

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI

HÀ XUÂN ÁNH

XÁC ĐỊNH CƯỜNG ĐỘ MƯA TÍNH TOÁN
TRONG THIẾT KẾ THOÁT NƯỚC MƯA
THÀNH PHỐ HÀ NỘI

LUẬN ÁN TIẾN SĨ
KỸ THUẬT CƠ SỞ HẠ TẦNG

Hà Nội - 2024

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KIẾN TRÚC HÀ NỘI

HÀ XUÂN ÁNH

**XÁC ĐỊNH CƯỜNG ĐỘ MƯA TÍNH TOÁN
TRONG THIẾT KẾ THOÁT NƯỚC MƯA
THÀNH PHỐ HÀ NỘI**

NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ SỞ HẠ TẦNG

MÃ NGÀNH: 9580210

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. PGS.TS. TRẦN THỊ VIỆT NGÀ

2. TS. NGUYỄN VĂN NAM

Hà Nội - 2024

LỜI CẢM ƠN

Tác giả trân trọng cảm ơn cố PGS.TS. Trần Thanh Sơn, PGS.TS. Trần Thị Việt Nga và TS. Nguyễn Văn Nam đã tận tình hướng dẫn và giúp đỡ tác giả trong suốt thời gian nghiên cứu và hoàn thành luận án này.

Tác giả trân trọng cảm ơn Ban Giám hiệu, Khoa Sau Đại học, Khoa Kỹ thuật Hạ tầng và Môi trường Đô thị, Bộ môn Công nghệ nước, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội đã tạo điều kiện thuận lợi cho tác giả được học tập và nghiên cứu nâng cao trình độ.

Tác giả chân thành cảm ơn các thầy cô giáo, các chuyên gia, các nhà khoa học, các nhà quản lý, các đồng nghiệp đã tận tình chia sẻ những kinh nghiệm quý báu, giúp đỡ tác giả trong quá trình nghiên cứu. Tác giả chân thành cảm ơn các giảng viên tại Khoa Toán-Tin trường Đại học Sư phạm Hà Nội, cán bộ công tác tại Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước Quốc gia đã trao đổi, cung cấp tài liệu cũng như kiến thức thực tế quý báu cho tác giả trong quá trình học tập và hoàn thành luận án.

Tác giả trân trọng cảm ơn Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup VINIF, Viện Nghiên cứu Dữ liệu lớn, mã số học bổng VINIF.2023.TS.007, đã tài trợ để tác giả hoàn thành luận án này.

Tác giả bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới những người thân trong gia đình đã luôn quan tâm, chia sẻ, động viên, để tác giả có thể tập trung nghiên cứu và hoàn thành luận án tiến sĩ.

Hà Nội, ngày ... tháng ... năm 2024

Hà Xuân Ánh

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án là công trình nghiên cứu khoa học của tôi. Các số liệu khoa học, kết quả nghiên cứu của Luận án là trung thực, có nguồn gốc rõ ràng, được trích dẫn đầy đủ và chưa từng công bố trong bất cứ công trình nghiên cứu nào khác.

Tác giả luận án

Hà Xuân Ánh

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN	i
LỜI CAM ĐOAN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	vii
DANH SÁCH CÁC BẢNG	viii
DANH MỤC CÁC ĐỒ THỊ, HÌNH VẼ	x
MỞ ĐẦU	1
Tính cấp thiết của đề tài	1
Mục tiêu nghiên cứu.....	3
Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.....	3
Phương pháp nghiên cứu.....	3
Nội dung nghiên cứu	4
Kết quả nghiên cứu	4
Những đóng góp mới của đề tài	5
Ý nghĩa khoa học của đề tài	5
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN	7
1.1. Tổng quan về cường độ mưa tính toán	7
1.1.1. Khái niệm về cường độ mưa và cường độ mưa tính toán.....	7
1.1.2. Các công thức cường độ mưa tính toán trên thế giới và Việt Nam	10
1.2. Tổng quan về đường cong quan hệ Cường độ mưa – Thời gian – Tần suất (Intensity – Duration – Frequency)	20
1.2.1. Khái niệm về đường cong quan hệ IDF	21
1.2.2. Các nghiên cứu liên quan đến đường cong quan hệ IDF	22
1.3. Thực trạng sử dụng công thức cường độ mưa tính toán trong thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị	25
1.4. Các nghiên cứu liên quan đến công thức cường độ mưa tính toán trong thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị	28

1.4.1. Các nghiên cứu sử dụng công thức cường độ mưa tính toán trên thế giới	28
1.4.2. Các nghiên cứu sử dụng công thức cường độ mưa tính toán ở Việt Nam	29
1.5. Giới thiệu chung về thành phố Hà Nội.....	31
1.5.1. Vị trí địa lý và đặc điểm tự nhiên.....	31
1.5.2. Hiện trạng hệ thống thoát nước mưa và tình hình ngập lụt	36
1.5.3. Mạng lưới trạm quan trắc mưa và tình hình số liệu.....	41
1.5.4. Đặc điểm kinh tế và xã hội.....	42
1.6. Những vấn đề tồn tại cần nghiên cứu của luận án.....	42
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC XÁC ĐỊNH CÔNG THỨC CƯỜNG ĐỘ MƯA TÍNH TOÁN.....	44
2.1. Cơ sở pháp lý	44
2.1.1. Luật liên quan đến vấn đề thoát nước mưa đô thị.....	44
2.1.2. Nghị định, định hướng về thoát nước và môi trường	44
2.1.3. Hệ thống chính sách, văn bản về thoát nước và môi trường.....	45
2.2. Cơ sở lý thuyết.....	46
2.2.1. Lý thuyết về xác suất và thống kê trong xác định các đặc trưng khí tượng thủy văn.....	46
2.2.2. Lý thuyết về hàm mật độ xác suất và hàm phân phối tích lũy.....	51
2.2.3. Một số đặc trưng quan trọng của đại lượng ngẫu nhiên	52
2.2.4. Lý thuyết về việc lựa chọn hàm phân bố mật độ xác suất trong xác định cường độ mưa tính toán.....	53
2.2.5. Lý thuyết về xác định cường độ mưa tính toán trong thoát nước mưa đô thị	56
2.3. Cơ sở thực tiễn.....	59
2.3.1. Ứng dụng mối quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất trong quy hoạch phát triển đô thị.....	59
2.3.2. Ứng dụng công thức cường độ mưa trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa đô thị.....	63

CHƯƠNG 3: XÁC ĐỊNH CƯỜNG ĐỘ MƯA TÍNH TOÁN TRONG THIẾT KẾ THOÁT NƯỚC MƯA THÀNH PHỐ HÀ NỘI	68
3.1. Tính toán, phân tích, so sánh, lựa chọn phân phối xác suất	68
3.1.1. Xây dựng đường tần suất kinh nghiệm.....	68
3.1.2. Sử dụng phân phối Pearson III.....	71
3.1.3. Sử dụng phân phối Log-Pearson III.....	74
3.1.4. Sử dụng phân phối Gumbel.....	76
3.1.5. Lựa chọn phân phối xác suất.....	78
3.2. Xác định cường độ mưa tính toán cho trạm Láng.....	82
3.2.1. Tính cường độ mưa cho các thời đoạn.....	82
3.2.2. Xây dựng mối quan hệ IDF cho trạm Láng	94
3.2.3. Xác định công thức cường độ mưa cho trạm Láng.....	96
3.3. Xác định cường độ mưa tính toán cho trạm Hà Đông	105
3.3.1. Tính cường độ mưa cho các thời đoạn.....	105
3.3.2. Xây dựng mối quan hệ IDF cho trạm Hà Đông.....	118
3.3.3. Xác định công thức cường độ mưa cho trạm Hà Đông	119
3.4. Kết quả nghiên cứu của luận án	120
CHƯƠNG 4: ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG THỨC LUẬN	
 ÁN.....	122
4.1. Tổng quan phương pháp mô hình toán và khu vực nghiên cứu thử	
 nghiệm	122
4.1.1. Tổng quan phương pháp mô hình toán	122
4.1.2. Giới thiệu mô hình MIKE URBAN.....	124
4.1.3. Giới thiệu chung về khu vực tính toán.....	126
4.2. Các bước thực hiện và chỉ tiêu đánh giá mô hình.....	127
4.2.1. Các bước thực hiện.....	127
4.2.2. Chỉ tiêu đánh giá mô hình	128
4.3. Thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE URBAN	129
4.3.1. Lựa chọn khu vực thử nghiệm	129
4.3.2. Tài liệu và số liệu sử dụng	130

4.3.3. Thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình	132
4.3.4. Kết quả mô phỏng	141
4.4. Đánh giá khả năng ứng dụng công thức luận án	144
4.5. Bàn luận kết quả nghiên cứu	147
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	148
DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN	KH01
TÀI LIỆU THAM KHẢO	TK01
PHỤ LỤC TÍNH TOÁN	PL01

DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Tiếng Anh	Tiếng Việt
CDF	Cumulative Distribution Function	Hàm phân phối tích lũy
GIZ		Tổ chức Hợp tác Phát triển Đức
GRG-N	Generalized Reduced Gradient Nonlinear	Phương pháp giảm gradient tổng quát phi tuyến tính
IDF	Intensity-Duration-Frequency	Quan hệ cường độ mưa-thời gian và tần suất
IHP	International Hydrological Program	Chương trình Thủy văn quốc tế
JICA	The Japan International Cooperation Agency	Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản
KTTV		Khí tượng Thủy văn
MIKE		Mô hình tính toán thủy văn-thủy lực được phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch DHI
PDF	Probability Density Function	Hàm mật độ xác suất
TCVN		Tiêu chuẩn Việt Nam
TNTA		Thuật ngữ tiếng Anh
UNESCO	The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	Tổ chức Giáo dục, Khoa học và Văn hóa của Liên Hợp Quốc
XLNT		Xử lý nước thải

DANH SÁCH CÁC BẢNG

Bảng 1.1. Mùa mưa ở lưu vực sông Tô Lịch và vùng lân cận theo tháng của một số trạm đại biểu.	34
Bảng 1.2. Hiện trạng phân vùng tiêu và hình thức tiêu	36
Bảng 1.3. Mực nước hiện trạng và cho phép tại các vị trí trên sông	37
Bảng 2.1. Một số hàm phân bố mật độ xác suất thường gặp.....	54
Bảng 2.2. Quan hệ IDF cho khu vực Quận Bắc thuộc Hồng Kông, Trung Quốc ...	60
Bảng 3.1. Sắp xếp lượng mưa quy đổi.....	69
Bảng 3.2. Bảng giá trị K với hệ số $C_s = 0.414$	72
Bảng 3.3. Lượng mưa thời đoạn 5 phút và cường độ mưa quy đổi tính theo phân phối Pearson III	73
Bảng 3.4. Bảng giá trị K ứng với hệ số $C_s = -0.361$	74
Bảng 3.5. Cường độ mưa theo thời đoạn 5 phút tương ứng các thời gian lặp lại tính theo phân phối Log-Pearson III.....	75
Bảng 3.6. Bảng giá trị của K với $n = 63$	76
Bảng 3.7. Lượng mưa thời đoạn 5 phút và cường độ mưa quy đổi tương ứng các thời gian lặp lại tính theo phân phối Gumbel.....	77
Bảng 3.8. Cường độ mưa của trạm Láng trong thời đoạn 5 phút theo ba phân phối	78
Bảng 3.9. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 5 phút tại trạm Láng.....	81
Bảng 3.10. Cường độ mưa của trạm Láng tương ứng với thời đoạn 10 phút.....	83
Bảng 3.11. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 15 phút.....	84
Bảng 3.12. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 30 phút.....	85
Bảng 3.13. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 45 phút.....	86
Bảng 3.14. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 60 phút.....	87
Bảng 3.15. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 90 phút.....	88
Bảng 3.16. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 120 phút.....	89
Bảng 3.17. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 180 phút.....	90
Bảng 3.18. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 360 phút.....	91
Bảng 3.19. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 720 phút.....	92
Bảng 3.20. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 1440 phút.....	93
Bảng 3.21. Bảng quan hệ IDF cho trạm Láng	94
Bảng 3.22. Bảng giá trị dùng để xác định công thức cường độ mưa cho trạm Láng	96
Bảng 3.23. Bảng giá trị tính toán với $b = 20$	100
Bảng 3.24. Bảng giá trị tính toán với các giá trị của b	104
Bảng 3.25. Bảng so sánh công thức luận án đề xuất với các công thức khác.....	105
Bảng 3.26. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 5 phút.....	106
Bảng 3.27. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 10 phút.....	107
Bảng 3.28. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 15 phút.....	108
Bảng 3.29. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 30 phút.....	109
Bảng 3.30. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 45 phút.....	110
Bảng 3.31. Cường độ mưa của trạm Hà Đông thời đoạn 60 phút	111

Bảng 3.32. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 90 phút.....	112
Bảng 3.33. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 120 phút.....	113
Bảng 3.34. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 180 phút.....	114
Bảng 3.35. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 360 phút.....	115
Bảng 3.36. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 720 phút.....	116
Bảng 3.37. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 1440 phút.....	117
Bảng 3.38. Bảng IDF cho trạm Hà Đông.....	118
Bảng 3.39. Bảng so sánh công thức luận án đề xuất với các công thức khác.....	120
Bảng 4.1. Danh sách các vị trí quan trắc mực nước sông Kim Ngưu phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.....	132
Bảng 4.2. Kết quả đánh giá sai số hiệu chỉnh mô hình với trận mưa ngày 25/5/2016	138
Bảng 4.3. Kết quả đánh giá sai số bước kiểm định mô hình với trận mưa ngày 28/8/2016.....	141
Bảng 4.4. Giá trị lưu lượng cực đại ứng với các tần suất và thời gian tập trung nước	144
Bảng 4.5. Kết quả tính toán lưu lượng tiêu thiết kế theo 3 phương pháp	146

DANH MỤC CÁC ĐỒ THỊ, HÌNH VẼ

Hình M.1. Sơ đồ nội dung nghiên cứu của luận án.....	6
Hình 1.1. Minh họa đường cong IDF cho một khu vực	21
Hình 1.2. Xu thế biến đổi lượng mưa một ngày lớn nhất trạm Láng	27
Hình 1.3. Xu thế biến đổi lượng mưa hai ngày lớn nhất trạm Láng	27
Hình 1.4. Bản đồ vị trí địa lý và hành chính thủ đô Hà Nội	32
Hình 1.5. Ranh giới khu vực đô thị trung tâm và các đô thị lân cận	33
Hình 1.6. Một số hình ảnh ngập lụt trên địa bàn thành phố Hà Nội năm 2008	40
Hình 1.7. Sơ đồ mạng lưới sông suối và các trạm khí tượng thủy văn khu vực Hà Nội.....	41
Hình 2.1. Quy trình xây dựng đường cong IDF và xác định công thức cường độ mưa	56
Hình 2.2. Đường cong IDF và công thức tính cường độ mưa cho thành phố Kuala Lumpur, Malaysia	59
Hình 2.3. Đường cong quan hệ IDF trong hướng dẫn kỹ thuật thiết kế hệ thống tiêu nước mưa của Mỹ.....	61
Hình 2.4. Đường cong quan hệ IDF trong hướng dẫn kỹ thuật thiết kế hệ thống tiêu nước mưa của Ấn Độ	62
Hình 2.5. Mô hình MIKE URBAN sử dụng mô hình mưa được thiết lập từ IDF để làm thông số đầu vào.....	66
Hình 3.1. Đường tần suất kinh nghiệm thời đoạn 5 phút.....	71
Hình 3.2. Cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 5 phút tính theo phân phối Pearson III	73
Hình 3.3. Cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 5 phút được tính theo phân phối Log-Pearson III	75
Hình 3.4. Cường độ mưa tại trạm Láng theo thời đoạn 5 phút tính theo phân phối Gumbel.....	77
Hình 3.5. Cường độ mưa tại trạm Láng thời đoạn 5 phút theo ba phân phối	79
Hình 3.6. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng theo thời đoạn 5 phút được tính theo ba phân phối với đường tần suất kinh nghiệm ứng với xác suất từ 0.5 trở xuống....	80
Hình 3.7. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng thời đoạn 10 phút	83
Hình 3.8. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 15 phút.....	84
Hình 3.9. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 30 phút.....	85
Hình 3.10. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 45 phút.....	86
Hình 3.11. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 60 phút.....	87
Hình 3.12. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 90 phút.....	88
Hình 3.13. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 120 phút.....	89
Hình 3.14. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 180 phút.....	90
Hình 3.15. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 360 phút.....	91

Hình 3.16. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 720 phút.....	92
Hình 3.17. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 1440 phút.....	93
Hình 3.18. Đường cong quan hệ IDF cho trạm Láng	95
Hình 3.19. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 5 phút	106
Hình 3.20. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 10 phút ..	107
Hình 3.21. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 15 phút ..	108
Hình 3.22. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 30 phút ..	109
Hình 3.23. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 45 phút ..	110
Hình 3.24. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 60 phút ..	111
Hình 3.25. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 90 phút ..	112
Hình 3.26. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 120 phút	113
Hình 3.27. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 180 phút	114
Hình 3.28. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 360 phút	115
Hình 3.29. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 720 phút	116
Hình 3.30. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 1440 phút	117
Hình 3.31. Đường IDF cho trạm Hà Đông	119
Hình 4.1. Minh họa hệ thống tiêu nước thiết lập trong mô hình MIKE URBAN ..	125
Hình 4.2. Sơ đồ các tiêu lưu vực thuộc lưu vực sông Tô Lịch	126
Hình 4.3. Sơ đồ khối mô tả các bước thực hiện đánh giá hiệu quả ứng dụng công thức luận án	127
Hình 4.4. Sơ đồ các vị trí quan trắc mực nước sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.....	131
Hình 4.5. Sơ đồ công trình tiêu thoát nước mưa của lưu vực sông Kim Ngưu trong mô hình MIKE URBAN	133
Hình 4.6. Trắc dọc tuyến kênh tiêu chính lưu vực 300.....	134
Hình 4.7. Sơ đồ các nút tính toán và trích xuất kết quả trong mô hình MIKE URBAN.....	135
Hình 4.8. Biểu đồ lượng mưa 10 phút của trận mưa ngày 24-25/5/2016	136
Hình 4.9. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT1	136
Hình 4.10. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT2	137
Hình 4.11. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT3	137
Hình 4.12. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT4	137
Hình 4.13. Biểu đồ lượng mưa 10 phút của trận mưa ngày 28/8/2016.....	139
Hình 4.14. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT1	139
Hình 4.15. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT2	140
Hình 4.16. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT3	140
Hình 4.17. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT4	140
Hình 4.18. Đồ thị giá trị lưu lượng lớn nhất tại cửa ra lưu vực tính toán đối với trận mưa 180 phút lớn nhất năm.....	142
Hình 4.19. Mô phỏng đường mực nước trên tuyến công chính số 300 của lưu vực tính toán.....	143

Hình 4.20. Đường tần suất lý luận lưu lượng cực đại trận mưa 180 phút từ năm 1990-2023.....143

MỞ ĐẦU

Tính cấp thiết của đề tài

Thoát nước mưa Thành phố Hà Nội là một trong những nhiệm vụ ưu tiên hàng đầu để đảm bảo ổn định và phát triển hạ tầng kỹ thuật trong công cuộc xây dựng đất nước. Theo định hướng phát triển thoát nước đô thị và khu công nghiệp Việt Nam đến năm 2025, tầm nhìn đến năm 2050, đối với thoát nước mưa đã đề ra hai nhóm mục tiêu cơ bản sau: (1) tổ chức thoát nước mưa nhằm giảm thiểu ngập úng, phòng, chống thiên tai; (2) tổ chức thu gom, tái sử dụng nước mưa phù hợp với định hướng phát triển kinh tế tuần hoàn là xu hướng tất yếu trong tương lai. Vì vậy, việc xác định cường độ mưa đóng vai trò rất quan trọng trong việc tính toán lưu lượng mưa thiết kế, phục vụ có hiệu quả cho công tác thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị.

Thời gian gần đây, thành phố Hà Nội thường xuyên hứng chịu những diễn biến bất thường của thời tiết mà điển hình là những trận mưa lớn gây ngập úng diện rộng. Biến đổi đặc trưng mưa thường được quyết định bởi các yếu tố chính, như: (1) dao động chu kỳ khí hậu với thời gian trung bình từ 2-11 năm; (2) biến đổi khí hậu làm thay đổi đặc trưng mưa so với nền trung bình khí hậu về tần suất, cường độ và thời gian; (3) quá trình đô thị hoá dẫn đến sự đốt nóng bề mặt vùng đô thị làm thay đổi trường gió và nhiệt độ khiến tăng cường đối lưu và tăng cường mưa khu vực đô thị. Trong đó, quá trình đô thị hoá diễn ra nhanh chóng tại Thủ đô làm thu hẹp diện tích thảm tự nhiên, việc quy hoạch cao độ nền chưa thống nhất, hệ thống tiêu thoát nước quá tải, không thường xuyên được nạo vét... trong điều kiện thời tiết cực đoan và diễn biến khó lường dẫn đến nhiều rủi ro về môi trường, thách thức nhất là giải pháp tiêu thoát nước mưa trong việc giải quyết các nhóm mục tiêu trên.

Hiện nay, đã có nhiều nghiên cứu trên thế giới và tại Việt Nam về xác định cường độ mưa tính toán trong thiết kế thoát nước mưa đô thị, tuy nhiên vẫn còn một số tồn tại như sau:

i) Công thức tính toán cường độ mưa được thiết lập thông qua các biến là chu kỳ lặp lại (P) và thời gian mưa (t). Trong thời gian qua, số lượng các trạm đo mưa và hầu hết các trạm khí tượng đều quan trắc bằng máy tự ghi nhưng việc chỉnh lý và tổng hợp số liệu lượng mưa ngày lớn nhất hàng năm và cường độ mưa lớn nhất trung bình các thời đoạn tại các trạm khí tượng và đo mưa gần như chưa được thực hiện.

ii) Việc lựa chọn phân bố xác suất để thiết lập mối quan hệ cường độ mưa - thời gian - tần suất trong công thức tính toán cường độ mưa là yếu tố quan trọng trong việc xây dựng đường tần suất mưa sát với thực tế nhất. Tuy nhiên, hiện nay việc lựa chọn này thường được mặc định bởi một vài phân phối có sẵn.

iii) Công thức tính lưu lượng mưa trong TCVN 7957 áp dụng công thức cường độ mưa theo phương pháp cường độ giới hạn, phương pháp này đã được nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước chỉ ra rằng có sai số lớn hơn nhiều so với thực tế.

iv) Đối với các công thức hiện có, đa phần các nhà nghiên cứu hiện nay đang ứng dụng dạng công thức của Liên Xô với các thông số của công thức được tính toán dựa trên phương pháp ước lượng số liệu đo mưa trong khoảng dưới 20 năm, có nơi dưới 10 năm là hạn chế so với độ dài thông thường của chuỗi số liệu (20-30 năm) để nắm bắt được các chu kỳ nền trong đặc trưng biến đổi lượng mưa. Ngoài ra, các hằng số khí hậu trong công thức cường độ mưa được thiết lập dựa trên bộ số liệu từ những năm 80 của thế kỷ XX không còn phù hợp với thực trạng thoát nước hiện nay, khi những trận mưa thời đoạn ngắn với cường độ lớn xuất hiện ngày càng nhiều.

Trong bối cảnh của Thành phố Hà Nội có nhiều biến động như hiện nay, cần có những nghiên cứu về cường độ mưa vừa mang tính kế thừa, vừa cập nhật những điều kiện mới nhằm tăng cường độ tin cậy, tính chính xác và giá trị thực tiễn để phục vụ công tác quy hoạch, thiết kế thoát nước mưa đô thị, phù hợp với các mục tiêu về hạ tầng trong Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt.

Với những lý do trên, đề tài **“Xác định cường độ mưa tính toán trong thiết kế thoát nước mưa thành phố Hà Nội”** được lựa chọn có tính cấp thiết và giá trị thực tiễn cao.

Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chung: Nghiên cứu xác định công thức cường độ mưa nhằm nâng cao độ chính xác và tin cậy trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa thành phố Hà Nội.

Mục tiêu cụ thể:

- Phân tích và lựa chọn được hàm phân phối xác suất mưa phù hợp nhất.
- Xây dựng được đường cong quan hệ Cường độ - Thời gian – Tần suất (IDF).
- Xác định được các hằng số khí hậu trong công thức cường độ mưa.
- Đánh giá được khả năng ứng dụng công thức nghiên cứu vào thực tế.

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: cường độ mưa tính toán
- Phạm vi nghiên cứu: Thành phố Hà Nội.

Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp kế thừa:

Tiếp thu và sử dụng có chọn lọc kết quả nghiên cứu và thành tựu khoa học công nghệ của các tác giả trong và ngoài nước đã nghiên cứu về những vấn đề có liên quan đến đề tài.

- Phương pháp điều tra thu thập và đánh giá:

Điều tra thu thập số liệu khí tượng thủy văn và các tài liệu về hệ thống công trình tiêu thoát nước của thành phố Hà Nội. Khảo sát và nghiên cứu thực tế về hiện trạng hệ thống tiêu thoát nước thành phố. Phân tích đánh giá và tổng hợp các tài liệu, nghiên cứu liên quan để từ đó rút ra các cơ sở khoa học và khả năng ứng dụng vào thực tiễn.

- Phương pháp phân tích tổng hợp:

Phân tích thống kê, tổng hợp, đánh giá biến động của mưa theo không gian và thời gian. Sử dụng các kiến thức về thủy văn học đô thị, thoát nước bề mặt, cơ sở lý thuyết hàm trong khí tượng thủy văn làm cơ sở lý luận trong quá trình nghiên cứu và xây dựng các thuật toán.

- Phương pháp toán học:

Phân tích tương quan, hồi quy thực nghiệm, giản gradient tổng quan phi tuyến tính là các công cụ được sử dụng trong luận án để lựa chọn hàm phân phối xác suất ứng với tần suất mưa, thiết lập quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất và xác định các khoảng giá trị tham số khí hậu cho công thức cường độ mưa tính toán.

- Phương pháp sử dụng mô hình thủy văn, thủy lực:

Ứng dụng mô hình toán vào nghiên cứu tiêu thoát nước là yêu cầu cần thiết bởi mô hình toán có những thế mạnh trong việc giải quyết các bài toán hệ thống, mạng lưới... Mô hình toán được sử dụng trong luận án là MIKE URBAN.

- Phương pháp chuyên gia:

Tham vấn, học hỏi, tiếp thu ý kiến từ các chuyên gia, các nhà nghiên cứu, các nhà khoa học có nhiều công trình nghiên cứu và kinh nghiệm trong việc tiêu thoát nước đô thị để hoàn chỉnh nội dung luận án.

Nội dung nghiên cứu

- Xác định cường độ mưa tính toán theo phương pháp thống kê xác suất, trên cơ sở phân tích lựa chọn hàm phân phối xác suất phù hợp với số liệu mưa được cập nhật mới nhất (tới năm 2023) của các trạm khí tượng cơ bản ở khu vực Thành phố Hà Nội.

- Xây dựng mối quan hệ quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất (IDF) cho khu vực Thành phố Hà Nội.

- Xác định các hằng số (tham số) khí hậu trong công thức cường độ mưa theo phương pháp hồi quy toán học.

- Đánh giá khả năng áp dụng vào thực tế của công thức cường độ mưa với các hằng số (tham số) khí hậu mới.

Kết quả nghiên cứu

- Đã phân tích và lựa chọn được hàm phân phối xác suất là hàm Gumbel, phù hợp nhất với đặc điểm mưa thời đoạn ngắn ở khu vực Thành phố Hà Nội.

- Đã xây dựng được họ đường quan hệ Cường độ mưa – Thời gian mưa – Tần suất mưa (IDF) cho các lượng mưa đặc trưng (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 720, 1440 phút) ở Hà Nội theo số liệu mưa được cập nhật đến năm 2023.

- Đã xác định được bộ tham số khí hậu (A, C, b, n) mới cho công thức cường độ mưa tính toán được lựa chọn, lần lượt là $(2003, 0,598, 5, 0,602)$ và $(2320, 0,655, 9, 0,633)$ cho hai trạm khí tượng Láng và Hà Đông.

- Đã đánh giá được độ tin cậy của bộ tham số này thông qua phương pháp sai số quân phương và hệ số tương quan.

- Đã đánh giá được khả năng ứng dụng vào thực tế công thức cường độ mưa của luận án trong tính toán mạng lưới thoát nước thực tế ở Hà Nội thông qua so sánh với kết quả tính toán bằng mô hình thoát nước đô thị MIKE URBAN.

Những đóng góp mới của đề tài

- Lựa chọn được hàm phân phối xác suất phù hợp để xây dựng đường tần suất mưa sát với thực tế nhất.

- Xây dựng được mối quan hệ Cường độ mưa – Thời gian mưa – Tần suất mưa (IDF) cho khu vực Thành phố Hà Nội theo số liệu mưa được cập nhật bổ sung mới nhất đến năm 2023.

- Xác định được bộ tham số khí hậu tối ưu của công thức tính cường độ mưa cho Thành phố Hà Nội.

Ý nghĩa khoa học của đề tài

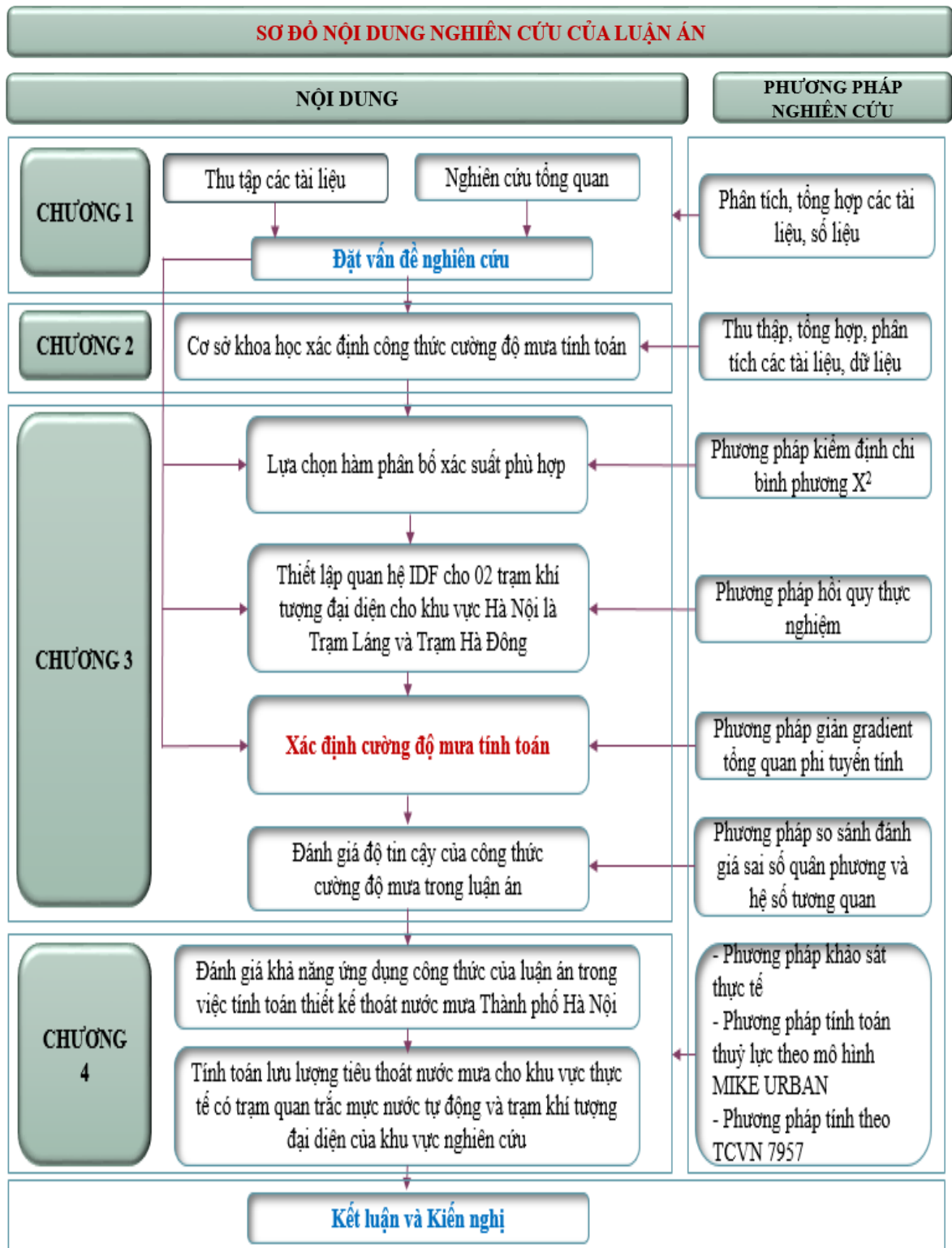
- Luận án đã góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học cho việc lựa chọn hàm mật độ phân bố xác suất phù hợp để làm cơ sở cho việc thiết lập mối quan hệ quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất (IDF) và xây dựng công thức cường độ mưa tính toán.

- Luận án đã góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học và phương pháp xác định các tham số cho công thức cường độ mưa.

- Luận án đã góp phần cung cấp cơ sở khoa học xác định cường độ mưa tính toán trong thiết kế thoát nước mưa Thành phố Hà Nội.

- Kết quả nghiên cứu của luận án có thể được ứng dụng trong công tác quy hoạch, thiết kế các hệ thống tiêu thoát nước mưa khu vực dân cư, đô thị Thành phố Hà Nội.

- Kết quả nghiên cứu của luận án có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo trong các công tác nghiên cứu chuyên môn, giúp mở rộng và hoàn thiện hơn những vấn đề còn tồn đọng cần giải quyết khác trong thoát nước mưa đô thị.



Hình M.1. Sơ đồ nội dung nghiên cứu của luận án

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về cường độ mưa tính toán

1.1.1. Khái niệm về cường độ mưa và cường độ mưa tính toán

1.1.1.1. Cường độ mưa

Tổng lượng mưa là lượng mưa (hay còn gọi là lớp nước mưa hoặc độ sâu lớp nước mưa) quan trắc được tại một trạm đo đặc đại diện cho một khu vực nào đó trong một khoảng thời gian nhất định. Cường độ mưa thường được định nghĩa là độ sâu lớp nước mưa rơi trong một đơn vị thời gian. Khối lượng mưa khi rơi xuống tùy theo trạng thái từng trận mưa sẽ khác nhau. Mỗi trận mưa được đặc trưng bởi hai giá trị chính gồm lượng nước mưa rơi xuống quan trắc được qua các thiết bị đo đặc và thời gian mưa. Giá trị thứ nhất được biểu diễn bằng bề dày lớp nước theo đơn vị dài hay thể tích nước mưa trên một đơn vị diện tích. Giá trị thứ hai được tính bằng đơn vị thời gian thể hiện bằng phút, giây, giờ [12].

Như vậy, đại lượng cơ bản đặc trưng quan trọng của các trận mưa là cường độ mưa được xác định bằng tỷ số giữa lượng nước mưa với thời gian mưa, có đơn vị tính là mm/phút hoặc lít/giây. Cường độ mưa có thể được chia làm hai loại là cường độ mưa tức thời và cường độ mưa trung bình thời đoạn. Cường độ mưa tức thời là cường độ mưa thực tế đo được trong từng thời điểm và biến đổi liên tục. Cường độ mưa trung bình thời đoạn là lượng mưa rơi trong một đơn vị thời gian tính trung bình trong thời khoảng đó. Trong quá trình mưa, cường độ mưa được đo liên tục, cho nên trong thực tế người ta sử dụng khái niệm “Cường độ trung bình trong một khoảng thời gian nào đó”. Chính vì vậy trong tính toán, ta thường dùng cường độ mưa trung bình, được biểu thị bởi công thức tổng quát sau:

$$i = \frac{h}{t} \quad (1.1)$$

trong đó: i - cường độ mưa còn được gọi là cường độ mưa theo lớp nước (mm/phút);

h - độ sâu mưa, đo bằng mm ;

t - thời gian mưa, thường tính bằng phút.

Cường độ mưa theo thể tích được tính theo cường độ mưa theo lớp nước i thông qua một hệ số chuyển đổi, công thức như sau:

$$q = 166.7 * i \quad (1.2)$$

Trong đó: q là cường độ mưa theo thể tích, l/s.ha;

166.7 là hệ số chuyển đổi đơn vị;

i là cường độ mưa theo lớp nước, mm/phút.

(Ví dụ thực tế cường độ mưa 6 mm/phút sử dụng các công thức tính toán trên xác định được cường độ mưa tương ứng là 1 l/s.ha).

1.1.1.2. Cường độ mưa tính toán

Trong tính toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị thường quan tâm đến cường độ mưa trung bình lớn nhất trong khoảng thời gian tính toán t nào đó. Khi đó, cường độ mưa trung bình lớn nhất trong khoảng thời gian tính toán t được xác định qua công thức dưới đây:

$$i_t = \frac{h_t}{t} \quad (1.3)$$

trong đó i_t – là cường độ mưa trung bình lớn nhất trong khoảng thời gian tính toán t , đơn vị (mm/phút);

h_t – là lượng mưa lớn nhất hay độ sâu mưa lớn nhất đo được trong khoảng thời gian t , đơn vị (mm)

t - thời đoạn mưa tính toán, thường tính bằng phút.

Trong tính toán thiết kế nói chung người ta thường quan tâm đến giá trị tần suất hay độ lặp lại của các hiện tượng. Tương tự với tính toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa, nếu xét thêm yếu tố tần suất mưa tính toán (p %) thì có thể thêm chỉ số tần suất vào các kí hiệu của i và h trong công thức 1.3 ở trên. Khi đó, cường độ mưa độ mưa trung bình lớn nhất trong khoảng thời gian tính toán t tương ứng với tần suất p sẽ được tính qua công thức sau:

$$i_{t,p} = \frac{h_{t,p}}{t} \quad (1.4)$$

trong đó

$i_{t,p}$ – là cường độ mưa trung bình lớn nhất trong khoảng thời đoạn tính toán t ứng với tần suất p hay còn gọi là cường độ mưa tính toán ở thời đoạn t và tần suất p , hoặc cũng có thể gọi là cường độ mưa giới hạn lớn nhất trong thời đoạn tính toán t và tần suất p , đơn vị (mm/phút);

$h_{t,p}$ – là lượng mưa lớn nhất hay độ sâu mưa lớn nhất trong khoảng thời gian t tương ứng với tần suất p hay còn gọi là lượng mưa tính toán ở thời đoạn t và tần suất p , đơn vị (mm)

t - thời đoạn mưa tính toán, thường tính bằng phút. Thông thường trong một số các công thức tính toán cường độ mưa thì thời đoạn t được lấy bằng thời gian tập trung nước của lưu vực.

Qua phân tích các tài liệu liên quan đến xác định cường độ mưa tính toán có thể phân chia làm hai nhóm chính như sau dựa trên các số liệu mưa thu thập hoặc quan trắc tại các vị trí nghiên cứu:

+ **Nhóm thứ nhất** là tính toán theo phương pháp phân tích thống kê. Phương pháp này cho phép xác định trực tiếp giá trị cường độ mưa tính toán $i_{t,p}$ đối với thời đoạn t với tần suất là p dựa vào các số liệu quan trắc mưa thực tế tại các trạm khí tượng hoặc trạm đo mưa sử dụng các thiết bị đo mưa tự ghi hay tự động. Như vậy, nhóm phương pháp này chỉ áp dụng được cho các khu vực có chuỗi số liệu quan trắc mưa đủ dài (nhiều năm). Phương pháp đặc trưng thuộc nhóm này là đường cong quan hệ Cường độ mưa – Thời đoạn – Tần suất sẽ được trình bày tổng quan trong Tiểu mục 1.2 dưới đây.

+ **Nhóm thứ hai** là tính toán theo các công thức thực nghiệm hay còn gọi là công thức kinh nghiệm. Nhóm phương pháp này được xây dựng dựa trên nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp hồi quy toán học hoặc dựa vào lượng mưa ngày tính toán,... Các công thức thực nghiệm thường hay chứa các hệ số thực nghiệm khác nhau, các hệ số này thường được xác định thông qua phương pháp thí nghiệm hay thực nghiệm. Mỗi tác giả khi nghiên cứu đề xuất các công thức thực nghiệm sẽ dựa trên các giả thiết và quan điểm khác nhau dẫn đến nhóm phương pháp này khá

phong phú và đa dạng. Ưu điểm của nhóm phương pháp này là không sử dụng nhiều số liệu quan trắc tại các trạm khí tượng hoặc trạm đo mưa. Do vậy có thể sử dụng hiệu quả cho các khu vực không có số liệu đo mưa tự ghi hoặc thiếu số liệu đo mưa tự ghi (thời gian quan trắc ngắn, chưa đủ dài).

Tổng quan về các công thức thực nghiệm cường độ mưa tính toán trên thế giới và ở Việt Nam sẽ được trình bày ngay sau đây.

1.1.2. Các công thức cường độ mưa tính toán trên thế giới và Việt Nam

Một trong số các vấn đề thường gặp nhất khi thiết kế thoát nước mưa là lựa chọn đúng cường độ mưa tính toán- công thức cơ bản để tính lưu lượng nước mưa và thông số cho các công trình thoát nước mưa. Hiện nay có một số phương pháp đưa ra để tính toán cường độ mưa. Sự đa dạng các công thức cường độ mưa chủ yếu vẫn dựa trên các lập luận khí tượng về tính toán kênh dẫn nước mưa và sự phụ thuộc của các yếu tố khí tượng thủy văn của vị trí tính toán.

Đa phần, việc thiết lập công thức cường độ mưa tính toán dựa trên cơ sở bắt đầu từ các dữ liệu khí tượng về lượng mưa trung bình có tính đến khí hậu của vùng đã khảo sát. Một vài trường hợp khác dựa trên cơ sở kinh nghiệm đã có về các trận mưa và các tham số của trận mưa rào, mà các tham số này xác định cường độ mưa và sự phụ thuộc của nó vào thời gian mưa.

Ngoài ra, còn có phương pháp dựa trên cơ sở xác định cường độ mưa tính toán theo sự thiếu hụt độ ẩm và theo lượng mưa trong một ngày.

Các phương pháp tính cường độ mưa hiện nay có thể chia thành phương pháp chính xác và gần đúng.

Sự phụ thuộc cường độ mưa vào vào thời gian mưa được biểu diễn dưới dạng tổng quát sau:

$$q = \frac{A}{(t + b)^n} \quad (1.5)$$

$$q = \frac{A}{t^n} \quad (1.6)$$

$$q = \frac{A}{t + b} \quad (1.7)$$

$$q = \frac{A}{t + b} + c \quad (1.8)$$

$$q = \frac{A}{t} \quad (1.9)$$

$$q = \frac{A}{t} + c \quad (1.10)$$

$$q = a - bt \quad (1.11)$$

trong đó: A, b, c, n là các tham số được xác định vào vị trí đo mưa.

Từ công thức (1.5), khi $b = 0$ thì nhận được công thức (1.6), khi $n = 1$ thì nhận được (1.7), và khi $n = 1$ và $b = 0$, ta nhận được công thức (1.9). Trong tất cả các công thức nêu trên, khi tính toán thủy khí của mạng lưới mưa, thì các công thức (1.5), (1.6) và (1.7) thường được sử dụng nhiều nhất.

Để biểu diễn quan hệ giữa cường độ mưa hay tham số A với xác suất hay chu kỳ tràn kênh P , có thể sử dụng các công thức sau:

$$A = A_1 + B \cdot \log P \quad (1.12)$$

$$A = A_0 \cdot P^\gamma \quad (1.13)$$

$$A = D(P^\tau - d) \quad (1.14)$$

trong đó: $A, A_1, B, D, \gamma, \tau, d$ là các tham số, là hằng số đối với vị trí và khu vực đã cho.

Dạng công thức (1.12) phản ánh tốt các quan trắc đã cho với giới hạn thay đổi rộng của P từ 0,25 năm đến 100 năm và hiện nay được sử dụng phổ biến nhất. Dạng công thức (1.13) cho kết quả thỏa đáng chỉ trong một giới hạn thay đổi không lớn P từ 1 năm đến 10 năm. Dạng công thức (1.14) thích ứng tốt với sự quan trắc trong giới hạn thay đổi P từ 0,2 năm đến 20 năm.

Công thức tính cường độ mưa chính xác nhất đối với một vùng nào đó có thể thực hiện trên cơ sở phân tích chi tiết của các vũ lượng kế tự ghi tại các trạm khí tượng địa phương theo chu kỳ không nhỏ hơn 15-25 năm. Ở Liên Xô cũ chu kỳ quan

trắc không nhỏ hơn 20 – 25 năm [32]. Các diễn giải, các công thức trong tiểu mục có thể xem chi tiết hơn trong Luận án Tiến sĩ Khoa học của GS. TSKH. Trần Hữu Uyển [32].

1.1.2.1. Công thức cường độ mưa tính toán trên thế giới

a) Công thức cường độ mưa của GS Gorbachev (phương pháp cường độ giới hạn)

Phương pháp tính toán kênh dẫn nước mưa của Gorbachev còn được gọi là “Phương pháp cường độ mưa giới hạn”. Như đã biết đây không những là phương pháp xác định lưu lượng tính toán mà còn là phương pháp tổng quát để thiết lập cường độ mưa tính toán. Đây là một trong những phương pháp tính đầu tiên được sử dụng ở Liên Xô cũ, đã được thực hiện từ năm 1920. GS. Gorbachev đã đưa ra một khái niệm mới về sức mạnh của trận mưa theo công thức dưới đây:

$$\Delta = i \cdot \sqrt{t} \quad (1.15)$$

trong đó: Δ : sức mạnh của trận mưa, i : Cường độ mưa (mm/phút), t : độ dài trận mưa (phút). Từ đó rút ra:

$$i = \frac{\Delta}{t^{0.5}} \quad (1.16)$$

Sức mạnh của trận mưa đặc trưng cho điều kiện khí hậu của địa phương. GS Gorbachev đã biểu thị dưới dạng hàm số phụ thuộc vào chiều cao của lớp mưa trong năm H (mm) và chu kỳ lặp lại các trận mưa P (năm). Trên cơ sở đó, xác định được các công thức sau:

$$\Delta = \mu \sqrt[3]{P} \quad (1.17)$$

$$\mu = \alpha \sqrt[3]{H^2} \quad (1.18)$$

$$\Delta = \alpha \sqrt[3]{H^2 P} \quad (1.19)$$

trong đó μ : hằng số khí hậu của địa phương; P : chu kỳ tràn kênh (năm). Theo GS Gorbachev thì $\mu = 0,046$ còn theo GS Zaky thì $\mu \in (0,024; 0,049)$ và phụ thuộc vào vị trí địa lý của trạm quan trắc.

Như vậy để xác định cường độ mưa tính toán GS Gorbachev đề xuất công thức như sau:

$$q = \frac{166,7 \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{H^2 P}}{t^{0,5}}. \quad (1.20)$$

Nhược điểm của phương pháp này là khả năng tạo thành các trận mưa ở bất kỳ địa phương nào chỉ được đặc trưng bằng lượng mưa trung bình khi giá trị tham số không đổi bằng 0,046 đối với tất cả các vùng khí hậu của Liên Xô. Vì thế trong tất cả các trạm quan trắc có trung bình cộng các trận mưa nhận được các giá trị bằng nhau.

Từ giải thích này, để làm rõ khả năng tạo thành mưa thì một tham số địa phương nào đó đưa vào lượng mưa trung bình là chưa đầy đủ. Theo Zaky thì lãnh thổ châu Âu, phần lãnh thổ của Liên Xô chia thành 7 vùng khí hậu. Giá trị hệ số đã xác định thay đổi từ 0,0235 ở phía Bắc đến 0,0538 phía Tây Nam. Giá trị cường độ mưa tính toán theo công thức (1.20) thực tế quá cao đến 50%, cho nên hiện nay công thức này thường không giới thiệu sử dụng.

b) Công thức cường độ mưa của Viện Thủy văn quốc gia (Liên Xô cũ) (phương pháp tổng quát)

Công thức tính cường độ mưa của Viện Thủy văn quốc gia (GTI) thuộc Liên Xô cũ là công thức tổng quát tính cường độ mưa với các tham số của nó được xác định đối với phần lớn lãnh thổ Liên Xô cũ. Những kết luận của công trình này, ngày nay được áp dụng rộng rãi trong thực tế tính toán thủy văn, ngay cả cho các cơ quan thiết kế khi tính toán kênh dẫn nước mưa. Công thức của Viện GTI có dạng sau:

$$i = \frac{A_1 + B \cdot \log P}{(t + 1)^n} \quad (1.21)$$

trong đó: i là cường độ mưa (mm/phút), t là thời gian mưa (phút); P là chu kỳ lặp lại (năm), A_1, B là các tham số được xác định cho từng trạm, n : chỉ số mũ.

Giá trị của n khi tính thử với một loạt trạm của Liên Xô cũ theo công thức của viện GTI bằng từ 0,50 đến 0,76. Để thuận tiện cho tính toán thì chỉ số mũ chung cho toàn lãnh thổ Liên Xô lấy bằng 0,67. Công thức này được biểu diễn bằng đường thẳng trên mặt tọa độ logarit.

Trong thực tế chỉ số mũ n thay đổi tương đối mạnh tùy thuộc vào một số điều kiện, giá trị trung bình của nó cho thấy sự phụ thuộc thực sự của cường độ mưa vào thời gian mưa của một số trạm quan trắc.

Tham số A_1 và B cho bởi Viện GTI cho 189 trạm, ngoài ra ở GTI còn thành lập bản đồ tách riêng các tham số này. Tất cả các dạng công thức của GTI có xu hướng tính toán cường độ với chu kỳ lặp lại lớn, đáng quan tâm khi tính toán thủy văn.

c) Công thức cường độ mưa của Viện Hàn lâm Khoa học Leningrad (phương pháp gần đúng)

Vào năm 1949, Viện Hàn lâm Khoa học Leningrad (GTI) đã công bố một phương pháp mới để xác định công thức tính cường độ mưa. Viện đã phân tích dữ liệu của vũ lượng kế tự ghi ở một loạt trạm khí tượng và theo tài liệu của GTI đã đưa ra các tham số A và n từ 35 trạm quan trắc của Liên Xô cũ để đưa ra công thức:

$$q = \frac{A}{t^n}. \quad (1.22)$$

Phân tích các tài liệu về cường độ mưa được tích lũy trong tất cả thời gian ở Liên Xô cho phép GTI xử lý bằng phương pháp gần đúng đưa ra công thức tính cường độ mưa để tính toán kênh dẫn nước mưa [64]. Thực chất là xác định các tham số của công thức tính cường độ theo bản đồ tách riêng các tham số này. Công thức chính của cường độ mưa theo GTI có dạng như sau:

$$q = \frac{A \cdot f(P)}{t^n} \quad (1.23)$$

trong đó q : cường độ mưa, (l/s.ha), t : thời gian mưa (phút); $f(P)$: hàm của xác suất chu kỳ mưa vượt quá của cường độ mưa (năm), A và n : các tham số mưa rào.

Công thức (1.23) được biểu diễn bằng đường thẳng trên tọa độ logarit. Khi chu kỳ $P = 1$ ta có công thức:

$$q = \frac{A_1}{t^n}. \quad (1.24)$$

Áp dụng công thức (1.24) cho một trạm bất kỳ yêu cầu phải xác định giá trị của tham số A_1 , chỉ số mũ n và hàm chu kỳ tràn cống. GTI đã nghiên cứu vấn đề này và cho rằng hợp lý nhất là đưa vào công thức tính cường độ mưa tổng quát (1.23) không phải giá trị A mà là cường độ mưa với chu kỳ tràn kênh 1 lần trong năm q_{20} . Giá trị của q_{20} liên quan với A theo phương trình:

$$A_1 = 20^n \cdot q_{20} \quad (1.25)$$

trong đó n : chỉ số mũ khi t trong công thức tính cường độ mưa. GTI lấy thời gian mưa bằng 20 phút trên cơ sở giá trị trung bình của tất cả các chu kỳ đã khảo sát.

Thay vào công thức (1.23) giá trị của A được xác định theo công thức (1.25), ta được:

$$q = \frac{20^n \cdot q_{20} \cdot f(P)}{t^n} \quad (1.26)$$

GTI đã thành lập sơ đồ phân bố chỉ số mũ n và cường độ q_{20} theo vùng lãnh thổ của Liên Xô.

Sự phụ thuộc của cường độ mưa vào chu kỳ tràn kênh một lần thường có dạng:

$$f(P) = 1 + C \cdot \log P \quad (1.27)$$

trong đó P là chu kỳ tràn kênh một lần (năm), và C là tham số của địa phương đã cho. Trong trường hợp này, công thức tổng quát của cường độ mưa theo GTI có dạng:

$$q = \frac{20^n \cdot q_{20} \cdot (1 + C \cdot \log P)}{t^n} \quad (1.28)$$

trong đó q : cường độ mưa (l/s), t : thời gian mưa (phút),

P : chu kỳ tràn kênh một lần để tính cường độ mưa (năm),

c : hệ số kể đến đặc điểm khí hậu của vùng,

q_{20} : cường độ mưa đối với địa phương đã cho (với thời gian mưa bằng 20 phút, khi $P = 1$) (l/s.ha),

n : tham số xác định trong trường hợp chung theo công thức $n = n'P^k$,

với n' là giá trị của tham số khi $P = 1$ năm, k là tham số đặc trưng cho sự thay đổi trận mưa.

Với công thức này, GTI đã thiết lập bản đồ phân bố các tham số của công thức tính cường độ mưa tổng quát ở tất cả lãnh thổ của Liên Xô cũ.

d) Công thức cường độ mưa ở Hoa Kỳ

Tại Hoa Kỳ, Meier và Stal đã nghiên cứu trên 7 vùng lãnh thổ theo đặc trưng khí hậu của từng vùng và đề xuất một loạt công thức có dạng sau:

$$i = \frac{A}{t + b} \quad (1.29)$$

trong đó i là cường độ mưa (mm/giờ); t là thời gian mưa (phút), A, b là các tham số có giá trị khác nhau đối với các địa phương và chu kỳ tràn kênh khác nhau. Một số ví dụ như:

$$\text{NewYork} \quad i = \frac{130}{t + 20} \quad (1.30)$$

$$\text{Chicago} \quad i = \frac{120}{t + 15} \quad (1.31)$$

Các công thức này được sử dụng rộng rãi ở Mỹ khi thiết kế kênh dẫn nước mưa. Nhược điểm của các công thức này là cần xác định nhiều dạng của tham số A và b , đặc biệt đối với các vùng và chu kỳ tràn kênh khác nhau.

Năm 1930, kỹ sư Bernard ở vùng miền đông nước Mỹ đã đưa ra công thức tính cường độ mưa dạng:

$$i = \frac{A}{t^n}. \quad (1.32)$$

Đối với tham số A và n , Bernard cũng thành lập bản đồ phân tách các tham số này.

e) Công thức cường độ mưa ở Anh

Vào năm 1933, nước Anh sử dụng hai công thức chung cho cả nước như sau: Đối với thời gian mưa 5 phút đến ít hơn 20 phút thì $i = \frac{130}{t+20}$, còn đối với thời gian mưa từ 20 đến 100 phút thì $i = \frac{40}{t+20}$, trong đó i là cường độ mưa (dm/giờ); t là thời gian mưa (phút).

f) Công thức cường độ mưa ở Nhật Bản

Tại Nhật Bản, khi thiết kế kênh dẫn nước mưa cũng có sự thay đổi công thức tính cường độ mưa so với Mỹ và Anh. Các tham số A và B thiết lập cho các thành phố khác nhau như:

$$\text{Tokyo} \quad i = \frac{5000}{t + 40}, \quad (1.33)$$

$$\text{Shizuoka} \quad i = \frac{5500}{t + 50}. \quad (1.34)$$

g) Công thức cường độ mưa ở Trung Quốc

Tại Trung Quốc, công thức cường độ mưa có dạng như công thức của Liên Xô cũ và Mỹ để tính toán kênh dẫn nước mưa. Trung Quốc là một đất nước có diện tích lớn, khí hậu có nhiều vùng khác nhau, vì thế khi tính toán cường độ mưa mỗi địa phương của Trung Quốc có công thức cường độ mưa khác nhau.

$$\text{Bắc Kinh} \quad q = \frac{1125(1 + 0,647 \cdot \log P)}{t^{0,675}} \quad (l/s \cdot ha), \quad (1.35)$$

$$\text{Quảng Châu} \quad q = \frac{1930(1 + 0,58 \cdot \log P)}{(t + 9)^{0,668}} \quad (l/s \cdot ha), \quad (1.36)$$

$$\text{Nam Ninh} \quad q = \frac{1050(1 + 0,71 \cdot \log P)}{(t + 21,1)^{0,119}} \quad (l/s \cdot ha), \quad (1.37)$$

h) Công thức cường độ mưa ở Đức

Tại Đức, để xác định cường độ mưa tính toán cho các khu vực không có số liệu đo đạc mưa đủ dài, công thức cường độ mưa tính toán được đề xuất với thời gian mưa nhỏ hơn 15 phút và lớn hơn 15 phút. Đối với thời gian mưa từ 15 phút trở lên thì công thức có dạng như sau:

$$q = \frac{q_{15} \cdot 10,82(P^{0,246} - 0,333)}{t^{0,73}}. \quad (1.38)$$

Còn lại, đối với thời gian mưa ít hơn 15 phút thì công thức như dưới đây:

$$q = \frac{q_{15} \cdot 147,7(P^{0,246} - 0,333)}{(t + 15)^{1,35}}. \quad (1.39)$$

i) Công thức cường độ mưa ở Cộng hoà Dân chủ Nhân dân Triều Tiên

Tại Triều Tiên, phương pháp xác định cường độ mưa tính toán của Viện Hàn lâm Khoa học Leningrad đã được sử dụng, công thức như sau:

$$q = \frac{20^n q_{20}(1 + c \cdot \log P)}{t^n}. \quad (1.40)$$

Kết quả của của việc áp dụng này đã khẳng định tính đúng đắn của công thức chung sử dụng tại Liên Xô cũ.

1.1.2.2. Công thức cường độ mưa tính toán thường dùng ở Việt Nam

Tại Việt Nam, các công thức cường độ mưa tính toán được sử dụng khá phổ biến bởi do đặc thù về mạng lưới trạm đo mưa ở nước ta là khá thưa thớt, có độ dài dữ liệu không lớn và đảm bảo để áp dụng các phương pháp tính toán khác. Do vậy, các công thức thực nghiệm vẫn là lựa chọn phù hợp nhất cho các bài toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa. Đã có nhiều tác giả nghiên cứu và đề xuất các công thức thực nghiệm trên cơ sở kế thừa các công thức từ các nước như Liên Xô cũ và điều chỉnh cho phù hợp với điều kiện của Việt Nam. Trong đó có công thức đã được đưa vào Tiêu chuẩn Việt Nam phục vụ cho thiết kế hệ thống tiêu thoát nước trên cả nước. Trong nội dung này, một số công thức tiêu biểu và thường sử dụng trong tính toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa ở Việt Nam sẽ được giới thiệu chi tiết.

a) Công thức tính cường độ mưa theo TCVN 7957:2008

Theo tiêu chuẩn quốc gia về thiết kế hệ thống tiêu thoát nước TCVN 7957:2008 về Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài- Tiêu chuẩn thiết kế, áp dụng để thiết kế xây dựng mới hoặc cải tạo, mở rộng và nâng cấp các hệ thống thoát nước của các đô thị, khu dân cư tập trung và khu công nghiệp bao gồm mạng lưới thoát nước và công trình bên ngoài, công thức cường độ mưa tính toán được quy định như sau:

$$i = \frac{A(1 + c \cdot \log P)}{(t + b)^n} \text{ (mm/h)} \quad (1.41)$$

trong đó P là chu kỳ lặp lại trận mưa tính toán (năm) (là khoảng thời gian trung bình

xuất hiện một trận mưa vượt quá cường độ tính toán, t là thời gian mưa tính toán (phút), A, b, c, n là các tham số xác định theo địa phương. Giá trị các thông số A, b, c, n của các địa phương được tra theo kết quả Bảng PL1.1 phần Phụ lục 1.

b) Công thức tính cường độ mưa của Cục Thủy văn

Cục Thủy văn trực thuộc Cục Thủy lợi cũ, nay là Tổng cục Khí tượng Thủy văn thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường, đã đề xuất sử dụng công thức của Trần Việt Liên (1979) [12] để xác định cường độ mưa tính toán trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam như sau:

$$q(T, N) = \frac{q_{20}(20 + c)^n(1 + k \cdot \ln N)}{(T + c)^n} \quad (1.42)$$

Trong đó: n, c - là các đại lượng phụ thuộc vào khí hậu của từng vùng,

q_{20} - là cường độ mưa ứng với thời gian mưa 20 phút của trận mưa có chu kỳ lặp lại một lần trong năm (đây là đại lượng không đổi với từng vùng),

N - là chu kỳ lặp lại trận mưa tính toán, N chính là khoảng thời gian xuất hiện một trận mưa vượt quá cường độ tính toán (năm),

t - là thời gian mưa tính toán (phút).

Giá trị các thông số b, c, n, q_{20} của địa phương được tra theo kết quả của 47 trạm khí tượng trên toàn quốc trong Bảng PL1.2 phần Phụ lục 1.

c) Công thức tính cường độ mưa của Viện thiết kế - Bộ Giao thông vận tải

Viện thiết kế thuộc Bộ Giao thông vận tải đã đề xuất sử dụng công thức tính cường độ mưa tính toán như sau để phục vụ cho tính toán thiết kế trong lĩnh vực giao thông vận tải:

$$a = \frac{S}{(t + b)^n} = \frac{A + b \cdot \log N}{[(t + b)^n + b]^n} = \frac{10 + 12,5 \cdot \log N}{(n + 12)^{0,66}} \times K \quad (1.43)$$

trong đó: A - tham số địa lý; $A = 10,00$ N - độ lặp lại trận mưa, $N = 0,66$,

S - sức mạnh trận mưa ứng với $P\%$ (mm/phút),

n - chỉ số giảm dần theo thời gian t ,

b - tham số hiệu chỉnh, $b = 12$, t - thời gian mưa (phút),

K - hệ số khí hậu (hiệu số điều chỉnh phụ thuộc vào từng vùng khí hậu).

d) Công thức cường độ mưa của trường Đại học Xây dựng Hà Nội

GS.TSKH. Trần Hữu Uyển (1973) đã đề xuất công thức xác định cường độ mưa tính toán như sau:

$$q = \frac{35^n \cdot q_{20} \cdot (1 + c \cdot \log P)}{(t + 15 \cdot P^m)^n} \quad (1.44)$$

trong đó: q : cường độ mưa (l/s.ha),
 t : thời gian mưa (phút),
 P : chu kỳ tràn kênh (năm),
 n và c : các tham số kể đến điều kiện khí hậu của vùng lãnh thổ,
 m : tham số đặc trưng cho sự thay đổi các trận mưa.
 q_{20} : cường độ mưa trong thời gian mưa 20 phút, khi $P = 1$.

Có thể nhận thấy các công thức xác định cường độ mưa tính toán được nghiên cứu và đề xuất sử dụng ở Việt Nam có các tham số phụ thuộc vào tính chất đặc thù của từng địa phương, ví dụ như phụ thuộc vào tính chất khí hậu của từng khu vực, vị trí địa lý, đặc trưng mưa... Các tham số trong công thức mặc dù đã được thực nghiệm để xác định cho từng địa phương như trong công thức của TCVN 7957 hay công thức của Cục Thủy văn cũ nhưng có thể thấy rằng các yếu tố chi phối đến giá trị các tham số này luôn có sự biến đổi. Ngoài ra, đối với các công thức hiện có, đa phần các nhà nghiên cứu hiện nay đang ứng dụng dạng công thức của Liên Xô với các thông số của công thức được tính toán dựa trên phương pháp ước lượng số liệu đo mưa trong khoảng dưới 20 năm, có nơi dưới 10 năm. Thêm vào đó, các hằng số khí hậu được thiết lập dựa trên bộ số liệu từ những năm 80 của thế kỷ XX không còn phù hợp với thực trạng thoát nước hiện nay, khi những trận mưa thời đoạn ngắn với cường độ lớn xuất hiện ngày càng nhiều.

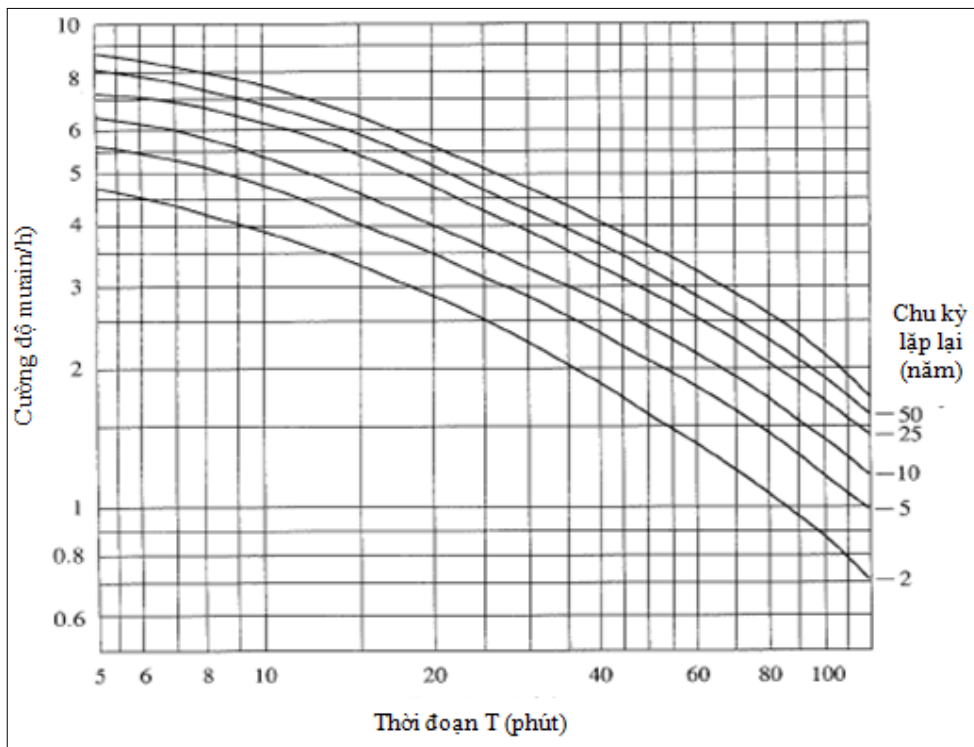
1.2. Tổng quan về đường cong quan hệ Cường độ mưa – Thời gian – Tần suất (Intensity – Duration – Frequency)

Như đã giới thiệu ở phần trên, phương pháp xác định cường độ mưa tính toán sử dụng đường cong quan hệ Cường độ mưa – Thời gian – Tần suất (IDF - Intensity

– Duration – Frequency) thuộc nhóm phương pháp thứ nhất (nhóm phương pháp thống kê). Đây cũng là một trong những phương pháp điển hình thuộc nhóm này, vì vậy trong nội dung này luận án sẽ tập trung tổng quan các vấn đề liên quan đến đường cong quan hệ IDF này.

1.2.1. Khái niệm về đường cong quan hệ IDF

Trong thiết kế hệ thống thoát nước mưa, cường độ mưa tính toán đóng vai trò tối quan trọng, là cơ sở cho việc tính toán lưu lượng tiêu thoát thiết kế. Thông thường một trận mưa rào thiết kế được sử dụng trong đó có xét tới quan hệ cường độ mưa, thời gian và tần suất hay thời kỳ lặp lại, gọi tắt là quan hệ IDF. Thông thường quan hệ IDF được biểu thị dưới dạng đồ thị, trong đó thời gian mưa được đặt trên trục hoành, cường độ mưa trên trục tung và một họ đường cong IDF, mỗi đường tương ứng với một chu kỳ lặp lại (Hình 1.1).



Hình 1.1. Minh họa đường cong IDF cho một khu vực [24]

Đường cong IDF được dùng để biểu thị mối quan hệ cường độ, thời đoạn và tần suất mưa. Đây là một đặc trưng quan trọng được sử dụng để xác định cường độ mưa trong thời đoạn nào đó (5 phút, 10 phút, 30 phút, 45 phút,...) theo tần suất hoặc

chu kỳ lặp lại (2 năm, 5 năm, 10 năm,...) phục vụ tính toán dòng chảy thiết kế cho các công trình tiêu thoát nước và quy hoạch đô thị.

Khi có đủ các số liệu mưa, ta có thể xây dựng các đường cong IDF bằng phân tích tần suất. Đường cong IDF xây dựng cho mỗi vùng đều có đặc tính riêng phụ thuộc vào số liệu đo mưa và điều kiện địa hình của từng khu vực, vì vậy mỗi khu vực cần xây dựng bộ đường cong riêng.

1.2.2. Các nghiên cứu liên quan đến đường cong quan hệ IDF

Ý tưởng xây dựng quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất đã có từ rất lâu, Bernard (1932) và được phát triển rộng rãi trên toàn Thế giới [41]. Hiện nay đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến đường cong quan hệ IDF được thực hiện bởi nhiều tác giả trên thế giới và ở Việt Nam. Nhìn chung, khi có đủ các số liệu về mưa, các đường cong IDF có thể được xây dựng bằng phương pháp thống kê và phân tích tần suất. Ứng với mỗi thời đoạn mưa lựa chọn, lượng mưa lớn nhất năm được thống kê từ tập số liệu mưa thực đo, sau đó tiến hành phân tích tần suất đối với chuỗi số liệu năm. Có thể nhận thấy, việc nghiên cứu IDF được thể hiện ở ba giai đoạn chính gồm: (1) Cập nhật lượng mưa các thời đoạn và tính toán tần suất; (2) Xây dựng hệ thống đường cong và mối quan hệ toán học được thể hiện qua công thức IDF; (3) Tính chất phân bố không gian của IDF. Sản phẩm của những nghiên cứu này là những bản đồ về cường độ mưa để ứng dụng vào thực tế và các giáo trình và tài liệu tham khảo Chow, 1964; Linsley & Cs, 1975; Chow & Cs, 1988 [48], [49]; Viessman & Cs, 1989 [77]; Wanielista, 1990; Smith, 1993. Tại Anh và Ireland, Viện Thủy văn (NERC, 1975) [79]; Ấn Độ (UNESCO, 1974; Subramanya, 1984) [71]; Sri Lanka (Baghirathan & Shaw, 1978); Italy (Pagliara and Viti, 1993); Koutsoyiannis & Cs (1998) [58]; Jakarta (Daniell T. Tabios G.Q, 2008) [51]; New York (Eagleson P.S, 1970) [53]; London (Escritt L.B, 1972) [54]; Benzeden E., Haciduleyman H, 2003 [40]; Bougadis J., Adamowski K, 2006 [43]; Burlando P., Rosso R, 1996 [44]; Canterford, R.P.& Cs, 1987 [45]; Cheng L. AghaKouchak A, 2014 [47]; Cao C., Piga E., Saba A, 1993 [50]; Martel J.L.; Brissette F.P., Picher P.L., Troin M., Arsenault R., 2021 [65]; Miller J.F., Frederick R.H., Tracey R.J, 1973 [66]; Ologadien I, 2019 [68]; Sun Y., Wendi D., Kim D.E., Liang S.-Y, 2019 [72].

Trong thời gian gần đây, sự phân bố không gian của IDF còn được thể hiện thông qua các tham số có tính chất địa lý của một hàm toán học thể hiện mối quan hệ IDF. Le Minh Nhat và cộng sự đã thực hiện các nghiên cứu sử dụng phương pháp liên quan đến các tính chất của mưa theo không gian và thời gian theo thu phóng đơn để xây dựng quan hệ IDF cho mưa thời đoạn ngắn trên sông Yodo ở Nhật Bản. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng đối với biến thời gian, tính chất của mưa tuân theo quy tắc thu phóng đơn giản. Đối với biến không gian, thu phóng đơn bao gồm hai chế độ tùy thuộc vào diện tích nghiên cứu biến đổi từ 2,25 km² đến 1000 km² và từ 1000 km² đến 5000 km² (L.M. Nhật & Cs (2006, 2007) [60], [61], [62], [63], Takara và L.M.Nhật 2008) [73]).

Đối với các vùng không có hoặc có ít số liệu mưa, các nghiên cứu thường sử dụng cách tiếp cận như bản đồ đẳng trị mưa (Hershfield, 1961), [56], từ các bản đồ đẳng trị mưa ta nội suy được các tham số của phương trình lượng mưa tại các khu vực dự án. Tuy nhiên đối với phương pháp này thường có khối lượng tính toán lớn do phải xây dựng bản đồ đẳng trị mưa trước đó. Một cách tiếp cận khác trong quá trình xây dựng IDF khi thiếu số liệu đo mưa là phương pháp thu phóng đơn và thu phóng phức (Simple & Multiple Scaling) để mô tả cấu trúc xác suất của quá trình mưa như ở Úc. Pao-Shan Yu và cộng sự [80] thực hiện nghiên cứu xây dựng công thức mưa IDF cho vùng dựa trên tính chất thu phóng của mưa cho các khu vực không có số liệu quan trắc tại Đài Loan. Tổng cộng 46 trạm mưa đã được sử dụng ở khu vực bắc Đài Loan. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng các công thức thu phóng IDF cho vùng cho kết quả tính toán là phù hợp (Yu & Cs, 2004). Một số các nghiên cứu khác cũng dựa trên cách tiếp cận này như các nghiên cứu của Kuzuha & Cs (2005) [59] và Le & Cs (2007) [63].

Tại Việt Nam, quan hệ IDF đã được ứng dụng khá phổ biến trong tính toán thiết kế và các nghiên cứu về xây dựng đường quan hệ IDF cũng đã được tiến hành từ khá lâu. Đường cong quan hệ IDF được giới thiệu rộng rãi trong các sách và giáo trình của các trường đại học như: “Tính toán Thủy văn” của Trường Đại học Thủy lợi (1985) [24]; “Tính toán Thủy văn cho các công trình thủy lợi vừa và nhỏ” của GS.TS Ngô Đình Tuấn & PGS.TS Đỗ Cao Đàm (1986) [25]. Đồng thời quan hệ IDF cũng được sử dụng trong các Quy phạm và tiêu chuẩn tính toán của Bộ Thủy lợi cũ

(nay là Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn) như QP-VN-08-76, QP-TL.C-6-77; Tiêu chuẩn ngành 22TCN 220 - 1995 của Bộ Giao thông Vận tải; Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7957:2008 về thoát nước và mạng lưới thoát nước, và các tài liệu tham khảo liên quan khác.

Bên cạnh đó, một số các tác giả cũng đã thực hiện các nghiên cứu liên quan đến quan hệ IDF ở Việt Nam. Lương Tuấn Anh và cộng sự (2007) [1] đã trình bày một cách đơn giản hóa công thức tính cường độ mưa – thời gian – tần suất của Wenzel và phương pháp xác định các hệ số của công thức cho một số thành phố ở Việt Nam. Kết quả cho thấy công thức đề xuất là phù hợp với khu vực nghiên cứu. Nguyễn Thị Việt Hồng và Nguyễn Tuấn Anh (2018) [11] đã thực hiện một nghiên cứu xây dựng phương trình quan hệ IDF thời đoạn nhỏ hơn 24h và bản đồ đẳng trị các tham số của phương trình IDF cho khu vực đồng bằng Bắc Bộ. Nghiên cứu này sử dụng hàm phân bố xác suất Gumbel cho việc tính toán tần suất. Kết quả nghiên cứu tại 15 trạm đo mưa trong 30 năm số liệu từ 1985 đến 2014 cho thấy các quan hệ giữa lượng mưa và thời gian mưa, cường độ mưa và thời gian mưa có thể được mô tả bởi hai hàm số mũ và một thời điểm chuyển tiếp. Kết quả nghiên cứu cũng đưa ra bộ các phương trình biểu diễn quan hệ cường độ mưa và thời gian với chu kỳ lặp lại 5, 10 và 20 năm. Nguyễn Văn Thắng (2017) [19] đã thực hiện một nghiên cứu xây dựng đường cong IDF cho 8 vùng mưa thuộc miền Bắc Việt Nam. Nghiên cứu sử dụng phân bố Pearson III để tính toán tần suất mưa. Kết quả nghiên cứu cho thấy công thức đề xuất cho 8 trạm khí tượng đại diện cho 8 vùng mưa đạt độ chính xác cao. Gần đây, một nghiên cứu của Hồ Công Toàn và Đặng Trường An (2021) [23] về việc xây dựng đường cong cường độ-thời đoạn-tần suất mưa hướng đến thiết lập bản đồ ngập lụt cho khu vực bán đảo Cà Mau đã sử dụng hàm phân bố xác suất GEV vào phân tích tần suất. Nghiên cứu đã tiến hành xây dựng đường cong cường độ-thời đoạn-tần suất mưa theo các thời đoạn từ 0,25 đến 12 giờ ứng với các chu kỳ lặp lại từ 2 đến 100 năm cho khu vực bán đảo Cà Mau.

Qua phân tích các nghiên cứu liên quan đến đường cong quan hệ IDF thấy rằng việc lựa chọn hàm phân bố xác suất khi thiết lập mối quan hệ cường độ mưa, thời gian mưa và tần suất mưa đóng vai trò quan trọng. Việc lựa chọn hàm phân bố xác suất phù hợp sẽ cho kết quả tính toán tần suất phù hợp nhất với các điểm kinh

nghiệm. Tuy nhiên, hiện nay nhiều nghiên cứu đang sử dụng một số hàm phân phối phổ biến như Gamma, Pearson III, Log-Pearson III, Weibull... mà thiếu đi việc phân tích lựa chọn hàm phân phối xác suất phù hợp nhất với đặc điểm địa phương.

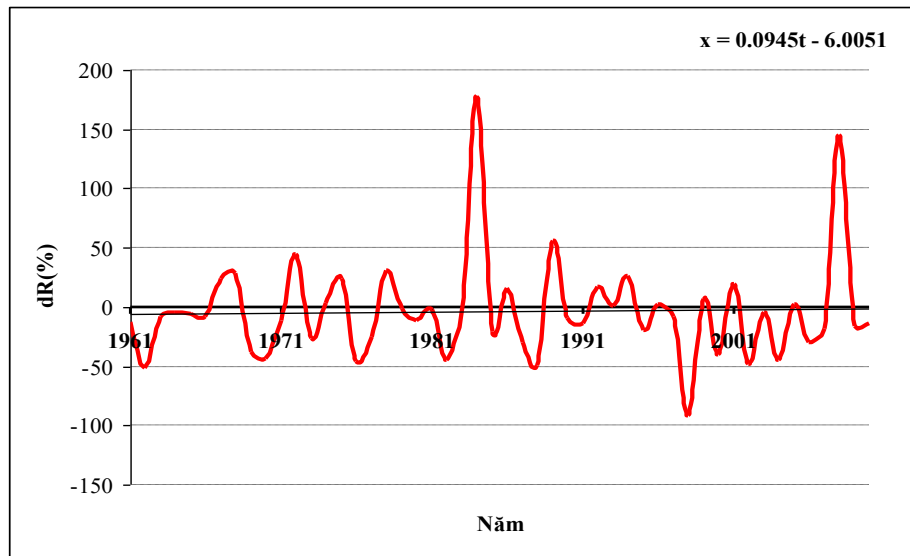
1.3. Thực trạng sử dụng công thức cường độ mưa tính toán trong thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị

Như vậy, thông qua việc tổng quan về cường độ mưa và công thức cường độ mưa tính toán trên thế giới và ở Việt Nam có thể thấy rằng công thức cường độ mưa tính toán biểu thị mối quan hệ giữa cường độ - thời đoạn - tần suất mưa đóng một vai trò rất quan trọng trong việc tính toán lưu lượng mưa thiết kế, phục vụ có hiệu quả cho công tác thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị. Hiện nay ở nước ta thì tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7957 vẫn đang được sử dụng khá rộng rãi trong tính toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị. Tuy nhiên bên cạnh đó vẫn còn một số tồn tại khi sử dụng các công thức thực nghiệm này. Cụ thể là công thức xác định lưu lượng mưa trong TCVN 7957 đang áp dụng phương pháp tính cường độ giới hạn, phương pháp này đã được một số nghiên cứu chỉ ra rằng có sai số lớn hơn nhiều so với thực tế. Ngoài ra, đối với các công thức hay sử dụng ở nước ta thường ứng dụng các dạng công thức học tập từ Liên Xô cũ. Trong đó, dữ liệu để xây dựng các thông số này trong khoảng dưới 20 năm hoặc có nơi là dưới 10 năm. Do vậy khi áp dụng các công thức vào hiện trạng đặc điểm khí tượng thủy văn hiện nay là chưa phù hợp. Do các hằng số khí hậu được thiết lập dựa trên bộ số liệu cũ đã không còn đúng với ngày nay. Ngoài ra, do tác động của biến đổi khí hậu ở các đô thị lớn như Hà Nội mà các đặc trưng về mưa như cường độ, tần suất và thời lượng đã có sự biến động.

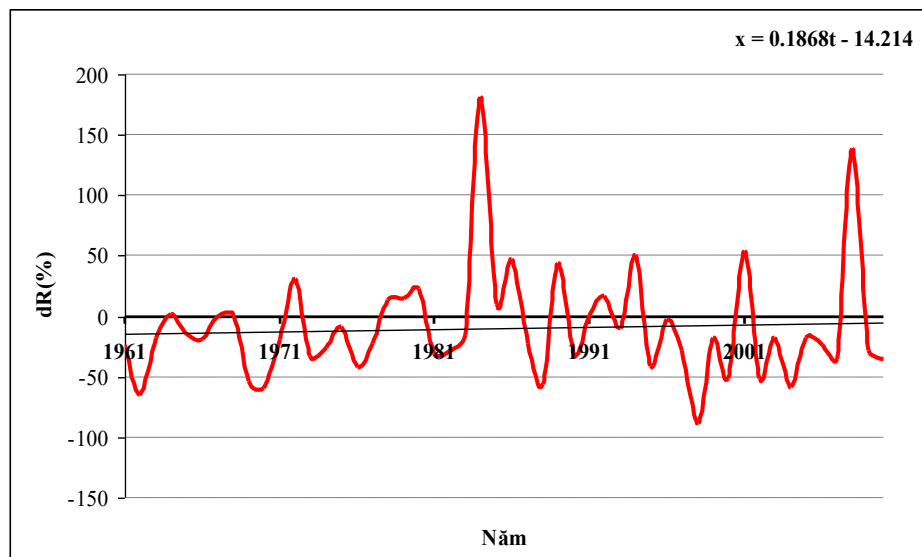
Bên cạnh đó, qua phân tích các nghiên cứu có thể thấy phần lớn các nghiên cứu về xây dựng cường độ mưa tính toán hiện nay đang sử dụng một vài hàm phân bố xác suất có sẵn như các hàm phân bố Pearson III, Log-Pearson III, Log-normal, Gumbel... Việc lựa chọn hàm phân bố xác suất phù hợp sẽ có ảnh hưởng lớn đến kết quả hình thành công thức cường độ mưa tính toán. Tuy nhiên không có nhiều nghiên cứu thực hiện việc lựa chọn hàm phân bố phù hợp nhất với các vị trí tính toán trên cơ sở so sánh các hàm phân bố sử dụng các chỉ tiêu kiểm định. Từ các phân tích trên có

thể thấy công thức cường độ mưa tính toán đang sử dụng hiện nay cần có sự cập nhật và bổ sung trong điều kiện có nhiều biến động về đặc điểm mưa và khí hậu. Việc tính toán thiết kế hệ thống tiêu nước thường được bắt đầu với việc xác định cường độ mưa tính toán. Sau đó lưu lượng nước tiêu thoát cho từng lưu vực và đoạn cống được tính toán dựa trên số liệu về cường độ mưa tính toán và từ đây xác định ra kích thước đường cống. Do vậy nếu việc xác định cường độ mưa tính toán không thể hiện đầy đủ các đặc tính của các thông số tính toán, cũng như mối quan hệ Cường độ - Thời gian - Tần suất mưa sẽ dẫn đến những sai số trong xác định lưu lượng thoát nước, từ đây dẫn đến việc thiết kế hệ thống thoát nước mưa thiếu chuẩn xác.

