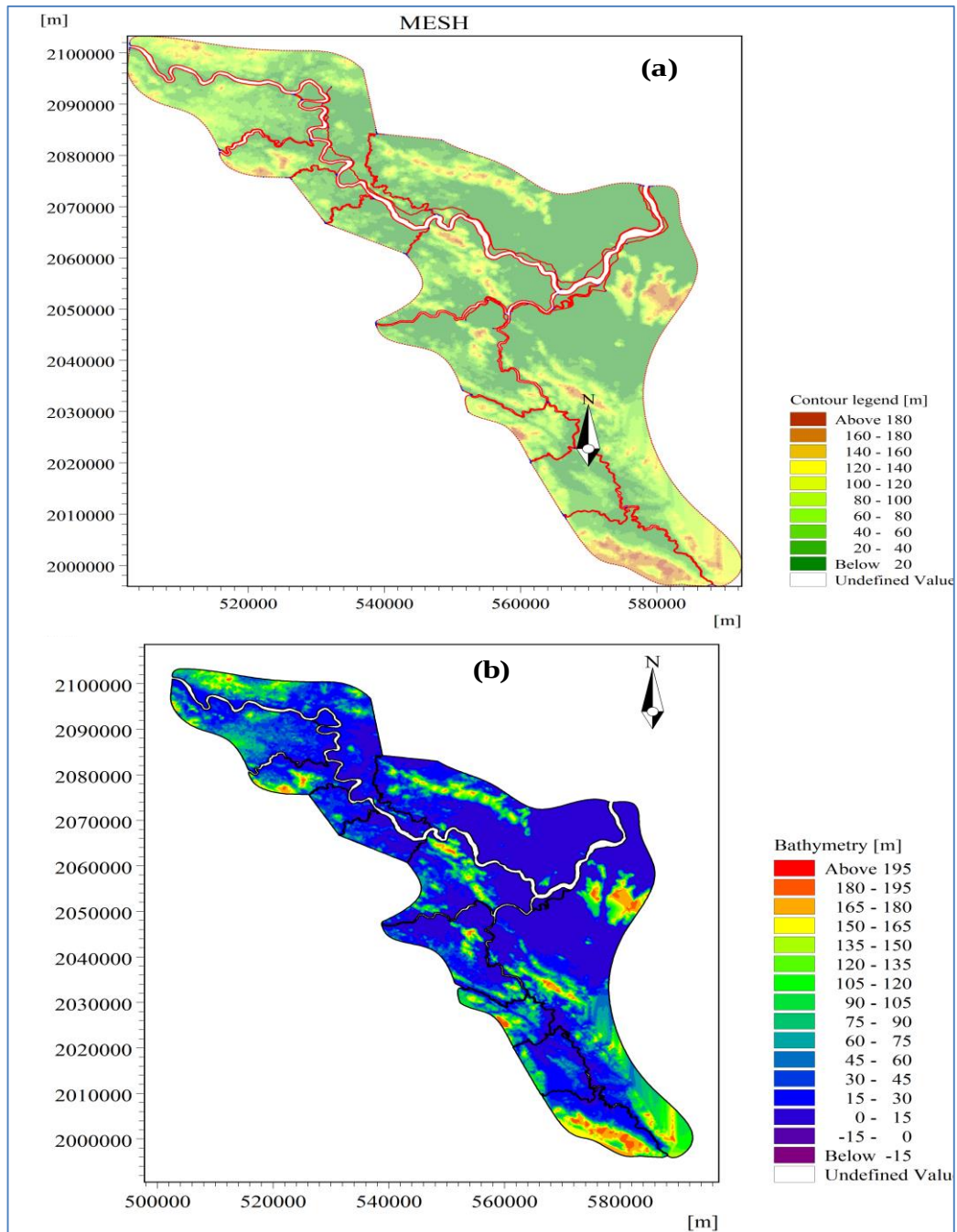
a) Thiết lập

Với mạng lưới thủy lực 1D và 2D xây dựng được ở *Mục 3.1.1.2* và *3.1.1.3*, tiến hành kết nối giữa mô hình 1D & 2D trong mô hình MIKE FLOOD để tính toán ngập lụt Khu vực ngoài đê.

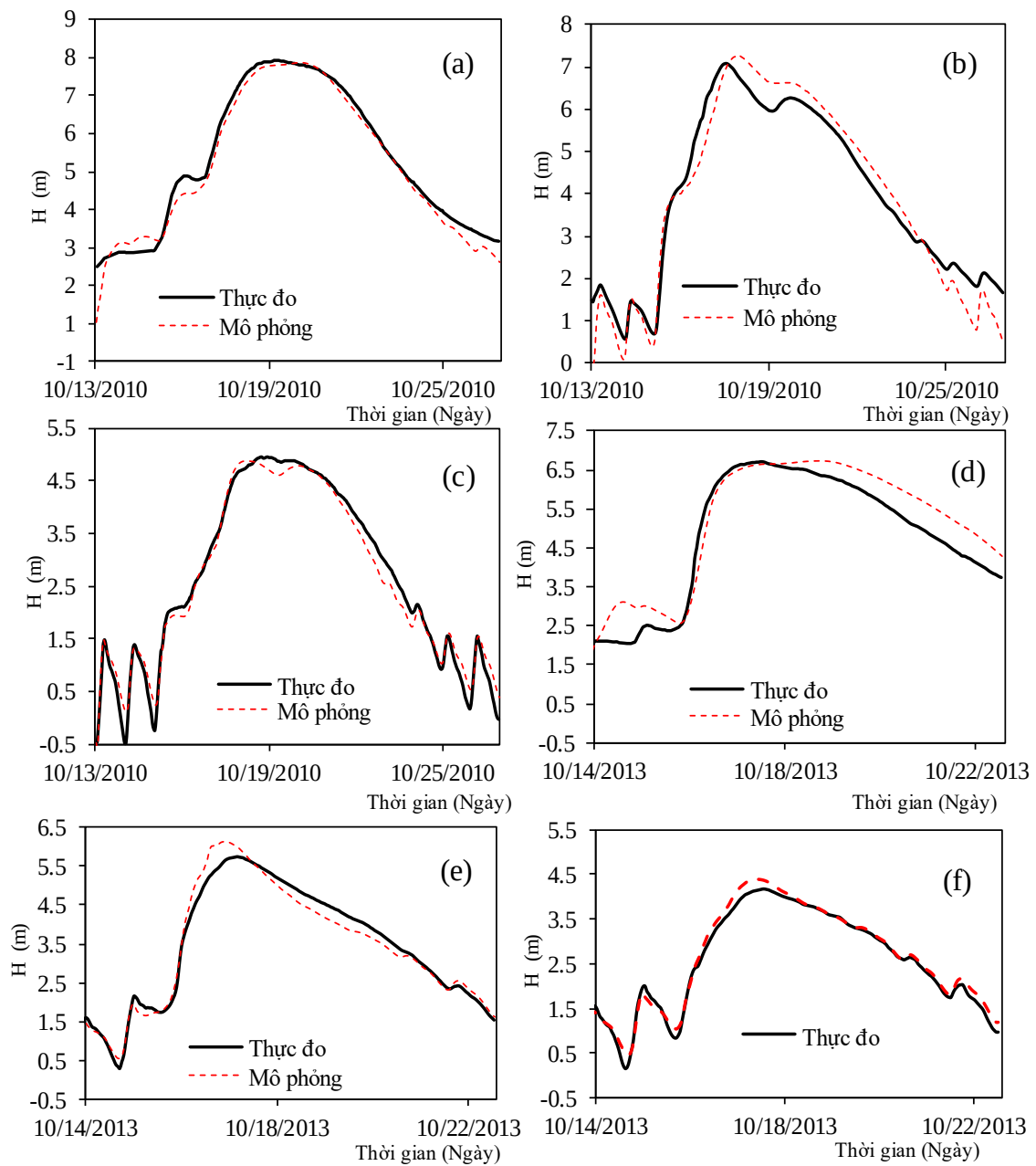
b) Hiệu chỉnh và kiểm định

Quá trình hiệu chỉnh mô hình được thực hiện qua trận lũ từ 15-26/X/2010. Quá trình kiểm định mô hình được thực hiện qua trận lũ từ 14-23/X/2013. Vị trí để so sánh mực nước thực đo và tính toán tại 03 trạm thủy

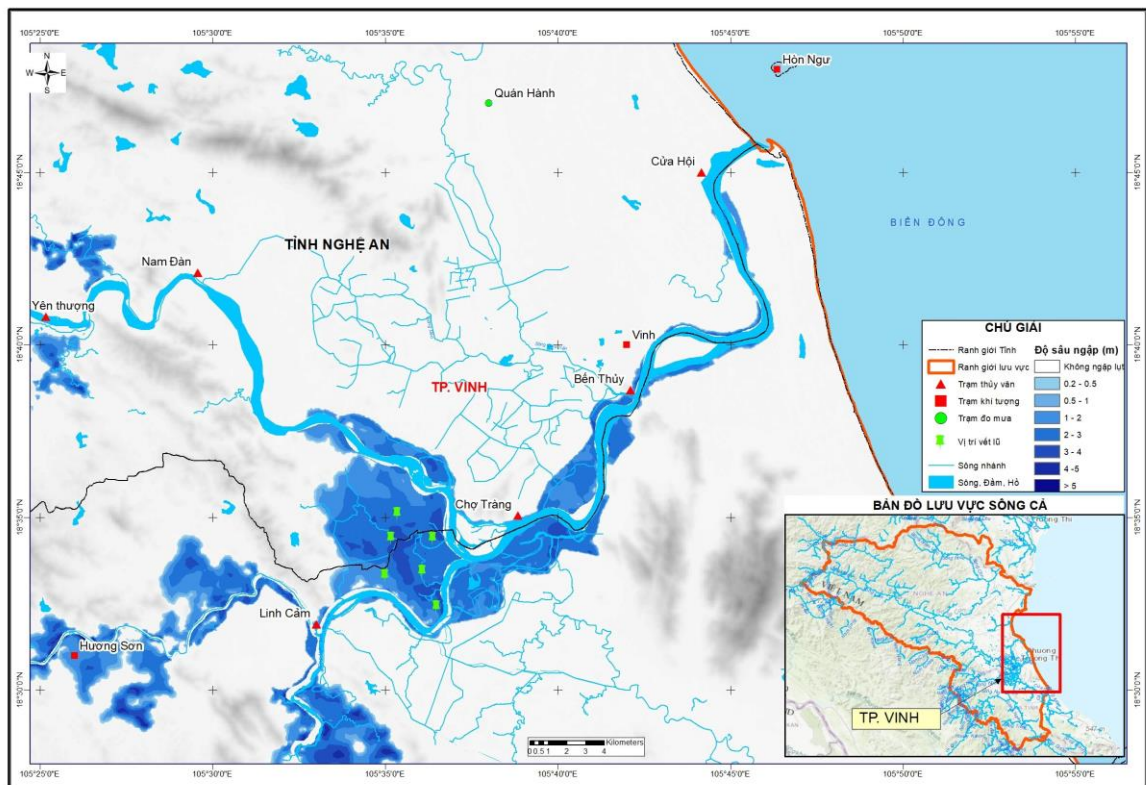
văn: Nam Đàn, Linh Cảm và Chợ Tràng. Ngoài ra, một số vết lũ của 2 trận lũ này cũng được đưa vào để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình (*Bảng 3.7* và *Bảng 3.9*). Kết quả quá trình mực nước thực đo và tính toán thể hiện tại các *Hình 3.10a – f*. Kết quả tính toán ngập lụt thể hiện tại *Hình 3.11* và *Hình 3.12* và kết quả đánh giá mô phỏng được lập tại *Bảng 3.6* và *Bảng 3.8*.



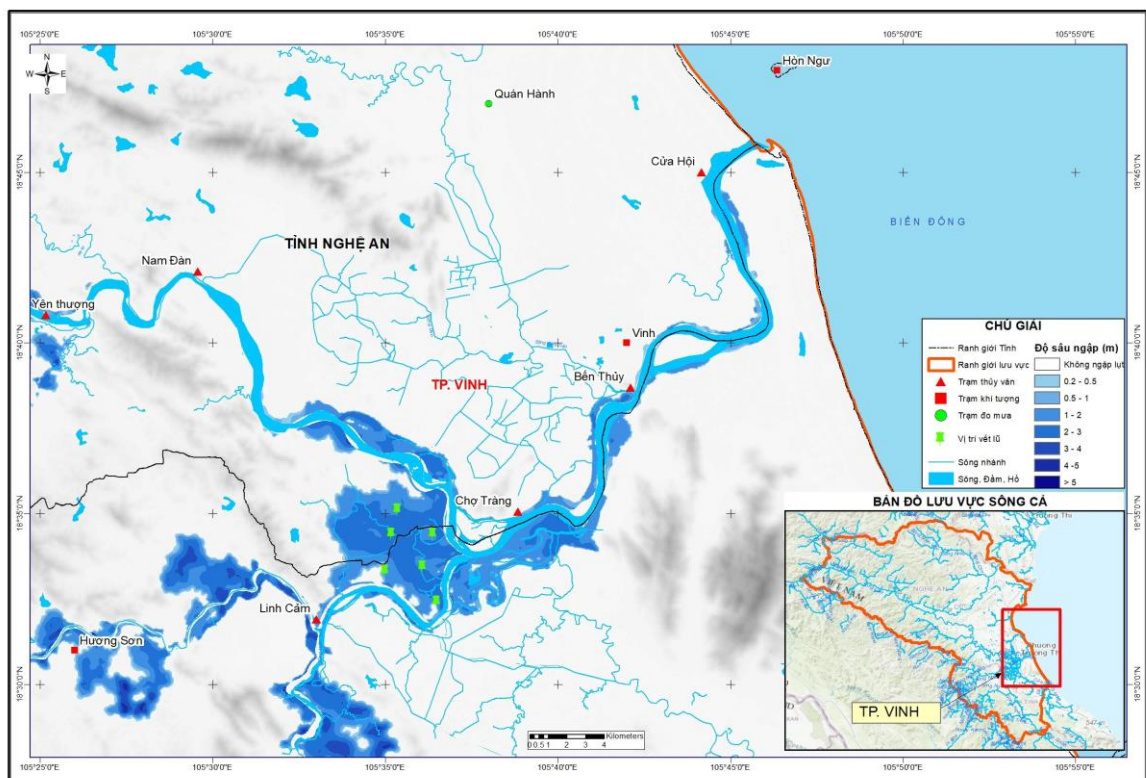
Hình 3.9. Miền tính, lưới tính 2 chiều cho Khu vực ngoài đê



Hình 3.10: Quá trình mực nước hiệu chỉnh và kiểm định mô hình: a, b, c là quá trình hiệu chỉnh và d, e, f là quá trình kiểm định tại Nam Đàn, Linh Cảm và Chợ Trảng



Hình 3.11: Kết quả ngập lụt hiệu chỉnh - Trận lũ tháng X/2010



Hình 3.12: Kết quả ngập lụt kiểm định- Trận lũ tháng X/2013

Bảng 3.6. Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE

Trạm thủy văn	Hệ số Nash-Sutcliffe	Sai số đỉnh lũ ΔH (m)	Sai số tổng lượng (%)
Nam Đàn	0,93	-0,11	-1,8
Linh Cảm	0,95	- 0,02	+4,7
Chợ Tràng	0,93	+ 0,3	+1,5

Bảng 3.7. So sánh mực nước tính toán hiệu chỉnh và điều tra vết lũ tháng X/2010

Vị trí		Mực nước tính toán (m)	Cao độ vết lũ điều tra (m)	Chênh lệch cao độ (m)
Vĩ độ Bắc	Kinh độ Đông			
18,557	105,601	4,81	4,90	-0,09
18,573	105,606	4,87	4,75	0,12
18,555	105,583	4,83	4,94	-0,11
18,585	105,589	4,86	4,80	0,06
18,573	105,586	4,85	4,82	0,03
18,540	105,608	4,82	4,94	-0,12

Bảng 3.8. Tổng hợp kết quả kiểm định mô hình MIKE

Trạm thủy văn	Hệ số Nash-Sutcliffe	Sai số đỉnh lũ ΔH (m)	Sai số tổng lượng (%)
Nam Đàn	0,89	- 0,09	+7,4
Linh Cảm	0,93	+ 0,31	+10
Chợ Tràng	0,91	+ 0,1	+2,6

Bảng 3.9. So sánh mực nước tính toán hiệu chỉnh và điều tra vết lũ tháng X/2013

Vị trí		Mực nước tính toán (m)	Cao độ vết lũ điều tra (m)	Chênh lệch cao độ (m)
Vĩ độ Bắc	Kinh độ Đông			
18,557	105,601	4,06	4,00	0,06
18,573	105,606	4,07	4,17	-0,10
18,555	105,583	4,06	3,98	0,08
18,585	105,589	4,05	3,96	0,09
18,573	105,586	4,08	4,17	-0,09
18,540	105,608	4,02	4,13	-0,11

3.1.1.5. *Nhận xét chung:*

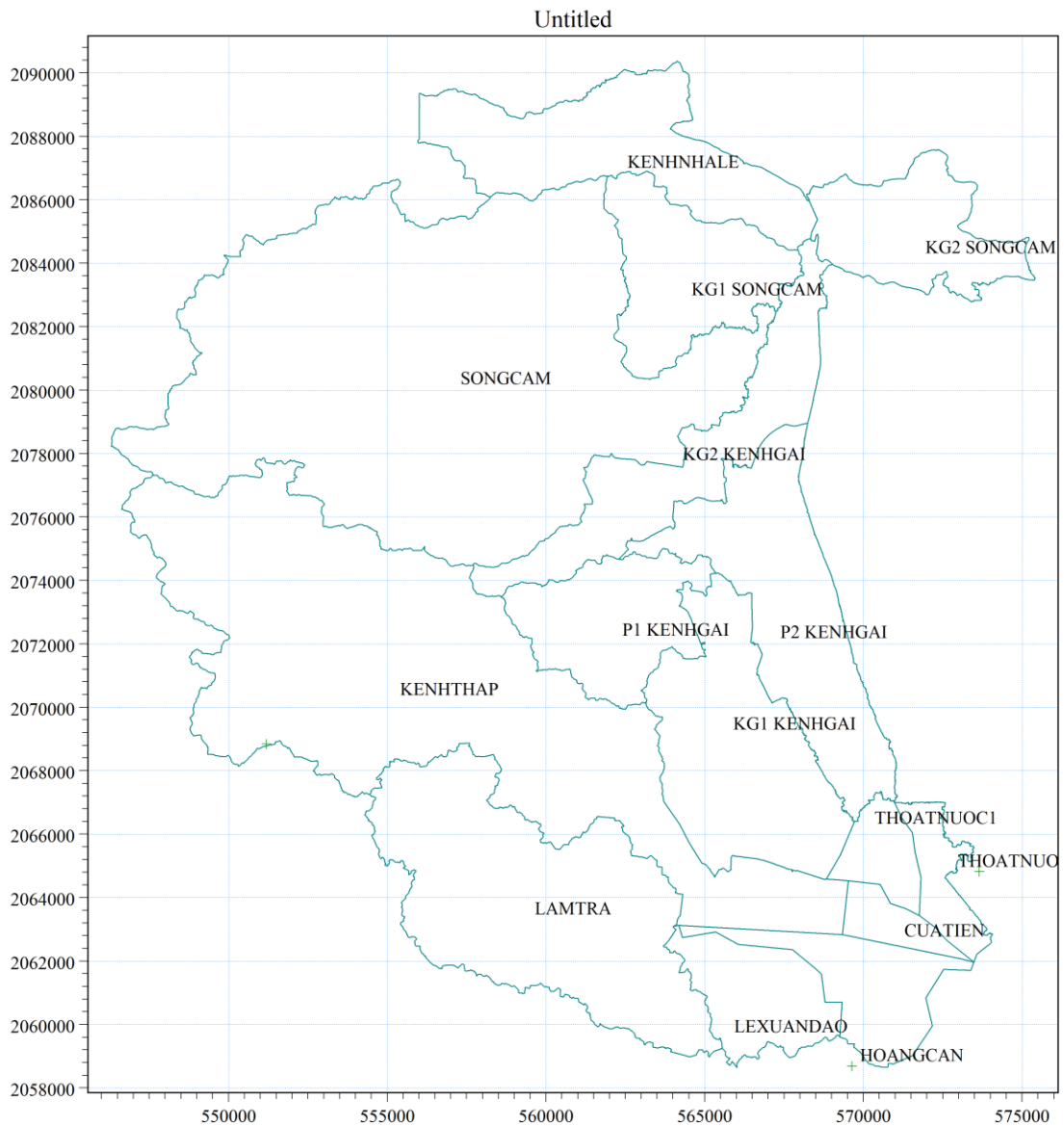
Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại 03 điểm Linh Cảm, Nam Đàn và Chợ Tràng khá phù hợp về xu thế, thời gian xuất hiện đỉnh. Trong đó tại Chợ Tràng là phù hợp nhất với hệ số Nash-Sutcliffe: 0,93 và 0,91, sai số đỉnh lũ ΔH : +0,30 m và +0,10 m, sai số tổng lượng: +1,5% và +2,6%, sai số giữa vết lũ điều tra và tính toán không lớn. Tuy nhiên, kết quả kiểm định tại điểm Nam Đàn còn sai lệch khá nhiều về thời gian xuất hiện đỉnh và quá trình mực nước ở sườn xuống. Đỉnh lũ tính toán xuất hiện sớm hơn và quá trình lũ ở sườn xuống cao hơn so với thực đo. Do những hạn chế về số liệu khí tượng thủy văn và số liệu địa hình trên lưu vực đã gây ra nhiều khó khăn cho việc mô phỏng lũ, ngập lụt trên lưu vực sông Cả. Mạng lưới trạm khí tượng thủy văn trên lưu vực sông Cả khá thưa ($15.880 \text{ km}^2/30 \text{ trạm} \approx 529 \text{ km}^2/\text{trạm}$) và thời đoạn mưa thực đo khá lớn (6 giờ).