Cuối cùng, hiện nay tác động của biến đổi khí hậu đến lượng mưa thời đoạn ngắn đang hiện hữu. Đặc biệt, tại Hà Nội, diễn biến mưa có nhiều biến động về cường độ, tần suất và thời gian mưa. Mưa của lưu vực Hà Nội chịu sự chi phối của hệ thống các hoàn lưu khí quyển. Nguyên nhân gây mưa chủ yếu là do: bão, áp thấp nhiệt đới, hoạt động của gió mùa Tây Nam hoặc Đông Nam, bão kết hợp với không khí lạnh và xoáy thuận tầng cao. Mùa mưa này bắt đầu từ tháng V và kết thúc vào tháng X. Tổng lượng mưa của mùa mưa có thể chiếm tới 80-85% tổng lượng mưa năm, trong khi số ngày mưa chỉ chiếm từ 50-55% tổng số ngày mưa trong năm. Lượng mưa tháng lớn nhất có thể lên tới 700 mm có những nơi còn lên trên 800 mm (Hà Đông năm 2008), thường xảy ra vào các tháng cuối mùa mưa, chiếm khoảng 40% tổng lượng mưa năm. Qua đánh giá biến đổi mưa cực trị cho thành phố Hà Nội [15] sử dụng hai chỉ tiêu là độ lệch chuẩn và biến suất lượng mưa kết quả cho thấy lượng mưa cực trị đang có xu hướng gia tăng (Hình 1.2 và Hình 1.3). Điều này được chứng minh qua các trận mưa lịch sử liên tiếp xảy ra trong các năm gần đây tại Hà Nội. Trong 50 năm qua lượng mưa một ngày lớn nhất có xu thế tăng với tốc độ tăng khoảng 0,6 đến 0,9% cho mỗi thập kỷ.



Hình 1.2. Xu thế biến đổi lượng mưa một ngày lớn nhất trạm Láng [15]



Hình 1.3. Xu thế biến đổi lượng mưa hai ngày lớn nhất trạm Láng [15]

Có thể thấy với sự biến đổi nhanh chóng về lượng mưa cực trị thời đoạn ngắn đã khiến giải pháp thoát nước mưa và giảm thiểu ngập lụt cho thành phố ngày càng trở nên khó khăn và nhiều thách thức hơn bao giờ hết. Như vậy, yêu cầu cần thiết hiện nay là xây dựng được công thức cường độ mưa tính toán trên cơ sở khắc phục những tồn tại hiện nay của các công thức thực nghiệm đang sử dụng. Đồng thời công thức cường độ mưa tính toán mới cũng cần có tính kế thừa và tính cập nhật nhằm tăng cường độ tin cậy và chính xác trong điều kiện mới của thành phố Hà Nội có nhiều biến động như hiện nay.

1.4. Các nghiên cứu liên quan đến công thức cường độ mưa tính toán trong thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị

1.4.1. Các nghiên cứu sử dụng công thức cường độ mưa tính toán trên thế giới

Các nghiên cứu liên quan đến công thức cường độ mưa tính toán trong thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị đã được nhiều tác giả quan tâm thực hiện trên thế giới. Pao-Shan Yu và cộng sự (2004) [80] đã phát triển các công thức cường độ mưa biểu thị quan hệ Cường độ-Thời đoạn- Tần suất cho vùng dựa trên tính chất thu phóng của lượng mưa cho các vị trí không có số liệu đo đạc. Có tất cả 46 trạm đo mưa bao phủ khu vực phía bắc Đài Loan được sử dụng trong nghiên cứu. Nghiên cứu cũng tập trung vào việc chi tiết hóa lượng mưa thời đoạn ngắn. Nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng tất cả các thông số trong công thức tính cường độ mưa tính toán có thể được ước lượng từ chuỗi số liệu mưa 1 ngày lớn nhất năm. Kết quả thử nghiệm tính toán các công thức được đánh giá là hợp lí. Một nghiên cứu khác của Cheng-lung Chen [46] thực hiện năm 1983 về xây dựng công thức cường độ mưa tính toán. Nghiên cứu chỉ ra rằng công thức đề xuất dựa trên quan hệ cường độ-thời đoạn-tần suất có mức độ cải tiến hơn so với các công thức được đề xuất từ trước. Tác giả lập luận rằng các công thức đã được phát triển trước đây dựa trên tỷ lệ độ sâu-thời gian trung bình khoảng 40% và tỷ lệ độ sâu-tần số trung bình là 1,48, đồng thời chúng chỉ sử dụng chuỗi số liệu mưa 10 năm thời đoạn 1h trong khi tác giả phát triển công thức dựa trên chuỗi dữ liệu mưa thời đoạn 1h trong 10 năm, mưa thời đoạn 24h trong 10 năm và mưa thời đoạn 1h trong 100 năm.

Umesh C. Kothyari và Ramchandra J. Garde đã công bố 1 bài báo vào năm 1992 về xây dựng công thức cường độ mưa tính toán cho Ấn Độ [75]. Nghiên cứu đã xây dựng công thức mới dựa trên các số liệu mới thu thập từ các trạm mưa trải đều trên lãnh thổ Ấn Độ. Công thức mới được đề xuất đã được kiểm định độ chính xác bằng việc so sánh với các kết quả tính toán từ công thức trước đó. Kết quả chỉ ra rằng công thức mới đề xuất cho các giá trị gần đúng với thực tế. Kết quả nghiên cứu có thể ứng dụng rộng rãi trong thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa cho các đô thị ở Ấn Độ. Saleh A. AlHassoun đã công bố kết quả nghiên cứu xây dựng công thức thực nghiệm cường độ mưa tính toán cho vùng Riyadh ở Ả Rập Xê Út vào năm 2011 [69]. Công thức thực nghiệm trong nghiên cứu này được xây dựng dựa trên cường độ quan hệ IDF, tạo thành từ số liệu mưa quan trắc trong 32 năm của khu vực nghiên

cứu. Công thức được xây dựng dựa trên ba hàm phân bố xác suất là Gumbel, Log Pearson III và Log normal. Kết quả nghiên cứu cho thấy các công thức thực nghiệm tính toán tốt cường độ mưa cho vùng nghiên cứu ở bất kì chu kỳ lặp lại và thời đoạn mưa nào. Kee-Won Seong [70] đã công bố một nghiên cứu vào năm 2013 về xây dựng công thức tổng quát của quan hệ IDF sử dụng cường độ mưa chuyển đổi cho một số khu vực ở Hàn Quốc. Công thức tổng quát biểu thị quan hệ IDF trong nghiên cứu này được xây dựng dựa trên hàm phân bố xác suất chuẩn của cường độ mưa chuyển đổi. Cường độ mưa chuyển đổi được thực hiện từ các dữ liệu mưa thô sau đó sử dụng một hàm chuyển đổi dựa trên thống kê Kruskal–Wallis và chuyển đổi Box-Cox. Kết quả nghiên cứu chỉ ra có sự tương đồng giữa cường độ mưa phân vị xác định từ công thức đề xuất và giá trị xác định thông qua phân tích tần suất truyền thống.

Như vậy, qua phân tích các nghiên cứu về cường độ mưa tính toán trên thế giới có thể thấy rằng các nghiên cứu thường tập trung vào khai thác tối đa các nguồn dữ liệu lượng mưa đang có trong khu vực để xây dựng công thức tính toán, điều này giúp gia tăng độ chính xác khi mà phần lớn các công thức đều dựa vào đặc điểm về mưa và khí hậu khu vực. Ngoài ra, cũng có thể thấy các công thức thực nghiệm thể hiện quan hệ IDF cho khu vực không có số liệu quan trắc thường được xây dựng dựa trên đường cong IDF thiết lập cho các trạm hay vị trí có đo đạc mưa đủ dài. Các công thức được đề xuất mới được kiểm nghiệm độ tin cậy bằng cách so sánh kết quả tính toán với các công thức cũ đã có hoặc các cách tính toán truyền thống khác.

1.4.2. Các nghiên cứu sử dụng công thức cường độ mưa tính toán ở Việt Nam

Như đã trình bày ở trên, tại Việt Nam, các công thức cường độ mưa tính toán được sử dụng khá phổ biến bởi do đặc thù về mạng lưới trạm đo mưa ở nước ta không đủ độ bao phủ, cùng với nguồn dữ liệu dữ liệu đo đạc được không quá dài và đảm bảo để áp dụng các phương pháp tính toán khác. Do vậy, các công thức thực nghiệm vẫn là lựa chọn phù hợp nhất cho các bài toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa.

Trong hai thập kỉ vừa qua, đã có một số tác giả thực hiện nghiên cứu có sử dụng các công thức cường độ mưa tính toán trong thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị. Tác giả Ứng Quốc Dũng [7] trong luận án tiến sĩ thực hiện năm 1996 về hoàn thiện phương pháp xác định lưu lượng nước mưa tính toán khi thiết kế hệ thống thoát nước mưa cho các đô thị Việt Nam đã phân tích về cường độ mưa tính toán,

một thành phần quan trọng trong công thức lưu lượng nước mưa tính toán mà tác giả nghiên cứu. Trong nghiên cứu này tác giả xác định cường độ mưa hiệu quả lớn nhất thông qua việc xác định lượng mưa lớn nhất xung quanh đỉnh mưa mà lưu vực nhận được trong khoảng thời gian tính toán. Nghiên cứu cũng kết luận và kiến nghị về việc chọn chu kỳ vượt quá cường độ mưa tính toán không chỉ phụ thuộc vào điều kiện thoát nước của đô thị mà còn phụ thuộc vào cấp đô thị.

Một tác giả khác là Nguyễn Thị Việt Hồng [10] trong luận án tiến sĩ thực hiện năm 2018 về cải tiến phương pháp xác định mô hình mưa và lưu lượng tiêu thiết kế cho các hệ thống tiêu vùng Đồng bằng Bắc Bộ đã đề cập đến các công thức xác định cường độ mưa thiết kế. Tác giả đã phân tích một số công thức biểu thị quan hệ cường độ-thời đoạn-tần suất mưa. Trong nghiên cứu này tác giả có sử dụng công thức đề xuất cho cả khu vực Đồng bằng Bắc Bộ, công thức xác định cường độ mưa tính toán trong TCVN 7957:2008 và của Cục Thủy văn cũ. Nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng các công thức cường độ mưa tính toán được xây dựng từ khá lâu, trong đó có sử dụng các liệt tài liệu đo mưa cũ không còn phù hợp với tình hình hiện tại. Điều này sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của kết quả tính lưu lượng tiêu và thiết kế các công trình trong hệ thống tiêu.

Lê Song Giang và các cộng sự (2023) [8] đã thực hiện nghiên cứu xây dựng đường cong tổ hợp lượng mưa – mực nước phục vụ thiết kế hệ thống thoát nước mặt ở thành phố Hồ Chí Minh. Nghiên cứu này đã chỉ ra rằng việc tính toán, thiết kế hệ thống thoát nước mặt và cao độ nền đòi hỏi xác định các tổ hợp lượng mưa mực nước (I-H) ở các chu kỳ lặp lại làm điều kiện biên, thay vì chỉ xác định lượng mưa ở các chu kỳ lặp lại như trước đây. Nghiên cứu này cũng đã giới thiệu phương pháp và kết quả xây dựng các đường cong đồng chu kỳ lặp lại của tổ hợp lượng mưa - mực nước (I-H) cho các chu kỳ thiết kế và áp dụng tại Tp.HCM. Bằng cách sử dụng các đường cong này, việc tính toán và thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mặt cũng như thiết kế cao độ nền của Tp.HCM sẽ đảm bảo tuân thủ Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chu kỳ tràn công và chu kỳ ngập.

Bùi Thị Thu Trang và cộng sự (2018) [74] đã thực hiện một nghiên cứu về phân tích các mô hình mưa phục vụ thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị cho các khu vực chịu ảnh hưởng của gió mùa ở Việt Nam. Nghiên cứu này tập trung vào việc xây dựng các đường cong IDF cho khu vực khí hậu gió mùa ở Việt Nam dựa

trên phương pháp thu phóng. Nghiên cứu cũng đã giới thiệu một số công thức kinh nghiệm tính toán quan hệ cường độ - thời đoạn – tần suất mưa. Trong đó công thức xác định cường độ mưa của Kimijima được áp dụng để tính toán cường độ mưa nhằm so sánh với kết quả xác định cường độ mưa từ đường cong quan hệ IDF

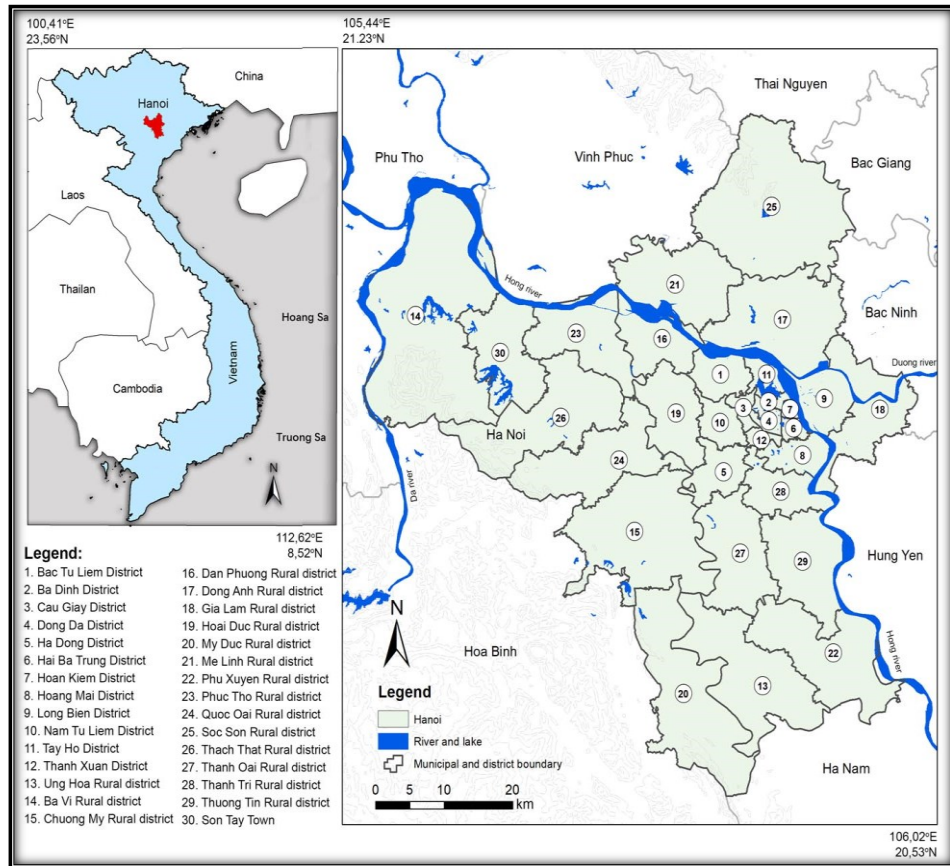
Qua phân tích các nghiên cứu đã thực hiện ở Việt Nam có sử dụng các công thức thực nghiệm cường độ mưa tính toán thấy rằng phần lớn các nghiên cứu có sử dụng các công thức kinh nghiệm tính toán cường độ mưa và chủ yếu mang tính áp dụng các công thức là chính. Trong khi đó, không có nhiều nghiên cứu độc lập tập trung vào xây dựng hay cải tiến các công thức xác định cường độ mưa tính toán khi mà phần lớn các công thức thực nghiệm được xây dựng dựa trên chuỗi tài liệu trong quá khứ và các hệ số trong công thức cũng không còn phù hợp trong ngày nay do có nhiều sự biến đổi và nhiều các nhân tố tác động đến việc tính toán.

1.5. Giới thiệu chung về thành phố Hà Nội

1.5.1. Vị trí địa lý và đặc điểm tự nhiên

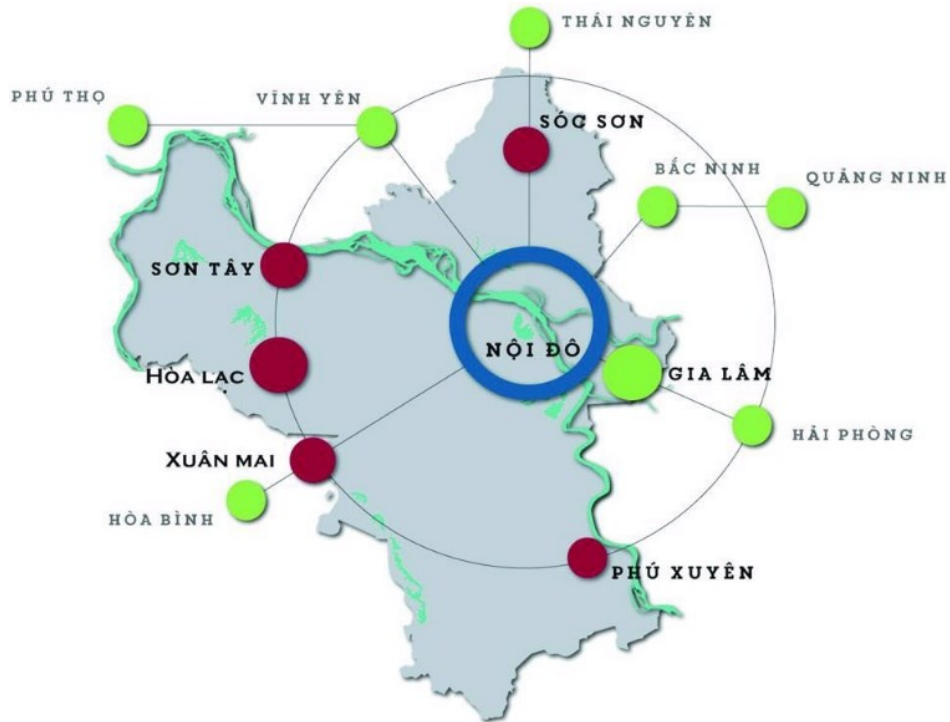
1.5.1.1. Vị trí địa lý

Hà Nội hiện nay có vị trí từ $20^{\circ}53'$ đến $21^{\circ}23'$ vĩ độ Bắc và $105^{\circ}44'$ đến $106^{\circ}02'$ kinh độ Đông, tiếp giáp với các tỉnh Thái Nguyên - Vĩnh Phúc ở phía Bắc; Hà Nam - Hòa Bình ở phía Nam; Bắc Giang- Bắc Ninh- Hưng Yên ở phía Đông và Hòa Bình- Phú Thọ ở phía Tây (Hình 1.4). Theo Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 1259/QĐ-TTg ngày 26 tháng 07 năm 2011 [30], thành phố Hà Nội được xác định với diện tích địa giới hành chính rộng khoảng 3.344,6 km², nằm về phía Tây Bắc của trung tâm vùng đồng bằng châu thổ sông Hồng, bao gồm 12 quận, 17 huyện và 1 thị xã; tiếp giáp 4 điểm cực: cực Bắc là xã Bắc Sơn, huyện Sóc Sơn, cực Tây là xã Thuần Mỹ huyện Ba Vì, cực Nam là xã Hương Sơn huyện Mỹ Đức, cực Đông là xã Lệ Chi huyện Gia Lâm.



Hình 1.4. Bản đồ vị trí địa lý và hành chính thủ đô Hà Nội [20]

Thành phố Hà Nội được chia thành Khu đô thị Trung tâm và 5 đô thị vệ tinh (Hình 1.5). Khu Đô thị trung tâm được phát triển mở rộng từ khu vực nội đô về phía Tây, Nam đến đường vành đai 4 và về phía Bắc với khu vực Mê Linh, Đông Anh; phía Đông đến khu vực Gia Lâm và Long Biên. Các đô thị vệ tinh gồm đô thị Hòa Lạc, Sơn Tây, Xuân Mai, Phú Xuyên và Sóc Sơn, mỗi đô thị vệ tinh có chức năng hỗn hợp và đặc thù riêng, hoạt động tương đối độc lập để hỗ trợ và chia sẻ với đô thị trung tâm về nhà ở, đào tạo, công nghiệp, dịch vụ.



Hình 1.5. Ranh giới khu vực đô thị trung tâm và các đô thị lân cận [Nguồn Internet]

1.5.1.2. Đặc điểm khí hậu

Nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa, khí hậu Hà Nội có đặc trưng nổi bật là gió mùa ẩm, nóng và mưa nhiều về mùa hè, lạnh và ít mưa về mùa đông. Trung bình hàng năm Hà Nội có 145-180 ngày mưa, dao động trong phạm vi từ 1500 – 2100 mm ở vùng thấp và từ 1600 – 2600 mm ở vùng núi cao. Mưa của lưu vực Hà Nội chịu sự chi phối của hệ thống các hoàn lưu khí quyển. Nguyên nhân gây mưa chủ yếu là do: bão, áp thấp nhiệt đới, hoạt động của gió mùa Tây Nam hoặc Đông Nam, bão kết hợp với không khí lạnh và xoáy thuận tầng cao.

Mùa mưa này bắt đầu từ tháng 5 và kết thúc vào tháng 10 (Bảng 1.1). Tổng lượng mưa của mùa này có thể chiếm tới 80-85% tổng lượng mưa năm, trong khi số ngày mưa chỉ chiếm từ 50-55% tổng số ngày mưa trong năm. Lượng mưa tháng lớn nhất có thể lên tới 700 mm có những nơi còn lên trên 800 mm (Hà Đông năm 2008), thường xảy ra vào các tháng cuối mùa mưa, chiếm khoảng 40% tổng lượng mưa năm.

Bảng 1.1. Mùa mưa ở lưu vực sông Tô Lịch và vùng lân cận theo tháng của một số trạm đại biểu. [15]

TT	Tên trạm	Mùa mưa	Tháng cao điểm
1	Sơn Tây	V-X	VIII
2	Láng-Hà Nội	V-X	VIII
3	Quốc Oai	V-X	VIII
4	Xuân Mai	V-X	IX
5	Hà Đông	V-IX	VIII
6	Vân Đình	V-IX	VIII

Đối với bài toán tiêu thoát nước đô thị thì việc nghiên cứu sự biến đổi của mưa theo thời gian và không gian có một ý nghĩa vô cùng quan trọng. Mưa là nhân tố ảnh hưởng quyết định đến mức độ ngập úng của thành phố cũng như thời gian ngập úng, đặc biệt là các trận mưa thời đoạn ngắn với cường độ mạnh.

1.5.1.3. Đặc điểm thủy văn

Hà Nội được hình thành từ châu thổ sông Hồng, nét đặc trưng của vùng địa lí thành phố Hà Nội là “Thành phố sông hồ” hay “Thành phố trong sông”. Hiện nay, có 7 sông chảy qua Hà Nội: sông Hồng, sông Đuống, sông Đà, sông Nhuệ, sông Cầu, sông Đáy, sông Cà Lồ [13].

Sông Hồng là con sông chính của thành phố, bắt đầu chảy vào Hà Nội ở huyện Ba Vì và ra khỏi thành phố ở khu vực huyện Phú Xuyên tiếp giáp Hưng Yên rồi xuôi về Nam Định. Trong đó, đoạn sông Hồng chảy qua Hà Nội dài tới 163km (chiếm 1/3 chiều dài của con sông này chảy qua lãnh thổ Việt Nam). Hà Nội còn có sông Đà là ranh giới giữa Hà Nội và Phú Thọ hợp lưu với sông Hồng ở phía Bắc thành phố tại huyện Ba Vì. Ngoài ra trên địa phận Hà Nội còn nhiều sông khác như sông Đáy, sông Đuống, sông Cầu. Các sông nhỏ nằm trong khu vực nội thành như sông Tô Lịch, sông Lừ, sông Sét và sông Kim Ngưu là những đường tiêu thoát nước thải của Hà Nội [17]. Trong nội đô ngoài hai con sông lớn là Tô Lịch và sông Kim Ngưu, Hà Nội còn có hệ thống hồ đầm khá dày đặc, có diện tích tương đối lớn.

Theo Quy hoạch thoát nước thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt thì Thủ đô Hà Nội được chia thành 3 vùng tiêu thoát nước chính gồm Tả Đáy, Hữu Đáy và Bắc Hà Nội [29]. Tại khu vực nghiên cứu và vùng lân cận có 8 trạm quan trắc thủy văn của Tổng cục Khí tượng Thủy văn trên các sông Hồng, Đáy, Hoàng Long, Tích, Bùi... và 6 trạm dùng riêng trên sông Nhuệ, Tích.... Các trạm trên sông Đáy, trạm Hưng Yên chủ yếu quan trắc mực nước, trên sông Hồng có trạm Thủy văn Hà Nội và Sơn Tây, Thượng Cát quan trắc đầy đủ Q, H, ρ .

1.5.1.4. Đặc điểm địa hình

Địa hình chủ yếu của Hà Nội là địa hình đồng bằng được bồi đắp bởi các dòng sông với các bãi bồi hiện đại và các bãi bồi cao. Hà Nội hiện nay vừa có núi, có đồi và địa hình thấp dần từ Bắc xuống Nam, từ Tây sang Đông, trong đó đồng bằng chiếm tới $\frac{3}{4}$ diện tích tự nhiên của thành phố. Độ cao trung bình của Hà Nội từ 5 đến 20 mét so với mặt nước biển, các đồi núi cao đều tập trung ở phía Bắc và Tây [34].

Khu vực nội thành và phụ cận là vùng trũng thấp trên nền đất yếu, mực nước sông Hồng về mùa lũ cao hơn mặt bằng Thành phố trung bình 4 - 5m. Địa hình có cao độ lớn hơn (+8,00): Chiếm khoảng 3,5 km². Nằm chủ yếu ở quận Hoàn Kiếm (từ Yên Phụ đến cảng Hà Nội) và một phần ở Ba Đình, Cầu Giấy (dọc theo đường Hoàng Hoa Thám, đường Bưởi). Địa hình của khu vực này có nhiều ô trũng mang dấu vết lòng sông cổ. Địa hình có cao độ từ (+5,00) đến (+8,00): Nằm ở phía Nam và phía Tây Nam nội thành Hà Nội, chiếm khoảng 50% diện tích khu vực nghiên cứu, có địa hình cao thấp phân bố không theo quy luật. Vùng trũng của khu vực phân bố chủ yếu ở phía Tây quận Ba Đình, phía Nam quận Hai Bà trung và phần lớn quận Đống Đa.

Hà Nội có nhiều hồ, đầm thuận lợi cho phát triển Thủy sản và du lịch, nhưng do thấp trũng nên khó khăn trong việc tiêu thoát nước nhanh, gây úng ngập cục bộ thường xuyên vào mùa mưa. Vùng đồi núi thấp và trung bình ở phía Bắc Hà Nội thuận lợi cho xây dựng, phát triển công nghiệp, lâm nghiệp và tổ chức nhiều loại hình du lịch.

1.5.2. Hiện trạng hệ thống thoát nước mưa và tình hình ngập lụt

1.5.2.1. Mạng lưới tiêu thoát nước tự nhiên

Như đã giới thiệu ở trên, toàn bộ sông suối Hà Nội nằm trọn trong hệ thống sông Hồng gồm hạ lưu sông Đà, sông Hồng và các nhánh của nó là sông Đáy, sông Tích và sông Nhuệ. Ngoài đoạn sông Đà bao phía Tây Bắc tỉnh, sông Hồng bao phía Bắc và phía Đông; sông suối nội đô hầu hết có diện tích lưu vực thuộc loại vừa và nhỏ, chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam, phù hợp với hướng nghiêng chính của địa hình. Ngoài ra, trên địa phận Hà Nội còn nhiều sông khác như sông Đáy, sông Đuống, sông Cầu, sông Cà Lồ... Các sông nhỏ chảy trong khu vực nội thành như sông Tô Lịch, sông Sét, sông Lừ và sông Kim Ngưu có thể xem là những đường tiêu thoát nước tự nhiên của thành phố Hà Nội. Về tổng thể vùng tiêu của thành phố Hà Nội gồm có (1) Bắc Hà Nội, (2) Tả Đáy và (3) Hữu Đáy (Bảng 1.2) [21].

Bảng 1.2. Hiện trạng phân vùng tiêu và hình thức tiêu [21]

TT	Vùng tiêu	Diện tích tiêu (ha)			Đô thị	Sông tiếp nhận
		Cần tiêu	Động lực	Tự chảy		
1	Bắc Hà Nội	46.739	25.727	21.012	Long Biên, Đông Anh, Mê Linh, Sóc Sơn	Đuống, Cầu Bây, Bắc Hưng Hải, Cà Lồ, Ngũ Huyện Khê, Hồng
2	Tả Đáy	95.326	81.628	13.698	Đô thị trung tâm, Phú Xuyên	Hồng, Nhuệ, Đáy
3	Hữu Đáy	70.561	57.895	12.666	Sơn Tây, Hòa Lạc, Quốc Oai, Xuân Mai, Chúc Sơn, Phúc Thọ	Tích, Bưởi, Đáy

Hiện nay hướng thoát nước chính của lưu vực sông Tô Lịch vẫn thoát tự chảy vào sông Nhuệ thông qua đập Thanh Liệt với lưu lượng 80 m³/s và khi mực nước sông Nhuệ thấp dưới mức +3,5 m. Khi mực nước sông Nhuệ cao hơn 3,5 m thì dòng chảy của lưu vực phải thoát ra sông Hồng nhờ cụm công trình tiêu và trạm bơm Yên Sở. [15]

Theo báo cáo của Công ty trách nhiệm hữu hạn một thành viên Thoát nước Hà Nội, với hiện trạng tiêu thoát nước các sông trực được đánh giá trong Quy hoạch Thủy lợi Hà Nội với chu kỳ trận mưa tính toán $P = 10$ năm và mực nước sông 10 năm như trên, khi gặp mưa với $P = 10$ năm thì các sông Tích, Đáy, Nhuệ, Ngũ Huyện Khê đều không đảm bảo khả năng thoát nước. Riêng hệ thống sông lưu vực Tô Lịch đã được thiết kế nhằm đảm bảo tiêu thoát nước với $P = 10$ năm. Bảng 1.3 mô tả thông tin về mực nước hiện trạng và cho phép tại các sông trên địa bàn thành phố Hà Nội.

Bảng 1.3. Mực nước hiện trạng và cho phép tại các vị trí trên sông [21]

TT	Tên trạm	Thuộc sông	Mực nước tính theo điều kiện hiện trạng (m)	Mực nước cho phép (m)
1	Tiên Trượng	Tích	7,28	6,75
2	Ba Thá	Đáy	6,32	5,89
3	TL Hà Đông	Nhuệ	7,64	5,00
4	Đồng Quan	Nhuệ	6,34	4,90
5	Phú Cường	Cà Lò	8,56	8,54
6	Đặng Xá	Ngũ Huyện Khê	8,22	6,90
7	Hồ Yên Sở	Tô Lịch	<4,50	4,5

Thêm vào đó, do quá trình đô thị hóa mạnh mẽ từ năm 1990 đến nay, phần lớn các sông hồ Hà Nội đều rơi vào tình trạng ô nhiễm nghiêm trọng. Chỉ tính riêng trong khu vực nội đô, mỗi ngày lượng nước thải xả thẳng ra hệ thống sông hồ vào khoảng 650.000 m³/ngày (2015). Sông Tô Lịch, trục tiêu thoát nước thải chính của thành phố, hàng ngày phải tiếp nhận khoảng 250.000 m³ nước thải xả thẳng xuống dòng sông mà không hề qua xử lý. Sông Kim Ngưu nhận khoảng 125.000 m³ nước thải sinh hoạt mỗi ngày. Sông Lừ và sông Sét trung bình mỗi ngày cũng đổ vào sông Kim Ngưu khoảng 110.000 m³. [14]

1.5.2.2. Hồ điều hòa

Hệ thống hồ ở Hà Nội bao gồm các hồ tự nhiên và hồ nhân tạo, có các chức năng cảnh quan, điều hoà khí hậu và điều hoà nước mưa. Hiện nay còn tiếp nhận nước thải, chủ yếu là nước thải sinh hoạt và nuôi cá. Quá trình đô thị hoá đã làm giảm đáng kể diện tích các ao, hồ, sông trên địa bàn thành phố Hà Nội cũng như ở các đô thị khác. Tính riêng trên địa bàn nội thành Hà Nội từ năm 1986 đến năm 1996 diện tích mặt nước (không kể Hồ Tây) đã giảm 64,49% [27], [28]. Hiện nay trong nội thành Hà Nội vẫn còn trên 100 ao, hồ có diện tích mặt nước lớn hơn 1ha. Tổng diện tích ao hồ là 21,8 km² [9]. Bảng PL1.4 phần Phụ lục 1 cung cấp thông tin về dung tích chứa nước của hệ thống hồ tự nhiên thuộc thành phố Hà Nội.

Các hồ ao này có chức năng rất quan trọng là làm chậm quá trình dâng của lũ lụt và giữ nước thoát cũng như góp phần trong xử lý nước thải, nuôi cá tạo cảnh quan, tạo sự phát triển cho các loài cây dưới nước. Tuy nhiên, diện tích và số lượng các hồ ao này đang giảm xuống rõ rệt do tình hình sử dụng đất và lấy làm nơi đổ chất phế thải, đó là nguyên nhân chính làm hủy hoại chất lượng nước. Mặt khác, các hồ trong Thành phố lại phân bố không đều. Hiện nay các hồ chưa được tập trung về một mối. Các hồ ngoài nhiệm vụ thoát nước hồ còn có chức năng như: du lịch, nuôi cá, thắng cảnh, vui chơi giải trí... Một số hồ có mực nước khá cao, miệng cống xả thoát nước bị ngập, bùn cát lắng đọng nhiều ở gần cửa cống – miệng xả, gây ảnh hưởng xấu tới môi trường cũng như giảm khả năng thoát nước.

1.5.2.3. Hiện trạng hệ thống tiêu thoát nước

Hệ thống thoát nước chung của Hà Nội được xây dựng từ trước năm 1954. Hệ thống thoát nước bao gồm các tuyến cống, sông mương thoát nước và các hồ ao điều hoà. Theo thiết kế ban đầu, hệ thống này phục vụ cho nội thành cũ với diện tích là 1.000 ha. Từ năm 1954 đến 1984 diện tích tăng lên 5.900 ha và tính đến năm 1992 đã phát triển đến 6.800 ha. Dòng nước thoát của thành phố được thoát ra 04 con sông theo thứ tự từ Tây sang Đông là Tô Lịch, Lừ, Sét và Kim Ngưu. Sông Tô Lịch là trục thoát nước chính với cửa xả chảy ra sông Nhuệ qua đập Thanh Liệt [31]. Sông Nhuệ là con sông tiêu nước chính cho thành phố. Mặt cắt các sông có chiều rộng từ 4 - 30 m và chiều sâu chỉ khoảng 1 - 1,5 m. Do quá trình đô thị hoá và bị lấn chiếm, mặt cắt các sông đang bị thu hẹp dần. Thêm vào đó do không được nạo vét nên đáy sông hiện

đang bị lấp đầy bùn cát, rác rưởi. Mặt sông đang bị chiếm dụng để thả bè và rau muống nên càng hạn chế khả năng tiêu thoát nước trong mùa mưa.

Theo kết quả nghiên cứu của JICA [5] trong Dự án Thoát nước Hà Nội từ 1996 – 2003, khả năng thoát nước hiện trạng của sông Tô Lịch chỉ vào khoảng 30 -35 m³/s trong khi công suất yêu cầu để thoát cho trận mưa có chu kỳ 10 năm là 170 m³/s. Đây có thể nói là một trong những nguyên nhân chính gây ra tình trạng ngập úng cho thành phố Hà Nội.

1.5.2.4. Tình hình ngập lụt

Đô thị hoá là một quá trình, phản ánh sự phát triển tất yếu của một khu vực đô thị. Tuy nhiên tốc độ đô thị hoá diễn ra nhanh chóng trong khi hệ thống các công trình tiêu thoát nước quy hoạch không theo kịp sẽ làm cho tình hình ngập úng xảy ra càng ngày càng nghiêm trọng.

Trong những năm gần đây, trước sự biến đổi bất thường của thời tiết đã xuất hiện mưa lớn kéo dài, lượng mưa vượt quá tần suất thiết kế. Mặc dù các công trình thủy lợi đã hoạt động hết công suất cùng với sự phối hợp chặt chẽ của công tác chỉ đạo phòng chống lũ lụt nhưng tình trạng ngập úng vẫn diễn ra trên diện rộng. Diện tích ngập úng lớn nhất là các năm 2006, 2008, nguyên nhân chủ yếu là bão hoặc áp thấp gây mưa lớn trên diện rộng, mưa vượt tần suất thiết kế.

Dưới đây là một số thống kê về tình hình ngập úng xảy ra tại các lưu vực sông trên địa bàn thành phố. Trận ngập úng lịch sử xảy ra bắt đầu từ ngày 9 tháng 11 năm 1984. Mưa kéo dài nhiều ngày nhưng không liên tục, lượng mưa 2 ngày lớn nhất đạt tới 575 mm. Tổng lượng mưa toàn trận đo được 614,4 mm và cường độ mưa lớn nhất là 137 mm/giờ. Trận mưa đã làm cho 45% diện tích toàn thành phố bị ngập úng. Độ sâu ngập úng phổ biến 30 - 50 cm, có nơi ngập sâu trên 1 m [21]. Trong thời gian từ ngày 01 đến 03 tháng 8 năm 2001 ở Hà Nội đã xảy ra mưa lớn. Đêm ngày 01 và rạng sáng ngày 02, trận mưa diễn ra liên tục trong vòng hơn 06 giờ đồng hồ gây ngập úng ở hơn 70 điểm, độ sâu ngập phổ biến 0,5 - 1 m. Khi lượng nước ngập còn chưa kịp tiêu thoát thì đêm ngày 02 sáng ngày 03 một trận mưa lớn lại trút xuống Hà Nội làm cho tình trạng ngập úng càng trở nên nghiêm trọng hơn. Lượng mưa đo được hơn 207 mm. Theo thống kê sơ bộ đến hết ngày 03 trên toàn địa bàn thành phố Hà Nội có tới gần 100 điểm bị ngập, có nơi độ sâu ngập tới xấp xỉ 1 m như phố Nguyễn Khuyến, Nguyễn Lương Bằng, Tôn Đức Thắng, khu Thành Công v.v....

Trận mưa vừa đến mưa to trên diện rộng xảy ra vào ngày 24 đến 25 tháng 5 năm 2003 làm nhiều vùng dân cư ở nội thành bị ngập úng nặng nề như: khu vực Giáp Bát, bến xe phía Nam, khu Tân Mai, tập thể Kim Liên, Ngọc Khánh, Văn Chương,... Độ sâu ngập úng phổ biến 30 - 50 cm, có nơi ngập sâu trên 1 m [22]. Trận mưa lịch xảy ra vào tháng 11 năm 2008 với tổng lượng mưa phổ biến từ 350 - 550 mm đã gây nên tình trạng ngập úng lớn, kéo dài tại Hà Nội, làm thiệt hại về kinh tế lên đến 3.000 tỷ đồng. Hình 1.6 thể hiện một số hình ảnh ngập lụt trên địa bàn thành phố Hà Nội trong trận ngập lịch sử năm 2008.



Đường Nguyễn Trãi, Hà Nội



Hồ Gươm, Hà Nội



Đường Nguyễn Quý Đức, Hà Nội

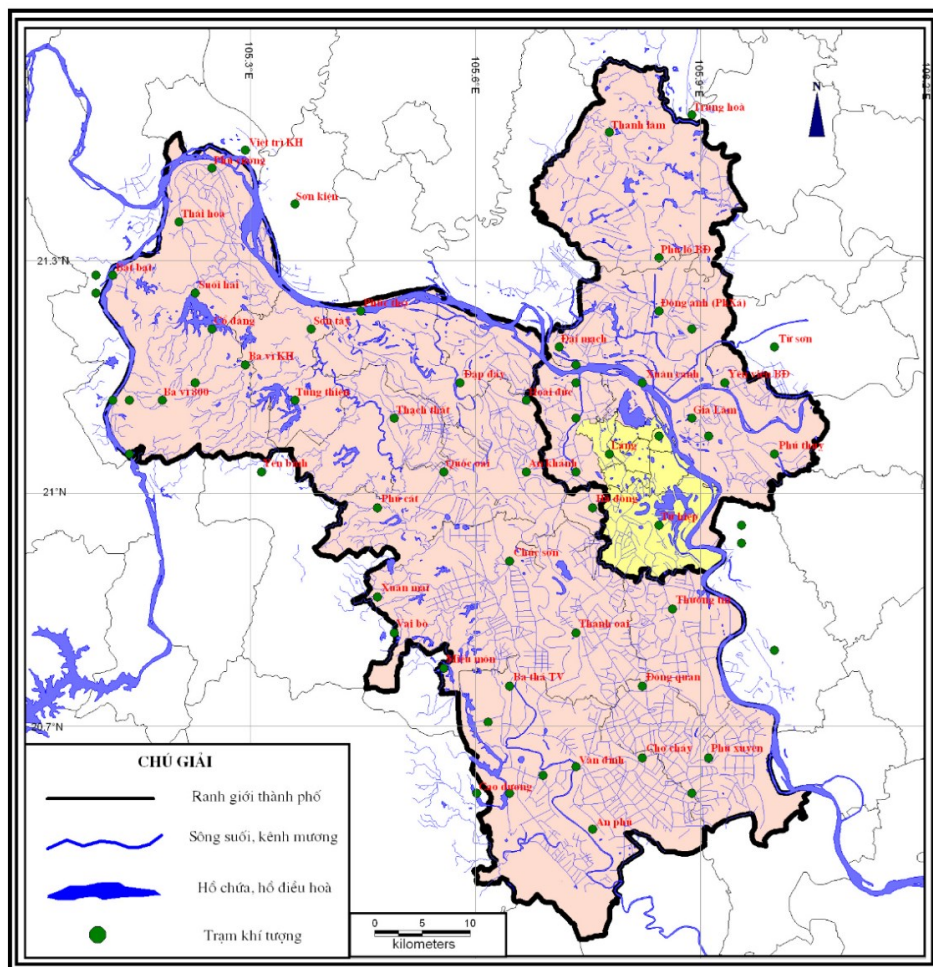


Đường Giải Phóng, Hà Nội

Hình 1.6. Một số hình ảnh ngập lụt trên địa bàn thành phố Hà Nội năm 2008
(Nguồn Internet).

1.5.3. Mạng lưới trạm quan trắc mưa và tình hình số liệu

Các trạm đo các yếu tố khí hậu và mưa trong hệ thống và khu vực lân cận có khá nhiều như trạm Ba Vì, Sóc Sơn, Kim Anh, Mê Linh, Tiên Phong, Đông Anh và Phúc Lộc, Láng, Phủ Lý, Đập Đáy, Hà Đông, Thường Tín, Đồng Quan, Phú Xuyên, Thanh Oai, Vân Đình (Hình 1.7). Hầu hết các trạm đều có tài liệu từ năm 1960 đến nay (một số trạm có tài liệu dài hơn từ năm 1936 đến nay) (Bảng PL1.4 phần Phụ lục 1) [15].



Hình 1.7. Sơ đồ mạng lưới sông suối và các trạm khí tượng thủy văn khu vực Hà Nội

Ở miền Bắc Việt nam từ sau khi thực dân Pháp xâm lược mới bắt đầu quan trắc các yếu tố khí hậu một cách khoa học như tại Hà Nội đã có số liệu đo đạc từ năm 1890. Đến năm 1902 Nha khí tượng được thành lập, nhưng mãi đến năm 1905 mới đo mưa ở Phủ Liễn, Lào Cai, Hà Giang, Tuyên Quang v.v... Đến năm 1927 mới triển khai đo ở một số thị xã thuộc đồng bằng và một vài thị trấn quan trọng ở miền núi.

Tiếp theo là cuộc kháng chiến chống thực dân Pháp (1946 - 1954) hầu hết các trạm đều ngừng đo. Chỉ sau khi hoà bình được lập lại (1954) ở miền Bắc thì mạng lưới trạm khí tượng, đo mưa mới được tái thiết và mở rộng, thời kỳ phát triển đỉnh điểm là từ năm 1960 trở lại đây, tính đến nay đã có hơn 50 năm tài liệu liên tục tại những trạm cơ bản.

1.5.4. Đặc điểm kinh tế và xã hội

Hà Nội là thành phố trực thuộc trung ương có diện tích lớn nhất Việt Nam, đồng thời cũng là thành phố đông dân thứ hai và có mật độ dân số cao thứ hai trong 63 đơn vị hành chính cấp tỉnh của Việt Nam. Hiện tại, Thủ đô Hà Nội có 30 đơn vị hành chính cấp huyện, gồm 12 quận, 17 huyện và 1 thị xã. Theo quy hoạch chung xây dựng Thủ đô trong Chiến lược phát triển kinh tế - xã hội TP Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến 2050 [30] do Thủ tướng Chính phủ ban hành theo Quyết định số 222/QĐ-TTg, đặt mục tiêu đến năm 2020 dân số Hà Nội đạt 7,9 - 8 triệu người, đến năm 2030 khoảng 9,2 triệu người. Với tốc độ tăng trung bình 2,2%/năm thì đến năm 2030 dân số ước tính sẽ khoảng hơn 9,7 triệu người (gần bằng dân số dự báo đến năm 2050).

Với lợi thế vị trí nằm hai bên bờ sông Hồng, giữa vùng đồng bằng Bắc Bộ, thành phố Hà Nội vừa là trung tâm chính trị, kinh tế, văn hóa, khoa học và công nghệ của cả nước, vừa có rất nhiều điều kiện thuận lợi để phát triển kinh tế và giao dịch quốc tế, phát triển các đầu mối giao thông quan trọng trong và ngoài nước.

Hệ thống mạng lưới giao thông bao gồm đường bộ, đường sông, đường sắt, và đường hàng không đã khiến Hà Nội trở thành một địa điểm thuận lợi để phát triển các ngành công nghiệp. Trong những năm gần đây, ngành công nghiệp Hà Nội đang dần chuyển dịch theo hướng phát triển các khu vực công nghiệp hiện đại có giá trị xuất khẩu lớn như: điều khiển kỹ thuật số, tự động hóa, rô-bốt, nano, plasma, laser, công nghệ sinh học.

1.6. Những vấn đề tồn tại cần nghiên cứu của luận án

Qua nghiên cứu, phân tích và đánh giá tổng quan tình hình nghiên cứu trong nước và thế giới cho thấy các công thức cường độ mưa tính toán có thể chia làm hai nhóm chính có những ưu và nhược điểm khác nhau. Nhóm thứ nhất là nhóm phương pháp phân tích thống kê. Nhóm phương pháp này cho phép xác định trực tiếp giá trị cường độ mưa tính toán ở thời đoạn t ứng với tần suất p dựa vào liệt số liệu quan trắc

thực tế nhiều năm tại các trạm khí tượng. Một phương pháp điển hình thuộc nhóm này là đường cong quan hệ Cường độ - Thời đoạn - Tần suất (IDF). Nhóm phương pháp này có ưu điểm là độ tin cậy và độ chính xác cao. Tuy nhiên nhược điểm của nhóm phương pháp này là đòi hỏi phải có chuỗi số liệu quan trắc và liệt số liệu quan trắc phải đủ dài. Nhóm thứ hai là nhóm các công thức thực nghiệm, nhóm này khá phong phú và đa dạng do có nhiều quan điểm và giả thiết khác nhau từ mỗi tác giả đề xuất. Ưu điểm của nhóm này là không sử dụng nhiều số liệu mưa đo đạc thực tế, có thể dùng hiệu quả cho các vị trí tính toán không có số liệu hoặc thiếu số liệu đo đạc. Nhược điểm của phương pháp này là sai số tính toán vẫn còn tương đối cao. Dẫu vậy, xuất phát từ yêu cầu thực tiễn là hiện nay số liệu quan trắc mưa không đủ để có thể áp dụng nhóm phương pháp thứ nhất, vì vậy nâng cao độ chính xác và độ tin cậy của nhóm phương pháp công thức thực nghiệm vẫn đang là một yêu cầu rất cần thiết hiện nay. Đây cũng là mục tiêu quan trọng cần đạt được trong luận án này.

Qua phân tích các công thức cường độ mưa tính toán thường sử dụng ở Việt Nam có thể nhận thấy các công thức đều có các tham số phụ thuộc vào tính chất đặc thù của từng địa phương như đặc điểm khí hậu, vị trí địa lý, đặc trưng mưa... Đa phần các công thức hiện nay đều đưa ra phụ lục bảng tra cho từng địa phương với từng tham số. Tuy nhiên cũng không thể phủ nhận rằng các tham số này cũng cần được cập nhật do những biến động của các yếu tố chi phối đến giá trị các tham số này như đã phân tích ở trên. Với các phân tích như trên, để khắc phục những tồn tại này, một trong những mục tiêu cụ thể mà luận án này đưa ra là thiết lập khoảng giá trị tham số của công thức cường độ mưa dựa trên chuỗi số liệu mưa các thời đoạn được cập nhật bổ sung mới nhất cho thành phố Hà Nội.

Qua phân tích các nghiên cứu đã thực hiện trên thế giới về cường độ mưa tính toán thấy rằng các nghiên cứu thường tập trung vào khai thác tối đa nguồn số liệu mưa đang quan trắc trong khu vực để xây dựng công thức tính toán, việc này giúp gia tăng độ chính xác của công thức bởi hầu hết các công thức hiện nay đều dựa vào các đặc điểm về mưa và khí hậu khu vực. Bên cạnh đó, phần lớn các công thức cường độ mưa tính toán biểu thị quan hệ cường độ - thời đoạn - tần suất trên thế giới được xây dựng thông qua các đường cong IDF. Trong luận án này, các đường cong quan hệ IDF được xây dựng cho các trạm khí tượng có đo đạc mưa đủ dài sẽ là cơ sở quan trọng để thiết lập công thức cường độ mưa tính toán mới và phù hợp với điều kiện hiện trạng của thành phố Hà Nội.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC XÁC ĐỊNH CÔNG THỨC CƯỜNG ĐỘ MƯA TÍNH TOÁN

2.1. Cơ sở pháp lý

2.1.1. Luật liên quan đến vấn đề thoát nước mưa đô thị

- Luật Quy hoạch đô thị số 30/2009/QH12 ngày 17 tháng 06 năm 2009 với nội dung quy hoạch Hạ tầng kỹ thuật đô thị “quy hoạch mạng lưới thoát nước mặt và công trình đầu mối để phòng, tránh và giảm nhẹ thiên tai”.

- Luật Tài nguyên nước số 28/2023/QH15 ngày 27 tháng 11 năm 2023 với quan điểm “Xây dựng các kịch bản dự báo xu thế diễn biến lượng mưa, lượng dòng chảy, lượng nước tích trữ tại các hồ chứa, mực nước trong các tầng chứa nước trong năm”. Trong vấn đề giảm thiểu ngập úng đô thị, Luật đề ra mục tiêu “Nhà nước ưu tiên thực hiện các giải pháp thu trữ, thoát nước mưa đồng bộ, tổng thể để giảm thiểu ngập úng đô thị”.

- Luật Bảo vệ Môi trường số 72/2020/QH14 ngày 17 tháng 11 năm 2020 nêu quan điểm “Sử dụng hợp lý và tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên, phát triển năng lượng sạch và năng lượng tái tạo, phát triển hạ tầng kỹ thuật bảo vệ môi trường”.

- Luật Khí tượng thủy văn số 90/2015/QH13 ngày 23 tháng 11 năm 2015 nhấn mạnh việc cập nhật số liệu khí tượng thủy văn “Quy hoạch mạng lưới trạm thủy văn Quốc gia được rà soát, điều chỉnh định kỳ 05 năm hoặc có yêu cầu cấp thiết về phát triển kinh tế - xã hội”.

- Luật Phòng chống thiên tai số 33/2013/QH13 ngày 19 tháng 06 năm 2013 xác định các mục tiêu “Xây dựng chiến lược Quốc gia về phòng, chống thiên tai theo chu kỳ 10 năm, tầm nhìn 20 năm và được cập nhật, điều chỉnh định kỳ 05 năm hoặc khi có biến động lớn về thiên tai”.

2.1.2. Nghị định, định hướng về thoát nước và môi trường

- Nghị định số 98/2019/NĐ-CP ngày 27 tháng 12 năm 2019 của Chính phủ về một số điều của các nghị định thuộc lĩnh vực hạ tầng kỹ thuật, nhấn mạnh nội dung “Đối với các thành phố trực thuộc trung ương, quy hoạch thoát nước là quy hoạch hạ tầng kỹ

thuật được lập riêng thành một đồ án nhằm cụ thể hoá quy hoạch thoát nước trong quy hoạch chung đô thị:”.

- Nghị định số 08/2022/NĐ-CP ngày 10 tháng 01 năm 2022 quy định chi tiết một số điều của Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 nhấn mạnh tiêu chí, lộ trình và cơ chế khuyến khích phát triển kinh tế tuần hoàn với tiêu chí chung “*Giảm khai thác, sử dụng tài nguyên không tái tạo, tài nguyên nước*”, tiêu chí cụ thể “*Thu gom, lưu trữ tái sử dụng nước mưa; thu gom, xử lý, tái sử dụng nước thải*”.

- Nghị định số 68/2022/NĐ-CP ngày 22 tháng 09 năm 2022 của Chính phủ quy định chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của Bộ Tài Nguyên và Môi trường trong công tác “*Xây dựng, quản lý hệ thống thông tin, cơ sở dữ liệu về khí tượng thủy văn cơ bản và chuyên dùng do Nhà nước quản lý*”.

2.1.3. Hệ thống chính sách, văn bản về thoát nước và môi trường

- Quyết định số 1259/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ ngày 26 tháng 7 năm 2011 về Phê duyệt quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 đề ra định hướng chung về thoát nước đô thị “*Tỷ lệ thu gom nước thải đô thị đạt 100%. Cải tạo, nâng cấp hệ thống cống tại các khu vực nội thành, các khu đô thị cũ; các khu đô thị mới phải xây dựng hệ thống thoát nước thải riêng, xử lý nước thải tập trung*”.

- Quyết định số 725/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ ngày 10 tháng 5 năm 2013 về Phê duyệt quy hoạch thoát nước Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 với với quan điểm quy hoạch “*Quy hoạch thoát nước Hà Nội xem xét đến các ảnh hưởng của biến đổi khí hậu hướng tới sự phát triển ổn định, bền vững, trên cơ sở đồng bộ hệ thống thoát nước mưa và nước thải từ thu gom chuyển tải đến xử lý cho từng lưu vực đô thị, phù hợp với điều kiện phát triển kinh tế - xã hội*”.

- Quyết định số 589/QĐ-TTg ngày 06 tháng 4 năm 2016 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt điều chỉnh Định hướng phát triển thoát nước đô thị và khu công nghiệp Việt Nam đến năm 2025, tầm nhìn đến năm 2050 với mục tiêu “*Mở rộng phạm vi phục vụ các hệ thống thoát nước mưa tại các đô thị đạt trung bình trên 80%, 100% các đô thị không còn tình trạng ngập úng thường xuyên vào mùa mưa*”.

- Quyết định số 379/QĐ-TTg ngày 17 tháng 3 năm 2021 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Chiến lược Quốc gia phòng, chống thiên tai đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 nêu rõ nhiệm vụ “*Hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật quốc gia, định mức kinh tế - kỹ thuật, các quy định về đảm bảo yêu cầu phòng chống thiên tai, nhất là tiêu chuẩn thoát nước ở các đô thị*”.

2.2. Cơ sở lý thuyết

2.2.1. Lý thuyết về xác suất và thống kê trong xác định các đặc trưng khí tượng thủy văn

2.2.1.1. Một số khái niệm về xác suất và thống kê

Một số kiến thức cơ sở về thống kê và xác suất ứng dụng trong khí tượng được tham khảo trong các cuốn sách của GS Phan Văn Tân [18] và Maity [64].

Tần số là số lần xuất hiện một giá trị nào đó trên tổng số lần thử nghiệm hay quan sát. **Tần suất** là tỷ số giữa số lần xuất hiện một giá trị nào đó trên tổng số lần thử nghiệm. Trong khí tượng thủy văn, tần suất là tỷ số giữa số lần xuất hiện một trị số nào đó so với tổng số lần quan trắc.

Tần suất tích lũy là tỷ số giữa tổng số lần xuất hiện một trị số lớn hơn hoặc bằng một trị số nào đó so với tổng số lần thử nghiệm. Tần suất tích lũy được tính bằng cách cộng dồn các tần suất từ trên xuống cho đến vị trí tương ứng với biểu hiện mà ta đang muốn tính tần suất tích lũy. Trong khí tượng thủy văn, khi nghiên cứu tới trị số x , người ta thường quan sát có bao nhiêu lần giá trị của đại lượng được nghiên cứu lớn hơn hay bằng x . Do đó, người ta thường quan tâm đến tần suất tích lũy $\frac{m}{n}$, nghĩa là trong n năm quan trắc có m lần xuất hiện trị số lớn hơn hoặc bằng một trị số mà ta đang xét.

Số trung bình \bar{x} là giá trị trung bình số học của chuỗi số liệu. Số trung bình là một trong những số đặc trưng cơ bản và quan trọng nhất của chuỗi số liệu.

Nếu chuỗi số liệu gồm các phần tử x_1, x_2, \dots, x_n thì số trung bình được tính theo công thức $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$.

Nếu số lần xuất hiện (tần số) của giá trị x_i là f_i thì ta có

$$\bar{x} = \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + \dots + x_k f_k}{n} = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_k p_k \quad (2.1)$$

với tổng số lần quan sát $n = f_1 + f_2 + \dots + f_k$, còn $p_i = \frac{f_i}{n}$ là tần suất của giá trị x_i .

Khi số lần quan sát đủ lớn, số trung bình có xu hướng tiến sát đến kỳ vọng toán học của đại lượng ngẫu nhiên được quan tâm. Tuy nhiên, số trung bình lại bị ảnh hưởng bởi các giá trị cực đoan (giá trị “quá lớn” hoặc “quá bé” một cách đặc biệt), nhất là khi chuỗi số liệu ngắn. Do chuỗi số liệu trong khí tượng thủy văn thường không quá dài nên số trung bình có nguy cơ ảnh hưởng rất mạnh bởi số liệu mang tính cực đoan.

Phương sai mẫu là trung bình của bình phương độ lệch của các giá trị xung quanh giá trị trung bình

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}. \quad (2.2)$$

Độ lệch mẫu (TNTA: standard deviation) là một đại lượng thống kê mô tả dùng để đo mức độ phân tán của một tập dữ liệu đã được lập thành bảng tần số. Độ lệch mẫu là căn bậc hai của trung bình của bình phương độ lệch của các giá trị xung quanh giá trị trung bình

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (2.3)$$

Sai số quân phương (TNTA: Mean squared error, viết tắt là MSE) là trung bình của bình phương sự sai khác giữa bộ giá trị y và \hat{y} , thường được sử dụng khi so sánh giá trị thực tế y và giá trị tính toán theo công thức \hat{y} ,

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}. \quad (2.4)$$

Hệ số phân tán $C_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{x}} - 1\right)^2}$ còn được gọi là hệ số biến đổi là thống kê giữa các chỉ tiêu thống kê thường được sử dụng, chủ yếu được sử dụng để so sánh các mức độ khác nhau của một chuỗi biến rời rạc và mức độ trung bình của đại diện

Độ thiên lệch (còn gọi là **độ xiên, hệ số bất đối xứng**, TNTA: skewness coefficient) C_s là số dùng để đo độ bất đối xứng của chuỗi số liệu. Nếu đại lượng ngẫu nhiên có phân phối đối xứng thì $C_s = 0$. Nếu $C_s > 0$ thì mật độ phân bố có dạng đuôi lệch phải, còn nếu $C_s < 0$ thì mật độ phân bố có dạng đuôi lệch trái.

$$C_s = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3}. \quad (2.5)$$

Các công thức tính s, C_v, C_s được tính toán phía trên chỉ phù hợp với mẫu có dung lượng n lớn. Đối với hiện tượng thủy văn, do thường có chuỗi số liệu không dài, người ta điều chỉnh bằng cách thay số hạng n bằng các số hạng $n - 1$ (đối với s, C_v) và $n - 2$ (đối với tham số C_s), tức là

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (2.6)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{x}} - 1\right)^2}, \quad (2.7)$$

$$C_s = \frac{\frac{1}{n - 2} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3}. \quad (2.8)$$

2.2.1.2. Đường tần suất kinh nghiệm và đường tần suất lý luận

Đường tần suất kinh nghiệm là đường cong biểu thị quan hệ giữa tần suất P với giá trị x_i tương ứng, trong đó $P = P(X \geq x_i)$.

Với mỗi số liệu x_i từ mẫu (chuỗi số liệu thủy văn) xác định được tương ứng là P . Chấm quan hệ $P \sim x_i$ tạo thành một bảng điểm có xu thế một đường cong của hàm phân bố tần suất. Vẽ một đường cong trơn đi qua trung tâm các điểm kinh nghiệm, ta gọi đường đó là đường tần suất kinh nghiệm. Để xây dựng đường tần suất trước hết cần phải lập bảng tính tần suất, sau đó chấm các điểm quan hệ giữa P và x_i lên giấy, từ đó xác định đường tần suất kinh nghiệm.

Cách làm được tiến hành theo trình tự như sau:

- Bước 1: Sắp xếp chuỗi số liệu theo thứ tự từ lớn đến nhỏ và đánh số thứ tự kèm theo.

- Bước 2: Tính tần suất P theo một trong ba công thức sau:

Công thức trung bình của Ha-zen:

$$P = \frac{m - 0,5}{n} \times 100\%. \quad (2.9)$$

Công thức số giữa của Che-gô-đa-ép:

$$P = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \times 100\%. \quad (2.10)$$

Công thức vọng số của Weibull và Kritsky-Menken:

$$P = \frac{m}{n + 1} \times 100\%. \quad (2.11)$$

Trong các công trên, m là số thứ tự của x_i (đã sắp xếp từ lớn đến nhỏ) còn n là số phần tử của chuỗi số liệu thống kê. Trong khuôn khổ nghiên cứu này, luận án sử dụng công thức vọng số của Weibull và Kritsky-Menken.

- Bước 3: Chấm các điểm quan hệ $P \sim x_i$ (gọi là điểm kinh nghiệm) lên giấy tần suất.

- Bước 4: Vẽ đường cong đi qua trung tâm các điểm kinh nghiệm, đó chính là đường tần suất kinh nghiệm.

Đường tần suất lý luận là đường tần suất được vẽ từ một hàm phân phối xác suất nào đó (phân phối chuẩn, Gamma, nhị phân, Pearson III, ...), thực chất là một số mô hình phân phối xác suất được sử dụng nhiều trong khí tượng thủy văn có một số đặc điểm phù hợp với tính chất thống kê của hiện tượng khí tượng thủy văn.

2.2.1.3. Chu kỳ lặp lại

Khoảng thời gian lặp lại T (TNTA: return period), là khoảng thời gian cần thiết để hiện tượng có thể xuất hiện trở lại sau khi đã xuất hiện. Trong khí tượng thủy văn, khoảng thời gian lặp lại T thường được tính dựa trên xác suất vượt quá (TNTA: exceedence probability), ký hiệu là P theo công thức

$$T = \frac{1}{P}. \quad (2.12)$$

Do các thành phần kế cận của chuỗi số liệu thường cách nhau 1 năm nên đơn vị đo của T là năm. Cần chú ý rằng giá trị của T được xét trên phương diện thống kê nên không thể hiểu rằng cứ trong T năm thì hiện tượng xảy ra 1 lần.

Xác suất vượt quá (TNTA: exceedence probability), ký hiệu là P được tính theo công thức

$$P = \frac{k}{n + 1} \quad (2.13)$$

trong đó k là số thứ tự của số liệu (được sắp xếp theo thứ tự giảm dần) và n là số phần tử trong chuỗi số liệu.

2.2.1.4. Phân tích tần suất và phân tích tần số

Khi cường độ của một sự kiện thủy khí hậu khác biệt đáng kể so với mức trung bình hoặc phạm vi cường độ thông thường, thì các sự kiện như vậy được gọi là các sự kiện cực đoan [61]. Cái này có thể diễn ra trong một ngày hoặc một khoảng thời gian, ví dụ: bão lớn, lũ quét, hạn hán. Các loại sự kiện khí hậu cực đoan này ảnh hưởng đến hệ thống mức độ lớn. Phân tích tần suất được thực hiện để xác định tần suất xảy ra (hoặc xác suất xảy ra) của các sự kiện cực đoan như vậy.

Phân tích tần số thường đề cập đến phân tích tần số có định giả định dữ liệu phải có định. Hầu hết các chức năng phân phối tần số trong thủy khí hậu các nghiên cứu có thể được thể hiện dưới dạng phương trình sau, được gọi là tổng quát phương trình phân tích tần số, được cho bởi

$$x_T = \bar{x} + K_T \cdot s \quad (2.14)$$

trong đó

x_T là giá trị đại lượng quan sát tương ứng với thời gian lặp lại T năm

\bar{x} là giá trị trung bình của đại lượng ngẫu nhiên

s là độ lệch chuẩn của đại lượng ngẫu nhiên

K_T là hệ số tần số, phụ thuộc vào thời gian lặp lại T .

2.2.2. Lý thuyết về hàm mật độ xác suất và hàm phân phối tích lũy

2.2.2.1. Hàm mật độ xác suất

Trong toán học, *hàm mật độ xác suất* (TNTA: *Probability density function*, do đó viết tắt là PDF) dùng để biểu diễn một phân bố xác suất theo tích phân. Hàm mật độ xác suất luôn nhận giá trị không âm và tích phân suy rộng loại 1 của nó từ $-\infty$ tới $+\infty$ có giá trị bằng 1. Nếu một phân bố xác suất có mật độ $f(x)$, thì về mặt trực quan, khoảng vi phân (vô cùng bé) $[x, x + dx]$ có xác suất bằng $f(x) dx$.

Một cách không chính thức, hàm mật độ xác suất có thể được coi là phiên bản được *làm mịn* của một biểu đồ tần số: nếu ai đó liên tiếp đo đạc bằng thực nghiệm các giá trị của một biến ngẫu nhiên liên tục và tạo một biểu đồ tần số mô tả tần suất tương đối của các miền biến thiên của kết quả, thì biểu đồ tần số đó sẽ trông giống với mật độ xác suất của biến ngẫu nhiên đó (giả sử rằng biến được lấy mẫu đủ thường xuyên và các miền biến thiên của kết quả là đủ nhỏ).

2.2.2.2. Hàm phân phối tích lũy

Trong lý thuyết xác suất, *hàm phân phối tích lũy* (TNTA: *Cumulative distribution function* hay viết tắt *CDF*) mô tả đầy đủ phân phối xác suất của một biến ngẫu nhiên giá trị thực X . Với mỗi số thực x , hàm phân phối tích lũy được định nghĩa như sau:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (2.15)$$

trong đó vế phải biểu diễn xác suất mà đại lượng ngẫu nhiên X lấy giá trị nhỏ hơn hay bằng x .

Do đó,

$$P(a \leq X \leq b) = F(b) - F(a). \quad (2.16)$$

Theo quy ước, chữ F hoa được dùng cho hàm phân phối tích lũy, còn chữ f thường được dùng cho hàm mật độ xác suất và hàm khối xác suất. Lưu ý rằng trong định nghĩa trên, dấu "nhỏ hơn hay bằng" (" \leq ") có thể được thay bằng dấu "nhỏ hơn" (" $<$ "). Điều này không làm thay đổi giá trị đối với các đại lượng ngẫu nhiên liên tục.

Khi đại lượng ngẫu nhiên X có hàm mật độ xác suất $f(x)$ thì hàm phân phối tích lũy $F(x)$ được xác định bởi công thức $F(x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt$.

2.2.3. Một số đặc trưng quan trọng của đại lượng ngẫu nhiên

Giá trị kỳ vọng (TNTA: expected value), hoặc trung bình (TNTA: mean) của một đại lượng ngẫu nhiên là trung bình có trọng số của tất cả các giá trị có thể nhận của đại lượng đó, hay là được tính bằng tổng các tích giữa xác suất xảy ra của mỗi giá trị có thể của đại lượng với giá trị đó. Giá trị kỳ vọng này được chứng minh xấp xỉ giá trị trung bình thực nghiệm khi số lượng được quan sát đủ lớn. Lưu ý rằng bản thân giá trị đó có thể không được mong đợi theo nghĩa thông thường; nó có thể ít có khả năng xảy ra hoặc không thể xảy ra.

Khi đại lượng ngẫu nhiên liên tục X có hàm mật độ xác suất $f(x)$ thì kỳ vọng của X được tính theo công thức

$$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) dx. \quad (2.17)$$

Phương sai (TNTA: variance) của một đại lượng ngẫu nhiên đo sự phân tán thống kê của đại lượng đó, nó hàm ý các giá trị của đại lượng đó thường ở cách giá trị kỳ vọng bao xa. Khi đại lượng ngẫu nhiên liên tục X có hàm mật độ xác suất $f(x)$ thì phương sai của X là

$$Var(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \cdot f(x) dx - (E(X))^2. \quad (2.18)$$

Độ lệch chuẩn, hay độ lệch tiêu chuẩn (TNTA: standard deviation) của một đại lượng ngẫu nhiên dùng để đo mức độ phân tán của các giá trị. Có thể tính ra độ lệch chuẩn bằng cách lấy căn bậc hai của phương sai, tức là

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)}. \quad (2.19)$$

Độ xiên (TNTA: skewness) là một đại lượng đo lường mức độ bất đối xứng của phân phối xác suất của một biến ngẫu nhiên. Nó còn tên gọi nữa là *hệ số bất đối xứng*.

Nếu hệ số này bằng 0, thì phân phối là cân xứng. Các số bình quân, trung vị và mode bằng nhau. Nếu hệ số này lớn hơn 0, thì phân phối lệch phải. Số mode nhỏ hơn số trung vị, và số trung vị lại nhỏ hơn số bình quân. Nếu hệ số này nhỏ hơn 0, thì phân phối lệch trái. Số bình quân nhỏ hơn số trung vị, và số trung vị nhỏ hơn số mode.

Độ xiên được tính bằng công thức:

$$\gamma = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (2.20)$$

đó σ là độ lệch chuẩn và μ_3 là moment trung tâm bậc 3 của X , tức là

$$\mu_3 = \int_{-\infty}^{+\infty} x^3 f(x) dx. \quad (2.21)$$

2.2.4. Lý thuyết về việc lựa chọn hàm phân bố mật độ xác suất trong xác định cường độ mưa tính toán

Về bản chất, các phương pháp phân tích, khảo sát số liệu dựa trên các đặc trưng thống kê thông thường cho phép chỉ ra những thuộc tính của các đặc trưng yếu tố khí tượng, khí hậu căn cứ vào những tập số liệu cụ thể từ quan trắc thực tế. Tuy nhiên, do hạn chế của dung lượng mẫu trong nghiên cứu khí tượng (thường không quá lớn), trong nhiều trường hợp những kết quả nhận được có thể phản ánh không chính xác bản chất của quá trình được xét.

Để khắc phục tình trạng đó, bên cạnh việc nghiên cứu mẫu, các nhà khoa học sử dụng các phân phối lý thuyết và tiến hành xấp xỉ số liệu thực nghiệm bởi những phân phối lý thuyết phù hợp. Việc sử dụng phân phối lý thuyết để xấp xỉ số liệu thực

thực nghiệm thực chất là lý tưởng hoá tập số liệu thực nghiệm, coi kết quả thực nghiệm là kết quả của một số công thức toán học. Mặc dù trong nhiều trường hợp sự biểu diễn này có độ chính xác rất tốt, nhưng về cơ bản chúng cũng chỉ là sự biểu diễn gần đúng các số liệu thực nghiệm. Tuy vậy, việc xấp xỉ số liệu thực nghiệm bởi các phân phối lý thuyết mang lại nhiều ưu điểm:

- Trong nhiều trường hợp, các nhà nghiên cứu phải lặp đi lặp lại những tính toán thống kê các đặc trưng mẫu cho một địa điểm hoặc một vùng không gian nhất định. Quá trình tính toán đó đôi lúc rất công kềnh, phức tạp và khó tránh khỏi những sai sót bất thường. Nếu có một phân phối lý thuyết phù hợp với số liệu thì thay cho việc phải khảo sát đầy đủ ta chỉ cần một vài tham số của phân phối này.

- Phân phối lý thuyết cho phép nội suy số liệu bị mất (hoặc không có số liệu), từ đó lấp đầy các khoảng trống số liệu.

- Do hạn chế của dung lượng mẫu, số liệu thực nghiệm chỉ phản ánh được sự biến đổi của đặc trưng yếu tố trong phạm vi biến đổi của tập mẫu. Việc sử dụng phân phối lý thuyết cho phép ước lượng xác suất cho những sự kiện nằm ngoài phạm vi của tập mẫu, đặc biệt là ước lượng xác suất xảy ra các tình huống cực đoan.

Thông thường, sau khi xây dựng hàm phân phối thực nghiệm, ta cần nghiên cứu, đánh giá, xem xét, lựa chọn phân phối lý thuyết sao cho phù hợp nhất với phân phối thực nghiệm.

Theo Maity [64], trong nghiên cứu khí tượng thủy văn, các nhà nghiên cứu thường xem xét một số phân phối lý thuyết sau:

Bảng 2.1. Một số hàm phân bố mật độ xác suất thường gặp

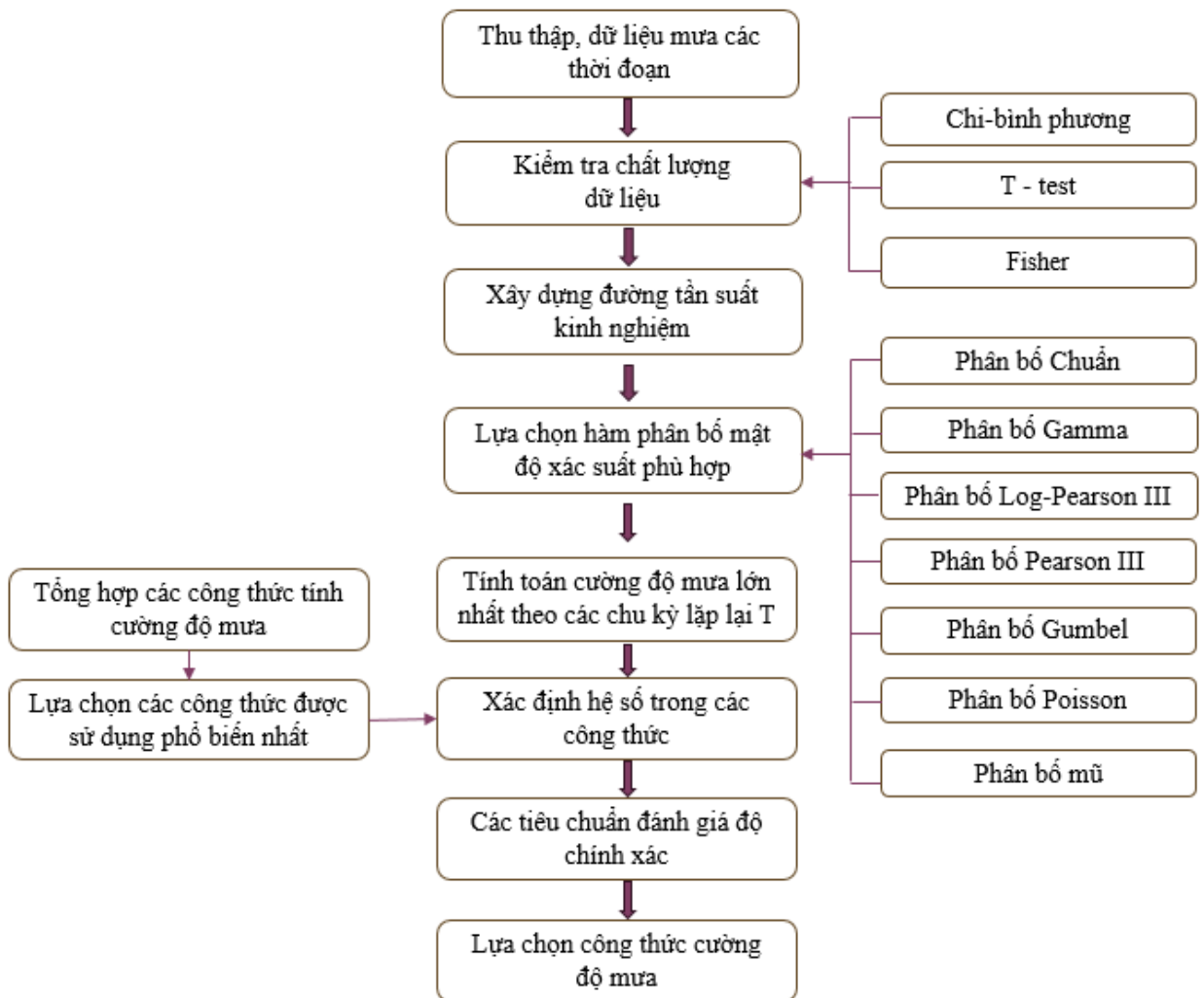
Phân phối	Hàm mật độ xác suất	Khoảng xác định	Tham số
Chuẩn	$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right)$	$-\infty \leq x \leq +\infty$	$m_x = \bar{x}$ $\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$

Phân phối	Hàm mật độ xác suất	Khoảng xác định	Tham số
Log chuẩn	$f(x) = \frac{1}{x\sigma_z\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(z - m_z)^2}{2\sigma_z^2}\right)$ <p>với $z = \log x$</p>	$0 < x \leq +\infty$	$m_z = \bar{z}$ $\sigma_z^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2$
Mũ	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$0 < x \leq +\infty$	$\lambda = \frac{1}{\bar{x}}$
Gamma	$f(x) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)}$ <p>$\Gamma(\alpha)$: hàm Gamma của biến số α</p> $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt.$	$0 < x \leq +\infty$	$\beta = \frac{\bar{x}}{\sigma_x^2}$ $\alpha = \left(\frac{\bar{x}}{\sigma_x}\right)^2$
Pearson III	$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - x_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-x_0)}$	$x_0 < x \leq +\infty$ x_0 là giá trị nhỏ nhất	$\alpha = \frac{4}{C_s^2}$ $\beta = \left(\frac{C_v \cdot C_s}{2}\right) \bar{x}$ $x_0 = \bar{x} - \sigma_x \sqrt{\alpha}$
Log-Pearson III	$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{x\Gamma(\alpha)} (z - z_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(z-z_0)}$	$z_0 < x \leq +\infty$ z_0 là giá trị nhỏ nhất	$z_0 = \bar{z} - \sigma_z \sqrt{\alpha}$
Kritsky - Menken	$f(x) = \frac{\alpha^\alpha}{\alpha^b b \Gamma(\alpha)} x^{\frac{\alpha}{b}-1} e^{-\alpha\left(\frac{x}{a}\right)^{\frac{1}{b}}}$	$0 < x \leq +\infty$	$\alpha = \left(\frac{\bar{x}}{\sigma_x}\right)^2$ <p>a, b là hằng số</p>
Gumbel	$f(x) = \frac{\exp\left(\mp \frac{x-\beta}{\alpha} - \exp\left(\mp \frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right)}{\alpha}$	$-\infty < x < +\infty$	$\alpha > 0$ $-\infty < \beta < +\infty$

Chương trình Thủy văn quốc tế (International Hydrological Program, IHP) khu vực châu Á - Thái Bình Dương thuộc Cơ quan thường trực UNESCO có trụ sở ở Jakarta, năm 2005 đã khuyến nghị các nước thành viên, trong đó có Việt Nam xây dựng các hệ thống đường cong IDF để thúc đẩy phát triển bền vững cơ sở hạ tầng đã được xuất bản vào năm 2008 [57]. Theo đó, Việt Nam nên sử dụng phân phối Person III, Log-Person III và Gumbel để xây dựng đường cong IDF.

2.2.5. Lý thuyết về xác định cường độ mưa tính toán trong thoát nước mưa đô thị

Nhìn chung phương pháp xác định cường độ mưa được xây dựng dựa theo 08 bước cơ bản, bao gồm 05 bước xây dựng đường cong IDF và 03 bước xác định công thức tính toán cường độ mưa, cụ thể:



Hình 2.1. Quy trình xây dựng đường cong IDF và xác định công thức cường độ mưa [33]

2.2.5.1. Các bước xây dựng đường quan hệ cường độ mưa – thời gian – tần suất

Khi có đủ các số liệu mưa, ta có thể xây dựng các đường cong IDF bằng phân tích tần suất. Đường cong IDF xây dựng cho mỗi vùng đều có đặc tính riêng phụ thuộc vào số liệu đo mưa và điều kiện địa hình của từng khu vực, vì vậy mỗi khu vực cần xây dựng bộ đường cong riêng. Các bước cơ bản xây dựng đường cong IDF:

- Bước 1: Thu thập, xử lý dữ liệu mưa thời đoạn (5p, 10p, 15p, 30p, 60p, 90p, 120p, 180p, 360p, 720p, 1440p) tại các trạm khí tượng, trạm đo mưa đại diện cho khu vực nghiên cứu.

- Bước 2: Kiểm tra, phân tích tính hợp lý, tính đồng nhất của các chuỗi số liệu. Các chuỗi số liệu khí tượng, thủy văn là các chuỗi số ngẫu nhiên, độc lập nhưng lại đồng nhất về nguyên nhân hình thành nên có thể dùng các chuỗi đại biểu để phân tích xác định quy luật phân bố xác suất tổng thể .

- Bước 3: Xây dựng đường tần suất kinh nghiệm. Dựa trên bảng tính tần suất, chấm các điểm quan hệ giữa P và x_i từ mẫu (chuỗi số liệu thủy văn) để xác định đường tần suất kinh nghiệm.

- Bước 4: Tính toán, phân tích tần suất lượng mưa các thời đoạn, lựa chọn hàm phân bố mật độ xác suất. Tùy thuộc tính đặc thù của mỗi hiện tượng mà lựa chọn dạng mô hình nào là thích hợp nhất. Ngoài ra, một số phân bố xác suất khác như phân bố nhị thức, Poisson, Weibull, Chi-bình phương, Student, Fisher,... được sử dụng tùy thuộc vào mục đích của bài toán.