Mặc dù còn một số hạn chế nhất định nhưng với kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình như đã nêu trên, có thể sử dụng mô hình mô phỏng này để tính toán ứng lụt cho vùng ngoài đê ở hạ du sông Cả.

3.1.2. *Khu vực trong đê:*

3.1.2.1. *Thiết lập mô hình MIKE NAM*

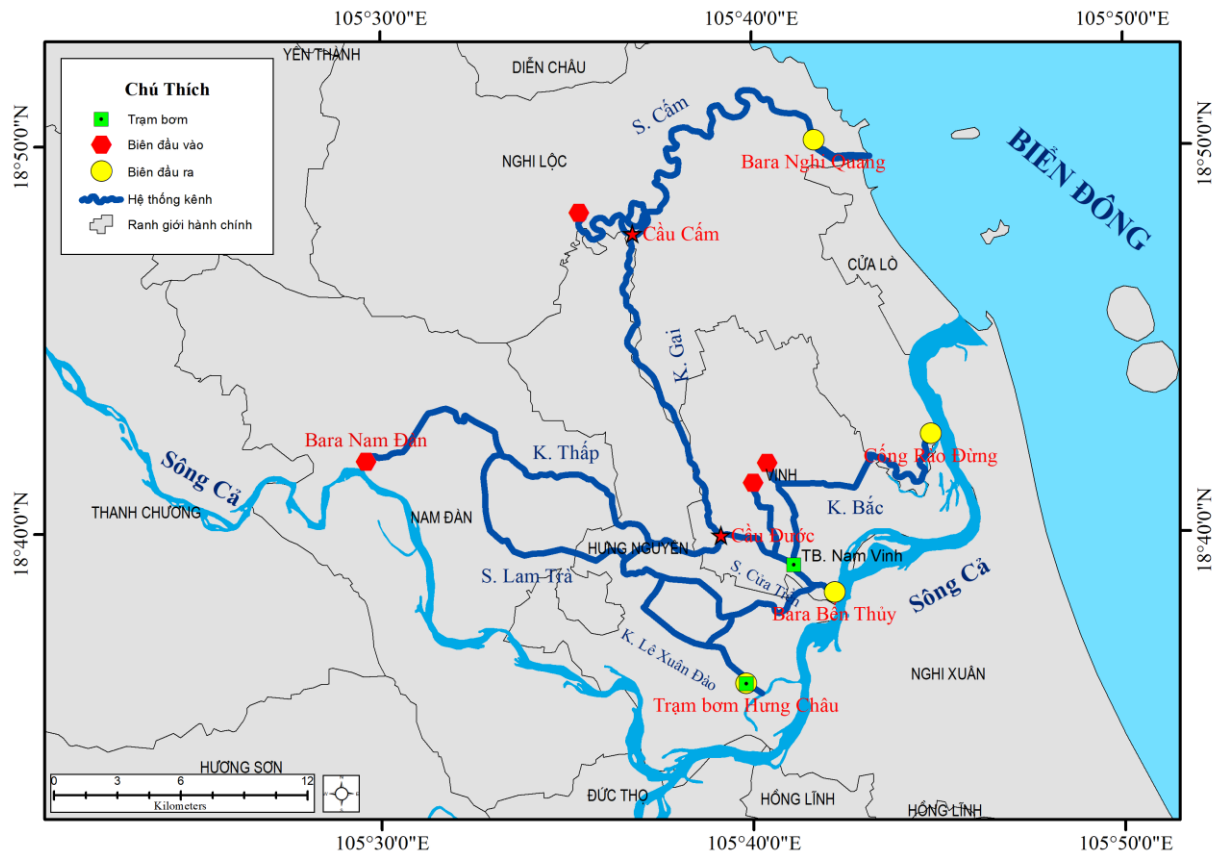
Căn cứ vào bản đồ địa hình tỉ lệ 1:10 000, sử dụng công cụ GIS, phân chia Khu vực trong đê thành 15 lưu vực con để kết nối với mô-đun thủy lực MIKE-11HD. Kết quả số hóa được thể hiện tại *Hình 3.13*.



Hình 3.13. Phân vùng lưu vực con cho Khu vực trong đê

3.1.2.2. Thiết lập mô hình MIKE 11

Mô hình MIKE 11 được thiết lập cho lưu vực sông Cấm thể hiện ở sơ đồ thủy lực một chiều Hình 3.14. Các biên lưu lượng ở thượng nguồn gồm: Nam Đàn, vì khi có lũ cống Nam Đàn luôn luôn đóng nên ở đây $Q = 0$. Biên hạ lưu là mực nước tại hạ lưu cống Nghi Quang, Bến Thủy và Rào Đứng. Các cống này đều hoạt động theo hình thức chảy 1 chiều ra sông Cả và ra biển.



Hình 3.14. Sơ đồ mạng lưới thủy lực một chiều Khu vực trong đê
 Đặc trưng mạng thủy lực 1 chiều thiết lập cho Khu vực trong đê bao gồm 5 sông (Bảng 3.10).

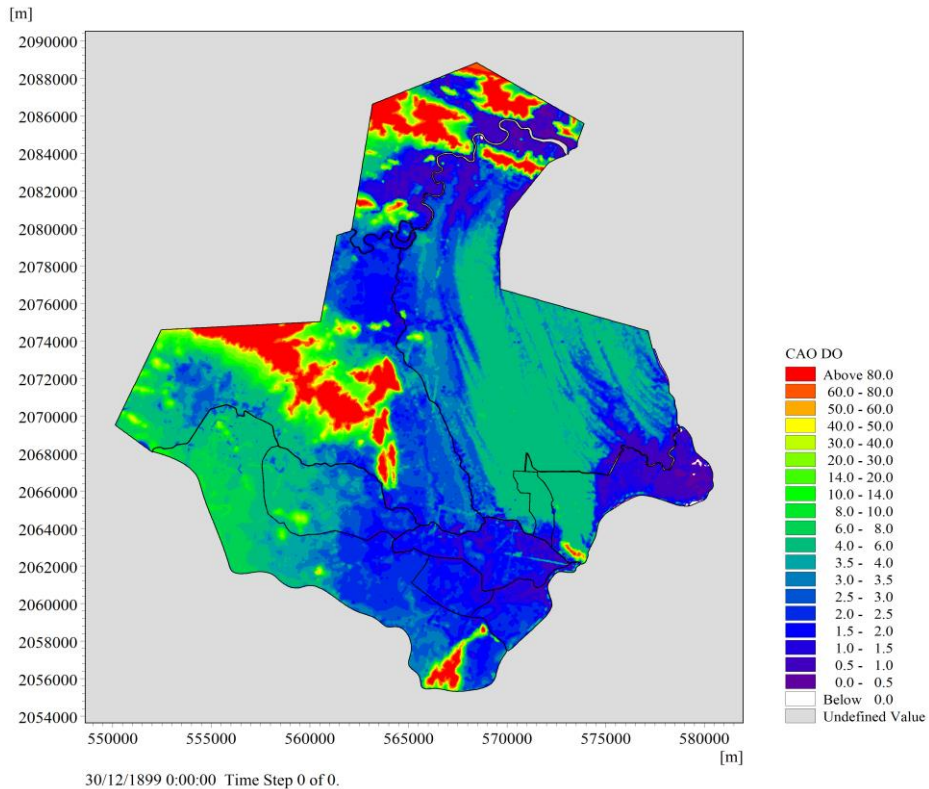
Bảng 3.10. Thông tin đặc trưng mạng thủy lực 1D Khu vực trong đê

TT	Tên sông	Chiều dài (km)	Số mặt cắt	Điểm đầu	Điểm cuối
1	Sông Rào Đứng	13,0	15	Bắc Vinh	Rào Đứng
2	Kênh Tháp	23,3	29	Cống Nam Đan	Cầu Đước
3	Kênh Gai	16,0	20	Cầu Đước	Cầu Cấm
4	Sông Cửa Tiền	6,0	10	Cầu Đước	Cống Bến Thủy
5	Sông Cấm	19,7	32	Cầu Cấm	Cống Nghi Quang

3.1.2.3. Thiết lập mô hình MIKE 21

Nghiên cứu đã tiến hành xây dựng lưới tính cho miền tính 2 chiều cho Khu vực trong đê, có diện tích là 550 km², được rời rạc hóa thành 94.832 phần

tử hữu hạn (FEM) với kích thước mỗi cạnh ô lưới từ 100 - 300 m cho khu vực có địa hình tương đối bằng phẳng, còn với những khu vực có sự thay đổi nhiều về địa hình như hệ thống giao thông, khu rìa các bờ sông, đê kè, hay các khu dân cư thì lưới tính nhỏ hơn, với kích thước thay đổi dần từ 50-100 m. Hệ thống các đê ngăn lũ trong tại *Bảng 2.11* được đưa vào thiết lập trong mô hình. Kết quả thiết lập mô hình 2D thể hiện tại *Hình 3.15*.



Hình 3.15. Miền tính, lưới tính 2 chiều cho Khu vực trong đê

3.1.2.4. Mô phỏng dòng chảy bằng mô hình MIKE FLOOD

a) Thiết lập

Với mạng lưới thủy lực 1D và 2D xây dựng được ở *Mục 3.1.2.2* và *3.1.2.3*, tiến hành kết nối giữa mô hình 1D & 2D trong mô hình MIKE FLOOD để tính toán ngập lụt Khu vực trong đê.

b) Hiệu chỉnh và kiểm định

Quá trình hiệu chỉnh mô hình được thực hiện qua trận lũ từ 13-25/X/2010. Vị trí để so sánh mực nước thực đo và tính toán tại thượng lưu cống Nghi Quang và Bến Thủy, đồng thời có xem xét mực nước điều tra vết lũ tại

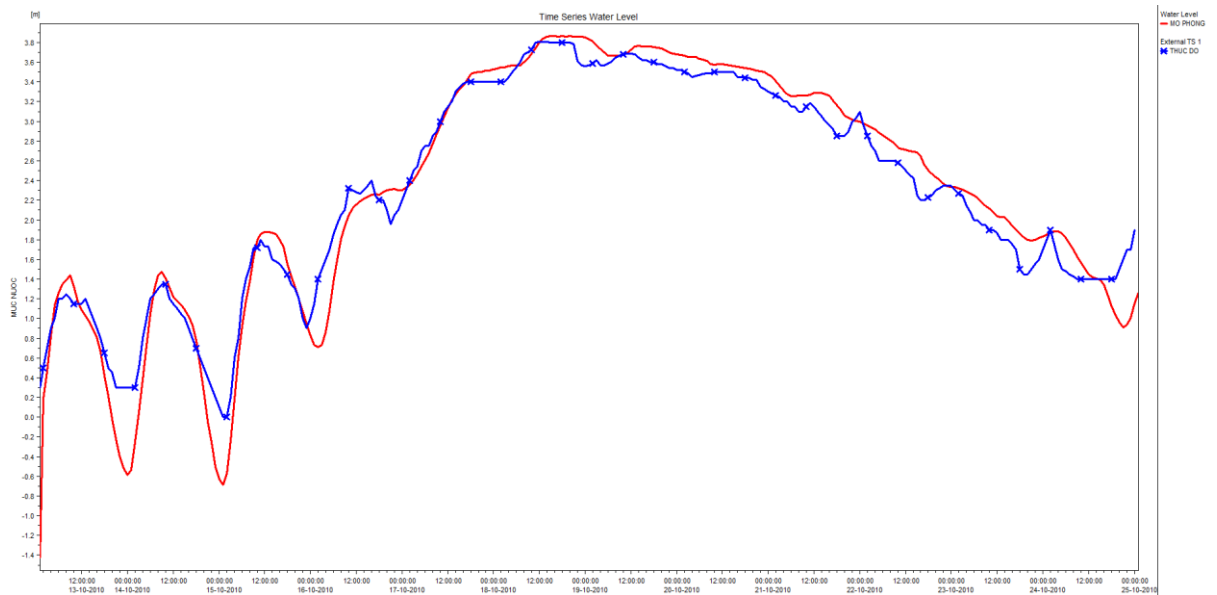
một số điểm đại diện (*Bảng 3.12*). Kết quả tính toán ngập úng hiệu chỉnh trận lũ tháng X/2010 được thể hiện tại *Hình 3.18*. Kết quả quá trình mực nước hiệu chỉnh tại thượng lưu cống Bến Thủy và Nghi Quang thể hiện tại *Hình 3.16* và *Hình 3.17*; sai số hiệu chỉnh được lập tại *Bảng 3.11* và *Bảng 3.12*.

Bảng 3.11: Tổng hợp kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE 21 ở Khu vực trong đê

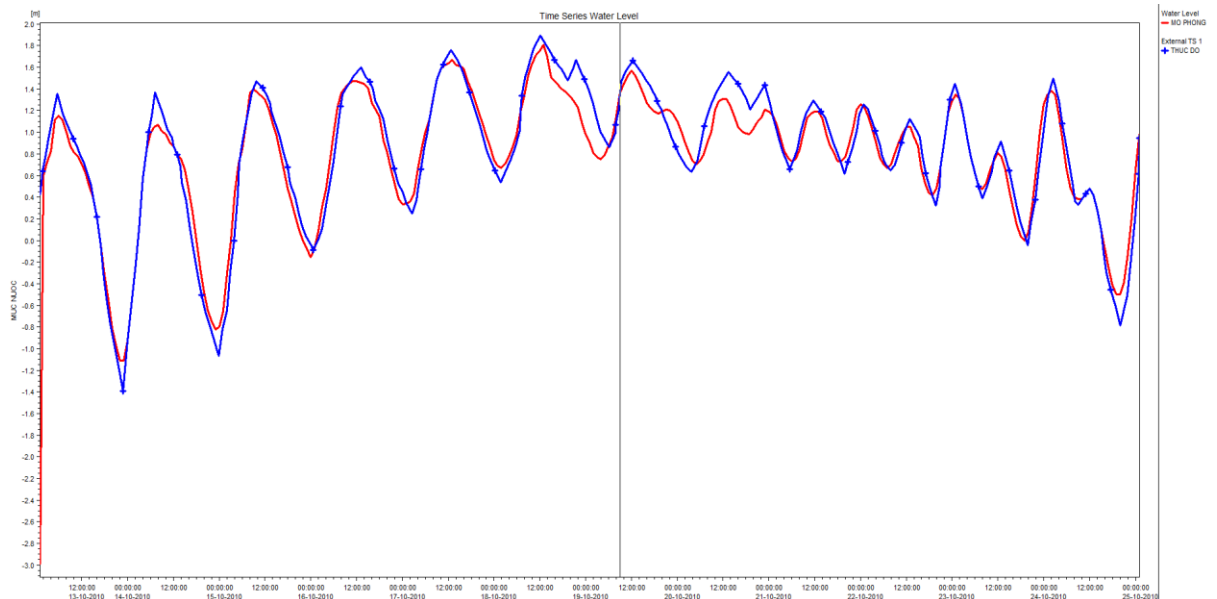
Vị trí	Hệ số Nash	Sai số đỉnh lũ ΔH (%)	Sai số tổng lượng (%)
Cống Bến Thủy	0,96	+1,5	+0,6
Cống Nghi Quang	0,86	-2,5	-5,5

Bảng 3.12: So sánh mực nước tính toán hiệu chỉnh và điều tra vết lũ tháng X/2010

Vị trí		Mực nước tính toán (m)	Cao độ vết lũ điều tra (m)	Chênh lệch cao độ (m)
Vĩ độ Bắc	Kinh độ Đông			
18,706	105,622	4,00	4,10	-0,10
18,692	105,624	4,03	4,15	-0,12
18,660	105,649	3,95	4,10	-0,15
18,673	105,647	4,02	4,12	-0,10
18,668	105,643	4,05	4,12	-0,07
18,663	105,632	3,98	4,10	-0,12
18,664	105,622	4,10	4,10	0,00
18,659	105,683	3,60	3,70	-0,10
18,661	105,678	3,78	3,90	-0,12
18,662	105,671	3,80	3,90	-0,10
18,669	105,650	3,77	3,90	-0,13
18,847	105,648	2,95	2,90	0,05



Hình 3.16: Quá trình mực nước thực đo và tính toán hiệu chỉnh mô hình trận lũ 2010 tại cống Bến Thuỷ



Hình 3.17: Quá trình mực nước thực đo và tính toán hiệu chỉnh mô hình trận lũ 2010 tại cống Nghi Quang

Quá trình kiểm định mô hình được thực hiện qua trận lũ từ 15-23/X/2019. Vị trí để so sánh mực nước thực đo và tính toán tại thượng lưu cống Nghi Quang và Bến Thuỷ, đồng thời có xem xét mực nước điều tra vết lũ tại một số điểm đại diện. Kết quả tính toán ngập úng được thể hiện tại Hình 3.19. Kết quả kiểm

định thể hiện tại các Hình 3.20 và Hình 3.21; sai số kiểm định được lập tại Bảng 3.13 và Bảng 3.14.