- Bước 5: Tính toán cường độ mưa lớn nhất cho các thời đoạn ứng với chu kỳ lặp lại T (1 năm, 2 năm, 5 năm, 10 năm, 50 năm, 100 năm) theo phân bố đã lựa chọn.

- Bước 6: Vẽ đường cong IDF trên biểu đồ bằng cách nối các cường độ mưa có cùng chu kỳ lặp lại.

2.2.5.2. Các bước xác định công thức cường độ mưa tính toán

Các bước xác định công thức cường độ mưa bao gồm:

- Bước 1: Tổng hợp các công thức tính toán cường độ mưa đã sử dụng trên thế giới và ở Việt Nam.

- Bước 2: Xác định các hệ số trong các công thức bằng phương pháp thử sai.
- Bước 3: Lựa chọn công thức tính cường độ mưa phù hợp bằng việc so sánh kết quả tính toán của từng công thức với kết quả đã có.

Các công thức thông dụng dùng để tính toán cường độ mưa cho các thời đoạn ứng với mỗi chu kỳ lặp lại được thể hiện trong Bảng PL1.5 phần Phụ lục 1. Trong các công thức này, các yếu tố bao gồm chu kỳ lặp lại, thời đoạn tính toán đã biết trước. Do đó, việc quan trọng nhất để đưa ra công thức tính là xác định các thông số theo điều kiện địa phương. Để xác định được các thông số này, chúng ta cần sử dụng phương pháp thử sai để lựa chọn công thức phù hợp nhất cho vùng tính toán.

2.2.5.3. Tiêu chuẩn đánh giá, lựa chọn công thức

- Sai số quân phương (Root mean square error, RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{nd} \sum_{d=1}^{nd} (x_{dt} - x_{dc})^2} \quad (2.22)$$

- Hệ số tương quan (Correlation Coefficient, R):

$$R = \frac{\sum_{d=1}^{nd} (x_{dt} - \bar{x}_{dt})(x_{dc} - \bar{x}_{dc})}{\sqrt{\sum_{d=1}^{nd} (x_{dt} - \bar{x}_{dt})^2 \sum_{i=1}^{nd} (x_{dc} - \bar{x}_{dc})^2}} \quad (2.23)$$

trong đó, nd là số thời đoạn xem xét tính, x_{dt} và x_{dc} tương ứng là lượng mưa tính toán cho mỗi thời đoạn d từ phân tích tần suất và từ công thức.

- Dùng kiểm định Chi-bình phương để so sánh độ phù hợp của phân phối lý thuyết với số liệu quan trắc. Đại lượng ngẫu nhiên χ^2 được gọi là có phân phối Chi-bình phương với ν bậc tự do nếu có mật độ dạng

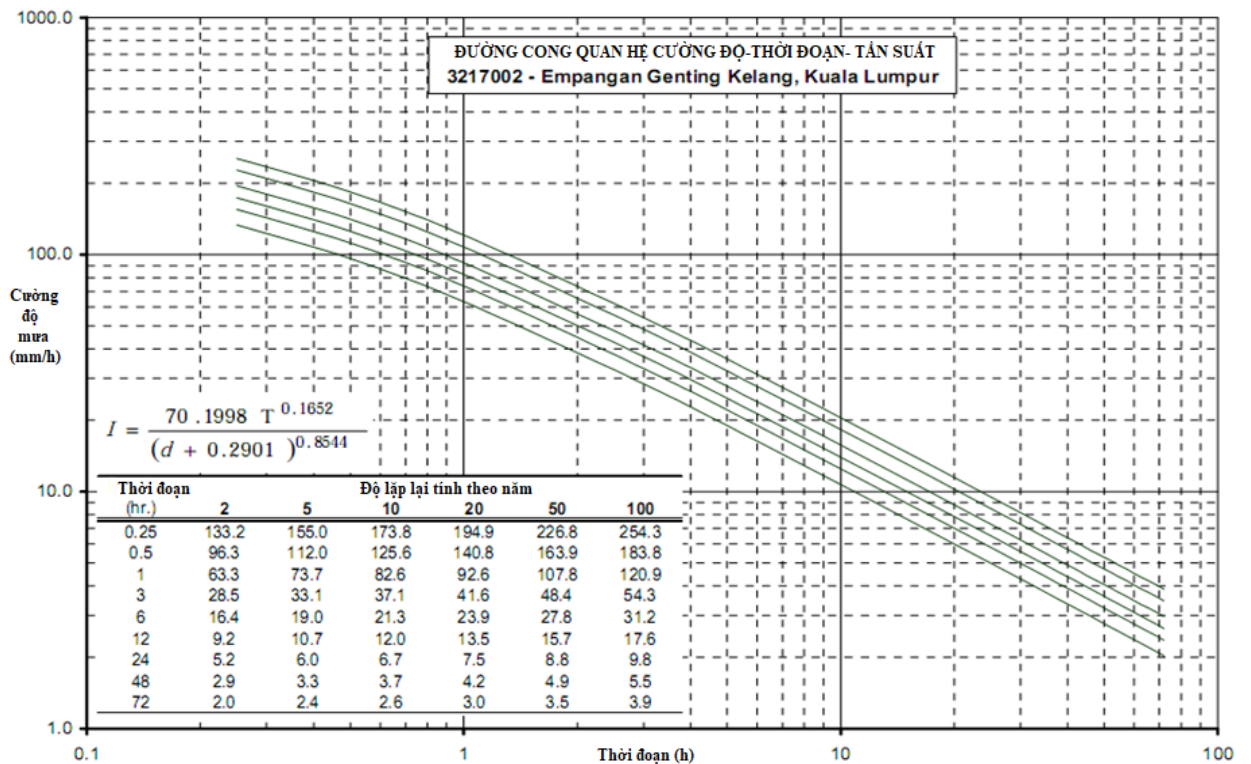
$$f_{\chi^2}(x) = \frac{x^{\left(\frac{\nu}{2}-1\right)} e^{-\frac{x}{2}}}{2^{\frac{\nu}{2}} \times \Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \quad (2.24)$$

với ν là số nguyên dương và $x > 0$.

2.3. Cơ sở thực tiễn

2.3.1. Ứng dụng mối quan hệ cường độ mưa – thời đoạn – tần suất trong quy hoạch phát triển đô thị

Qua các nghiên cứu và tài liệu trên Thế giới và Việt Nam cho thấy rằng quan hệ cường độ-thời đoạn-tần suất mưa (IDF) được ứng dụng phổ biến ở tất cả các lĩnh vực, phục vụ trực tiếp cho việc tính toán thủy văn thủy lực các công trình dân dụng, thủy lợi, giao thông, thoát nước... Quan hệ cường độ mưa – tần suất – thời đoạn cơ bản được thể hiện ở 03 dạng phổ biến là (1) đường cong quan hệ IDF; (2) bản đồ phân bố cường độ mưa; (3) các công thức xác định cường độ mưa tính toán.



Hình 2.2. Đường cong IDF và công thức tính cường độ mưa cho thành phố Kuala Lumpur, Malaysia [33]

Tại nhiều nước trên thế giới, quan hệ IDF luôn được cập nhật để nâng cao độ tin cậy, tính chính xác và tính thống nhất. Chương trình Thủy văn quốc tế khu vực Châu Á - Thái Bình Dương IHP (International Hydrological Program) [57] thuộc Cơ quan thường trực UNESCO có trụ sở ở Jakarta, năm 2005 đã khuyến nghị các nước thành viên, trong đó có Australia, Trung Quốc, New Zealand, Nhật Bản, Malaysia,

Hàn Quốc, Indonexia, Philippin, và Việt Nam xây dựng các hệ thống đường cong IDF để thúc đẩy phát triển bền vững cơ sở hạ tầng [35], [36], [37], [38], [39]. Hình 2.2 thể hiện Đường cong IDF và công thức tính cường độ mưa cho thành phố Kuala Lumpur, Malayxia theo IDF – Malayxia, 2018 [33]. Các công thức tính cường độ mưa-thời đoạn - tần suất được sử dụng phổ biến trong khu vực như Talbot, Bernard, Kimijima, Wenzel, Sherman [78]

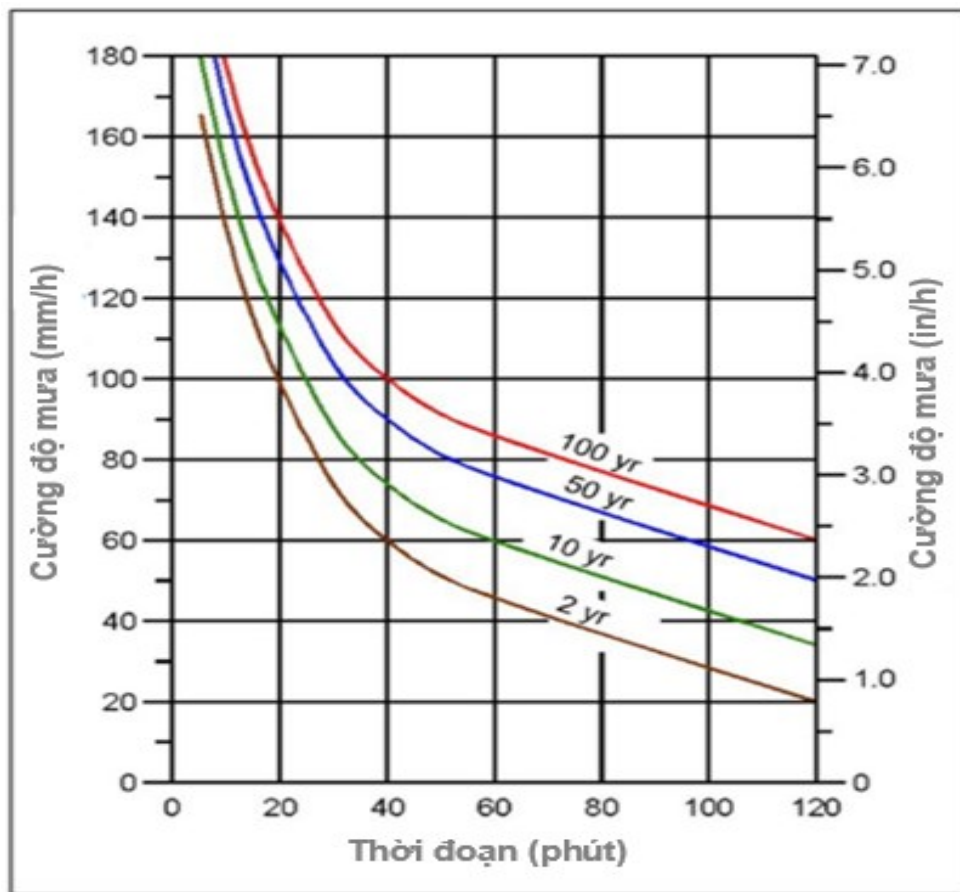
Tại Hồng Kông, Trung Quốc, cơ quan chịu trách nhiệm về tiêu thoát nước đô thị thuộc chính phủ Hồng Kông đã ban hành hướng dẫn kỹ thuật về thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị vào năm 2018 [55]. Trong hướng dẫn kỹ thuật có chỉ rõ một số khu vực thuộc Hồng Kông có thể ứng dụng quan hệ IDF dựa trên hàm phân bố xác suất GEV. Quan hệ IDF dạng bảng cũng đã được xây dựng cho các khu vực này với nhiều thời đoạn khác nhau nhưng không quá 4 giờ đồng hồ. Bảng 2.3 dưới đây thể hiện bảng quan hệ IDF cho khu vực Quận Bắc Hồng Kông.

Bảng 2.2. Quan hệ IDF cho khu vực Quận Bắc thuộc Hồng Kông, Trung Quốc [55]

Duration (min)	Cường độ mưa x (mm/h) cho các thời kì lặp lại khác nhau (T năm)						
	2	5	10	20	50	100	200
240	28.5	37.7	43.4	48.6	54.9	59.4	63.6
120	42.2	54.7	62.5	69.6	78.4	84.7	90.8
60	61.0	75.7	84.3	92.0	101	108	114
30	84.0	100	110	118	128	135	142
15	106	127	139	150	163	173	182
10	119	141	155	168	184	196	208
5	138	161	177	193	216	234	254

Tại Hoa Kỳ, cơ quan về giao thông vận tải cũng đã ban hành hướng dẫn kỹ thuật về thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị cho cả nước Mỹ vào năm 2022 [76]. Hướng dẫn kỹ thuật này tập trung chủ yếu vào các vấn đề kỹ thuật thực tế trong thiết kế hệ thống thoát nước mưa cho đô thị liên quan đến cơ sở hạ tầng giao thông

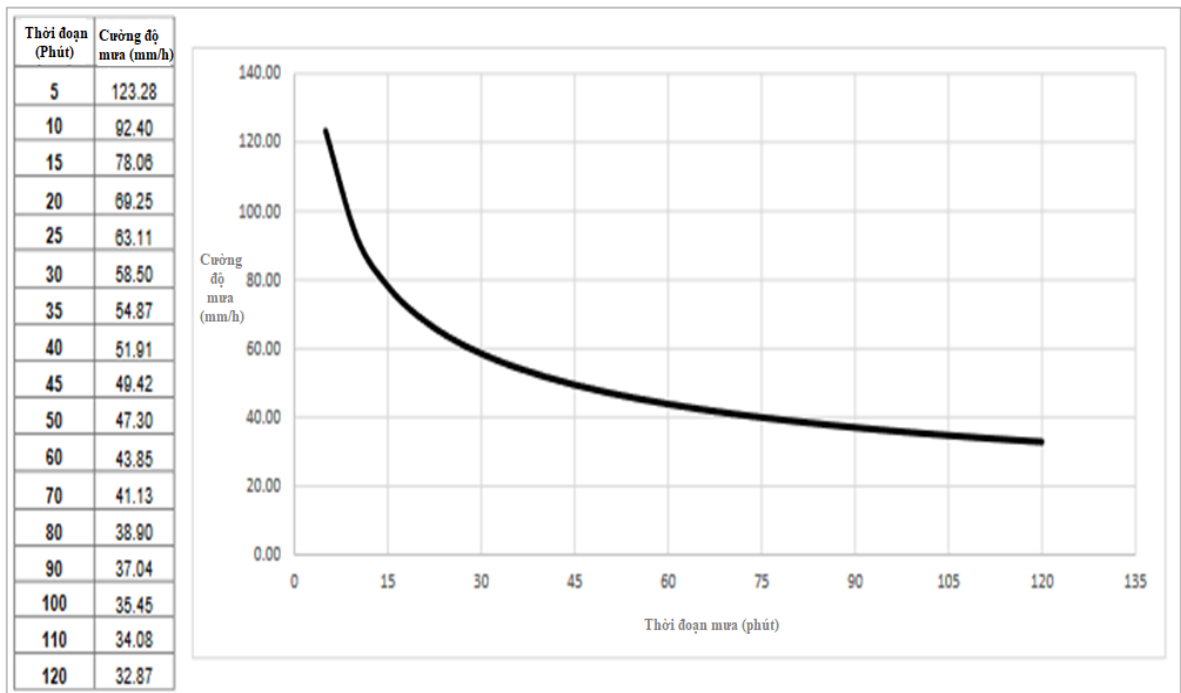
vận tải. Hướng dẫn kỹ thuật bao gồm tất cả các thông tin liên quan đến việc tính toán mưa, tính toán thủy lực, thiết kế hệ thống tiêu gồm cống, hố ga, cửa xả và các công trình khác. Đặc biệt, hướng dẫn kỹ thuật này cũng đã xây dựng các đường cong quan hệ IDF cho tất cả các trạm đo mưa trên toàn nước Mỹ. Trong đó có mô tả chi tiết về cách thức sử dụng các đường cong này vào tính toán thiết kế hệ thống tiêu. Hình 2.3 mô tả kết quả xây dựng đường cong IDF cho một khu vực trong hướng dẫn kỹ thuật của Mỹ.



Hình 2.3. Đường cong quan hệ IDF trong hướng dẫn kỹ thuật thiết kế hệ thống tiêu nước mưa của Mỹ [76]

Tại Ấn Độ mức độ đô thị hóa diễn ra rất mạnh mẽ. Theo thống kê về số thành phố có trên 1 triệu dân đã tăng từ 35 trong năm 2001 đến 53 trong năm 2011 và sẽ tiếp tục tăng nhanh chóng. Trước những sức ép về việc thiếu những hệ thống tiêu thoát nước mưa hiệu quả do sự đô thị hóa và ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, Bộ Nhà ở và Đô thị thuộc chính phủ Ấn Độ cũng đã ban hành hướng dẫn kỹ thuật về thiết kế

hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị vào năm 2019 [67]. Hướng dẫn kỹ thuật này cũng đã giới thiệu rất chi tiết về việc xây dựng đường cong quan hệ IDF cho các trạm mưa có số liệu trên lãnh thổ Ấn Độ. Hình 2.4 mô tả kết quả xây dựng đường cong quan hệ IDF cho một khu vực thuộc Ấn Độ. Dựa trên kết quả xây dựng IDF, hướng dẫn kỹ thuật có khuyến cáo sử dụng đường cong này vào tính toán lưu lượng dòng chảy phục vụ thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa.



Hình 2.4. Đường cong quan hệ IDF trong hướng dẫn kỹ thuật thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa của Ấn Độ [67]

Tại Việt Nam, tiêu chuẩn quốc gia về Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Yêu cầu thiết kế TCVN 7957:2008 trong mục Mạng lưới và công trình thoát nước mưa đã chỉ rõ việc tính toán cường độ mưa thiết kế có thể được xác định bằng biểu đồ theo quan hệ cường độ-thời đoạn-tần suất mưa lập cho từng vùng lãnh thổ. Ở nước ta, việc xây dựng hệ thống kết cấu hạ tầng, đặc biệt là hệ thống tiêu thoát nước trước đây được xây dựng với chuỗi số liệu mưa, lũ quá ngắn, đặc biệt là thiếu các số liệu về mưa, lũ lịch sử đã gây nên hiện tượng lũ vượt thiết kế, nhất là mưa với

cường độ quá lớn xảy ra trong thời gian ngắn. Điều đó gây nên tình trạng ngập úng khi có mưa lớn, đặc biệt là thành phố Hà Nội như đã nêu ở Chương 1.

Như vậy, có thể thấy rằng nhu cầu sử dụng thông tin IDF trong tính toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa phục vụ quy hoạch và phát triển đô thị đóng một vai trò vô cùng quan trọng. Phần lớn các quốc gia phát triển trên thế giới hiện nay đều khuyến cáo xây dựng đường cong quan hệ IDF vào tính toán lưu lượng dòng chảy phục vụ thiết kế. Xây dựng đường cong quan hệ IDF sẽ góp phần tăng tính chính xác khi tính toán cường độ mưa thiết kế. Tuy nhiên, các hướng dẫn kỹ thuật của các nước phân tích ở trên cũng chỉ rõ phương pháp này phù hợp với các khu vực có quan trắc mưa thời đoạn ngắn đủ dài.

2.3.2. Ứng dụng công thức cường độ mưa trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa đô thị

Đối với thoát nước mưa đô thị, công thức cường độ mưa là một trong những đặc trưng đầu vào quan trọng được sử dụng (1) trong các công thức tính toán dòng chảy lớn nhất đối với các vùng không có số liệu đo dòng chảy; (2) phục vụ cho mô hình mưa – dòng chảy để xác định lưu lượng dòng chảy thiết kế.

Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng, công thức cường độ mưa theo phương pháp thiết kế biểu đồ quan hệ IDF cho kết quả chính xác cao, phù hợp áp dụng cho tất cả các khu vực với những điều kiện địa hình khác nhau. Dựa trên cơ sở sắp xếp thống kê những tài liệu thực đo, số liệu mưa càng nhiều thì độ chính xác và tin cậy của IDF càng lớn.

Tại Hồng Kông, Trung Quốc, cơ quan chịu trách nhiệm về tiêu thoát nước đô thị thuộc chính phủ Hồng Kông đã ban hành hướng dẫn kỹ thuật về thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị vào năm 2018 [55]. Đối với các khu vực không có số liệu quan trắc mưa đủ dài, cơ quan này đã hướng dẫn sử dụng công thức thực nghiệm biểu thị quan hệ IDF như sau:

$$i = \frac{a}{(t_d + b)^c} \quad (2.25)$$

trong đó: i là cường độ mưa tính toán, đơn vị mm/h

t_d là thời đoạn mưa tính theo phút (nhỏ hơn 240)

a, b, c là các tham số khu vực tra bảng

Tại Ấn Độ, Bộ Nhà ở và Đô thị thuộc chính phủ Ấn Độ cũng đã ban hành hướng dẫn kỹ thuật về thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa đô thị vào năm 2019 [67]. Trong đó có hướng dẫn về việc sử dụng công thức thực nghiệm cường độ mưa tính toán cho toàn lãnh thổ Ấn Độ. Công thức thực nghiệm được xây dựng dựa trên việc hiệu chỉnh công thức tổng quát của Bernard phù hợp với điều kiện của Ấn Độ. Công thức của Ấn Độ đưa ra như sau:

$$i = \frac{a}{t^n} \quad (2.26)$$

trong đó: i là cường độ mưa tính toán, đơn vị mm/h,

t là thời đoạn mưa tính theo phút,

a và n là các hằng số.

Tại Việt Nam, tiêu chuẩn quốc gia về Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Yêu cầu thiết kế TCVN 7957:2008 trong mục Mạng lưới và công trình thoát nước mưa trong đó có qua định về việc tính toán cường độ mưa thiết kế có thể sử dụng công thức cường độ giới hạn cho các khu vực không xây dựng biểu đồ quan hệ IDF. Công thức có dạng như sau:

$$i = \frac{A(1 + C \log P)}{(t + b)^n} \quad (mm/h) \quad (2.27)$$

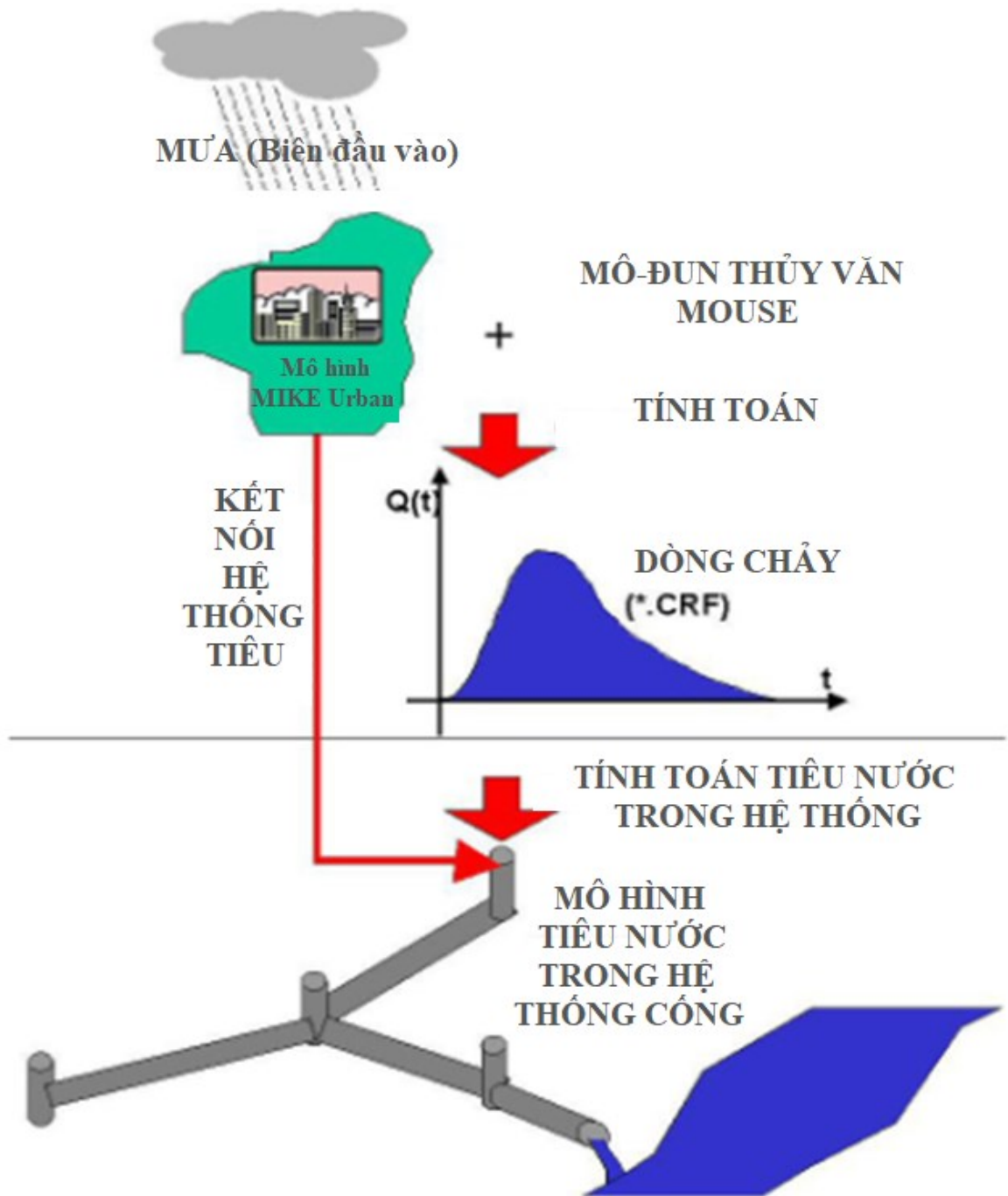
trong đó P : chu kỳ lặp lại trận mưa tính toán (năm).

t : thời gian mưa tính toán (phút).

A, b, c, n là các tham số xác định theo địa phương.

Bên cạnh các công thức đã nêu trên còn một số các dạng công thức khác của các nước khác trên thế giới đã được giới thiệu trong Chương 1. Có thể nói các công thức thực nghiệm về tính toán cường độ mưa thiết kế đều được trình bày trong các hướng dẫn kỹ thuật về tính toán tiêu thoát nước mưa đô thị của các quốc gia. Việc sử dụng các công thức này vẫn rất phổ biến trên thế giới hiện nay do thỏa mãn được các yêu cầu về tài liệu và số liệu mưa quan trắc. Điều này chứng minh rằng thực tiễn hiện nay rất cần xây dựng các công thức thực nghiệm xác định cường độ mưa tính toán có độ tin cậy và chính xác cao.

Cuối cùng, hiện nay, việc tính toán tiêu thoát nước cho thành phố và các khu đô thị thường sử dụng các mô hình tính toán thủy văn – thủy lực. Thông tin về IDF thường xuyên được cập nhật và nâng cao sẽ là công cụ đắc lực giúp cho việc tính toán thoát nước đạt được kết quả tối ưu nhất [2] (Hình 2.5). Các mô hình đang được áp dụng rộng rãi phải kể đến như: PC SWMM (Hoa Kỳ); Hystem Extran (Đức); Inforworks CS, Inforworks ICM (Anh); MIKE URBAN (Đan Mạch),...



Hình 2.5. Mô hình MIKE URBAN sử dụng mô hình mưa được thiết lập từ IDF để làm thông số đầu vào [42]

Các cơ sở khoa học về thiết lập mối quan hệ cường độ mưa – thời gian - tần suất và xác định cường độ mưa tính toán đã được trình bày chi tiết ở Chương 2 sẽ làm tiền đề cho việc xác định cường độ mưa tính toán trong thiết kế thoát nước mưa Thành phố Hà Nội. Việc sử dụng tối đa nguồn số liệu mưa đang quan trắc trong khu vực với chuỗi số liệu mưa đủ dài để xác định cường độ mưa tính toán sẽ giúp gia tăng độ chính xác của công thức. Bên cạnh đó, việc sử dụng các thuật toán để thiết lập khoảng giá trị tham số của công thức cường độ mưa dựa trên quan hệ IDF là cơ sở quan trọng để thiết lập công thức cường độ mưa tính toán mới và phù hợp với điều kiện hiện trạng của thành phố Hà Nội.

Bên cạnh đó, việc sử dụng mô hình thủy văn- thủy lực trong tính toán tiêu thoát nước mưa tại các đô thị và khu công nghiệp cũng được sử dụng rộng rãi hiện nay vì nhiều ưu điểm mà phương pháp mô hình mang lại, trong đó có việc tích hợp các điều kiện biên, các giá trị đầu vào theo các dữ liệu thực tế giúp cho các kết quả thu được đạt giá trị tin cậy cao. Trong luận án, việc sử dụng mô hình thủy văn thủy lực để tính toán thông số thoát nước mưa cho một khu vực cụ thể tại thành phố Hà Nội, có trạm quan trắc mực nước tự động và trạm khí tượng đại diện cho khu vực nghiên cứu, sẽ được coi là một trong những cơ sở đánh giá khả năng ứng dụng vào thực tế của công thức cường độ mưa được thiết lập. Nội dung chi tiết sẽ được trình bày tại các Chương 3, Chương 4 của luận án.

CHƯƠNG 3: XÁC ĐỊNH CƯỜNG ĐỘ MƯA TÍNH TOÁN TRONG THIẾT KẾ THOÁT NƯỚC MƯA THÀNH PHỐ HÀ NỘI

Mặc dù là nguyên nhân khách quan, nhưng hạn chế lớn nhất của việc xác định cường độ mưa tính toán là hạn chế về mặt độ dài của số liệu mưa tự động có độ phân giải không gian và thời gian cao trên khu vực Hà Nội. Các số liệu này cần có độ dài chuỗi số đủ dài (ít nhất là 20-30 năm) để nắm bắt được các chu kỳ nền trong đặc trưng biến đổi lượng mưa. Qua việc thu thập, phân tích chuỗi số liệu đo mưa từ các trạm khí tượng và trạm đo mưa thuộc khu vực Thành phố Hà Nội, luận án sử dụng chuỗi số liệu mưa của hai trạm khí tượng là Trạm Láng và trạm Hà Đông, đây là hai trạm khí tượng thuộc khu vực nội đô đặc biệt quan trọng, được đánh giá có chuỗi số liệu mưa đủ dài, đồng bộ và chi tiết nhất phù hợp cho nghiên cứu tính toán xác định công thức cường độ mưa.

Với chuỗi số liệu mưa của trạm Láng được tổng hợp từ năm 1961 đến năm 2023, tương đương 62 năm và chuỗi số liệu mưa của Trạm Hà Đông được tổng hợp từ năm 1973 đến năm 2023, tương đương với 50 năm, tại chương 3, luận án tiến hành các bước xác định cường độ mưa tính toán theo nội dung chi tiết được trình bày như sau:

3.1. Tính toán, phân tích, so sánh, lựa chọn phân phối xác suất

Trong mục này, luận án minh họa việc lựa chọn xây dựng đường cong IDF từ số liệu đo mưa thời đoạn 5 phút tại Trạm Láng (Hà Nội) bằng cách sử dụng các phân phối Pearson III, Log-Pearson III, Gumbel và so sánh. Đây là những phân phối xác suất phổ biến và thường được sử dụng nhiều trong các phân tích xác suất chuỗi số liệu khí tượng thủy văn, đặc biệt là chuỗi số liệu mưa.

3.1.1. Xây dựng đường tần suất kinh nghiệm

Dựa trên số liệu đo mưa thời đoạn 5 phút tại trạm Láng từ 1961 đến 2023, số liệu lượng mưa lớn nhất thời đoạn trong năm được lựa chọn. Sau đó dãy số liệu được sắp xếp theo thứ tự giảm dần và quy đổi về lượng mưa trong 1 giờ (vì 1 giờ bằng 60 phút nên nhân độ sâu mưa với 12) và áp dụng công thức vống số của Weibull và Kritsky-Menken như sau:

$$P = \frac{m}{n + 1} \quad (3.1)$$

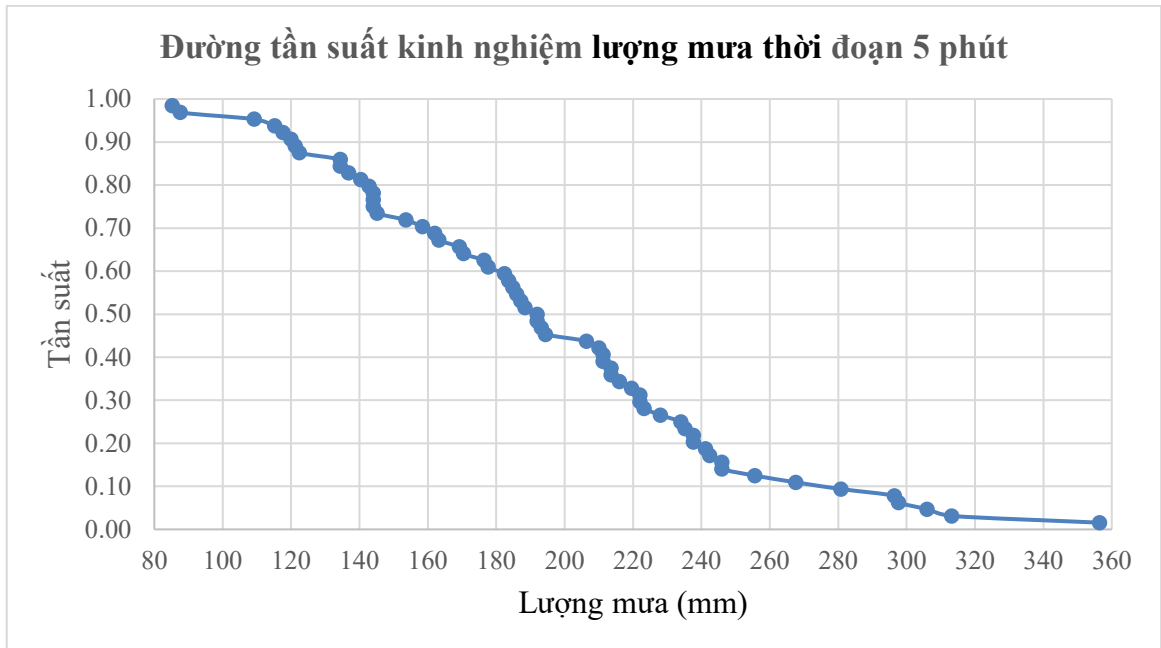
trong đó m là số thứ tự của số liệu và n là số phần tử của chuỗi dữ liệu.

Bảng 3.1. Sắp xếp lượng mưa quy đổi.

Thứ tự	Năm	Lượng mưa thời đoạn 5 phút (mm)	Lượng mưa thời đoạn 60 phút (mm)	Tần suất
1	2022	29.7	356.4	0.02
2	1973	26.1	313.2	0.03
3	2006	25.5	306.0	0.05
4	1968	24.8	297.6	0.06
5	2007	24.7	296.4	0.08
6	2003	23.4	280.8	0.09
7	1982	22.3	267.6	0.11
8	1971	21.3	255.6	0.13
9	1983	20.5	246.0	0.14
10	2005	20.5	246.0	0.16
11	2020	20.2	242.4	0.17
12	2008	20.1	241.2	0.19
13	2013	19.8	237.6	0.20
14	2021	19.8	237.6	0.22
15	1984	19.6	235.2	0.23
16	1963	19.5	234.0	0.25
17	2019	19.0	228.0	0.27
18	1962	18.6	223.2	0.28
19	2009	18.5	222.0	0.30
20	2012	18.5	222.0	0.31
21	1999	18.3	219.6	0.33
22	2001	18.0	216.0	0.34
23	1985	17.8	213.6	0.36
24	2023	17.8	213.6	0.38
25	1964	17.6	211.2	0.39
26	1993	17.6	211.2	0.41
27	2018	17.5	210.0	0.42
28	1969	17.2	206.4	0.44
29	1974	16.2	194.4	0.45
30	1977	16.1	193.2	0.47
31	1986	16.0	192.0	0.48

Thứ tự	Năm	Lượng mưa thời đoạn 5 phút (mm)	Lượng mưa thời đoạn 60 phút (mm)	Tần suất
32	1998	16.0	192.0	0.50
33	2014	15.7	188.4	0.52
34	2010	15.6	187.2	0.53
35	2002	15.5	186.0	0.55
36	1980	15.4	184.8	0.56
37	1976	15.3	183.6	0.58
38	1967	15.2	182.4	0.59
39	1972	14.8	177.6	0.61
40	1975	14.7	176.4	0.63
41	1965	14.2	170.4	0.64
42	1994	14.1	169.2	0.66
43	1970	13.6	163.2	0.67
44	1990	13.5	162.0	0.69
45	1966	13.2	158.4	0.70
46	1989	12.8	153.6	0.72
47	1978	12.1	145.2	0.73
48	1991	12.0	144.0	0.75
49	1997	12.0	144.0	0.77
50	2017	12.0	144.0	0.78
51	2004	11.9	142.8	0.80
52	1979	11.7	140.4	0.81
53	2000	11.4	136.8	0.83
54	1987	11.2	134.4	0.84
55	2015	11.2	134.4	0.86
56	2011	10.2	122.4	0.88
57	1961	10.1	121.2	0.89
58	2016	10.0	120.0	0.91
59	1981	9.8	117.6	0.92
60	1988	9.6	115.2	0.94
61	1995	9.1	109.2	0.95
62	1992	7.3	87.6	0.97
63	1996	7.1	85.2	0.98

Từ đó xây dựng được đường tần suất kinh nghiệm như Hình 3.1 dưới đây.



Hình 3.1. Đường tần suất kinh nghiệm thời đoạn 5 phút

3.1.2. Sử dụng phân phối Pearson III

Đại lượng ngẫu nhiên X có phân phối Pearson III nếu hàm mật độ xác suất là

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - x_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-x_0)} \quad (3.2)$$

với $\Gamma(\alpha)$ là hàm Gamma của biến số α

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt. \quad (3.3)$$

Ta có

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2}, \beta = \left(\frac{C_v \cdot C_s}{2} \right) \bar{x}, x_0 = \bar{x} - \sigma_x \sqrt{\alpha}. \quad (3.4)$$

Năm 1977, Hann đưa ra bảng giá trị K tương ứng với độ lệch C_s và thời gian lặp lại P năm của phân phối Pearson III (xem Bảng PL1.6 phần Phụ lục 1).

Từ bảng số liệu đo mưa tính được trung bình mẫu $\bar{R} = 16.203 \text{ mm}$, độ lệch mẫu $s = 4.801 \text{ mm}$, độ xiên $C_s = 0.414$.

Sử dụng bảng hệ số tần suất và hệ số bất đối xứng để tìm các giá trị K cho các thời gian lặp lại 2 năm, 5 năm, 10 năm, 25 năm, 50 năm, và 100 năm. Vì hệ số bất xứng $C_s = 0.414$ nằm giữa hai hệ số đã cho trong bảng nên có thể xấp xỉ tuyến tính giữa hai số để có được giá trị K phù hợp.

Vì

$$0.414 = 0.86 \times 0.4 + (1 - 0.86) \times 0.5 \quad (3.5)$$

nên

$$K(P, C_s = 0.414) = 0.86 \times K(P, C_s = 0.4) + 0.14 \times K(P, C_s = 0.5). \quad (3.6)$$

Tính được giá trị K ứng với các thời gian lặp lại P năm và hệ số $C_s = 0.414$.

Bảng 3.2. Bảng giá trị K với hệ số $C_s = 0.414$.

Thời gian lặp lại (năm)	$C_s = 0.5$	$C_s = 0.4$	$C_s = 0.414$
2	-0.083	-0.066	-0.068
5	0.808	0.816	0.815
10	1.323	1.317	1.318
25	1.91	1.88	1.884
50	2.311	2.261	2.268
100	2.686	2.615	2.625

Từ đó tính được cường độ mưa tương ứng các thời gian lặp lại P theo công thức

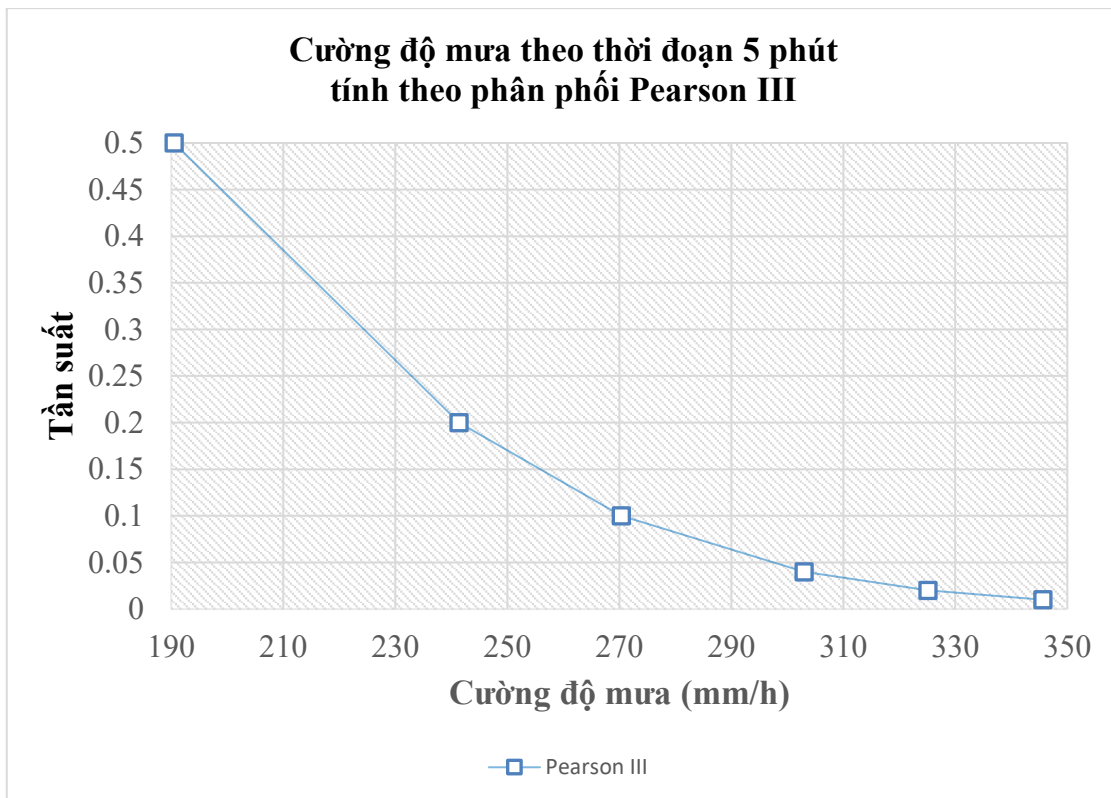
$$R = \bar{R} + K(P, C_s = 0.414).s. \quad (3.7)$$

Cuối cùng, luận án tính được lượng mưa thời đoạn 5 phút tương ứng các thời gian lặp lại P .

Bảng 3.3. Lượng mưa thời đoạn 5 phút và cường độ mưa quy đổi tính theo phân phối Pearson III

Thời gian lặp lại (năm)	$K(P, C_s = 0.414)$	Lượng mưa trong 5 phút (mm)	Cường độ mưa (mm/h)
2	-0.068	15.875	190.5
5	0.815	20.116	241.4
10	1.318	22.530	270.4
25	1.884	25.249	303.0
50	2.268	27.091	325.1
100	2.625	28.804	345.7

Từ đó có thể vẽ được đường cường độ mưa (mm/h) với các tần suất tương ứng với chu kỳ lặp lại.



Hình 3.2. Cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 5 phút tính theo phân phối Pearson III

3.1.3. Sử dụng phân phối Log-Pearson III

Đại lượng ngẫu nhiên X tuân theo phân phối Log-Pearson III nếu đại lượng ngẫu nhiên $Y = \log X$ tuân theo phân phối Person III.

Để sử dụng phân phối Log-Pearson III, trước hết tính log của số liệu đo mưa trong 5 phút và tính được các số đặc trưng ứng với bộ số liệu đã được lôgarit hoá này

- trung bình mẫu $\bar{y} = 1.190$,
- độ lệch mẫu $s = 0.134$,
- độ xiên $C_s = -0.361$.

Thực hiện các bước tương tự như Tiểu mục 3.1.2, tính được giá trị K ứng với các thời gian lặp lại và hệ số bất đối xứng $C_s = -0.361$.

Bảng 3.4. Bảng giá trị K ứng với hệ số $C_s = -0.361$

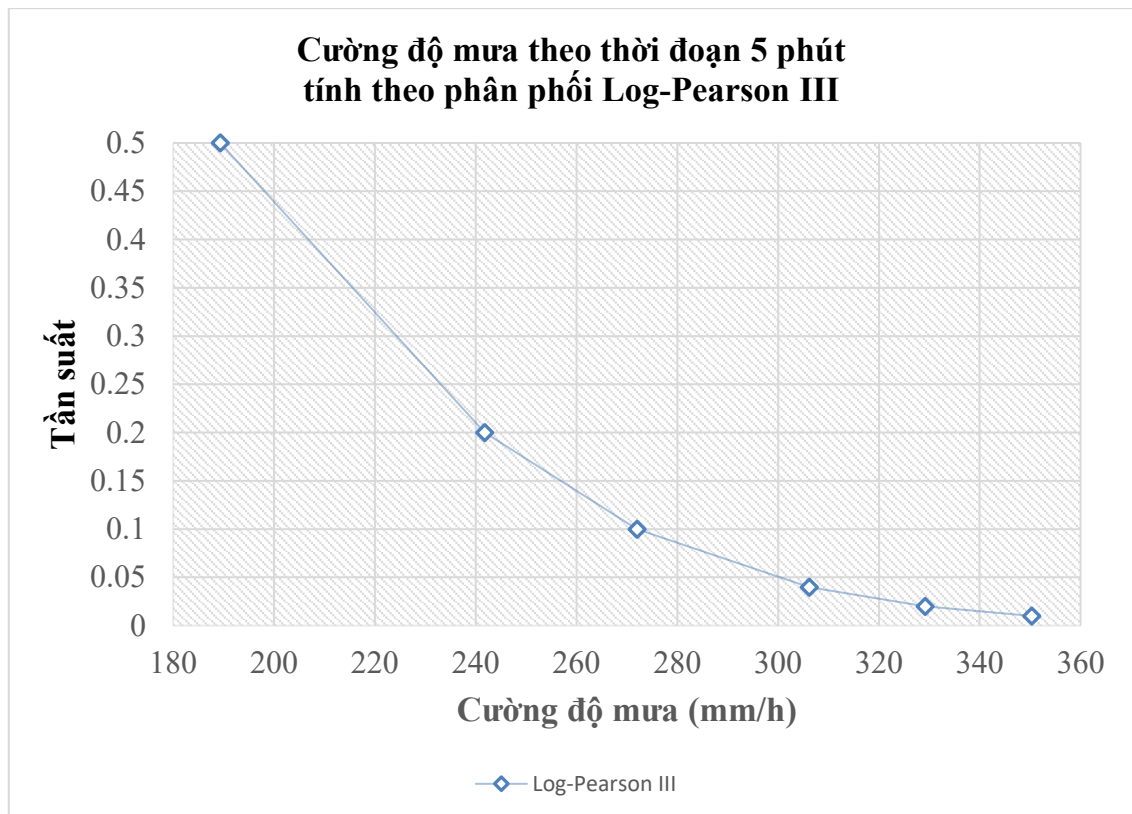
Thời gian lặp lại (năm)	$C_s = -0.3$	$C_s = -0.4$	$C_s = -0.361$
2	0.05	0.066	0.060
5	0.853	0.855	0.854
10	1.245	1.231	1.236
25	1.643	1.606	1.620
50	1.89	1.834	1.856
100	2.104	2.029	2.058

Cuối cùng, ta đã tính được cường độ mưa thời đoạn 5 phút tương ứng các thời gian lặp lại. Cần lưu ý rằng bằng cách tương tự như Tiểu mục 3.1.2, luận án sẽ tính được giá trị của lôgarit hoá của lượng mưa. Do đó, để thu được lượng mưa, giá trị cuối sẽ được mũ hoá.

Bảng 3.5. Cường độ mưa theo thời đoạn 5 phút tương ứng các thời gian lặp lại tính theo phân phối Log-Pearson III

Thời gian lặp lại (năm)	$k(T, C_s = -0.361)$	$\log R$	Lượng mưa thời đoạn 5 phút (mm)	Cường độ mưa (mm/h)
2	0.060	1.198	15.779	189.3
5	0.854	1.304	20.152	241.8
10	1.236	1.355	22.669	272.0
25	1.620	1.407	25.513	306.2
50	1.856	1.438	27.431	329.2
100	2.058	1.465	29.195	350.3

Từ đó có thể vẽ được đường cường độ mưa (mm/h) với các tần suất tương ứng với chu kỳ lặp lại.



Hình 3.3. Cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 5 phút được tính theo phân phối Log-Pearson III

3.1.4. Sử dụng phân phối Gumbel

Đại lượng ngẫu nhiên X được gọi là có phân phối Gumbel nếu hàm mật độ xác suất của nó có dạng

$$f(x) = \frac{\exp\left(\mp \frac{x - \beta}{\alpha} - \exp\left(\mp \frac{x - \beta}{\alpha}\right)\right)}{\alpha} \quad (3.8)$$

trong đó $-\infty < x < +\infty$, $-\infty < \beta < +\infty$; $0 < \alpha < +\infty$, dấu $-$ được sử dụng cho giá trị cực đại, dấu $+$ được sử dụng cho giá trị cực tiểu.

Vì ở đây nghiên cứu xem xét cường độ mưa lớn nhất nên hàm mật độ sẽ là

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{x - \beta}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x - \beta}{\alpha}\right)\right)}{\alpha}. \quad (3.9)$$

Khi đó, các giá trị đặc trưng của phân phối Gumbel là trung bình $\mu = \beta - 0.5772\alpha$, độ lệch chuẩn $\sigma = \alpha \cdot \sqrt{1.645}$, độ xiên $C_s = 1.1396$.

Dựa trên số liệu đo mưa 5 phút, tính được trung bình mẫu $\bar{R} = 16.203 \text{ mm}$, độ lệch mẫu $s = 4.801 \text{ mm}$. Áp dụng công thức tính theo phân phối Gumbel

$$R = \bar{R} + K \cdot s \quad (3.10)$$

trong đó K là hệ số ứng với thời gian lặp lại P và số phần tử của chuỗi số liệu n .

Cần lưu ý rằng trong một số tài liệu, giá trị của K được lấy trong trường hợp n rất lớn. Điều này không phù hợp vì số liệu khí tượng thủy văn thường có dung lượng nhỏ. Do đó việc lấy giá trị của K tương ứng với số phần tử của chuỗi số liệu là quan trọng. Vì $n = 63$ nên bảng giá trị của K như bảng dưới đây.

Bảng 3.6. Bảng giá trị của K với $n = 63$.

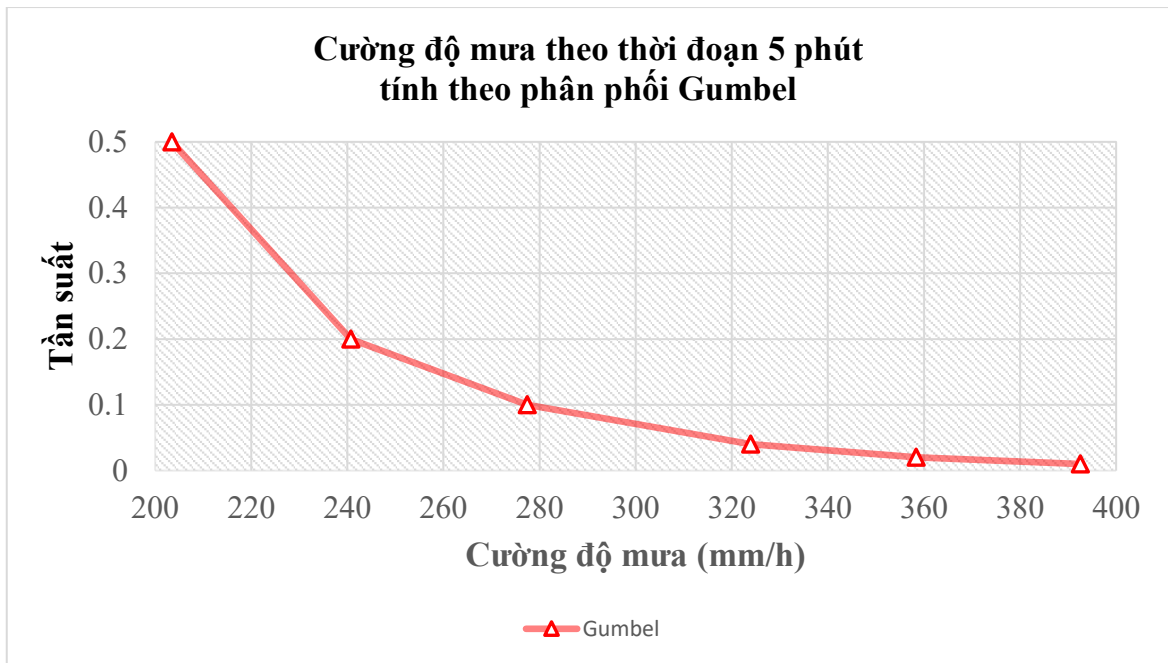
Chu kỳ lặp lại (năm)	K
2	0.157
5	0.803
10	1.440
25	2.247
50	2.845
100	3.438

Từ đó tính được cường độ mưa trong thời đoạn 5 phút tương ứng các thời gian lặp lại P .

Bảng 3.7. Lượng mưa thời đoạn 5 phút và cường độ mưa quy đổi tương ứng các thời gian lặp lại tính theo phân phối Gumbel

Thời gian lặp lại (năm)	K	Lượng mưa thời đoạn 5 phút (mm)	Cường độ mưa (mm/h)
2	0.157	16.957	203.5
5	0.803	20.058	240.7
10	1.440	23.117	277.4
25	2.247	26.991	323.9
50	2.845	29.862	358.3
100	3.438	32.709	392.5

Từ đó có thể vẽ được đường cường độ mưa (mm/h) với các tần suất tương ứng với chu kỳ lặp lại.



Hình 3.4. Cường độ mưa tại trạm Láng theo thời đoạn 5 phút tính theo phân phối Gumbel

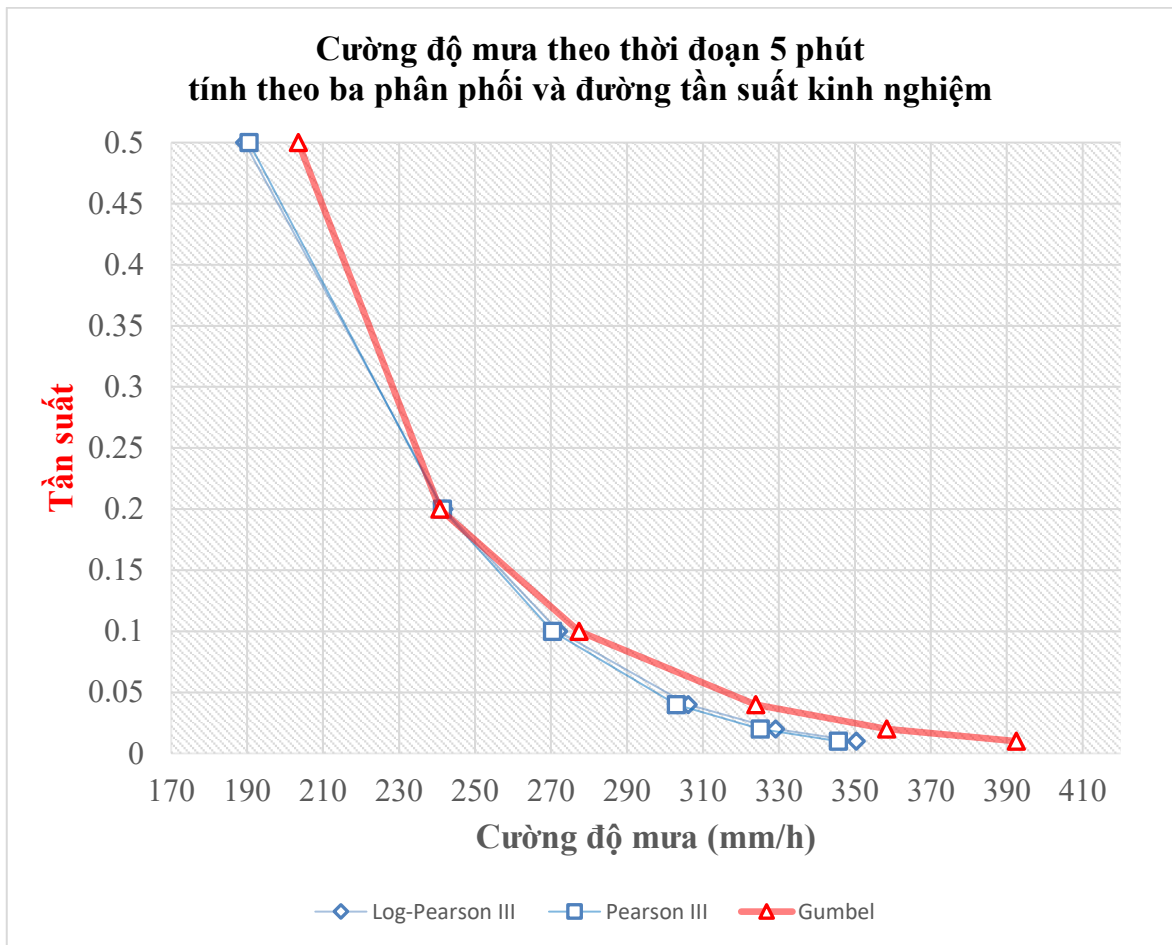
3.1.5. Lựa chọn phân phối xác suất

Từ kết quả thu được ở các Tiêu mục 3.1.2-3.1.4, luận án thu được bảng tính cường độ mưa ứng với thời đoạn 5 phút theo các phân phối đã chọn gồm Pearson III, Log-Pearson III, Gumbel.

Bảng 3.8. Cường độ mưa của trạm Láng trong thời đoạn 5 phút theo ba phân phối

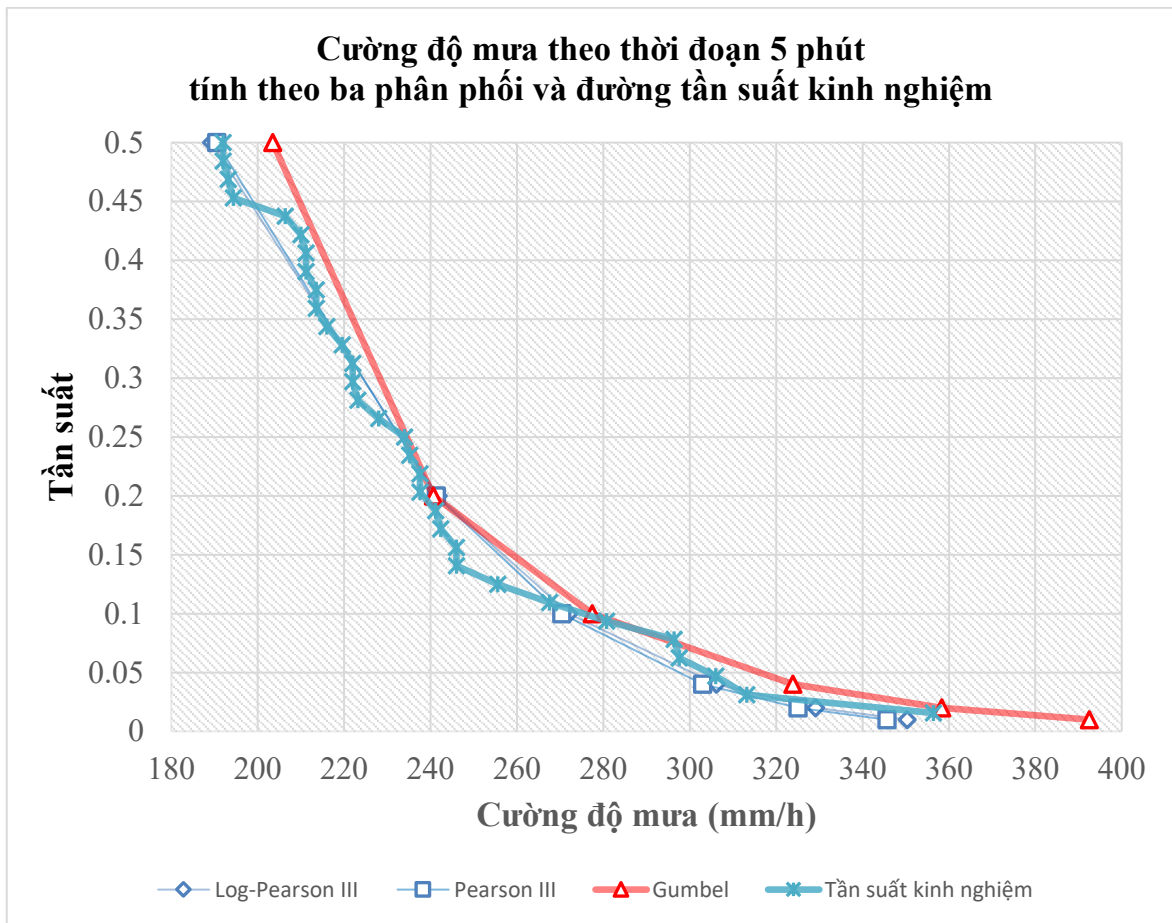
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	189.3	190.5	203.5
5	0.2	241.8	241.4	240.7
10	0.1	272.0	270.4	277.4
25	0.04	306.2	303.0	323.9
50	0.02	329.2	325.1	358.3
100	0.01	350.3	345.7	392.5

Từ đó có thể vẽ được đường cường độ mưa (mm/h) với các tần suất tương ứng với chu kỳ lặp lại được tính theo ba phân phối đã chọn.



Hình 3.5. Cường độ mưa tại trạm Láng thời đoạn 5 phút theo ba phân phối

Từ đó có hình ảnh so sánh cường độ mưa tính theo ba phân phối với đường tần suất kinh nghiệm. Tuy nhiên, vì chu kỳ lặp lại ít nhất được tính là $P = 2$ năm nên có thể thấy rằng phần tần suất lớn hơn 0.5 không có trong đường tần suất Pearson III và Log-Pearson III cũng như Gumbel. Do đó, để nhìn rõ hơn tính phù hợp của ba phân phối với đường tần suất kinh nghiệm, Hình 3.6 dưới đây chỉ thể hiện phần biểu đồ ứng với xác suất từ 0.5 trở xuống.



Hình 3.6. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng theo thời đoạn 5 phút được tính theo ba phân phối với đường tần suất kinh nghiệm ứng với xác suất từ 0.5 trở xuống

Hình 3.6 cho thấy rằng các phân phối đã chọn gồm Pearson III, Log-Pearson III, Gumbel đều phản ánh tương đối sát đường tần suất kinh nghiệm. Điều này chứng tỏ các phân phối lý thuyết này đều là những xấp xỉ tốt cho số liệu đo mưa. Tuy nhiên, phân phối Gumbel phản ánh sát hơn đường tần suất kinh nghiệm.

Để kiểm tra tính phù hợp với của các phân phối đã chọn với số liệu quan sát, phân phối Chi-bình phương χ^2 được sử dụng theo công thức như sau:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \quad (3.11)$$

trong đó O_f là tần số thực nghiệm (là số giá trị quan trắc thuộc khoảng đang xét), E_f là tần số kỳ vọng (được tính bằng tích của cỡ mẫu với xác suất để giá trị quan trắc thuộc khoảng đang xét với giả thiết số liệu tuân theo phân phối lý thuyết).

Bảng 3.9. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 5 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
<11.3	0.125	7.87	10	0.578
11.3-15.5	0.383	24.13	19	1.091
15.5-19.7	0.294	18.53	20	0.117
19.7-23.9	0.129	8.10	9	0.099
23.9-28.1	0.046	2.91	4	0.408
> 32.3	0.023	1.46	1	0.143
	1.000	63	63	2.435

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
<11.3	0.123	7.73	10	0.668
11.3-15.5	0.275	17.31	19	0.166
15.5-19.7	0.282	17.78	20	0.278
19.7-23.9	0.255	16.10	9	3.128
23.9-28.1	0.058	3.68	4	0.028
> 32.3	0.007	0.41	1	0.844
	1.000	63	63	5.111

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
<11.3	0.121	7.65	10	0.722
11.3-15.5	0.272	17.13	19	0.203
15.5-19.7	0.279	17.60	20	0.327
19.7-23.9	0.253	15.93	9	3.018
23.9-28.1	0.058	3.64	4	0.035
> 32.3	0.016	1.04	1	0.001
	1.000	63	63	4.306

Phân phối Chi-bình phương χ^2 được xét ở đây có số bậc tự do $\nu = 3$, mức ý nghĩa của kiểm định là 5%. Do đó giá trị tới hạn tính được là:

$$\chi_{0.05}^2(3) = 7.815. \quad (3.12)$$

Các giá trị của kiểm định theo các phân phối Gumbel, Pearson III, Log-Pearson III lần lượt là 2.435, 5.111, và 4.306 đều nhỏ hơn giá trị tới hạn 7.815. Điều đó khẳng định số liệu các phân phối lý thuyết này đều là những xấp xỉ tốt cho số liệu đo mưa. Tuy nhiên, giá trị kiểm định theo phân phối Gumbel là nhỏ nhất chứng tỏ phân phối Gumbel là phù hợp nhất khi xấp xỉ số liệu đo mưa.

3.2. Xác định cường độ mưa tính toán cho trạm Láng

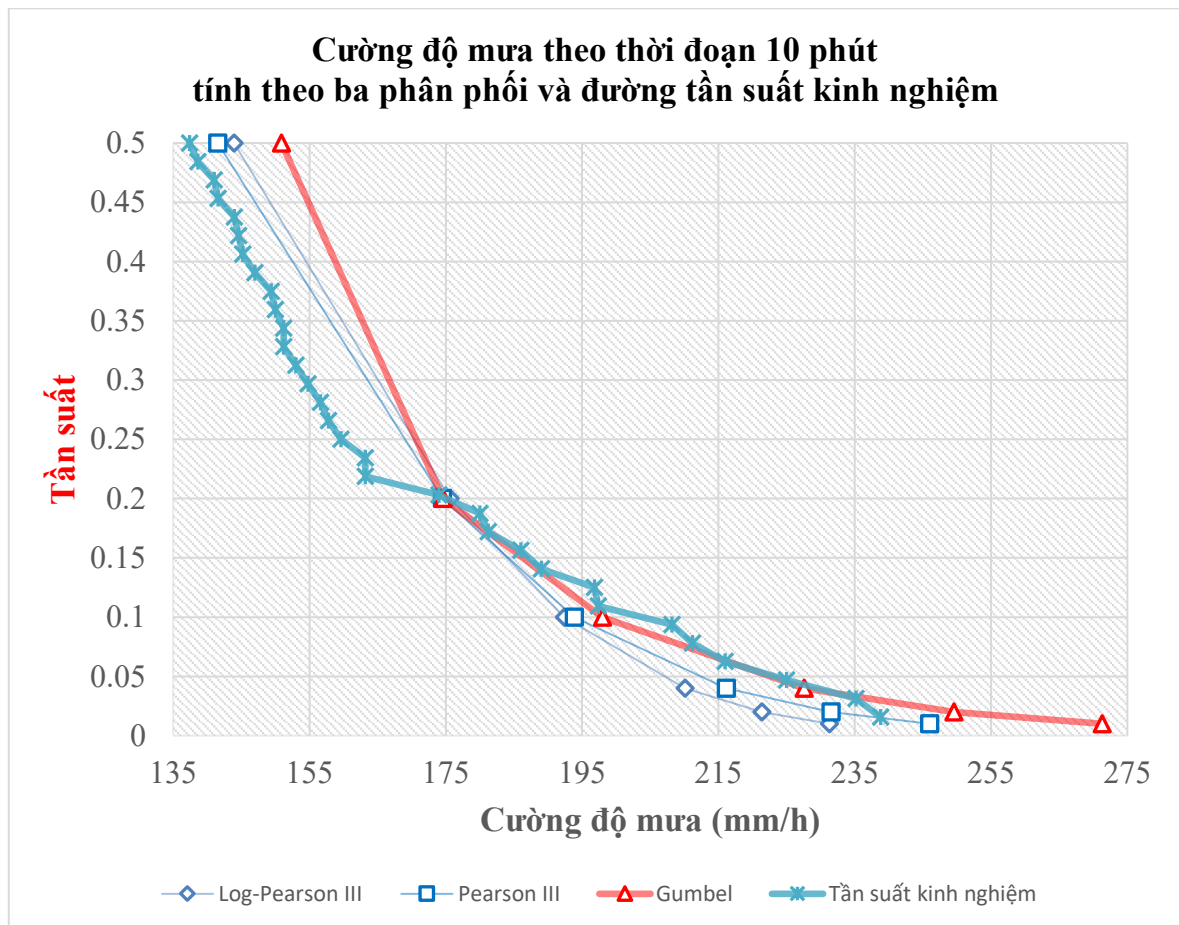
3.2.1. Tính cường độ mưa cho các thời đoạn

Dựa theo phương pháp đã trình bày ở Mục 3.1 để xác định cường độ cho thời đoạn 5 phút, có thể xác định cường độ mưa cho các thời đoạn 10 phút, 15 phút, 30 phút, 45 phút, 60 phút, 90 phút, 120 phút, 180 phút, 360 phút, 720 phút, 1440 phút với các chu kỳ lặp lại 2 năm, 5 năm, 10 năm, 25 năm, 50 năm, 100 năm với các phân phối xác suất được lựa chọn là Pearson III, Log-Pearson III, Gumbel. Luận án cũng tính giá trị của các kiểm định sự phù hợp Chi-bình phương theo các phân phối đã chọn. Bảng chi tiết các tính toán này được trình bày ở phần Phụ lục 2 của Luận án. Qua đó có thể thấy rằng với tất cả các thời đoạn, giá trị kiểm định theo phân phối Gumbel là nhỏ nhất. Điều đó chứng tỏ rằng phân phối Gumbel là phù hợp nhất khi xấp xỉ số liệu đo mưa.

Bên cạnh đó là hình vẽ so sánh cường độ mưa tính theo ba phân phối với đường tần suất kinh nghiệm ứng với tần suất từ 0.5 trở xuống.

Bảng 3.10. Cường độ mưa của trạm Láng tương ứng với thời đoạn 10 phút

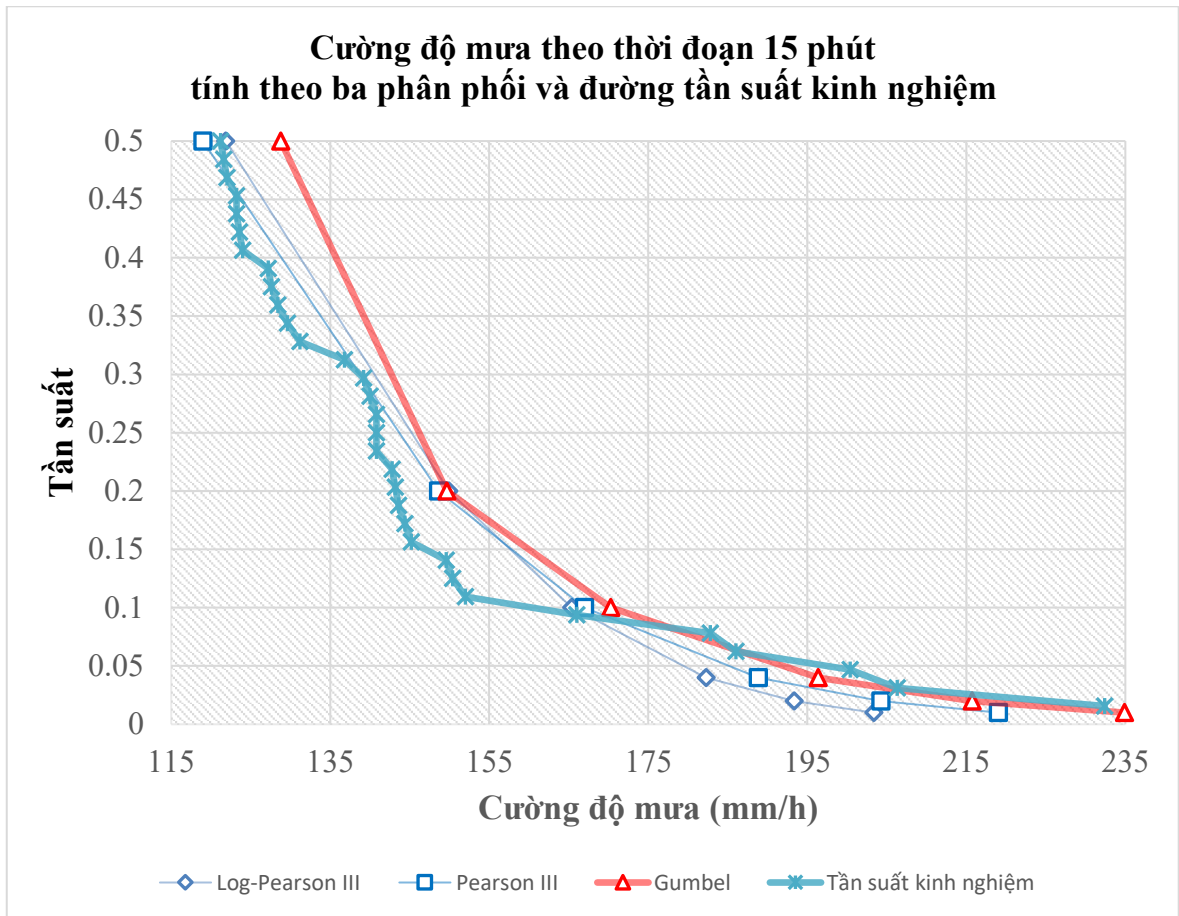
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	143.9	141.5	150.9
5	0.2	175.6	174.5	174.6
10	0.1	192.4	193.8	198.0
25	0.04	210.1	216.2	227.6
50	0.02	221.4	231.5	249.5
100	0.01	231.3	246.0	271.3
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		7.365	5.797	2.837



Hình 3.7. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng thời đoạn 10 phút

Bảng 3.11. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 15 phút

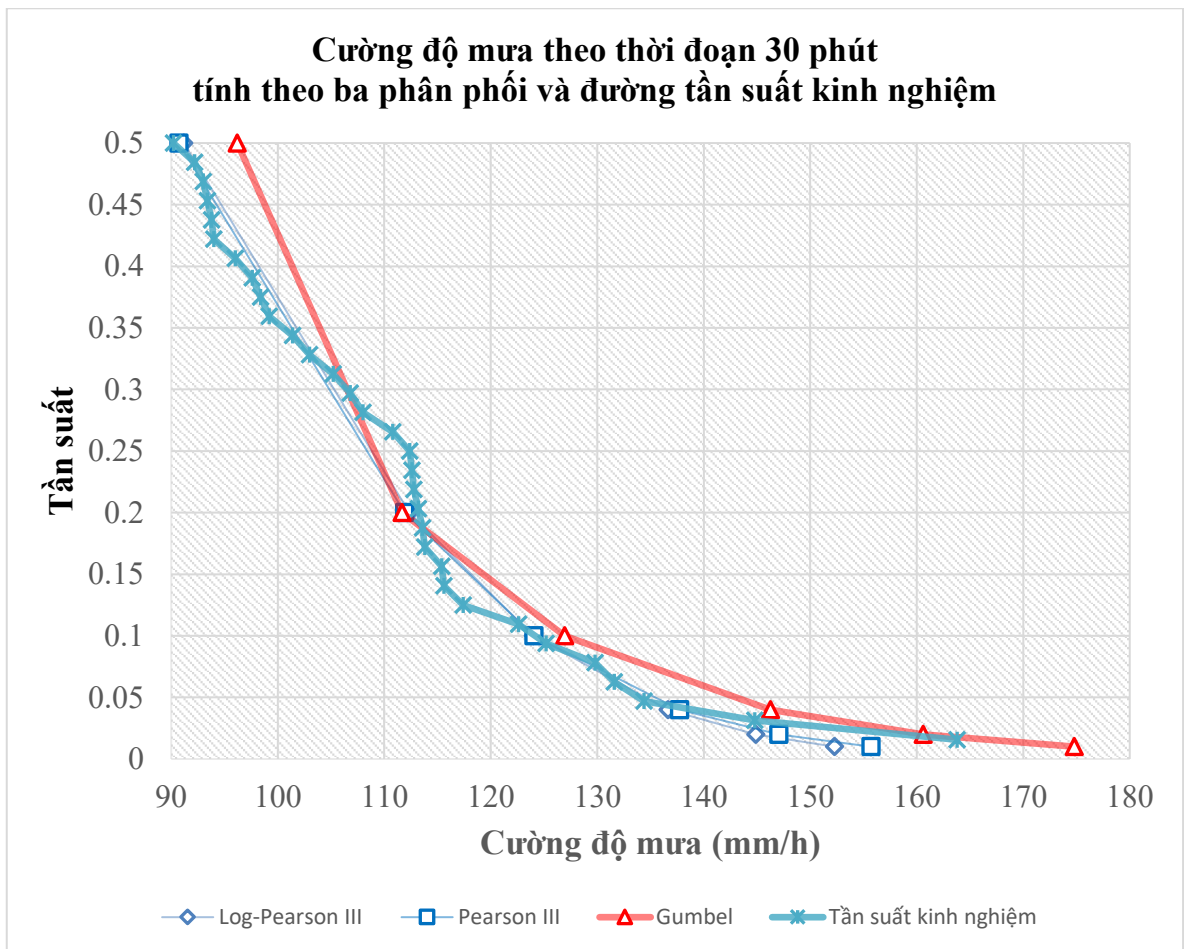
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	121.9	119.0	128.8
5	0.2	149.9	148.6	149.7
10	0.1	165.3	167.0	170.3
25	0.04	182.3	188.8	196.4
50	0.02	193.4	204.3	215.7
100	0.01	203.4	219.0	234.9
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		4.725	2.304	1.255



Hình 3.8. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 15 phút

Bảng 3.12. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 30 phút

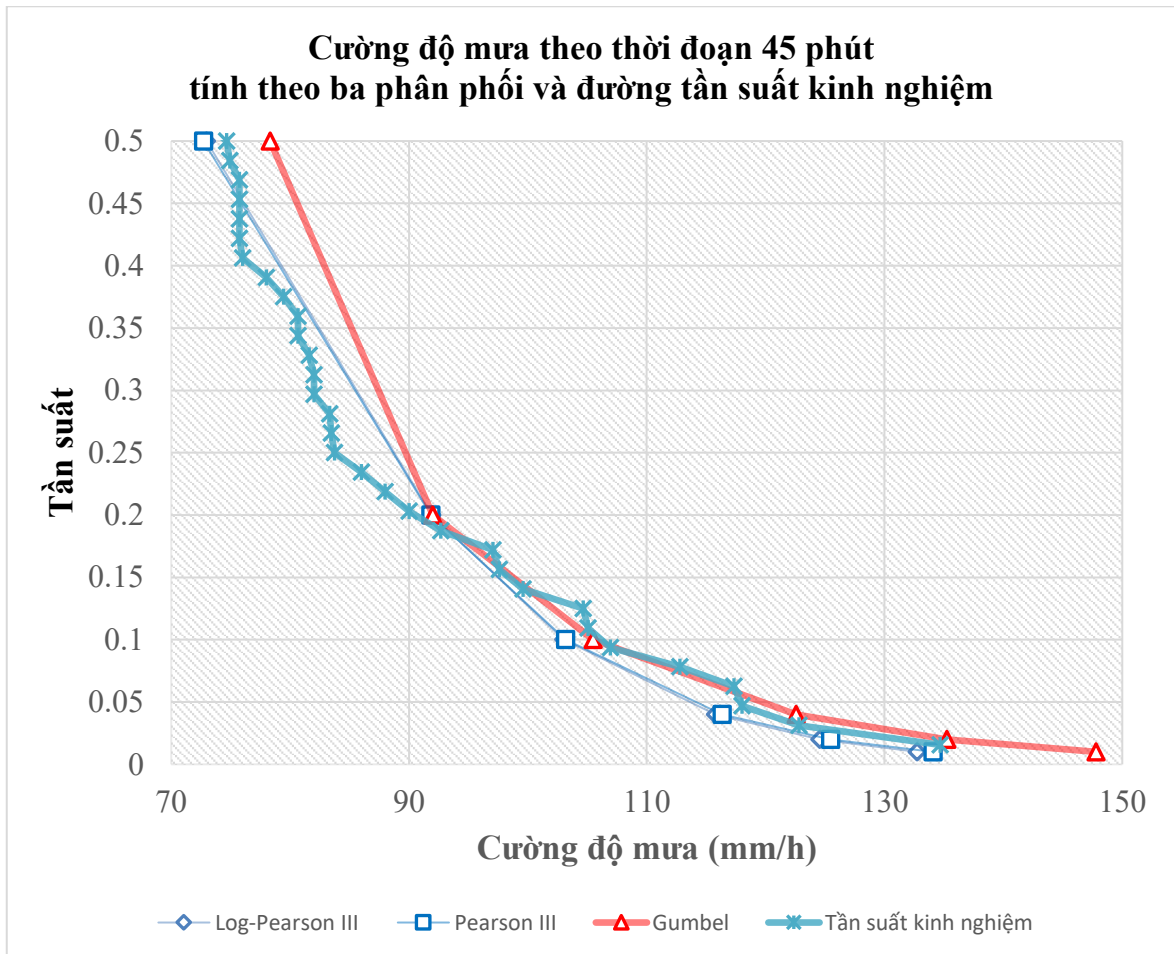
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	91.2	90.7	96.2
5	0.2	112.4	111.9	111.7
10	0.1	124.0	124.0	126.9
25	0.04	136.6	137.7	146.3
50	0.02	144.9	147.0	160.6
100	0.01	152.3	155.7	174.8
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		4.241	4.107	3.721



Hình 3.9. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 30 phút

Bảng 3.13. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 45 phút

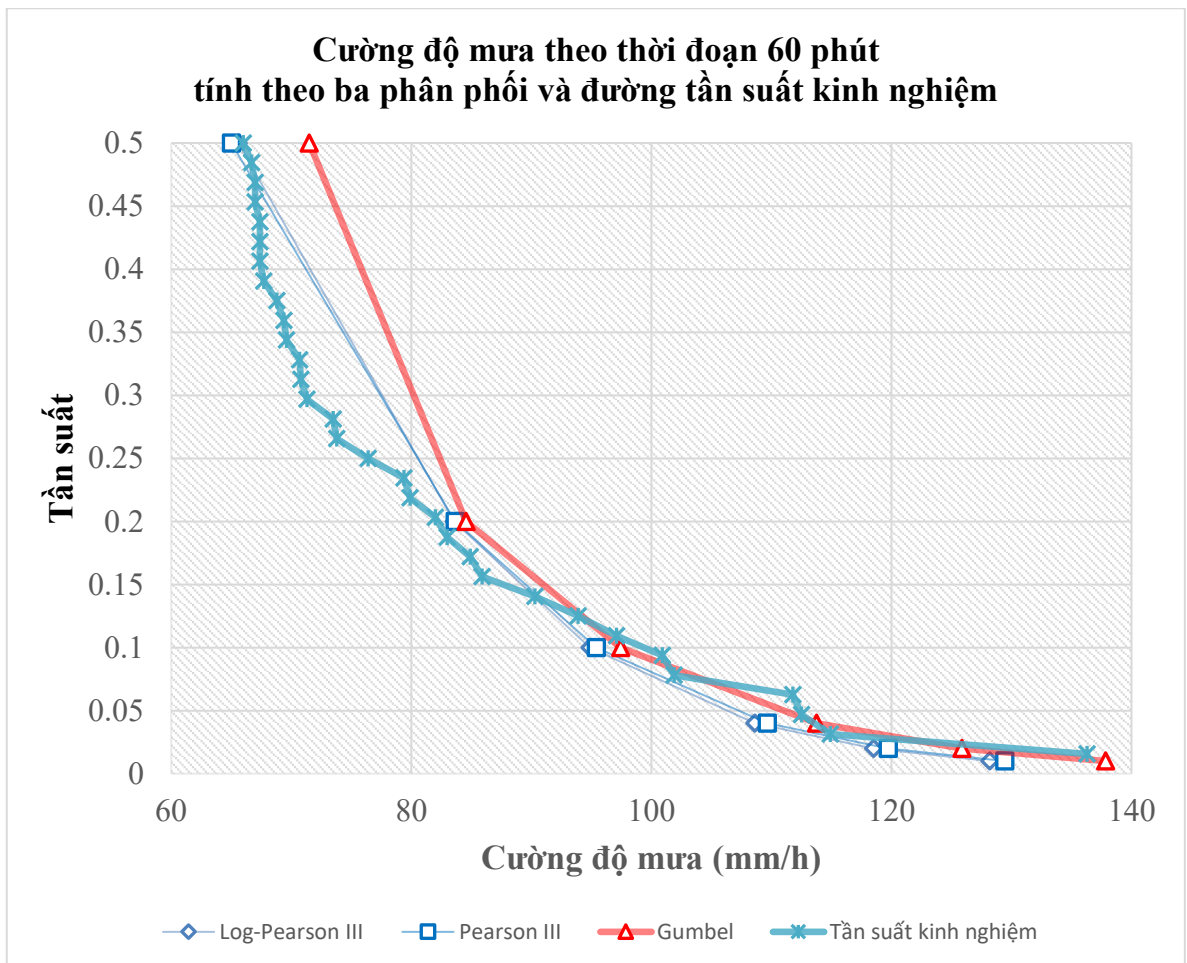
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	73.0	72.7	78.3
5	0.2	91.9	91.8	92.0
10	0.1	103.0	103.2	105.5
25	0.04	115.8	116.4	122.6
50	0.02	124.5	125.5	135.2
100	0.01	132.7	134.1	147.8
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		6.075	5.054	3.233



Hình 3.10. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 45 phút

Bảng 3.14. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 60 phút

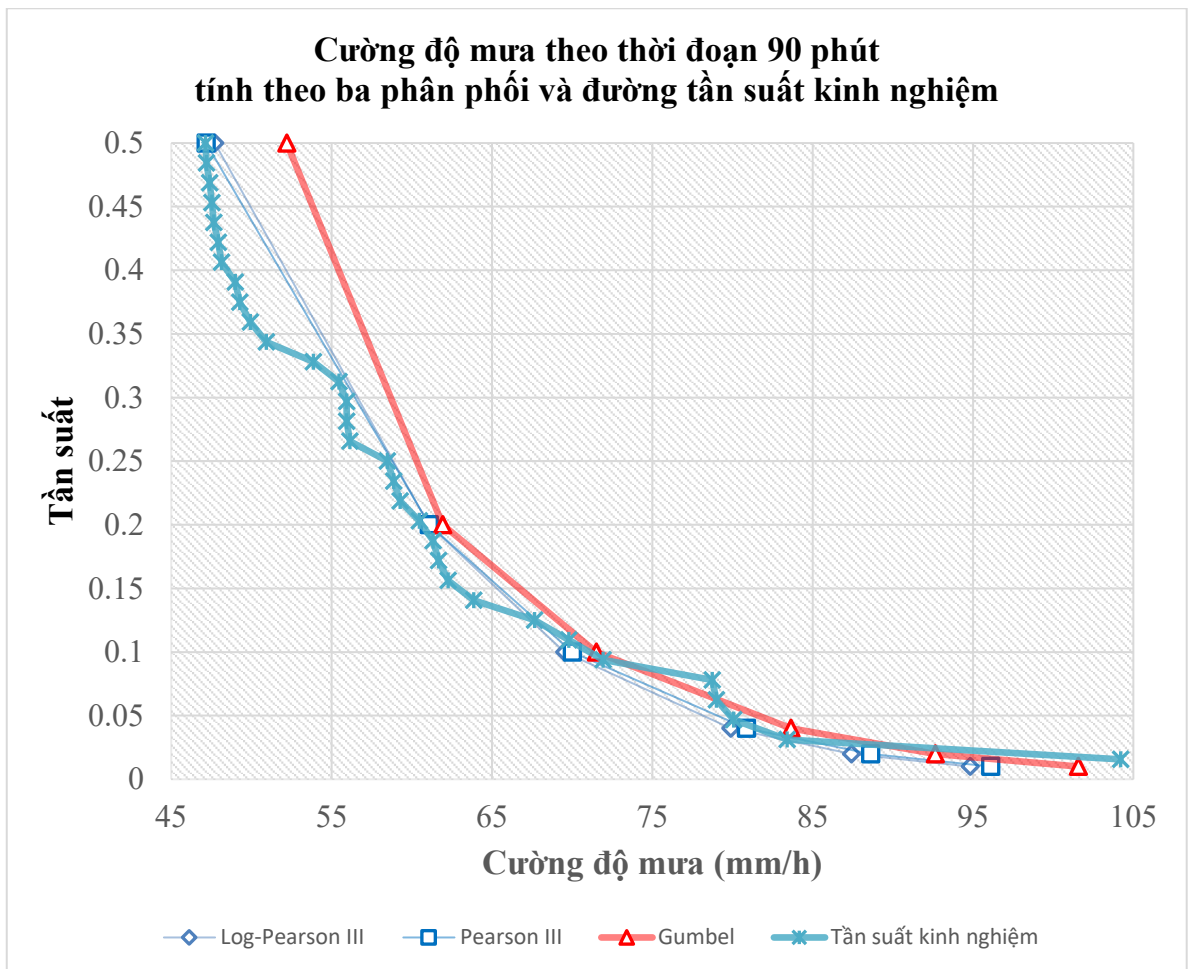
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	65.6	65.0	71.5
5	0.2	83.6	83.7	84.6
10	0.1	94.9	95.4	97.4
25	0.04	108.6	109.6	113.8
50	0.02	118.5	119.7	125.9
100	0.01	128.2	129.5	137.9
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		6.329	4.591	2.130



Hình 3.11. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 60 phút

Bảng 3.15. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 90 phút

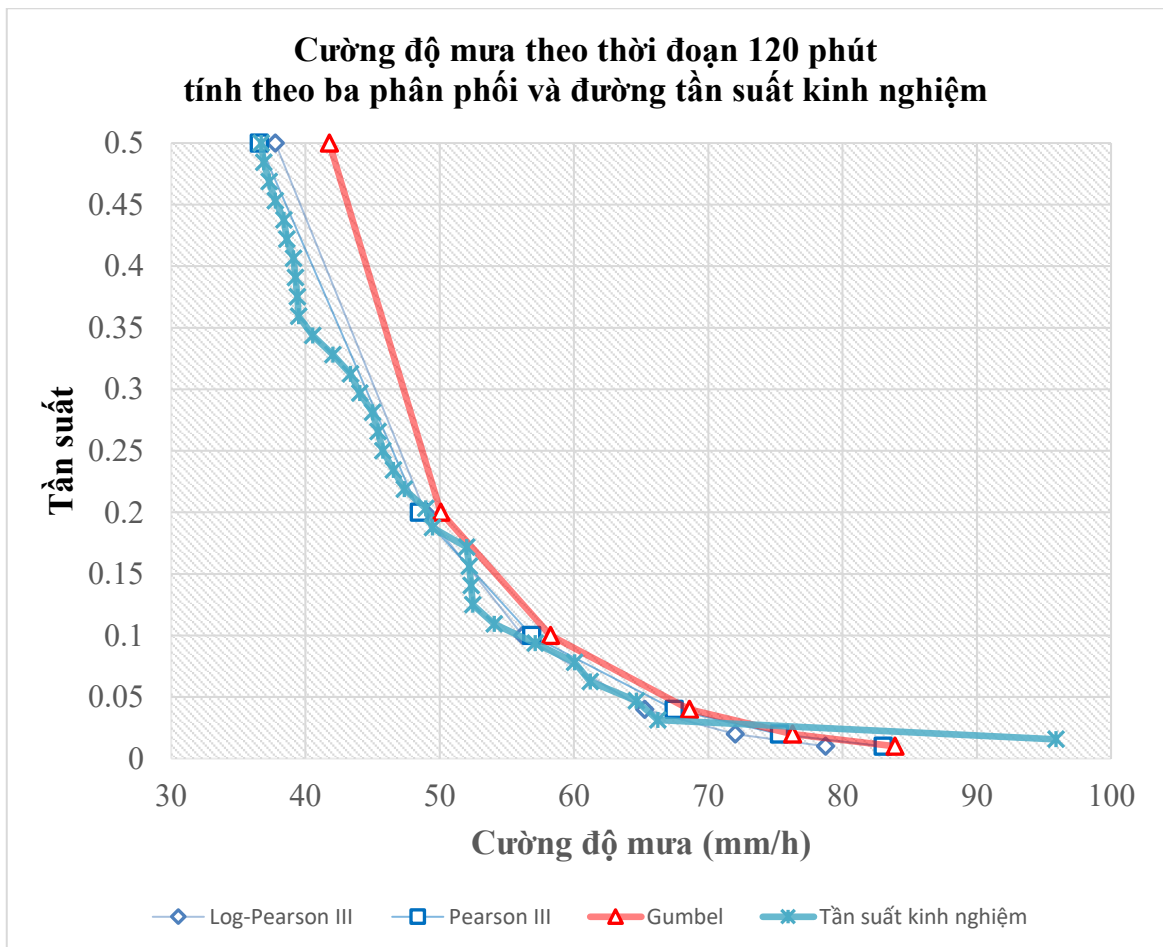
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	47.7	47.2	52.2
5	0.2	61.1	61.1	61.9
10	0.1	69.5	70.0	71.5
25	0.04	79.9	80.9	83.6
50	0.02	87.4	88.6	92.6
100	0.01	94.8	96.1	101.6
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		4.203	5.108	3.652



Hình 3.12. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 90 phút

Bảng 3.16. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 120 phút

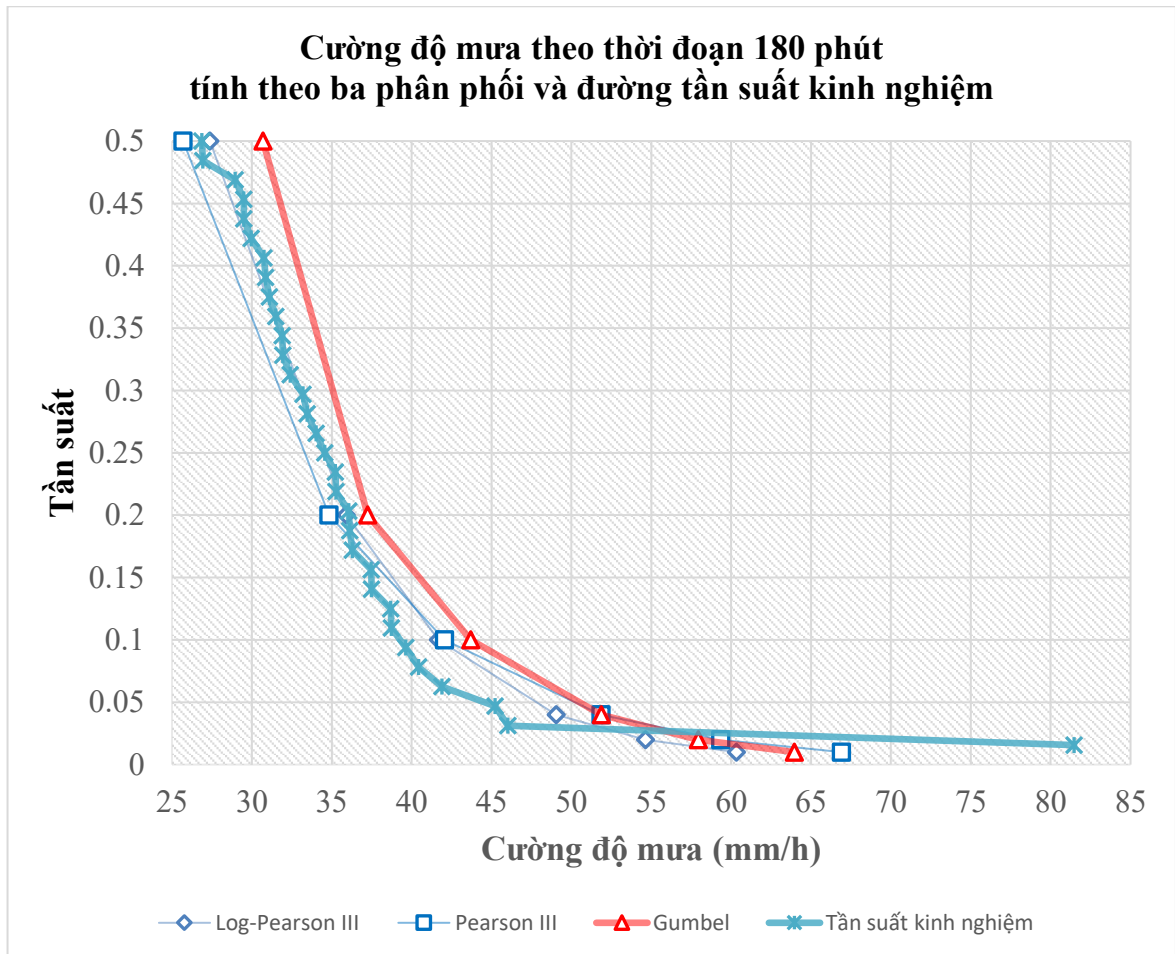
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	37.8	36.6	41.8
5	0.2	48.9	48.5	50.1
10	0.1	56.2	56.8	58.2
25	0.04	65.3	67.5	68.6
50	0.02	72.0	75.3	76.3
100	0.01	78.7	83.0	83.9
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		4.924	3.528	3.450



Hình 3.13. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 120 phút

Bảng 3.17. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 180 phút

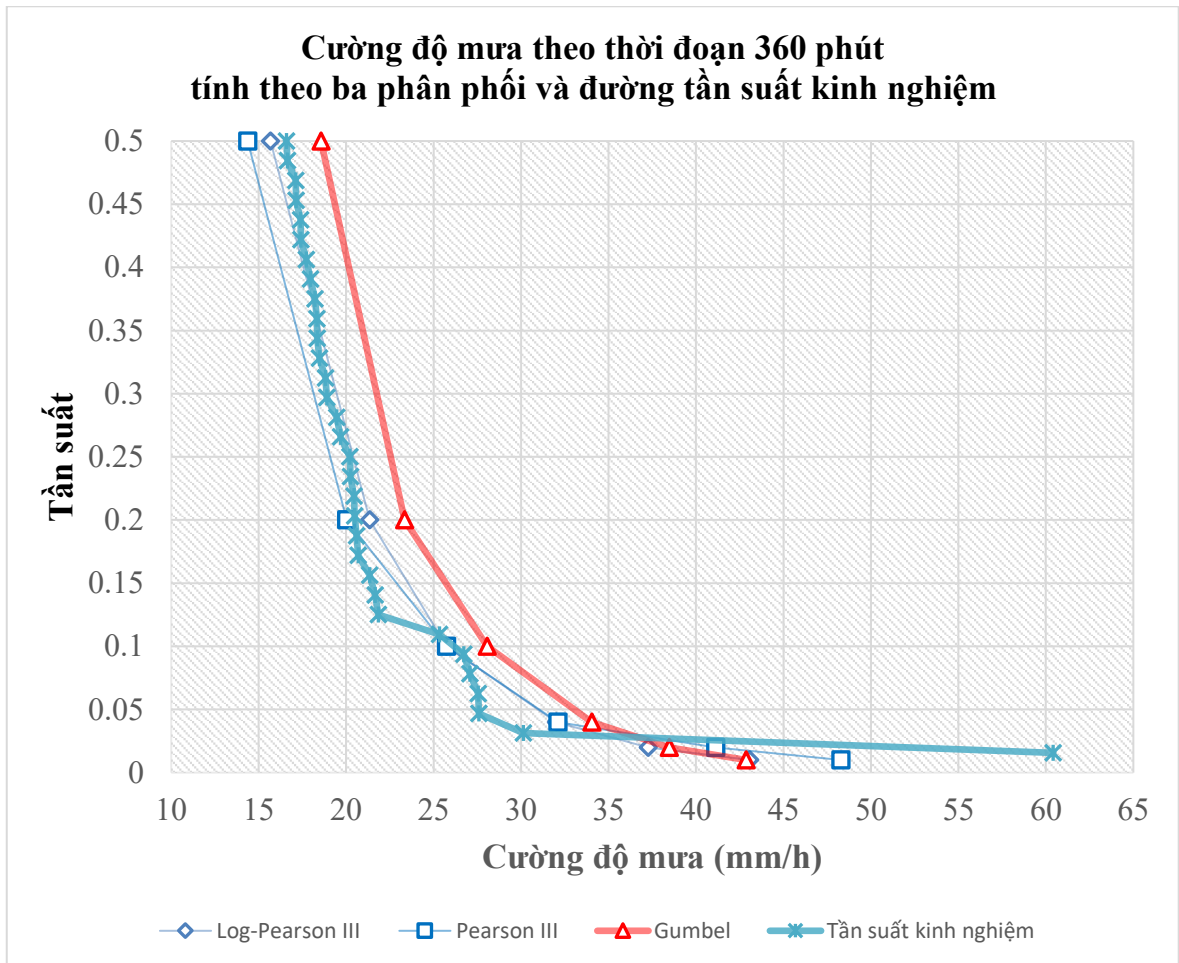
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	27.4	25.7	30.7
5	0.2	35.9	34.8	37.2
10	0.1	41.7	42.1	43.7
25	0.04	49.1	51.9	51.9
50	0.02	54.7	59.4	58.0
100	0.01	60.3	66.9	64.0
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		7.618	8.110	6.958



Hình 3.14. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 180 phút

Bảng 3.18. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 360 phút

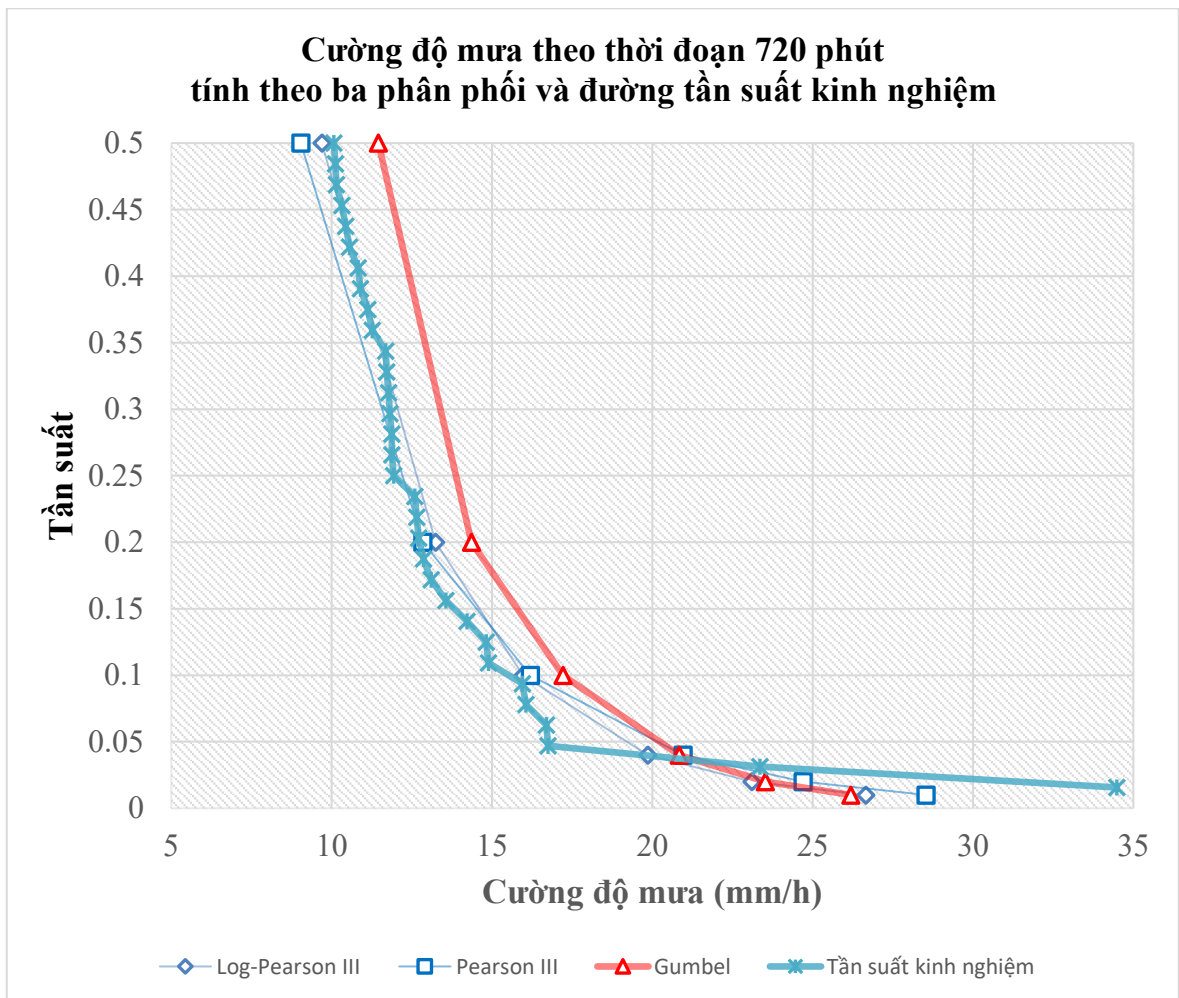
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	15.7	14.4	18.6
5	0.2	21.4	20.0	23.3
10	0.1	25.7	25.7	28.1
25	0.04	32.0	32.1	34.0
50	0.02	37.3	41.1	38.5
100	0.01	43.1	48.3	42.9
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		10.814	10.419	2.534



Hình 3.15. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 360 phút

Bảng 3.19. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 720 phút

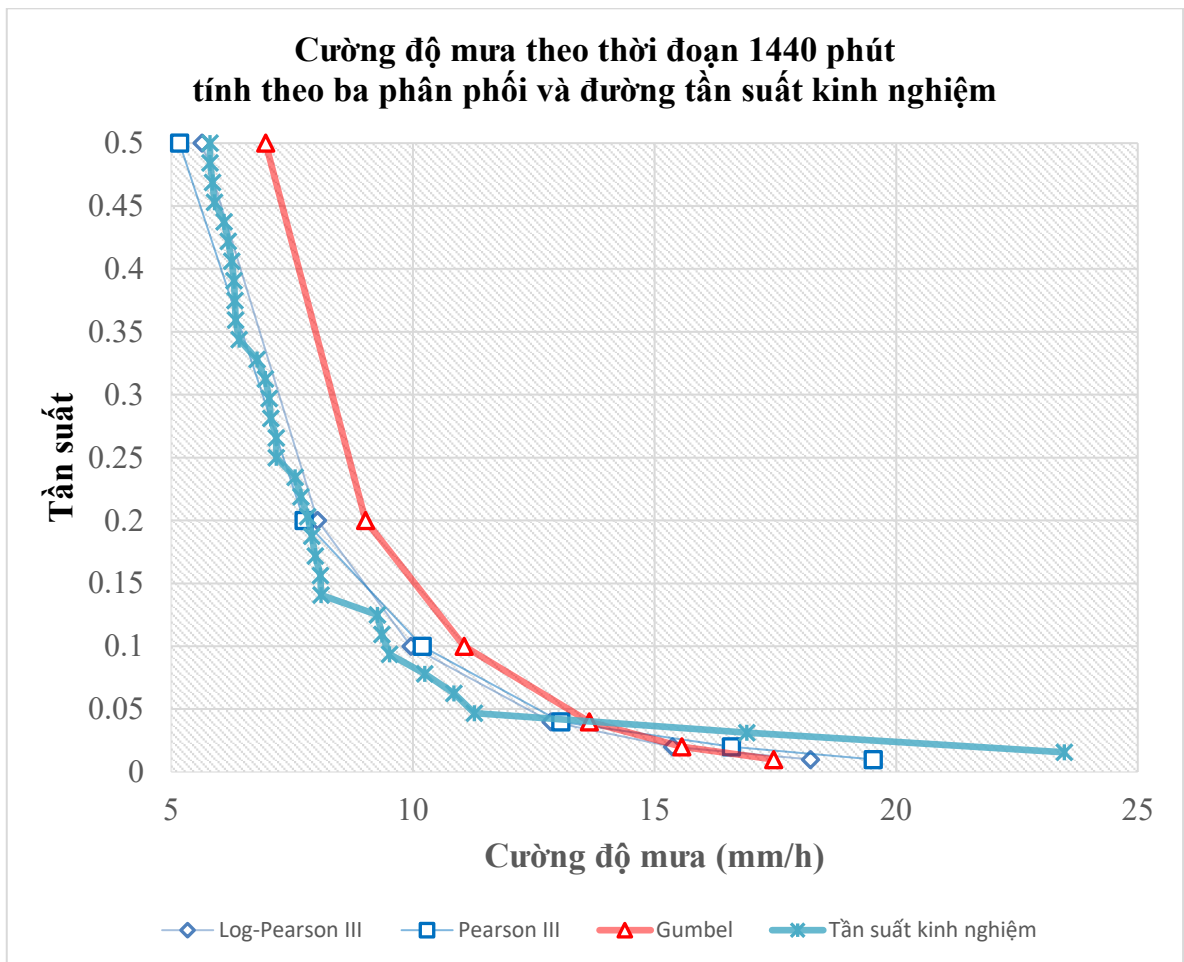
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	9.7	9.0	11.5
5	0.2	13.2	12.8	14.4
10	0.1	16.0	16.2	17.2
25	0.04	19.9	21.0	20.8
50	0.02	23.1	24.7	23.5
100	0.01	26.7	28.5	26.2
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		7.127	7.488	6.443



Hình 3.16. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 720 phút

Bảng 3.20. Cường độ mưa của trạm Láng theo thời đoạn 1440 phút

Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	5.6	5.2	7.0
5	0.2	8.0	7.7	9.0
10	0.1	10.0	10.2	11.1
25	0.04	12.9	13.1	13.7
50	0.02	15.4	16.6	15.6
100	0.01	18.2	19.5	17.5
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		8.490	8.754	7.739



Hình 3.17. So sánh cường độ mưa tại trạm Láng ứng với thời đoạn 1440 phút

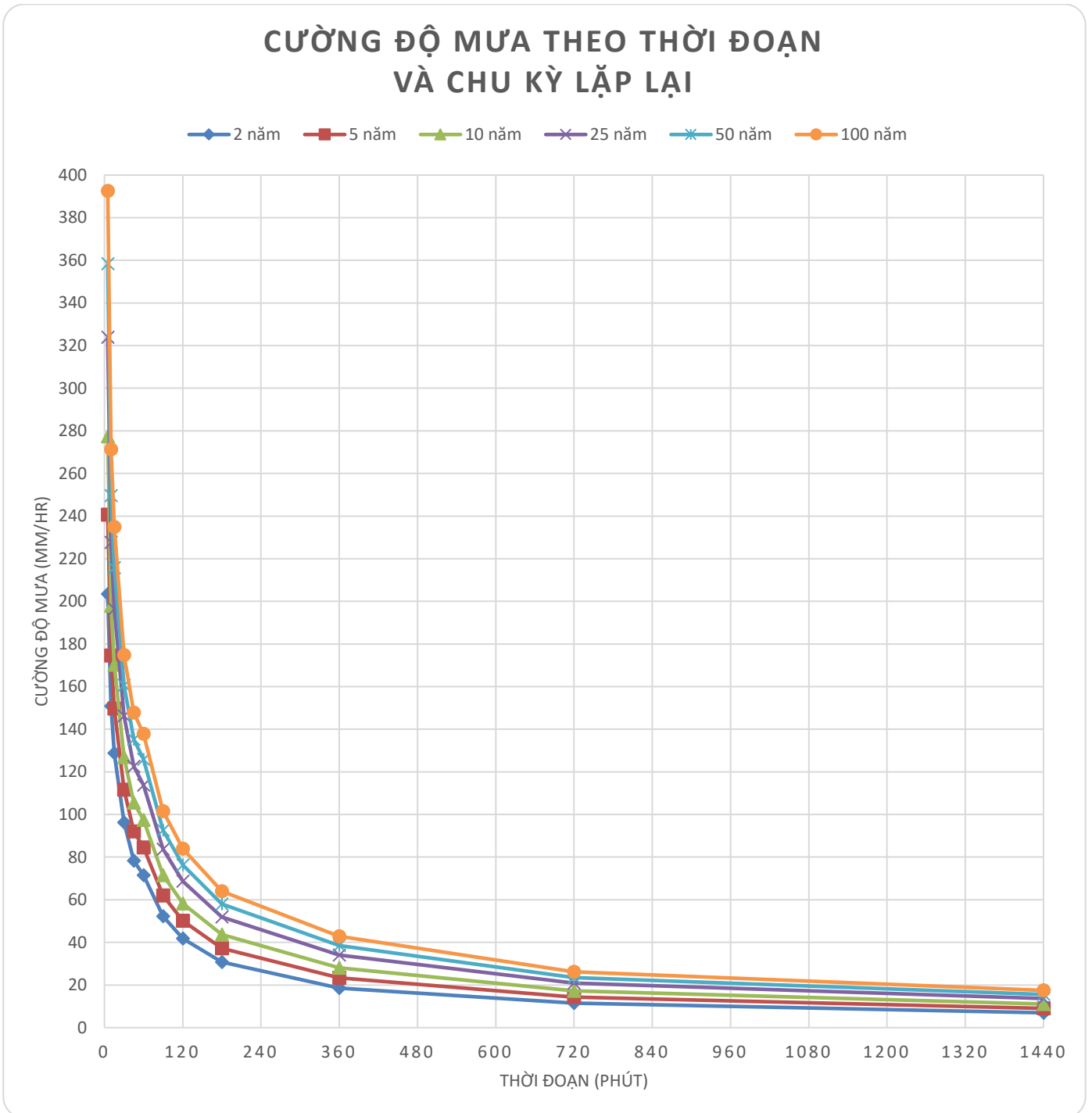
3.2.2. Xây dựng mối quan hệ IDF cho trạm Láng

Từ các số liệu tính toán ở Mục 3.1 và Tiêu mục 3.2.1, luận án thu được bảng số liệu cường độ mưa theo thời đoạn 5 phút, 10 phút, 15 phút, 30 phút, 45 phút, 60 phút, 90 phút, 120 phút, 180 phút, 360 phút, 720 phút, 1440 phút với thời gian lặp lại 2 năm, 5 năm, 10 năm theo phân phối Gumbel.

Bảng 3.21. Bảng quan hệ IDF cho trạm Láng

Thời đoạn/chu kỳ lặp	Cường độ mưa (mm/h) các thời đoạn ứng chu kỳ lặp lại					
	2 năm	5 năm	10 năm	25 năm	50 năm	100 năm
5	203.5	240.7	277.4	323.9	358.3	392.5
10	150.9	174.6	198.0	227.6	249.5	271.3
15	128.8	149.7	170.3	196.4	215.7	234.9
30	96.2	111.7	126.9	146.3	160.6	174.8
45	78.3	92.0	105.5	122.6	135.2	147.8
60	71.5	84.6	97.4	113.8	125.9	137.9
90	52.2	61.9	71.5	83.6	92.6	101.6
120	41.8	50.1	58.2	68.6	76.3	83.9
180	30.7	37.2	43.7	51.9	58.0	64.0
360	18.6	23.3	28.1	34.0	38.5	42.9
720	11.5	14.4	17.2	20.8	23.5	26.2
1440	7.0	9.0	11.1	13.7	15.6	17.5

Từ đó vẽ được đường cong quan hệ IDF cho số liệu đo mưa tại trạm Láng như sau.



Hình 3.18. Đường cong quan hệ IDF cho trạm Láng

3.2.3. Xác định công thức cường độ mưa cho trạm Láng

Từ Bảng 3.22 thể hiện cường độ mưa ứng với các theo thời đoạn 5 phút, 10 phút, 15 phút, 30 phút, 45 phút, 60 phút, 90 phút, 120 phút, 180 phút, 360 phút, 720 phút, 1440 phút với thời gian lặp lại 2 năm, 5 năm, 10 năm, 25 năm, 50 năm và 100 năm.

Như đã phân tích ở Chương 1, dạng công thức tính cường độ mưa tổng quát được xác định theo công thức (1.5) và công thức (1.12) tại Tiêu mục 1.1.2 phản ánh tốt các quan trắc đã cho với giới hạn thay đổi rộng của chu kỳ lặp lại P từ 0,25 năm đến 100 năm và hiện nay được sử dụng phổ biến nhất. Do đó luận án nghiên cứu lựa chọn dạng công thức để tính toán cường độ mưa là:

$$q = \frac{0.36 \times A(1 + C \cdot \log P)}{(t_m + b)^n} \quad (3.13)$$

trong đó

- q là cường độ mưa (mm/h),
- P là chu kỳ lặp lại (năm),
- t_m là thời đoạn mưa (phút),
- A, C, b, n là các tham số xác định dựa trên bảng IDF của trạm đo mưa.

Bảng 3.22. Bảng giá trị dùng để xác định công thức cường độ mưa cho trạm Láng

STT k	Thời đoạn mưa (phút) t_k	Thời gian lặp lại (năm) P_k	Cường độ mưa (mm/hr) q_k
1	5	2	203.5
2	5	5	240.7
3	5	10	277.4
4	5	25	323.9
5	5	50	358.3
6	5	100	392.5
7	10	2	150.9
8	10	5	174.6
9	10	10	198.0
10	10	25	227.6

STT k	Thời đoạn mưa (phút) t_k	Thời gian lặp lại (năm) P_k	Cường độ mưa (mm/hr) q_k
11	10	50	249.5
12	10	100	271.3
13	15	2	128.8
14	15	5	149.7
15	15	10	170.3
16	15	25	196.4
17	15	50	215.7
18	15	100	234.9
19	30	2	96.2
20	30	5	111.7
21	30	10	126.9
22	30	25	146.3
23	30	50	160.6
24	30	100	174.8
25	45	2	78.3
26	45	5	92.0
27	45	10	105.5
28	45	25	122.6
29	45	50	135.2
30	45	100	147.8
31	60	2	71.5
32	60	5	84.6
33	60	10	97.4
34	60	25	113.8
35	60	50	125.9
36	60	100	137.9
37	90	2	52.2
38	90	5	61.9
39	90	10	71.5
40	90	25	83.6
41	90	50	92.6

STT k	Thời đoạn mưa (phút) t_k	Thời gian lặp lại (năm) P_k	Cường độ mưa (mm/hr) q_k
42	90	100	101.6
43	120	2	41.8
44	120	5	50.1
45	120	10	58.2
46	120	25	68.6
47	120	50	76.3
48	120	100	83.9
49	180	2	30.7
50	180	5	37.2
51	180	10	43.7
52	180	25	51.9
53	180	50	58.0
54	180	100	64.0
55	360	2	18.6
56	360	5	23.3
57	360	10	28.1
58	360	25	34.0
59	360	50	38.5
60	360	100	42.9
61	720	2	11.5
62	720	5	14.4
63	720	10	17.2
64	720	25	20.8
65	720	50	23.5
66	720	100	26.2
67	1440	2	7.0
68	1440	5	9.0
69	1440	10	11.1
70	1440	25	13.7
71	1440	50	15.6
72	1440	100	17.5

Các tham số A, C, b, n được xác định để sai số quân phương (tức là trung bình của tổng bình phương sai số giữa giá trị tính toán bằng công thức với số liệu IDF là nhỏ nhất) là nhỏ nhất. Ở đây sai số quân phương xác định bởi

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{72} \sum_{k=1}^{72} \left(\frac{0.36 \times A(1 + C \cdot \log P_k)}{(t_k + b)^n} - q_k \right)^2}. \quad (3.14)$$

Bài toán tối ưu ở đây là

$$f(A, C, b, n) = \sum_{k=1}^{72} \left(\frac{0.36 \times A(1 + C \cdot \log P_k)}{(t_k + b)^n} - q_k \right)^2 \rightarrow \text{Min}. \quad (3.15)$$

Thông thường, giá trị của b được chọn là số nguyên không âm. Do đó, với giá trị của b đã chọn hàm mục tiêu được xem như hàm của ba biến. Với số liệu IDF của trạm Láng, sử dụng phương pháp giảm gradient tổng quát phi tuyến tính (Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinear) dùng để tối ưu hoá một hàm trơn phi tuyến. Để thực hiện thủ tục này, trước hết cần sử dụng tính gradient của hàm mục tiêu $f(A, C, b, n)$ theo công thức

$$\nabla f(A, C, b, n) = \begin{pmatrix} \partial f_A(A, C, b, n) \\ \partial f_C(A, C, b, n) \\ \partial f_n(A, C, b, n) \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

với

$$\partial f_A(A, C, b, n) = \sum_{k=1}^{72} 2 \left(\frac{0.36 \times A(1 + C \cdot \log P_k)}{(t_k + b)^n} - q_k \right) \times \frac{0.36 \times (1 + C \cdot \log P_k)}{(t_k + b)^n}, \quad (3.17)$$

$$\partial f_C(A, C, b, n) = \sum_{k=1}^{72} 2 \left(\frac{0.36 \times A(1 + C \cdot \log P_k)}{(t_k + b)^n} - q_k \right) \times \frac{0.36 \times A \cdot \log P_k}{(t_k + b)^n}, \quad (3.18)$$

$$\partial f_n(A, C, b, n) = \sum_{k=1}^{72} 2 \left(\frac{0.36 \times A(1 + C \cdot \log P_k)}{(t_k + b)^n} - q_k \right) \times \frac{0.36 \times A(1 + C \cdot \log P_k)}{(t_k + b)^n (-\ln(t_k + b))^{-1}}. \quad (3.19)$$

Giá trị của bộ tham số ở bước $i + 1$ là $\begin{pmatrix} A^{(i+1)} \\ C^{(i+1)} \\ n^{(i+1)} \end{pmatrix}$ được tính theo giá trị của bộ tham số

tại bước i theo công thức sau

$$\begin{pmatrix} A^{(i+1)} \\ C^{(i+1)} \\ n^{(i+1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A^{(i)} \\ C^{(i)} \\ n^{(i)} \end{pmatrix} - \nabla f(A^{(i)}, C^{(i)}, b, n^{(i)}). \quad (3.20)$$

Thông thường, các bước lặp sẽ dừng nếu sự sai khác giá trị của hàm $f(A, C, b, n)$ giữa hai bước lặp liên tiếp không lớn hơn 0,001.

Bảng sau trình bày quá trình tính toán với $b = 20$ và bộ số ban đầu được lấy theo TCVN 7957 là $A = 5980, C = 0.65, n = 0.84$.

Bảng 3.23. Bảng giá trị tính toán với $b = 20$

Bước lặp	A	C	n	Giá trị của hàm $f(A, C, b, n)$	Sai số quân phương
0	5980.0	0.650	0.840	15309.019	14.582
1	6002.8	0.651	0.831	13334.454	13.609
2	6007.5	0.651	0.831	13328.367	13.606
3	6009.8	0.651	0.831	13322.307	13.603
4	6014.4	0.652	0.831	13316.316	13.600
5	6016.8	0.652	0.832	13310.344	13.597
6	6021.2	0.652	0.831	13304.435	13.594
7	6023.7	0.652	0.832	13298.538	13.591
8	6028.0	0.652	0.832	13292.697	13.588
9	6030.6	0.652	0.832	13286.860	13.585
10	6034.9	0.652	0.832	13281.074	13.582
11	6037.6	0.652	0.833	13275.284	13.579
12	6041.7	0.653	0.832	13269.540	13.576
13	6044.6	0.653	0.833	13263.784	13.573
14	6048.6	0.653	0.833	13258.069	13.570
15	6051.6	0.653	0.834	13252.335	13.567
16	6055.5	0.653	0.833	13246.638	13.564
17	6058.6	0.653	0.834	13240.912	13.561
18	6062.4	0.653	0.834	13235.220	13.558

Bước lặp	A	C	n	Giá trị của hàm $f(A, C, b, n)$	Sai số quân phương
19	6065.8	0.653	0.834	13229.490	13.555
20	6069.5	0.653	0.834	13223.791	13.552
21	6073.0	0.654	0.835	13218.044	13.549
22	6076.6	0.654	0.834	13212.325	13.546
23	6080.3	0.654	0.835	13206.547	13.543
24	6083.9	0.654	0.835	13200.796	13.540
25	6087.8	0.654	0.835	13194.974	13.537
26	6091.3	0.654	0.835	13189.177	13.535
27	6095.4	0.654	0.836	13183.296	13.531
28	6098.9	0.654	0.835	13177.439	13.528
29	6103.2	0.655	0.836	13171.483	13.525
30	6106.6	0.655	0.836	13165.551	13.522
31	6111.2	0.655	0.837	13159.504	13.519
32	6114.6	0.655	0.836	13153.480	13.516
33	6119.4	0.655	0.837	13147.323	13.513
34	6122.7	0.655	0.837	13141.190	13.510
35	6128.0	0.655	0.838	13134.902	13.507
36	6131.2	0.655	0.837	13128.640	13.503
37	6136.8	0.656	0.838	13122.199	13.500
38	6140.0	0.656	0.838	13115.785	13.497
39	6145.9	0.656	0.838	13109.165	13.493
40	6149.1	0.656	0.838	13102.574	13.490
41	6155.5	0.656	0.839	13095.743	13.486
42	6158.7	0.656	0.839	13088.946	13.483
43	6165.6	0.656	0.840	13081.853	13.479
44	6168.8	0.657	0.839	13074.801	13.476
45	6176.3	0.657	0.840	13067.378	13.472
46	6179.4	0.657	0.840	13060.006	13.468
47	6187.8	0.657	0.841	13052.159	13.464
48	6190.9	0.657	0.840	13044.379	13.460
49	6200.3	0.657	0.841	13035.978	13.456
50	6203.4	0.658	0.841	13027.667	13.451

Bước lặp	A	C	n	Giá trị của hàm $f(A, C, b, n)$	Sai số quân phương
51	6214.2	0.658	0.842	13018.518	13.447
52	6217.2	0.658	0.841	13009.493	13.442
53	6229.9	0.658	0.843	12999.286	13.437
54	6233.0	0.658	0.842	12989.259	13.432
55	6248.5	0.659	0.844	12977.462	13.425
56	6251.6	0.659	0.843	12965.938	13.419
57	6271.8	0.659	0.845	12951.507	13.412
58	6275.0	0.659	0.844	12937.529	13.405
59	6304.4	0.660	0.847	12917.977	13.395
60	6307.8	0.660	0.846	12899.391	13.385
61	6361.3	0.661	0.850	12866.586	13.368
62	6365.2	0.661	0.849	12837.090	13.353
63	6542.4	0.664	0.859	12737.003	13.300
64	6547.4	0.665	0.857	12672.867	13.267
65	6748.6	0.666	0.864	12606.836	13.232
66	6745.2	0.666	0.865	12544.744	13.200
67	6759.1	0.666	0.865	12541.081	13.198
68	6758.8	0.666	0.866	12537.481	13.196
69	6770.1	0.666	0.866	12534.558	13.194
70	6769.9	0.665	0.866	12531.676	13.193
71	6779.7	0.665	0.866	12529.166	13.192
72	6779.6	0.665	0.867	12526.686	13.190
73	6788.5	0.665	0.867	12524.442	13.189
74	6788.5	0.665	0.867	12522.223	13.188
75	6796.7	0.665	0.867	12520.165	13.187
76	6796.7	0.665	0.867	12518.129	13.186
77	6804.4	0.665	0.867	12516.238	13.185
78	6804.4	0.665	0.868	12514.365	13.184
79	6811.5	0.665	0.868	12512.623	13.183
80	6811.5	0.665	0.868	12510.896	13.182
81	6818.2	0.665	0.868	12509.288	13.181
82	6818.2	0.665	0.868	12507.692	13.180

Bước lặp	A	C	n	Giá trị của hàm $f(A, C, b, n)$	Sai số quân phương
83	6824.4	0.665	0.868	12506.203	13.179
84	6824.5	0.665	0.868	12504.725	13.179
85	6830.3	0.665	0.868	12503.342	13.178
86	6830.4	0.665	0.869	12501.969	13.177
87	6835.8	0.664	0.868	12500.682	13.177
88	6835.9	0.664	0.869	12499.403	13.176
89	6841.0	0.664	0.869	12498.202	13.175
90	6841.1	0.664	0.869	12497.008	13.175
91	6845.9	0.664	0.869	12495.884	13.174
92	6846.1	0.664	0.869	12494.766	13.173
93	6850.5	0.664	0.869	12493.711	13.173
94	6850.7	0.664	0.869	12492.661	13.172
95	6854.9	0.664	0.869	12491.670	13.172
96	6855.2	0.664	0.869	12490.682	13.171
97	6859.1	0.664	0.869	12489.746	13.171
98	6859.4	0.664	0.870	12488.814	13.170
99	6863.1	0.664	0.870	12487.930	13.170
100	6863.4	0.664	0.870	12487.048	13.169
101	6866.9	0.664	0.870	12486.210	13.169
102	6867.2	0.664	0.870	12485.373	13.168
103	6870.6	0.664	0.870	12484.577	13.168
104	6870.9	0.664	0.870	12483.781	13.168
105	6874.1	0.664	0.870	12483.024	13.167
106	6874.4	0.664	0.870	12482.265	13.167
107	6877.5	0.664	0.870	12481.542	13.166
108	6877.7	0.664	0.870	12481.541	13.166

Bảng tiếp theo thể hiện các sai số quân phương nhỏ nhất ứng với các giá trị nguyên không âm của b .

Bảng 3.24. Bảng giá trị tính toán với các giá trị của b

b	A	C	N	Sai số quân phương nhỏ nhất	Số bước lập
0	1025	0.638	0.474	12.406	117
1	1165	0.638	0.503	11.774	106
2	1313	0.637	0.530	11.592	139
3	1472	0.586	0.555	11.709	133
4	1643	0.582	0.679	10.207	135
5	2003	0.598	0.602	9.963	137
6	2027	0.535	0.623	10.847	107
7	2243	0.632	0.645	12.307	123
8	2477	0.634	0.665	11.768	112
9	2731	0.634	0.686	10.218	134
10	3007	0.634	0.705	10.653	126
11	3307	0.634	0.725	10.072	110
12	3633	0.634	0.744	13.473	105
13	3987	0.633	0.763	12.855	120
14	4372	0.633	0.781	13.221	112
15	4792	0.633	0.800	13.569	122
16	5248	0.633	0.818	13.902	107
17	5745	0.633	0.836	14.220	140
18	6286	0.632	0.853	14.524	131
19	6876	0.632	0.871	13.815	134
20	6878	0.664	0.870	13.166	108
21	8217	0.632	0.906	13.360	105
22	8979	0.632	0.923	13.616	140
23	9811	0.632	0.940	13.862	118
24	10714	0.632	0.957	14.098	128
25	11700	0.632	0.974	14.325	116
26	12775	0.632	0.991	14.544	132
27	13954	0.631	1.008	14.755	131
28	15227	0.631	1.025	14.958	118
29	15226	0.631	1.025	15.525	106
30	18140	0.631	1.058	15.343	110

Do đó, để có được sai số quân phương nhỏ nhất, luận án thu được công thức

$$q = \frac{0.36 \times 2003 \times (1 + 0.598 \times \log P)}{(t_m + 5)^{0.602}}. \quad (3.21)$$

Với số liệu IDF đã có, Bảng 3.25 dưới đây so sánh công thức mới thu được và một số công thức khác.

Bảng 3.25. Bảng so sánh công thức luận án đề xuất với các công thức khác

Công thức	Biểu thức	Sai số quân phương	Hệ số tương quan
Mới được xây dựng trong luận án	$q = \frac{0.36 \times 2003 \times (1 + 0.598 \times \log P)}{(t_m + 5)^{0.602}}$	9.963	0.9961
TCVN 7957	$q = \frac{0.36 \times 5890 \times (1 + 0.65 \times \log P)}{(t_m + 20)^{0.84}}$	15.894	0.9881
Viện Khí tượng Thủy văn 2019	$q = \frac{0.36 \times 2625 \times (1 + 0.8931 \times \log P)}{(t_m + 10)^{0.7143}}$	11.094	0.9925

Như vậy, từ Bảng 3.25, có thể thấy rằng công thức mới được xây dựng trong luận án có sai số quân phương tốt hơn (tức là nhỏ hơn) những công thức đã có và có hệ số tương quan tốt hơn (tức là sát 1 hơn). Điều đó thể hiện rằng, công thức mới sát hơn với số liệu IDF so với các công thức hiện hành.

3.3. Xác định cường độ mưa tính toán cho trạm Hà Đông

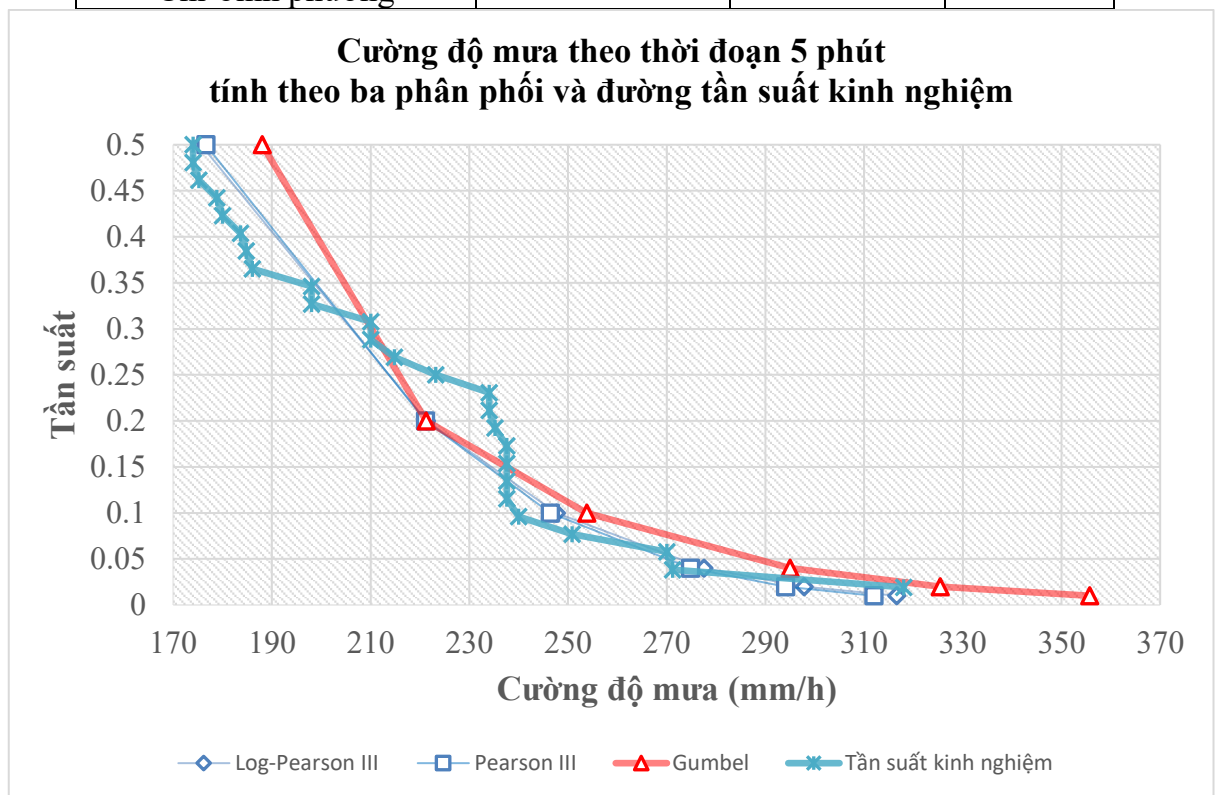
3.3.1. Tính cường độ mưa cho các thời đoạn

Thực hiện tính toán theo các bước đã được nêu trong Mục 3.1-3.2, luận án thu được cường độ mưa cho các thời đoạn 5 phút, 10 phút, 15 phút, 30 phút, 45 phút, 60 phút, 90 phút, 120 phút, 180 phút, 360 phút, 720 phút, 1440 phút ứng với các chu kỳ lặp lại 2 năm, 5 năm, 10 năm, 25 năm, 50 năm, 100 năm theo các phân phối xác suất

được lựa chọn là Pearson III, Log-Pearson III, Gumbel. Bên cạnh đó là hình vẽ so sánh cường độ mưa tính theo ba phân phối với đường tần suất kinh nghiệm ứng với xác suất từ 0.5 trở xuống.

Bảng 3.26. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 5 phút

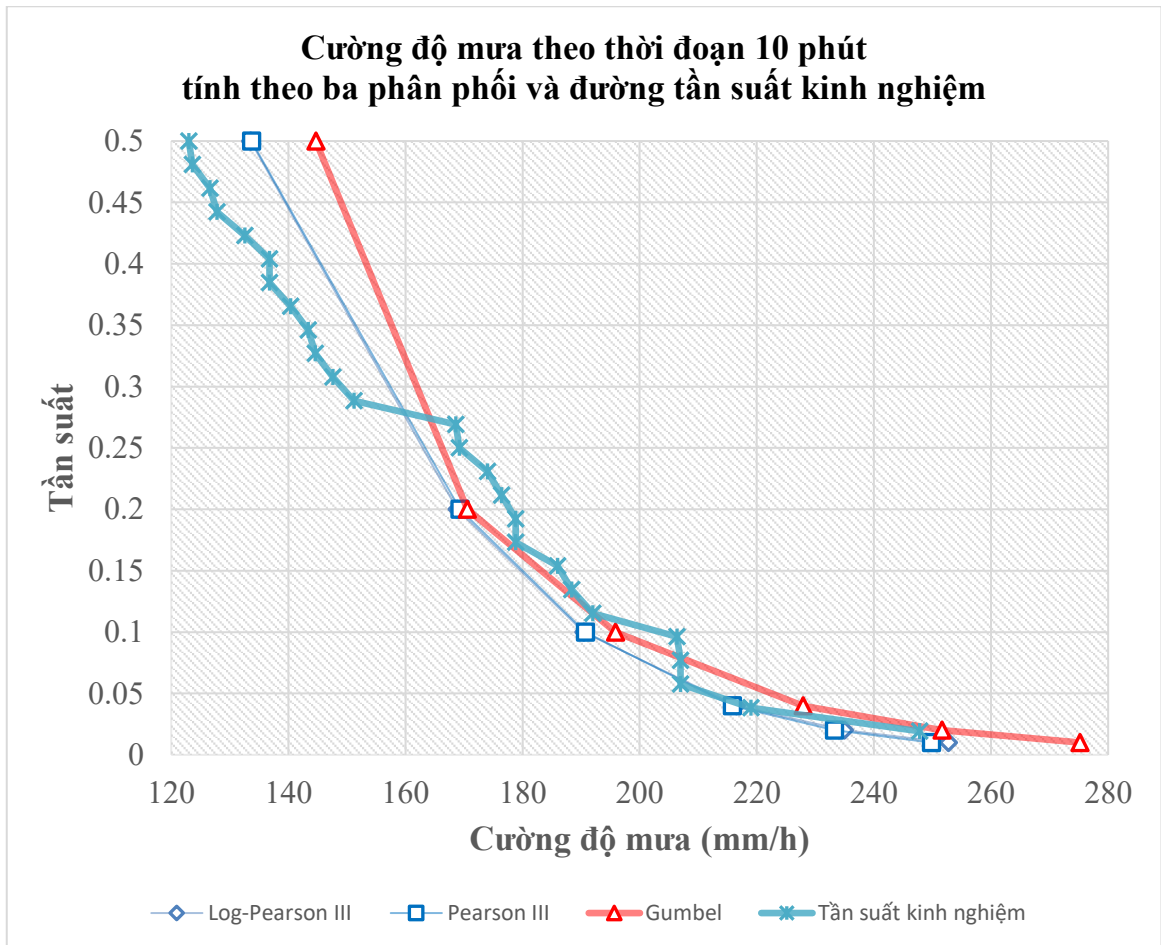
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	175.6	176.6	188.0
5	0.2	221.3	221.1	221.3
10	0.1	247.7	246.4	253.8
25	0.04	277.6	274.8	295.0
50	0.02	297.8	294.1	325.4
100	0.01	316.6	312.0	355.7
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		5.561	4.935	3.688



Hình 3.19. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 5 phút

Bảng 3.27. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 10 phút

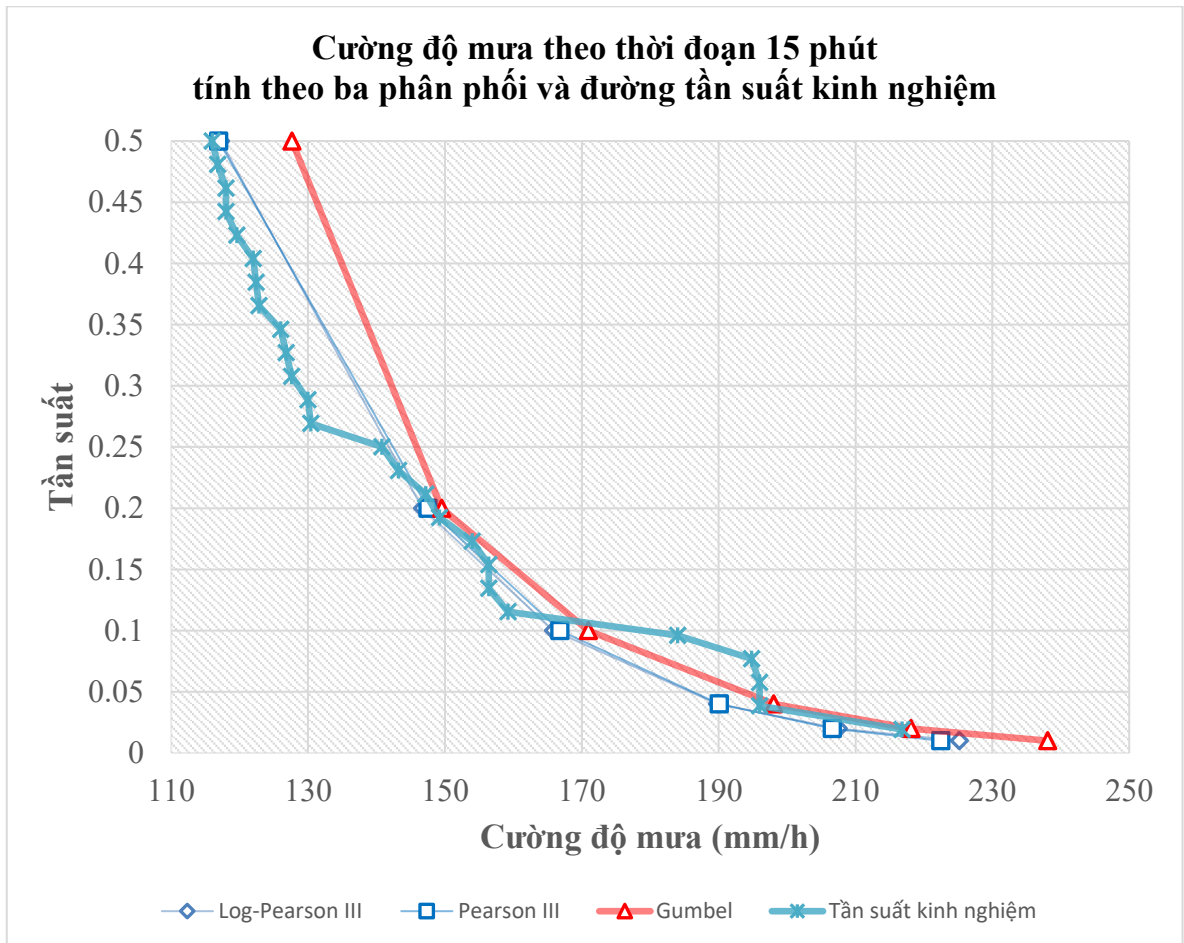
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	133.6	133.7	144.7
5	0.2	168.8	169.3	170.5
10	0.1	190.5	190.7	195.9
25	0.04	216.5	215.8	227.9
50	0.02	234.9	233.3	251.6
100	0.01	252.7	249.9	275.2
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		9.356	9.849	6.950



Hình 3.20. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 10 phút

Bảng 3.28. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 15 phút

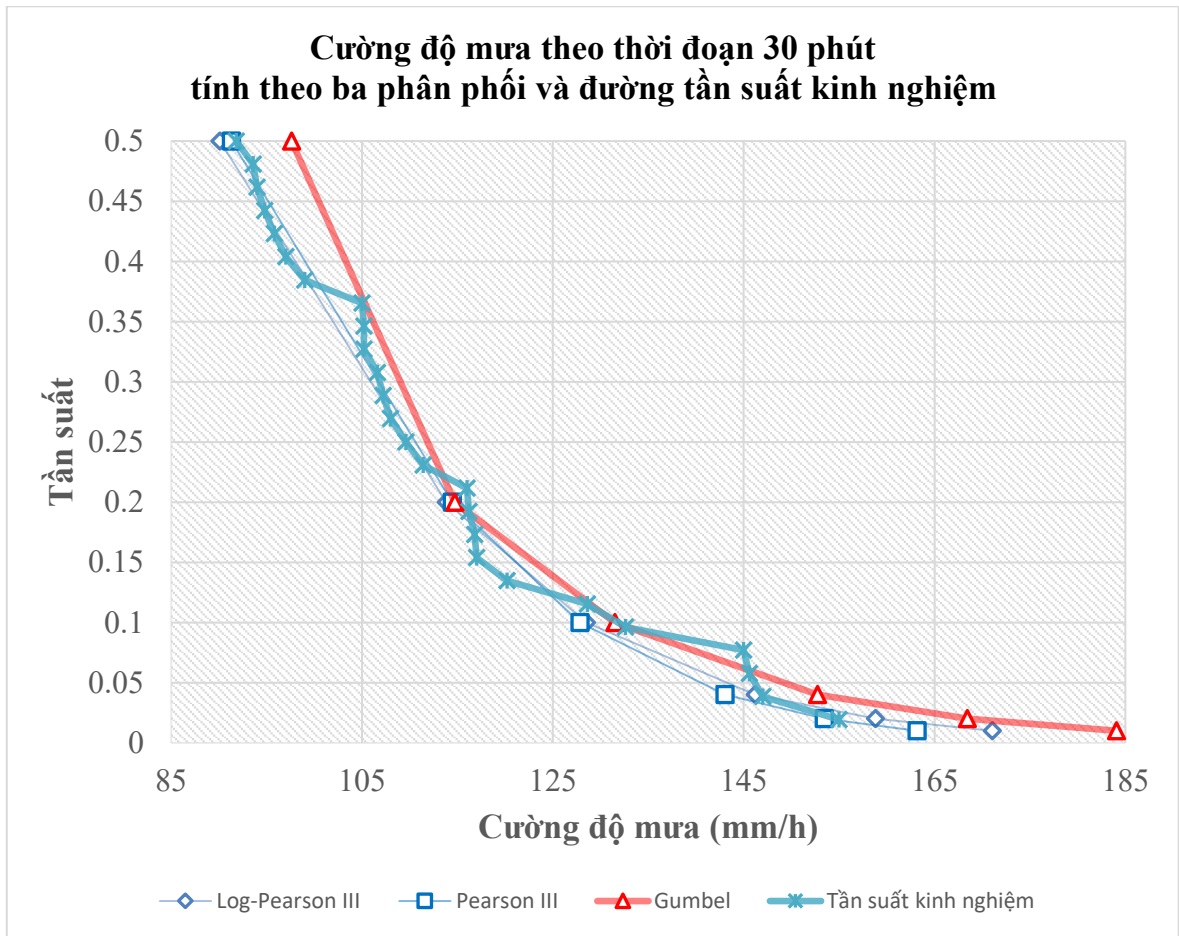
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	117.2	116.9	127.6
5	0.2	146.7	147.5	149.5
10	0.1	165.9	166.8	170.9
25	0.04	189.8	190.1	198.1
50	0.02	207.5	206.6	218.1
100	0.01	225.2	222.4	238.1
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		4.232	4.547	4.037



Hình 3.21. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 15 phút

Bảng 3.29. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 30 phút

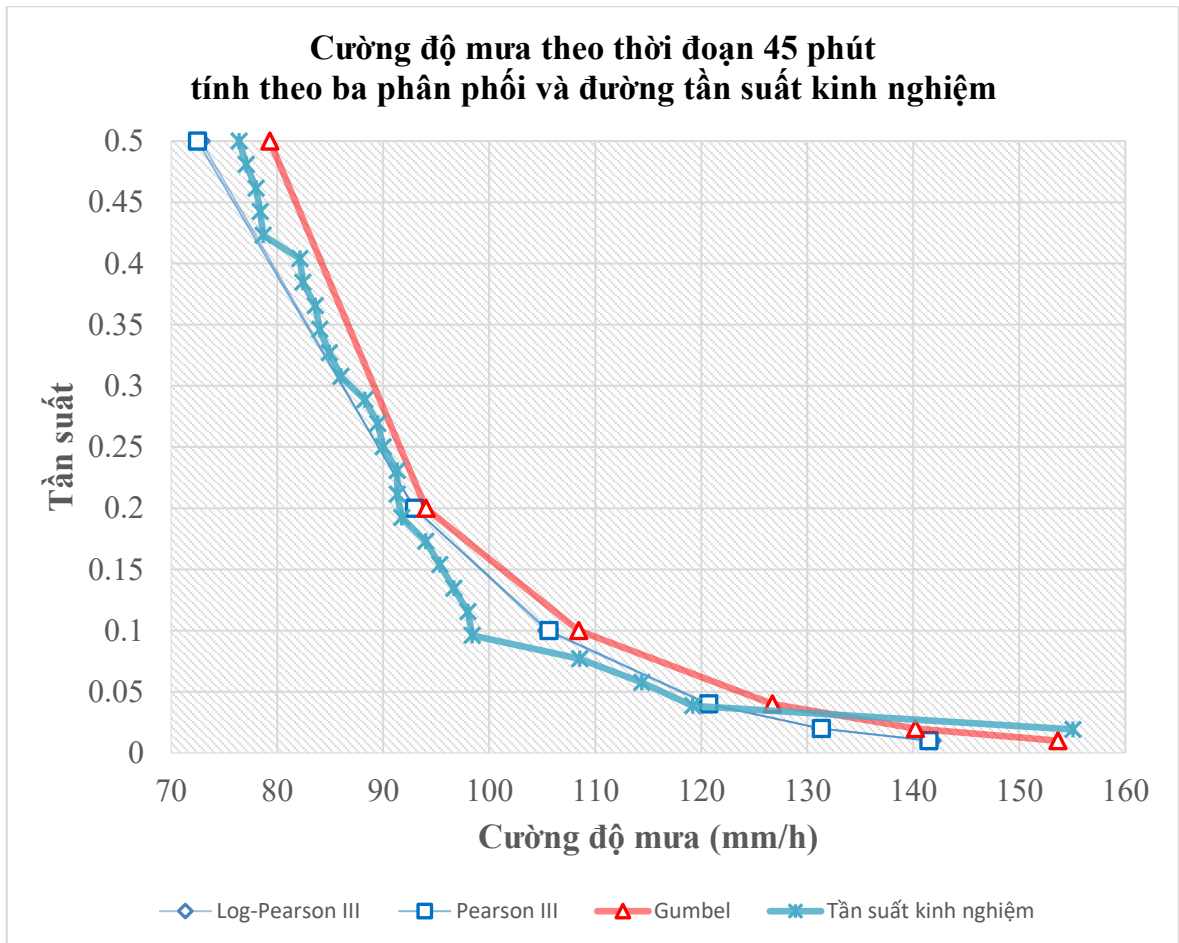
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Xác suất vượt quá	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	90.1	91.3	97.6
5	0.2	113.8	114.5	114.7
10	0.1	128.5	127.8	131.5
25	0.04	146.2	143.1	152.7
50	0.02	158.8	153.5	168.4
100	0.01	171.0	163.2	184.1
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		5.391	5.286	4.635



Hình 3.22. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 30 phút

Bảng 3.30. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 45 phút

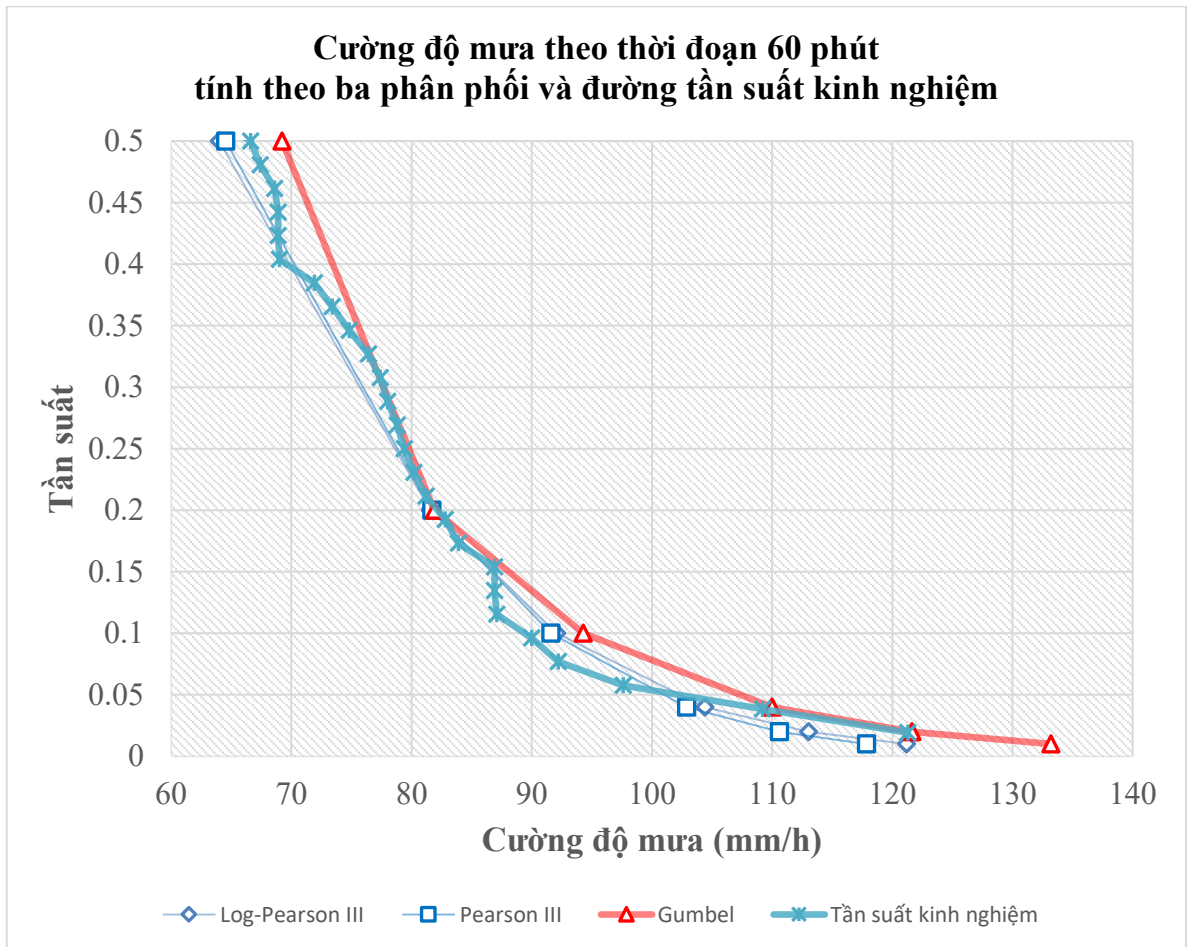
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	72.8	72.5	79.3
5	0.2	92.9	93.0	94.0
10	0.1	105.4	105.6	108.4
25	0.04	120.5	120.7	126.7
50	0.02	131.3	131.3	140.2
100	0.01	141.8	141.5	153.6
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		6.469	6.110	5.400



Hình 3.23. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 45 phút

Bảng 3.31. Cường độ mưa của trạm Hà Đông thời đoạn 60 phút

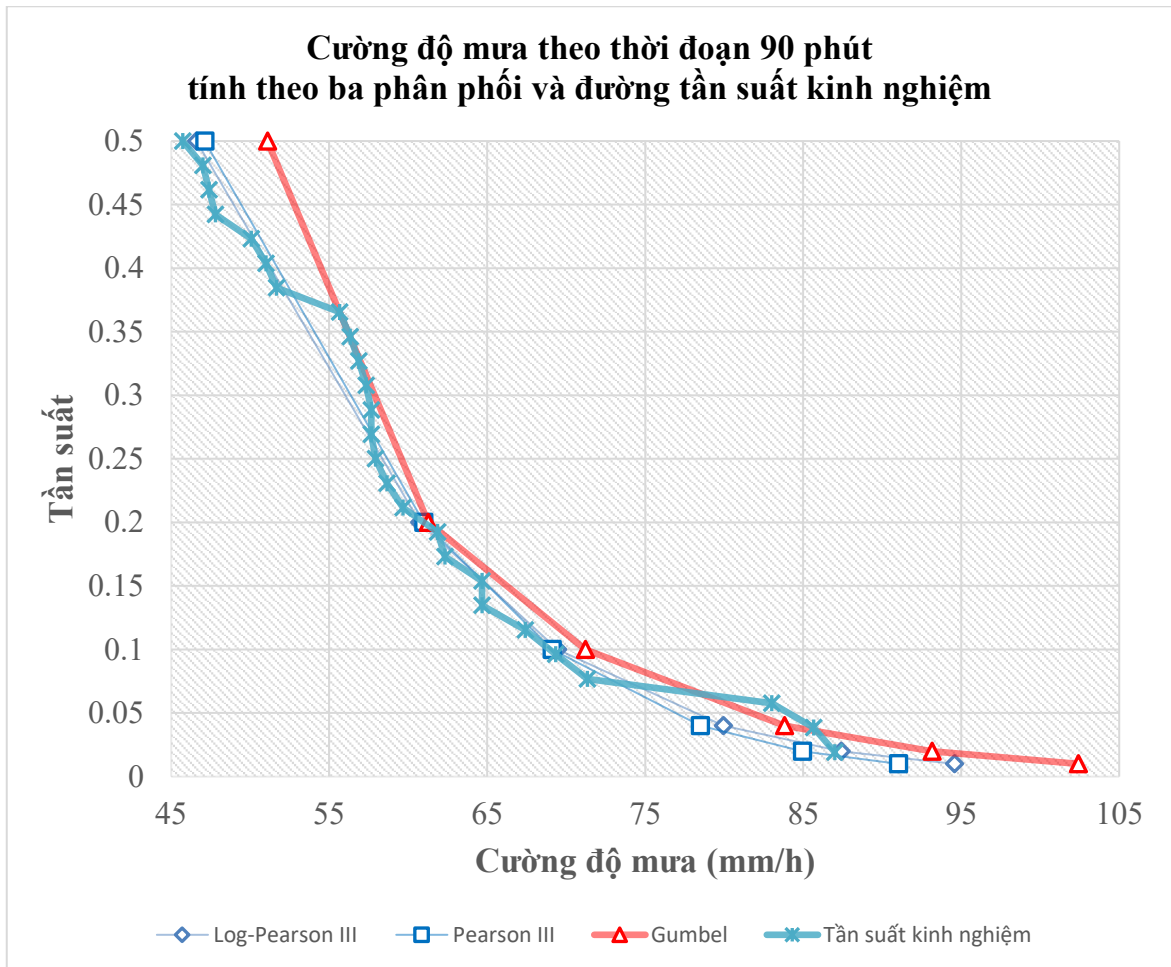
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	64.0	64.5	69.2
5	0.2	81.5	81.7	81.9
10	0.1	92.1	91.6	94.3
25	0.04	104.4	102.9	110.0
50	0.02	113.0	110.6	121.6
100	0.01	121.2	117.8	133.2
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		7.002	7.126	4.962



Hình 3.24. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 60 phút

Bảng 3.32. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 90 phút

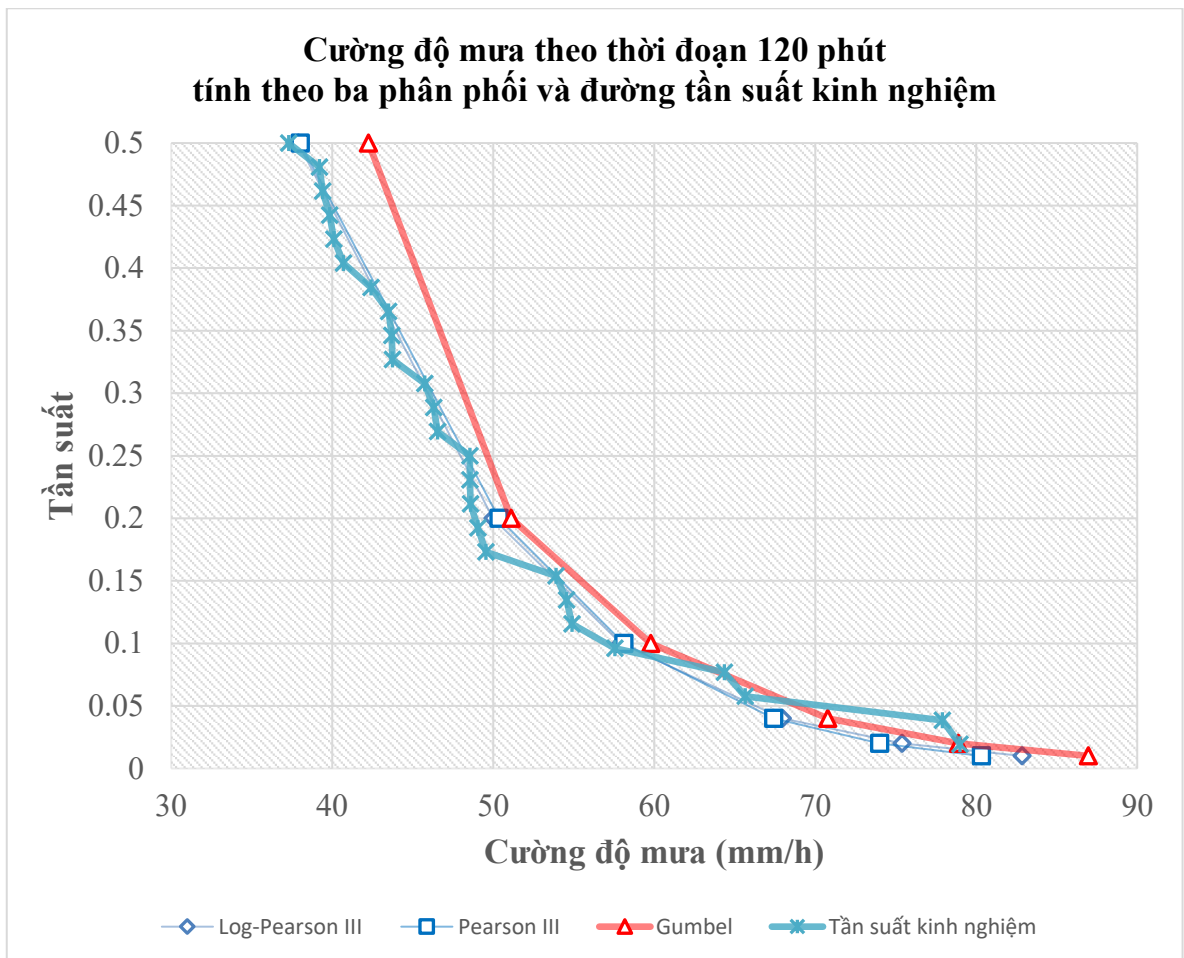
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	46.6	47.1	51.1
5	0.2	60.7	61.0	61.3
10	0.1	69.5	69.1	71.2
25	0.04	79.9	78.5	83.8
50	0.02	87.4	85.0	93.1
100	0.01	94.6	91.0	102.4
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		7.729	7.150	5.971



Hình 3.25. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 90 phút

Bảng 3.33. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 120 phút

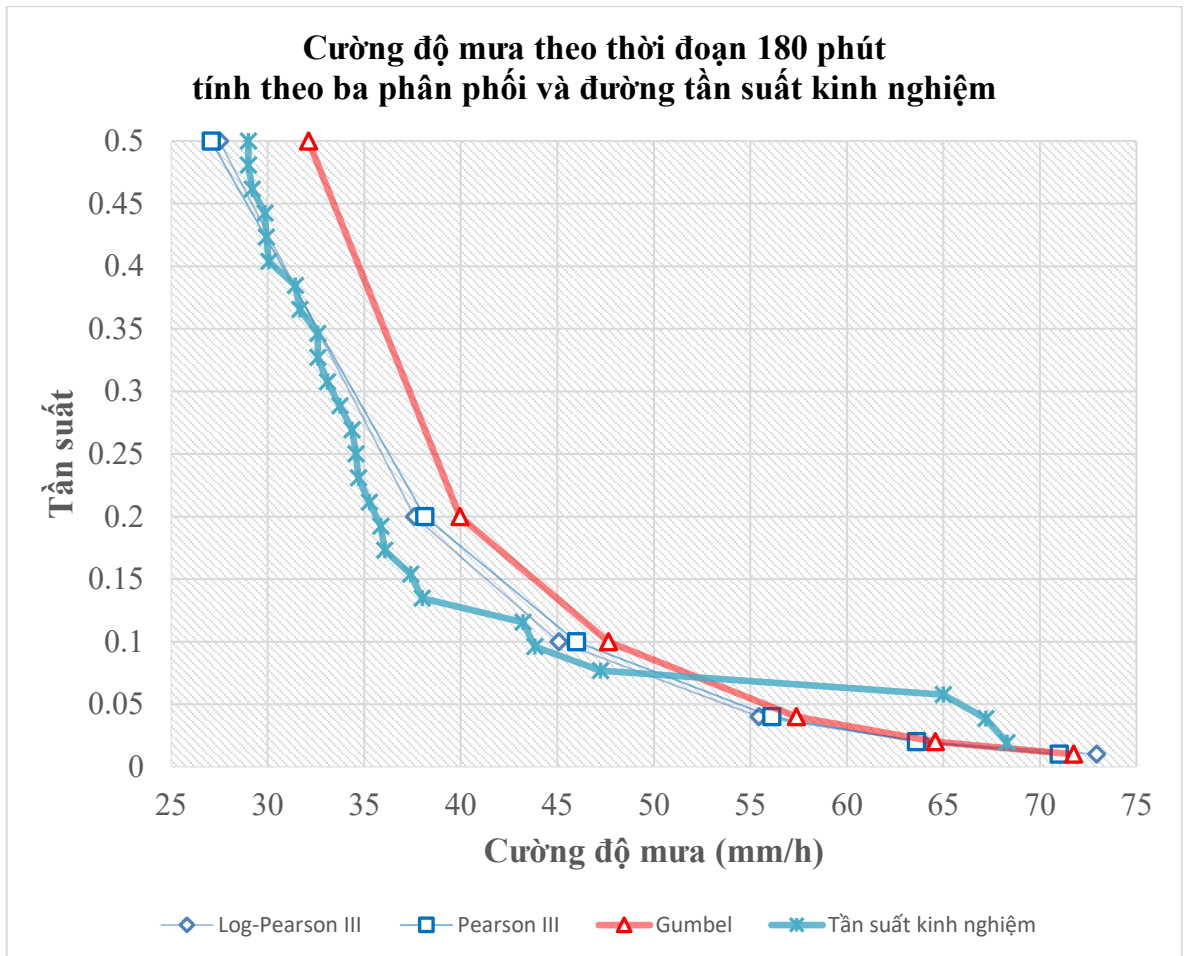
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	37.9	38.0	42.3
5	0.2	50.0	50.4	51.1
10	0.1	57.9	58.1	59.8
25	0.04	68.0	67.4	70.8
50	0.02	75.4	74.0	78.9
100	0.01	82.9	80.3	87.0
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		2.229	2.045	0.621