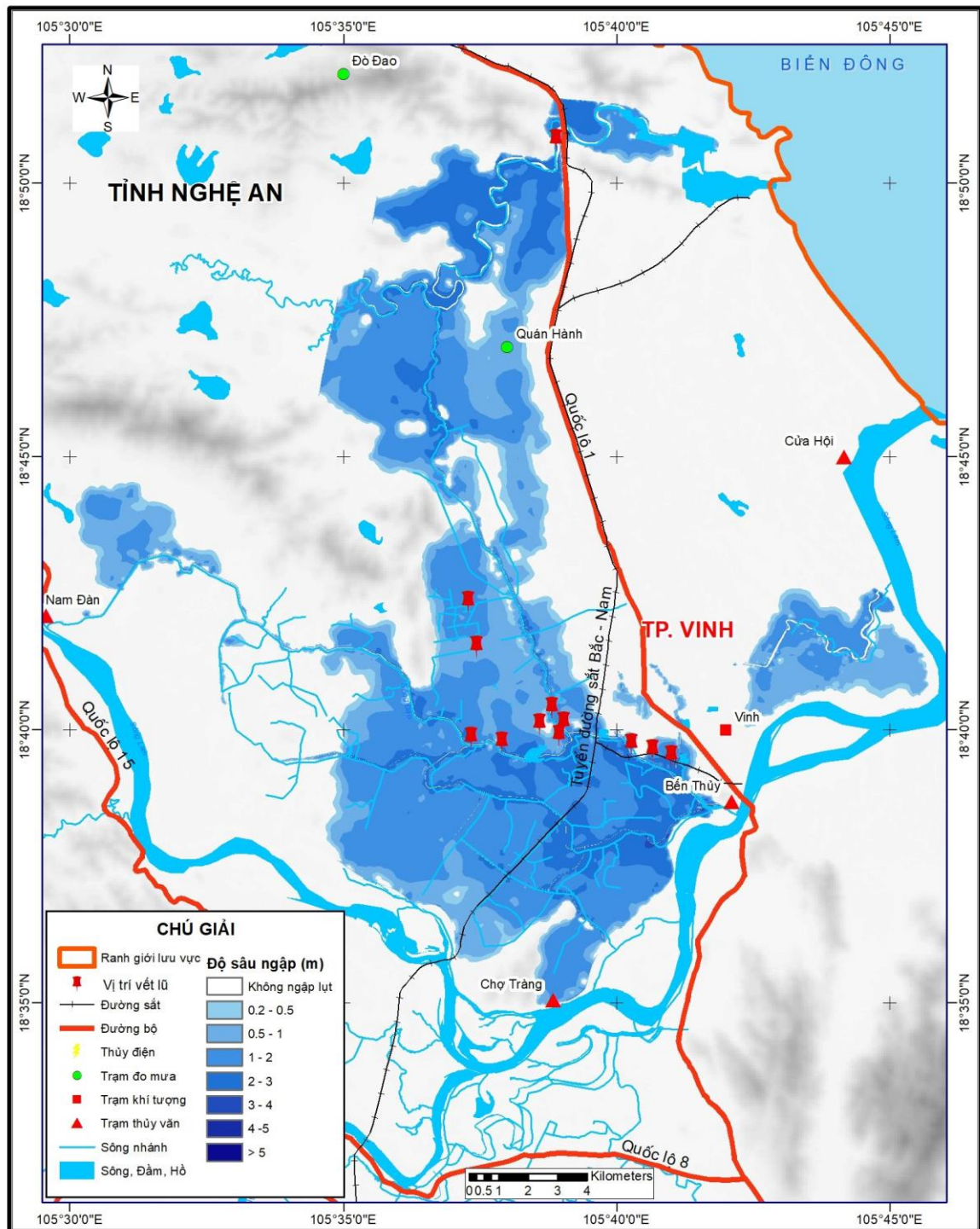
Bảng 3.13: Tổng hợp kết quả kiểm định mô hình MIKE 21 ở Khu vực trong đê

Vị trí	Hệ số Nash	Sai số đỉnh lũ ΔH (%)	Sai số tổng lượng (%)
Cổng Bến Thủy	0,89	-1,2	+6,0
Cổng Nghi Quang	0,90	-3,8	-1,1

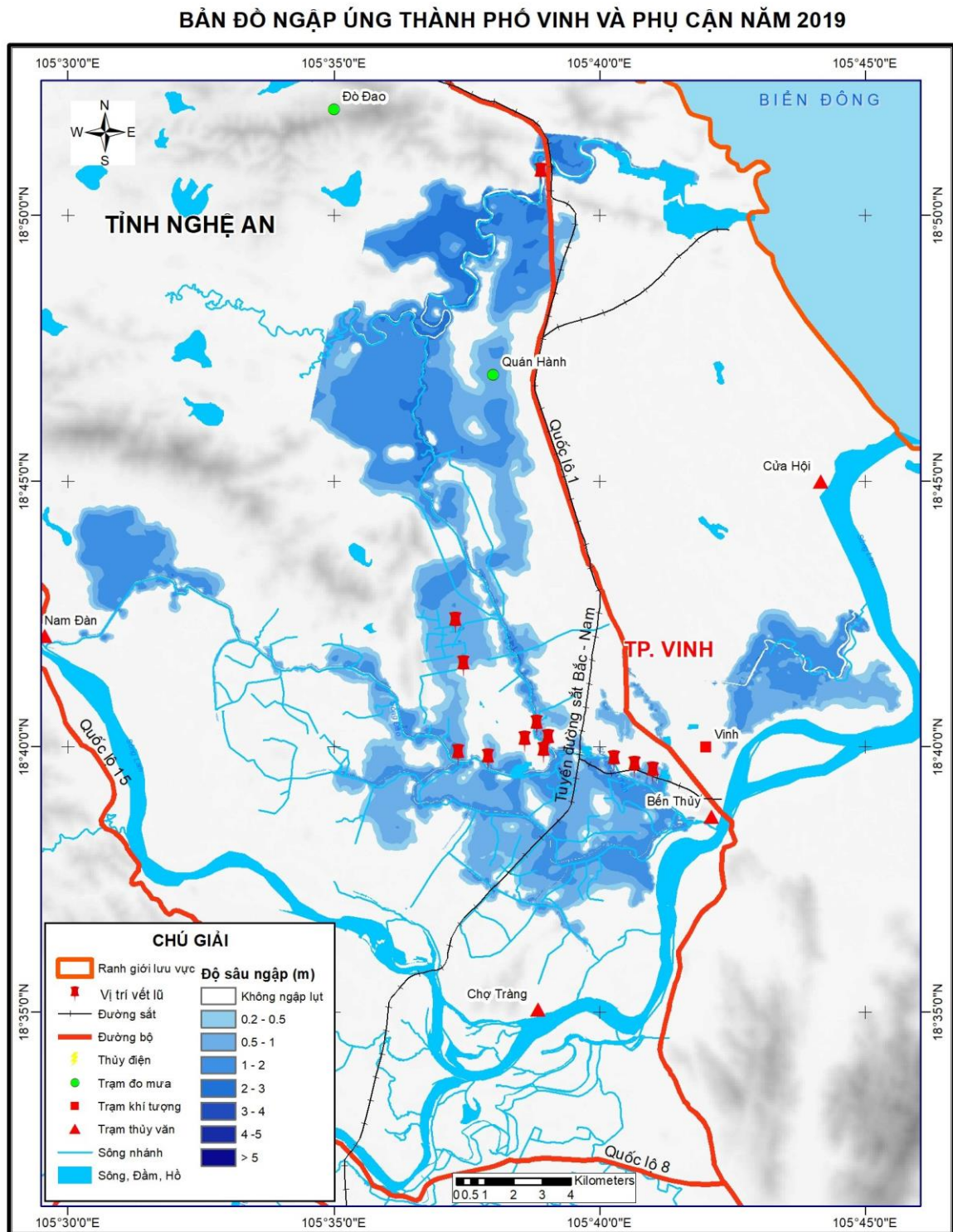
Bảng 3.14: So sánh mực nước tính toán kiểm định và điều tra vết lũ tháng X/2019

Vị trí		Mực nước tính toán (m)	Cao độ vết lũ điều tra (m)	Chênh lệch cao độ (m)
Vĩ độ Bắc	Kinh độ Đông			
18,706	105,622	2,80	2,90	+0,10
18,692	105,624	2,80	2,72	-0,08
18,660	105,649	2,75	2,85	+0,10
18,673	105,647	2,70	2,80	+0,10
18,668	105,643	2,70	2,64	-0,06
18,663	105,632	2,90	3,00	+0,10
18,664	105,622	2,90	3,00	+0,10
18,659	105,683	2,85	2,72	-0,13
18,661	105,678	2,70	2,80	+0,10
18,662	105,671	2,70	2,65	-0,05
18,669	105,650	2,40	2,50	+0,10
18,847	105,648	2,60	2,70	+0,10

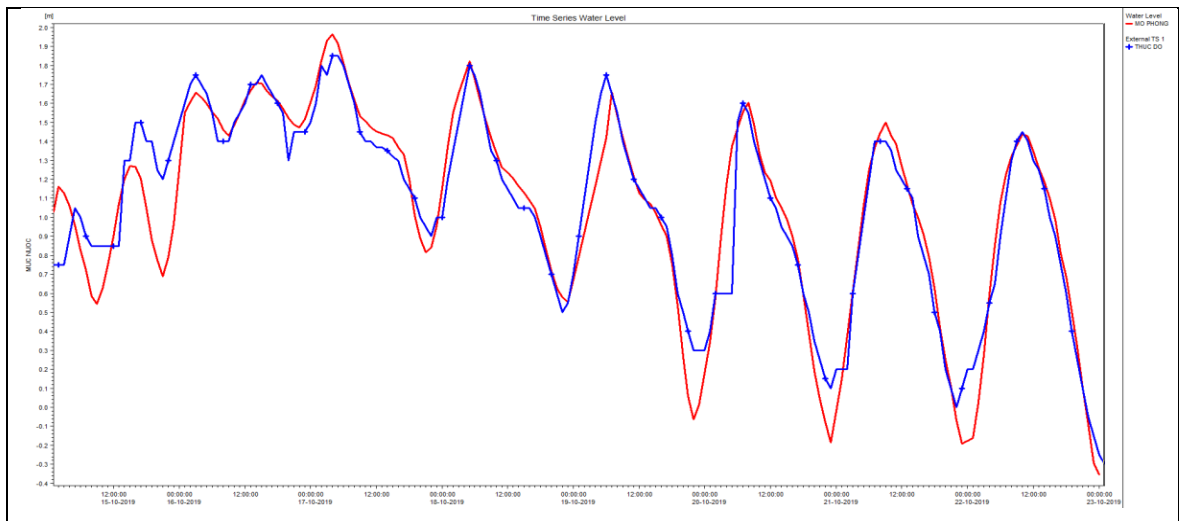
BẢN ĐỒ NGẬP ÚNG THÀNH PHỐ VINH VÀ PHỤ CẬN NĂM 2010



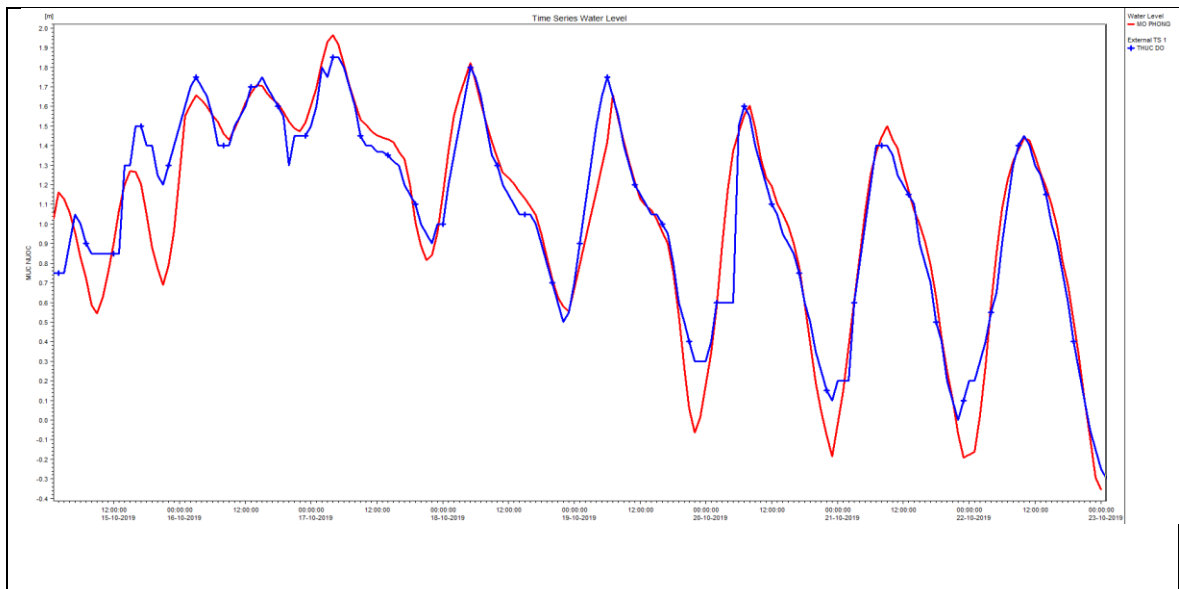
Hình 3.18: Bản đồ ngập lụt hiệu chỉnh theo trận lũ tháng X/2010



Hình 3.19: Bản đồ ngập lụt kiểm định theo trận lũ tháng X/2019



Hình 3.20: Quá trình mực nước thực đo và tính toán kiểm định mô hình trận lũ 2019 tại cống Bến Thủy



Hình 3.21: Quá trình mực nước thực đo và tính toán kiểm định mô hình trận lũ 2019 tại cống Nghi Quang

3.1.2.5. Nhận xét chung

Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định cho kết quả tốt: đường quá trình thực đo và tính toán phù hợp nhau cả quá trình lũ lên và xuống, hệ số Nash đạt được cao (đều lớn hơn 0,86%), sai số đỉnh lũ và sai số tổng lượng đều thấp; Chênh lệch giữa tính toán và vết lũ không lớn. Vì vậy, bộ thông số của mô hình có độ tin cậy cao, có thể sử dụng mô hình mô phỏng này để tính toán ngập úng cho Khu vực trong đô.

3.2. Đánh giá vai trò của một số nhân tố chính đến ứng lụt ở hạ du sông Cả

3.2.1. Đánh giá vai trò của mưa lũ thượng nguồn tới ứng lụt hạ du sông Cả

Mức độ ngập lụt ở hạ du sông Cả phụ thuộc các nhân tố: mưa; điều kiện ẩm, mực nước sông, hồ ao hiện tại; điều kiện địa hình; năng lực tiêu thoát nước của hệ thống công, trạm bơm; khả năng cất lũ của hệ thống hồ chứa trên lưu vực. Nghiên cứu đã phân ra các trường hợp lưu vực ở điều kiện tự nhiên và có tác động của hồ chứa; mưa lũ đầu mùa, giữa và cuối mùa. Các hồ chứa hiện tại đang hoạt động tại *Bảng 2.12* được đưa vào tính toán. Các kịch bản tính toán đánh giá vai trò của mưa lũ thượng nguồn tới ứng lụt hạ du sông Cả được thể hiện tại *Bảng 3.15*.

Bảng 3.15: Kịch bản đánh giá ảnh hưởng của mưa lũ thượng nguồn tới ứng lụt hạ du sông Cả

Điều kiện lưu vực	Giai đoạn		
	Đầu vụ	Giữa vụ	Cuối vụ
Tự nhiên	KB1	KB2	KB3
Có tác động của hồ chứa	KB4	KB5	KB6

Phân phối mưa giờ trận lũ tháng X/2010 được chọn làm mô hình phân phối mưa theo thời gian và không gian cho các kịch bản mưa, vì đây là trận mưa lớn gây ứng lụt khá lớn ở vùng hạ du sông Cả và có đầy đủ lượng mưa 6h tại các trạm KTTV trên lưu vực.

Bảng 3.16: Các mức lũ tại trạm TV Chợ Tràng [46]

TT	Mức lũ	Mực nước tại Chợ Tràng (m)	Ghi chú
1	Cấp báo động 1	3,00	Bắt đầu ngập
2	Cấp báo động 2	4,00	
3	Cấp báo động 3	5,00	
4	Cấp báo động 3 + 1	6,00	Trên BĐ3 1 m

Căn cứ Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Cả [49], xây dựng các kịch bản: mực nước ban đầu của các hồ chứa Bản Vẽ, Bản Mòng,

Ngàn Trươi như *Bảng 2.13*; riêng các hồ chứa Bản Ang, Hồ Hô, Sông Sào và Đá Hàn mực nước ban đầu được lấy ứng với MNDBT.

Từ mô hình mưa tháng X/2010, thay đổi lượng mưa trung bình 5 ngày trên lưu vực sông Cả để đạt được các mức lũ như *Bảng 3.16*. Kết quả tính toán lượng mưa bắt đầu gây ngập lụt (mức lũ BĐ1) ở hạ du sông Cả được lập tại *Bảng 3.17*. Mối quan hệ giữa lượng mưa với diện tích ngập lụt Khu vực ngoài đê và mực nước lớn nhất tại Chợ Tràng được lập tại *Bảng 3.18* đến *Bảng 3.20* và *Bảng 3.22*. Đường quan hệ giữa lượng mưa với diện tích ngập Khu vực ngoài đê và mực nước lớn nhất tại Chợ Tràng được thể hiện tại *Hình 3.22* và *Hình 3.23*. Kết quả diện tích ngập lụt ứng với các mức lũ được lập tại *Bảng 3.21*.

Bảng 3.17: Mưa định lượng gây ngập lụt Khu vực ngoài đê ở mức BĐ1 (mm)

Thời kỳ	Điều kiện lưu vực	
	Tự nhiên	Có hồ chứa
Đầu vụ	200	240
Giữa	150	210
Cuối vụ	150	200

Bảng 3.18: Lượng mưa và diện tích ngập lụt Khu vực ngoài đê khi có sự ảnh hưởng của hồ chứa – Thời kỳ đầu vụ (mm)

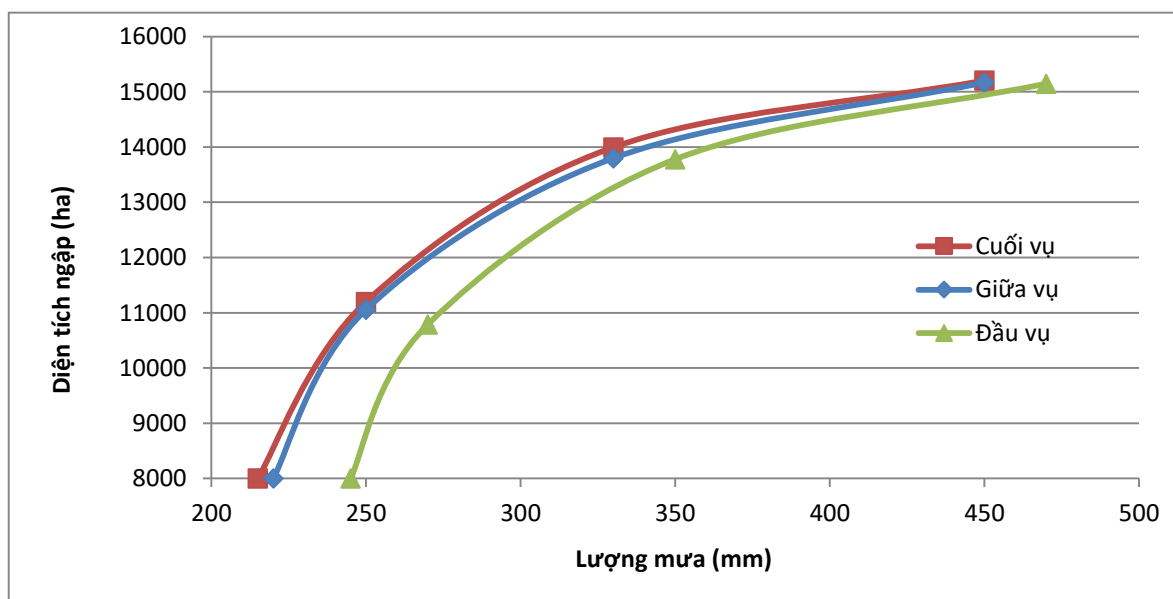
Lượng mưa (mm)	Diện tích ngập (ha)
240	0
270	10.790
350	13.779
470	15.147

Bảng 3.19: Lượng mưa và diện tích ngập lụt Khu vực ngoài đê khi có sự ảnh hưởng của hồ chứa – Thời kỳ giữa vụ (mm)

Lượng mưa (mm)	Diện tích ngập (ha)
210	0
250	11.057
330	13.799
450	15.167

Bảng 3.20: Lượng mưa và diện tích ngập lụt Khu vực ngoài đê khi có sự ảnh hưởng của hồ chứa – Thời kỳ cuối vụ (mm)

Lượng mưa (mm)	Diện tích ngập (ha)
200	0
250	11.197
330	13.996
450	15.204



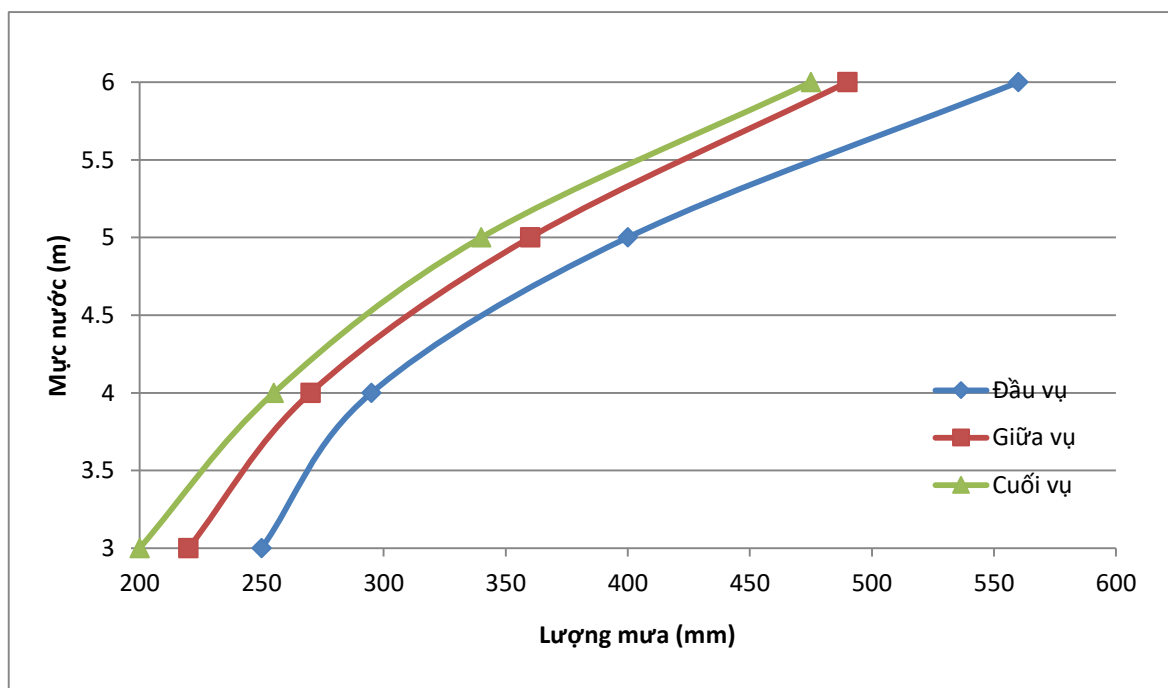
Hình 3.22: Đường quan hệ giữa lượng mưa và diện tích ngập Khu vực ngoài đê Kịch bản mưa tháng X/2010

Bảng 3.21: Kết quả ngập lụt Khu vực ngoài đê ứng với các mức lũ

Mức lũ	Diện tích ngập (ha)				
	$h \geq 0,2$ m	$h \geq 0,5$ m	$h \geq 1,0$ m	$h \geq 2,0$ m	$h \geq 3,0$ m
Cấp BĐ2	11.257	8.973	7.419	2.766	650
Cấp BĐ3	14.022	12.960	11.959	8.739	2.129
Cấp BĐ3 + 1	15.269	14.843	14.319	12.670	8.823

Bảng 3.22: Mưa định lượng gây lũ Khu vực ngoài đê khi có sự ảnh hưởng của hồ chứa (mm)

Mức lũ	Thời kỳ		
	Đầu vụ	Giữa vụ	Cuối vụ
Cấp BĐ1	250	220	200
Cấp BĐ2	295	270	255
Cấp BĐ3	400	360	340
Cấp BĐ3 + 1	560	490	475



Hình 3.23: Đường quan hệ giữa lượng mưa và mực nước lớn nhất tại Chợ Tràng

Nhận xét: Khi có tác động của hồ chứa các ngưỡng mưa gây ngập cho hạ du có xu thế tăng lên, điều đó cho thấy sự điều tiết của hồ chứa làm giảm ngập lụt ở hạ du. Qua *Hình 3.22* nhận thấy đường quan hệ lượng mưa – diện tích ngập có xu thế sát nhau khi lượng mưa tăng lên. Vào thời kỳ cuối mùa lũ, các hồ chứa đã được tích nước, làm giảm dung tích phòng lũ nên làm cho ngưỡng mưa có xu thế giảm xuống. Căn cứ vào các ngưỡng mưa này, cơ quan PCTT có thể ra các bản tin cảnh báo khi có các số liệu mưa quan trắc hoặc dự báo trên lưu vực sông Cả.