Hình 3.26. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 120 phút

Bảng 3.34. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 180 phút

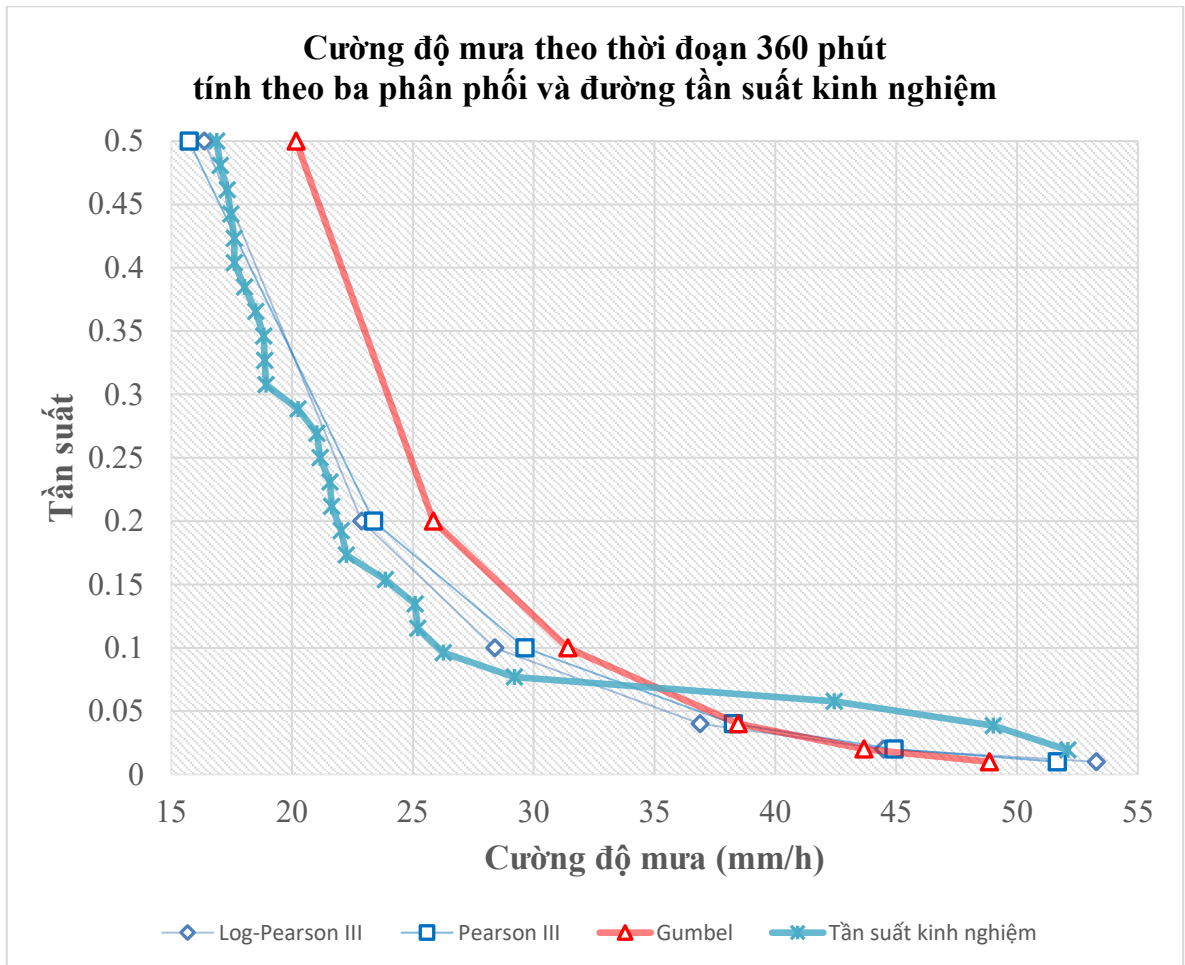
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	27.5	27.1	32.1
5	0.2	37.6	38.1	40.0
10	0.1	45.1	46.0	47.6
25	0.04	55.5	56.1	57.4
50	0.02	63.9	63.6	64.6
100	0.01	72.9	71.0	71.7
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		5.401	6.032	5.176



Hình 3.27. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 180 phút

Bảng 3.35. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 360 phút

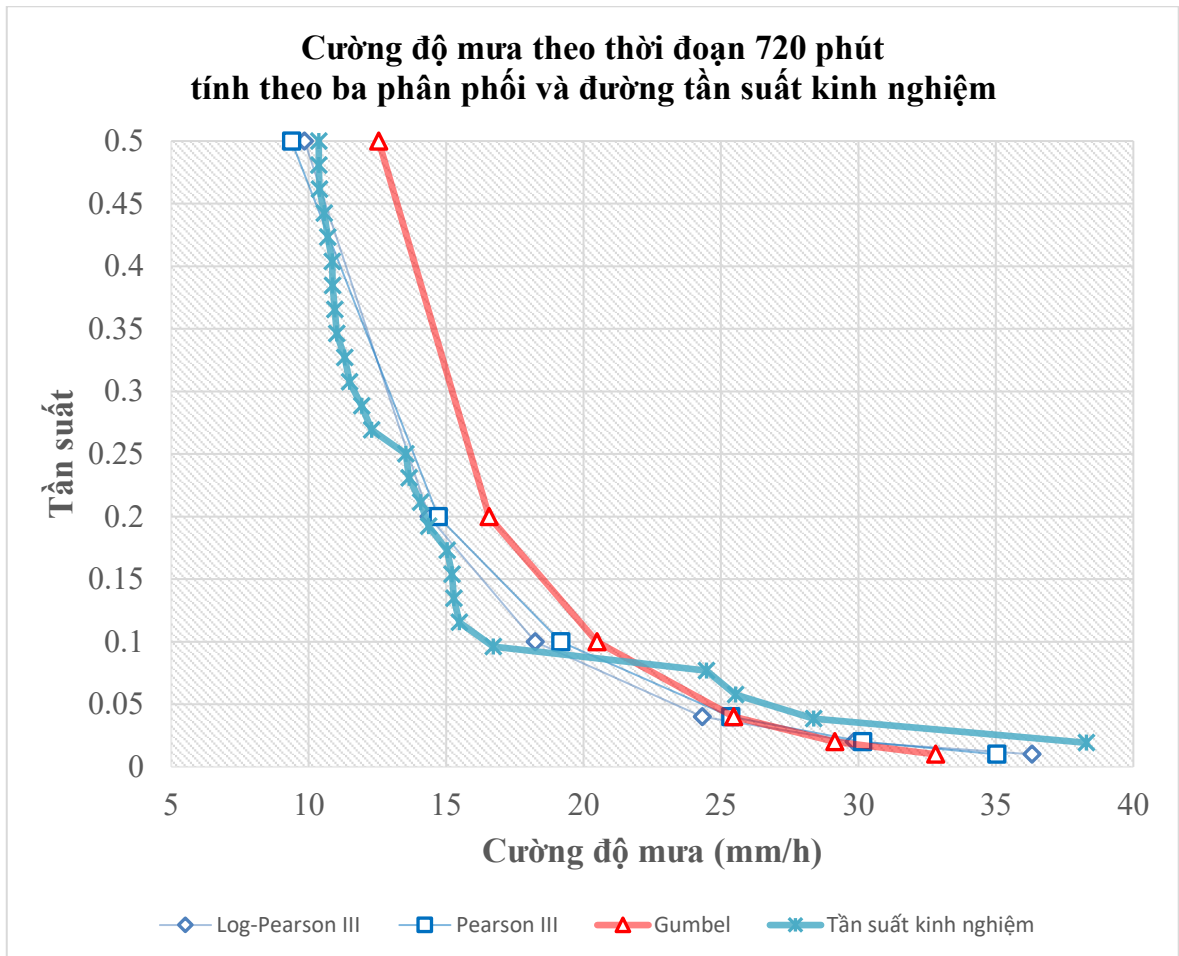
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	16.4	15.7	20.2
5	0.2	22.9	23.4	25.8
10	0.1	28.4	29.6	31.4
25	0.04	36.9	38.3	38.5
50	0.02	44.5	44.9	43.7
100	0.01	53.3	51.7	48.9
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		8.115	7.358	6.616



Hình 3.28. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 360 phút

Bảng 3.36. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 720 phút

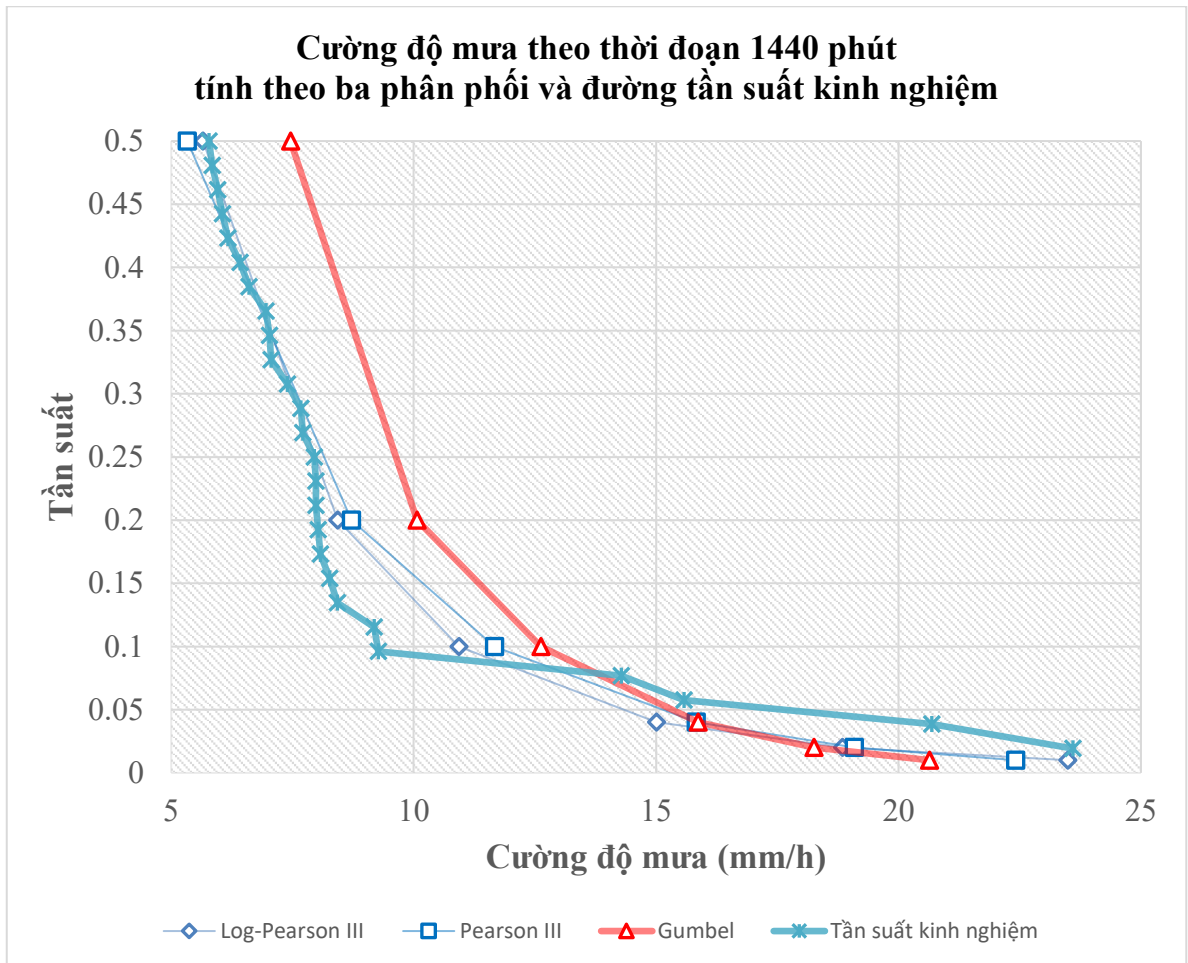
Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	9.9	9.4	12.5
5	0.2	14.4	14.7	16.6
10	0.1	18.2	19.2	20.5
25	0.04	24.3	25.4	25.5
50	0.02	29.8	30.2	29.1
100	0.01	36.3	35.0	32.8
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		6.953	5.833	4.807



Hình 3.29. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 720 phút

Bảng 3.37. Cường độ mưa của trạm Hà Đông theo thời đoạn 1440 phút

Chu kỳ lặp lặp (năm)	Tần suất	Cường độ mưa (mm/h)		
		Log-Pearson III	Pearson III	Gumbel
2	0.5	5.7	5.3	7.5
5	0.2	8.4	8.7	10.1
10	0.1	10.9	11.7	12.6
25	0.04	15.0	15.8	15.9
50	0.02	18.8	19.1	18.3
100	0.01	23.5	22.4	20.6
Giá trị của kiểm định bằng Chi-bình phương		8.245	7.072	4.665



Hình 3.30. So sánh cường độ mưa tại trạm Hà Đông ứng với thời đoạn 1440 phút

Qua các bảng trên có thể thấy rằng với tất cả các thời đoạn, giá trị kiểm định theo phân phối Gumbel là nhỏ nhất. Điều đó chứng tỏ phân phối Gumbel là phù hợp nhất trong ba phân phối khi xấp xỉ số liệu đo mưa.

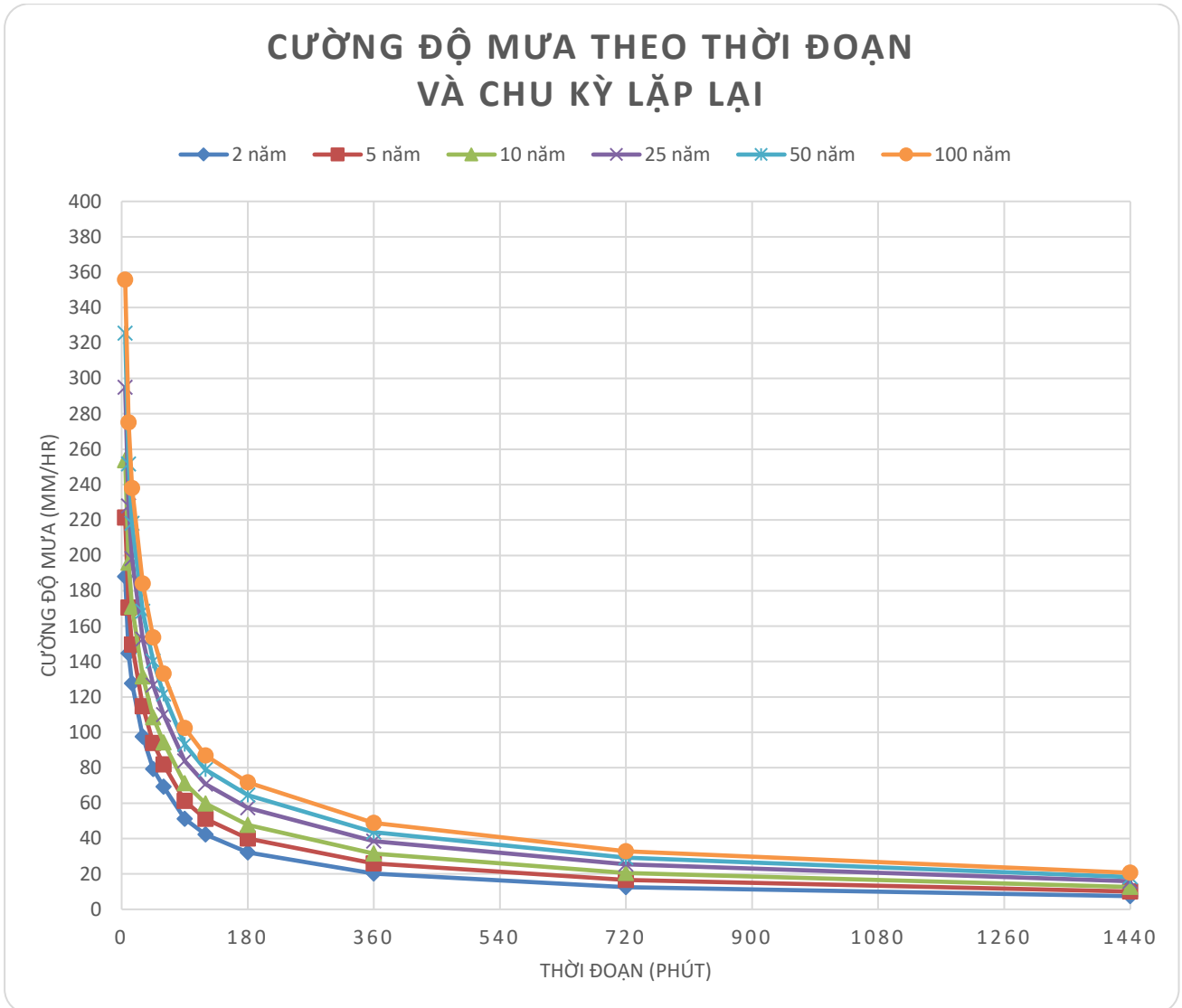
3.3.2. Xây dựng mối quan hệ IDF cho trạm Hà Đông

Từ các số liệu tính toán ở Tiểu mục 3.3.1, luận án thu được bảng số liệu cường độ mưa theo thời đoạn 5 phút, 10 phút, 15 phút, 30 phút, 45 phút, 60 phút, 90 phút, 120 phút, 180 phút, 360 phút, 720 phút, 1440 phút với thời gian lặp lại 2 năm, 5 năm, 10 năm theo phân phối Gumbel.

Bảng 3.38. Bảng IDF cho trạm Hà Đông

Thời đoạn/chu kỳ lặp	Cường độ mưa (mm/h) các thời đoạn ứng chu kỳ lặp lại					
	2 năm	5 năm	10 năm	25 năm	50 năm	100 năm
5	188	221.3	253.8	295	325.4	355.7
10	144.7	170.5	195.9	227.9	251.6	275.2
15	127.6	149.5	170.9	198.1	218.1	238.1
30	97.6	114.7	131.5	152.7	168.4	184.1
45	79.3	94	108.4	126.7	140.2	153.6
60	69.2	81.9	94.3	110	121.6	133.2
90	51.1	61.3	71.2	83.8	93.1	102.4
120	42.3	51.1	59.8	70.8	78.9	87
180	32.1	40	47.6	57.4	64.6	71.7
360	20.2	25.8	31.4	38.5	43.7	48.9
720	12.5	16.6	20.5	25.5	29.1	32.8
1440	7.5	10.1	12.6	15.9	18.3	20.6

Từ đó vẽ được đường cong quan hệ IDF cho số liệu đo mưa tại trạm Hà Đông như sau.



Hình 3.31. Đường IDF cho trạm Hà Đông

3.3.3. Xác định công thức cường độ mưa cho trạm Hà Đông

Với số liệu IDF của trạm Hà Đông, sử dụng phương pháp GRG Nonlinear, tác giả tính toán được công thức:

$$q = \frac{0.36 \times 2320 \times (1 + 0.655 \times \log P)}{(t_m + 9)^{0.633}}. \quad (3.22)$$

Với số liệu IDF đã có, có bảng so sánh công thức mới thu được và một số công thức khác.

Bảng 3.39. Bảng so sánh công thức luận án đề xuất với các công thức khác

Công thức	Biểu thức	Sai số quân phương	Hệ số tương quan
Mới được xây dựng trong luận án	$q = \frac{0.36 \times 2320 \times (1 + 0.655 \times \log P)}{(t_m + 9)^{0.633}}$	7.736	0.9985
TCVN 7957	$q = \frac{0.36 \times 5890 \times (1 + 0.65 \times \log P)}{(t_m + 20)^{0.84}}$	10.365	0.9959
Viện Khí tượng Thủy văn 2019	$q = \frac{0.36 \times 2511 \times (1 + 0.8938 \times \log P)}{(t_m + 14)^{0.7143}}$	10.200	0.9961

Như vậy, từ Bảng 3.39, có thể thấy rằng công thức mới được xây dựng trong luận án có sai số quân phương tốt hơn (tức là nhỏ hơn) những công thức đã có và có hệ số tương quan tốt hơn (tức là sát 1 hơn). Điều đó thể hiện rằng, công thức mới sát hơn với số liệu IDF so với các công thức hiện hành.

3.4. Kết quả nghiên cứu của luận án

Trong chương 3, luận án tiến hành xây dựng công thức cường độ mưa tính toán dựa trên quan hệ Cường độ - Thời đoạn – Tần suất mưa (IDF) cho khu vực thành phố Hà Nội nhằm phục vụ tính toán tiêu thoát nước mưa. Qua đó luận án đã đạt được một số kết quả đáng chú ý như sau: Thứ nhất, luận án tiến hành tính toán, phân tích và lựa chọn hàm phân phối xác suất lý thuyết phù hợp với chuỗi số liệu mưa đã được lựa chọn và tiến xử lý phục vụ việc xây dựng đường cong quan hệ IDF. Dựa trên chuỗi số liệu lượng mưa thời đoạn ngắn thu thập tại hai trạm Láng và Hà Đông với chuỗi số liệu đủ dài từ năm 1961 đến 2023, giá trị tần suất kinh nghiệm và đường tần suất kinh nghiệm được tính toán và xây dựng áp dụng công thức vông số của Weibull và

Kritsky- Menken. Sau đó ba hàm phân phối xác suất gồm Pearson III, Log-Pearson III, Gumbel lần lượt được áp dụng và so sánh đánh giá sử dụng chỉ tiêu kiểm định thống kê Chi-bình phương χ^2 . Kết quả cho thấy các giá trị của kiểm định theo các phân phối Gumbel, Pearson III, Log-Pearson III lần lượt là 2.435, 5.111, và 4.306 đều nhỏ hơn giá trị tới hạn là 7.815. Trong đó hàm phân bố xác suất Gumbel cho giá trị kiểm định là nhỏ nhất, điều này cho thấy phân phối này là phù hợp nhất, phản ánh gần chính xác nhất quy luật biến đổi của các chuỗi số liệu quan trắc mưa thời đoạn ngắn tại hai trạm khí tượng Láng và Hà Đông.

Thứ hai, trên cơ sở lựa chọn được hàm phân phối xác suất lý thuyết phù hợp, luận án đã tiến hành xây dựng đường cong quan hệ IDF cho hai trạm khí tượng nêu trên sử dụng số liệu lượng mưa theo thời đoạn 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 720 và 1440 phút. Kết quả xác định được cường độ mưa theo đơn vị mm/h tương ứng với các thời đoạn nêu trên và các thời kỳ lặp lại khác nhau như 2, 5, 10, 25, 50 và 100 năm. Cuối cùng, dựa trên số liệu tính toán từ đường cong quan hệ IDF, công thức mưa dạng tổng quát và áp dụng phương pháp bình phương tối thiểu (sử dụng phương pháp giảm gradient tổng quát phi tuyến tính dùng để tối ưu hoá một hàm trơn phi tuyến) thì công thức cường độ mưa tính toán mới cho hai trạm Láng và Hà Đông được xây dựng, công thức như dưới đây:

$$q_{\text{Láng}} = \frac{0.36 \times 2003 \times (1 + 0.598 \times \log P)}{(t_m + 5)^{0.602}}$$

$$q_{\text{Hà Đông}} = \frac{0.36 \times 2320 \times (1 + 0.655 \times \log P)}{(t_m + 9)^{0.633}}$$

Cuối cùng, các công thức cường độ mưa mới được xây dựng trong luận án được so sánh đánh giá với các công thức khác như công thức trong TCVN 7957 và công thức đề xuất của Viện Khí tượng Thủy văn năm 2019 sử dụng sai số quân phương và hệ số tương quan. Kết quả đánh giá cho thấy công thức luận án đề xuất có sai số quan phương nhỏ nhất và hệ số tương quan là cao nhất so với hai công thức còn lại, nghĩa là công thức luận án có sự phù hợp nhất định với số liệu từ đường cong quan hệ IDF.

CHƯƠNG 4: ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CÔNG THỨC LUẬN ÁN

Mục tiêu của chương này là nhằm đánh giá khả năng ứng dụng công thức tính toán cường độ mưa đề xuất trong luận án vào bài toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước thực tế cho lưu vực đô thị. Để đánh giá khả năng ứng dụng công thức đề xuất, luận án tiến hành so sánh kết quả tính toán thu được từ công thức luận án với các phương pháp tính toán khác nhau nhưng cùng áp dụng cho cùng một khu vực nghiên cứu thử nghiệm. Qua phân tích lựa chọn các phương pháp thường hay sử dụng trong tính toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước đô thị ở Việt Nam và thế giới, hai phương pháp được lựa chọn để so sánh gồm phương pháp mô hình toán và phương pháp tính toán theo TCVN 7957. Nội dung chi tiết của chương này được trình bày như sau.

4.1. Tổng quan phương pháp mô hình toán và khu vực nghiên cứu thử nghiệm

4.1.1. Tổng quan phương pháp mô hình toán

Mô hình toán hay còn gọi là mô hình số nói chung là sự mô phỏng lại hay nói một cách đơn giản là sự tính toán lại các quá trình và các hiện tượng xảy ra trong tự nhiên bằng các biểu thức, phương trình toán học, logic và giải các các biểu thức, phương trình toán học đó trên máy vi tính. Mô hình toán có khả năng mô phỏng và tính toán các quá trình và hiện tượng từ quy mô nhỏ như cấp khu vực đến các quy mô lớn hơn như quốc gia hay toàn cầu [26]. Mô hình toán có nhiều ưu điểm hơn các mô hình vật lý (mô hình trong phòng thí nghiệm) bởi tính chính xác trong tính toán, chi phí rẻ, khả năng linh động và đa năng cao trong việc nghiên cứu, xây dựng các phương án hay kịch bản xảy ra. Trong mỗi lĩnh vực khác nhau thì phương pháp mô hình toán sẽ được gọi tên và phân loại khác nhau tùy vào mục đích sử dụng, loại số liệu đầu vào, cấu tạo mô hình... Trong khoảng hai thập kỷ gần đây, mô hình toán thủy văn đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong quy hoạch, thiết kế và khai thác hiệu quả tài nguyên nước ở Việt Nam và thế giới do những tiến bộ về khoa học kỹ thuật, cụ thể là sự ra đời của các máy vi tính có tốc độ cao.

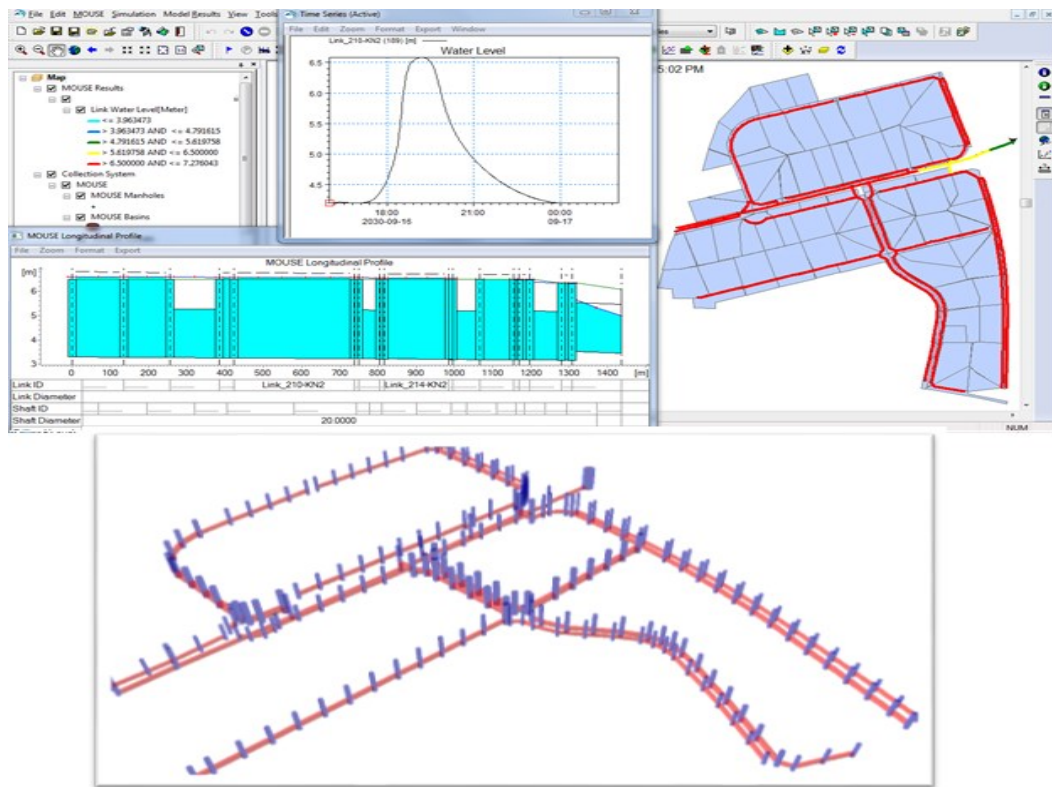
Trong nội dung này của luận án sẽ chỉ đề cập đến các mô hình toán thủy văn do có sử dụng một trong các mô hình này vào đánh giá khả năng ứng dụng kết quả của luận án vào giải quyết bài toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước đô thị trong thực tiễn. Như đã đề cập, các mô hình toán thủy văn thường được phân loại thành 3 nhóm chính gồm mô hình ngẫu nhiên, mô hình tất định và mô hình kết hợp ngẫu nhiên và tất định. Mô hình tất định dùng để biểu thị mối quan hệ giữa các đại lượng đầu vào và đại lượng đầu ra theo cách lý giải nguyên nhân kết quả, tức là có giá trị đầu vào sẽ tính toán ra được kết quả đầu ra, đầu vào và đầu ra là hai đại lượng khác nhau, ví dụ như mưa sinh ra dòng chảy [26]. Mỗi đại lượng này đều được xác định trong một tọa độ không gian và thời gian xác định. Trong đó các mô hình toán thường sử dụng trong lĩnh vực tiêu thoát nước mưa, nước thải và cấp nước đô thị thuộc nhóm mô hình tất định. Trong đó, các mô hình toán tiêu thoát nước mưa cho phép tái tạo và mô phỏng được những quá trình mưa ứng trên lưu vực, đánh giá được mức độ ảnh hưởng khác nhau của các công trình đối với quá trình tiêu ứng trên lưu vực giúp ta lựa chọn được những phương án quy hoạch, thiết kế quản lý tối ưu.

Để ứng dụng một mô hình toán thông thường người ta hay thực hiện các bước như sau: (1) Lựa chọn mô hình; (2) Thiết lập mô hình; (3) Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình và (4) mô phỏng phương án hay kịch bản. Hiện nay trên thế giới và ở Việt Nam đã có nhiều mô hình tiêu thoát nước đô thị được áp dụng và chứng minh hiệu quả trong tính toán và thiết kế hệ thống tiêu nước đô thị, có thể kể đến một số các mô hình như: Mô hình Hydrodynamics là một mô hình thành phần thuộc bộ phần mềm Autodesk Storm & Sanitary Analysis của hãng Autodesk, Hoa Kỳ; Mô hình SWMM – Storm Water Management Model của trường đại học Florida và tổ chức bảo vệ môi trường Hoa Kỳ; Mô hình Innovyze cung cấp các giải pháp liên quan đến nghiên cứu và quy hoạch đô thị cũng do hãng Autodesk quản lý và phát triển; Mô hình MIKE URBAN do công ty DHI, một đơn vị thuộc Viện nghiên cứu cứu thủy lực Đan Mạch nghiên cứu và phát triển...

Hai mô hình SWMM và MIKE URBAN đang được sử dụng khá rộng rãi ở nước ta trong tính toán tiêu thoát nước mưa đô thị. Trong đó mô hình MIKE URBAN đã và đang thể hiện nhiều ưu điểm vượt trội về giao diện sử dụng, khả năng tính toán bao gồm tốc độ tính toán, mô phỏng linh hoạt dòng chảy một chiều trong cống kênh và hai chiều chảy tràn bề mặt, ngập lụt... Mô hình này cũng đã chứng minh được khả năng áp dụng cao do được sử dụng nhiều trong các đề tài và dự án lớn như: Dự án “Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập thành phố Hà Nội có xét đến ảnh hưởng của biến đổi khí hậu” do Sở Tài nguyên và Môi trường Hà Nội chủ trì và dự án “Xây dựng hệ thống cảnh báo úng ngập thời gian thực cho nội thành Hà Nội” do Bộ Tài nguyên và Môi trường chủ trì, Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia (NHMS) và Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) là các đơn vị đồng thực hiện dự án này. Trong nội dung của luận án này có sử dụng mô hình MIKE URBAN, vì vậy tổng quan về mô hình này sẽ được giới thiệu ở mục dưới đây.

4.1.2. Giới thiệu mô hình MIKE URBAN

Mô hình MIKE URBAN là một gói phần mềm mô phỏng cấp nước, tiêu thoát nước và ngập lụt đô thị do công ty DHI thuộc Viện nghiên cứu thủy lực Đan Mạch phát triển. Mô hình này phát triển dựa trên sự kết hợp các mô đun thủy văn (mô tả quá trình mưa – dòng chảy trên lưu vực) và mô đun thủy lực (mô tả quá trình dòng chảy trong cống, kênh và chảy tràn trên bề mặt). Mô hình có thể tính toán và mô phỏng toàn bộ mạng lưới thoát nước thành phố bao gồm cả hệ thống cấp nước và hệ thống tiêu nước mưa và nước thải riêng biệt hoặc chung [52]. Số liệu đầu vào của mô hình bao gồm mưa, hệ thống thoát nước đô thị và địa hình chi tiết khu vực tính toán. MIKE URBAN cũng được tích hợp trên nền tảng hệ thống thông tin địa lý ArcGIS cho phép sử dụng các tính năng ưu việt của hệ thống này trong việc xây dựng cơ sở dữ liệu gồm cả quá trình nhập liệu, hiện thị dữ liệu và quản lý dữ liệu (Hình 4.1). Việc tích hợp trên nền tảng ArcGIS cũng cho phép xây dựng các bản đồ ngập lụt độ phân giải cao từ các kết quả của mô hình MIKE URBAN.

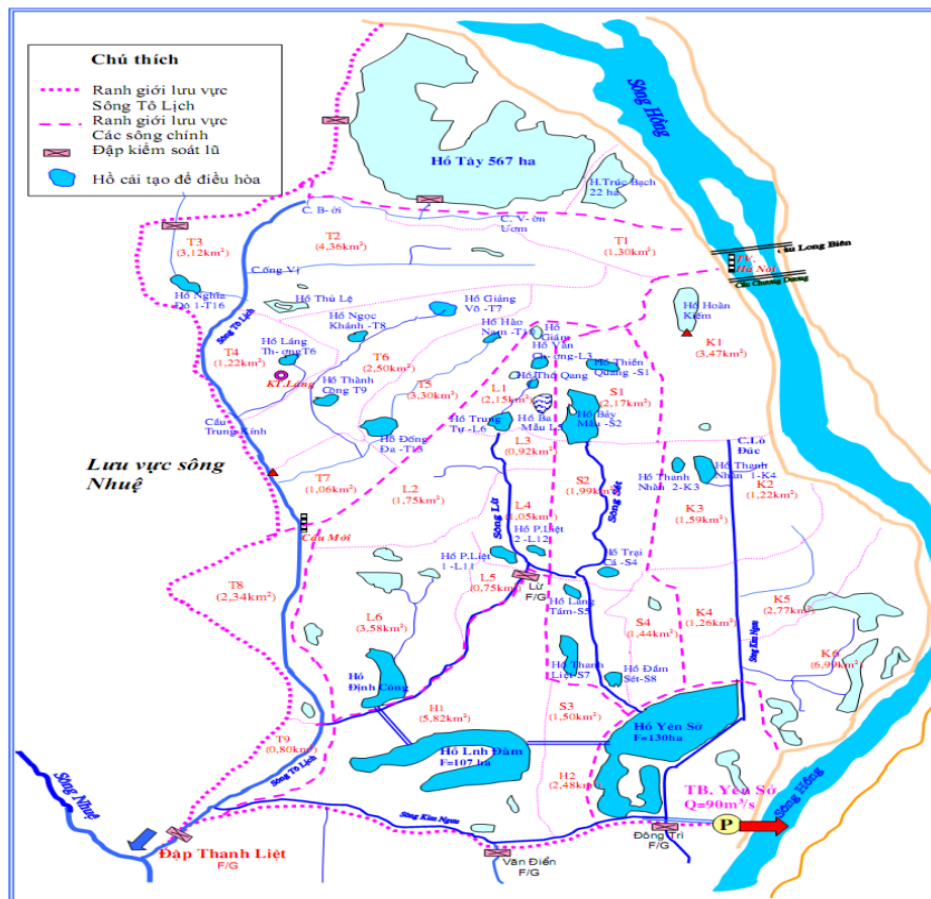


Hình 4.1. Minh họa hệ thống tiêu nước thiết lập trong mô hình MIKE URBAN [52]

Hệ thống thoát nước (collection system) trong mô hình MIKE URBAN được phát triển dựa trên hai lõi tính toán chính là MOUSE-HD và SWMM5 gồm các mô đun con khác nhau như: CS – PipeFlow cho phép mô phỏng dòng chảy không ổn định trong ống và kênh dẫn; CS-Control cho phép vận hành giám sát theo thời gian thực các công trình như đập tràn, cửa xả, trạm bơm... Mô đun này cho phép mô tả hoạt động của các thiết bị điều khiển và đưa ra logic rõ ràng về cách thức vận hành của thiết bị điều khiển; CS- Rainfall-Runoff đây là mô đun mô phỏng quá trình mưa – dòng chảy trên lưu vực đô thị, trong mô đun có nhiều phương pháp tính toán khác nhau, mỗi phương pháp có những thông số khác nhau để tính toán lượng tổn thất; CS-Pollution Transport mô phỏng sự lan truyền và khuếch tán các chất ô nhiễm trong đó có cả bùn cát và cuối cùng là mô đun Cs-Biological Processes mô phỏng quá trình sinh hóa xảy ra trong hệ thống bị ô nhiễm.

4.1.3. Giới thiệu chung về khu vực tính toán

Hệ thống thoát nước chung của Hà Nội được xây dựng từ trước năm 1954. Hệ thống thoát nước bao gồm các tuyến cống, sông mương thoát nước và các hồ ao điều hoà. Theo thiết kế ban đầu, hệ thống này chủ yếu phục vụ cho nội thành cũ với diện tích là 1000 ha. Từ năm 1954 đến 1984 diện tích tăng lên 5900 ha và tính đến năm 1992 đã phát triển đến 6800 ha. Dòng nước thoát của thành phố được thoát ra 04 con sông theo thứ tự từ Tây sang Đông là Tô Lịch, Lừ, Sét và Kim Ngưu (Hình 4.2). Hiện nay hướng thoát nước chính của lưu vực sông Tô Lịch vẫn thoát tự chảy vào sông Nhuệ thông qua đập Thanh Liệt với lưu lượng $80 \text{ m}^3/\text{s}$ và khi mực nước sông Nhuệ thấp dưới mức $+3,5 \text{ m}$. Khi mực nước sông Nhuệ cao hơn $3,5 \text{ m}$ thì dòng chảy của lưu vực phải thoát ra sông Hồng nhờ cụm công trình tiêu và trạm bơm Yên Sở (công suất $90 \text{ m}^3/\text{s}$) [31].



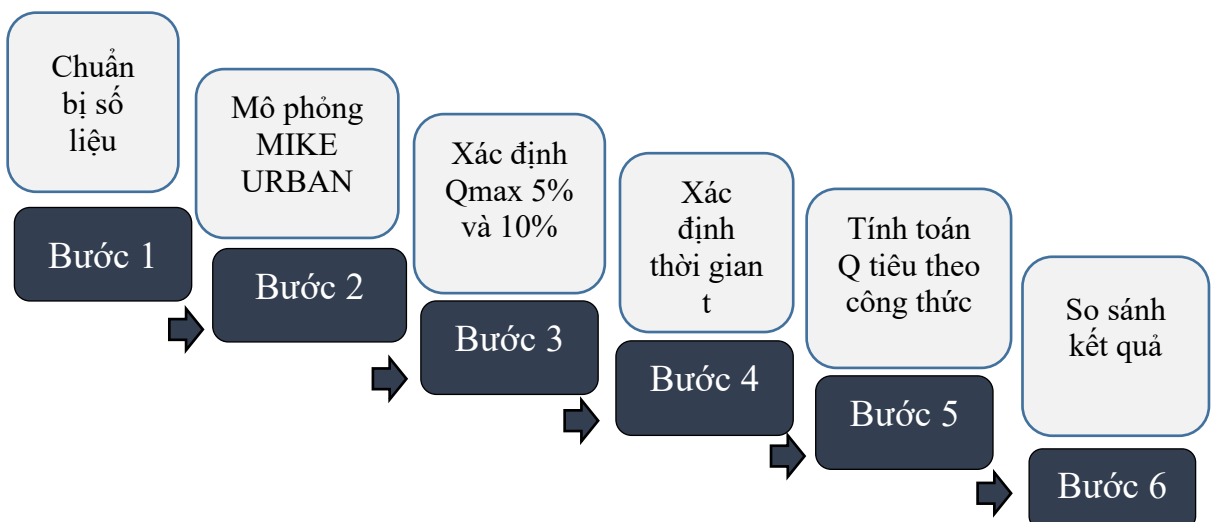
Hình 4.2. Sơ đồ các tiểu lưu vực thuộc lưu vực sông Tô Lịch [6]

Lưu vực sông Tô Lịch diện tích khoảng 7.759 ha được chia thành 7 tiểu lưu vực nhỏ là Tô Lịch (2000 ha), Lừ (1020 ha), Sét (710 ha), Kim Ngưu (1.730 ha), Hoàng Liệt (810 ha), Yên Sở (550 ha) và hồ Tây (930 ha) gồm toàn bộ các quận Hoàn Kiếm, Ba Đình, Hai Bà Trưng, Đống Đa, một phần các quận Thanh Xuân, Hoàng Mai, Cầu Giấy. Các tiểu lưu vực thoát nước trong lưu vực sông Tô Lịch được hình thành theo điều kiện tự nhiên và theo các trục sông nhỏ trong nội thành, đó là các sông Tô Lịch, Lừ, Sét và Kim Ngưu. Sơ đồ các tiểu lưu vực thuộc lưu vực sông Tô Lịch được thể hiện trong Hình 4.2. Trong đó, sông Kim Ngưu có tổng chiều dài vào khoảng 4.640 m, diện tích lưu vực là 1.730 ha. Hệ thống tiêu bao gồm các kênh Thanh Nhàn, Hoàng Mai, Mai Động, Kim Ngưu, Lĩnh Nam. Sông Kim Ngưu có hướng thoát nước đổ về ngã ba Dải Đò, sau đó vào sông Tô Lịch, cao độ mực nước phụ thuộc vào cao độ mực nước sông Tô Lịch tại điểm nhập vào của sông Kim Ngưu.

4.2. Các bước thực hiện và chỉ tiêu đánh giá mô hình

4.2.1. Các bước thực hiện

Để thực hiện việc so sánh kết quả tính toán tiêu thoát nước mưa cho một khu vực nghiên cứu sử dụng công thức đề xuất trong luận án, mô hình toán MIKE URBAN và công thức trong TCVN 7957, luận án sử dụng sơ đồ khối như trong Hình 4.3 dưới đây nhằm mô tả một cách trực quan và chi tiết nhất trình tự các bước thực hiện.



Hình 4.3. Sơ đồ khối mô tả các bước thực hiện đánh giá hiệu quả ứng dụng công thức luận án

Theo đó, có sáu bước thực hiện chính để đánh giá khả năng ứng dụng của công thức luận án vào bài toán thiết kế hệ thống tiêu nước mưa bao gồm, chi tiết các bước như sau: Bước 1: Từ số liệu quan trắc tại trạm Láng từ năm 1990-2023 (34 năm), mỗi năm xác định 1 trận mưa có tổng lượng mưa trong 180 phút lớn nhất, số liệu mưa theo bước thời gian 10 phút (xem Phụ lục 2); Bước 2: Mô phỏng toàn bộ các trận mưa bằng mô hình MIKE URBAN, xác định được lưu lượng cực đại Q_{max} tại cửa ra của lưu vực tính toán đối với từng trận mưa (xem Phụ lục 3); Bước 3: Thống kê các giá trị lưu lượng cực đại Q_{max} (34 giá trị), vẽ đường tần suất lý luận lưu lượng cực đại, xác định được giá trị Q_{max} tra trên đường tần suất ứng với các tần suất yêu cầu là 5%, 10% (xem Bảng 4.2); Bước 4: Xác định thời gian tập trung nước của lưu vực đến cửa ra ứng với lưu lượng theo tần suất 5%, 10% dựa vào các năm điển hình có giá trị lưu lượng dòng chảy xấp xỉ lưu lượng theo các tần suất yêu cầu; Bước 5: Xác định lưu lượng tiêu của hệ thống theo công thức cường độ giới hạn trong TCVN 7957 và công thức được thiết lập trong luận án; Bước 6: So sánh và đánh giá kết quả.

4.2.2. Chỉ tiêu đánh giá mô hình

Để đánh giá hiệu quả hay độ chính xác của mô hình người ta thường dùng các chỉ tiêu đánh giá gồm chỉ số NASH, sai số tuyệt đối và sai số về thời gian. Công thức mô tả các chỉ tiêu đánh giá này như sau:

+ Chỉ tiêu Nash-Sutcliffe (NASH) thường được dùng để đánh giá khả năng mô phỏng lại quá trình thực đo nói chung, công thức như sau:

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [H_{obs,i} - H_{sim,i}]^2}{\sum_{i=1}^n [H_{obs,i} - \bar{H}_{obs}]^2} \quad (4.1)$$

Trong đó: $H_{obs,i}$ là mực nước thực đo đặc trưng của chuỗi hiệu chỉnh hoặc kiểm định tại thời điểm i , $H_{sim,i}$ là mực nước mô phỏng đặc trưng của chuỗi hiệu chỉnh hoặc kiểm định tại thời điểm i , \bar{H}_{obs} là giá trị mực nước thực đo trung bình toàn chuỗi.

Hệ số Nash-Sutcliffe có thể nhỏ hơn hoặc bằng 1. Giá trị gần bằng 1 là tốt nhất. Giá trị có thể chấp nhận được có thể đạt $\geq 0,75$.

+ Sai số tuyệt đối mực nước cao nhất:

$$\Delta H = H_{\text{simmax}} - H_{\text{obsmax}} \quad (4.2)$$

Trong đó: H_{obsmax} là mực nước thực đo lớn nhất, H_{simmax} là mực nước mô phỏng lớn nhất.

+ Sai số tuyệt đối thời gian lớn nhất: Đánh giá khả năng mô phỏng tuyệt đối về thời gian xuất hiện đỉnh mực nước, công thức như sau:

$$\Delta t = T_{\text{simmax}} - T_{\text{obsmax}} \quad (4.3)$$

Trong đó: T_{obsmax} là thời gian xuất hiện đỉnh mực nước thực đo đặc trưng của chuỗi hiệu chỉnh hoặc kiểm định (giờ, phút), T_{simmax} là thời gian xuất hiện đỉnh mực nước tính toán đặc trưng của chuỗi hiệu chỉnh hoặc kiểm định (giờ, phút).

4.3. Thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE URBAN

4.3.1. Lựa chọn khu vực thử nghiệm

Luận án xây dựng công thức tính toán dòng chảy từ đường cong quan hệ cường độ mưa-tần suất (IDF), thử nghiệm với số liệu mưa của khu vực Hà Nội. Theo đánh giá, hiện nay ở các khu vực đô thị có mạng lưới tiêu thoát nước mưa, có rất ít khu vực có trạm quan trắc mực nước, hoặc lưu lượng theo thời gian liên tục dưới dạng đường quá trình ($H \sim t$, hoặc $Q \sim t$) mà chỉ điều tra cao độ mực nước cao nhất tại một thời điểm ở các khu vực bị ngập úng, vì vậy sẽ không đủ dữ liệu để xác định được thời gian tập trung nước từ mưa trên bề mặt đến cửa ra của tuyến cống, kênh.

Tại Hà Nội, dự án “*Xây dựng hệ thống cảnh báo úng ngập thời gian thực cho nội thành Hà Nội*” của Bộ Tài nguyên và Môi trường do Quỹ phát triển Bắc Âu tài trợ đã được thực hiện từ năm 2016, trong đó đã lắp đặt các trạm quan trắc mực nước tự động trên sông Kim Ngưu và một số kênh nhánh, đã quan trắc được quá trình mực nước thời đoạn ngắn và liên tục của các trận mưa lớn ngày 25/5/2016 và ngày 28/8/2016. Do đó, để tận dụng các dữ liệu mưa đã được thu thập của Hà Nội và đảm bảo nguồn số liệu cho Luận án sử dụng, tác giả lựa chọn lưu vực sông Kim Ngưu để

nghiên cứu, trên cơ sở kế thừa và chỉnh lý lại mô hình của dự án nêu trên với các trận mưa ngày 25/5/2016 và ngày 28/8/2016 và lựa chọn 1 lưu vực đoạn kênh, cống đại diện thuộc lưu vực sông Kim Ngưu để xác định lưu lượng cực đại và thời gian tập trung nước.

Qua phân tích lưu vực tính toán như đã giới thiệu ở mục trên, luận án lựa chọn kênh tiêu số 300 là nhánh của kênh tiêu Trần Phú nằm ở bờ tả sông Kim Ngưu, thuộc địa phận quận Hoàng Mai, thành phố Hà Nội. Lưu vực kênh tiêu này (tạm gọi lưu vực 300) có diện tích 106 ha là tuyến kênh tiêu nước cho khu đô thị Gamuda Gardens. Phân tích vị trí khu vực nghiên cứu và hệ thống cống tiêu thoát nhận thấy lưu vực 300 có diện tích không quá lớn, cùng với hệ thống cống và kênh tiêu không quá phức tạp, không chịu ảnh hưởng nhiều bởi các hệ thống tiêu thoát nước mưa khác trong khu vực nội đô thành phố Hà Nội và nằm không quá xa các trạm quan trắc khí tượng trên địa bàn thành phố. Ngoài ra, trong khu vực này hiện nay có một số vị trí quan trắc mực nước, đây là nguồn thông tin quan trọng hỗ trợ cho việc đánh giá chất lượng mô hình thiết lập sẽ trình bày ở phần bên dưới, chính vì lý do đó lưu vực 300 được lựa chọn làm khu vực thử nghiệm trong luận án.

4.3.2. Tài liệu và số liệu sử dụng

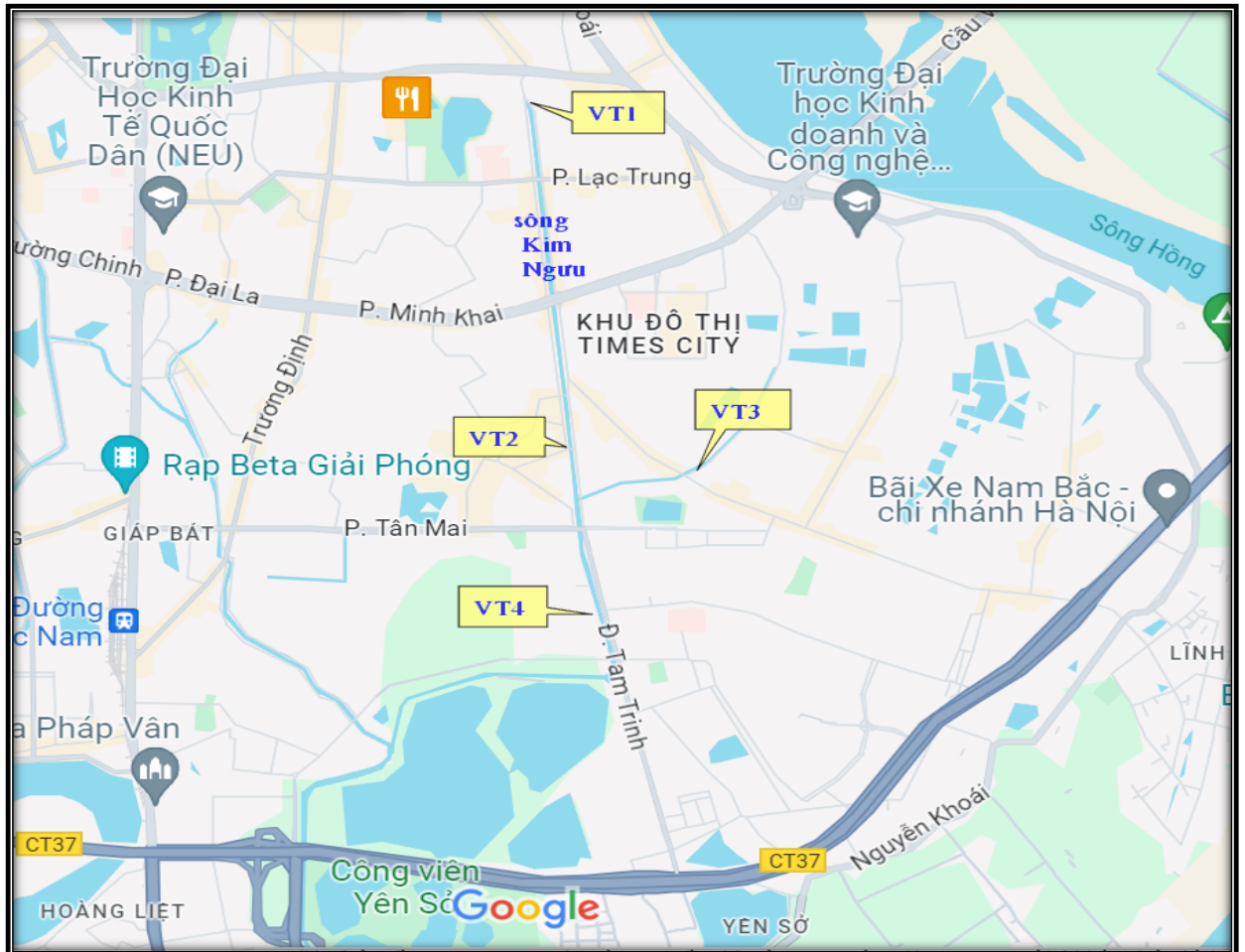
Để phục vụ việc tính toán tiêu thoát nước mưa sử dụng mô hình MIKE URBAN cho khu vực thử nghiệm, các loại số liệu sẽ được thu thập và sử dụng bao gồm:

+ Tài liệu về hệ thống thoát nước mặt bao gồm phân chia các lưu vực tiêu nước, tuyến và kích thước của các hệ thống kênh, cống, vị trí kích thước các hố ga tiêu nước của lưu vực sông Kim Ngưu.

+ Số liệu mưa 10 phút của các trận mưa ngày 25/5/2016 và ngày 28/8/2016 phục vụ làm đầu vào để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE URBAN. Số liệu này được thu thập từ Tổng cục Khí tượng thủy văn lấy trên giản đồ mưa theo thời đoạn 10 phút.

+ Số liệu mực nước thời đoạn phút của 4 trạm quan trắc tự động kế thừa trong dự án “Xây dựng hệ thống cảnh báo úng ngập thời gian thực cho nội thành Hà Nội” trong thời gian ngày 25/5/2016 và ngày 28/8/2016 phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE URBAN.

Bảng 4.1 và Hình 4.4 mô tả chi tiết vị trí các trạm quan trắc mực nước sử dụng trong mô hình. Số liệu mưa thời đoạn 10 phút của trận mưa 180 phút lớn nhất năm, mỗi năm 1 trận trong thời gian từ 1990-2023 (34 năm) dùng để mô phỏng tính toán lưu lượng lớn nhất của lưu vực đại diện tính toán nhằm xác định lưu lượng theo tần suất và thời gian tập trung nước.



Hình 4.4. Sơ đồ các vị trí quan trắc mực nước sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Bảng 4.1. Danh sách các vị trí quan trắc mực nước sông Kim Ngưu phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

STT	Mã vị trí	Sông, kênh	Tọa độ X	Tọa độ Y	Địa danh
1	VT1	Tại vị trí đầu sông Kim Ngưu	21°0'24.98"	105°51'39.86"	Phường Thanh Nhân, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội
2	VT2	Tại bờ hữu sông Kim Ngưu, thượng lưu cầu Cua	20°59'19.53"	105°51'46.62"	Phường Hoàng Văn Thụ, quận Hoàng Mai, Hà Nội
3	VT3	Trên kênh Tân Khai, phía thượng lưu của cống qua đường Lĩnh Nam	20°59'12.21"	105°52'8.71"	Phường Vĩnh Hưng, quận Hoàng Mai, Hà Nội
4	VT4	Tại bờ hữu sông Kim Ngưu, đoạn trước nhà máy xử lý nước thải Yên Sở	20°58'44.37"	105°51'52.26"	Phường Yên Sở, quận Hoàng Mai, Hà Nội

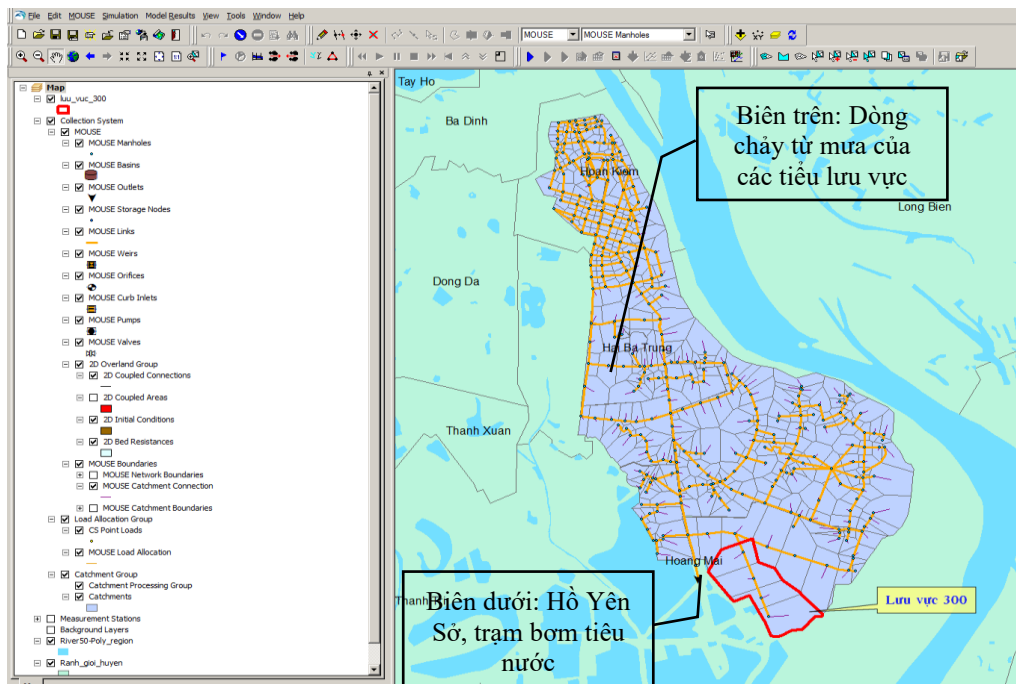
4.3.3. Thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

4.3.3.1 Thiết lập mô hình MIKE URBAN

Trong luận án này, mô hình và sơ đồ tính toán tiêu thoát nước mưa được kế thừa từ dự án “Xây dựng hệ thống cảnh báo úng ngập thời gian thực cho nội thành Hà Nội” của Bộ Tài nguyên và Môi trường do Quỹ phát triển Bắc Âu tài trợ. Theo đó, sơ đồ tính toán sử dụng mô hình MIKE URBAN bao gồm 1.730 ha tổng diện tích tiêu toàn vùng, trong đó có 314 lưu vực tiêu, 314 nút thu nước hay hố ga, 401 đoạn kênh và cống tiêu với tổng chiều dài vào khoảng 75,816 m. Công trình điều tiết có đập tràn A điều tiết nước từ sông Kim Ngưu vào hồ Yên Sở tại cuối tuyến sông có cao trình ngưỡng tràn $Z = +3,35$ m, bề rộng $L = 33$ m. Ngoài ra còn có trạm bơm Yên Sở có công suất bơm tiêu $Q_{max} TB.Yên Sở = 90$ m³/s tiêu nước cho toàn bộ lưu vực sông Tô Lịch với diện tích $F = 7.750$ ha ra sông Hồng, trong đó có lưu vực sông Kim Ngưu với tổng diện tích $F = 1.730$ ha. Phạm vi tính toán là lưu vực sông Kim Ngưu do đó tại cửa thoát nước sông Kim Ngưu đặt giả thiết lưu lượng bơm ra khỏi hệ thống

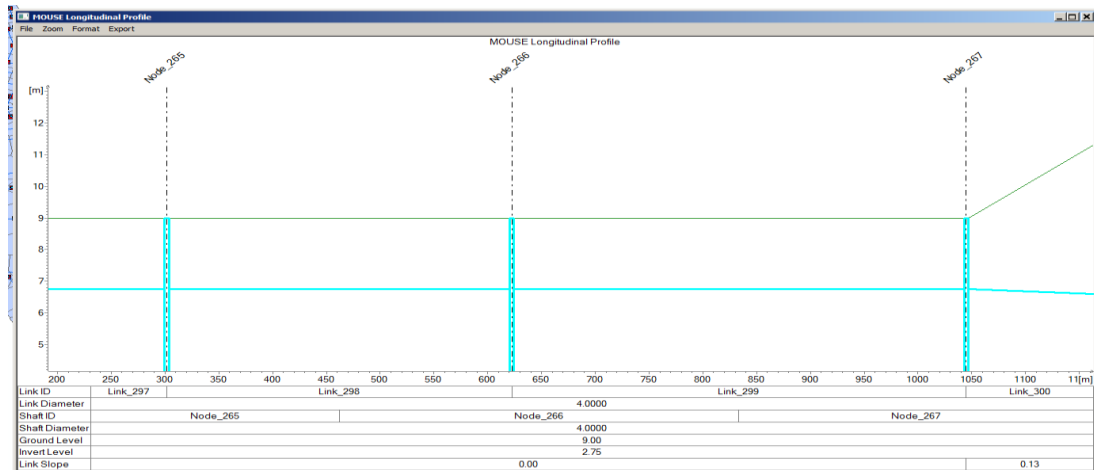
là $Q_{max} = k \cdot Q_{max \text{ TB.Yên Sở}}$, trong đó k tính theo tỷ lệ diện tích cần tiêu của lưu vực sông Kim Ngưu so với lưu vực sông Tô Lịch $k = 1730\text{ha} / 7750\text{ha} = 0,223$. Do đó chọn $Q_{max} = 0,223 \cdot 90 = 20,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Lưu vực tiêu nước số 300 là nhánh của kênh tiêu Trần Phú có lưu vực độc lập nằm ở phía bờ tả sông Kim Ngưu thuộc địa phận quận Hoàng Mai tiêu nước cho khu đô thị Gamuda Gardens. So với các đoạn kênh, cống khác thì chỉ có lưu vực này có tính độc lập nhất về phạm vi thoát nước do đó thỏa mãn được yêu cầu đặt ra và đảm bảo được mục tiêu xác định thời gian tập trung nước của lưu vực tuyến kênh. Lưu vực có diện tích lưu vực tiêu là 106 ha được chia làm 4 lưu vực nhỏ dọc kênh, tuyến kênh tiêu có chiều dài $L = 1350 \text{ m}$ (Hình 4.6), thoát nước theo hướng Đông Nam-Tây Bắc, mặt cắt kênh hình thang có bề rộng đáy $B = 4,0 \text{ m}$, mái dốc kênh $m=2$, độ sâu kênh $h = 3,5 \div 4,0\text{m}$, độ dốc đáy kênh từ đầu đến vị trí 1050m là $i_1=0\%$, đoạn còn lại $i_2=0,13\%$, cao độ đáy kênh tại điểm đầu là $+2,75\text{m}$, điểm cửa ra là $+2,36\text{m}$. Hình 4.5 thể hiện mạng lưới công trình tiêu thoát nước mưa thuộc lưu vực sông Kim Ngưu trong dự án.



Hình 4.5. Sơ đồ công trình tiêu thoát nước mưa của lưu vực sông Kim Ngưu trong mô hình MIKE URBAN

Điều kiện biên tính toán cho mô hình thoát nước lưu vực sông Kim Ngưu bao gồm biên trên là lưu lượng dòng chảy được tính toán từ mưa thông qua khối mô phỏng thủy văn của mô hình MIKE URBAN cho 314 tiểu lưu vực thoát nước. Biên dưới là mực nước tại hồ điều hòa Yên Sở ở cao độ +2,8 m và lưu lượng bơm ra khỏi hệ thống $Q_{max} = 20,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Các giá trị này được lấy từ Quyết định 602/QĐ-TNHN ngày 19/5/2023 của Công ty TNHH MTV thoát nước Hà Nội về việc ban hành Quy định mực nước khống chế các sông, mương, hồ điều hòa do Công ty quản lý, duy trì trên địa bàn Thành phố Hà Nội năm 2023 [6]. Điều kiện mực nước ban đầu của hệ thống được đặt theo giá trị quan trắc đầu tiên của thời đoạn mô phỏng đối với các năm hiệu chỉnh và kiểm định. Trong tất cả các kịch bản tính toán cho các trận mưa 180 phút điều kiện biên mực nước tại cửa ra của lưu vực số 300 đặt theo chế độ tiêu tự do nhằm xác định lưu lượng cực đại của lưu vực tiêu đáp ứng yêu cầu cho bài toán.

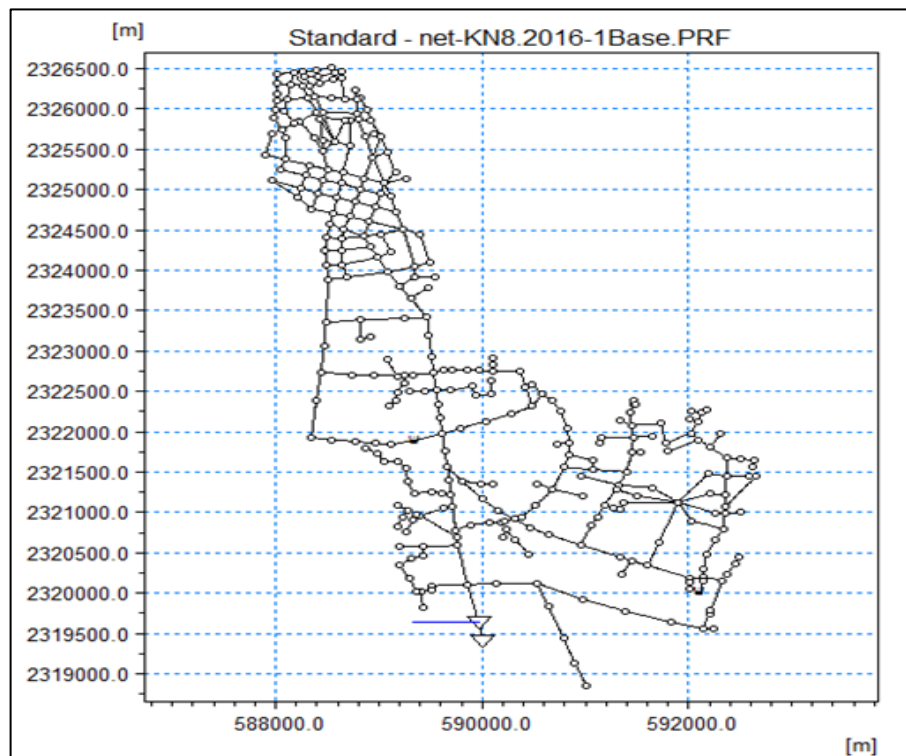


Hình 4.6. Trắc dọc tuyến kênh tiêu chính lưu vực 300

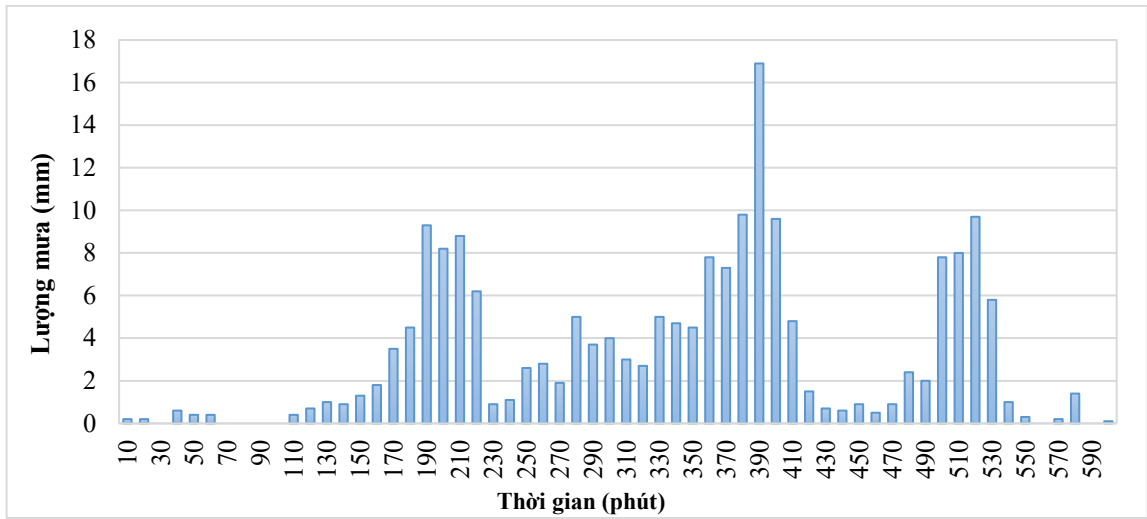
4.3.3.2 Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE URBAN

Thực tế đã chỉ ra rằng lượng và phân bố thời gian của quá trình lưu lượng chủ yếu phụ thuộc vào quá trình chảy tràn ở các lưu vực bộ phận và chảy tập trung trong hệ thống tiêu. Do vậy việc hiệu chỉnh thông số mô hình tổng hợp tập trung vào các thông số biểu thị trạng thái mặt đệm và lòng dẫn gồm: Hệ số đô thị hoá, (tỷ lệ phần không thấm trên diện tích chung); Tổn thất thấm ướt và điền trũng ban đầu; Hệ số nhám bề mặt và hệ số nhám lòng dẫn. Các thông số biểu thị tổn thất ban đầu như tổn thất điền trũng, thấm ướt tùy mức độ có ảnh hưởng đến thời điểm bắt đầu tăng (nhánh

lên) của đường quá trình lưu lượng, các thông số về độ nhám ảnh hưởng đến thời gian tạo đỉnh của quá trình lưu lượng. Áp dụng phương pháp thử dần, trong đó nhiều thông số được thử riêng rẽ theo phân tích thứ tự ảnh hưởng như đã nêu, đã đạt được sự phù hợp giữa các đường quá trình mực nước tính toán và thực đo đối với các vị trí có số liệu quan trắc. Vị trí có thể trích xuất kết quả mô phỏng trong mô hình tại các nút tính toán thể hiện như Hình 4.7. Để hiệu chỉnh mô hình luận án sử dụng số liệu mưa và mực nước thu thập được trong hai ngày 24 và 25/5/2016. Ngày 25/5/2016, do chịu ảnh hưởng rìa tây nam lũ ã áp cao lục địa tăng cường kết hợp với hội tụ gió trên mực 1.500 m nên khu vực Hà Nội có mưa vừa đến mưa to. Tổng lượng mưa quan trắc được từ 19h30' ngày 24/5/2016 đến ngày 05h10' ngày 25/5/2016 là 190.3 mm, trong đó lượng mưa lớn nhất trong 180 phút là 93.3 mm, cường độ mưa lớn nhất lúc 02h00' ngày 25/5/2016 đạt 16.96 mm/10 phút. Hình 4.8 bên dưới thể hiện diễn biến trận mưa ngày 24 và 25/5/2016 với thời đoạn 10 phút.

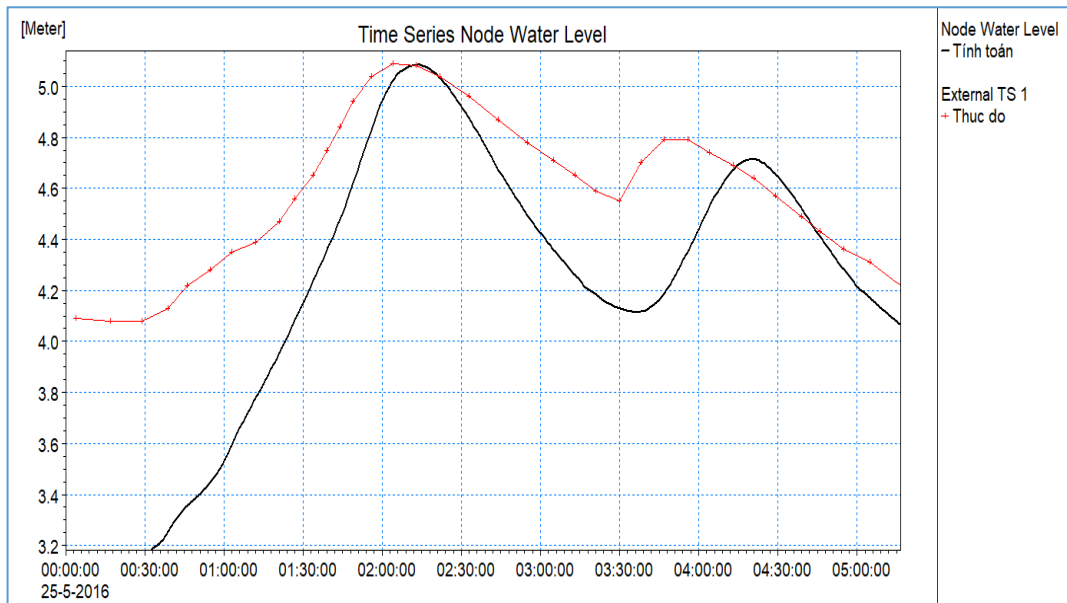


Hình 4.7. Sơ đồ các nút tính toán và trích xuất kết quả trong mô hình MIKE URBAN

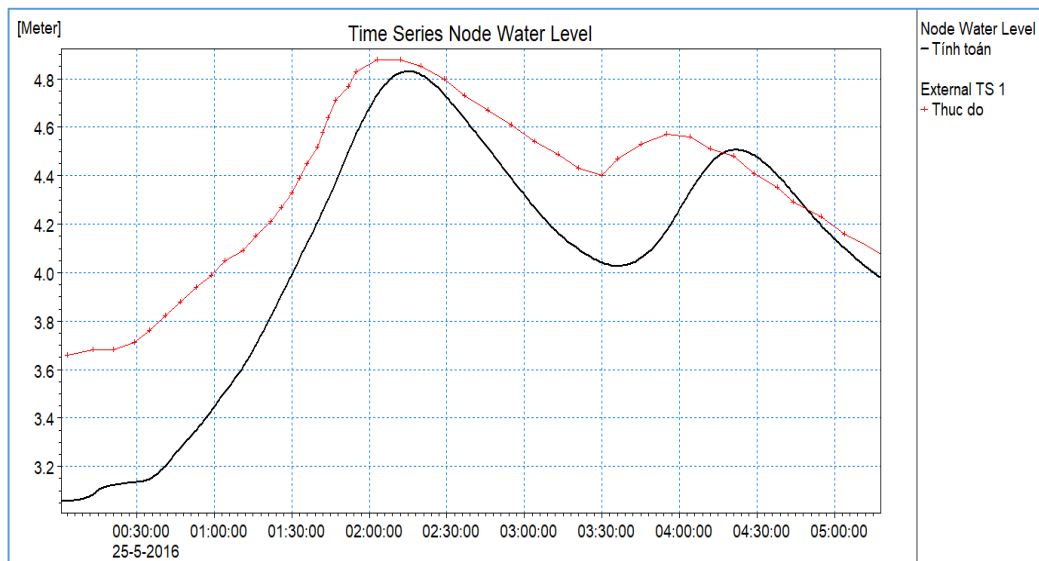


Hình 4.8. Biểu đồ lượng mưa 10 phút của trận mưa ngày 24-25/5/2016

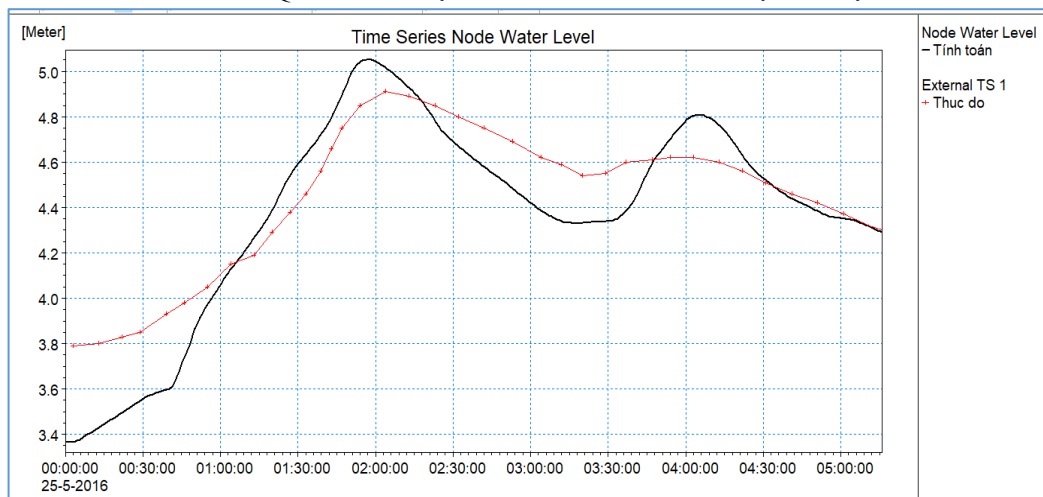
Dưới đây là kết quả mô phỏng quá trình mực nước tại các vị trí hiệu chỉnh mô hình trên lưu vực Kim Ngu ứng với trận mưa lúc 2 giờ sáng ngày 25/5/2016.



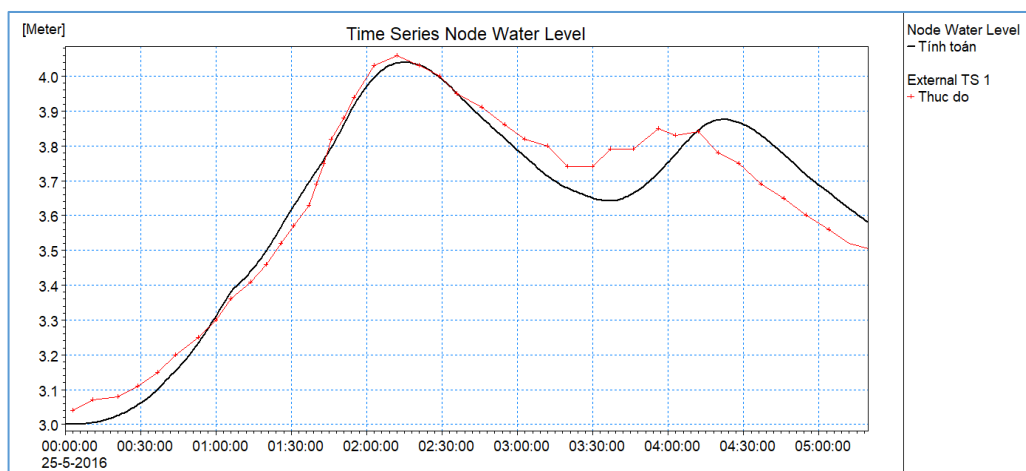
Hình 4.9. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT1



Hình 4.10. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT2



Hình 4.11. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT3



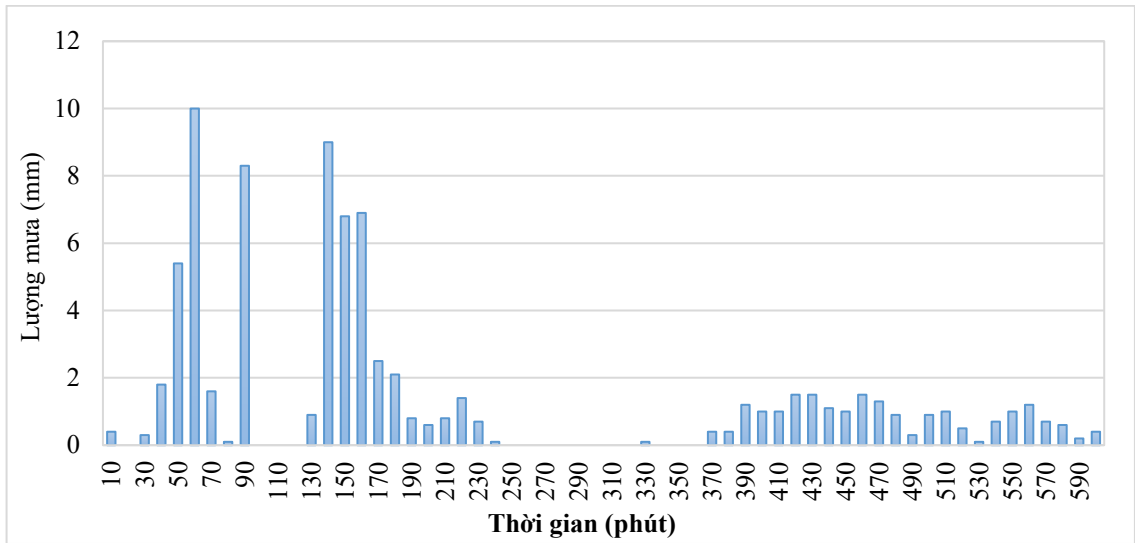
Hình 4.12. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT4

Kết quả hiệu chỉnh các thông số của mô hình thể hiện trong các Hình 4.9 đến Hình 4.12 ở trên và Bảng 4.2 bên dưới cho thấy tại các vị trí mực nước cao nhất tính toán tương đối phù hợp với giá trị thực đo, quá trình mực nước có sự đồng bộ rất tốt với quá trình mực nước thực đo và thời gian xuất hiện mực nước cao nhất. Các sai số đánh giá mô hình xác định được nằm trong giới hạn cho phép, trong đó hệ số NASH là tương đối tốt ($>0,75$). Tuy nhiên, có thể nhận thấy tại một số vị trí VT1, VT2 một số thời điểm mực nước tính toán còn chưa tốt do chưa có sự chính xác hóa các điều kiện ban đầu của trận mưa, tuy nhiên vẫn đảm bảo tốt về kết quả tính toán mực nước cao và thời gian xuất hiện. Như vậy, với các thông số tìm được tiến hành mô phỏng với trận mưa ngày 28/8/2016 để khẳng định độ tin cậy của các thông số này.