3.2.2. Đánh giá vai trò của hệ thống hồ chứa tới ứng lụt hạ du sông Cả

Trong phần này, tập trung nghiên cứu ngập lụt ở hạ du sông Cả khi hồ chứa cắt/xả lũ đơn lẻ và kết hợp, trong điều kiện trước khi cắt/xả lũ hạ du đang ở các mức lũ (*Bảng 3.16*). Lưu lượng xả lũ thiết kế tại các hồ chứa được lập tại *Bảng 3.23*. Quá trình được xả lũ tại các hồ chứa được xây dựng có dạng hình thang. Quá trình điều tiết lũ tại các hồ chứa có dung tích phòng lũ được lập trình trên cơ sở phương trình cân bằng nước, lưu lượng xả phụ thuộc vào lưu lượng đến, mực nước hồ và quy mô công trình xả. Các kịch bản tính toán đánh giá vai trò của hệ thống hồ chứa tới ứng lụt hạ du sông Cả được thể hiện tại *Bảng 3.24*.

Bảng 3.23: Lưu lượng xả ứng với lũ thiết kế tại các hồ chứa trên sông Cả [49]

TT	Hồ chứa	Tần suất thiết kế (%)	Q xả (m ³ /s)
1	Bản Vẽ	0,0002	5.981
2	Bản Ang	0,002	3.945
3	Bản Mòng	0,001	6.180
4	Hố Hồ	0,002	2.758
5	Ngàn Trươi	0,001	2.464

Bảng 3.24: Kịch bản đánh giá ảnh hưởng của hệ thống hồ chứa tới ứng lụt hạ du sông Cả

Kịch bản		Bản Vẽ	Bản Ang	Bản Mòng	Hố Hố	Ngàn Trươi
Riêng rẽ		KB7	KB8	KB9	KB10	KB11
Kết hợp	Bản Vẽ		KB12	KB13		
	Hố Hố					KB14
	Bản Vẽ + Bản Ang			KB15		

* Khi các hồ chứa xả lũ từng hồ riêng rẽ

Khi các hồ chứa trên lưu vực sông Cả xả riêng rẽ với lưu lượng xả thiết kế (*Bảng 3.23*) và điều kiện hạ du sông Cả ở các mức lũ khác nhau thì mực nước lớn nhất và mực nước gia tăng tại trạm thủy văn Chợ Tràng có kết quả như lập tại *Bảng 3.25* và *Bảng 3.26*. Kết quả độ sâu và vùng ngập lụt theo kịch bản lũ hạ du ở mức BD3 và hồ Bản Vẽ xả với lưu lượng thiết kế được thể hiện tại *Hình 3.24*.

*Bảng 3.25: Mực nước tại Chợ Tràng
khi từng hồ chứa xả lũ thiết kế riêng rẽ (m)*

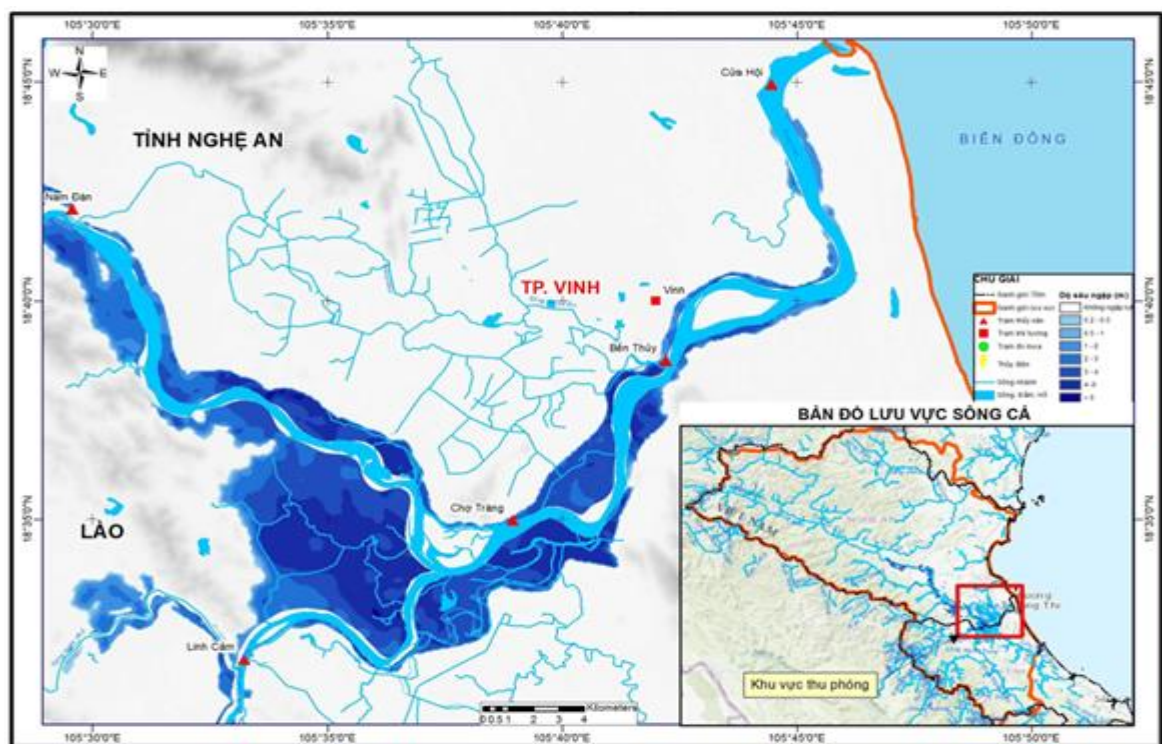
Mức lũ	Bản Vẽ	Bản Ang	Bản Mòng	Hố Hố	Ngàn Trươi
Cấp BD1	4,1	3,7	4,3	3,2	3,2
Cấp BD2	4,7	4,4	5,0	4,1	4,2
Cấp BD3	5,8	5,4	5,9	5,1	5,1
Cấp BD3 + 1	6,7	6,4	6,7	6,2	6,1

*Bảng 3.26: Mực nước gia tăng tại Chợ Tràng
khi từng hồ chứa xả lũ thiết kế riêng rẽ (m)*

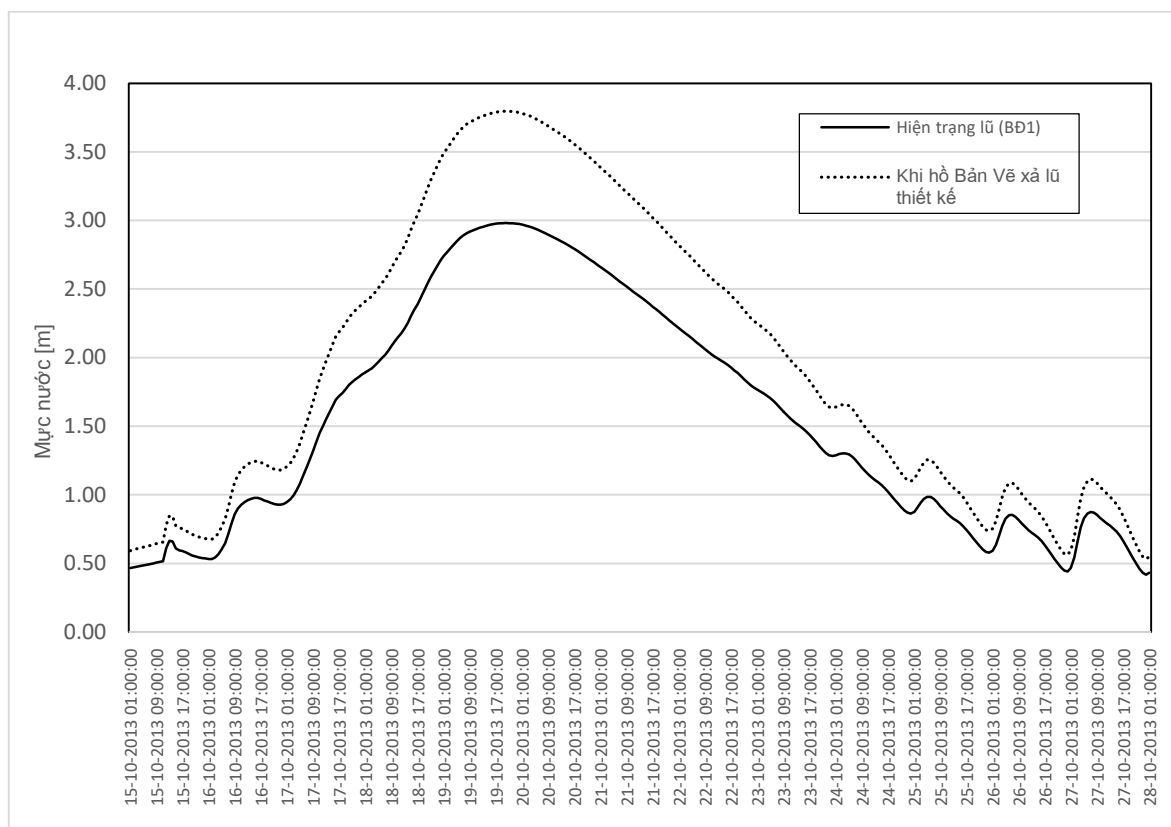
Mức lũ	Bản Vẽ	Bản Ang	Bản Mòng	Hố Hố	Ngàn Trươi
Cấp BD1	1,1	0,7	1,3	0,2	0,2
Cấp BD2	0,7	0,4	1,0	0,1	0,2
Cấp BD3	0,8	0,4	0,9	0,1	0,1
Cấp BD3 + 1	0,7	0,4	0,7	0,2	0,1

Bảng 3.27: Diện tích ngập lụt khi hồ chứa Bản Vẽ xả lũ thiết kế

Mức lũ	Diện tích ngập (ha)				
	$h \geq 0,2$ m	$h \geq 0,5$ m	$h \geq 1,0$ m	$h \geq 2,0$ m	$h \geq 3,0$ m
Cấp BD1	10.537	9.482	7.973	3.352	83
Cấp BD2	13.141	12.488	11.284	7.766	1.227
Cấp BD3	15.107	14.695	14.135	12.060	7.811
Cấp BD3+1	15.650	15.337	14.908	13.901	12.941



Hình 3.24: Kết quả ngập lụt lớn nhất khi hồ chứa Bản Vẽ xả lưu lượng thiết kế và hạ du sông Cả ở mức lũ BD3



*Hình 3.25: Quá trình mực nước tại Chợ Tràng
bị ảnh hưởng do xả lũ thiết kế của hồ chứa Bản Vẽ*

Nhận xét: Khi xả riêng rẽ từng hồ chứa, hồ Bản Mòng có ảnh hưởng lớn nhất đến mức độ ngập lụt ở hạ du sông Cả (mực nước gia tăng 1,2 - 1,8m), hồ Ngàn Trươi có ảnh hưởng ít nhất (mực nước gia tăng 0,2 - 0,6m).

* Khi các hồ chứa kết hợp xả lũ đồng thời:

Khi một số hồ chứa trên lưu vực sông Cả đồng thời xả lũ với lưu lượng thiết kế (Bảng 3.23) và điều kiện hạ du sông Cả ở các mức BĐ1, 2, 3 và BĐ3 +1 thì mực nước lớn nhất và mức gia tăng ngập tại trạm thủy văn Chợ Tràng có kết quả như ở Bảng 3.28 và Bảng 3.29.

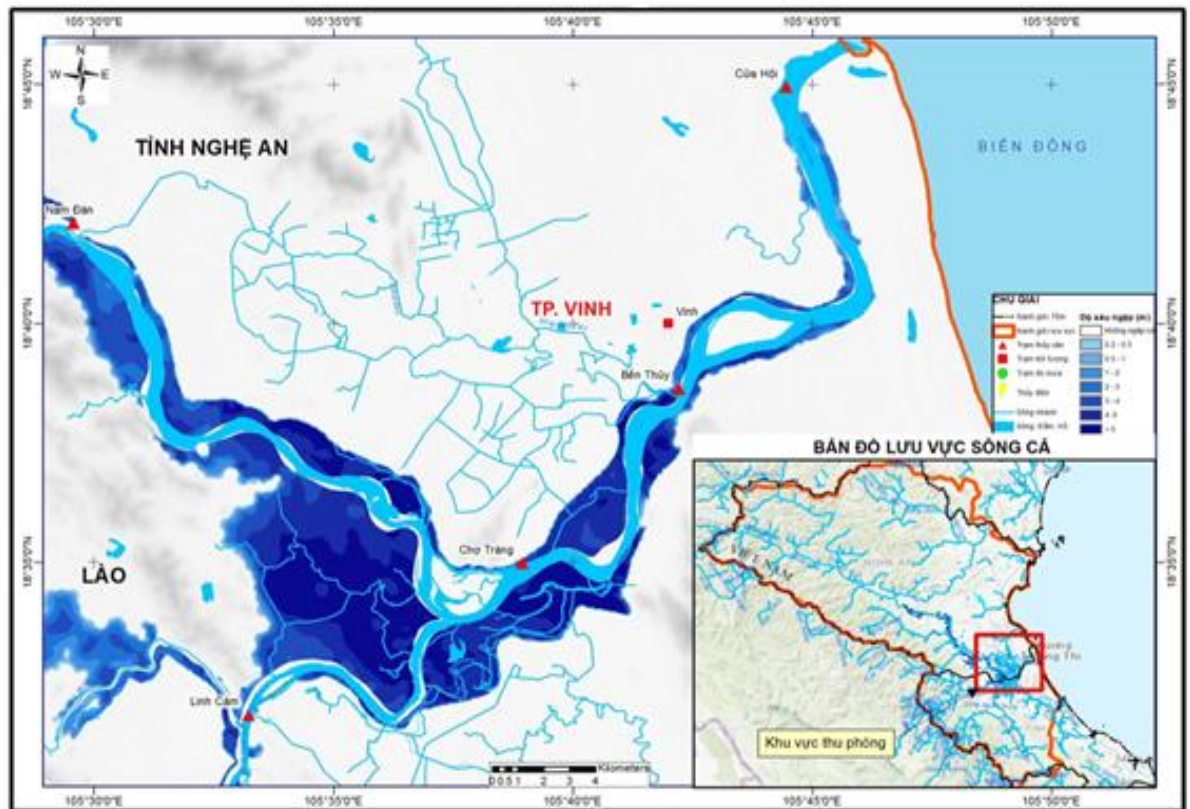
Bảng 3.28: Mức nước tại Chợ Trảng khi một số hồ chứa kết hợp xả lũ thiết kế (m)

Mức lũ	Bản Vẽ+ Bản Ang	Bản Vẽ+ Bản Ang+Bản Mòng	Ngàn Trươi+ Hồ Hồ	Bản Vẽ+ Bản Mòng
Cấp BĐ1	4,6	5,6	3,4	5,1
Cấp BĐ2	5,3	6,2	4,3	5,7
Cấp BĐ3	6,2	6,8	5,2	6,5
Cấp BĐ3 + 1	7,2	7,8	6,2	7,5

Bảng 3.29: Mức nước gia tăng tại Chợ Trảng khi một số hồ chứa kết hợp xả lũ thiết kế (m)

Mức lũ	Bản Vẽ+ Bản Ang	Bản Vẽ+ Bản Ang+Bản Mòng	Ngàn Trươi+ Hồ Hồ	Bản Vẽ+ Bản Mòng
Cấp BĐ1	1,6	2,6	0,4	2,1
Cấp BĐ2	1,3	2,2	0,3	1,7
Cấp BĐ3	1,2	1,8	0,2	1,5
Cấp BĐ3+1	1,2	1,8	0,2	1,5

Nhận xét: Khi xả kết hợp 2 hồ chứa với nhau, hồ Bản Vẽ +Bản Mòng có ảnh hưởng lớn nhất (mức nước gia tăng 2,5 - 3,4 m), hồ Hồ Hồ + Ngàn Trươi có ảnh hưởng ít nhất (mức nước gia tăng 0,9 - 1,5 m). Khi kết hợp xả lũ thiết kế hồ chứa Bản Vẽ + Bản Ang + Bản Mòng khi điều kiện lũ hạ du ở mức BĐ3 +1 thì khả năng mức nước lũ ở hạ du sông Cả tương đương với lũ lịch sử 1978 (tại Chợ Trảng, $H_{\max} = 7,8$ m).



Hình 3.26: Kết quả ngập lụt lớn nhất khi 02 hồ chứa Bản Vẽ và Bản Mòng xả lưu lượng thiết kế trong điều kiện lũ hạ du sông Cả ở mức BĐ3

* Khi các hồ chứa cắt lũ riêng rẽ:

Theo Quy trình vận hành liên hồ chứa trên sông Cả [49], khi mực nước tại Chợ Tràng lên mức BĐ2 thì các hồ Bản Vẽ, Bản Mòng, Ngàn Trươi bắt đầu tham gia giảm lũ. Để đánh giá sự ảnh hưởng của sự cắt lũ đơn lẻ từng hồ chứa, nghiên cứu chọn kịch bản hạ du sông Cả ở các mức BĐ2, 3 và BĐ3+1 vào giai đoạn đầu vụ để tính toán. Kết quả mực nước lớn nhất, mực nước lớn nhất giảm tại trạm thủy văn Chợ Tràng và diện tích ngập lụt giảm được trình bày tại [Bảng 3.30](#) đến [Bảng 3.32](#).

*Bảng 3.30: Mức nước tại Chợ Tràng
khi từng hồ chứa cắt lũ riêng rẽ (m)*

Mức lũ	Bản Vẽ	Bản Mông	Ngàn Trươi
Cấp BD2	3,8	3,9	4,0
Cấp BD3	4,7	4,8	4,9
Cấp BD3+1	5,7	5,8	5,9

*Bảng 3.31: Mức nước giảm tại Chợ Tràng
khi từng hồ chứa cắt lũ riêng rẽ (m)*

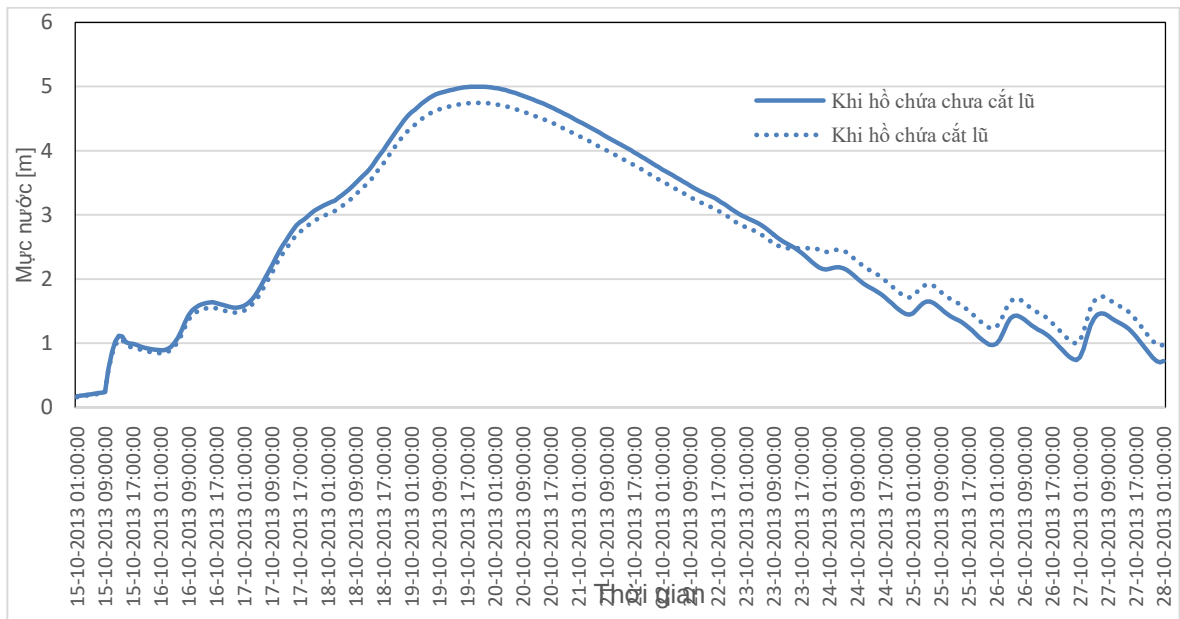
Mức lũ	Bản Vẽ	Bản Mông	Ngàn Trươi
Cấp BD2	0,2	0,1	0,0
Cấp BD3	0,3	0,2	0,1
Cấp BD3+1	0,3	0,2	0,1

Bảng 3.32: Diện tích ngập lụt khi các hồ chứa cắt lũ riêng rẽ

Mức lũ	Diện tích ngập (ha)		
	Bản Vẽ	Bản Mông	Ngàn Trươi
Cấp BD2	11.180	11.197	11.241
Cấp BD3	13.950	13.988	13.998
Cấp BD3+1	15.211	15.264	15.259

* Khi các hồ chứa kết hợp cắt lũ:

Để đánh giá sự ảnh hưởng của sự cắt lũ của tổ hợp các hồ chứa, nghiên cứu chọn trường hợp mưa gây lũ ở các mức vào giai đoạn đầu vụ để tính toán. Kết quả mực nước lớn nhất, mực nước lớn nhất giảm tại trạm thủy văn Chợ Tràng và diện tích ngập lụt giảm được lập tại [Bảng 3.33](#).



Hình 3.27: Quá trình mực nước tại Chợ Tràng
bị ảnh hưởng do cắt lũ của hồ chứa Bản Vẽ

Bảng 3.33: Mực nước tại Chợ Tràng và diện tích ngập giảm
khi các hồ chứa cắt lũ tổ hợp (m)

Mức lũ	Hmax Chợ Tràng (m)	Mực nước giảm(m)	Diện tích ngập giảm (ha)
Cấp BD2	3,6	0,4	467
Cấp BD3	4,6	0,4	244
Cấp BD3+1	5,5	0,5	240

Nhận xét: Khi các hồ chứa cắt lũ, diện tích ngập ở hạ du có xu thế giảm không nhiều. Hồ chứa Bản Vẽ có tác dụng rõ rệt nhất, mực nước tại Chợ Tràng giảm được 0,3 m, diện tích ngập giảm được 77 ha. Khả năng cắt lũ của hồ Ngàn Trươi không đáng kể. Căn cứ vào mức tăng/giảm khi các hồ chứa xả/cắt lũ, cơ quan PCTT có thể tập trung theo dõi các hồ chứa quan trọng có tính quyết định như Bản Vẽ và Bản Mòng để kịp thời cảnh báo cho hạ du.

3.2.3. Đánh giá vai trò của nước biển dâng do bão tới ứng lựt hạ du sông Cả

Theo số liệu quan trắc nhiều năm tại trạm TV Cửa Hội, mực nước lớn nhất trung bình là 1,73 m; tại các trận lũ lớn thường dao động từ 1,9 – 2,1 m. Có 2 năm mực nước lớn nhất cao đột biến: 1989 ($H_{max} = 4,71$ m) và 2017

($H_{\max} = 2,60$ m), do tác động của các cơn bão mạnh. Thực tế, mực nước dâng do bão tại Cửa Hội có thể lên đến 3,0 m. Nghiên cứu này sử dụng kịch bản mực nước biển dâng do bão 2,0 m tại Cửa Hội để tính mức gia tăng khi có/không có sự vận hành của hệ thống hồ chứa trong cả 4 trường hợp lũ ở hạ du là mức BĐ1, 2, 3 và BĐ3+1. Các kịch bản tính toán đánh giá vai trò của nước biển dâng tới ứng lựt hạ du sông Cả được thể hiện tại *Bảng 3.34*. Kết quả được lập tại *Bảng 3.35* và *Bảng 3.36*. Kết quả tính toán diện tích ngập lựt khi hồ chứa Bản Vẽ xả lũ thiết kế và có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão được lập tại *Bảng 3.37*.

Bảng 3.34: Các kịch bản tính toán đánh giá vai trò của nước biển dâng, xả lũ thiết kế của hồ chứa tới ứng lựt hạ du sông Cả

Điều kiện lưu vực		Kịch bản
Tự nhiên		KB16
Có vận hành của hồ chứa	Bản Vẽ	KB17
	Bản Ang	KB18
	Bản Mông	KB19
	Ngàn Trươi	KB20
	Hố Hô	KB21

Bảng 3.35: Mực nước tại Chợ Tràng khi có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão và có/không có xả lũ thiết kế của hồ chứa (m)

Điều kiện lưu vực		Mức lũ			
		BĐ1	BĐ2	BĐ3	BĐ3+1
Tự nhiên		3,9	4,3	5,1	6,1
Có vận hành của hồ chứa	Bản Vẽ	4,4	4,9	5,9	6,8
	Bản Ang	4,2	4,6	5,5	6,4
	Bản Mông	4,5	5,1	5,9	7,0
	Ngàn Trươi	4,0	4,4	5,2	6,2
	Hố Hô	4,1	4,2	5,2	6,3

Bảng 3.36: Mức nước gia tăng tại Chợ Tràng khi có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão và có/không có xả lũ thiết kế của hồ chứa (m)

Điều kiện lưu vực		Mức lũ			
		BĐ1	BĐ2	BĐ3	BĐ3+1
Tự nhiên		0,9	0,3	0,1	0,1
Có vận hành của hệ thống hồ chứa	Bản Vẽ	1,4	0,9	0,9	0,8
	Bản Ang	1,2	0,6	0,5	0,4
	Bản Mông	1,5	1,1	0,9	1,1
	Ngàn Trươi	1,1	0,4	0,2	0,2
	Hồ Hô	1,1	0,2	0,2	0,3

Bảng 3.37: Diện tích ngập lụt khi hồ chứa Bản Vẽ xả lũ thiết kế và có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão

Hiện trạng lũ	Diện tích ngập (ha)					
	$h \geq 0,2$ m	$h \geq 0,5$ m	$h \geq 1,0$ m	$h \geq 2,0$ m	$h \geq 3,0$ m	$h \geq 5,0$ m
Cấp BĐ1	12.167	11.377	10.354	6.541	656	5
Cấp BĐ2	13.923	13.402	12.490	9.764	2.856	7
Cấp BĐ3	15.502	15.195	14.728	12.986	9.095	15
Cấp BĐ3+1	15.915	15.665	15.312	14.365	12.330	1.655

Nhận xét: Khi có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão, mức nước ngập tại hạ du đều tăng. Mức gia tăng cao khi lũ hạ du đang ở mức thấp. Mức gia tăng cao nhất khi có tác động tổng hợp của xả lũ hồ chứa và nước biển dâng do bão. Khi tác động tổng hợp của xả lũ hồ chứa Bản Vẽ và nước biển dâng cho mức gia tăng cao nhất ($\Delta h = 1,5$ m). Kết quả diện tích ngập lụt Khu vực ngoài đê ở các kịch bản: BĐ3, BĐ3 + Xả lũ Bản Vẽ, BĐ3 + Xả lũ Bản Vẽ + Nước biển dâng do bão, tương ứng như sau: 13,533; 15,107; 15,502 ha, cho thấy rằng, ảnh hưởng của nước biển dâng do bão khá nhỏ so với tác động của xả lũ thiết kế.

Một số giải pháp giảm nhẹ ngập úng cho Khu vực ngoài đê

Phòng chống lũ, ngập lụt, giảm nhẹ thiệt hại do nó gây ra trên các lưu vực sông không chỉ là một biện pháp đơn nhất mà là sự kết hợp hài hoà tổng thể của các biện pháp, nó mang tính xã hội cao. Từ trước đến nay đã có nhiều giải pháp được đưa ra để giảm thiểu úng lụt như: Trồng rừng đầu nguồn; Thông thoáng dòng chảy thoát lũ; Tuyên truyền phổ biến kiến thức nâng cao ý thức PCBL cho cộng đồng dân cư; Xây dựng, củng cố hệ thống đê, kè ngăn lũ; Xây dựng hệ thống hồ chứa để cắt giảm lũ cho hạ du. Trong khuôn khổ nghiên cứu này, một số giải pháp giảm thiểu úng lụt cho Khu vực ngoài đê được đề xuất như sau:

- Căn cứ vào các ngưỡng mưa dự báo, cơ quan PCTT có thể ra các bản tin cảnh báo khả năng ngập lụt ở hạ du sông Cả.

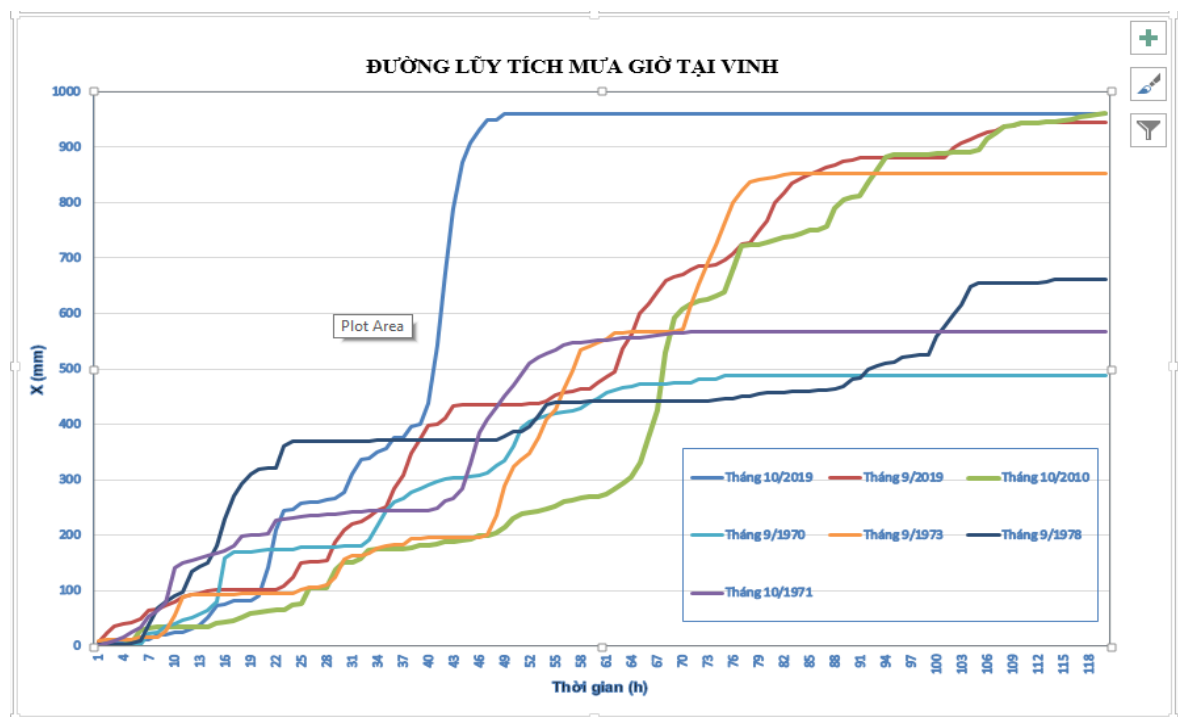
- Căn cứ vào điều kiện lũ ở hạ du sông Cả và kích bản xả/cắt lũ của các hồ chứa + nước dâng do bão, cơ quan PCTT có thể ra các bản tin cảnh báo khả năng ngập lụt ở hạ du sông Cả.

- Để giảm thiểu úng lụt cho hạ du sông Cả hiệu quả, cần thiết phải sử dụng tối ưu dung tích phòng lũ của hệ thống hồ chứa ở thượng nguồn. Khi đạt điều kiện cắt giảm lũ, các hồ chứa sẽ xả một lưu lượng $Q_{xả} < Q_{đến}$ hay $Q_{xả} = k_1 \times Q_{đến}$ (k_1 là hệ số, $k_1 < 1$) và khi đạt điều kiện hạ thấp mực nước hồ để đón lũ, hồ chứa sẽ xả một lưu lượng $Q_{xả} > Q_{đến}$ hay $Q_{xả} = k_2 \times Q_{đến}$ (k_2 là hệ số, $k_2 > 1$). Muốn vậy, cần thiết phải tăng cường hệ thống quan trắc KTTV trên lưu vực; Nâng cao năng lực dự báo KTTV, xác định sát lượng nước đến các hồ (đặc biệt là hồ Bản Vẽ, Bản Mòng); Sử dụng mô hình mô phỏng lũ với thuật toán tối ưu để xác định lưu lượng xả hợp lý cho hệ thống hồ chứa.

3.2.4. Đánh giá vai trò của mưa nội đồng tới ngập úng hạ du sông Cả

- a. Xác định mô hình phân phối mưa giờ tại trạm KT Vinh

Thống kê các trận mưa lớn tại trạm KT Vinh và xây dựng biểu đồ lũy tích (Hình 3.28), thấy rằng các quá trình mưa trận tháng IX/1973, X/2010 và IX/2019 khá tập trung; trận mưa tháng X/2019 có thời gian rất ngắn, cường độ mưa lớn nhất (đạt 130,4 mm/h và 352,4 mm/3h); thời gian mưa tập trung chủ yếu trong 72h (3 ngày). Để đánh giá ảnh hưởng của cường độ mưa đến ngập úng nội đồng tại Khu vực trong đê, chọn trận mưa tháng X/2010 và X/2019 làm mô hình phân phối mưa giờ.



Hình 3.28: Đường lũy tích mưa giờ tại trạm KT Vinh

Từ đường tần suất tổng lượng mưa 5 ngày lớn nhất tại trạm KT Vinh (Bảng 4 – Phần Phụ lục), xác định được tổng lượng mưa 5 ngày lớn nhất ứng với các tần suất (Bảng 3.38). Nghiên cứu này tính toán các mức ngập ở TP Vinh khi xảy ra mưa có tổng lượng $X_5 = 687,3$ mm (ứng với $P=10\%$) và mô hình mưa giờ trận mưa tháng X/2010 và tháng X/2019 khi có tác động của lũ trên sông Cả và nước nước biển dâng do bão. Điểm xem xét ngập úng khu vực trong đê là ngã ba cầu Đức.

*Bảng 3.38: Tổng lượng mưa 5 ngày lớn nhất ứng với các tần suất
Trạm KT Vinh*

TT	Tần suất (%)	X ₅ (mm)
1	0,5	1.072,5
2	1,0	989,0
3	3,0	851,1
4	5,0	783,1
5	10,0	687,3

b. Xác định biên mực nước tại hạ lưu cống Bến Thuỷ và Nghi Quang

- Biên mực nước tại cống Bến Thuỷ và Rào Đùng được lấy tại kết quả tính lũ trên sông Cả ở các mức BĐ1, 2, 3 và BĐ3+1 khi có/ không có nước biển dâng do bão (Mục 3.2.1, 3.2.2 và 3.2.3);

- Biên mực nước tại cống Nghi Quang được lấy tại trạm hải văn Hòn Ngư trùng với thời gian trận mưa lũ tháng X/2010; trường hợp có nước dâng do bão lấy tại trạm hải văn Hòn Ngư trùng với thời gian trận mưa lũ tháng X/2010 + 2 m.

Các kịch bản tính toán đánh giá vai trò của nước biển dâng tới ứng lụt hạ du sông Cả được thể hiện tại *Bảng 3.39*.

Bảng 3.39: Các kịch bản tính toán đánh giá vai trò của nước biển dâng tới ứng lụt hạ du sông Cả

Điều kiện	Phân phối mưa giờ trận lũ tháng 10/2010	Phân phối mưa giờ trận lũ tháng 10/2019
Không có nước dâng	KB22	KB23
Có xả lũ của Bản Vẽ và Không có nước dâng do bão	KB24	KB25
Có xả lũ của Bản Vẽ và có nước dâng do bão	KB26	KB27

c. Kết quả tính toán: Kết quả tính toán được lập tại *Bảng 3.40* và *Bảng 3.41*. Bằng cách thay đổi tổng lượng mưa 5 ngày trên lưu vực, đã xác định được lượng mưa bắt đầu gây ngập Khu vực trong đề là 250 mm. Nghiên cứu cũng xác định được mức ngập ứng ở Khu vực trong đề khi lượng mưa $X_{P=10\%}=687,3$ mm, trong điều kiện lũ trên sông Cả lần lượt ở các mức BĐ1, 2, 3 và BĐ3+1, khi có/không có nước triều dâng do bão (*Bảng 3.35*). Từ đó, xác định được mức gia tăng do tác động của xả lũ của hồ Bản Vẽ và nước biển dâng do bão so với trường hợp lũ trên sông Cả ở các mức BĐ1, 2, 3 và BĐ3+1 (*Bảng 3.40* và *Bảng 3.41*). Kết quả diện tích ngập ứng tại Khu vực trong đề khi xảy ra mưa tần suất 10% với mô hình phân phối tháng X/2010 và tháng X/2019 được lập tại *Bảng 3.43* đến *Bảng 3.45*, cho thấy khi có tác động của nước biển dâng do bão, cường độ mưa lớn thì diện tích ngập ứng tăng lên đáng kể.

Bảng 3.40: Mức nước tại cầu Đuốc khi xảy ra trận mưa 10% và phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2010 (m)

Điều kiện	Mức lũ			
	BĐ1	BĐ2	BĐ3	BĐ3+1
Không có nước dâng	2,9	3,2	3,4	3,6
Có xả lũ của Bản Vẽ và Không có nước dâng do bão	3,3	3,4	3,6	3,65
Có xả lũ của Bản Vẽ và có nước dâng do bão	3,4	3,6	3,7	3,8

Bảng 3.41: Mức nước tại cầu Đuốc khi xảy ra trận mưa 10% và phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2019 (m)

Điều kiện	Mức lũ			
	BĐ1	BĐ2	BĐ3	BĐ3+1
Không có nước dâng	3,1	3,4	3,5	3,7
Có xả lũ của Bản Vẽ và Không có nước dâng	3,6	3,7	3,75	3,8
Có xả lũ của Bản Vẽ và có nước dâng	3,65	3,8	3,9	4,0

Bảng 3.42: Mức nước tại cầu Đước gia tăng theo mô hình mưa giờ có cường độ lớn tháng X/2019 (m)

Điều kiện lưu vực	Mức nước trong sông Cả			
	Mức lũ 1	Mức lũ 2	Mức lũ 3	Mức lũ 4
Không có nước dâng	0,2	0,2	0,1	0,1
Có xả lũ của Bản Vẽ và không có nước dâng	0,7	0,5	0,35	0,2
Có xả lũ của Bản Vẽ và có nước dâng	0,75	0,6	0,5	0,4

Bảng 3.43: Diện tích ngập úng tại Khu vực trong đê, khi xảy ra trận mưa 10% và phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2010

Mức lũ	Diện tích ngập (ha)				
	h>=0,2 m	h>=0,5m	h>=1,0 m	h>=2,0 m	h>=3,0 m
Cấp BĐ1	16.099	13.787	7.690	1.341	1
Cấp BĐ2	17.139	15.074	9.493	1.843	1
Cấp BĐ3	17.783	15.866	10.758	2.274	2
Cấp BĐ3+1	18.793	16.826	11.950	2.837	11

Bảng 3.44: Diện tích ngập úng tại Khu vực trong đê, khi xảy ra trận mưa 10%, phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2010, xả lũ Bản Vẽ

Mức lũ	Diện tích ngập (ha)				
	h>=0,2 m	h>=0,5m	h>=1,0 m	h>=2,0 m	h>=3,0 m
Cấp BĐ1	17.738	15.765	10.558	2.203	1
Cấp BĐ2	18.887	16.881	11.887	2.742	4
Cấp BĐ3	19.889	17.967	12.737	3.256	22
Cấp BĐ3+1	19.120	17.081	12.025	2.885	12

Bảng 3.45: Diện tích ngập úng tại Khu vực trong đê, khi xảy ra trận mưa 10%, phân phối mưa giờ theo mô hình mưa tháng X/2010, xả lũ Bản Vẽ, nước biển dâng do bão

Mức lũ	Diện tích ngập (ha)				
	$h \geq 0,2$ m	$h \geq 0,5$ m	$h \geq 1,0$ m	$h \geq 2,0$ m	$h \geq 3,0$ m
Cấp BĐ1	17.774	15.812	10.633	2.418	2
Cấp BĐ2	18.925	16.926	11.961	2.972	5
Cấp BĐ3	19.932	18.021	12.823	3.522	23
Cấp BĐ3+1	19.166	17.142	12.112	3.117	13

Nhận xét: Ảnh hưởng của mực nước trong sông Cả đến thoát nước của Khu vực trong đê rất rõ rệt. Chênh lệch giữa mực nước cao nhất tại ngã ba cầu Đước biến đổi từ 2,9 m lên đến 3,6 m khi mực nước tại Bến Thủy ở mức BĐ1 và BĐ3+1. Từ kết quả tính toán mực nước ngập úng tại cầu Đước và diện tích ngập úng Khu vực trong đê khi xả lũ ở thượng nguồn và nước biển dâng do bão, thấy rằng, yếu tố lũ và xả lũ trên sông Cả có ảnh hưởng lớn đến quá trình thoát nước của khu vực này. Điều này chứng tỏ, cống Bến Thủy và Rào Đùng có vai trò quan trọng đối với khả năng thoát nước của Khu vực trong đê.