Bảng 4.2. Kết quả đánh giá sai số hiệu chỉnh mô hình với trận mưa ngày 25/5/2016

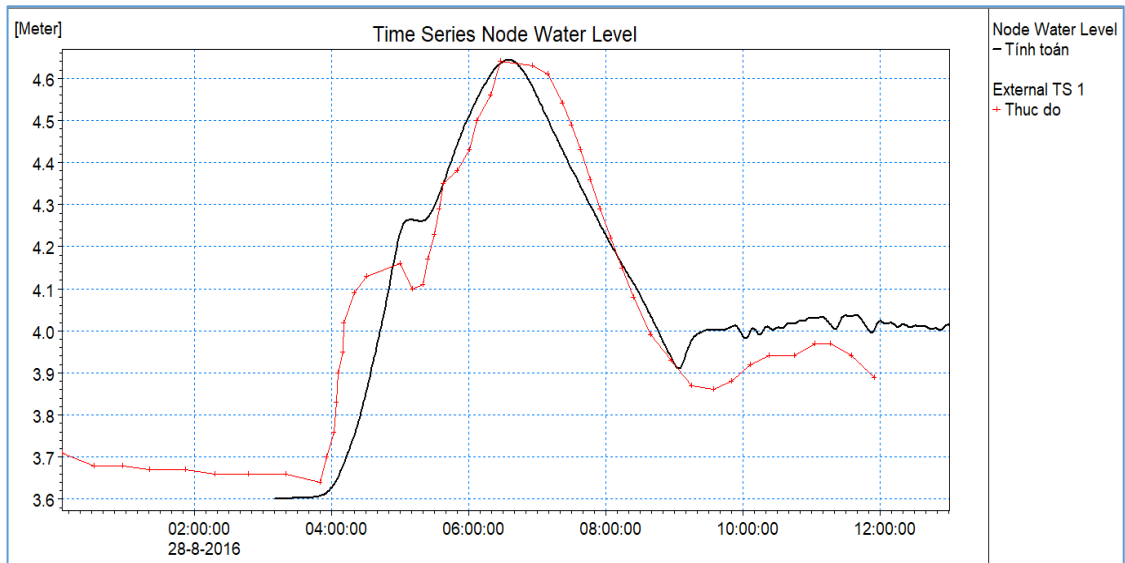
STT	Vị trí	Chỉ tiêu đánh giá						
		NASH	Thực đo		Tính toán		Chênh lệch	
			Hobs (m)	Tobsmax (giờ:phút)	Hsimmax (m)	Tsim (giờ:phút)	ΔH (m)	ΔT (giờ:phút)
1	VT1	0.89	5.09	02:05	5.08	02:11	-0.01	-00:06
2	VT2	0.86	4.88	02:12	4.80	02:16	-0.08	-00:04
3	VT3	0.91	4.91	02:03	5.02	02:00	0.11	00:03
4	VT4	0.94	4.06	02:12	4.04	02:13	-0.02	00:01

Để kiểm định lại bộ thông số đã tìm được trong bước hiệu chỉnh, số liệu mưa và mực nước thu thập được trong ngày 28/8/2016 được sử dụng. Do chịu ảnh hưởng của không khí lạnh nén rãnh thấp có trục qua Bắc Bộ nên vào ngày 28/8/2016 khu vực Hà Nội có mưa vừa mưa to đến rất to. Lượng mưa phổ biến từ 50 – 100mm. Tổng lượng mưa quan trắc được từ 03h10' ngày 28/8/2016 đến ngày 13h10' ngày 28/8/2016 là 81.0mm, trong đó lượng mưa lớn nhất trong 180 phút là 57.6mm, cường độ mưa lớn nhất lúc 04h10' ngày 28/8/2016 đạt 10.0mm/10 phút. Hình 4.13 thể hiện biểu đồ đồng lượng mưa 10 phút trận mưa ngày 28/8/2016.

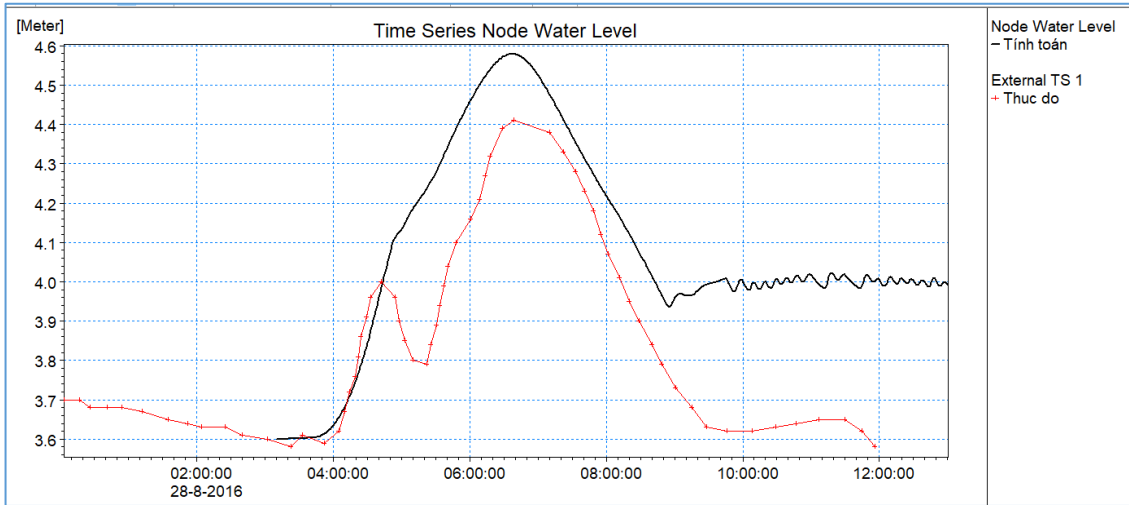


Hình 4.13. Biểu đồ lượng mưa 10 phút của trận mưa ngày 28/8/2016

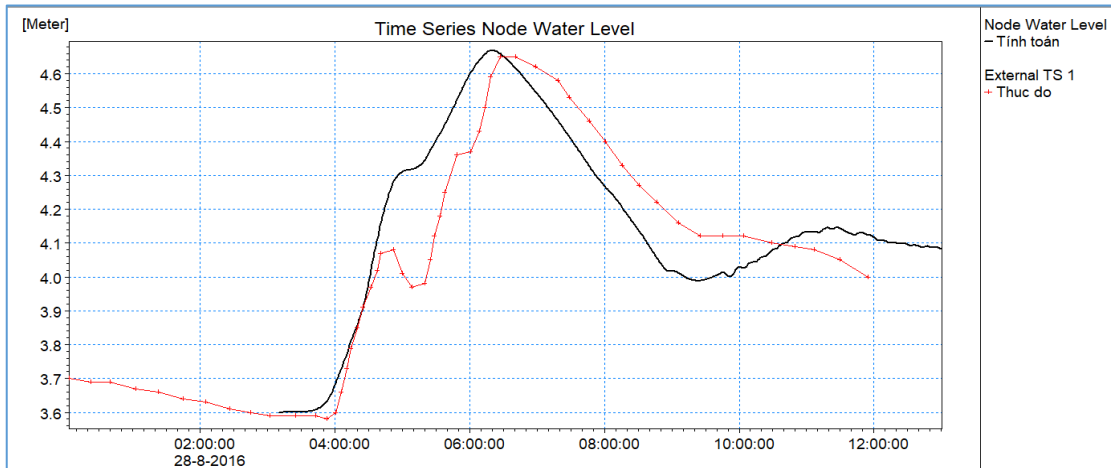
Dưới đây là kết quả mô phỏng mực nước sông Kim Nguu tại các vị trí kiểm định mô hình trong trận mưa lúc 4 giờ sáng ngày 28/8/2016.



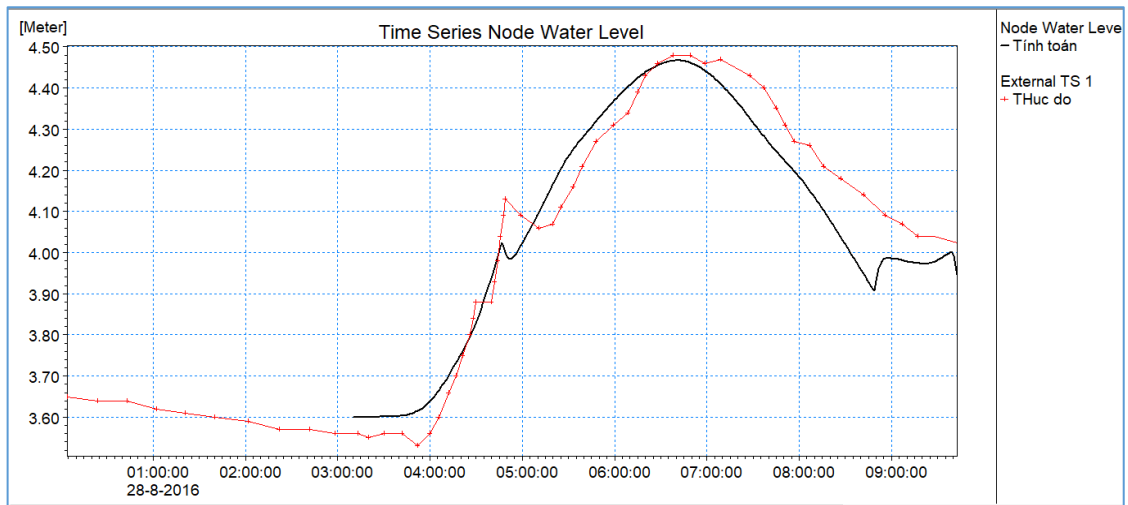
Hình 4.14. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT1



Hình 4.15. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT2



Hình 4.16. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT3



Hình 4.17. Quá trình mực nước tính toán và thực đo tại VT4

Kết quả kiểm định thể hiện trong các Hình 4.14 đến Hình 4.17 và Bảng 4.3 cho thấy tại các vị trí quá trình mực nước quá trình mực nước có sự đồng bộ rất tốt với quá trình mực nước thực đo, giá trị mực nước cao nhất và thời gian xuất hiện mực nước cao nhất. Các sai số đánh giá mô hình nằm trong giới hạn cho phép, trong đó hệ số NASH đạt mức tốt ($> 0,75$). Trong bài toán này, kết quả kiểm định cho thấy tại các vị trí đều cho kết quả tính toán mực nước phù hợp với thực đo do đó có thể dùng cho mô phỏng tiếp theo.

Như vậy, bộ thông số và giá trị cụ thể sau khi đã hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cụ thể như sau: Hệ số sang lòng dẫn $n = 0,015 - 0,020$; Hệ số nhám mặt đường của tiêu lưu vực ($n = 0,012$); Hệ số thấm của đất đô thị từ 0,1 đến 0,3. Với các thông số của mô hình đã xác định được sẽ đảm bảo cho việc tính toán mô phỏng hệ thống thủy lực mạng lưới thoát nước lưu vực sông Kim Ngưu cho các bước tiếp theo.

Bảng 4.3. Kết quả đánh giá sai số bước kiểm định mô hình với trận mưa ngày 28/8/2016

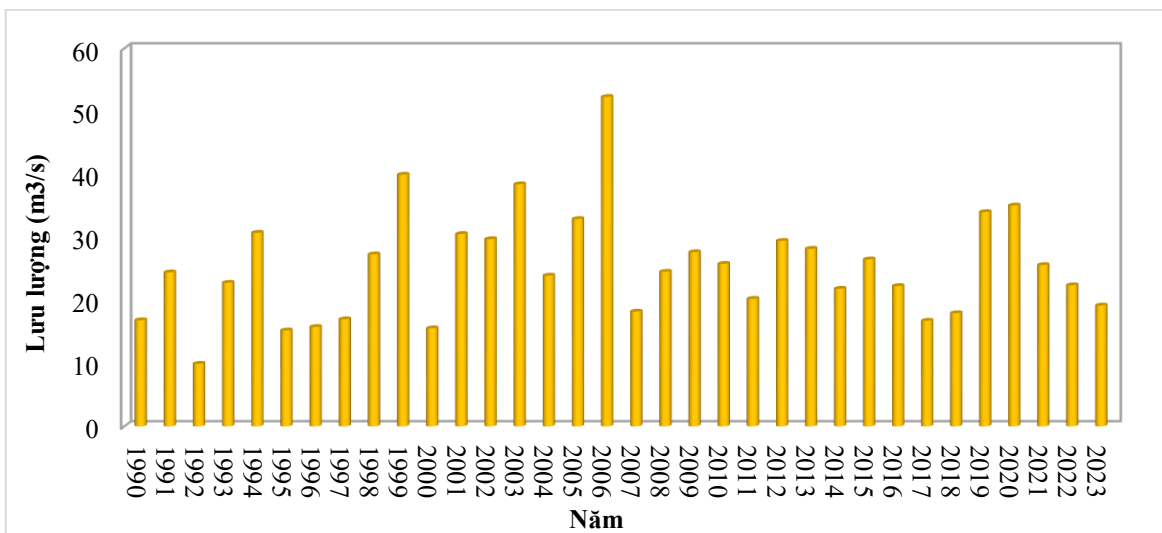
STT	Vị trí	Chỉ tiêu đánh giá						
		NASH	Thực đo		Tính toán		Chênh lệch	
			Hobs (m)	Tobs (giờ:phút)	Hsim (m)	Tsim (giờ:phút)	ΔH (m)	ΔT (giờ:phút)
1	VT1	0.82	4.64	06:30	4.64	06:34	0.00	00:04
2	VT2	0.75	4.41	06:40	4.57	06:39	-0.16	-00:01
3	VT3	0.78	4.65	06:27	4.66	06:25	0.01	-00:02
4	VT4	0.87	4.48	06:40	4.46	06:40	-0.02	00:00

4.3.4. Kết quả mô phỏng

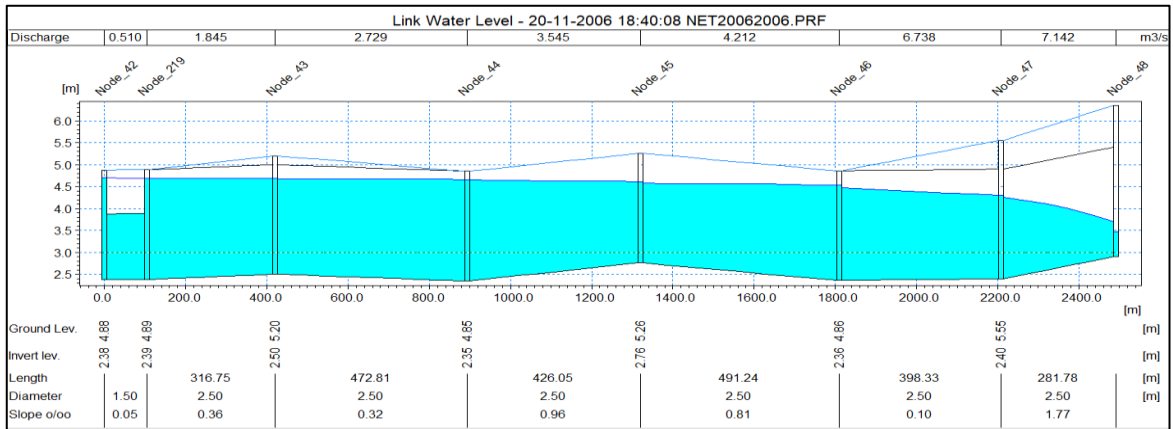
Theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7957 về Thoát nước – Mạng lưới và công trình bên ngoài, lưu lượng tính toán thoát nước mưa của tuyến cống đảm bảo tiêu thoát với thời gian trận mưa tối đa là 150 - 180 phút, chu kỳ lặp lại đối với các tuyến kênh, mương chính phụ thuộc vào loại đô thị yêu cầu tiêu thoát. Thành phố Hà Nội là đô thị loại I theo tiêu chuẩn phân cấp được quy định tại Phụ lục 1 ban hành kèm theo Nghị quyết 1210/2016/UBTVQH13 của Ủy ban Thường vụ Quốc hội khóa XIII.

Vì vậy, chu kỳ lặp lại của trận mưa tính toán đối với hệ thống kênh, nương theo Bảng 1 của Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7957 sẽ từ 10-20 năm (10-20 năm xảy ra 1 lần), tương ứng với tần suất từ 5-10% tính cho trận mưa 180 phút. Như đã trình bày, trong phần tính toán này luận án lựa chọn lưu vực tuyến kênh tiêu số 300 (Link 300) là nhánh của kênh Trần Phú ở phía bờ tả sông Kim Ngưu thuộc địa phận quận Hoàng Mai để trích xuất kết quả tính toán từ mô hình.

Từ số liệu quan trắc tại trạm Láng từ năm 1990-2023 (34 năm), mỗi năm xác định 1 trận mưa có tổng lượng mưa trong 180 phút lớn nhất, số liệu mưa theo bước thời gian 10 phút (Phụ lục 1). Sau đó tiến hành mô phỏng toàn bộ các trận mưa bằng mô hình MIKE URBAN, xác định được lưu lượng cực đại Q_{max} tại cửa ra của lưu vực tính toán đối với từng trận mưa (Phụ lục 1). Hình 4.18 và hình 4.19 thể hiện kết quả tính toán lưu lượng lớn nhất của trận mưa 180 phút lớn nhất năm trong 34 năm và kết quả mô phỏng mực nước trong mô hình MIKE URBAN. Kết quả mô phỏng 34 trận mưa 180 phút lớn nhất của 34 năm đã xác định được lưu lượng dòng chảy cực đại tại cửa ra lưu vực thoát nước số 300 cho từng trận mưa với năm có giá trị lưu lượng lớn nhất $Q_{max}=52.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (năm 2006), nhỏ nhất $Q_{max}=9.9 \text{ m}^3/\text{s}$ (năm 1992), trung bình là $Q_{max}=25.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (xấp xỉ năm 2021).

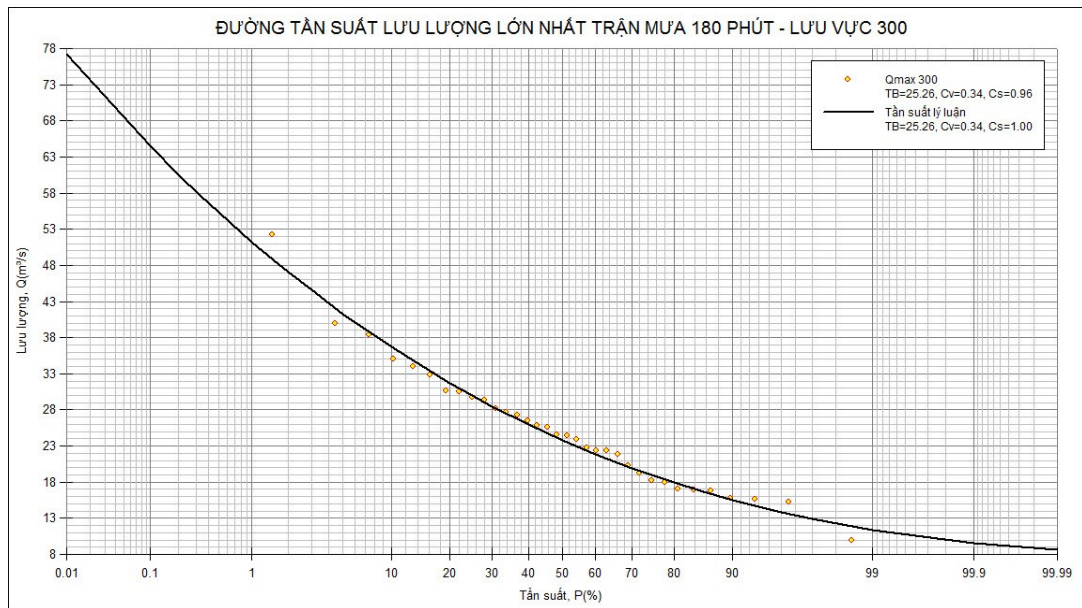


Hình 4.18. Đồ thị giá trị lưu lượng lớn nhất tại cửa ra lưu vực tính toán đối với trận mưa 180 phút lớn nhất năm



Hình 4.19. Mô phỏng đường mực nước trên tuyến cống chính số 300 của lưu vực tính toán

Cuối cùng, thông kê toàn bộ các giá trị lưu lượng lớn nhất Q_{max} (34 giá trị) thu thập được tại vị trí cửa xả cuối cùng của khu vực thử nghiệm để vẽ đường tần suất lý luận lưu lượng lớn nhất nhằm xác định được giá trị Q_{max} tra trên đường tần suất ứng với các tần suất lựa chọn 5% và 10% lần lượt là 41,3 và 36,7 (m^3/s). Kết quả tính toán tần suất sử dụng phần mềm tần suất FFC2008 thể hiện trong hình 4.20 bên dưới. Sau khi xác định được tần suất và giá trị tương ứng thì thời gian tập trung nước của tuyến kênh, mương ứng với tần suất cũng được xác định bằng cách lựa chọn năm điển hình có giá trị xấp xỉ giá trị của tần suất. Theo đó, với tần suất 5% lấy tương tự theo năm 1999 là 22 phút và với tần suất 10% lấy tương tự theo năm 2020 là 25 phút.



Hình 4.20. Đường tần suất lý luận lưu lượng cực đại trận mưa 180 phút từ năm 1990-2023

Bảng 4.4. Giá trị lưu lượng cực đại ứng với các tần suất và thời gian tập trung nước

Đặc trưng tính toán	Tần suất tính toán P%	
	5%	10%
Tần suất	5%	10%
Chu kỳ lặp lại (năm)	20	10
Qmax (m ³ /s)	41,3	36,7
Thời gian đỉnh mưa (giờ:phút)	5:50	22:40
Thời gian đỉnh dòng chảy (giờ:phút)	6:12	23:05
Thời gian tập trung nước (giờ:phút)	0:22	0:25

4.4. Đánh giá khả năng ứng dụng công thức luận án

Như đã giới thiệu ở trên, để đánh giá khả năng ứng dụng công thức luận án vào tính toán hệ thống tiêu thoát nước mưa, luận án tiến hành so sánh kết quả từ công thức luận án với kết quả tính toán từ mô hình MIKE URBAN và tính theo công thức của TCVN 7957.

Theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7957:2023 [3], lưu lượng tính toán thoát nước mưa của tuyến cống Q (l/s) được xác định theo công thức tổng quát sau:

$$Q = q \cdot F \cdot \beta \cdot \psi \quad (4.4)$$

Trong đó: q - Cường độ mưa tính toán (l/s.ha); F - Diện tích lưu vực mà tuyến cống phục vụ (ha); β - Hệ số phân bố mưa, xác định theo Bảng 5-TCVN 7957:2023; ψ - Hệ số dòng chảy, phụ thuộc vào loại mặt phủ và chu kỳ lặp lại trận mưa tính toán P , xác định theo Bảng 1- TCVN 7957:2023.

Cường độ mưa tính toán có thể xác định bằng công thức cường độ giới hạn như sau

$$q = \frac{A(1 + C \cdot \log P)}{(t_m + b)^n} \quad (4.5)$$

Trong đó: q là cường độ mưa (l/s.ha), t_m là thời gian dòng chảy mưa (phút), P là chu kỳ lặp lại của trận mưa tính toán (năm); lấy $P = 10$ (năm), A, C, b, n là các tham số xác định theo điều kiện mưa của địa phương nơi có dự án theo TCVN.

Như vậy, lưu lượng tính toán thoát nước mưa phụ thuộc vào cường độ mưa tính toán q (thông qua tính toán từ các thông số liên quan đến điều kiện mưa của địa

phương khu vực dự án A, C, b, n , chu kỳ lặp lại P và thời gian dòng chảy mưa t), hệ số dòng chảy ψ , diện tích lưu vực F . Trong đó, các tham số A, C, b, n, ψ, F, P là cố định do tra bảng, riêng thời gian dòng chảy mưa đến điểm tính toán t (phút) để xác định cường độ mưa giới hạn theo TCVN 7957:2023 như sau:

$$t = t_1 + m \cdot t_2 \quad (4.6)$$

Trong đó: t_1 - Thời gian nước mưa chảy trên bề mặt đến rãnh đường và đến giếng thu nước mưa (phút), phụ thuộc vào chiều dài, độ dốc địa hình và mặt phủ thường lấy 10-15 phút; t_2 - Thời gian nước chảy trong cống đến tiết diện tính toán; m - Hệ số quan hệ đến giảm vận tốc.

Có thể thấy rằng, thời gian dòng chảy mưa t (hay còn gọi là thời gian tập trung nước của lưu vực) phụ thuộc vào việc giả thiết thời gian tập trung nước mưa trên bề mặt lưu vực đến rãnh đường và giếng thu t_1 , thời gian chảy trong cống, kênh đến điểm cửa ra của lưu vực t_2 . Vì thế, với mỗi giả thiết cho thời gian tập trung nước sẽ có các kết quả tính toán ra lưu lượng khác nhau phụ thuộc vào giả thiết thời gian chủ quan của người tính toán. Vì vậy, trong luận án này kết quả thời gian dòng chảy mưa sẽ được trích xuất từ mô hình MIKE URBAN để giảm thiểu các giả thiết khi tính toán theo công thức của TCVN 7957:2023. Ngoài ra, lưu vực này có hệ thống các tiểu lưu vực và mạng lưới đường cống tương đối phức tạp, do đó việc xác định thời gian tập trung nước t bằng các công thức tính toán độc lập khác có thể dẫn đến những sai số lớn. Hơn thế nữa, một trong những ưu điểm của mô hình toán là mô phỏng lại khá tốt quá trình diễn ra trong hệ thống, thời gian tập trung nước t lấy từ mô hình sẽ phản ánh gần sát nhất với thời gian tập trung nước trong thực tế. Việc sử dụng chung thời gian tập trung nước là để đảm bảo tính toán từ mô hình và tính toán bằng công thức phản ánh đúng hiện trạng tiêu thoát nước của hệ thống lưu vực nghiên cứu.

Với khu vực Hà Nội, các tham số khí hậu là $A = 5890, C = 0,65, b = 20, n = 0,84, t$ là thời gian dòng chảy, được lấy từ kết quả mô phỏng dòng chảy trong cống ứng với trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2020 (có Q tương ứng với $Q_{\max} = 36,7$), từ đó ta tính được giá trị cường độ mưa thiết kế là:

$$q = \frac{5890 \times (1 + 0,65 \cdot \log 10)}{(25 + 20)^{0,84}} = 397,1 \text{ (l/s} \cdot \text{ha)}. \quad (4.7)$$

Với diện tích lưu vực mà tuyến công phục vụ là $F = 106$ (ha); hệ số dòng chảy tiêu thoát nước đô thị $\psi = 0,81$ theo TCVN, thay giá trị cường độ mưa tính toán ở trên vào công thức 4-3 ta xác định được lưu lượng tiêu thiết kế là:

$$Q = 34,1 \text{ (m}^3\text{/s)}. \quad (4.8)$$

Cuối cùng, áp dụng công thức của luận án xác định được cường độ mưa thiết kế (q) và lưu lượng tuyến công (Q) ứng với cường độ mưa thiết kế lần lượt là:

$$q = \frac{2003 \times (1 + 0.598 \times \log 10)}{(25 + 5)^{0.602}} = 413,1 \text{ (l/s.ha)}, \quad (4.9)$$

$$Q = 35,47 \text{ (m}^3\text{/s)}. \quad (4.10)$$

Từ đó có thể so sánh được kết quả tính toán lưu lượng tiêu theo ba phương pháp đã mô tả chi tiết ở trên gồm công thức luận án, công thức TCVN 7957 và mô hình MIKE URBAN ứng với tần suất lựa chọn là 10%. Bảng 4.5 thể hiện kết quả tính toán lưu lượng tiêu thiết kế khi áp dụng 03 phương pháp tính nêu trên.

Bảng 4.5. Kết quả tính toán lưu lượng tiêu thiết kế theo 3 phương pháp

STT	Phương pháp	Q (m ³ /s)	Sai số giữa kết quả tính toán với kết quả mô hình (%)
1	Mô hình MIKE URBAN	36,70	0%
2	TCVN 7957	34,10	7,1%
3	Công thức luận án	35,47	3,36%

Căn cứ vào kết quả tính toán của Bảng 4.5 cho thấy: giá trị lưu lượng tiêu thiết kế tính theo công thức của luận án đưa ra sai số nhỏ hơn (3,36%) so với kết quả tính theo công thức trong TCVN 7957 (7,1%), điều này thể hiện rằng kết quả tính theo công thức của luận án sát với giá trị đo đạc hơn và gần hơn với kết quả kiểm định tại mục 4.3.3.2. Kết quả ứng dụng này một lần nữa khẳng định công thức cường độ mưa được thiết lập có tính khả thi cao khi áp dụng vào giải quyết các bài toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa cho thành phố Hà Nội. Tuy nhiên cũng cần lưu ý rằng, hiện nay luận án mới chỉ so sánh với một khu vực thử nghiệm do vậy để có kết luận chính xác nhất cần tiến hành so sánh với nhiều khu vực thử nghiệm khác nhau với nhiều loại diện tích và hệ thống tiêu thoát nước mưa phức tạp khác nhau

4.5. Bàn luận kết quả nghiên cứu

Luận án đã tiến hành đánh giá khả năng ứng dụng công thức cường độ mưa tính toán đề xuất vào bài toán thực tiễn thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa cho thành phố Hà Nội. Để thực hiện mục tiêu này, kết quả tính toán công thức luận án được so sánh với hai phương pháp khác nhau gồm mô hình toán MIKE URBAN và công thức của TCVN 7957. Luận án đã tiến hành thu thập bộ số liệu đầu vào mới nhất cho mô hình thoát nước mưa đô thị nhằm thiết lập các mô phỏng cần thiết cho khu vực nghiên cứu thử nghiệm thuộc lưu vực sông Kim Ngưu.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu mực nước thu thập tại bốn vị trí quan trắc cho thấy mô hình đã mô phỏng tốt giá trị đỉnh và thời gian xuất hiện đỉnh dòng chảy, với các chỉ tiêu đánh giá mô hình như NASH ($> 0,75$), ΔH ($< 0,16$ m) và Δt (< 6 phút) là khá tốt. Mô hình được đánh giá là có độ tin cậy để thực hiện các bước mô phỏng tiếp theo. Với số liệu các trận mưa 180 phút lớn nhất trong 34 năm quan trắc từ 1990 đến 2023 được sử dụng để tái mô phỏng trong mô hình, kết quả phân tích tần suất giá trị lưu lượng tiêu lớn nhất tại vị trí thoát nước cuối cùng của khu vực thử nghiệm với tần suất 10% xác định được là $36,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Luận án tiến hành sử dụng công thức tính toán lưu lượng tiêu ứng với tần suất 10% bằng cách sử dụng công thức của TCVN 7957 và công thức đề xuất. Kết quả xác định được lưu lượng tiêu thiết kế khi sử dụng công thức TCVN 7957 là $34,1 \text{ m}^3/\text{s}$ và lưu lượng tiêu thiết kế khi sử dụng công thức đề xuất của luận án là $35,47 \text{ m}^3/\text{s}$.

Qua phân tích các giá trị thu được từ các phương pháp tính khác nhau, có thể nhận thấy công thức đề xuất trong luận án là gần sát với giá trị thu được từ mô hình mô phỏng nhất. Cũng cần lưu ý rằng, trong nghiên cứu này, kết quả mô phỏng từ mô hình toán tiêu thoát nước đô thị MIKE URBAN, một trong những phương pháp hiện đại đang được sử dụng rộng rãi ngày nay, được xem là có thể mô tả lại một cách chính xác nhất hiện trạng tiêu thoát nước mưa của khu vực thử nghiệm, do vậy hoàn toàn có thể sử dụng làm cơ sở để so sánh và đánh giá các kết quả tính toán từ các phương pháp khác. Qua đây có thể kết luận rằng công thức đề xuất trong luận án có khả năng ứng dụng cao vào các bài toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa cho thành phố Hà Nội, đặc biệt là các khu vực thuộc các quận trung tâm của thành phố.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Trong những năm gần đây, quá trình đô thị hoá diễn ra khá mạnh mẽ tại thành phố Hà Nội, cùng với đó là hiện tượng thời tiết khí hậu cực đoan liên tiếp xuất hiện, bằng chứng là những trận mưa bất thường ngày càng gia tăng về số lượng, cường độ và tần suất. Điều này đã khiến cho Thành phố Hà Nội thường xuyên bị ngập úng nghiêm trọng và có xu hướng mở rộng diện úng ngập theo các trục phát triển mới của đô thị. Có thể nói, một trong những nguyên nhân cơ bản và cốt lõi là việc xác định cường độ mưa tính toán phục vụ thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa chưa thật sự hợp lý trong bối cảnh mới, dẫn đến các kết quả tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa có mức đảm bảo thấp hơn so với yêu cầu thực tế. Xuất phát từ thực tiễn hiện nay là số liệu quan trắc mưa tự ghi thời đoạn ngắn không đảm bảo để áp dụng các phương pháp tính toán chính xác cho tất cả các khu vực, vì vậy nâng cao độ chính xác và tin cậy của các công thức cường độ mưa tính toán là một yêu cầu cần thiết trong công tác tổ chức thoát nước mưa đô thị.

Để giải quyết vấn đề nêu trên, luận án đã xây cơ sở khoa học xác định cường độ mưa tính toán cho thiết kế thoát nước mưa Thành phố Hà Nội, cụ thể đã thực hiện được những vấn đề sau:

i) Đã tổng quan các nghiên cứu ở trong nước và trên thế giới có liên quan đến luận án về (1) phương pháp thiết lập quan hệ cường độ mưa – thời gian – tần suất, (2) phương pháp xác định cường độ mưa tính toán trong thiết kế thoát nước mưa đô thị. Qua phân tích các nghiên cứu liên quan, luận án đã chỉ ra rằng các tham số trong các công thức cường độ mưa tính toán phụ thuộc lớn vào tính chất đặc thù của từng địa phương và các tham số này cần được cập nhật do những biến động của các yếu tố ảnh hưởng đến việc thiết lập khoảng giá trị các tham số. Ngoài ra, việc xây dựng các công thức cường độ mưa tính toán từ quan hệ cường độ - thời đoạn – tần suất (IDF) dựa trên việc khai thác tối đa nguồn dữ liệu mưa quan trắc là một cách tiếp cận phổ biến trên thế giới hiện nay.

ii) Hiện nay, đa phần việc chọn hàm phân phối xác suất cho thiết lập quan hệ cường độ mưa – thời gian – tần suất (IDF) thường được mặc định bởi một số phân phối có sẵn, điều đó ảnh hưởng đến tính chính xác của việc phân tích tần suất đối với điều kiện từng vùng. Dựa trên bộ dữ liệu mưa được cập nhật bổ sung đến năm 2023 cho Thành phố Hà Nội của 02 trạm khí tượng điển hình là Láng và Hà Đông, luận án đã tiến hành phân tích, so sánh để lựa chọn phân phối xác suất phù hợp nhất. Kết quả lựa chọn được phân phối Gumbel để xây dựng đường tần suất mưa sát với thực tế nhất.

iii) Đã xây dựng mối quan hệ cường độ mưa – thời gian – tần suất (IDF) cho các trạm đo mưa tự ghi tại thành phố Hà Nội theo các thời đoạn mưa 5 phút, 10 phút, 15 phút, 30 phút, 45 phút, 60 phút, 90 phút, 120 phút, 180 phút, 360 phút, 720 phút, 1440 phút với chu kỳ lặp lại 2 năm, 5 năm, 10 năm, 25 năm, 50 năm, 100 năm theo phân phối Gumbel.

iv) Đã thiết lập công thức cường độ mưa tính toán bằng phương pháp giảm gradient tổng quát phi tuyến tính (Generalized Reduced Gradient (GRG) Nonlinear) với các tham số khí hậu phụ thuộc điều kiện địa phương cho thiết kế thoát nước mưa Thành phố Hà Nội. Các giá trị tham số của công thức cường độ mưa được xác định bằng phương pháp bình phương tối thiểu, tức là trung bình của tổng bình phương sai số giữa các giá trị tính toán bằng công thức mới với các số liệu IDF đã có là nhỏ nhất. Kết quả cho thấy bộ tham số khí hậu (A, C, b, n) mới lần lượt là (2003, 0.598, 5, 0.602) và (2320, 0.655, 9, 0.633) cho hai trạm khí tượng Láng và Hà Đông. Với các giá trị tham chiếu là hệ số tương quan và sai số quân phương, luận án đã tiến hành so sánh và chỉ ra rằng, công thức cường độ mưa tính toán mới của luận án có giá trị gần nhất với số liệu IDF so với các công thức hiện hành.

v) Đã đánh giá được khả năng ứng dụng của công thức luận án vào thực tế tính toán thoát nước mưa cho Thành phố Hà Nội dựa trên kết quả tính toán bằng mô hình thủy văn thủy lực (MIKE URBAN) hệ thống tiêu thoát nước mưa lưu vực tuyến kênh tiêu thoát nước cho khu đô thị Gamuda Gardens – nhánh tiêu thuộc kênh Trần Phú ở

phía bờ tả sông Kim Ngưu thuộc địa phận quận Hoàng Mai, thành phố Hà Nội. Qua phân tích các giá trị thu được từ các phương pháp tính khác nhau, có thể nhận thấy công thức đề xuất trong luận án là gần sát với giá trị thu được từ mô hình toán nhất. Từ đó, có thể kết luận rằng công thức luận án có tính khả thi cao khi áp dụng vào giải quyết các bài toán thiết kế hệ thống tiêu thoát nước mưa cho thành phố Hà Nội.

KIẾN NGHỊ

Các phương pháp lựa chọn hàm phân bố xác suất, thiết lập quan hệ cường độ mưa – thời gian – tần suất và xác định công thức cường độ mưa của luận án có thể được áp dụng cho các khu vực có điều kiện khí tượng thủy văn khác nhau. Việc nghiên cứu của luận án đang được thực hiện ở 2 trong số 4 trạm khí tượng thủy văn điển hình của Thành phố Hà Nội, vì vậy có thể mở rộng nghiên cứu bổ sung cho các trạm đo mưa tự ghi để mật độ dữ liệu trong vùng dày hơn, nhằm tăng độ chính xác hơn nữa cho kết quả nghiên cứu.

Về đánh giá khả năng ứng dụng công thức luận án vào thiết kế hệ thống thoát nước mưa, có thể thấy rằng hiện nay luận án mới chỉ dừng lại so sánh với một khu vực thử nghiệm do vậy để có kết luận chính xác nhất cần tiến hành so sánh với nhiều khu vực thử nghiệm khác nhau với nhiều loại diện tích và hệ thống tiêu thoát nước mưa khác nhau.

Việc đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu cần cập nhật Kịch bản biến đổi khí hậu mới nhất, cập nhập các số liệu được áp dụng cho Thành phố Hà Nội.

**DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN
ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN**

1. Son Tran Thanh, Anh Ha Xuan (2023), Deriving of Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves for precipitation at Hanoi, Vietnam, *E3S Web of Conferences*, 403, 06002. eISSN: 2267-1242. (Scopus)
2. Hà Xuân Ánh, Trần Thanh Sơn (2022), Một số vấn đề liên quan đến xử lý và tái sử dụng nước mưa đô thị, *Tạp chí Xây dựng*, 2022 (4), 64-69. ISSN 2734-9888.
3. Hà Xuân Ánh (2023), Lựa chọn phân phối xác suất để xây dựng đường cong IDF cho tính toán hệ thống tiêu thoát nước mưa khu vực Hà Nội, *Tạp chí Xây dựng*, 2023 (9), 82-89. ISSN 2734-9888.

TÀI LIỆU THAM KHẢO***Tiếng Việt***

1. Lương Tuấn Anh, Nguyễn Thanh Thủy (2007), Đơn giản hoá công thức tính cường độ mưa – thời gian – tần suất tại một số Thành phố ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, tr 49-53, tháng 10/2007.
2. Nguyễn Việt Anh, Đào Anh Dũng, Bùi Thị Thủy (2016), *Hướng dẫn thu gom và sử dụng nước mưa*, Viện Khoa học và Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng, Bộ Xây dựng – GIZ, Hà Nội.
3. Bộ Xây dựng (2008), *TCVN 7957 – 2008: Thoát nước – Mạng lưới và công trình bên ngoài – Tiêu chuẩn thiết kế*.
4. Bộ Xây dựng (2023), *TCVN 7957 – 2023: Thoát nước – Mạng lưới và công trình bên ngoài – Yêu cầu thiết kế*.
5. Bộ Xây dựng, GIZ (2020), *Đánh giá sự thích ứng với ngập lụt đô thị và quản lý thoát nước của Việt Nam dưới tác động của Biến đổi khí hậu*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
6. Công ty TNHH MTV thoát nước Hà Nội (2023), *Quyết định 602/QĐ-TNHN ngày 19/5/2023 của Công ty TNHH MTV thoát nước Hà Nội về việc ban hành Quy định mực nước không chế các sông, mương, hồ điều hòa do Công ty quản lý, duy trì trên địa bàn Thành phố Hà Nội năm 2023*.
7. Ứng Quốc Dũng (1996), *Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp xác định lưu lượng nước mưa tính toán khi thiết kế hệ thống thoát nước cho các đô thị Việt Nam*, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.
8. Lê Song Giang, Nguyễn Hoàng Thanh Bình, Nguyễn Thị Thanh Hoa, Diệp Nguyên Thịnh (2023), *Nghiên cứu xây dựng đường cong tổ hợp lượng mưa – mực nước phục vụ thiết kế hệ thống thoát nước mặt ở thành phố Hồ Chí Minh*. *Tạp chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. Tập 59, số chuyên đề, tr 213-220.

9. Chu Mạnh Hà (2021), *Mô hình và giải pháp quản lý hồ điều hoà nhằm điều tiết nước mưa, giảm thiểu úng ngập đô thị trung tâm Thành phố Hà Nội*, Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Kiến trúc, Hà Nội.
10. Nguyễn Thị Việt Hồng (2018), *Nghiên cứu cải tiến phương pháp xác định mô hình mưa và lưu lượng tiêu thiết kế cho các hệ thống tiêu vùng Đồng bằng Bắc Bộ*, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội.
11. Nguyễn Thị Việt Hồng, Nguyễn Tuấn Anh (2018), Xây dựng công thức tính cường độ mưa thiết kế và bản đồ đẳng trị tham số vùng đồng bằng Bắc Bộ. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, số 60, tháng 3/2018.
12. Hoàng Huệ (2011), *Mạng lưới thoát nước*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
13. Đỗ Đình Khôi, Hoàng Niêm (1991), *Dòng chảy lũ sông ngòi Việt Nam*. Viện Khí tượng Thủy văn, Hà Nội.
14. Nippon Koei & Công ty Tư vấn Cấp thoát nước và Môi trường Việt Nam (1997), *Thuyết minh thiết kế kỹ thuật cải tạo và xây dựng công thoát nước lưu vực sông Tô Lịch, sông Lừ, sông Sét, sông Kim Ngưu*. Hà Nội.
15. Liên danh Liên đoàn Quy hoạch và điều tra Tài nguyên nước Miền Bắc, Viện Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu (2012), *Báo cáo tổng hợp Dự án “Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập Thành phố Hà Nội có xét đến ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu”*, Hà Nội.
16. Trần Việt Liễn (1979), *Phương pháp về kết quả nghiên cứu cường độ mưa tính toán ở Việt Nam phục vụ công tác nghiên cứu thiết kế hệ thống thoát nước mưa đô thị*, Viện Khí tượng Thủy văn, Hà Nội.
17. Trần Hiếu Nhuệ (1991), *Lịch sử phát triển hệ thống thoát nước Hà Nội*, Đề tài nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.
18. Phan Văn Tân (2005), *Phương pháp thống kê trong khí hậu*, NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội.
19. Nguyễn Văn Thắng (2017), Nghiên cứu xây dựng đường cong IDF cho các vùng mưa thuộc miền Bắc Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, tháng 6/2017.

20. Trần Đức Thiện, Đỗ Thùy Linh, Vũ Thị Gấm, Nguyễn Thanh Thư, Hà Công Chiến (2023), Thực trạng ngập úng đô thị Hà Nội giai đoạn 2012-2022, *Tạp chí Kiến trúc*, 2023 (02).
21. Đinh Thị Hương Thơm (2016), *Ứng dụng mô hình thủy văn đô thị xây dựng bản đồ ngập lụt Thành phố Hà Nội và hệ thống dự báo ngập lụt thời gian thực cho lưu vực Kim Ngưu*, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội.
22. Trường Đại học Thủy lợi (1985), *Tính toán Thủy văn*, NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
23. Tổng hội Xây dựng Việt Nam (2019), *Hội thảo chuyên đề “Ngập lụt đô thị - Thực trạng và giải pháp”*, Hà Nội.
24. Hồ Công Toàn, Đặng Trường An (2021), Xây dựng đường cong cường độ mưa – thời đoạn – tần suất mưa hướng đến thiết lập bản đồ ngập lụt cho khu vực bán đảo Cà Mau. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 727, 33-43.
25. Ngô Đình Tuấn, Đỗ Cao Đàm (1986), *Tính toán thủy văn cho các công trình thủy lợi vừa và nhỏ*, NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
26. Vũ Thanh Tú, Ngô Lê An, Hoàng Thanh Tùng, Nguyễn Hoàng Sơn, Nguyễn Thanh Thủy, Nguyễn Thị Thu Nga (2023), *Giáo trình Mô hình toán thủy văn*, NXB Bách Khoa Hà Nội.
27. UBND TP Hà Nội (1996), *Dự án thoát nước Thành phố Hà Nội – giai đoạn I* (ban hành kèm theo Quyết định số 112/TTg ngày 15/02/1996 của Thủ tướng Chính phủ).
28. UBND TP Hà Nội (2006), *Dự án thoát nước Thành phố Hà Nội – giai đoạn II* (ban hành kèm theo Quyết định số 4315/QĐ-UBND ngày 28/9/2006 của UBND TP Hà Nội).
29. UBND TP Hà Nội (2009), *Quy hoạch tiêu nước hệ thống sông Nhuệ* (ban hành kèm theo Quyết định số 937/QĐ-TTg ngày 01/7/2009 của Thủ tướng Chính phủ).

30. UBND TP Hà Nội (2011), *Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050* (ban hành kèm Quyết định số 1259/QĐ-TTg ngày 26/7/2011 của Thủ tướng Chính phủ).
31. UBND TP Hà Nội (2013), *Quy hoạch thoát nước Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050* (ban hành kèm Quyết định số 725/QĐ-TTg ngày 10/5/2013 của Thủ tướng Chính phủ).
32. Trần Hữu Uyên (1990), *Luận án Tiến sĩ Khoa học*, Moscow.
33. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu (2019), *Báo cáo tổng kết dự án “Xây dựng đường cong cường độ mưa – thời đoạn – tần suất (IDF) để tăng cường công tác quản lý Nhà nước về thông tin Khí tượng Thủy văn phục vụ phát triển kinh tế, xã hội”*, Hà Nội.
34. Trần Thanh Xuân (2007), *Đặc điểm thủy văn và nguồn nước sông Việt Nam*, NXB Nông nghiệp, Hà Nội.

Tiếng Anh

35. Al-Amri N.S., Subyani A.M. (2017), Generation of Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Curves for Ungauged Sites in Arid Region. *Earth Syst. Environ.* 1(8).
36. Anh T.N., Kha D.D., Duc D.D., Son N.T. (2014), Hydraulic modelling for flood vulnerability assessment, case study in river basins in North Central Vietnam, *Conference on Integrated Water Resource Management, Management Policy and Decision Making Supports Jacques Cartier*, Ho Chi Minh City, 27-28.
37. Bara M., Kohnova S., Gaal L., Szolgay J., Hlavcova K. (2009), Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia, *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 39(3), 187–206.
38. Bell F.C. (1969), Generalized rainfall duration frequency relationships, *Journal of the Hydraulics Division*, 95(1), 311-327.
39. Benzedden E., Bükey B. (2003), Best fit intensity-duration models for Aegean region of Turkey, *3th National Hydrology Seminar*, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey, 255-260.

40. Benzedden E., Hacısuleyman H. (2003), Variation of the parameters of IDF relationships with return period, *First National Water Engineering Symposium*, Izmir, Turkey, 159-168.
41. Bernard M.M. (1932), Formulas for rainfall intensities of long durations, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 96(1), 592-624.
42. Bisht D.S., Chatterjee C., Kalakoti S., et al. (2016), Modeling urban floods and drainage using SWMM and MIKE URBAN: a case study, *Natural Hazards* 84, 749–776.
43. Bougadis J., Adamowski K. (2006), Scaling model of a rainfall intensity-duration-frequency relationship, *Hydrological Processes*, 20, 3747–3757.
44. Burlando P., Rosso R. (1996), Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation, *Journal of Hydrology*, 187(1-2), 45-64.
45. Canterford R.P., Pescod N.R., Pearce H.J., Turner L.H., Atkinson R.J. (1987), Frequency Analysis of Australian Rainfall Data as used for Flood Analysis and Design. In: Singh, V.P. (eds) *Hydrologic Frequency Modeling*. Springer, Dordrecht.
46. Chen C.L. (1983), Rainfall intensity-duration-frequency formulas, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 109 (12), 1603–1621.
47. Cheng L., AghaKouchak A. (2014), Nonstationary Precipitation Intensity-Duration-Frequency Curves for Infrastructure Design in a Changing Climate. *Sci. Rep.* 4, 7093.
48. Chow V.T. (1988), *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book, New York.
49. Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W. (1988), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book, New York.
50. Cao C., Piga E., Saba A. (1993), Design storm calibration through continuous simulation. *Proc. 6th Int. Conf. Urban storm Drainage, Niagara Falls*, 1, 318-323.
51. Daniell T., Tabios G.Q. (2008), Asian Pacific FRIEND: Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF); analysis for the Asia Pacific Region. *IHP-VII Technical Documents in Hydrology No.2*, Regional Steering Committee for Southeast Asia and the Pacific, UNESCO, Jakarta.

52. DHI (2017), MIKE URBAN – Tutorials. https://manuals.mikepowered/bydhi.help/2017/MIKE_Urban.htm
53. Eagleson P.S. (1970), *Dynamic Hydrology*, Mc Graw-Hill, New York.
54. Escritt L.B. (1972), *Sewerage and Sewage Disposal*, Macdonald & Evans, London.
55. Government of the Hong Kong special administrative region, drainage services department (2018), *Stormwater drainage manual - Planning, Design and management*.
56. Hershfield D.M. (1961), Estimating the Probable Maximum precipitation, *Journal of the Hydraulic Division*, 87(5), 99-116.
57. International Hydrological Programme IHP-VII (2008), Technical Documents in Hydrology, No. 2, 2008, “*Asian Pacific FRIEND, Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF), Analysis for the Asia Pacific Region*”, Edited by: Trevor M. Daniell and Guillermo Q. Tabios III, Reported by Regional Steering Committee for Southeast Asia and the Pacific, UNESCO Office, Jakarta.
58. Koutsoyiannis D., Kozonis D., Manetas A. (1998), A mathematical framework for studying rainfall Intensity-Duration-Frequency relationships, *J. Hydrology*, 206, 118-135.
59. Kuzuha Y., Komatsu Y., Tomosugi K., Kishii T. (2005), Regional Flood Frequency Analysis, Scaling and PUB, *Journal Japan Soc. Hydrol. & Water Resources*, 18(4), 441-458.
60. Le M.N., Tachikawa Y., Sayama T., Takara K. (2007), Regional rainfall intensity-durationfrequency relationships for ungauged catchments based on scaling properties. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ., No. 50B, 33–43.
61. Le M.N., Takahiro S., Yasuto T., Kaoru T. (2008), Development of region rainfall-intensity-duration curves base on scaling properties. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE, 52, 85-90.

62. Le M.N., Yasuto T., Kaoru T. (2006), Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. *Annals of Disas. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ., No. 49 B, 93-103.
63. Le M.N., Yasuto T., Kaoru T. (2007), A simple scaling characteristics of rainfall in time and space to derive intensity duration frequency relationships. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE (51), 73-78.
64. Maity R. (2018), *Statistical Methods in Hydrology and Hydroclimatology*, Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering, Springer, Singapore.
65. Martel J.L.; Brissette F.P., Picher P.L., Troin M., Arsenault R. (2021), Climate change and rainfall intensity–duration–frequency curves: Overview of science and guidelines for adaptation, *J. Hydrol. Eng.*, 26(10), 03121001.
66. Miller J.F., Frederick R.H., Tracey R.J. (1973), Precipitation Frequency Analysis of the Western United States. *NOAA Atlas 2*, National Weather Service, NOAA, U. S. Department of Commerce, Silver Spring.
67. Ministry of Housing and Urban Affairs, Government of India (2019), *Manual on storm water drainage systems*. Volume 1.
68. Ologadien I. (2019), Assesment of the impact of climate change on intensity – Duration – Frequency (IDF) equations in Bennin city. *Nigeria. International Journal of Hydrology*.
69. Saleh A.A. (2011), Developing an empirical formulae to estimate rainfall intensity in Riyadh region. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences.*, 23(2), 81-88.
70. Seong K.-W. (2013), Deriving a practical form of IDF formula using transformed rainfall intensities. *Hydrological Processes*, 28(6), 2881-2896.
71. Subramanya K. (1984), *Engineering Hydrology*. Tata McGraw-Hill, New Delhi.
72. Sun Y., Wendi D., Kim D.E., Liong S.-Y. (2019), Deriving intensity–duration–frequency (IDF) curves using downscaled in situ rainfall assimilated with remote sensing data. *Geosci. Lett.*, 6 (17).

73. Takara K., Le M.N. (2008), Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Analysis for the Asia Pasific Region, *Technical Documents in Hydrologyp*, No. 2, Asian Pasific FRIEND.
74. Trang B.T.T., Hanh N.T.H., Thuong N.T.H., Thuan N.V. (2018), Analysis of Storm Pattern for Design Urban Drainage System in the Monsoon Areas of Vietnam. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 7, 49-68.
75. Umesh C. K., Ramchandra J. G. (1992), Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formula for India. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(2), 323-336.
76. U.S Department of Transportation (2023), *Urban Drainage Design*. Publication No. FHWA-HIF-24-006.
77. Viesman W., Knapp J.W., Lewis G.L., Harbaugh T.E. (1977), *Introduction to Hydrology*, 2nd Edition, Harper & Row. New York.
78. Wenzel H.G (1982), Rainfall for stormwater urban design. In: Kibler D.F. Eds, *Urban Storm Water*.
79. White J.B (1978), *Waste water Engineering*. Edward Amold, London.
80. Yu P.S., Yang T.C., Lin C.S. (2004), Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall, *Journal of Hydrology*, 295(1-4), 108-123.

PHỤ LỤC

PHỤ LỤC TÍNH TOÁN

Phụ lục 1: Một số bảng trong các tài liệu tham khảo

Bảng PL1.1. Các thông số dùng trong công thức tính cường độ mưa trong TCVN 7957:2008 [3], [4]

STT	Tên tỉnh, thành phố	Các thông số			
		<i>A</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>
1	Bắc Kạn	8150	27	0.53	0.87
2	Bảo Lộc	11100	30	0.58	0.95
3	Buôn Ma Thuột	4920	20	0.62	0.85
4	Cà Mau	9210	25	0.48	0.92
5	Đà Nẵng	2170	10	0.52	0.65
6	Hà Giang	4640	22	0.42	0.79
7	Hà Nội	5890	20	0.65	0.84
8	Hạ Long	3720	16	0.42	0.73
9	Hải Dương	4260	18	0.42	0.78
10	Hoà Bình	5500	19	0.45	0.82
11	Huế	1610	12	0.55	0.55
12	Lào Cai	6210	22	0.58	0.84
13	Lai Châu	4200	16	0.5	0.8
14	Móng Cái	4860	20	0.46	0.79
15	Nam Định	4320	19	0.55	0.79

STT	Tên tỉnh, thành phố	Các thông số			
		<i>A</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>
16	Ninh Bình	4930	19	0.48	0.8
17	Nha Trang	1810	12	0.55	0.65
18	Hải Phòng	5950	21	0.55	0.82
19	Plâycu	7820	28	0.49	0.9
20	Phan Thiết	7070	25	0.55	0.92
21	Quảng Trị	2230	15	0.48	0.62
22	Quảng Ngãi	2590	16	0.58	0.67
23	Quy Nhơn	2610	14	0.55	0.68
24	Sơn La	4120	20	0.42	0.8
25	Sơn Tây	5210	19	0.62	0.82
26	Tuyên Quang	8670	30	0.55	0.87
27	Thái Nguyên	7710	28	0.52	0.85
28	Thái Bình	5220	19	0.45	0.81
29	Thanh Hoá	3640	19	0.53	0.72
30	Tuy Hoà	2820	15	0.48	0.72
31	TP. Hồ Chí Minh	11650	32	0.58	0.95
32	Việt Trì	5830	18	0.55	0.85
33	Vinh	3430	20	0.55	0.69
34	Yên Bái	7500	29	0.54	0.85

Bảng PL1.2. Các thông số tính toán cho công thức tính cường độ mưa của Cục thủy văn [3], [4]

STT	Tên trạm	Các thông số			
		<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>q</i> ₂₀
1	Bắc Cạn	25.66	0.2615	0.9142	256.6
2	Bắc Giang	26.92	0.2158	0.7082	423.4
3	Bảo Lộc	27.20	0.2251	1.0727	328.9
4	Ban Mê Thuật	12.09	0.2139	0.8996	224.7
5	Cửa Tùng	49.95	0.2999	0.7369	234.9
6	Cà Mau	13.29	0.2168	0.8872	310.5
7	Đô Lương	2.61	0.2431	0.6666	303.9
8	Đà Nẵng	2.64	0.3074	0.5749	226.5
9	Hà Giang	19.03	0.2115	0.7862	269.6
10	Hà Bắc	19.16	0.2534	0.8197	267.0
11	Hà Nội	11.61	0.2458	0.7951	289.9
12	Hòn Gai	11.30	0.2433	0.7374	303.6
13	Hoà Bình	11.30	0.2404	0.8016	295.0
14	Hưng Yên	18.32	0.2513	0.8158	280.7
15	Hải Dương	15.52	0.2587	0.7794	275.1
16	Hà Nam	19.66	0.2431	0.8145	274.0
17	Thanh Hoá	11.00	0.2730	0.7003	262.1
18	Huế	4.07	0.2603	0.5430	239.3
19	Lào Cai	15.92	0.2528	0.8092	266.3
20	Lai Châu	11.64	0.2186	0.7446	225.4
21	Liên Khương	31.52	0.2321	1.0230	240.9
22	Móng Cái	25.24	0.2485	0.7325	342.6
23	Nam Định	11.73	0.2409	0.7607	252.7

STT	Tên trạm	Các thông số			
		<i>b</i>	<i>c</i>	<i>n</i>	<i>q</i> ₂₀
24	Ninh Bình	17.01	0.2477	0.7945	310.5
25	Nha Trang	12.90	0.2738	0.8768	156.4
26	Phủ Liễn	21.48	0.2530	0.8434	283.4
27	Plâycu	19.06	0.2329	0.8990	242.2
28	Phan Thiết	20.01	0.2533	0.9064	187.0
29	Quảng Trị	6.21	0.2513	0.5843	216.3
30	Quảng Ngãi	24.51	0.2871	0.746	259.5
31	Quy Nhơn	14.61	0.2745	0.6943	216.3
32	Sapa	6.58	0.1781	0.6075	173.8
33	Son La	12.45	0.2489	0.8677	217.3
34	Son Tây	8.51	0.2314	0.7403	298.0
35	Sóc Trăng	20.05	0.2291	0.9281	261.9
36	Tuyên Quang	28.87	0.2483	0.9316	274.4
37	Thái Nguyên	17.47	0.257	0.79/7	382.5
38	Tam Đảo	3.42	0.165	0.6693	346.0
39	Thái Bình	17.85	0.2497	0.787	305.6
40	Tây Hiếu	13.54	0.2506	0.7785	247.7
41	Tuy Hoà	3.57	0.34	0.6972	197.2
42	Tân Sơn Nhất	28.53	0.2286	1.075	302.4
43	Việt Trì	20.04	0.248	0.9076	306.6
44	Vĩnh Yên	17.81	0.2451	0.8267	279.4
45	Văn Lý	19.12	0.2491	0.7708	287.3
46	Vinh	14.87	0.2827	0.678	279.1
47	Yên Bái	21.64	0.2367	0.8362	293.4

Bảng PL1.3. Dung tích chứa nước hệ thống hồ Hà Nội [9]

Số TT	Tên hồ	Diện tích (ha)	Hmin điều tiết(m)	Zbờ (m)	Dung tích chứa tối đa (m ³)
1	Giảng Võ	8,4	3,5	6,2	184.8
2	Ngọc Khánh	4,5	3,5	5,9	85.5
3	Thành Công	6,5	3,5	6,0	130
4	Láng Thượng	3,3	3,5	6,0	72.6
5	Hào Nam	2,8	3,5	5,8	50.4
6	Đống Đa	18,6	3,5	5,6	297.6
7	Nghĩa Đô1	5,2	3,5	6,2	114.4
8	Văn Chương	4,1	3,5	5,7	69.7
9	Thổ Quan	1,5	3,5	5,6	24
10	Trung Tự	5,1	3,5	5,9	86.7
11	Phương Liệt1	5,6	3,5	5,3	72.8
12	Phương Liệt 2	1,9	3,5	5,2	22.8
13	Thiên Quang	5,2	3,5	6,2	114.4
14	Bảy Mẫu	23,1	3,5	5,9	438.9
15	Trại Cá	4,7	3,5	5,4	65.8
16	Làng Tám	1,9	3,5	5,4	26.6
17	Thanh Liệt	13,2	3,5	5,0	132
18	Đầm Sét	3,6	3,5	5,0	3.6
19	Thanh Nhàn 1	8,5	3,5	6,2	187
20	Thanh Nhàn 2	4,0	3,5	6,2	88
	Tổng cộng	131,7			2300000

Bảng PL1.4. Mạng lưới trạm khí tượng và đo mưa khu vực Hà Nội [5]

TT	Tên Trạm	Tỉnh	Toạ độ		Liệt tài liệu		Ghi chú
			Kinh độ	Vĩ Độ	Mưa	Khí tượng	
1	Ba Thá	Hà Nội	105 ⁰ 42	20 ⁰ 49	1960-2023		Trạm, điểm đo mưa
2	Ba Vì	Hà Nội	105 ⁰ 26	21 ⁰ 06	1970-2023	70-08	Trạm KT cơ bản
3	Chúc Sơn	Hà Nội	105 ⁰ 41	20 ⁰ 55	1961-1990		Trạm, điểm đo mưa
4	Đập Đáy	Hà Nội	105 ⁰ 39	21 ⁰ 05	1957-1997		Trạm, điểm đo mưa
5	Đồng Quan	Hà Nội	105 ⁰ 51	20 ⁰ 59	1960-1982		Trạm, điểm đo mưa
6	Hà Đông	Hà Nội	105 ⁰ 46	20 ⁰ 58	1957-2023	60-23	Trạm KT cơ bản
7	Láng	Hà Nội	105 ⁰ 48	21 ⁰ 01	1956-2023	60-23	Trạm KT cơ bản
8	Mỹ Đức	Hà Nội	105 ⁰ 44	20 ⁰ 41	71-81,85-97		Trạm, điểm đo mưa
9	Phù Cát	Hà Nội	105 ⁰ 34	20 ⁰ 58	1960-1990		Trạm, điểm đo mưa

TT	Tên Trạm	Tỉnh	Toạ độ		Liệt tài liệu		Ghi chú
			Kinh độ	Vĩ Độ	Mưa	Khí tượng	
10	Phú Xuyên	Hà Nội	105 ⁰ 54	20 ⁰ 45	60-91, 93-08		Trạm, điểm đo mưa
11	Quốc Oai	Hà Nội	105 ⁰ 38	20 ⁰ 59	1960- 2023		Trạm, điểm đo mưa
12	Sơn Tây	Hà Nội	105 ⁰ 30	21 ⁰ 08	1956- 2023	59-08	Trạm KT cơ bản
13	Thạch Thất	Hà Nội	105 ⁰ 35	21 ⁰ 03	1960- 2023		Trạm, điểm đo mưa
14	Thanh Oai	Hà Nội	105 ⁰ 46	20 ⁰ 54	1960- 2023		Trạm, điểm đo mưa
15	Thường Tín	Hà Nội	105 ⁰ 53	20 ⁰ 54	1960- 2023		Trạm, điểm đo mưa
16	Vân Đình	Hà Nội	105 ⁰ 46	20 ⁰ 44	60-87, 89-08		Trạm, điểm đo mưa
17	Xuân Mai	Hà Nội	105 ⁰ 35	20 ⁰ 55	1960- 2023		Trạm, điểm đo mưa

Bảng PL1.5. Một số công thức tính toán cường độ mưa thường được sử dụng trên thế giới và Việt Nam

STT	Tên công thức	Công thức	Ý nghĩa các ký hiệu
1	Bernard	$I = \frac{a}{T_d^n}$	- I là cường độ mưa - T_d là thời gian duy trì - a, n là các thông số theo điều kiện địa phương
2	Bernard cải tiến	$I = \begin{cases} \frac{a}{T_d^{n_1}}, & t_d \leq T \\ \frac{a}{T_d^{n_2}}, & t_d > T \end{cases}$	- t_d là điểm uốn - a, n_1, n_2 là các thông số theo điều kiện địa phương
3	Wenzel	$I = \frac{c}{T_d^e + f}$	- c, e, f là các thông số theo điều kiện địa phương
4	Kimijima	$I = \frac{a}{T_d^c + b}$	- a, b, c là các thông số theo điều kiện địa phương
5	Talbot	$I = \frac{a}{T_d + b}$	- a, b là các thông số theo điều kiện địa phương
6	Sherman	$I = \frac{a}{(T_d + b)^c}$	- a, b, c là các thông số theo điều kiện địa phương
7	Sherman cải tiến	$I = \frac{aT^b}{(T_d + c)^e}$	- a, b, c, e là các thông số theo điều kiện địa phương
8	Le & nnk	$I(d, T) = \frac{a + b \left[-\ln \left(\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right]}{d^c}$	- a, b, c là các thông số theo điều kiện địa phương
9	TCVN	$q = \frac{A(1 + C \lg P)}{(t + b)^n}$	- q là cường độ mưa - t là thời gian duy trì - P là chu kỳ lặp lại - A, b, C, n là các tham số xác định theo điều kiện địa phương

Bảng PL1.6. Bảng giá trị K trong phân phối Pearson III [64]

Hệ số bất đối xứng C_s	Khoảng thời gian lặp lại P (năm)							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
3	-0.667	-0.396	0.42	1.18	2.278	3.152	4.051	4.97
2.9	-0.69	-0.39	0.44	1.195	2.277	3.134	4.013	4.904
2.8	-0.714	-0.384	0.46	1.21	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.74	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.36	0.518	1.25	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.8	4.584
2.3	-0.867	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.33	0.574	1.284	2.24	2.97	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.319	0.592	1.294	2.23	2.942	3.656	4.372
2	-0.99	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.294	0.627	1.31	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.14	-0.268	0.66	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.78	3.388	3.99
1.5	-1.256	-0.24	0.69	1.333	2.146	2.743	3.33	3.91
1.4	-1.318	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-0.21	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-0.195	0.732	1.34	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-0.18	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1	-1.588	-0.164	0.758	1.34	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.66	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-0.132	0.78	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-0.116	0.79	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223

PL10

Hệ số bất đôi xứng C_s	Khoảng thời gian lặp lại P (năm)							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
0.6	-1.88	-0.099	0.8	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-0.083	0.808	1.323	1.91	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-0.066	0.816	1.317	1.88	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-0.05	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-0.033	0.83	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.4	2.67
0	-2.326	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.4	0.017	0.846	1.27	1.716	2	2.252	2.482
-0.2	-2.472	0.033	0.85	1.258	1.68	1.945	2.178	2.388
-0.3	-2.544	0.05	0.853	1.245	1.643	1.89	2.104	2.294
-0.4	-2.615	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	0.099	0.857	1.2	1.528	1.72	1.88	2.016
-0.7	-2.824	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.66	1.749
-1	-3.022	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	0.18	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.149	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	0.21	0.838	1.064	1.24	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	0.225	0.832	1.041	1.198	1.27	1.318	1.351
-1.5	-3.33	0.24	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.88	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.444	0.268	0.808	0.97	1.075	1.116	1.14	1.155
-1.8	-3.499	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097

PL11

Hệ số bất đối xứng C_s	Khoảng thời gian lặp lại P (năm)							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
-1.9	-3.553	0.294	0.788	0.92	0.996	1.023	1.037	1.044
-2	-3.605	0.307	0.777	0.895	0.959	0.98	0.99	0.995
-2.1	-3.656	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.705	0.33	0.752	0.844	0.888	0.9	0.905	0.907
-2.3	-3.753	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.8	0.351	0.725	0.795	0.823	0.83	0.832	0.833
-2.5	-3.845	0.36	0.711	0.711	0.793	0.798	0.799	0.8
-2.6	-3.899	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.932	0.376	0.681	0.724	0.738	0.74	0.74	0.741
-2.8	-3.973	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	0.39	0.651	0.681	0.683	0.689	0.69	0.69
-3	-4.051	0.396	0.636	0.66	0.666	0.666	0.667	0.667

Phụ lục 2: So sánh sự phù hợp của các phân phối với số liệu đo mưa của trạm Láng

Bảng PL2.1. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 10 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 14.6	0.015	0.96	2	1.142
14.6-20	0.244	15.37	15	0.009
20-25.4	0.388	24.44	26	0.100
25.4-30.8	0.222	13.99	10	1.136
30.8-36.2	0.087	5.46	7	0.434
> 36.2	0.044	2.79	3	0.016
	1	63	63	2.837

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 14.6	0.037	2.36	2	0.054
14.6-20	0.238	14.99	15	0.000
20-25.4	0.371	23.35	26	0.302
25.4-30.8	0.257	16.19	10	2.366
30.8-36.2	0.059	3.70	7	2.931
> 36.2	0.038	2.41	3	0.144
	1	63	63	5.797

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 14.6	0.037	2.31	2	0.042
14.6-20	0.233	14.69	15	0.006
20-25.4	0.363	22.88	26	0.426
25.4-30.8	0.279	17.57	10	3.262
30.8-36.2	0.059	3.74	7	2.837
> 36.2	0.029	1.80	3	0.791
	1	63	63	7.365

Bảng PL2.2. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 15 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 20	0.042	2.63	2	0.152
20-27.6	0.345	21.70	20	0.134
27.6-35.3	0.369	23.26	27	0.603
35.3-42.9	0.164	10.33	9	0.171
42.9-50.5	0.056	3.51	3	0.074
> 50.5	0.025	1.57	2	0.120
	1	63	63	1.255

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 20	0.051	3.24	2	0.476
20-27.6	0.335	21.10	20	0.058
27.6-35.3	0.355	22.38	27	0.954
35.3-42.9	0.175	11.04	9	0.377
42.9-50.5	0.061	3.83	3	0.181
> 50.5	0.022	1.40	2	0.258
	1	63	63	2.304

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 20	0.050	3.18	2	0.437
20-27.6	0.328	20.68	20	0.023
27.6-35.3	0.348	21.93	27	1.171
35.3-42.9	0.199	12.55	9	1.005
42.9-50.5	0.061	3.87	3	0.196
> 50.5	0.012	0.78	2	1.893
	1	63	63	4.725

Bảng PL2.3. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 30 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 30.2	0.044	2.78	3	0.018
30.2-41.2	0.338	21.31	23	0.133
41.2-52.2	0.361	22.77	17	1.462
52.2-63.2	0.169	10.65	15	1.773
63.2-74.2	0.059	3.74	4	0.017
> 74.2	0.028	1.74	1	0.317
	1	63	63	3.721

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 30.2	0.078	4.89	3	0.731
30.2-41.2	0.278	17.54	23	1.700
41.2-52.2	0.354	22.32	17	1.268
52.2-63.2	0.203	12.82	15	0.371
63.2-74.2	0.068	4.30	4	0.021
> 74.2	0.018	1.13	1	0.016
	1	63	63	4.107

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 30.2	0.076	4.79	3	0.670
30.2-41.2	0.273	17.19	23	1.965
41.2-52.2	0.347	21.87	17	1.086
52.2-63.2	0.227	14.29	15	0.035
63.2-74.2	0.069	4.34	4	0.027
> 74.2	0.008	0.51	1	0.457
	1	63	63	4.241

Bảng PL2.4. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 45 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 36.5	0.063	3.96	3	0.233
36.5-50.5	0.347	21.83	24	0.216
50.5-64.5	0.340	21.43	22	0.015
64.5-78.5	0.162	10.18	7	0.994
78.5-92.5	0.059	3.73	6	1.375
> 92.5	0.030	1.86	1	0.401
	1	63	63	3.233

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 36.5	0.088	5.53	3	1.159
36.5-50.5	0.307	19.33	24	1.129
50.5-64.5	0.331	20.87	22	0.061
64.5-78.5	0.183	11.56	7	1.798
78.5-92.5	0.067	4.22	6	0.747
> 92.5	0.024	1.49	1	0.160
	1	63	63	5.054

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 36.5	0.086	5.42	3	1.081
36.5-50.5	0.301	18.94	24	1.351
50.5-64.5	0.325	20.45	22	0.117
64.5-78.5	0.207	13.05	7	2.803
78.5-92.5	0.068	4.27	6	0.705
> 92.5	0.014	0.87	1	0.019
	1	63	63	6.075

Bảng PL2.5. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 60 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 49.9	0.164	10.35	9	0.175
49.9-67.9	0.397	25.04	30	0.983
67.9-85.9	0.270	17.02	15	0.239
85.9-103.9	0.111	7.00	5	0.571
103.9-121.9	0.039	2.43	3	0.136
> 121.9	0.019	1.17	1	0.025
	1	63	63	2.130

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 49.9	0.180	11.32	9	0.477
49.9-67.9	0.390	24.55	30	1.209
67.9-85.9	0.271	17.06	15	0.250
85.9-103.9	0.120	7.56	5	0.868
103.9-121.9	0.022	1.41	3	1.780
> 121.9	0.017	1.08	1	0.006
	1	63	63	4.591

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 49.9	0.176	11.10	9	0.397
49.9-67.9	0.382	24.06	30	1.466
67.9-85.9	0.265	16.72	15	0.178
85.9-103.9	0.146	9.23	5	1.936
103.9-121.9	0.023	1.43	3	1.731
> 121.9	0.007	0.46	1	0.621
	1	63	63	6.329

Bảng PL2.6. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 90 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 53.1	0.146	9.20	9	0.004
53.1-73.7	0.405	25.49	30	0.797
73.7-94.4	0.281	17.72	15	0.418
94.4-115	0.113	7.09	4	1.349
115-135.7	0.038	2.39	4	1.076
> 135.7	0.017	1.10	1	0.009
	1	63	63	3.652

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 53.1	0.154	9.73	9	0.055
53.1-73.7	0.399	25.13	30	0.945
73.7-94.4	0.281	17.68	15	0.406
94.4-115	0.118	7.43	4	1.585
115-135.7	0.031	1.96	4	2.112
> 135.7	0.017	1.06	1	0.004
	1	63	63	5.108

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 53.1	0.154	9.73	9	0.055
53.1-73.7	0.393	24.78	30	1.101
73.7-94.4	0.269	16.98	15	0.230
94.4-115	0.125	7.88	4	1.913
115-135.7	0.051	3.18	4	0.210
> 135.7	0.007	0.44	1	0.694
	1	63	63	4.203

Bảng PL2.7. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 120 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 59	0.209	13.18	10	0.765
59-85.5	0.450	28.36	33	0.758
85.5-112.1	0.236	14.88	14	0.052
112.1-138.7	0.076	4.77	5	0.011
138.7-165.2	0.021	1.33	0	1.326
> 165.2	0.008	0.49	1	0.537
	1	63	63	3.450

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 59	0.216	13.60	10	0.955
59-85.5	0.482	30.39	33	0.225
85.5-112.1	0.204	12.84	14	0.105
112.1-138.7	0.054	3.43	5	0.717
138.7-165.2	0.023	1.47	0	1.465
> 165.2	0.020	1.28	1	0.060
	1	63	63	3.528

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 59	0.214	13.47	10	0.893
59-85.5	0.477	30.08	33	0.283
85.5-112.1	0.202	12.71	14	0.131
112.1-138.7	0.054	3.40	5	0.757
138.7-165.2	0.043	2.69	0	2.685
> 165.2	0.010	0.66	1	0.174
	1	63	63	4.924

Bảng PL2.8. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 180 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 71.7	0.338	21.31	23	0.133
71.7-106.3	0.439	27.65	27	0.015
106.3-140.8	0.166	10.43	12	0.235
140.8-175.3	0.044	2.74	0	2.741
175.3-209.9	0.010	0.66	0	0.659
> 209.9	0.003	0.20	1	3.174
	1	63	63	6.958

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 71.7	0.401	25.24	23	0.198
71.7-106.3	0.427	26.90	27	0.000
106.3-140.8	0.109	6.87	12	3.828
140.8-175.3	0.042	2.62	0	2.615
175.3-209.9	0.014	0.90	0	0.895
> 209.9	0.008	0.48	1	0.573
	1	63	63	8.110

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 71.7	0.397	24.98	23	0.158
71.7-106.3	0.423	26.63	27	0.005
106.3-140.8	0.108	6.80	12	3.971
140.8-175.3	0.041	2.59	0	2.589
175.3-209.9	0.014	0.89	0	0.886
> 209.9	0.017	1.10	1	0.009
	1	63	63	7.618

Bảng PL2.9. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 360 phút tại trạm Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 100.4	0.527	33.21	33	0.001
100.4-152.8	0.334	21.07	24	0.408
152.8-205.3	0.099	6.21	5	0.236
205.3-257.7	0.023	1.46	0	1.456
257.7-310.1	0.005	0.33	0	0.326
> 310.1	0.011	0.72	1	0.107
	1	63	63	2.534

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 100.4	0.611	38.49	33	0.783
100.4-152.8	0.313	19.71	24	0.933
152.8-205.3	0.026	1.67	5	6.647
205.3-257.7	0.023	1.46	0	1.458
257.7-310.1	0.009	0.59	0	0.592
> 310.1	0.017	1.08	1	0.006
	1	63	63	10.419

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 100.4	0.605	38.10	33	0.684
100.4-152.8	0.310	19.51	24	1.031
152.8-205.3	0.026	1.65	5	6.782
205.3-257.7	0.023	1.44	0	1.443
257.7-310.1	0.009	0.59	0	0.586
> 310.1	0.027	1.70	1	0.289
	1	63	63	10.814

Bảng PL2.10. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 720 phút tại trạm
Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 122.3	0.512	32.25	34	0.095
122.3-180.6	0.345	21.73	23	0.075
180.6-238.9	0.113	7.10	4	1.351
238.9-297.2	0.020	1.29	1	0.064
297.2-355.5	0.008	0.48	0	0.481
> 355.5	0.003	0.16	1	4.376
	1	63	63	6.443

Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 122.3	0.632	39.82	34	0.851
122.3-180.6	0.233	14.68	23	4.714
180.6-238.9	0.086	5.42	4	0.373
238.9-297.2	0.029	1.83	1	0.375
297.2-355.5	0.012	0.73	0	0.728
> 355.5	0.008	0.52	1	0.446
	1	63	63	7.488

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 122.3	0.626	39.42	34	0.746
122.3-180.6	0.231	14.53	23	4.931
180.6-238.9	0.085	5.37	4	0.349
238.9-297.2	0.029	1.81	1	0.362
297.2-355.5	0.011	0.72	0	0.721
> 355.5	0.018	1.14	1	0.018
	1	63	63	7.127

Bảng PL2.11. Kết quả kiểm tra χ^2 cho số liệu mưa thời đoạn 1440 phút tại trạm

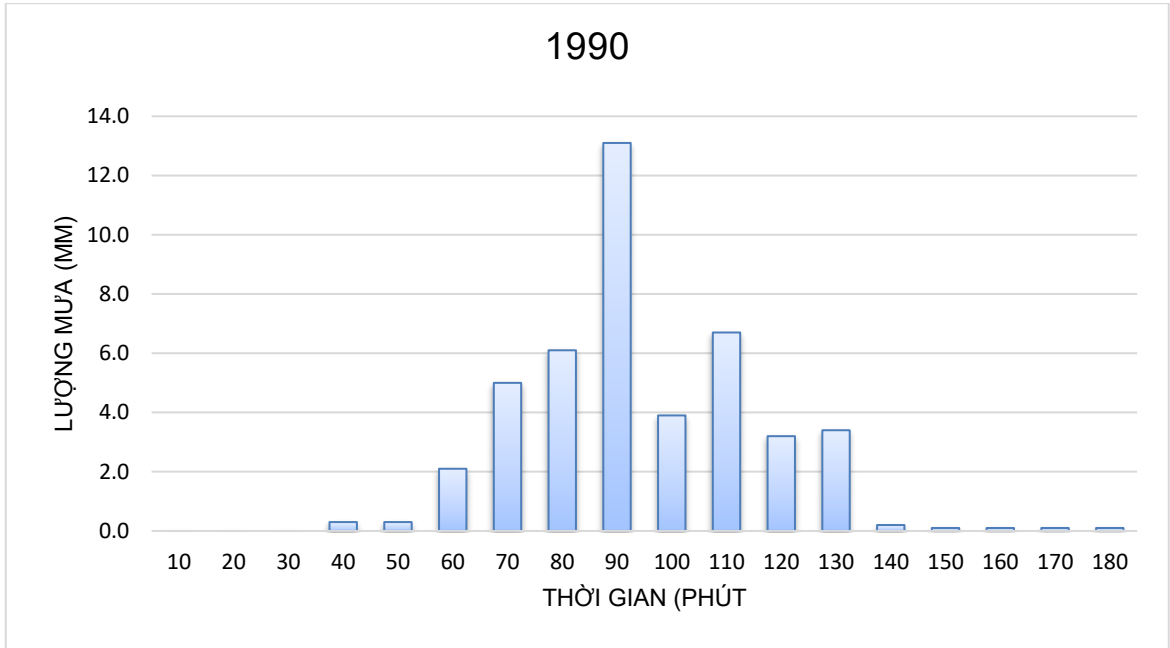
Láng

Phân phối Gumbel				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 151.2	0.565	35.57	38	0.166
151.2-233.6	0.317	19.96	20	0.000
233.6-316.1	0.105	6.63	3	1.987
316.1-398.6	0.004	0.24	0	0.236
398.6-481	0.007	0.45	1	0.671
> 481	0.002	0.15	1	4.678
	1	63	63	7.739