Một số giải pháp giảm nhẹ ngập úng cho Khu vực trong đê như sau:

+ Nâng cao khả năng tiêu thoát nước: Nạo vét, khơi thông hệ thống kênh, cống, mương tiêu thoát lũ; nâng cấp hệ thống kênh, cống, mương tiêu thoát lũ; Nâng cấp cống Nghi Quang, Bến Thủy và Rào Đùng; Nâng cao năng lực tiêu của các trạm bơm tiêu úng.

+ Rút nước nền khi sắp xảy ra mưa úng; Xây dựng các hồ điều hòa để giảm ngập úng.

+ Nâng cao năng lực dự báo KTTV để chủ động trong công tác phòng chống ngập úng và giảm nhẹ thiệt hại do ngập úng gây ra.

3.3. Kết luận chương 3

Nghiên cứu đã thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định thành công mô hình mô phỏng ứng lụt hạ du sông Cả. Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định cho kết quả tốt: đường quá trình thực đo và tính toán phù hợp nhau cả quá trình lũ lên và xuống của quá trình lũ, hệ số Nash đạt được cao (trên 0,86%). Vì vậy, bộ thông số của mô hình có độ tin cậy cao.

Nghiên cứu đã tiến hành tính toán các kịch bản gây ứng lụt ở hạ du sông Cả, như đã đặt ra:

- + Xác định được định lượng mưa bắt đầu gây ngập lụt hạ du sông Cả các thời kỳ mùa lũ (đầu vụ, giữa vụ và cuối vụ) trong trạng thái tự nhiên và khi bị ảnh hưởng của hệ thống hồ chứa ở thượng lưu. Xác định được mối quan hệ lượng mưa với diện tích ngập và mực nước lớn nhất tại Chợ Tràng khi có ảnh hưởng của hồ chứa ở các mức lũ;

- + Xác định được mức gia giảm/tăng ngập lụt ở hạ du sông Cả, khi cắt/xả lũ của hệ thống hồ chứa (riêng rẽ từng hồ hay kết hợp giữa các hồ) trong điều kiện lũ ở các mức báo động;

- + Xác định được mức gia tăng ứng lụt ở hạ du sông Cả, khi có ảnh hưởng của nước biển dâng do bão trong điều kiện lũ ở các mức báo động;

- + Xác định được mức ngập ứng của Khu vực trong đê khi có mưa lớn nội đồng ($X_{P=10\%} = 687,3$ mm), và ảnh hưởng của lũ ở các mức báo động trên sông Cả; đã xác định được mức gia tăng ngập ứng của TP Vinh và vùng phụ cận khi có mưa lớn nội đồng ($X_{P=10\%} = 687,3$ mm) với cường độ lớn và ảnh hưởng của lũ ở các mức báo động trên sông Cả; Xác định được mức gia tăng ngập ứng của Khu vực trong đê khi có tổ hợp mưa lớn nội đồng ($X_{P=10\%} = 687,3$ mm) và ảnh hưởng xả lũ của hồ chứa ở thượng lưu và nước biển dâng do bão, trong điều kiện lũ trên sông Cả ở các mức báo động. Kết quả tính toán các kịch bản đối

với Khu vực trong đề nhận thấy yếu tố mực nước trên sông Cả ảnh hưởng rất lớn đến quá trình tiêu thoát úng của vùng này.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

1. Thiên tai úng lụt diễn ra trên khắp hành tinh từ xưa đến nay và ngày càng phức tạp. Nhất là trong điều kiện biến đổi khí hậu, loại hình thiên tai này ngày càng tăng về tần suất xuất hiện, mức độ và quy mô. Việc xác định, đánh giá vai trò của các nhân tố gây úng lụt luôn luôn mang tính thời sự, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Các nhân tố gây ra úng lụt gồm ba nhóm: nội sinh, ngoại sinh và nhân sinh. Nhóm nhân tố có nguồn gốc khí tượng thủy văn có ảnh hưởng lớn tới vùng hạ du sông Cả. Luận án đã đi sâu vào đánh giá vai trò của các nhân tố: mưa lớn và lũ thượng nguồn; việc cắt/xả lũ đơn hồ, liên hồ trên thượng nguồn lưu vực sông; nước biển dâng do bão và mưa lớn nội đồng;

2. Đã lựa chọn mô hình thủy văn, thủy lực để mô phỏng úng lụt (cụ thể là bộ mô hình MIKE) ở hạ du sông Cả.

3. Đã thu thập được bộ số liệu KTTV, địa hình, và các loại bản đồ mặt đệm để xử lý thông kê các giai đoạn mùa lũ và thông số hóa theo các tiêu lưu vực trong quá trình mô phỏng.

4. Kết quả tính toán cho thấy:

4.1 Vai trò của nhân tố thứ nhất: Đã định lượng hóa lượng mưa gây ngập lụt hạ du sông Cả ở các mức lũ cho 3 thời kỳ lũ, trong điều kiện tự nhiên và có sự vận hành của hệ thống hồ chứa. Lượng mưa bắt đầu gây ngập hạ du, vào thời điểm đầu vụ, giữa vụ và cuối vụ là: 240, 210 và 200 mm. Đã xây dựng được mối quan hệ giữa lượng mưa với diện tích ngập và mực nước lớn nhất tại Chợ Tràng;

4.2 Vai trò của nhân tố thứ 2: Đã xác được mức gia tăng/giảm ngập lụt ở hạ du sông Cả khi có sự xả/cắt lũ riêng rẽ từng hồ chứa hoặc đồng thời, trong điều kiện lũ ở các mức báo động. Hồ chứa Bản Mòng và Bản Vẽ có sự ảnh

hưởng lớn nhất, với mức gia tăng 1,3 và 1,1 m khi từng hồ xả lũ với lưu lượng thiết kế và điều kiện hạ du lũ ở cấp BĐ1. Hồ chứa Ngàn Trươi và Hồ Hồ có sự ảnh hưởng nhỏ nhất, với mức gia tăng 0,1 và 0,2 m khi từng hồ xả lũ với lưu lượng thiết kế và điều kiện hạ du lũ ở cấp BĐ3. Ảnh hưởng của các hồ chứa thượng nguồn sông Ngàn Sâu là không đáng kể đến ngập lụt vùng hạ du sông Cả; Khi tổ hợp cả 3 hồ Bản Vẽ, Bản Ang và Bản Mòng đồng thời xả lũ thì mực nước tại Chợ Tràng có thể đạt mức 7,8 m (tương đương với lũ lịch sử 1978);

4.3 Vai trò của nhân tố 3: Đã xác định được mức gia tăng ngập lụt hạ du sông Cả ở các mức lũ khi có ảnh hưởng của nước biển dâng 2,0 m do bão. Khi lũ trên sông Cả ở mức thấp (lượng gia tăng là 0,9 m khi lũ sông Cả ở cấp BĐ1) thì sự gia tăng ngập lụt lớn hơn so với ở mức cao (lượng gia tăng là 0,2 m khi lũ sông Cả ở cấp BĐ3); Đã xác định được mức gia tăng ngập lụt hạ du sông Cả ở các mức lũ khi có ảnh hưởng tổng hợp của xả lũ của hồ chứa thượng nguồn và ảnh hưởng của nước biển dâng do bão. Khi có sự ảnh hưởng tổ hợp của lũ ở cấp BĐ3, xả lũ của thủy điện Bản Mòng và nước biển dâng do bão thì mực nước lũ tại Chợ Tràng có thể đạt mức 7,0 m (chỉ thấp hơn lũ lịch sử 1978 là 0,8 m)

4.4 Vai trò của nhân tố thứ 4: Đã xác định lượng mưa từ 250 mm trong 5 ngày (tập trung chủ yếu trong 3 ngày) thì Khu vực trong đê bắt đầu ngập và khi đạt đến trận mưa tháng X/2010 (tần suất xuất hiện $P \approx 1\%$) thì diện tích ngập úng là 19.000 ha và thời gian ngập là 14 ngày. Đã xác định được mức ngập úng của Khu vực trong đê với mưa lớn nội đồng tần suất $P = 10\%$ ($X_P = 687,3$ mm) khi có ảnh hưởng của lũ ở các mức trên sông Cả; Đã xác định được mức gia tăng ngập úng 0,2 m ở TP Vinh và vùng phụ cận khi có mưa lớn nội đồng tần suất $P = 10\%$ với cường độ lớn (mô hình mưa giờ trận mưa tháng X/2019) khi có ảnh hưởng của lũ ở các mức trên sông Cả; Đã xác định được mức gia tăng ngập úng của TP Vinh và vùng phụ cận khi có tổ hợp mưa lớn nội

đồng tần suất $P = 10\%$, xả lũ của hồ chứa ở thượng lưu và nước triều dâng khi hạ du sông Cả lũ ở các mức;

4.5 Những hạn chế của nghiên cứu: Chưa thu thập được số liệu về hệ thống tiêu thoát của nội đô Vinh để mô phỏng chi tiết trong mô hình thủy lực.

KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu chưa thu thập được số liệu về hệ thống tiêu thoát của nội đô Vinh, nên trong Luận án mới chỉ giả định miền nghiên cứu là đồng nhất, chưa mô phỏng được ngập úng chi tiết cho vùng này. Do vậy trong ứng dụng thực tiễn cần chú ý đến yếu tố này.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. **Nguyễn Xuân Tiến**, Lê Hữu Huân, Phan Thị Toàn, Nguyễn Văn Linh (2018), *Xây dựng mô hình mô phỏng lũ và tính toán tối ưu xả lũ cho hệ thống hồ chứa ở vùng sông không ảnh hưởng triều*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 687, tr. 23 - 31.
2. **Nguyễn Xuân Tiến**, Lê Hữu Huân, Trịnh Đăng Ba (2018), *Ứng dụng hệ thống phân tích lũ tích hợp IFAS cảnh báo lũ thượng nguồn sông Nậm Non và Nậm Mộ, tỉnh Nghệ An*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 688, tr. 52 - 58.
3. **Nguyễn Xuân Tiến**, Nguyễn Thanh Sơn, Nguyễn Văn Linh (2020), *Áp dụng mô hình thủy văn, thủy lực mô phỏng ngập lụt hạ du sông Cả*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 710, tr. 1 - 13.
4. **Nguyễn Xuân Tiến**, Nguyễn Thanh Sơn, Nguyễn Văn Linh (2020), *Áp dụng bộ mô hình MIKE đánh giá tác động của hệ thống hồ chứa tới ngập lụt hạ du sông Cả*, Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu số 13 - tháng 3/2020, tr 60 - 67.
5. **Nguyễn Xuân Tiến**, Nguyễn Văn Linh, Phan Thị Toàn, Phạm Trà My (2020), *Áp dụng mô hình thủy văn, thủy lực đánh giá tác động của hồ chứa Bản Vẽ tới ngập lụt hạ du lưu vực sông Lam*, Số 3/2020 - Tạp chí KHCVN Nghệ An, tr 7 - 11.
6. Nguyễn Thanh Sơn, Phan Ngọc Thắng, **Nguyễn Xuân Tiến** (2016), *Phân tích tình hình úng lụt và lũ lụt miền hạ du lưu vực sông Lam*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN. Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 32, Số 3S, 2016167, tr 167 - 174.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Tăng Văn An, Nguyễn Viết Lành (2019), *Nghiên cứu xác định những hình thế thời tiết gây mưa lớn trên địa bàn tỉnh Nghệ An*, Số 1/2019, Tạp chí Khoa học Công nghệ tỉnh Nghệ An.
2. Trần Ngọc Anh (2011), *Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu các sông Bến Hải và Thạch Hãn, tỉnh Quảng Trị*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Tập 27, số 1S, tr. 1-8.
3. Trần Ngọc Anh, Đặng Đình Đức, Đặng Đình Khá, Phạm Thị Ngọc Quỳnh, Hoàng Thái Bình, Đỗ Thị Hoàng Dung, Bùi Minh Sơn, Nguyễn Thanh Sơn (2013), *Xây dựng phương pháp đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng tới công trình hạ tầng kỹ thuật thử nghiệm cho khu vực ven biển tỉnh Khánh Hòa*, Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 29, Số 4 tr. 1-12.
4. Đào Đình Bắc, Đặng Văn Bào, Vũ Văn Phái, Nguyễn Hiệu (2001), *Nghiên cứu các dấu vết của lũ lụt trong địa hình phục vụ cảnh báo tai biến vùng hạ lưu sông Thu Bồn*, Tạp chí Các khoa học về Trái Đất. T.23, No1, tr 76-81.
5. Đặng Văn Bào, Nguyễn Hiệu (2005), *Nghiên cứu địa mạo cho việc giảm thiểu tai biến xói lở – bồi tụ vùng hạ lưu sông Thu Bồn*, Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, T.XXI, No5 PT-2005, tr. 1-10.
6. Đặng Văn Bào, Nguyễn Hiệu (2006), *Một số dạng tai biến thiên nhiên ở Việt Nam và cảnh báo chúng trên cơ sở địa mạo*, Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, T.XXII, No 4 PT-2006, tr. 1223.
7. Vũ Minh Cát và nnk (2008), *Báo cáo Khoa học đề tài NCKH cấp Nhà nước về Hợp tác nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo lũ trung hạn kết nối với công nghệ điều hành hệ thống công trình phòng chống lũ cho đồng bằng sông Hồng – sông Thái Bình*, Trường Đại học Thủy lợi.
8. Lê Xuân Cầu, Nguyễn Văn Chương (2000), *Dự báo lũ sông Cầu, Trà Khúc và sông Vệ bằng mạng thần kinh nhân tạo (ANN)*, Tuyển tập các báo cáo tại hội nghị “Khoa học, công nghệ dự báo và phục vụ dự báo khí tượng thủy văn”. T2. Dự báo thủy văn, Hà Nội, tr. 202-210.
9. Nguyễn Lan Châu (2006). *Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo lũ sông Đà phục vụ điều tiết hồ Hòa Bình trong công tác phòng chống lũ lụt*. Đề tài NCKHCN cấp Bộ.

10. Công ty CP Tư vấn và Xây dựng thủy lợi Nghệ An (2006), *Giải pháp thoát nước, phòng chống ngập úng, lụt cho thành phố Vinh và vùng phụ cận*, Đề tài NCKH tỉnh Nghệ An.
11. Nguyễn Văn Cừ và nnk (1999), *Nghiên cứu hiện trạng, bước đầu xác định nguyên nhân lũ lụt các tỉnh vùng Nam Trung Bộ (từ Đà Nẵng đến Bình Thuận) và đề xuất cơ sở khoa học cho các giải pháp khắc phục*, Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Trung tâm KHTN&CNQG, Hà Nội.
12. Nguyễn Văn Cừ (2000), "*Một số nhận định về trận lũ lụt từ ngày 1-6/11/1999 vùng Trung Bộ và kiến nghị một số biện pháp cấp bách khắc phục sau lũ lụt*" *Tuyển tập các báo cáo tại hội nghị "Khoa học, công nghệ dự báo và phục vụ dự báo khí tượng thủy văn"*. T.2. Dự báo thủy văn, Hà Nội, tr. 163-167.
13. Lương Hữu Dũng (2018). *Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo tài nguyên nước mặt phục vụ lập kế hoạch sử dụng nước cho lưu vực sông Ba và sông Kôn ở Nam Trung Bộ và Tây Nguyên*. Đề tài KHCN cấp Bộ.
14. Nguyễn Hiệu, Đặng Văn Bào (2006), "*Cảnh báo tai biến lũ lụt trên lưu vực sông Ngọn Thu Bồn trên cơ sở ứng dụng GIS và nghiên cứu địa mạo*". Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, T.XXII, số 4PT – 2006, Hà Nội. tr 77-86.
15. Đào Xuân Học (2009), *Nguyên nhân và các giải pháp chống úng lụt ở TP Hồ Chí Minh*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, S. 24 (2009)
16. Hội Thủy lợi Nghệ An (2010), *65 năm thủy lợi Nghệ An*, Nhà xuất bản Nghệ An.
17. <http://dmc.gov.vn/kien-thuc-co-ban/ngap-lut-pt32.html?lang=vi-VN> - Trung tâm Chính sách và Kỹ thuật phòng chống thiên tai.
18. <http://dwrn.gov.vn/index.php/vi/news/Tai-nguyen-nuoc/Lu-lut-va-cach-phong-tranh> - Cục Quản lý Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên Môi trường.
19. http://www.africa.upenn.edu/Hornet/irin_11251197.html
20. <http://www.kttvqg.gov.vn/pho-bien-kien-thuc-125/cau-87--ung-la-gi-752.html> - Tổng cục Khí tượng Thủy văn.
21. <https://baotainguyenmoitruong.vn/lu-lut-o-phia-nam-chau-phi-lam-hon-700-nguoi-chet-289088.html>
22. https://dantri.com.vn/the-gioi/covid-19-vua-lang-trung-quoc-vat-lon-voi-mua-lu-bat-thuong-20200715095215842.htm#utm_source=Home&utm_campaign=MainList&utm_medium=2
23. https://en.wikipedia.org/wiki/2011_Thailand_floods

24. https://vi.wikipedia.org/wiki/L%C5%A9_l%E1%BB%A5t_mi%E1%BB%81n_Trung_Vi%E1%BB%87t_Nam_th%C3%A1ng_11_n%C4%83m_1999
25. https://vi.wikipedia.org/wiki/Tr%E1%BA%ADn_l%E1%BB%A5t_%C4%91%E1%BB%93ng_b%E1%BA%B1ng_s%C3%B4ng_H%E1%BB%93ng_n%C4%83m_1971
26. <https://www.australiangeographic.com.au/topics/history-culture/2012/03/floods-10-of-the-deadliest-in-australian-history/>
27. <https://www.thiennhien81.net/2017/08/18/nhung-tran-lut-kinh-khung-nhat-o-chau-phi-trong-20-nam/>
28. Lê Hùng (2013), Tô Thúy Nga (2013), *Áp dụng mô hình HEC-RESSIM mô phỏng hệ thống hồ chứa thủy điện trên lưu vực Vu Gia – Thu Bồn*. http://qnausta.com.vn/index.php?option=com_content&view=article&id=153%3Aap-dung-mo-hinh-hec-ressim-mo-phong-he-thong-ho-chua-tren-luu-vuc-song-vu-gia-thu-bon&catid=17%3Akhoa-hoc-ky-thuat&Itemid=27&lang=vi
29. Nguyễn Mạnh Hùng (2013). *Nghiên cứu và đề xuất giải pháp ứng phó với tác động của biến đổi khí hậu đối với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội ở tỉnh Nghệ An*. Đề tài NCKH tỉnh Nghệ An.
30. Trần Thiết Hùng, Trần Ngọc Vĩnh, Nguyễn Việt, Nguyễn Tiền Giang (2015), *Đề xuất phương pháp lựa chọn hệ thống hồ chứa trong mô phỏng ảnh hưởng của các công trình thủy điện, thủy lợi tới lũ lụt hạ du các lưu vực sông Miền Trung*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Tập 31, Số 1S tr. 112 – 118.
31. Nguyễn Thị Thảo Hương (2011), *Nghiên cứu quy hoạch phòng chống và tiêu thoát lũ sông Trà Khúc và sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi*, Đề tài NCKH - Mã số: 12/2008/HĐ-ĐTĐTCB.
32. Nguyễn Hữu Khải, Lê Xuân Cầu (2000), *Ứng dụng mô hình mạng thần kinh nhân tạo (ANN) trong mô phỏng và dự báo lũ quét*, Tuyển tập các báo cáo tại hội nghị “Khoa học, công nghệ dự báo và phục vụ dự báo khí tượng thủy văn”. T2. Dự báo thủy văn, Hà Nội, tr. 222-229.
33. Nguyễn Hữu Khải (2003), *Nghiên cứu khả năng ứng dụng mô hình ANN và HEC-RAS vào dự báo lũ sông Cả*, Tạp chí KTTV số 9(513), trang 16-23. Hà Nội, Việt Nam.

34. Nguyễn Hữu Khải, Lê Thị Huệ (2011). *Mô phỏng vận hành liên hồ chứa sông Ba mùa lũ bằng mô hình HEC-RESSIM*. Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ 27, Số 3S (2011) 32-38.
35. Trần Duy Kiều (2012), *Nghiên cứu quản lý lũ lớn lưu vực sông Lam*, Luận án Tiến sĩ.
36. Bùi Đình Lập (2016). *Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa trên hệ thống sông Hồng*. Đề tài KHCN cấp Bộ.
37. Bùi Đức Long, Đặng Thanh Mai (2000), *Đặc điểm mưa lũ lịch sử đầu tháng 11 và đầu tháng 12 năm 1999 ở Miền Trung*, Tuyển tập các báo cáo tại hội nghị “Khoa học, công nghệ dự báo và phục vụ dự báo khí tượng thủy văn”. T.2. Dự báo thủy văn, Hà Nội, tr. 152-161.
38. Bùi Đức Long (2001). *Mô hình tính toán và dự báo dòng chảy lũ các sông chính ở Quảng Ngãi*. Tạp chí KTTV, tháng 11 - 2001, Hà Nội.
39. Bùi Đức Long (2003), *Mô hình tính toán và dự báo dòng chảy lũ sông Cả - Nam Đàn*, Tuyển tập báo cáo Hội thảo Khoa học lần thứ 8, T. II, Thủy văn - Môi trường, Viện Khí tượng Thủy văn, Tháng 12-2003, tr 142-150.
40. Vũ Đức Long, Trần Ngọc Anh, Hoàng Thái Bình và Đặng Đình Khá (2010), *Giới thiệu công nghệ dự báo lũ hệ thống sông Bến Hải và Thạch Hãn sử dụng mô hình MIKE 11*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Tập 26, số 3S, 397
41. Hoàng Thị Nguyệt Minh (2014), *Nghiên cứu cơ sở khoa học và đề xuất giải pháp tiêu úng, thoát lũ sông Phan – Cà Lồ*, Luận án tiến sĩ.
42. Lê Văn Nghinh, Hoàng Thanh Tùng (2007), *Ứng dụng mô hình toán trong nghiên cứu dự báo, cảnh báo lũ và ngập lụt vùng đồng bằng các sông lớn ở miền trung*, Trang thông tin điện tử Hội đập lớn Việt Nam.
43. Niên giám thống kê Nghệ An năm 2018. Nhà xuất bản Nghệ An.
44. Trịnh Thu Phương (2017). *Nghiên cứu xây dựng công nghệ nhận định lũ lớn và dòng chảy mùa cạn trên lưu vực sông Hồng nhằm nâng cao hiệu quả vận hành liên hồ chứa*. Đề tài KHCN cấp Bộ.
45. Trịnh Thu Phương, Lương Hữu Dũng, Lê Tuấn Nghĩa, Trần Đức Thiện (2017), *Tác động của hệ thống hồ chứa lớn đến dòng chảy trên hệ thống sông Hồng*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam, số 18(7), tháng 7/2017.
46. Quy định mực nước ứng với các cấp báo động lũ trên các sông thuộc phạm vi cả nước. Quyết định 05/2020/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ, ngày 31/01/2020.125

47. Quy định về dự báo, cảnh báo và truyền tin thiên tai. Quyết định số 03/2020/QĐ-TTg, ngày 13/01/2020 của Thủ tướng Chính phủ.
48. Nguyễn Bá Quỳnh (2010), *Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến các thiên tai liên quan đến dòng chảy (lũ lụt, khô hạn) tỉnh Quảng Nam, Việt Nam*, Dự án P1-08-VIE, chuyên đề 5.
49. Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Cả. Quyết định số 1605/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ, ngày 13 tháng 11 năm 2019.124
50. Quyết định số 543/QĐ-UBND ngày 27/02/2020 của UBND tỉnh Nghệ An, về việc Công bố số liệu hiện trạng rừng năm 2019.
51. Lê Sâm (2010). *Nghiên cứu đề xuất các giải pháp chống ngập cho thành phố Hồ Chí Minh*. Đề tài NCKH.
52. Nguyễn Thanh Sơn (2006), *Áp dụng mô hình 1DKWM – FEM & SCS đánh giá tác động của quá trình đô thị hóa đến dòng chảy lũ trên một số sông ngòi Miền Trung*, Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, T.XXII, số 2B PT – 2006, tr. 149-157, Hà Nội
53. Nguyễn Thanh Sơn (2006), *Thực nghiệm số công thức tính thấm trong phương pháp SCS cho lưu vực sông Vệ trạm An Chỉ*, Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, T. XXII. No1PT-2006 tr. 20-26.
54. Nguyễn Thanh Sơn, Trần Ngọc Anh, Đặng Đình Khả, Nguyễn Xuân Tiến, Lê Việt Thìn (2014), *Thử nghiệm đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến ngập lụt khu vực hạ lưu sông Lam*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 645, tr. 13 – 20
55. Nguyễn Thanh Sơn (2015), *Đánh giá mức độ tổn thương về kinh tế - xã hội do lũ lụt trên một số lưu vực sông chính ở miền Trung trong bối cảnh biến đổi khí hậu và khai thác công trình thủy điện, thủy lợi*, Chương trình kh&cn trọng điểm cấp Nhà nước “Khoa học và công nghệ phục vụ Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu”. Mã số: KHCN-BĐKH/11-15
56. Phan Văn Tân và nnk (2011), *Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến các yếu tố và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam, khả năng dự báo và giải pháp chiến lược ứng phó*, Báo cáo tổng kết đề tài KC08.29/06-10. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên.
57. Trần Hồng Thái, Hoàng Minh Tuyên, Lương Hữu Dũng, Châu Trần Vĩnh (2014), *Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước và ngập lụt vùng đồng bằng sông Cửu Long*, Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ.
58. Nguyễn Văn Thắng, Nguyễn Trọng Hiệu, Trần Thục (2012), *Biến đổi khí hậu và tác động ở Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.

59. Chu Quang Thành (2013), *Quy hoạch tiêu vùng Nam – Hưng – Nghi và Thành phố Vinh, tỉnh Nghệ An đến năm 2020, tầm nhìn 2050*, Dự án tỉnh Nghệ An.
60. Nguyễn Viết Thi (2003), "Các hình thể thời tiết chính gây mưa sinh lũ lớn trên các sông Miền Trung", Tuyển tập báo cáo Hội thảo Khoa học lần thứ 8, T. II, Thủy văn - Môi trường, Viện Khí tượng Thủy văn, Tháng 12-2003, tr 194-201.
61. Lê Thị Kim Thoa (2014), *Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS kết hợp mô hình thủy văn, thủy lực thành lập bản đồ nguy cơ ngập lụt ở Nghệ An*, Dự án tỉnh Nghệ An.
62. Mai Trọng Thông (2010), *Đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến điều kiện tự nhiên, môi trường và phát triển kinh tế - xã hội ở Trung Trung Bộ Việt Nam*, Dự án Danida.
63. Trần Thục, Lê Đình Thành, Đặng Thu Hiền (2000), *Ứng dụng mô hình mạng thần kinh nhân tạo để tính toán và dự báo dòng chảy cho một số lưu vực điển hình ở Việt Nam*, Tuyển tập các báo cáo tại hội nghị “Khoa học, công nghệ dự báo và phục vụ dự báo khí tượng thủy văn”. T.2. Dự báo thủy văn, Hà Nội, tr. 196-201.
64. Trần Thục và nnk (2005). *Xây dựng công nghệ tính toán dự báo lũ lớn trên hệ thống sông Hồng-Thái Bình*. Đề tài NCKH cấp Bộ.
65. Trần Thục, Koos Neefjes (2015), *Báo cáo đặc biệt của Việt Nam về quản lý rủi ro thiên tai và các hiện tượng cực đoan nhằm thúc đẩy thích ứng với biến đổi khí hậu*, Nhà xuất bản Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam.
66. Nguyễn Xuân Tiến, Lê Hữu Huân, Trịnh Đăng Ba, Nguyễn Văn Linh (2016). *Ứng dụng hệ thống phân tích lũ tích hợp IFAS cảnh báo lũ thượng nguồn sông Nậm Non và Nậm Mộ, tỉnh Nghệ An*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 672, tr. 52-57.
67. Nguyễn Xuân Tiến, Lê Hữu Huân, Phan Thị Toàn, Nguyễn Văn Linh (2018), *Xây dựng mô hình mô phỏng lũ và tính toán tối ưu xả lũ cho hệ thống hồ chứa ở vùng sông không ảnh hưởng triều*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 687, tr. 23-31.
68. Nguyễn Xuân Tiến, Nguyễn Văn Linh, Nguyễn Thị Toàn, Phạm Trà My (2020), *Áp dụng mô hình thủy văn, thủy lực đánh giá tác động của hồ chứa Bản Vẽ tới ngập lụt hạ du lưu vực sông Lam*, Số 3/2020 - Tạp chí KHCN Nghệ An.
69. Tổ chức JICA (2014), *Xây dựng xã hội thích ứng với thiên tai giai đoạn 2 - tỉnh Nghệ An*, Dự án tỉnh Nghệ An.

70. Phạm Thị Huyền Trang, Trương Văn Tuấn (2016), *Lũ lụt ở đồng bằng sông Cửu Long: nguyên nhân và giải pháp*, Số 3 (81) năm 2016, Tạp chí Khoa học Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh.
71. Trung tâm kỹ thuật và phòng chống thiên tai: <http://dmc.gov.vn/kien-thuc-co-ban/lu-pt32.html?lang=vi-VN>
72. Trung tâm Thủy văn ứng dụng và Kỹ thuật môi trường thuộc Trường Đại học Thủy lợi (2003), *Khảo sát, điều tra, tính toán hoàn nguyên lũ 1978 với thực trạng sông Cả như hiện nay*, Dự án tỉnh Nghệ An.
73. Hoàng Thanh Tùng, Vũ Minh Cát, Roberto Ranzi, Trương Tùng Hoa (2008). *Nghiên cứu dự báo lũ trung hạn lưu vực sông Cả*.
74. Hoàng Thanh Tùng (2011), *Nghiên cứu dự báo mưa, lũ trung hạn cho vận hành hệ thống hồ chứa phòng lũ - ứng dụng cho lưu vực sông Cả*, Luận án tiến sĩ.
75. Nguyễn Xuân Tùng, Trần Văn Trị (đồng chủ biên), 1992. *Thành hệ địa chất và địa động lực Việt Nam*. Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
76. Ủy ban nhân dân tỉnh Nghệ An (2017), *Báo cáo thuyết minh tổng hợp điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020 và kế hoạch sử dụng đất kỳ cuối (2016-2020) - Tỉnh Nghệ An*.
77. Nguyễn Khánh Vân, Đỗ Lê Thủy, Trần Anh Đức (2013), *Nguyên nhân và quy luật của thời tiết mưa lớn khu vực đèo Hải Vân - đèo Cả, vùng Nam Trung Bộ (giai đoạn 1986 - 2010)*, Số 35, Tạp chí Các khoa học về trái đất.
78. Viện Quy hoạch Thủy lợi thuộc Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2004). *Quy hoạch tổng hợp nguồn nước sông Cả*, Dự án tỉnh Nghệ An.
79. Trần Thanh Xuân, Hoàng Minh Tuyên (2000), *Tính toán lũ sông Tả Trạch từ mưa theo mô hình TANK*, Tuyển tập các báo cáo tại hội nghị “Khoa học, công nghệ dự báo và phục vụ dự báo khí tượng thủy văn”. T2. Dự báo thủy văn, Hà Nội, tr. 172-176.
80. Võ Thị Thanh Xuân (2005), *Nghiên cứu một số giải pháp hoàn thiện quy hoạch thoát nước và xử lý nước thải lưu vực sông Tô Lịch – Thành phố Hà Nội*, Luận án tiến sĩ.

Tiếng Anh

81. A. Pathirama, S. Tsegaye, B. Gersonius, K. Vairavamoorthy (2011). *A simple 2-D inundation model for incorporating flood damage in urban planning*. Hydrology and Earth System Science.
82. Anujit Vansarochana, Aekkapol Aekakkarakarungroj, Rattana Hormwichian, Thanapon Piman, Chalermchai Pawattana (2016), *analysis of historical changes*

- in rainfall in huai luang watershed, thailand*, International Journal of Technology (2016) 7: 1155-1162.
83. Chris Courtney (2019), *The Nature of Disaster in China: The 1931 Yangzi River Flood (Studies in Environment and History)*, Hardcover – March 6, 2019
 84. Denmark Hydraulic Institute (2007), MIKE 11 User Guide.
 85. Denmark Hydraulic Institute (2007), MIKE 21 User Guide.
 86. Denmark Hydraulic Institute (2007), MIKE FLOOD User Guide.
 87. DHI Water & Environment: MIKE 11-A Modelling System for Rivers and Channels. Reference Manual, 2000.
 88. E. O'Connor, John E. Costa (2004), *The World's Largest Floods, Past and Present: Their Causes and Magnitudes*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
 89. Fatemeh Geravand, Seiyed Mossa Hosseinia, Behzad Ataie-Ashtiani (2020), *Influence of River Cross-Section Data Resolution on Flood Inundation Modeling: Case Study of Kashkan River Basin in Western Iran*, Journal of Hydrology, S0022-1694(20)30203-1.
 90. History: Mightiest Floods of the Mississippi River, <https://www.climatesignals.org/resources/history-mightiest-floods-mississippi-river>
 91. Ho Thi Phuong, Nguyen Xuan Tien, Hidetaka Chikamori, Kenji Okubo (2017). *A hydrological tank model assessing historical runoff variation in the Hieu river basin*. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, Vol. 15, No. 1 (2018), pp. 75-86.
 92. https://en.wikipedia.org/wiki/1887_Yellow_River_flood:
 93. https://en.wikipedia.org/wiki/1954_Yangtze_floods
 94. Jonkman, S.N. (2005). *Global Perspectives of Loss of Human Life Caused by Floods*. Natural Hazards, vol. 34, no. 2, pp. 151-175.
 95. Kumar, D. N and Reddy, M, J (2007). *Multipurpose Reservoir Operation Using Particle Swarm Optimization*. Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 133, No. 3, May 1, 2007.
 96. L. Liu, Y. Liu, X. Wang, D. Yu, K. Liu, H. Huang, and G. Hu (2015). *Developing an effective 2-D urban flood inundation model for city emergency management based on cellular automata*. Natural Hazard And Earth System Science.
 97. Long, N.L, Madsen, H., and Rosbjerg, D. 2007. *Simulation and optimisation modelling approach for operation of the Hoa Binh reservoir, Vietnam*. Journal of Hydrology (2007) Volume 336, Pages 269-281.
 98. M.R. Knebl, Z.-L. Yanga, K. Hutchisonb, D.R. Maidment (2005). *Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case*

- study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event*. Journal of Environmental Management.
99. Nathalie Asselman, Paul Bates, Tim Fewtrell, Sandra Soares-Frazão, Yves Zech, Mirjana Velickovic, Anneloes de Wit, Judith ter Maat, Govert Verhoeven (2009). *Flood Inundation Modelling*.
 100. Nguyen Mai Dang (2010). *Intergrated flood risk assessment for the Day river flood diversion area in the Red river, Vietnam*. PhD dissertation of engineering in water engineering and management. AIT 2010.
 101. Nguyen Thanh Son, Tran Ngoc Anh (2003), "On the sedimentation and erosion Huong river segment crossing over Hue city" Journal of Science VNU. Natural sciences and technology, T.XIX, No1-2003, p. 82-89, Hanoi
 102. Rudolf brázdil, Zbigniew w. Kundzewicz, Gerardo Benito, Gaston Demarée, Neil Macdonald & Lars a. Roald (2012), *Historical Floods in Europe in the Past Millennium*. https://www.researchgate.net/profile/Gerardo_Benito/publication/283600391_Historical_Floods_in_Europe_in_the_Past_Millennium/links/56b336ff08ae56d7b06e35d5.pdf
 103. Tran Hong Thai (2005). *Numerical Methods for Parameter Estimation and Optimal Control of the Red River Network*. PhD thesis, Heidelberg University.
 104. Wei, C. C. and Hsu, N. S (2009). *Optimal tree-based release rules for real-time flood control operations on a multipurpose multireservoir system*. Journal of Hydrology Volume 365 (2009), Pages 213–224.
 105. Yung-Chia Hsua, Geert Prinsenb, Laurene Bouazizb, Yi-Jun Lina, Ruben Dahm, *An Investigation of DEM Resolution Influence on Flood Inundation Simulation*, Procedia Engineering 154 (2016) 826 – 834.
 106. Zhifeng Li, Lixin Wu, Wei Zhu, Miaole Hou, Yizhou Yang and Jianchun Zheng (2014). *A New Method for Urban Storm Flood Inundation Simulation with Fine CD-TIN Surface*. Journal of Water.

PHẦN PHỤ LỤC

Bảng 1: Thống kê hồ chứa vừa và nhỏ trên lưu vực sông Cả

TT	Tên hồ chứa chứa	Địa điểm	F lv (km ²)	Wtrữ 10 ⁶ m ³
Trên địa bàn tỉnh Nghệ An				
1	Khe Đá	Nghĩa Đức, Huyện Tân Kỳ	50.0	16.6
2	Tràng Đen	Nam Hưng, Huyện Nam Đàn	4.50	3.82
3	Khe Gõ	Nghi Lâm, Huyện Nghi Lộc	8.60	5.44
4	Khe Xiêm	Nghi Đồng, Huyện Nghi Lộc	8.90	3.27
5	Bàu Đá	Trù Sơn, Huyện Đô Lương	8.10	5.5
6	Khe Canh	Nghĩa Yên, Huyện Nghĩa Đàn	16.0	4.20
7	Hũn Mót	Nghĩa Lộc, Huyện Nghĩa Đàn	4.00	3.08
8	Bản Muộng	Châu Thái, Huyện Quỳnh Hợp	25.0	3.14
9	Cửa Ông	Thanh Mai, Huyện Thanh Chương	34.0	6.02
10	Cửa Ông	Nam Nghĩa, Huyện Nam Đàn	3.35	2.08
11	Hồ Thành	Nam Kim, Huyện Nam Đàn	2.80	1.34
12	Thạch Tiền	Hưng Yên, Huyện Hưng Nguyên	3.70	2.14
13	Khe Làng	Nghi Kiều, Huyện Nghi Lộc	6.50	2.95
14	Lách Bưởi	Nghi Văn, Huyện Nghi Lộc	4.73	2.06
15	Khe Thị	Nghi Công, Huyện Nghi Lộc	5.90	2.50
16	Nghi Công	Nghi Công, Huyện Nghi Lộc	11.6	2.40
17	Khe Quánh	Nghi Yên, Huyện Nghi Lộc	3.30	1.40
18	Khe Nu	Nghi Kiều, Huyện Nghi Lộc	8.60	2.40
19	Đường Trẽ	Nghi Kiều, Huyện Nghi Lộc	4.00	1.40
20	Vĩnh Giang	Giang Sơn, Huyện Đô Lương	3.00	1.40
21	Đồng Thiêng	Giang Sơn, Huyện Đô Lương	1.60	1.00
22	Đá Bàn	Bãi Sơn, Huyện Đô Lương	1.70	1.05
23	Khe Ngầu	Lam Sơn, Huyện Đô Lương	1.70	1.00
24	Khe Lau	Nghĩa Thuận, Huyện Nghĩa Đàn	4.00	1.90
25	Đồng Lèn	Nghĩa Hội, Huyện Nghĩa Đàn	1.69	1.11
26	Đội Cung	Kỳ Sơn, Huyện Tân Kỳ	3.50	1.37
27	Khe Mai	Nghĩa Thái, Huyện Tân Kỳ	10.0	1.20
28	Khe Sắn	Phúc Sơn, Huyện Tân Kỳ	2.50	1.10
29	Sông Rộ	Võ Liệt, Huyện Thanh Chương	4.50	1.93
30	Cầu Cau	Thanh An, Huyện Thanh Chương	15.2	1.33
31	Mụ Sĩ	Thanh Xuân, Huyện Thanh Chương	5.30	1.07
32	Cao Cang	Phúc Sơn, Huyện Anh Sơn	15.0	1.54