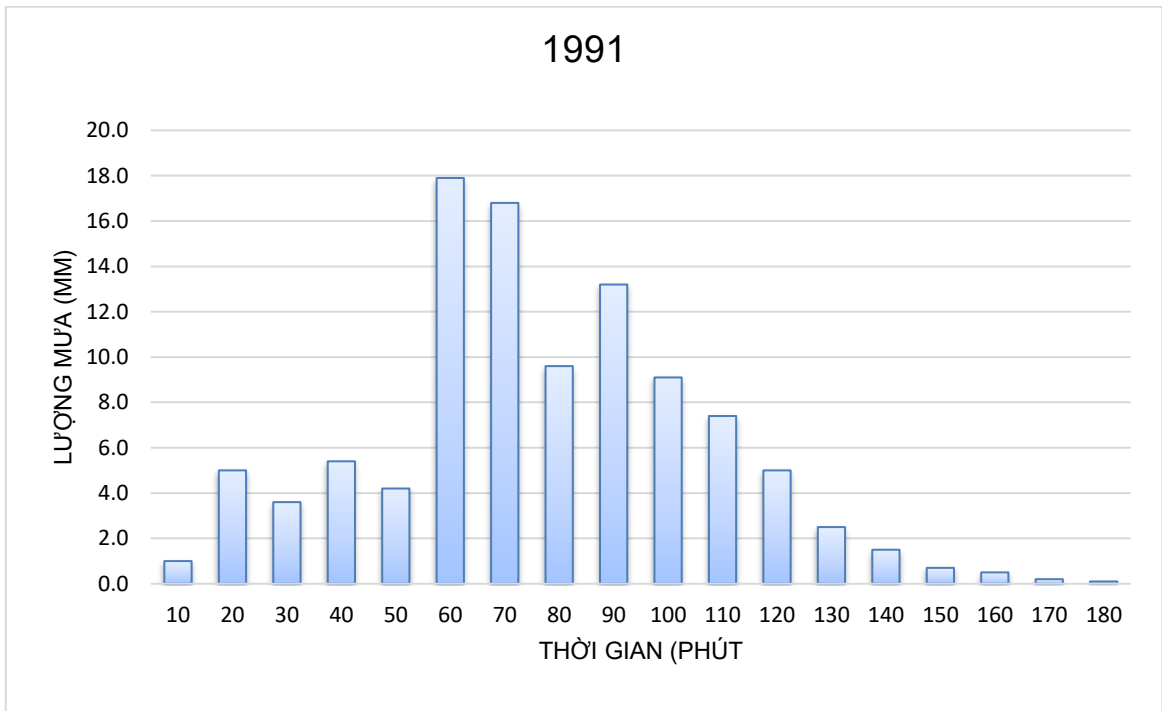
Phân phối Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 151.2	0.684	43.08	38	0.599
151.2-233.6	0.207	13.06	20	3.685
233.6-316.1	0.067	4.25	3	0.366
316.1-398.6	0.026	1.66	0	1.665
398.6-481	0.011	0.70	1	0.128
> 481	0.004	0.25	1	2.311
	1	63	63	8.754

Phân phối Log- Pearson III				
Khoảng giá trị	Xác suất lý thuyết	E_f	O_f	χ^2
< 151.2	0.663	41.79	38	0.343
151.2-233.6	0.201	12.67	20	4.241
233.6-316.1	0.065	4.12	3	0.304
316.1-398.6	0.031	1.93	0	1.925
398.6-481	0.006	0.37	1	1.079
> 481	0.034	2.13	1	0.598
	1	63	63	8.490

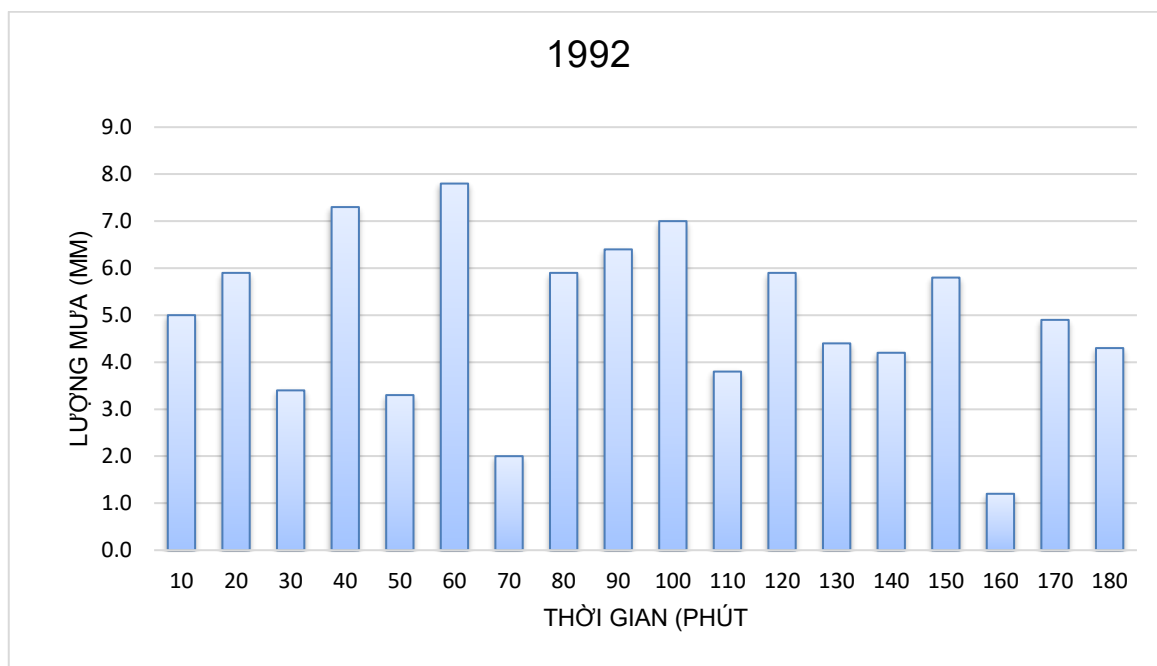
Phụ lục 3: Quá trình mưa thời đoạn 10 phút của các trận mưa 180 phút lớn nhất năm theo số liệu quan trắc từ 1990-2023



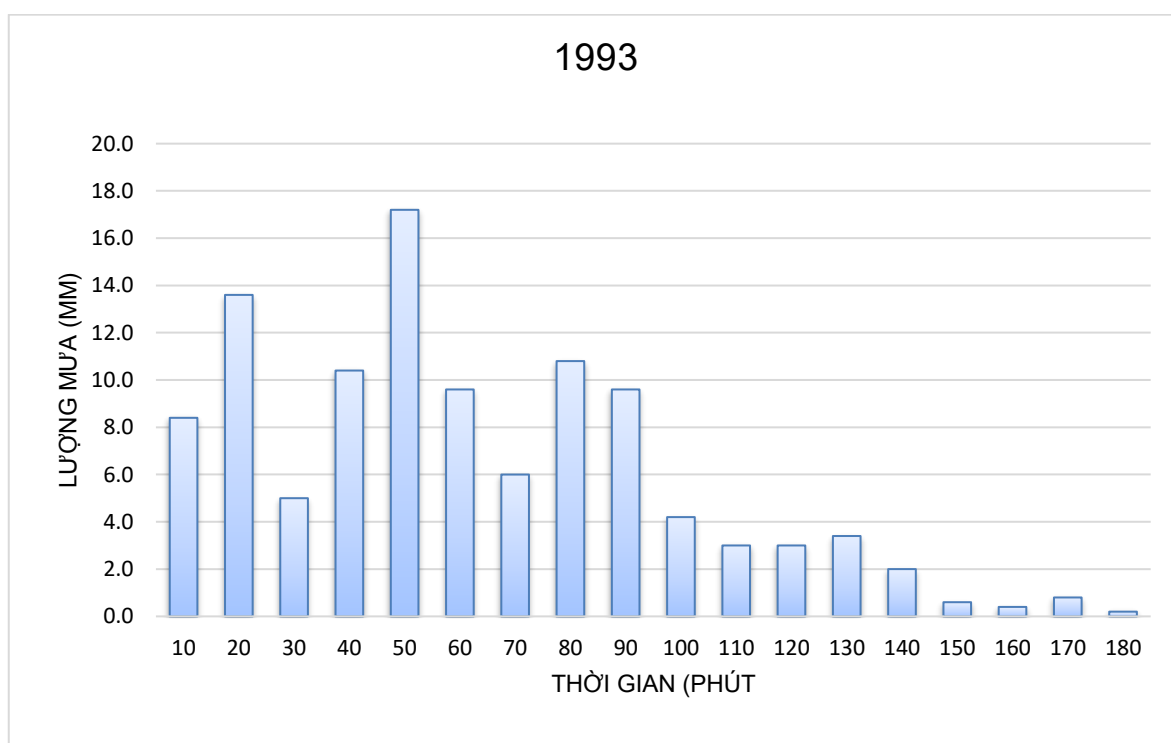
Hình PL3.1. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 1990



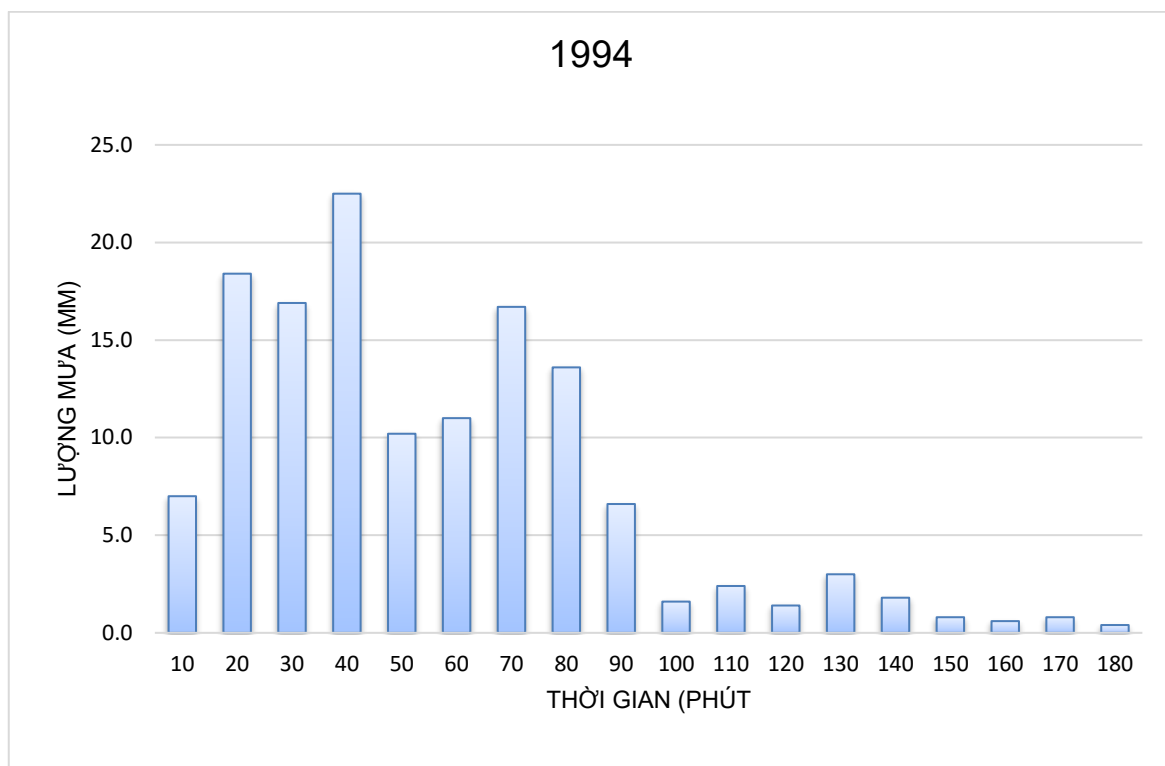
Hình PL3.2. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 1991



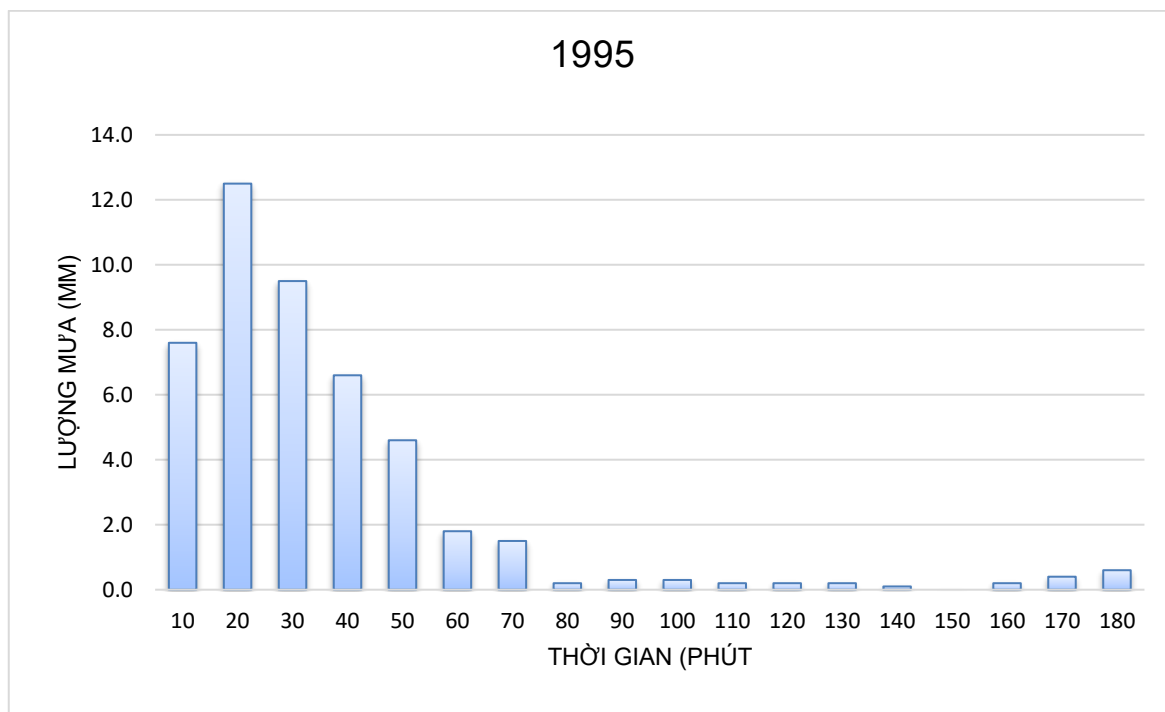
Hình PL3.3. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trên mưa 180 phút lớn nhất năm 1992



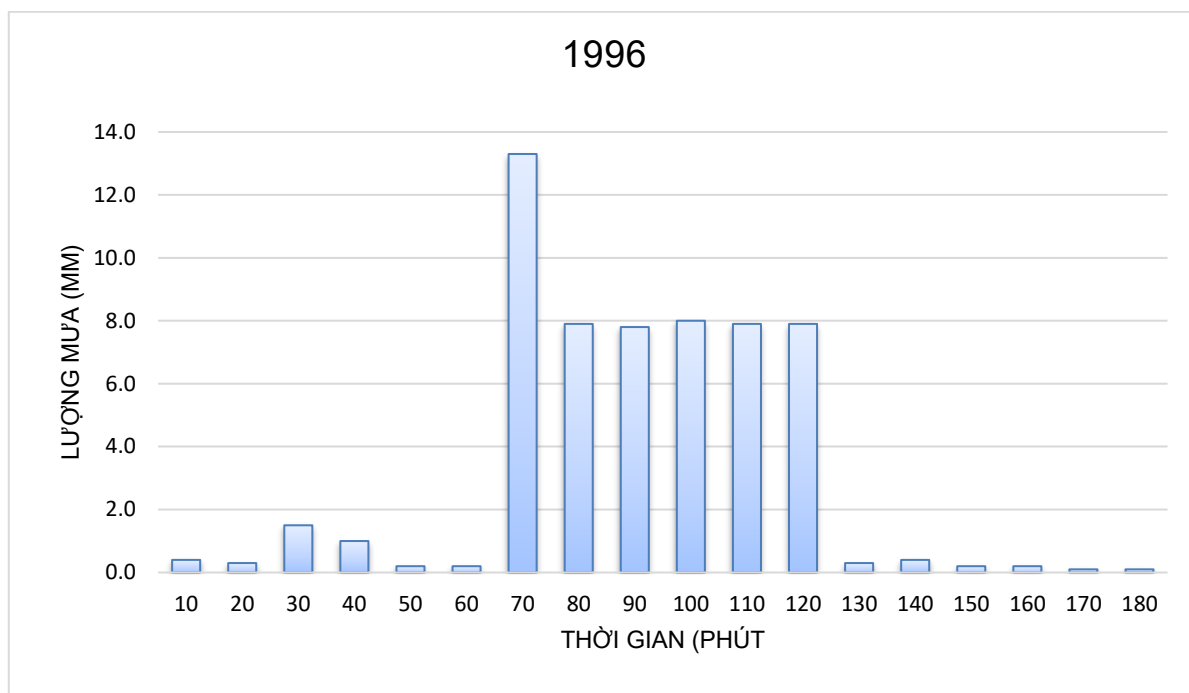
Hình PL3.4. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trên mưa 180 phút lớn nhất năm 1993



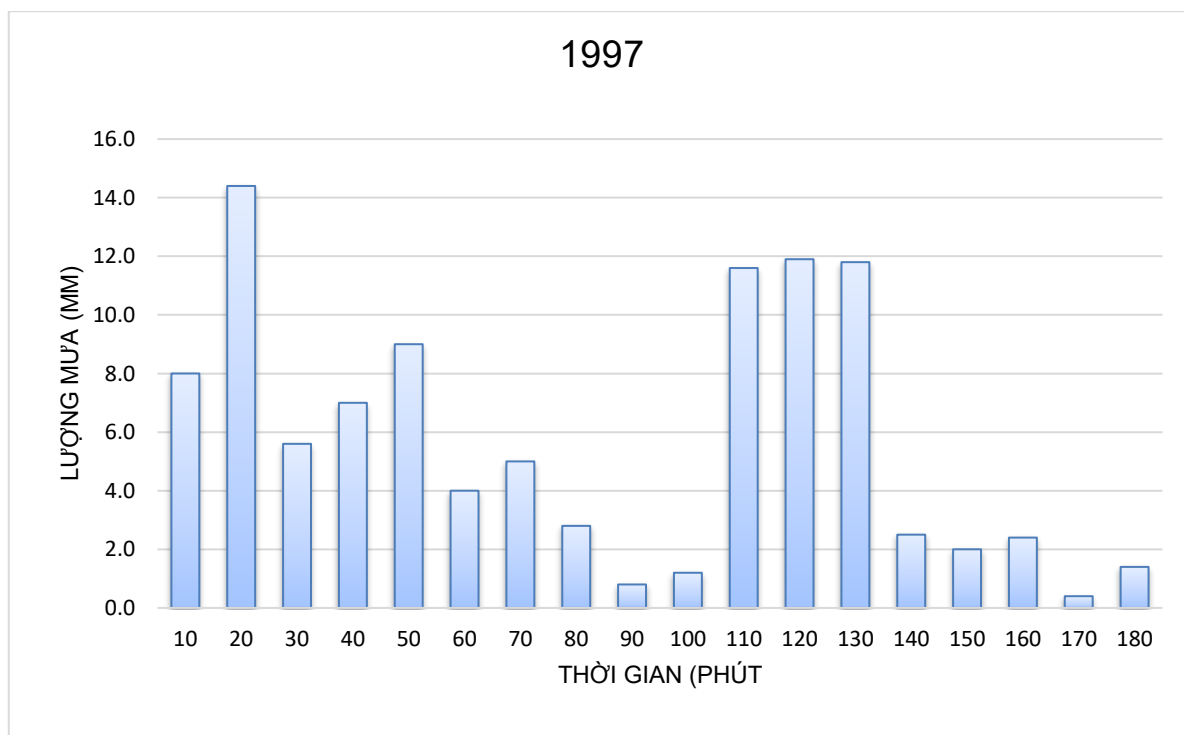
Hình PL3.5. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 1994



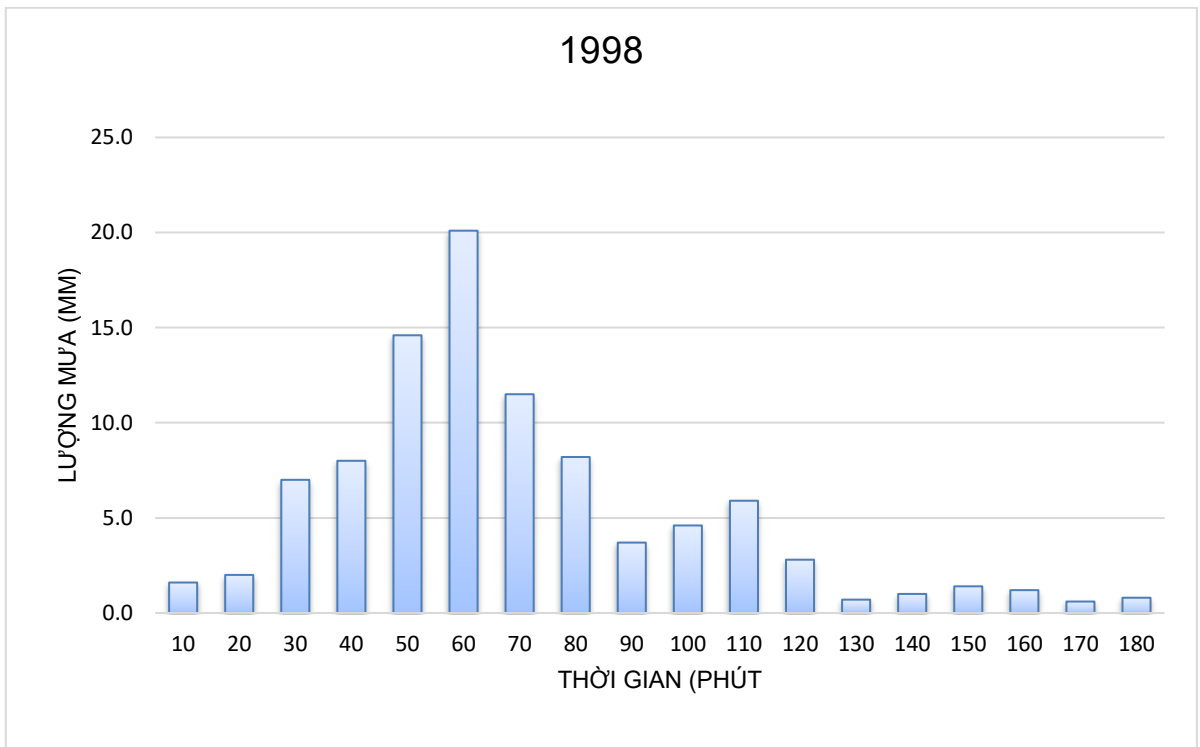
Hình PL3.6. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 1995



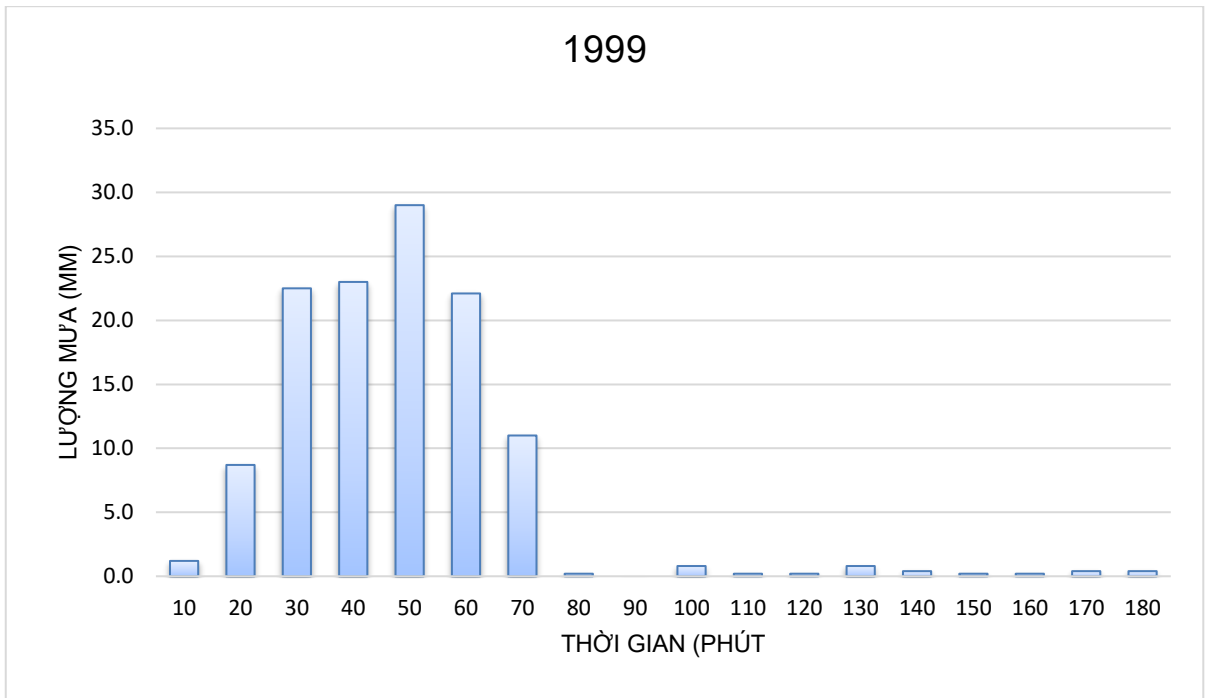
Hình PL3.7. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 1996



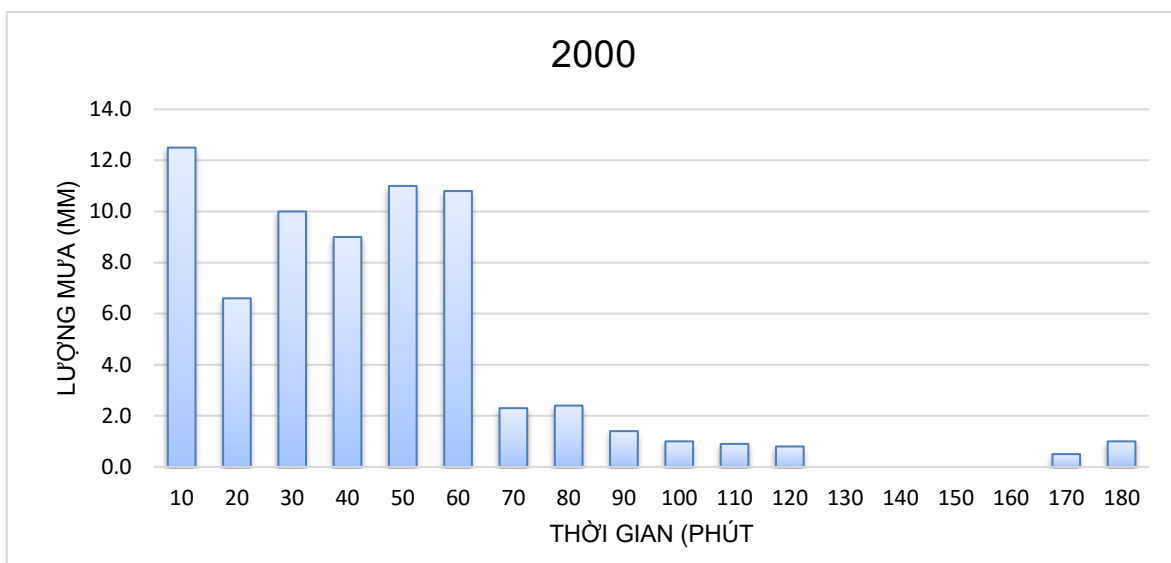
Hình PL3.8. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 1997



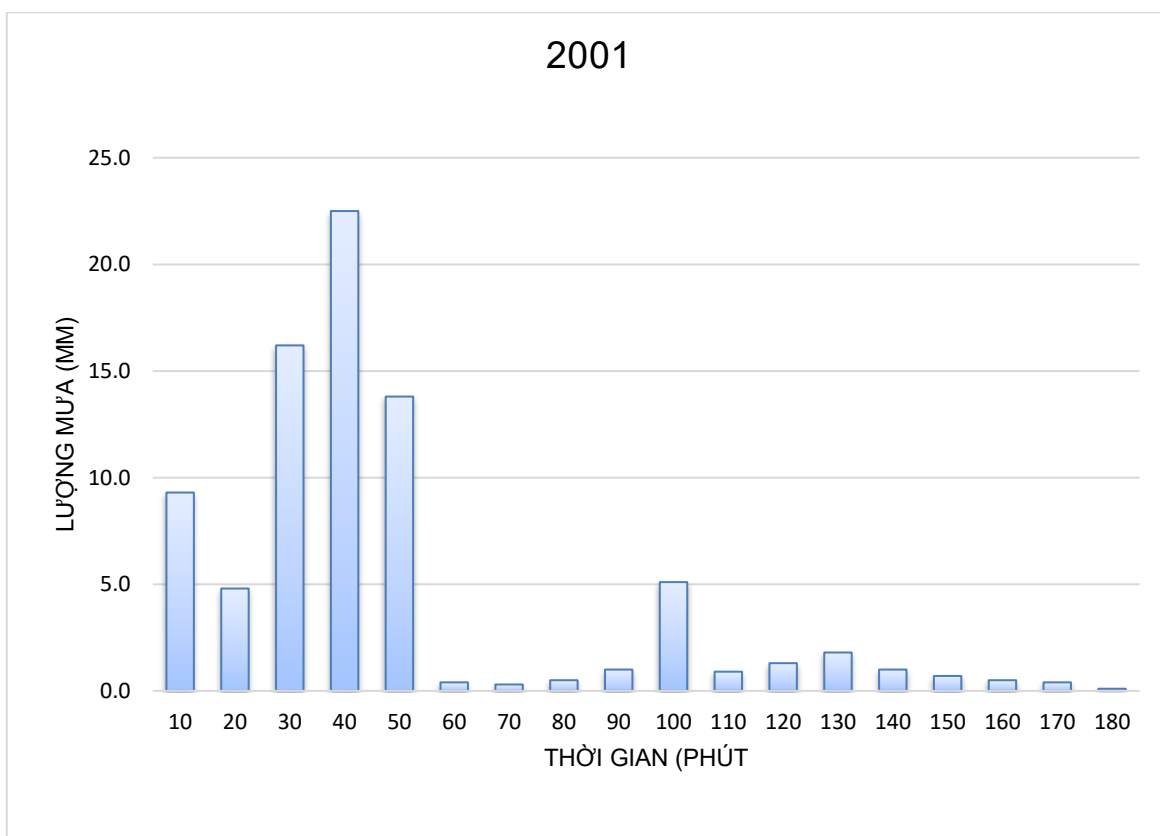
Hình PL3.9. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 1998



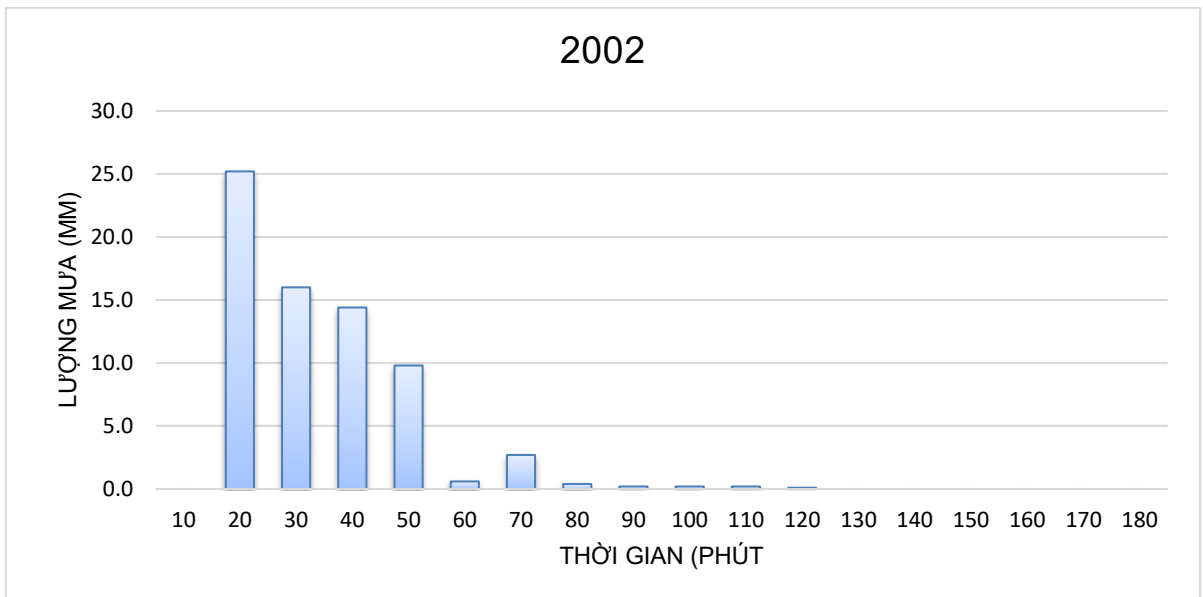
Hình PL3.10. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 1999



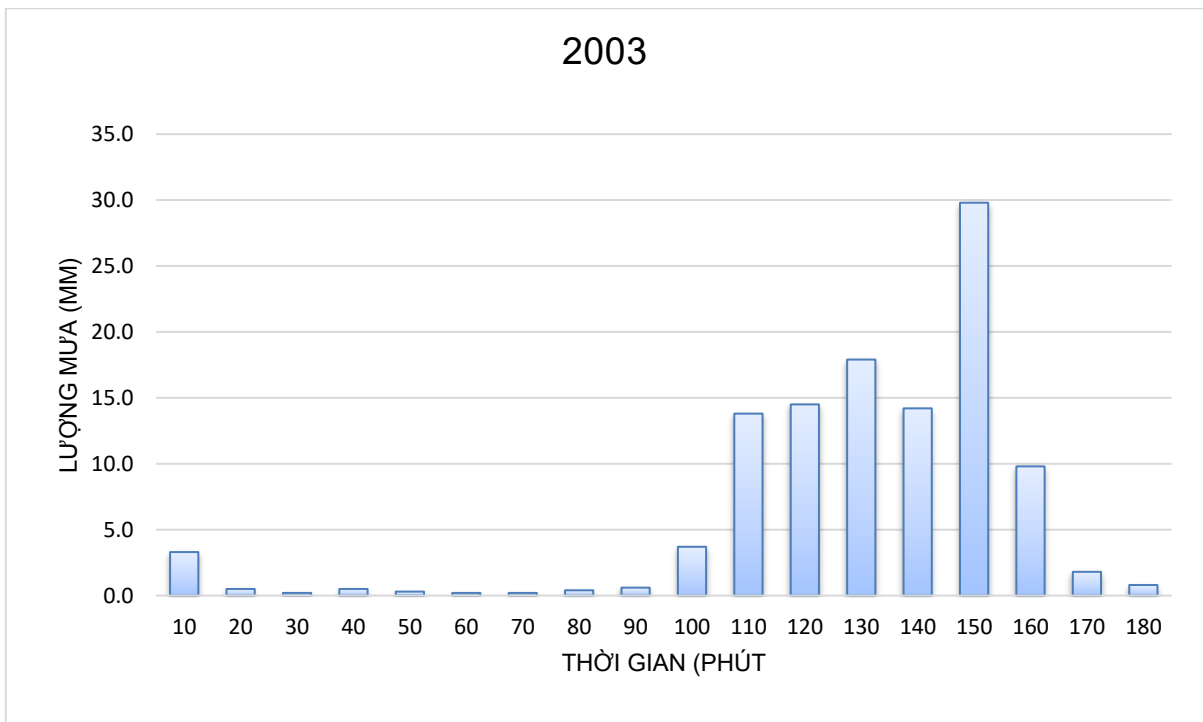
Hình PL3.11. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2000



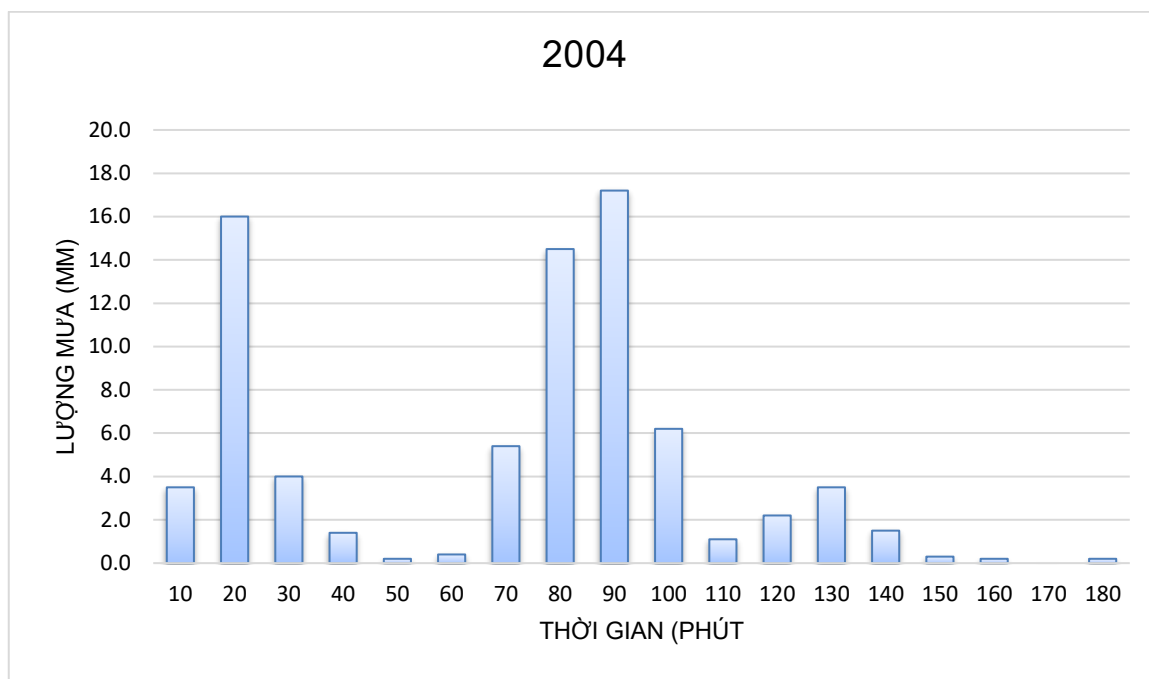
Hình PL3.12. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2001



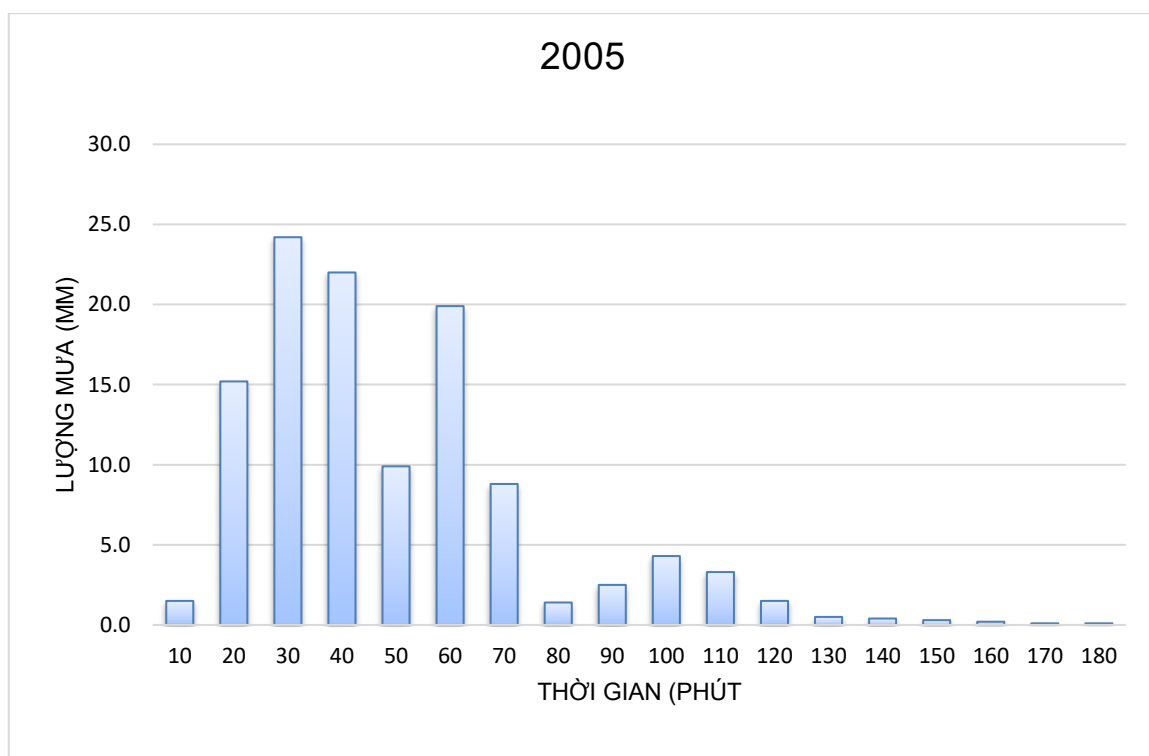
Hình PL3.13. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2002



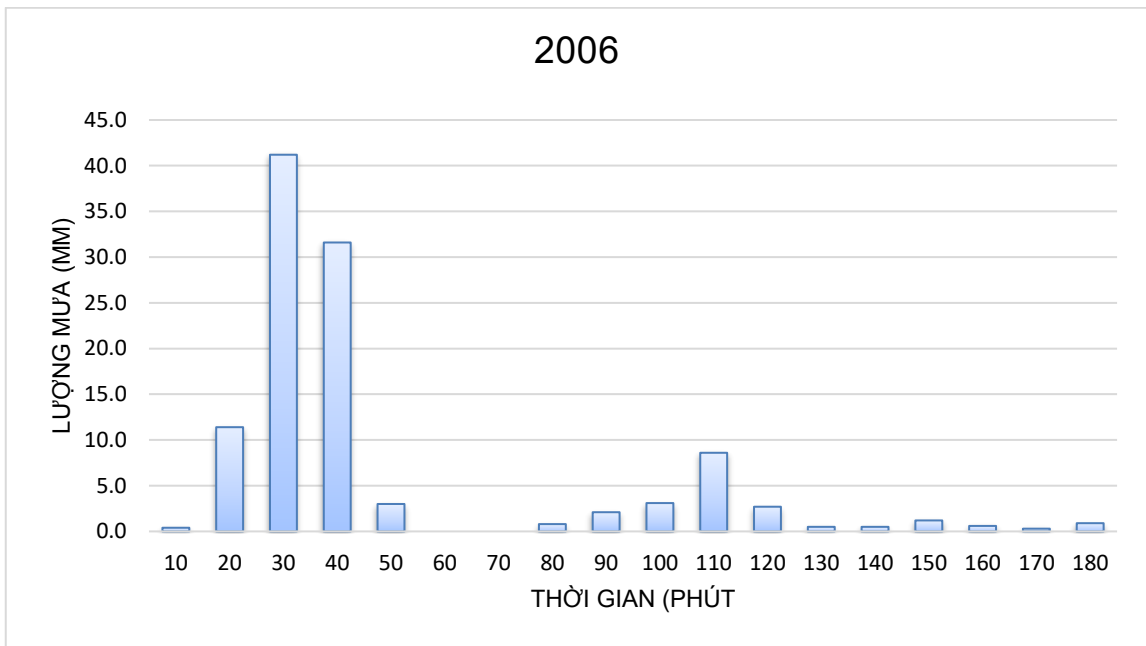
Hình PL3.14. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2003



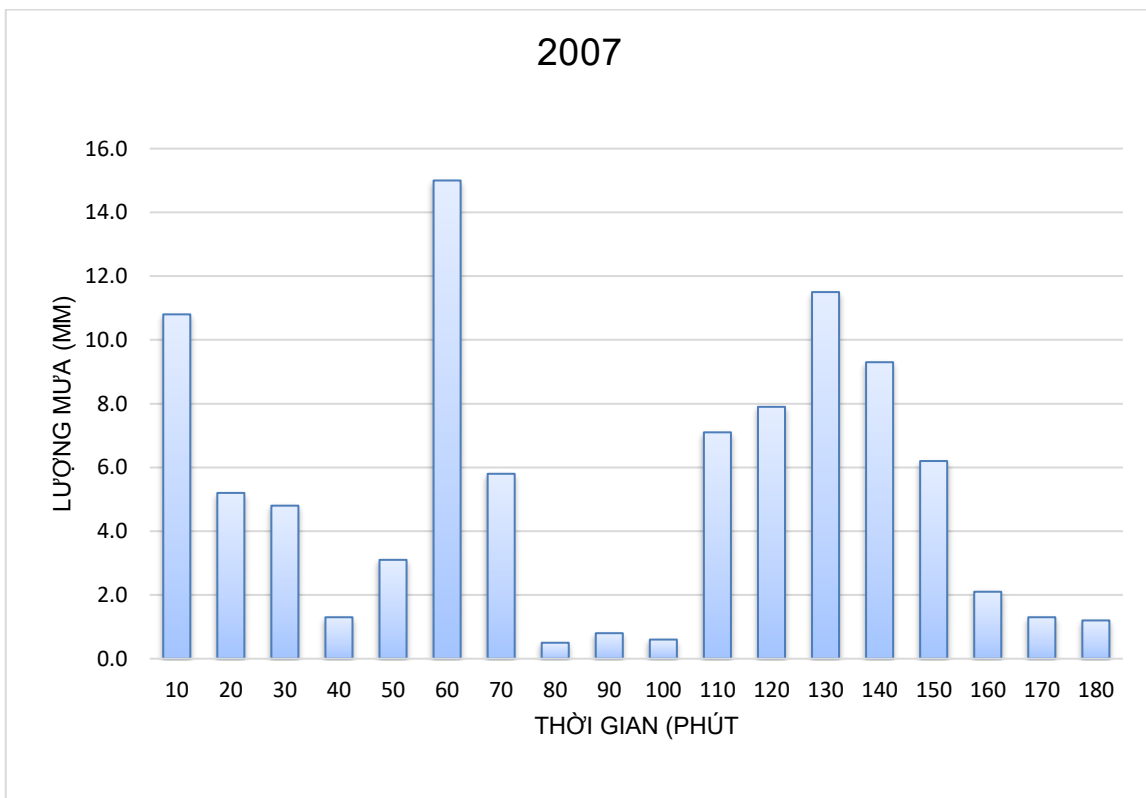
Hình PL3.15. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2004



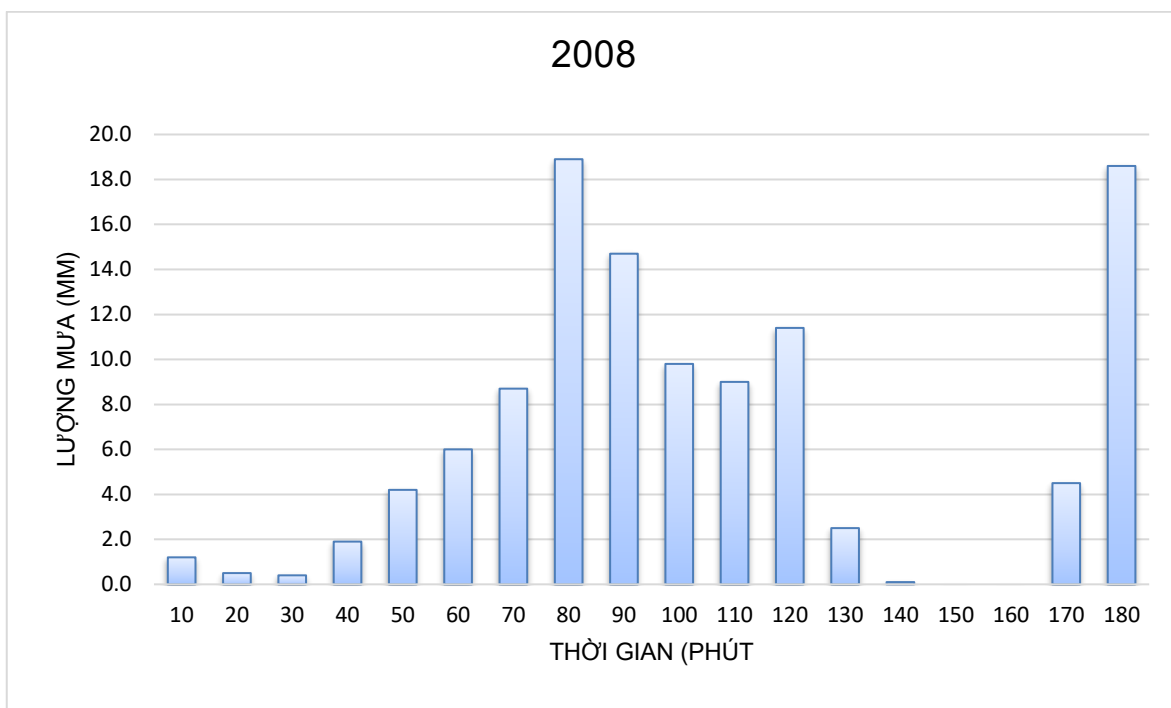
Hình PL3.16. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2005



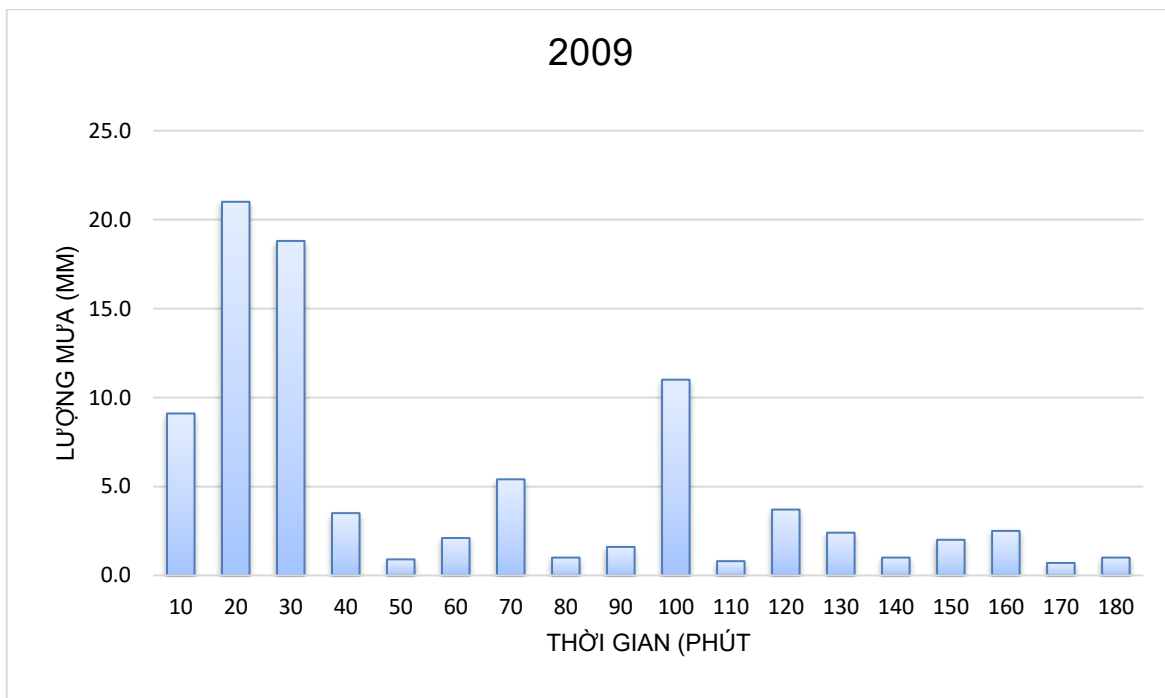
Hình PL3.17. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2006



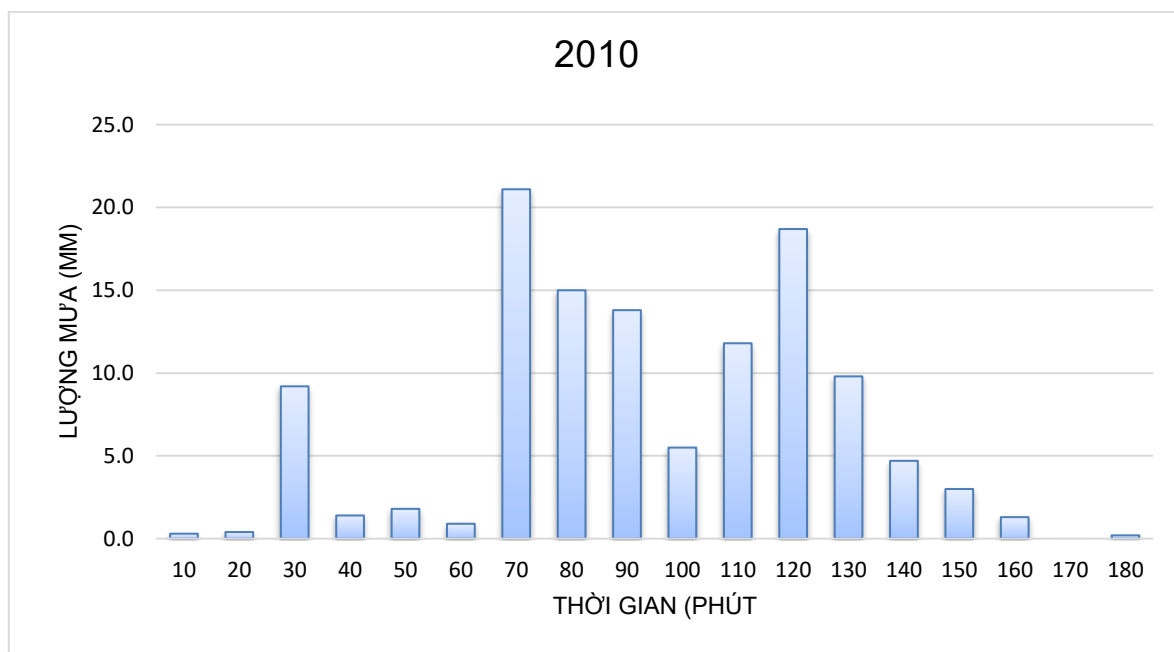
Hình PL3.18. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2007



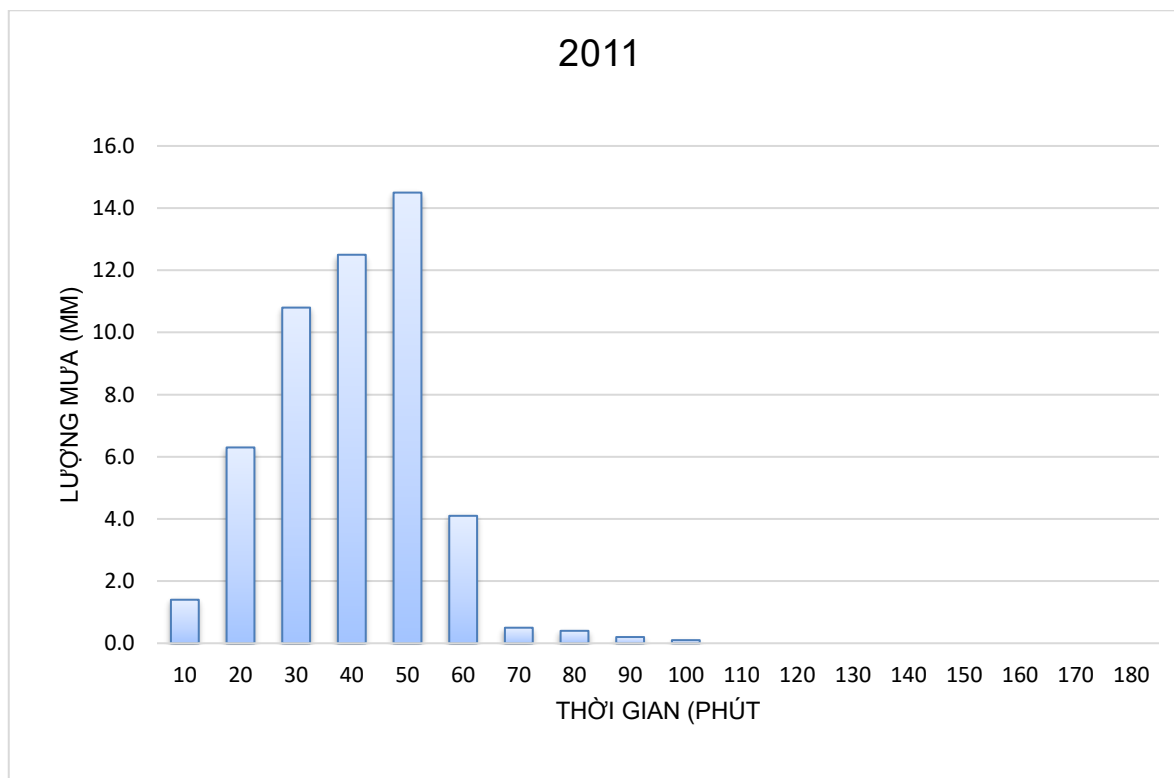
Hình PL3.19. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trên mưa 180 phút lớn nhất năm 2008



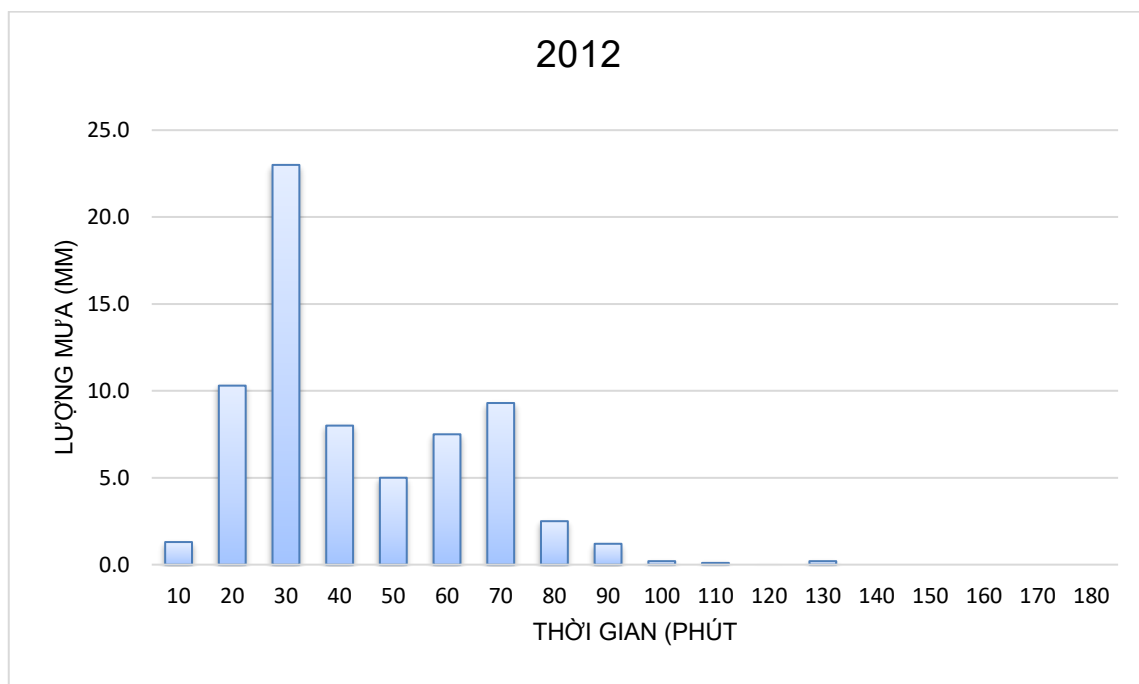
Hình PL3.20. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trên mưa 180 phút lớn nhất năm 2009



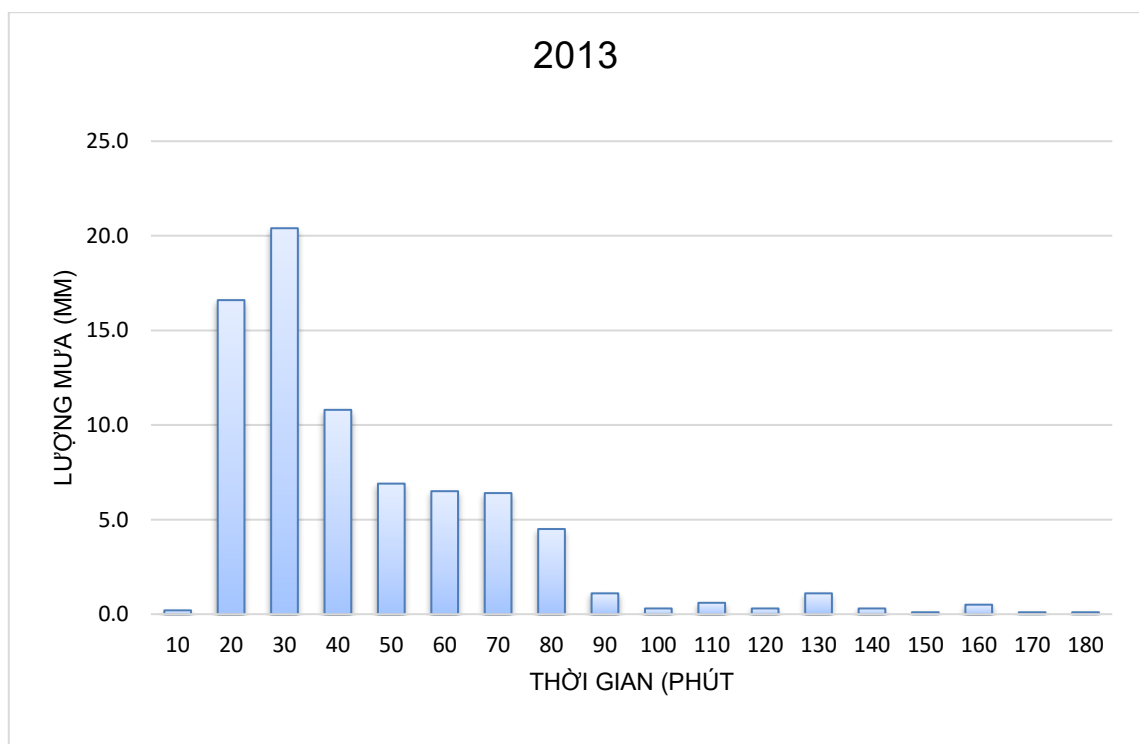
Hình PL3.21. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2010



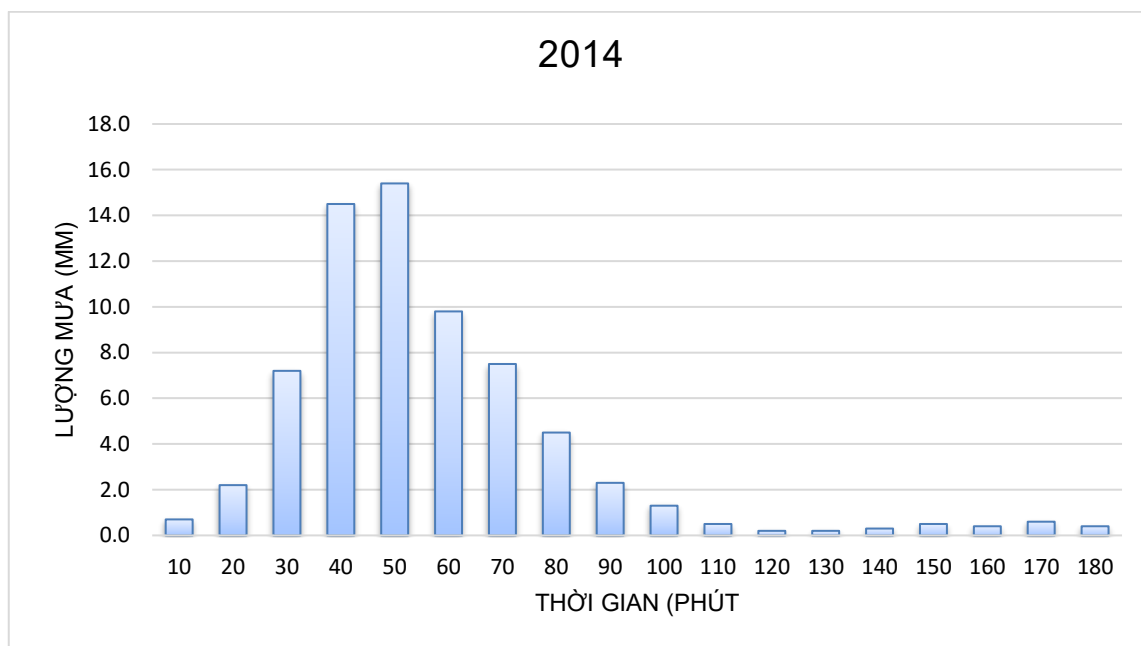
Hình PL3.22. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2011



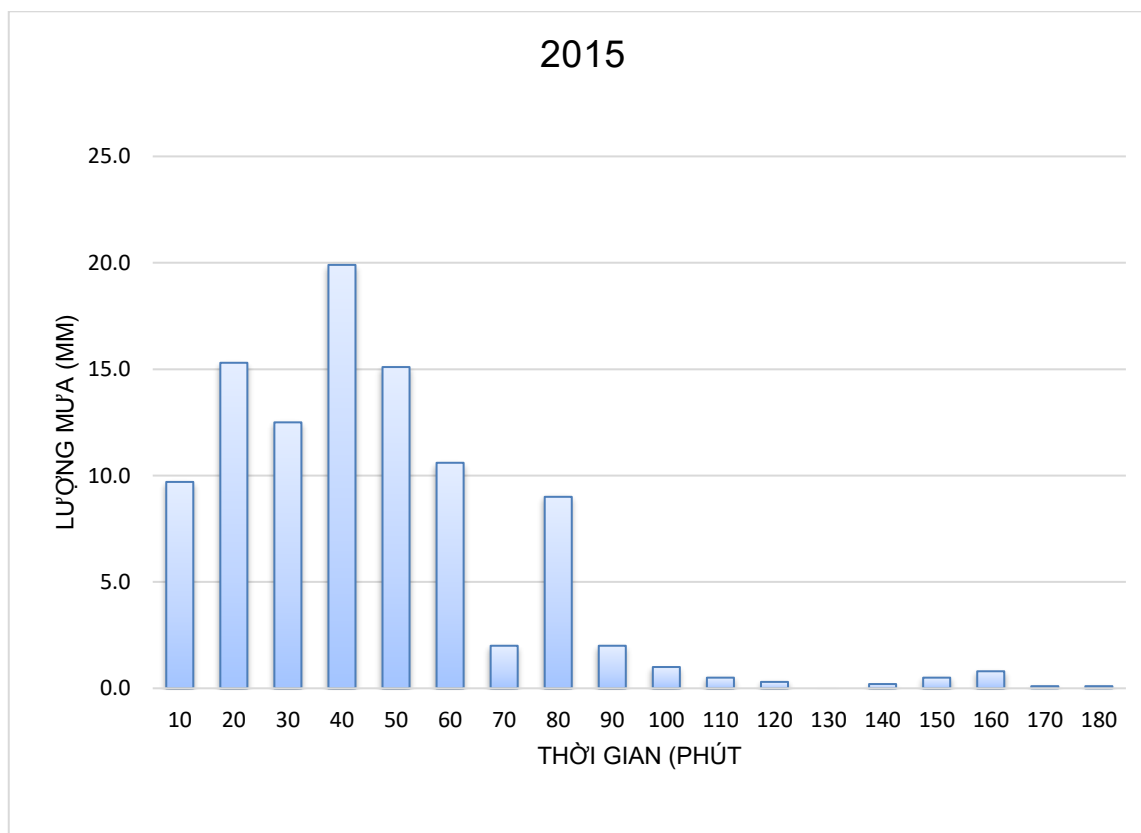
Hình PL3.23. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2012



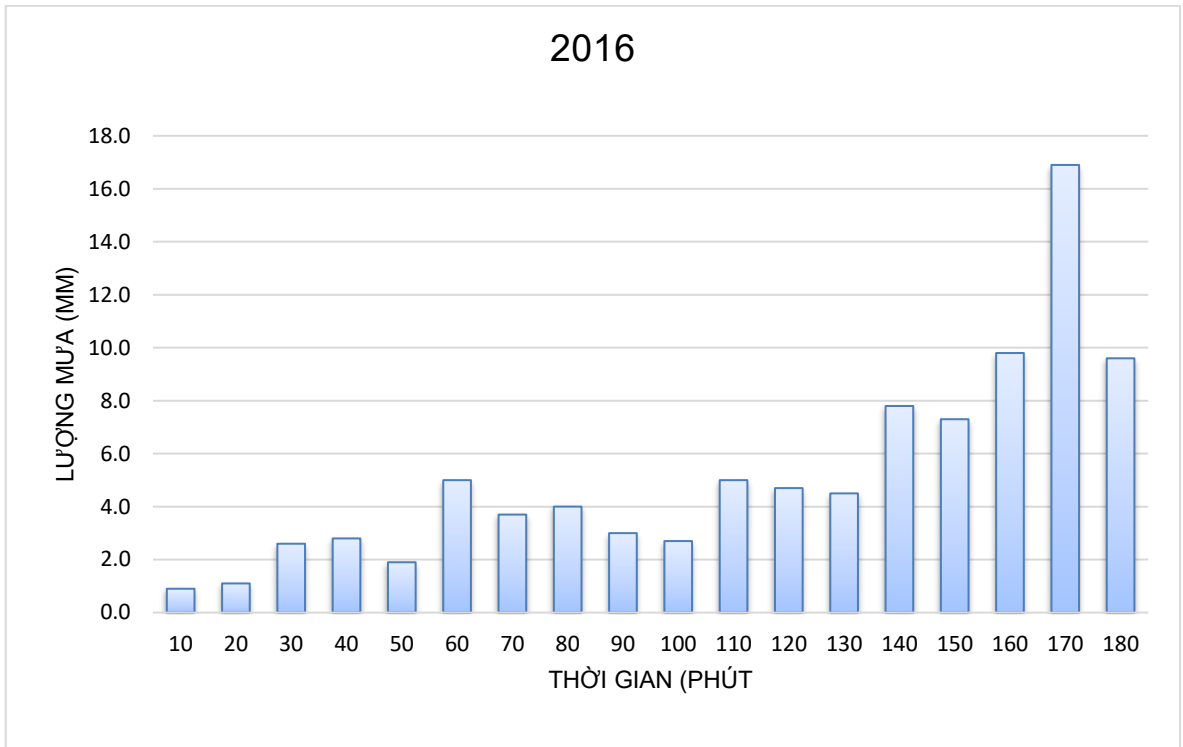
Hình PL3.24. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2013



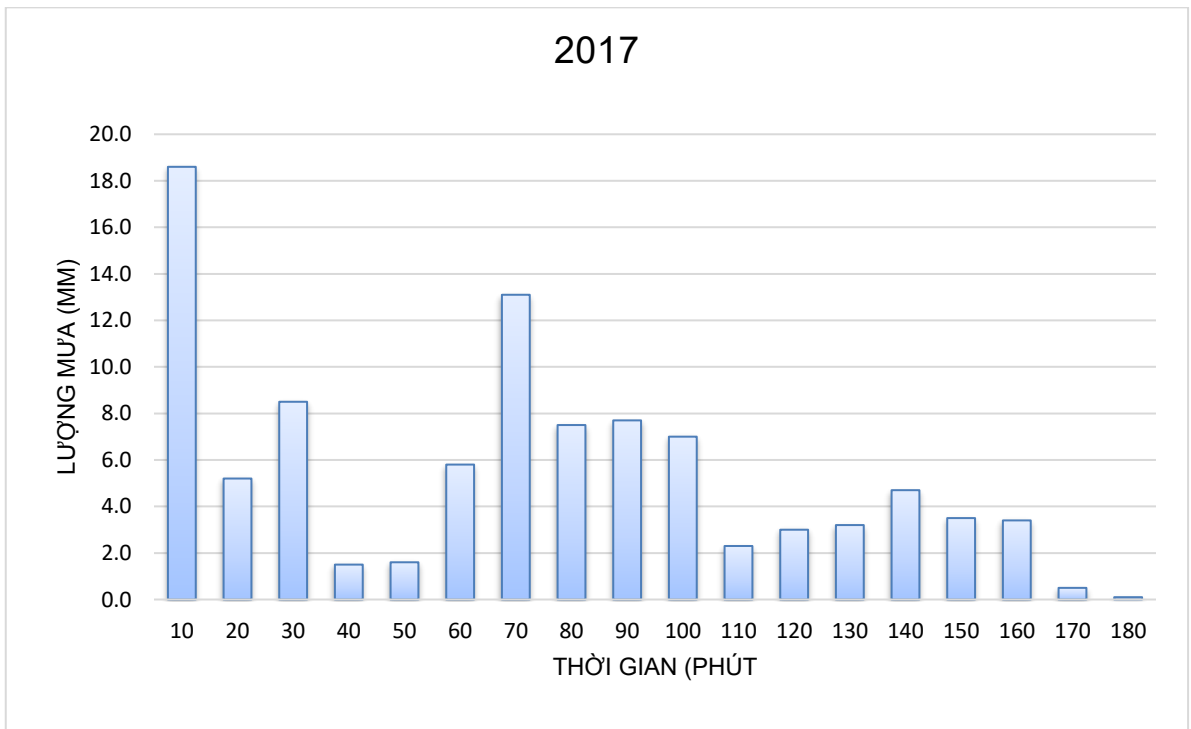
Hình PL3.25. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2014



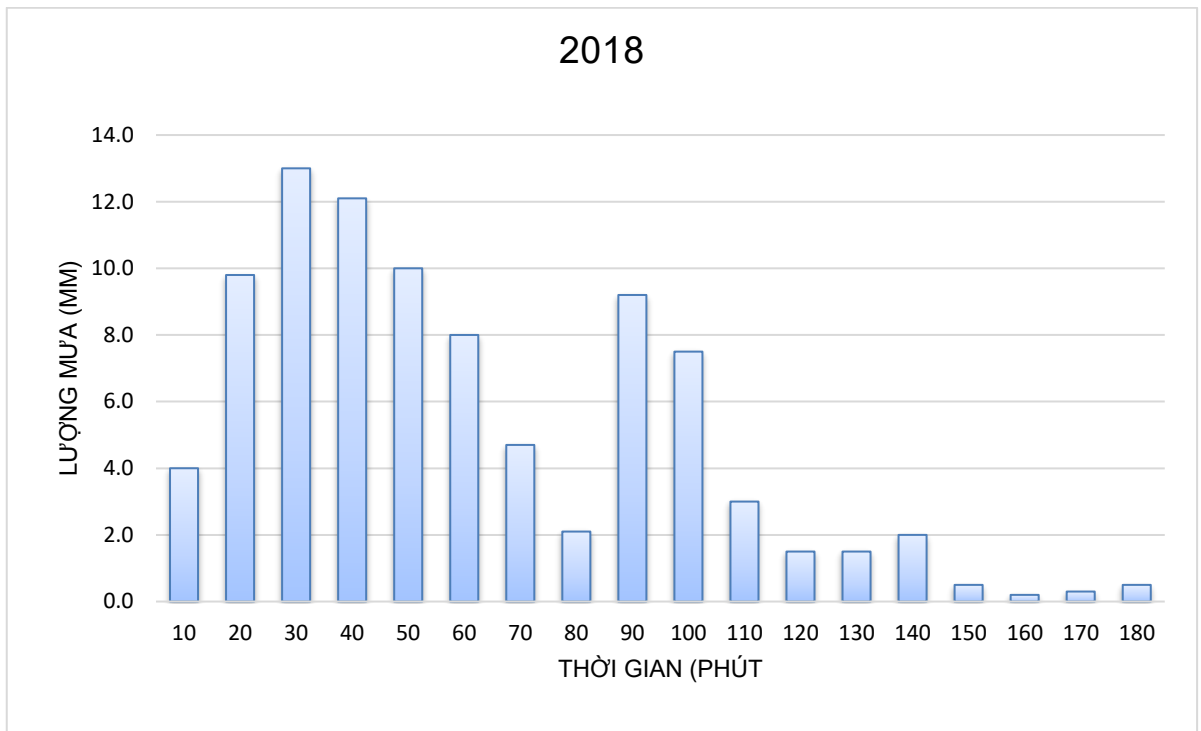
Hình PL3.26. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2015



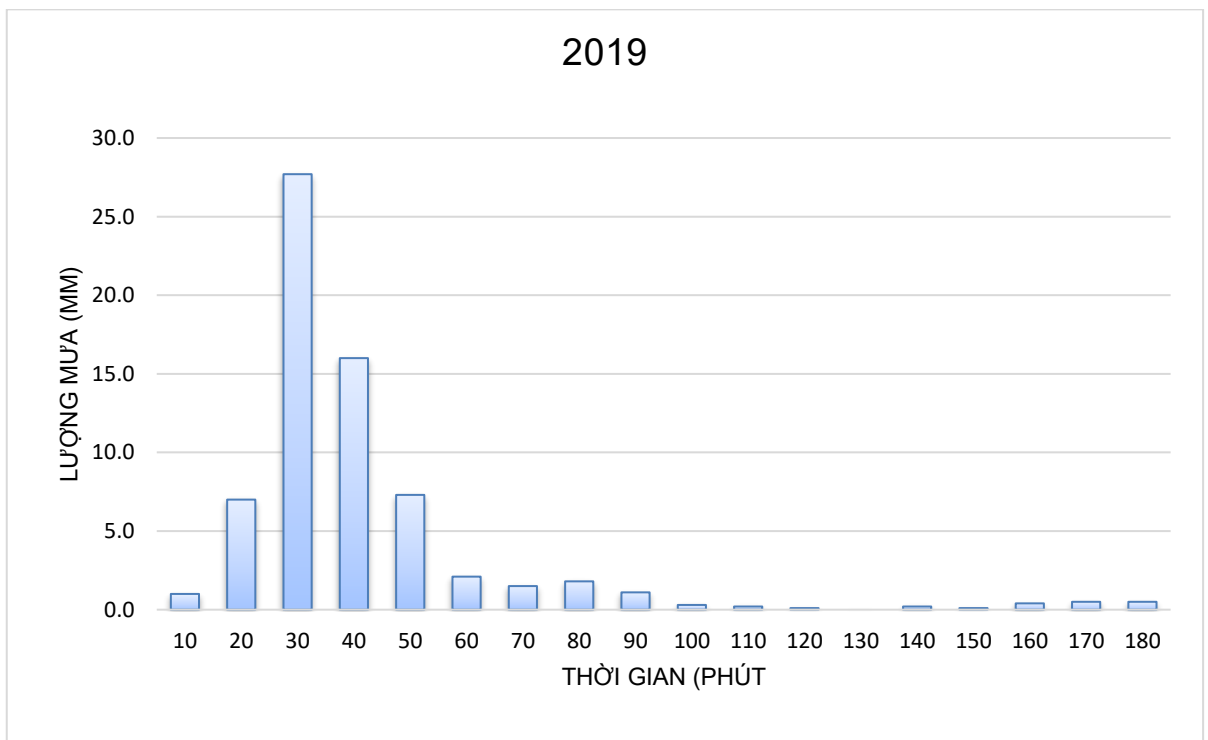
Hình PL3.27. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2016



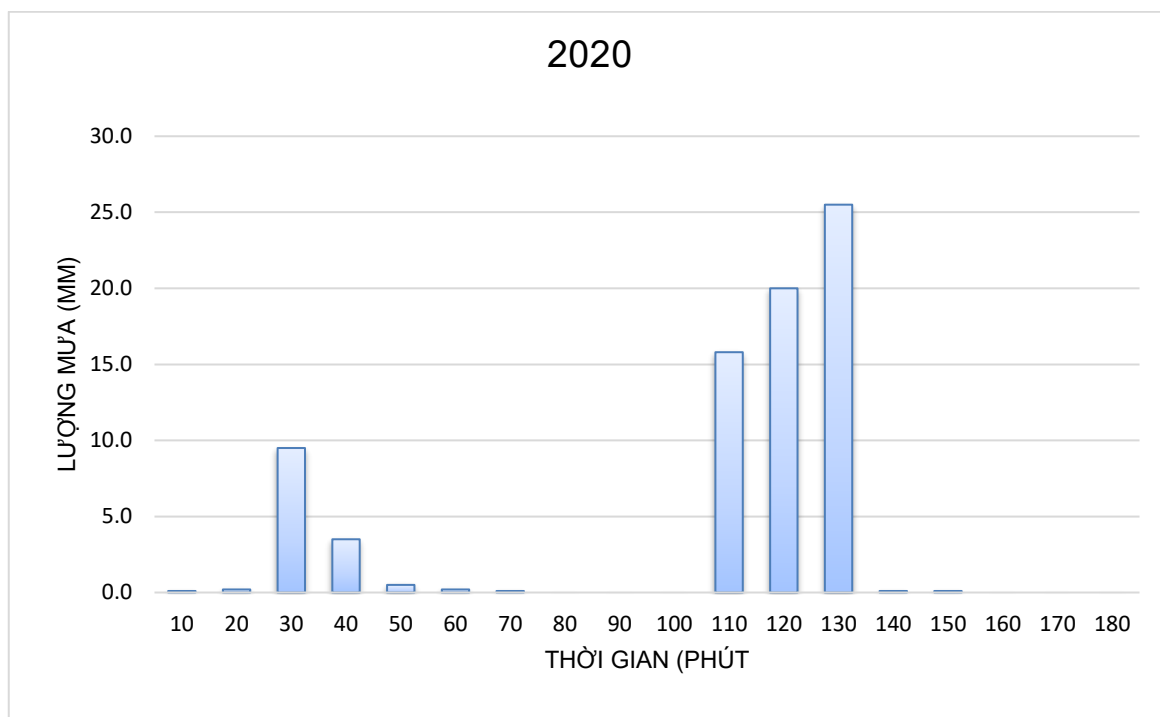
Hình PL3.28. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2017



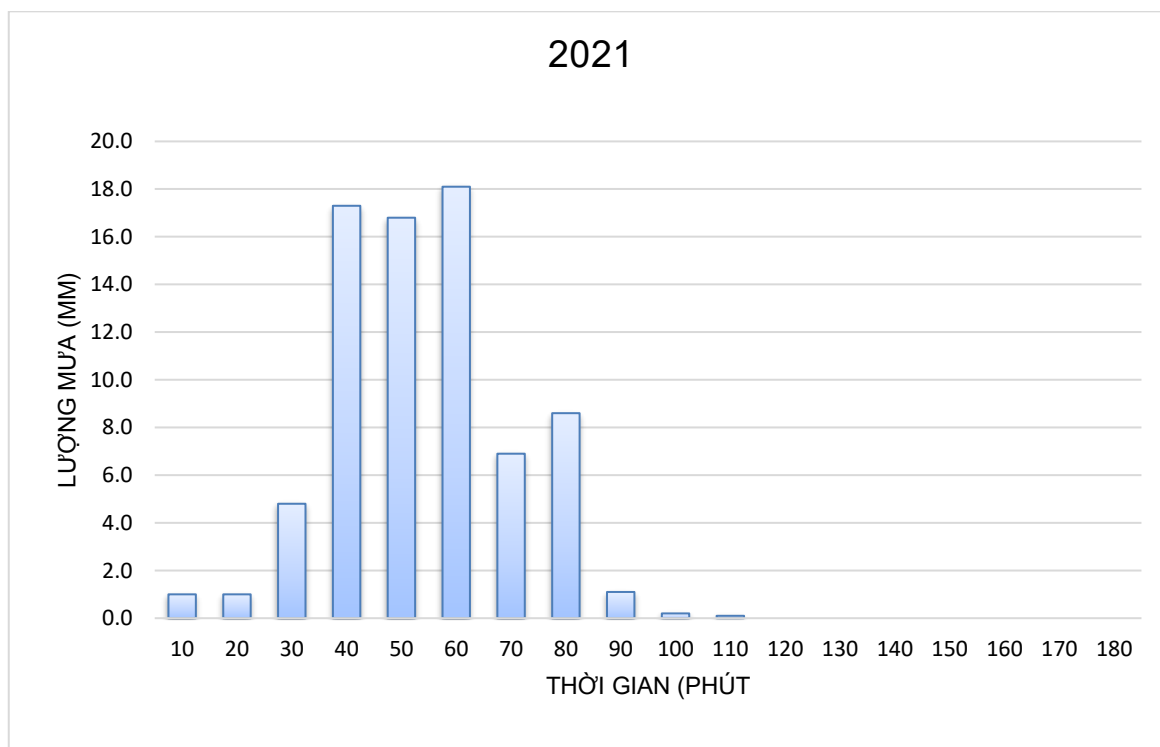
Hình PL3.29. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2018