33	Đồng Quan	Lạng Sơn, Huyện Anh Sơn	9.27	1.75
34	Khe Chung	Tào Sơn, Huyện Anh Sơn	6.40	2.37
35	Khe Nậy	Đức Sơn, Huyện Anh Sơn	8.50	1.07
36	Ruộng Xối	Vĩnh Sơn, Huyện Anh Sơn	8.80	2.24
37	Ba Cơi	Long Sơn, Huyện Anh Sơn	9.40	2.26
38	Thanh Thủy	Nam Thanh, Huyện Nam Đàn	1.80	0.92
39	Cồn Trít	Nam Thanh, Huyện Nam Đàn	2.50	0.75
40	Hùng Cốc	Nam Thanh, Huyện Nam Đàn	3.00	0.53
41	Đá Hàn	Nam Thanh, Huyện Nam Đàn	5.60	0.85
42	Hùng Vượn	Nam Anh, Huyện Nam Đàn	1.00	0.83
43	Khe Mài	Giang Sơn, Huyện Đô Lương	2.00	0.90
44	Quán Đồn	Đại Sơn, Huyện Đô Lương	1.40	0.94
45	Bàu Tròng	Đại Sơn, Huyện Đô Lương	1.20	0.62
46	Khe Chuối	Đại Sơn, Huyện Đô Lương	1.20	0.57
47	Cho rau	Đại Sơn, Huyện Đô Lương	0.60	0.60
48	Năm Khe	Bãi Sơn, Huyện Đô Lương	1.20	0.73
49	Bàu Nại	Mỹ Sơn, Huyện Đô Lương	1.40	0.60
50	Ba Thi	Hiếu Sơn, Huyện Đô Lương	1.60	0.57
51	Khe Du	Hoà Sơn, Huyện Đô Lương	1.20	0.51
52	Bà Đạo	Đông Sơn, Huyện Đô Lương	1.40	0.76
53	Đồng Hồ	Thượng Sơn, Huyện Đô Lương	2.30	0.90
54	Long Thái	Thái Sơn, Huyện Đô Lương	1.50	0.80
55	Yên Trạch	Thái Sơn, Huyện Đô Lương	1.55	0.90
56	Văn Sơn	Quang Sơn, Huyện Đô Lương	1.20	0.51
57	Chợ mai	Nam Sơn, Huyện Đô Lương	2.10	0.90
58	Khe Bứa	Lưu Sơn, Huyện Đô Lương	1.50	0.50
59	Yên Thế	Thịnh Sơn, Huyện Đô Lương	0.70	0.55
60	Khe Dứa	Nghĩa Thuận, Huyện Nghĩa Đàn	3.00	0.70
61	Đồng Diệc	Nghĩa Lộc, Huyện Nghĩa Đàn	2.00	0.55
62	Khe Bưởi	Nghĩa Hoà, Huyện Nghĩa Đàn	1.95	0.53
63	Đồng sàng	Nghĩa Hội, Huyện Nghĩa Đàn	1.75	0.68
64	Làng Sinh	Nghĩa Thắng, Huyện Nghĩa Đàn	1.00	0.50
65	Hòn Sường I	Nghĩa Hoà, Huyện Nghĩa Đàn	3.00	0.53
66	Tân Thắng	Đồng Hợp, Huyện Quỳnh Hợp	2.70	0.50
67	Hai Khe	Châu Đình, Huyện Quỳnh Hợp	8.0	0.60
68	Bản Bang	Đồng Hợp, Huyện Quỳnh Hợp	2.50	0.51
69	Thung Mây	Thị Trấn, Huyện Quỳnh Hợp	6.00	0.50

70	Đồng Kho	Đồng Văn, Huyện Tân Kỳ	2.60	0.61
71	Bãi Quyền	Nghĩa Phúc, Huyện Tân Kỳ	2.75	0.76
72	Đồng Cạn	Tiên Kỳ, Huyện Tân Kỳ	2.50	0.52
73	Khe Niết	Nghĩa Dũng, Huyện Tân Kỳ	5.00	0.93
74	Đồ Sam	Nghĩa Dũng, Huyện Tân Kỳ	4.40	0.71
75	Cừa	Nghĩa Hoàn, Huyện Tân Kỳ	9.50	0.67
76	Mai Tân	Nghĩa Hoàn, Huyện Tân Kỳ	6.00	0.60
77	NT 3/2	Tân An, Huyện Tân Kỳ	1.50	0.76
78	Xuân Dương	Tân Xuân, Huyện Tân Kỳ	13.0	0.57
79	Khe Vành	Hương Sơn, Huyện Tân Kỳ	6.00	0.78
80	Lại Lò	Thanh Thủy, Huyện Thanh Chương	23.6	0.51
81	Bãi Chạc	Thanh Lâm, Huyện Thanh Chương	0.60	0.90
82	Trảng Khôn	Thanh Xuân, Huyện Thanh Chương	3.00	0.50
83	Cao Điền	Thanh Liên, Huyện Thanh Chương	2.90	0.86
84	Lãi Chúc	Thanh Tùng, Huyện Thanh Chương	1.20	0.74
Trên địa bàn tỉnh Hà Tĩnh				
1	Hồ Bình Hà	Đức Dũng - Đức thọ	9.5	8.5
2	Hồ Khe Cò	Sơn Tiến Hương Sơn	6.5	
3	Hồ Họ	Hương Long H, Khê	3.0	1.6
4	Hồ Khe Dài	Gia Phó H, Khê	1.2	1.26
5	Hồ Khe Trời	Phúc Trạch H, Khê	1.8	1.37
6	Hồ Khe Song	Phúc Trạch H, Khê	1.2	1.1
7	Hồ Làng	Hương Thủy H, Khê	2.0	2.8
8	Hồ Khe Con	Hương giang H, Khê	9.6	1.68
9	Hồ Họ Võ	Hương Giang H, Khê	9.2	1.59
10	Hồ Nước Vàng	Hương Liên-H.Khê	1.3	1.3
11	Khe Ruông	Hương Đô H.Khê	2.5	1.2
12	Hồ Nhà Lào	Phú Phong-H.Khê	1.3	1.2
13	Hồ Khe Cò	Sơn Tiến Hương Sơn	6.5	3.4
14	Hồ Vực Ròng	Sơn Tiến Hương Sơn	1.3	1.7
15	Hồ Cao Thắng	Sơn Giang H, Sơn	6.0	1.7
16	Hồ Cây Trường	Sơn Diệm H, Sơn	1.8	2.31
17	Hồ Khe Dẽ	Sơn Mai Hương Sơn	2.5	1.4
18	Hồ Khe Sanh	Sơn Mai Hương Sơn	2.0	1.0
19	Hồ Bãi Sậy	Sơn Trường Hương Sơn	1.8	1.2
20	Hồ Xài Phố	Sơn Lĩnh Hương Sơn	6.0	1.2
21	Hồ Liên Hoàn	Sơn Thủy Hương Sơn	2.2	1.0

22	Hồ Áng	Ân Phú Vũ Quang	0.25	1.2
23	Đập Bướm	Hương Thọ Vũ Quang	4.5	1.0
24	Hồ Trầm	Đức Bồng Vũ Quang	2.38	1.4
25	Hồ Khe Công	Hương Thọ Vũ Quang	1.5	1.2
26	Hồ Bộng Bồng	Hương Thọ Vũ Quang	1.5	1.6
27	Hồ Phượng Thành	Đức Long Đức Thọ	1.2	1.2

Bảng 2: Thống kê lượng mưa trung bình các lưu vực sông cả và mực nước lớn nhất tại trạm TV Chợ Trảng

TT		Lượng mưa trung bình	Hmax
----	--	----------------------	------

	Ngày Bắt đầu	Toàn lưu vực thuộc VN	Hiếu	HaTrung Cả	La	Thượng nguồn	Chợ Trảng
1	15/08/1970	275.3	235.8	333.6	435	212.7	274
2	25/09/1970	208.6	236.2	298.4	313.1	100.4	304
3	05/10/1970	180.4	167.5	309	295.3	87.2	324
4	11/07/1971	350.9	390.8	365.1	372.2	307.4	342
5	23/10/1971	274.3	252.3	427.5	338.8	210	436
6	01/10/1972	130.1	131.8	163.9	213.6	78	304
7	30/08/1972	333.4	279.9	368.3	612.4	237.6	444
8	03/07/1973	269.7	253.6	335	394	201.4	262
9	26/08/1973	262.1	324.6	232.4	238.6	232.8	379
10	14/09/1973	237.2	221.9	341.4	268.7	197.9	430
11	03/10/1974	153.7	113.2	186	358.2	76.6	254
12	13/08/1974	288.3	293.8	332.5	426.6	205.7	294
13	01/11/1974	102.4	69.7	105.4	146.9	112.3	336
14	23/08/1975	220.3	253.7	203.5	196.1	213.2	261
15	14/09/1975	179.8	210.8	172.6	141	181.1	295
16	24/10/1976	264.9	146.6	476.3	582.9	127.9	348
17	08/08/1978	214	212.6	208.7	268.5	196.9	287
18	25/09/1978	814.2	646.2	1434.4	1196.7	535.1	808
19	16/09/1979	283.3	246.1	330.8	665.7	112.1	331
20	04/08/1979	259.9	195.8	369.6	455	179.3	436
21	02/10/1980	220.3	324.1	192.5	244.2	133	328
22	13/09/1981	167.1	75.3	184	545.5	55.8	242
23	10/10/1981	179.6	152.8	233.6	316.8	116.8	346
24	16/10/1982	159.3	187.2	223.9	179.6	102.9	299
25	02/09/1982	276.6	322.1	300.5	256.8	249	315
26	05/10/1983	301.9	264	375.2	613.9	159.4	518
27	08/09/1985	325.7	361.9	427.9	429.9	207.2	256
28	10/10/1985	128.2	136.6	144.6	201.7	80.9	279
29	18/10/1986	273.3	350.7	375.8	277.1	169.5	356
30	18/08/1987	198.9	226.3	222.8	186.9	176.5	321
31	10/10/1988	673.1	510.7	894.6	908.4	623.8	666

32	19/08/1989	187.4	160.2	230.6	227.8	177.4	225
33	03/09/1989	171.5	124.3	224.6	234.5	166.4	261
34	19/07/1989	223.7	256.8	228.1	382.9	117.2	294
35	09/10/1989	281.6	197.2	356.5	643.2	153	423
36	18/07/1990	234.9	195.9	250.1	366.1	209.4	251
37	22/08/1990	259.9	270.7	263.7	324.4	227.2	316
38	01/10/1990	285.3	353.1	223	441.2	185.7	411
39	16/10/1991	215.5	116.3	388.3	403.5	143.2	290
40	15/08/1991	290.3	339.8	292.8	290.6	253.5	306
41	15/09/1992	196.7	187	259.7	315.9	124.9	246
42	04/10/1992	217.2	118.4	302.1	625.3	69.9	330
43	24/07/1994	202.8	226.4	255.7	157.9	187.6	266
44	11/09/1994	188.9	223.6	244.6	217	125.7	307
45	02/10/1995	147	74.7	163	434.5	61	251
46	07/09/1995	206.5	218.1	265	264.1	150	296
47	30/10/1996	228.3	243.3	194.6	376	167.7	349
48	20/09/1996	279.1	257.1	366.7	546.4	142.8	488
49	10/10/1999	199.1	213.6	308.4	236.4	128.1	252
50	18/10/2001	293.1	225.6	424.7	465.5	219.4	390
51	13/09/2002	317.2	234.7	384.5	664.9	201.5	545
52	04/09/2003	327.3	434.3	419.2	369.2	185.8	292
53	06/08/2005	226.2	294.9	222.3	96.9	237.5	276
54	24/09/2005	120.6	130.7	128.8	119.7	109.9	325
55	13/09/2005	263.8	213.8	301.9	452.1	206	356
56	24/09/2006	418.2	361.4	676.1	688.6	235.6	462
57	01/08/2007	202.7	129.8	226.7	593.1	66.7	268
58	03/10/2007	493.1	499.8	592.1	776.3	315	403
59	22/10/2008	434.7	468.8	602.1	676.9	223	418
60	22/09/2009	394.5	406.2	488	612.9	245.2	359
61	28/09/2010	184.7	104.9	217.9	544.8	66.9	242
62	10/10/2010	400.5	281.2	473.8	927.1	225.3	496
63	10/10/2011	111.1	73.1	99.6	292.2	62.1	255
64	08/09/2011	388.1	430.5	388.3	369.7	374.3	327
65	30/08/2012	332.9	347.2	492.1	344.4	258.3	314

66	23/09/2013	239.8	236	266.7	368.8	175.7	309
67	15/09/2013	215.4	233.5	327.9	256.5	143.8	358
68	12/10/2013	239.7	177.8	331.2	502.6	132.3	417
69	12/09/2015	256.3	209.7	306.8	520.7	150.9	222
70	09/09/2016	252.3	238.4	337.7	306.7	208.9	250
71	10/10/2016	217.7	119.3	314.7	559.3	100.8	349
72	10/09/2017	191.7	195.6	176.1	281.3	153.8	270
73	01/10/2017	374.9	349.9	467.7	621.2	245.9	349
74	10/08/2018	203	283.3	163.8	71.9	220.1	250
75	01/09/2019	179	40.8	211.4	683	40.9	209

Bảng 3: Thống kê tiêu lưu vực trong mô hình MIKE NAM

TT	Tên Tiểu LV	Diện tích (km ²)	Tên sông gia nhập khu giữa	Bắt đầu (km)	Kết thúc (km)	Ghi chú
1	KG1 CA	194.7	Cả	0	30939	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
2	P23	952.4	Cả	30939	30939	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
3	P1 CA	301.8	Cả	17426	17426	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
4	KG2 CA	192.1	Cả	30939	63473	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
5	P4 CA	312.3	Cả	50781	50781	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
6	P5 CA	99.5	Cả	59065	59065	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
7	P6 CA	434.0	Cả	61712	61712	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
8	P7 CA	109.0	Cả	63473	63473	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
9	KG3 CA	205.9	Cả	63473	92574	Bắt đầu từ ngã ba Nậm Non - Nậm Mộ
10	KG1 HIEU	126.8	Hiếu	0	17706	
11	P2 HIEU	388.3	Hiếu	17706	17706	
12	P1 HIEU	106.3	Hiếu	13496	13496	
13	KG2 HIEU	206.5	Hiếu	17706	46674	
14	P3 HIEU	815.7	Hiếu	46674	46674	
15	KG3 HIEU	167.4	Hiếu	46674	55555	
16	P4 HIEU	237.4	Vang	0	12544	
17	KG4 HIEU	104.5	Hiếu	55555	77429	
18	P5 HIEU	142.6	Hiếu	71257	71257	
19	KG5 HIEU	277.6	Hiếu	77429	100569	
20	KG6 HIEU	168.1	Hiếu	100569	115652	
21	KG7 HIEU	237.8	Hiếu	115652	158009	
22	KG1 CAHL	346.9	Cả	0	39069	Bắt đầu từ trạm Dừa
23	P1 CAHL	151.9	Cả	39069	39069	Bắt đầu từ trạm Dừa

24	KG GIANG	152.4	Giăng	0	23276	
25	KG23 CAHL	114.4	Cà	39069	94678	Bắt đầu từ trạm Dừa
26	KG TRAI	194.0	Trai	0	10963	
27	KG RO	120.6	Rỗ	0	15341	
28	KG TRIEU	205.5	Hồi Triều Hồi Nảy	0	9451	
29	KG GANG	348.0	gang	0	37680	
30	KG4 CAHL	112.2	Cà	94678	126074	Bắt đầu từ trạm Dừa
31	KG LA	68.5	La	0	11970	
32	KG NGANPHO	285.6	Ngàn Phố	0	27035	
33	KG NGANSAU	188.2	Ngàn Sâu	0	24479	Bắt đầu từ trạm Hòa Duyệt
34	KG1 NGANSAU1	260.0	Ngàn Sâu	0	29451	Bắt đầu từ Hố Hô
35	P1 NGANSAU1	89.9	Ngàn Sâu	0	0	Bắt đầu từ Hố Hô
36	KG2 NGANSAU1	240.1	Ngàn Sâu	29451	67392	Bắt đầu từ Hố Hô
37	KG TIEM	80.3	Tiêm	0	16227	
38	KG DAHAN	135.6	Đá Hàn	0	9957	
39	KG NGAN- TRUOI	149.1	Ngàn Trươi	0	18640	
40	P6 HIEU	192.8	Hiếu	148170	148170	
41	P7 HIEU	213.6	Hiếu	155074	155074	
42	KG1 NAMMO	183.5	Nậm Mộ	0	12117	
43	KG2 NAMMO	164.3	Nậm Mộ	12117	25941	
44	KG34 NAMMO	196.4	Nậm Mộ	25941	46223	
45	P1 NAMMO	153.0	Nậm Mộ	12117	12117	
46	P2 NAMMO	190.1	Nậm Mộ	25941	25941	
47	P3 NAMMO	262.6	Nậm Mộ	38884	38884	
48	KG NAMNON	168.8	Nậm Non	0	15834	
49	BAN VE	8542.5	Nậm Non	0	0	Biên trên
50	MUONG XEN	2614.3	Hiếu	0	0	Biên trên
51	QUY CHAU	2083.2	Nậm Mộ	0	0	Biên trên
52	THAC MUOI	942.0	Gang	0	0	Biên trên
53	SON DIEM	837.2	Ngàn Phố	0	0	Biên trên

54	TL NGAN- TRUOI	371.5	Ngàn Trươi	0	0	Biên trên
55	TL DANHAN	106.2	Đá Hàn	0	0	Biên trên
56	TL TIEM	147.8	Tiêm	0	0	Biên trên
57	HOHO	295.1	Ngàn Sâu	0	0	Biên trên

Bảng 4: Thống kê lượng mưa 1, 3, 5, 7 và 9 ngày lớn nhất tại trạm KT Vinh

Đơn vị: mm

TT	Năm	X ₁	X ₃	X ₅	X ₇	X ₉
1	1961	223.1	318.0	318.0	319.6	383.2
2	1962	206.1	377.4	410.2	466.7	480.7
3	1963	304.0	504.0	609.3	635.8	656.5
4	1964	274.0	494.4	506.3	506.6	548.3
5	1965	205.5	362.0	362.2	362.2	362.3
6	1966	263.2	430.1	591.7	716.0	724.9
7	1967	185.6	248.1	280.3	388.7	468.8
8	1968	125.8	147.3	151.6	185.4	208.8
9	1969	107.5	169.3	170.0	170.0	187.8
10	1970	216.6	511.5	546.6	547.8	547.8
11	1971	298.0	573.2	595.1	598.9	599.5
12	1972	159.8	221.1	225.3	243.6	276.1
13	1973	384.6	784.6	884.0	975.6	1140.1
14	1974	180.8	321.9	329.3	351.0	385.7
15	1975	139.4	246.4	253.3	253.3	256.6
16	1976	174.8	360.7	489.8	614.3	645.9
17	1977	406.0	408.6	415.8	423.7	427.2
18	1978	309.8	582.6	670.5	752.8	888.8
19	1979	227.6	407.9	408.7	427.4	479.3
20	1980	352.7	465.5	473.6	504.4	615.0
21	1981	350.2	511.6	725.2	738.1	738.1
22	1982	343.5	354.2	388.9	464.6	608.2
23	1983	366.3	609.9	613.4	658.0	973.7
24	1984	229.1	411.3	446.6	466.6	503.8
25	1985	387.9	415.4	482.6	557.1	600.5
26	1986	362.7	580.0	580.2	611.2	617.8
27	1987	202.6	252.5	252.5	361.2	396.8
28	1988	252.4	314.3	419.8	502.5	525.7
29	1989	596.7	702.4	798.3	895.5	1077.2
30	1990	246.3	404.0	514.9	549.1	555.1
31	1991	301.1	648.7	796.6	860.4	861.3
32	1992	188.3	461.7	646.7	745.1	787.0
33	1993	223.4	331.7	388.1	419.8	429.1
34	1994	107.0	198.3	211.1	291.2	291.2
35	1995	186.5	281.2	292.4	359.9	402.7

TT	Năm	X ₁	X ₃	X ₅	X ₇	X ₉
36	1996	159.8	221.1	225.3	243.6	276.1
37	1997	406.0	408.6	415.8	423.7	427.2
38	1998	216.6	511.5	546.6	547.8	547.8
39	1999	221.3	408.4	450.5	455.6	485.7
40	2000	49.1	147.3	245.5	343.7	441.9
41	2001	259.0	380.1	421.8	432.9	434.3
42	2002	150.6	313.6	331.1	349.9	351.7
43	2003	156.6	333.6	394.7	478.3	523.5
44	2004	125.7	202.2	211.7	211.7	216.9
45	2005	196.7	260.8	264.3	317.9	361.4
46	2006	162.1	376.4	382.7	383.2	441.4
47	2007	166.6	352.5	440.9	441.7	447.5
48	2008	171.6	348.5	440.3	608.2	631.1
49	2009	200.8	279.4	280.5	310.1	372.4
50	2010	390.2	759.8	948.1	1039.4	1062.4
51	2011	206.0	252.4	383.8	425.6	425.8
52	2012	289.6	498.9	517.5	552.0	552.0
53	2013	313.1	321.5	327.6	378.1	464.7
54	2014	194.8	241.9	305.1	396.3	397.3
55	2015	141.2	281.1	295.5	313.0	348.2
56	2016	339.7	393.0	405.6	406.3	406.3
57	2017	261.0	393.6	568.1	699.7	716.3
58	2018	287.6	369.9	515.8	575.5	604.3
59	2019	701.1	973.1	990.7	990.7	990.7