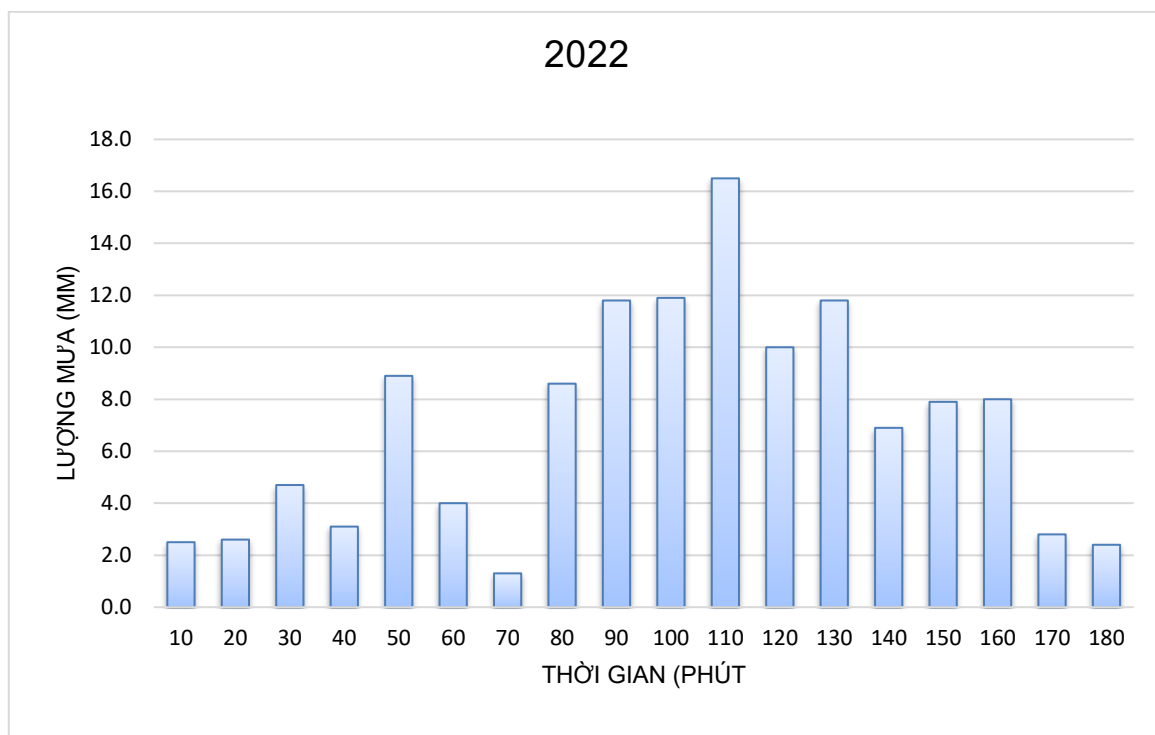
Hình PL3.30. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2019



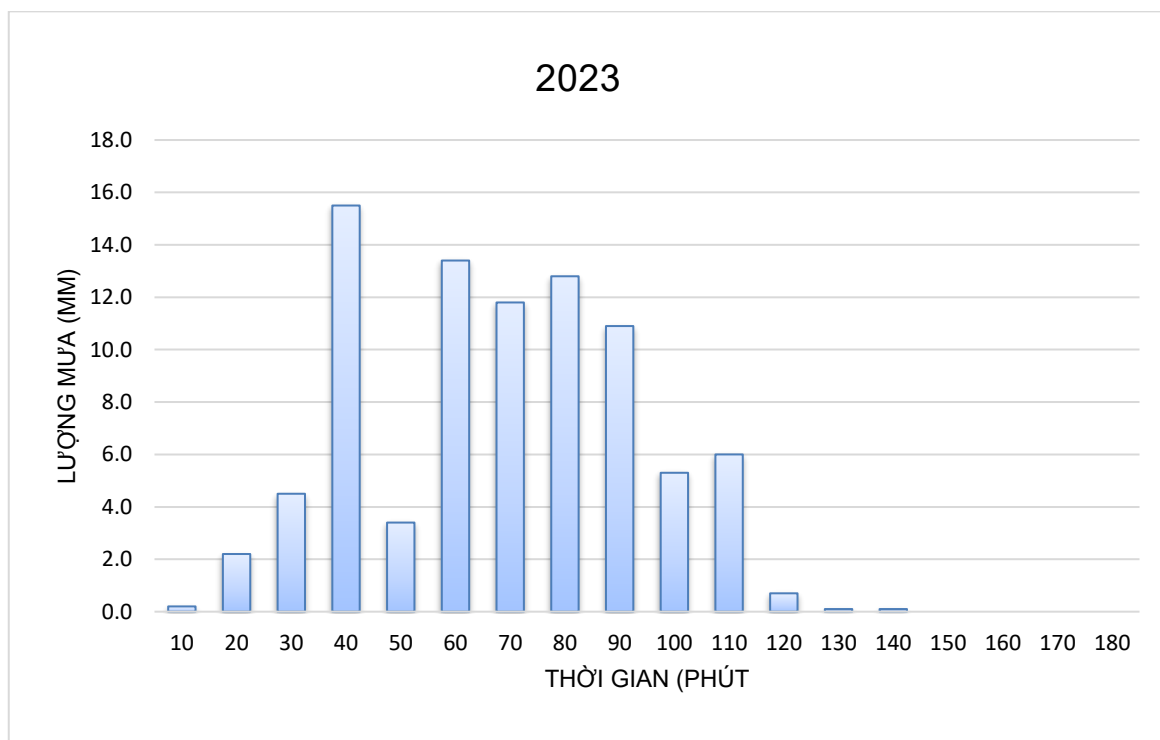
Hình PL3.31. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2020



Hình PL3.32. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2021

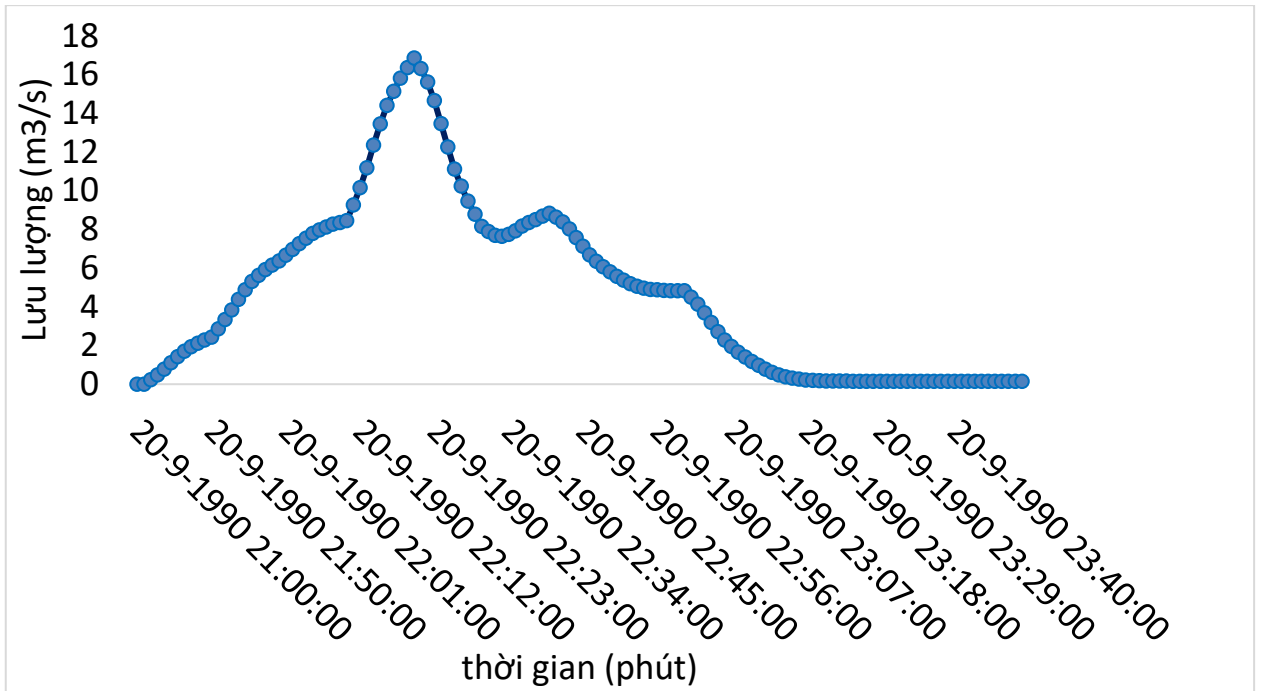


Hình PL3.33. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2022

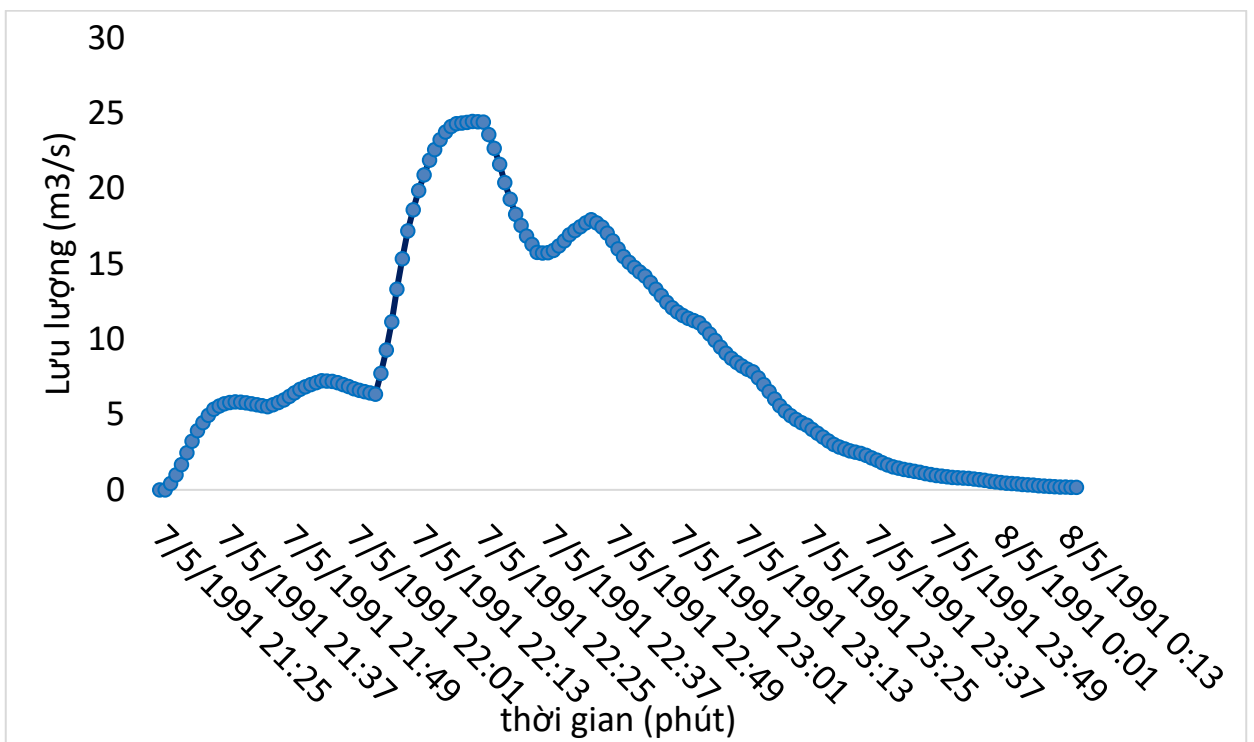


Hình PL3.34. Quá trình mưa thời đoạn 10 phút trận mưa 180 phút lớn nhất năm 2023

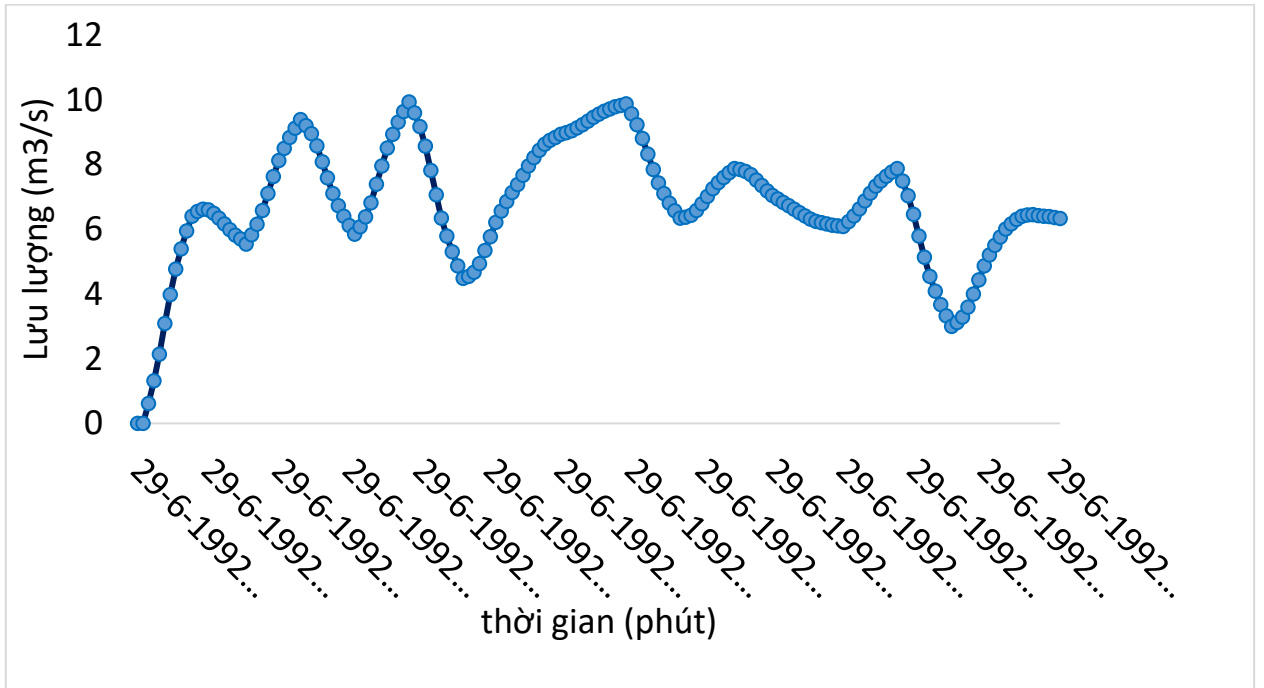
Phụ lục 4: Quá trình lưu lượng dòng chảy tính toán tại cửa ra lưu vực bằng Mike Urban



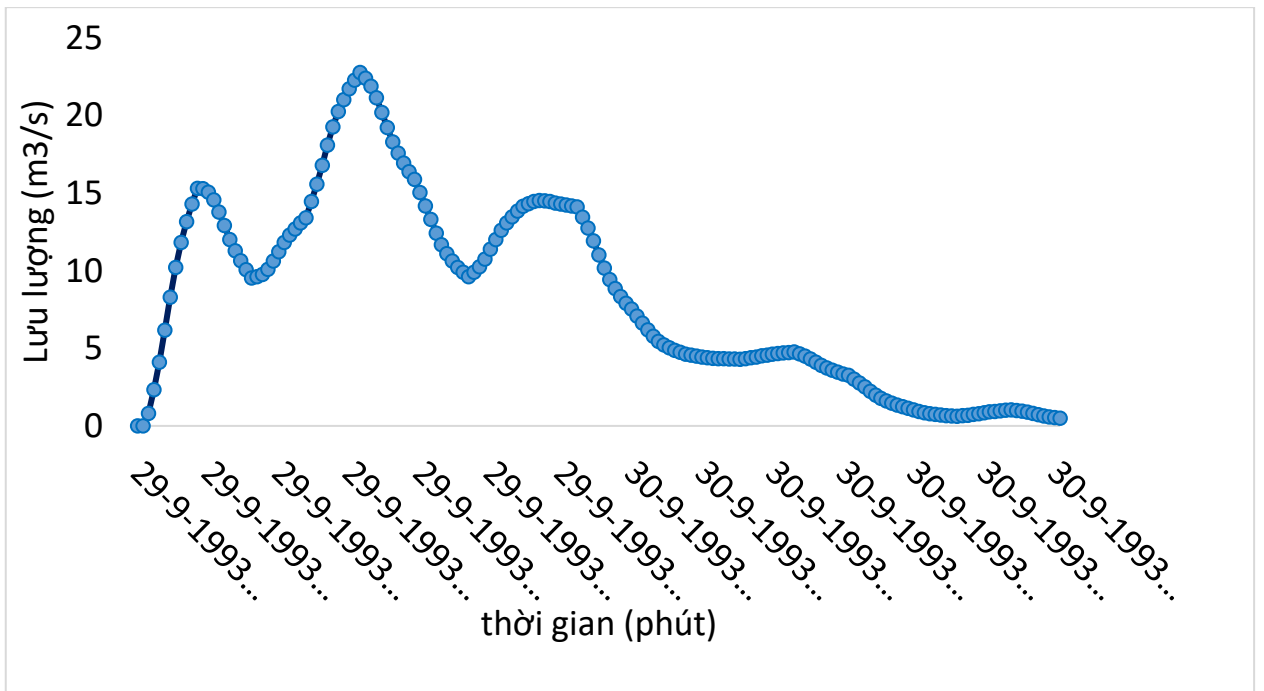
Hình PL4.1. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1990



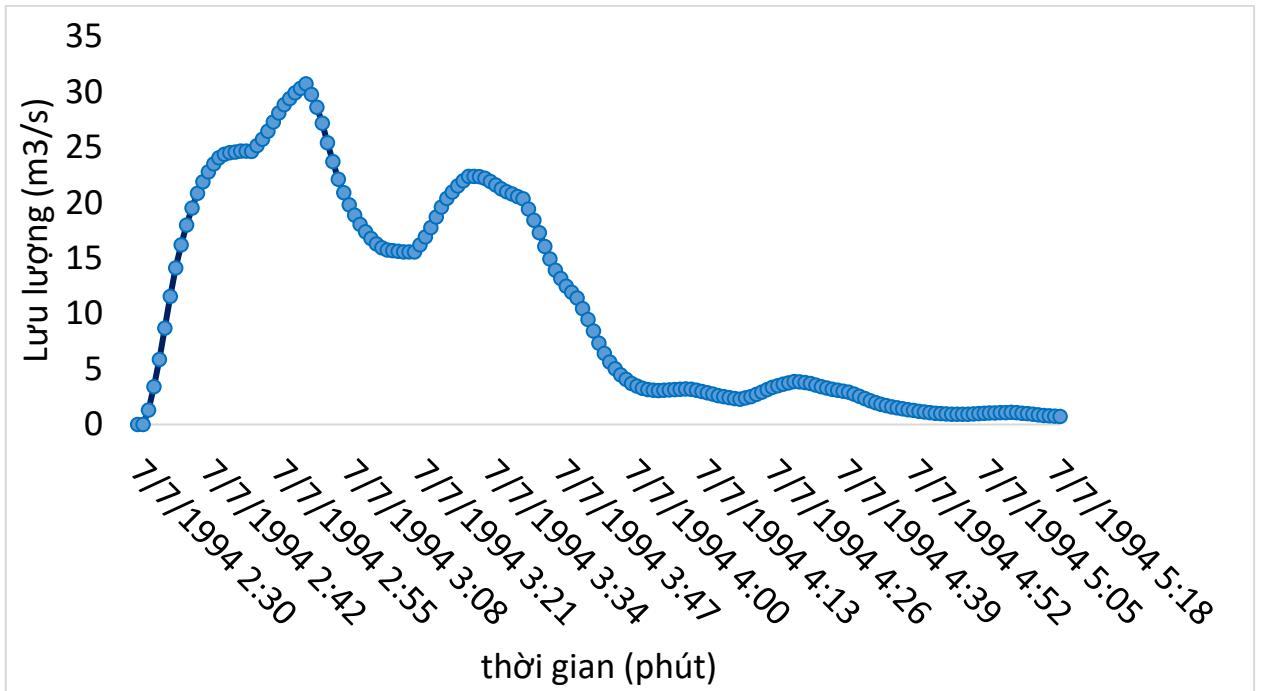
Hình PL4.2. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1991



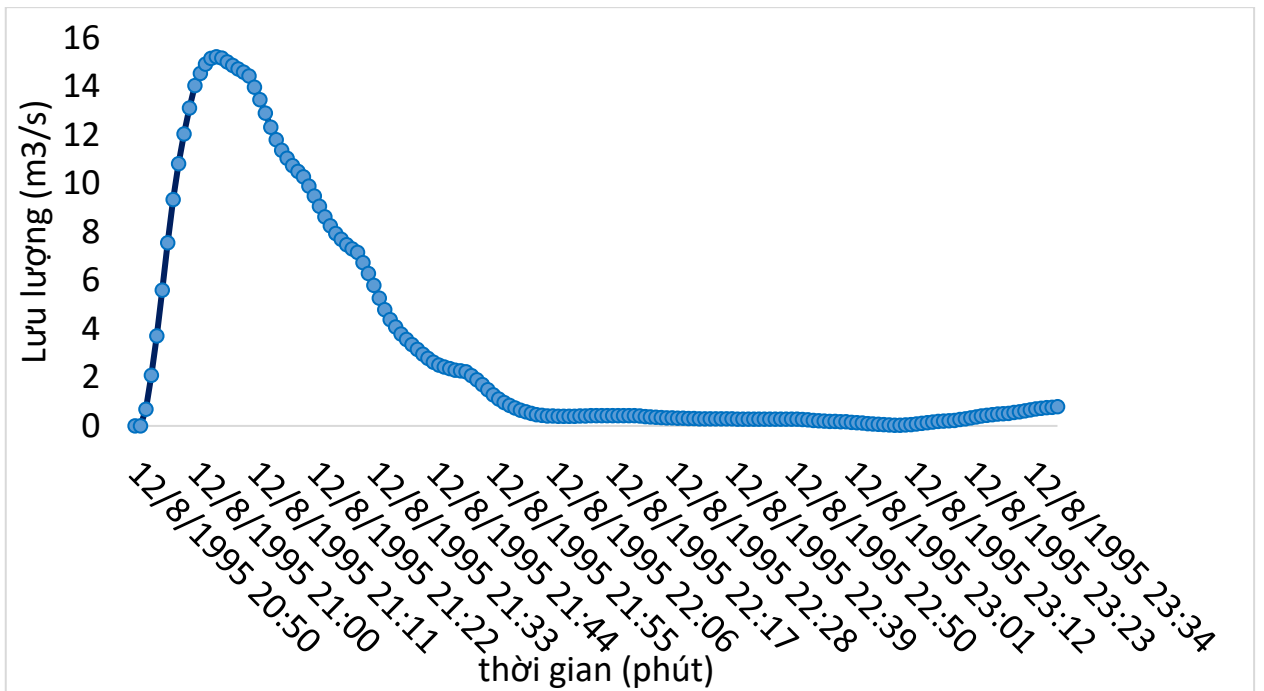
Hình PL4.3. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1992



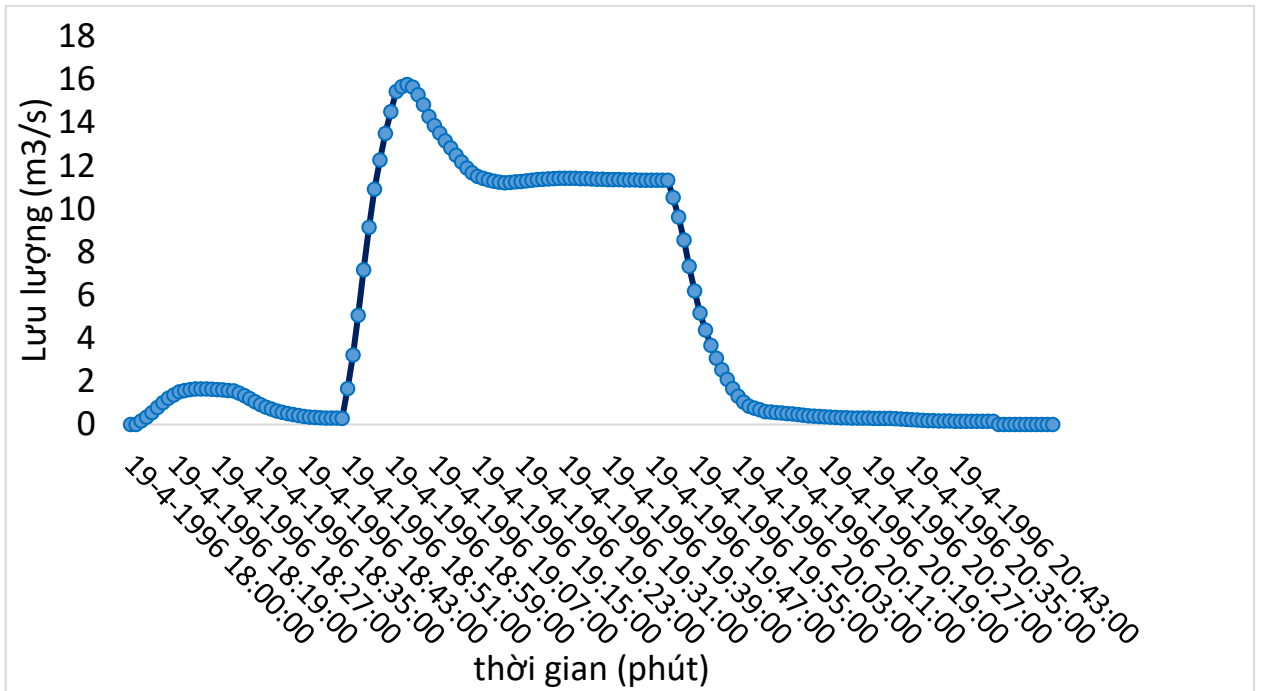
Hình PL4.4. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1993



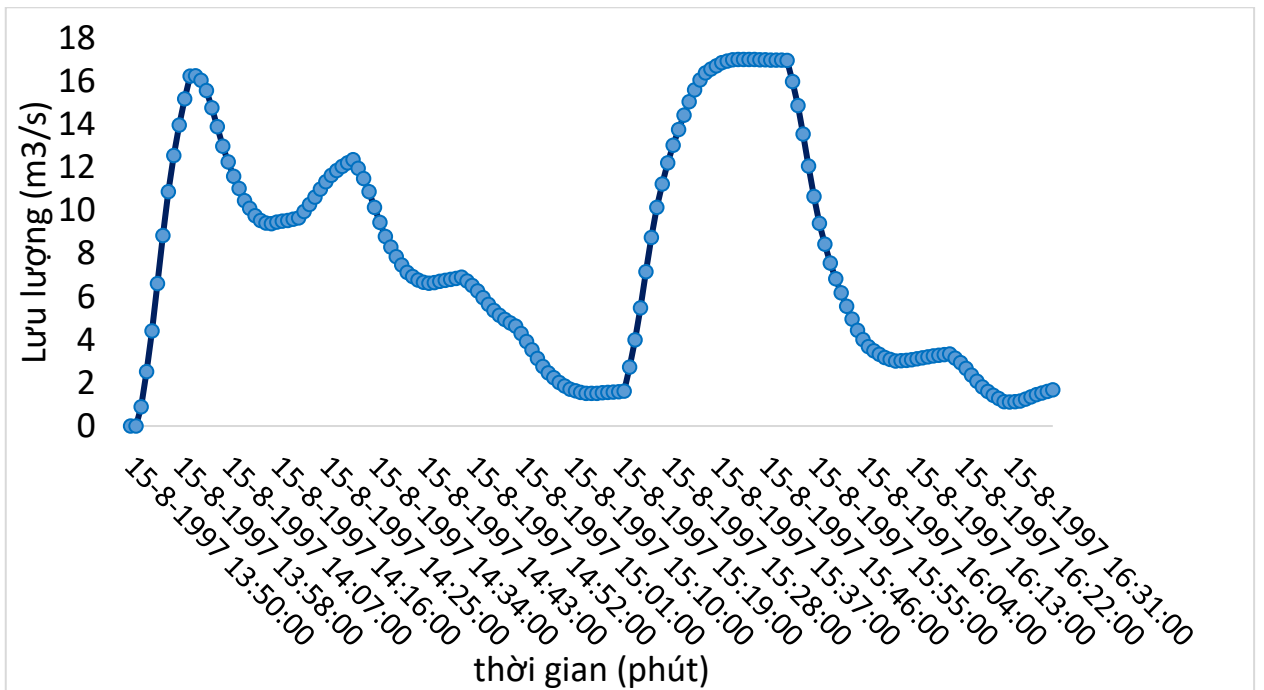
Hình PL4.5. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1994



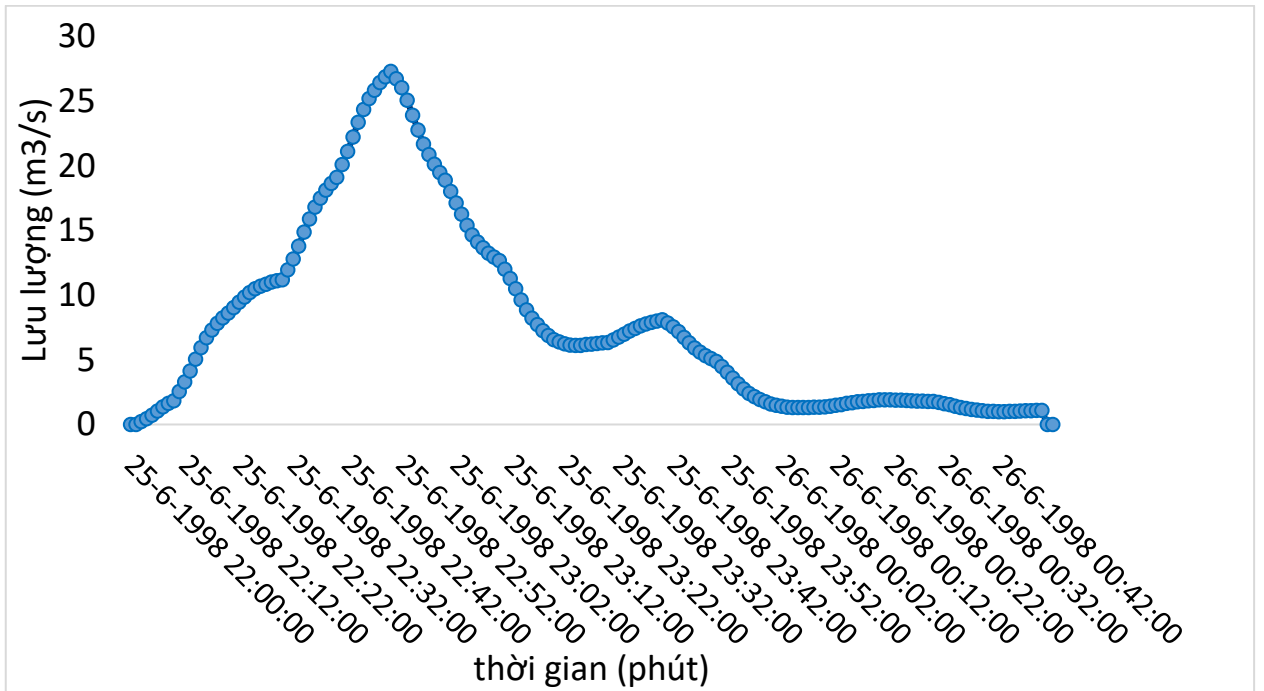
Hình PL4.6. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1995



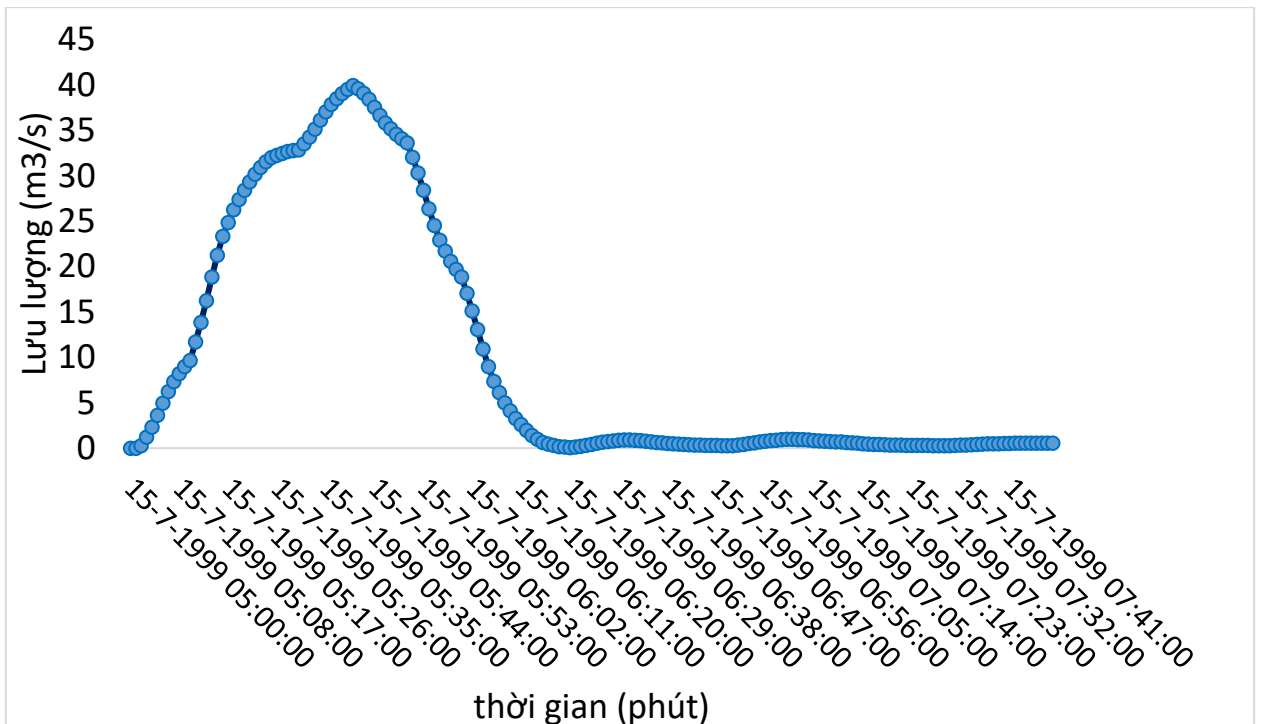
Hình PL4.7. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1996



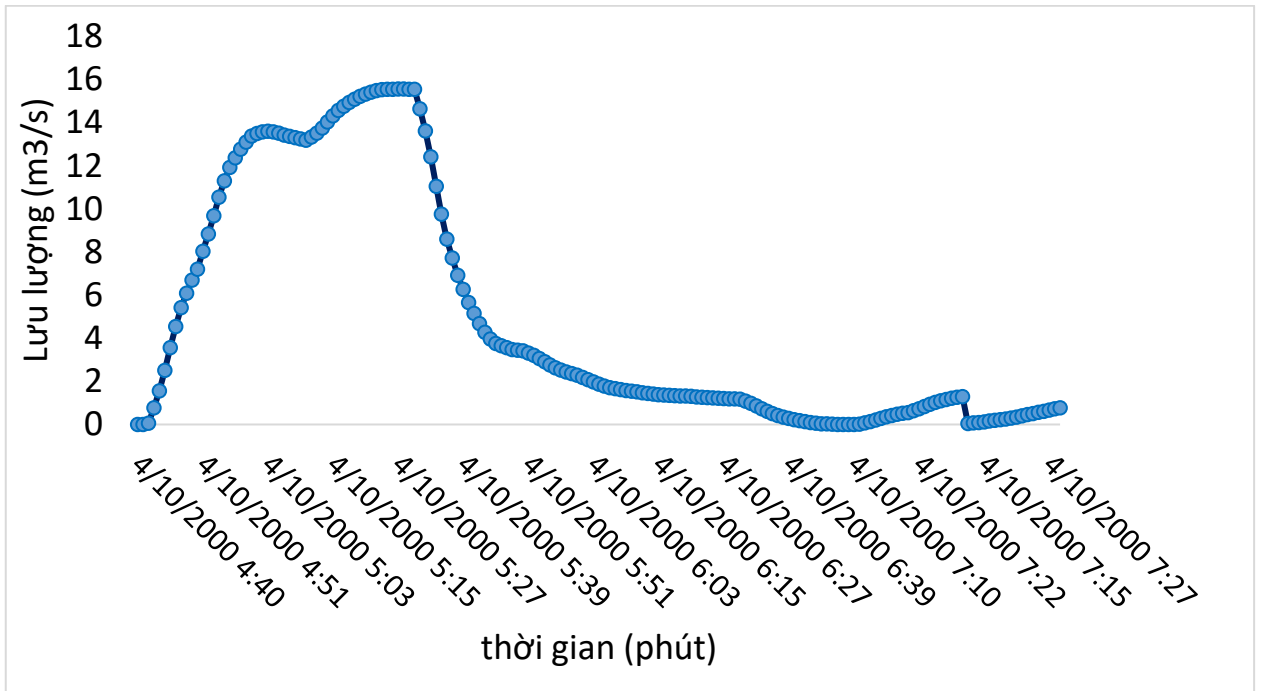
Hình PL4.8. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1997



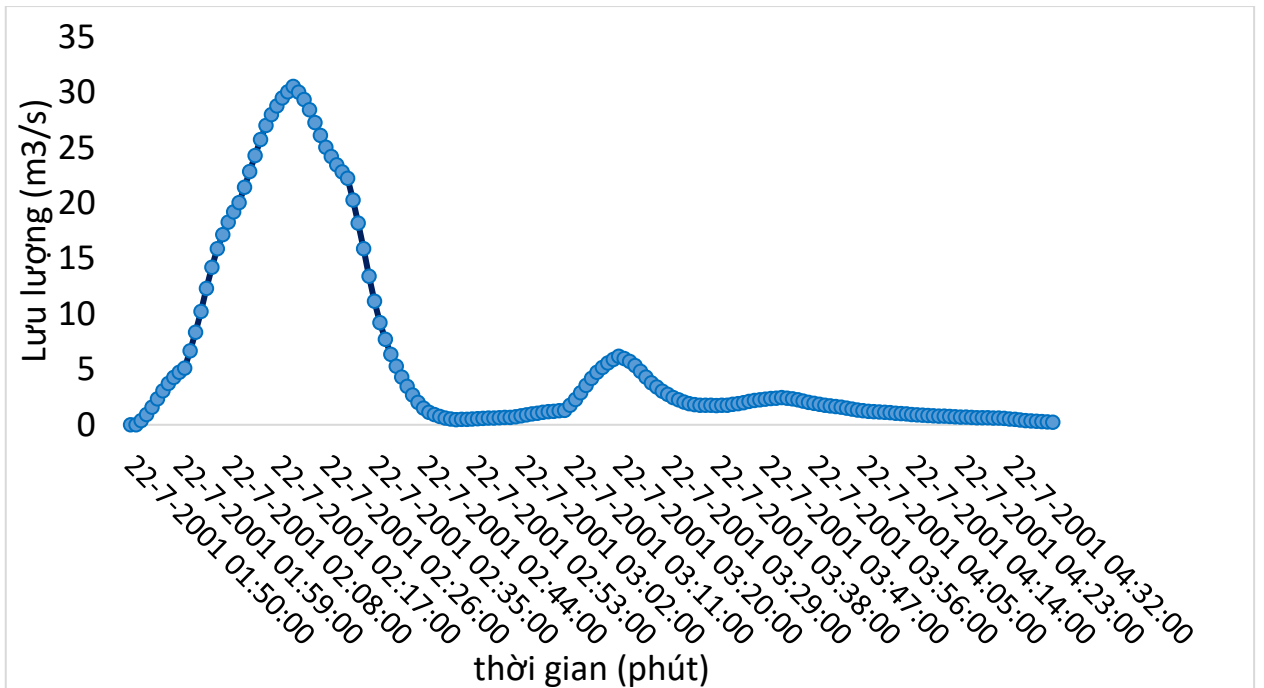
Hình PL4.9. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1998



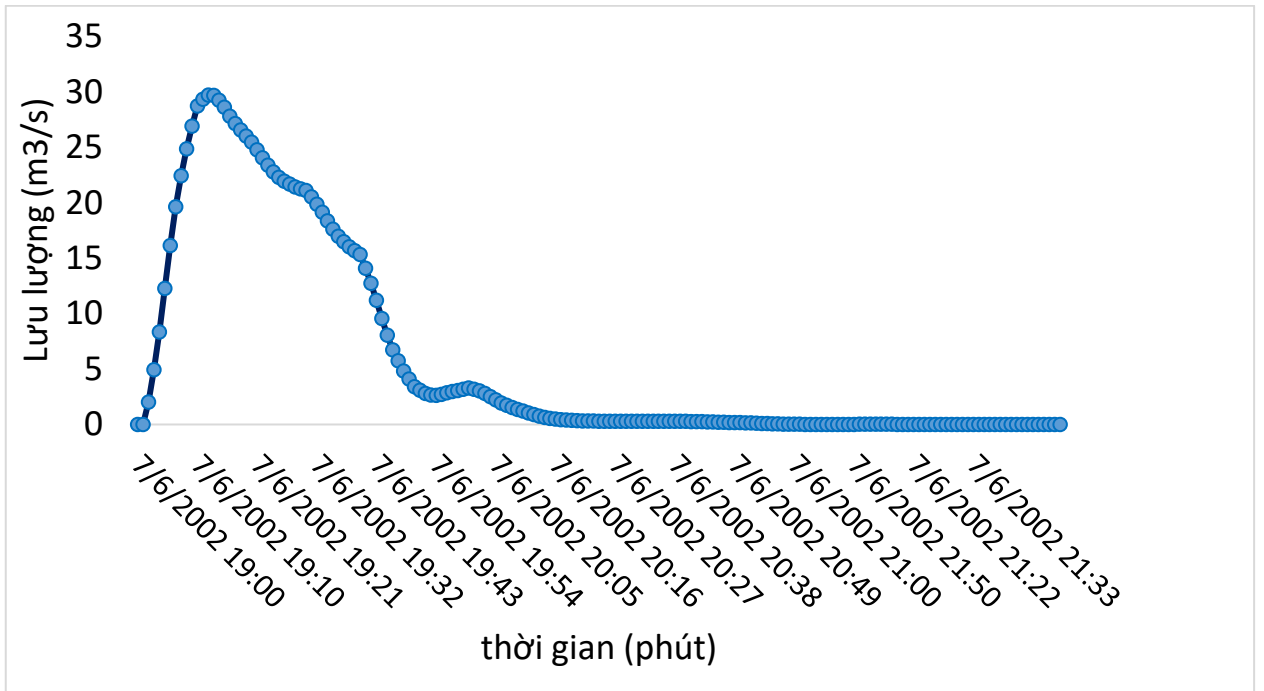
Hình PL4.10. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 1999



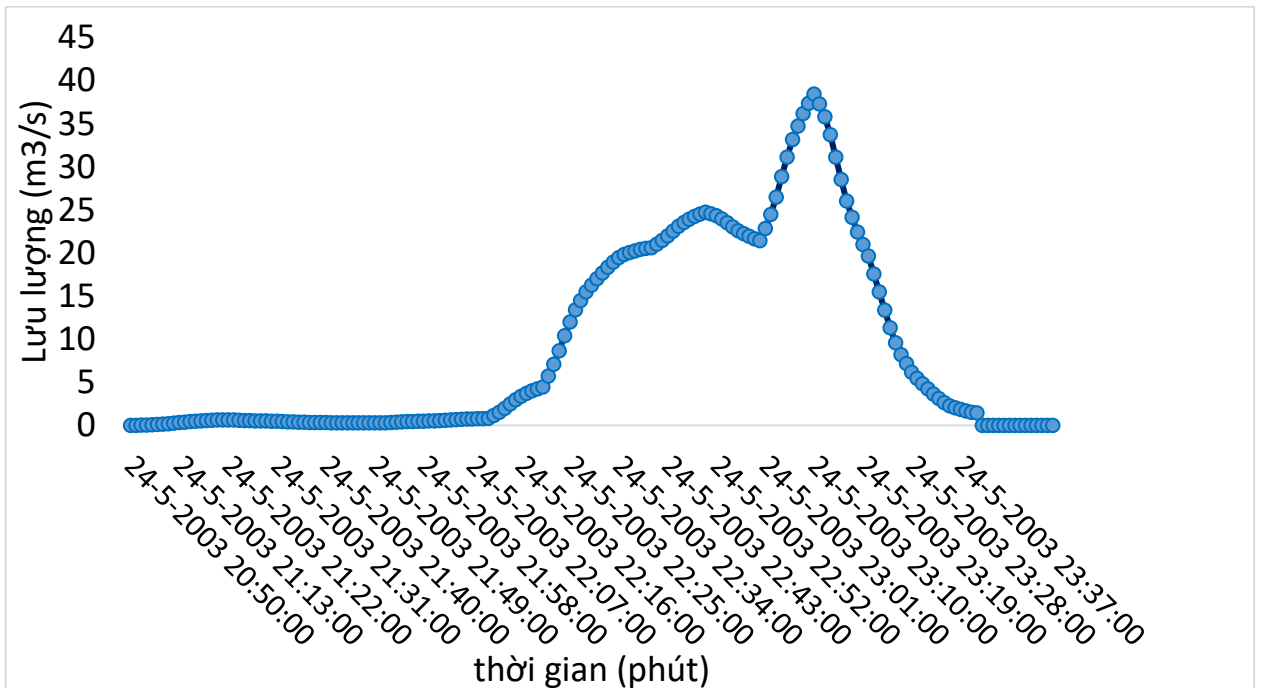
Hình PL4.11. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2000



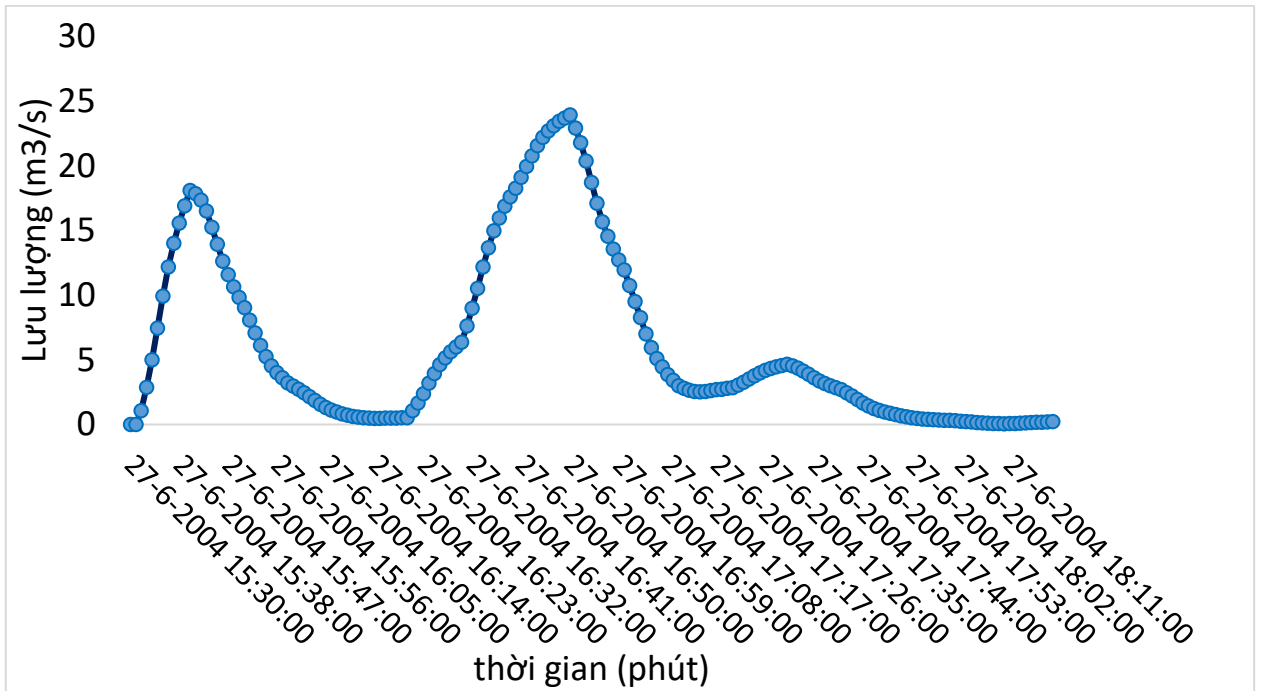
Hình PL4.12. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2001



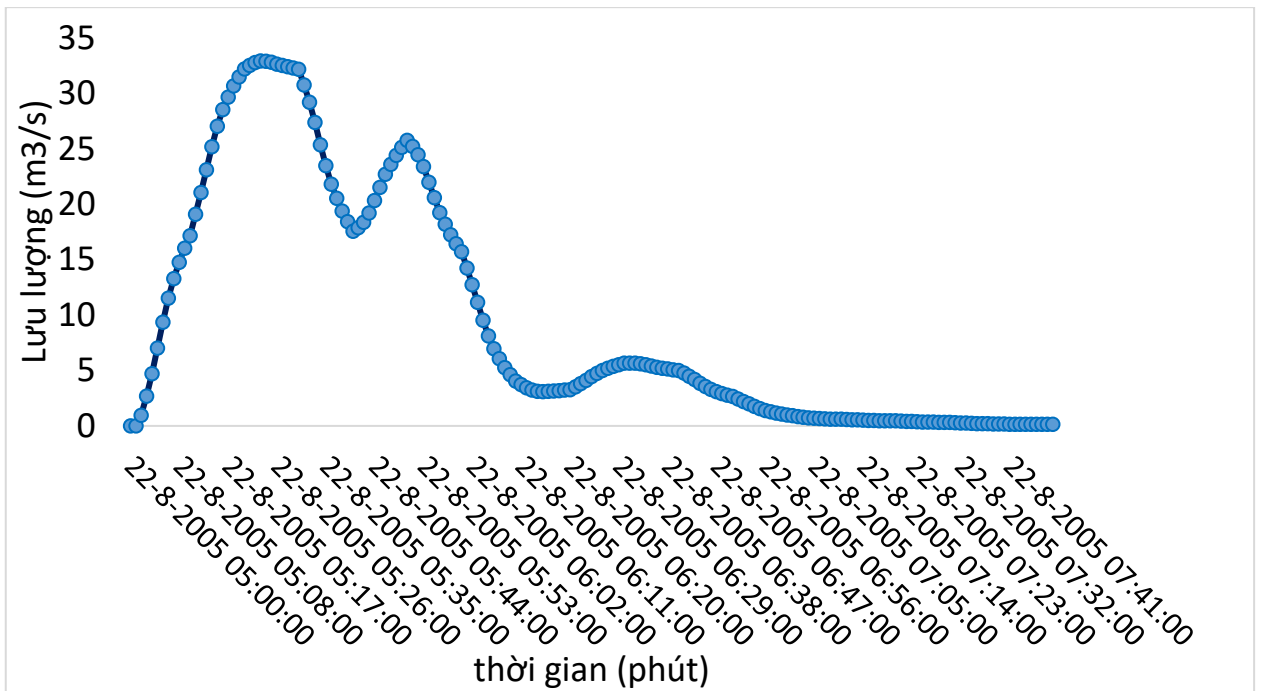
Hình PL4.13. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2002



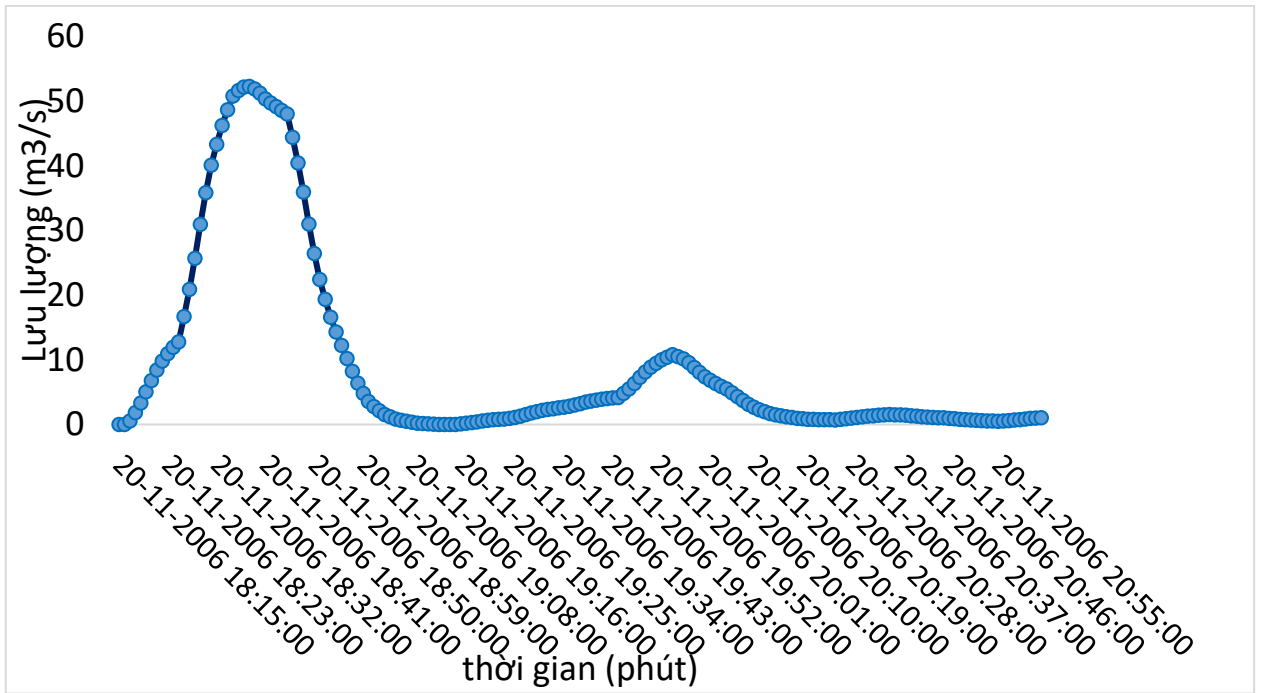
Hình PL4.14. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2003



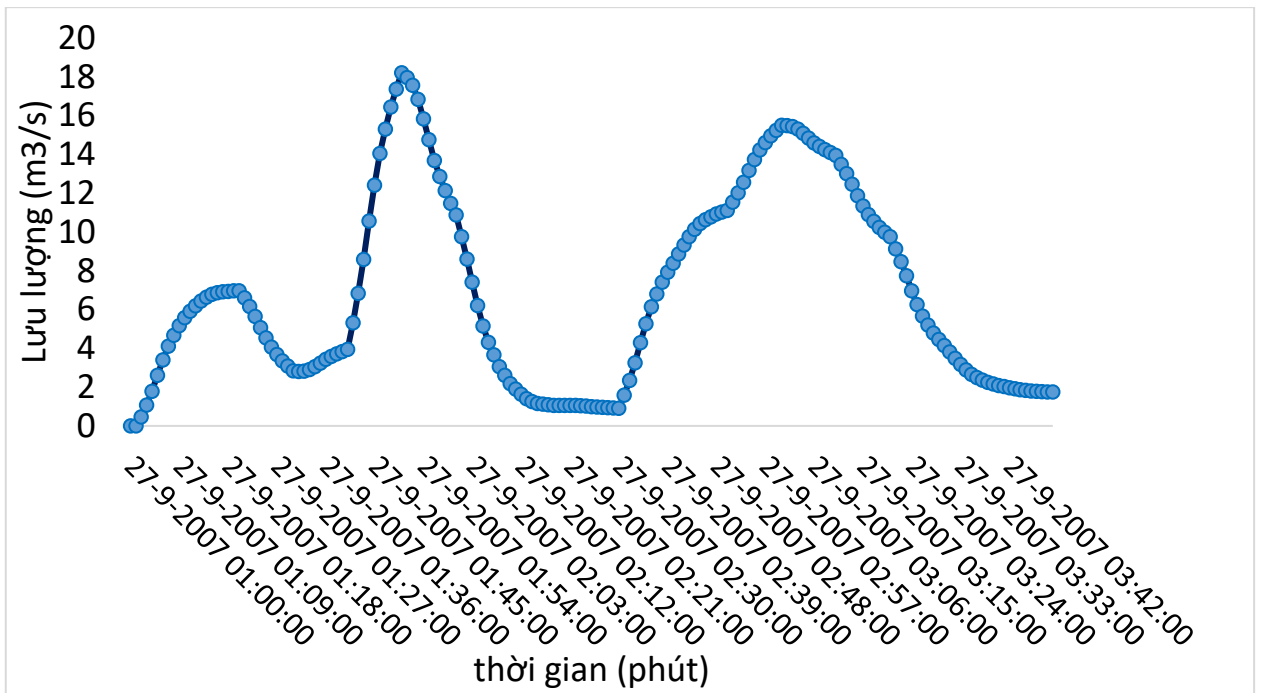
Hình PL4.15. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2004



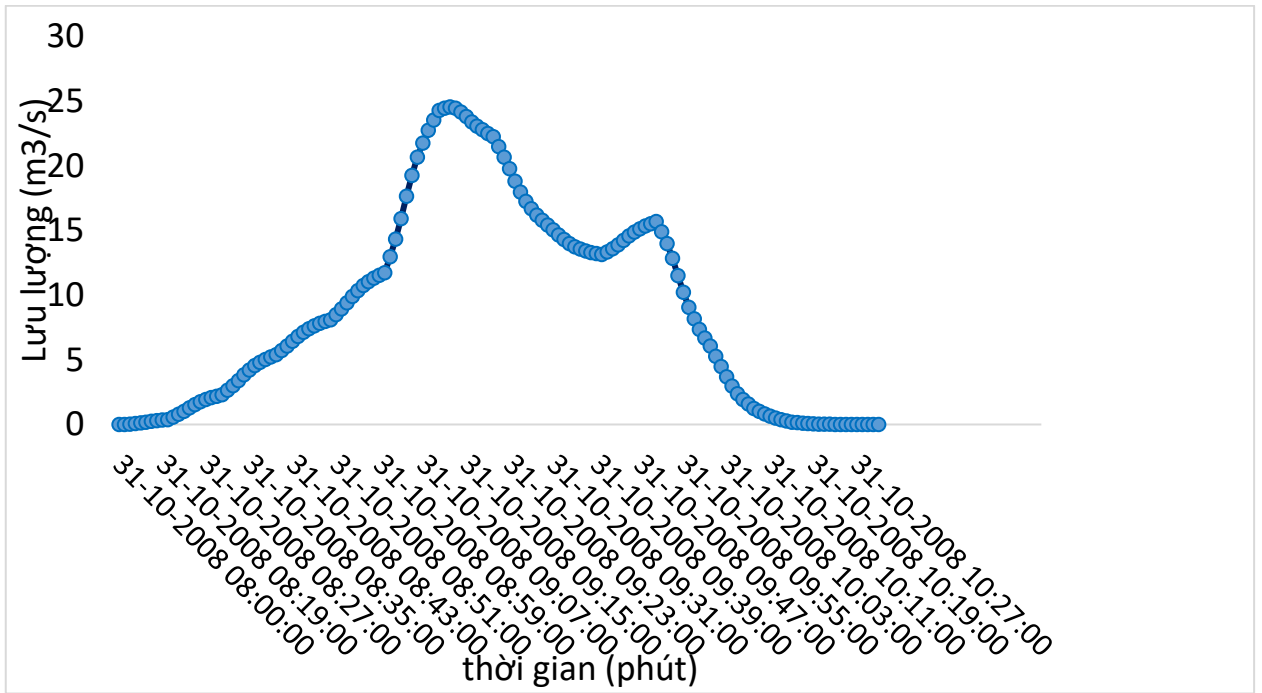
Hình PL4.16. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2005



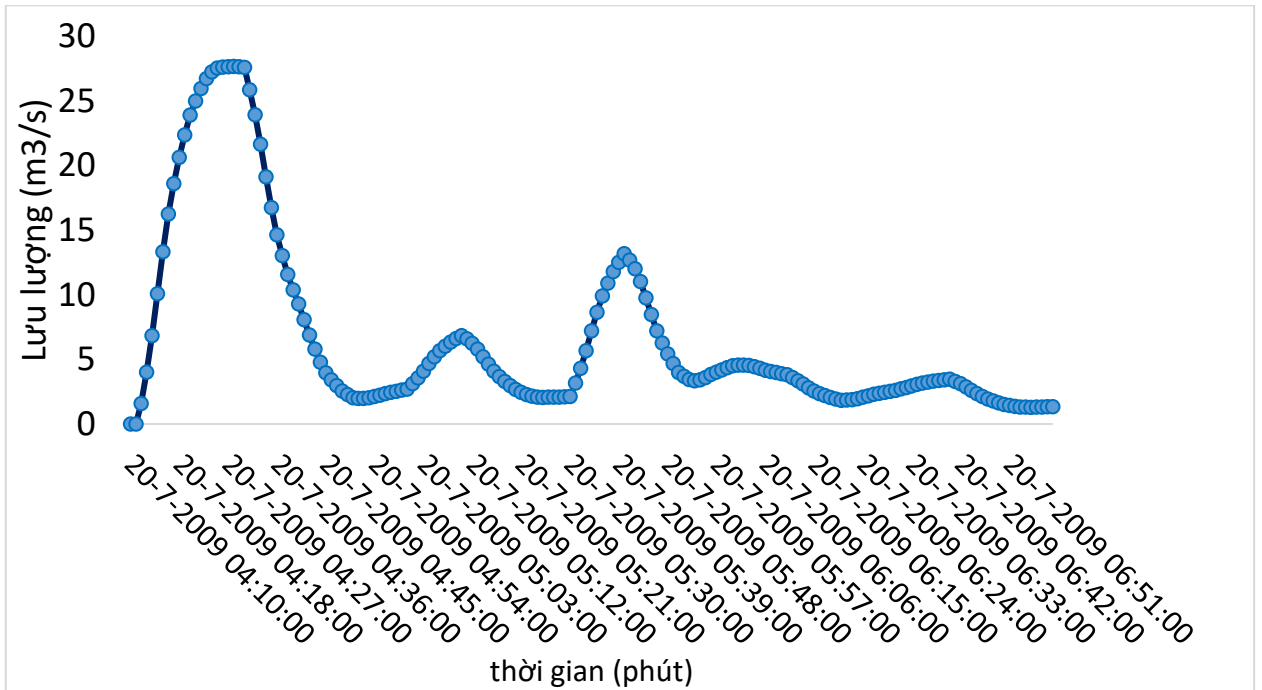
Hình PL4.17. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2006



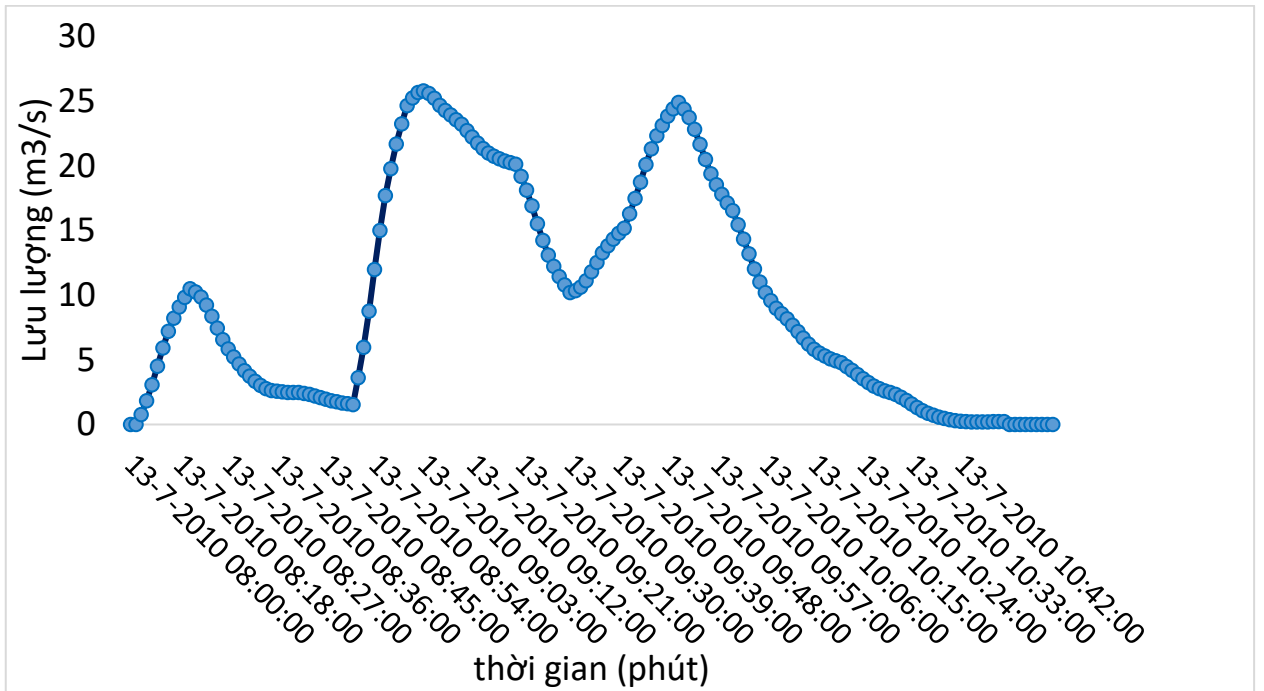
Hình PL4.18. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2007



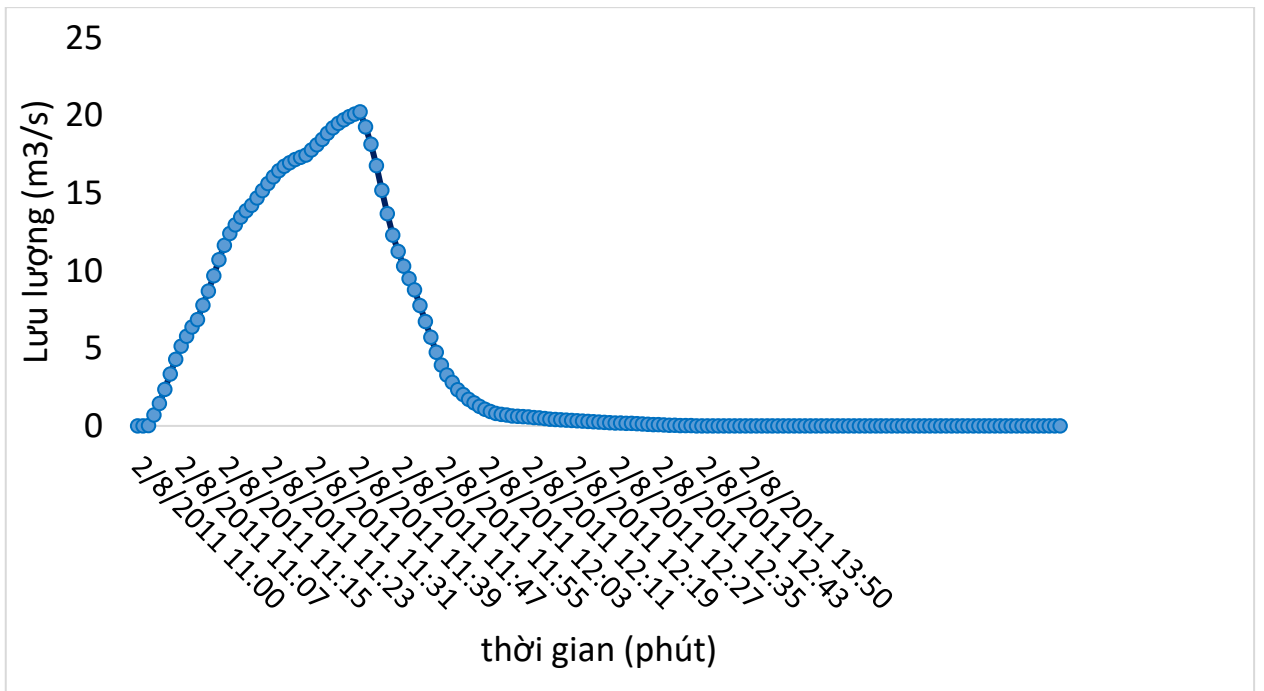
Hình PL4.19. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2008



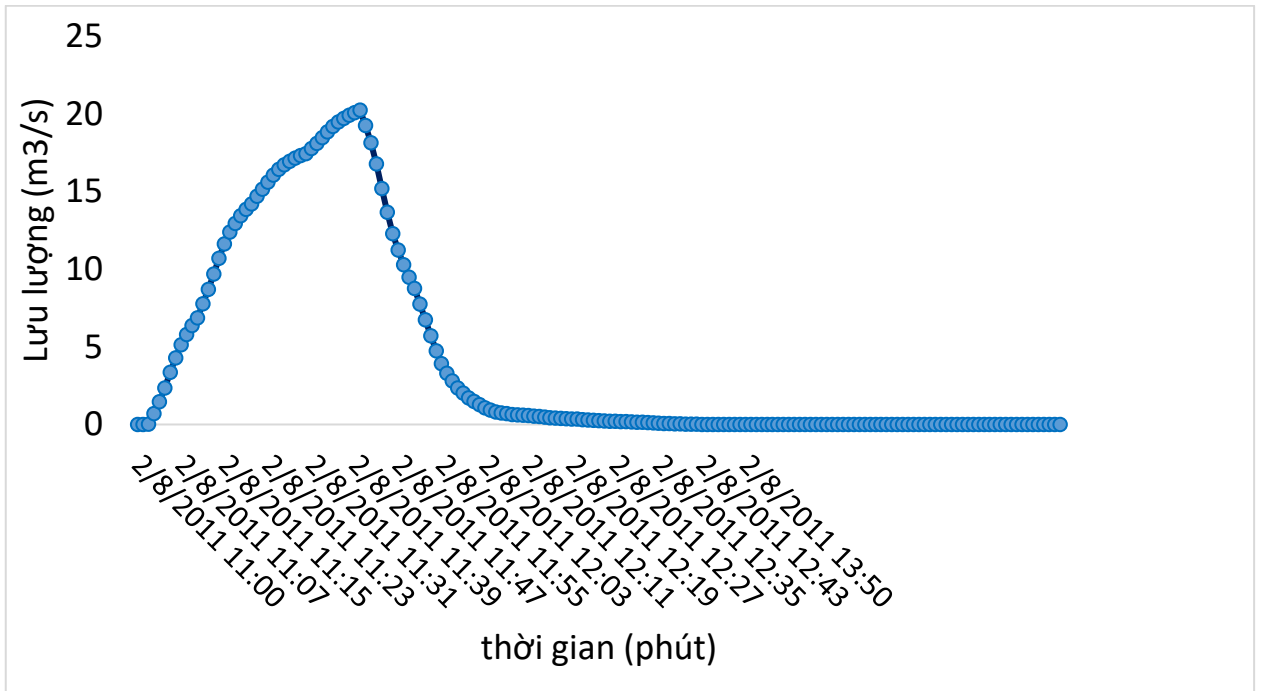
Hình PL4.20. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2009



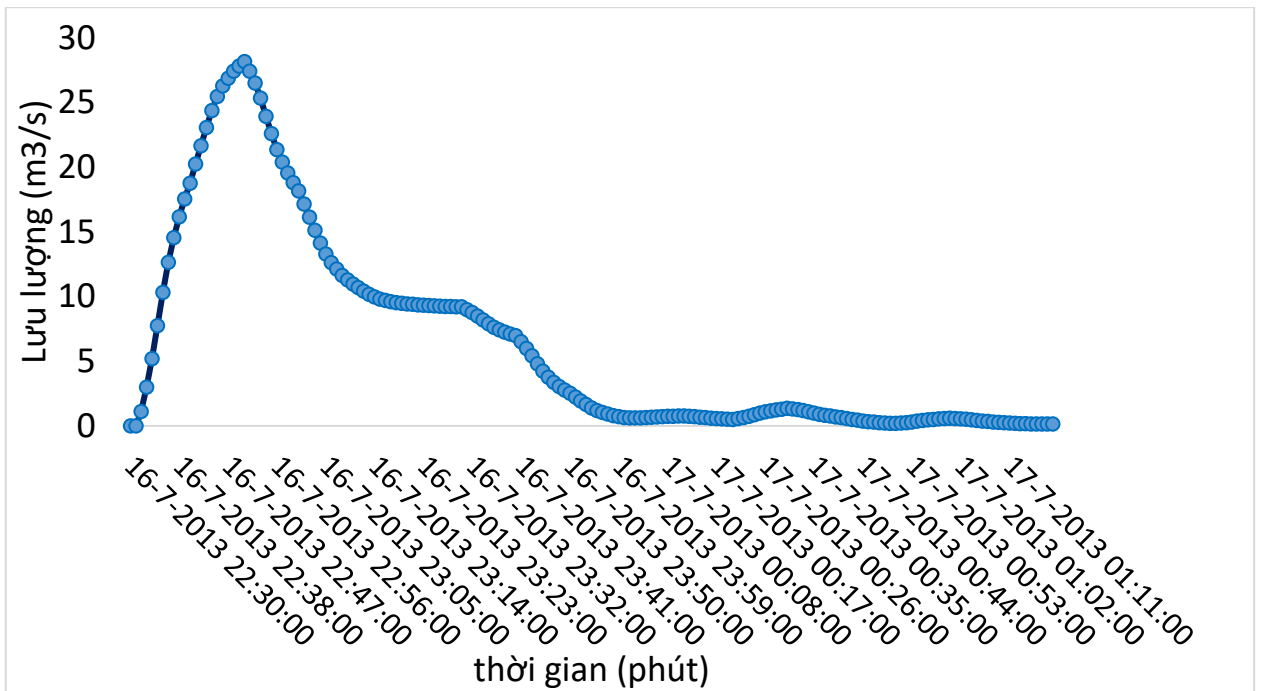
Hình PL4.21. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2010



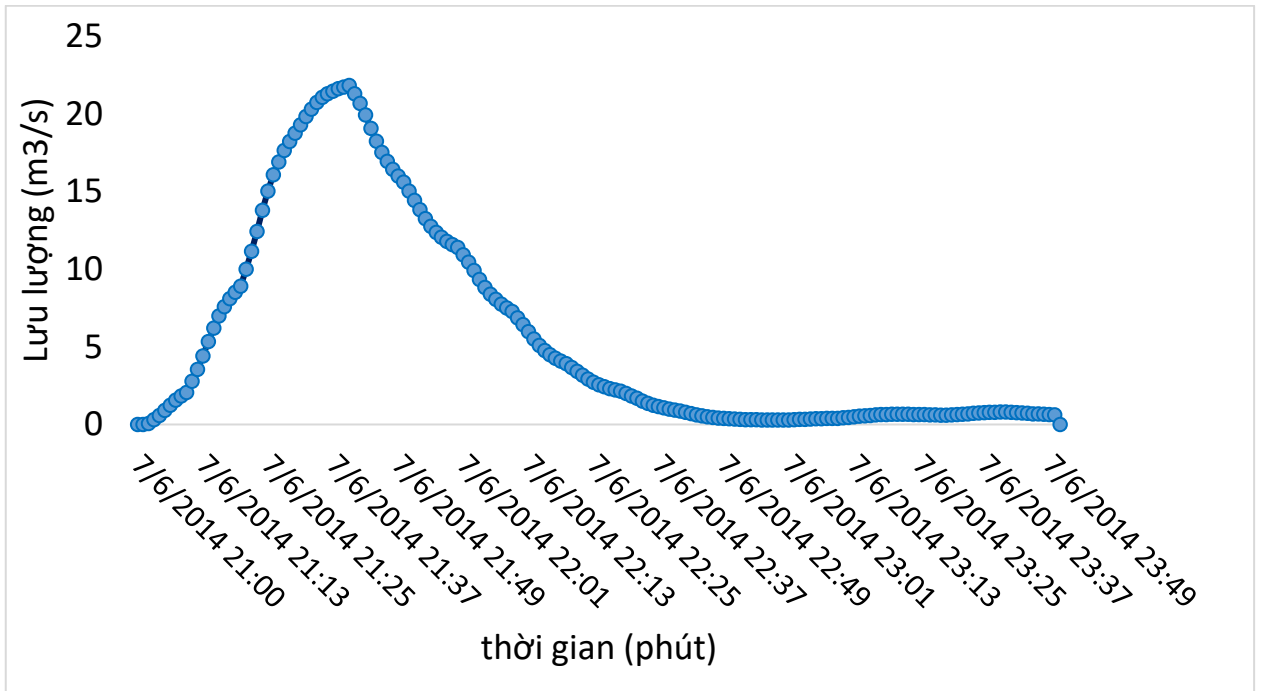
Hình PL4.22. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2011



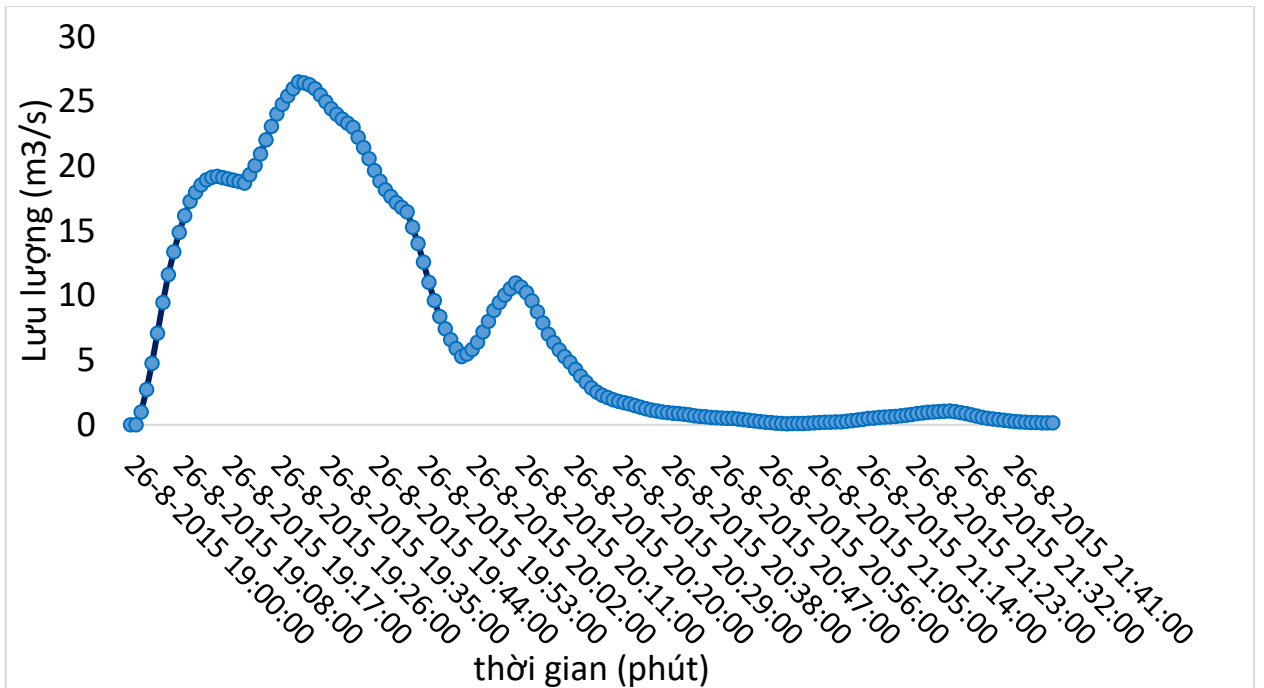
Hình PL4.23. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2012



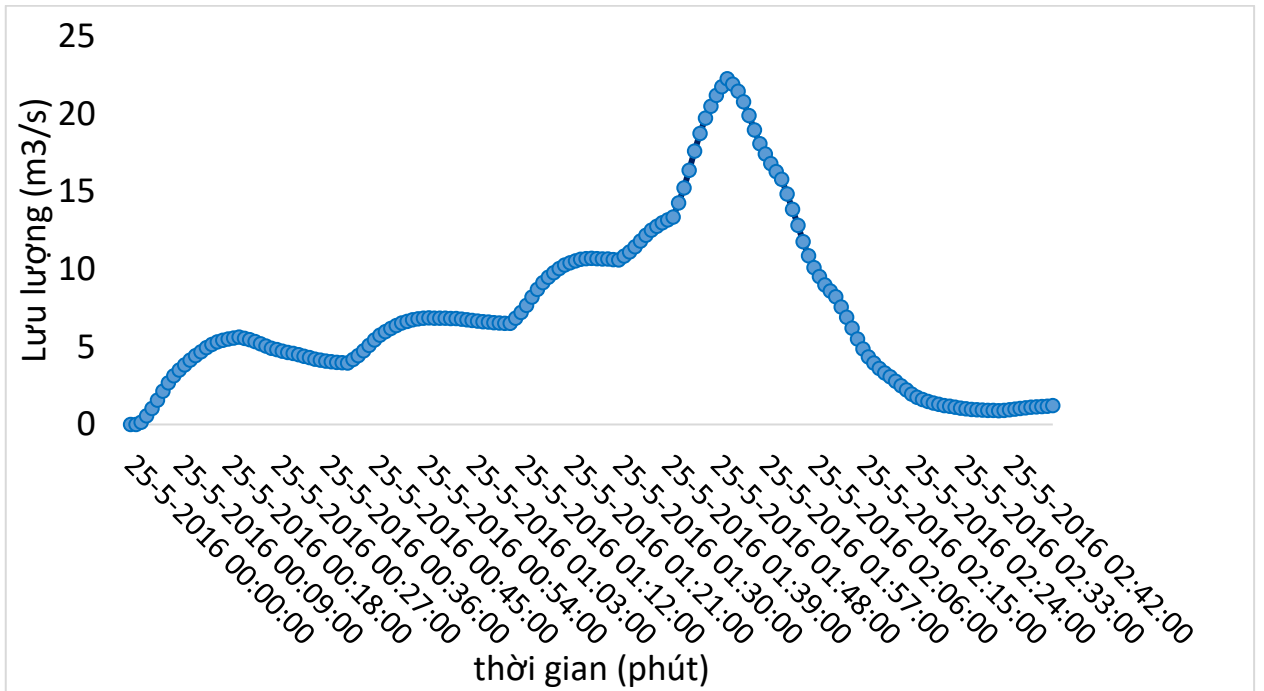
Hình PL4.24. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2013



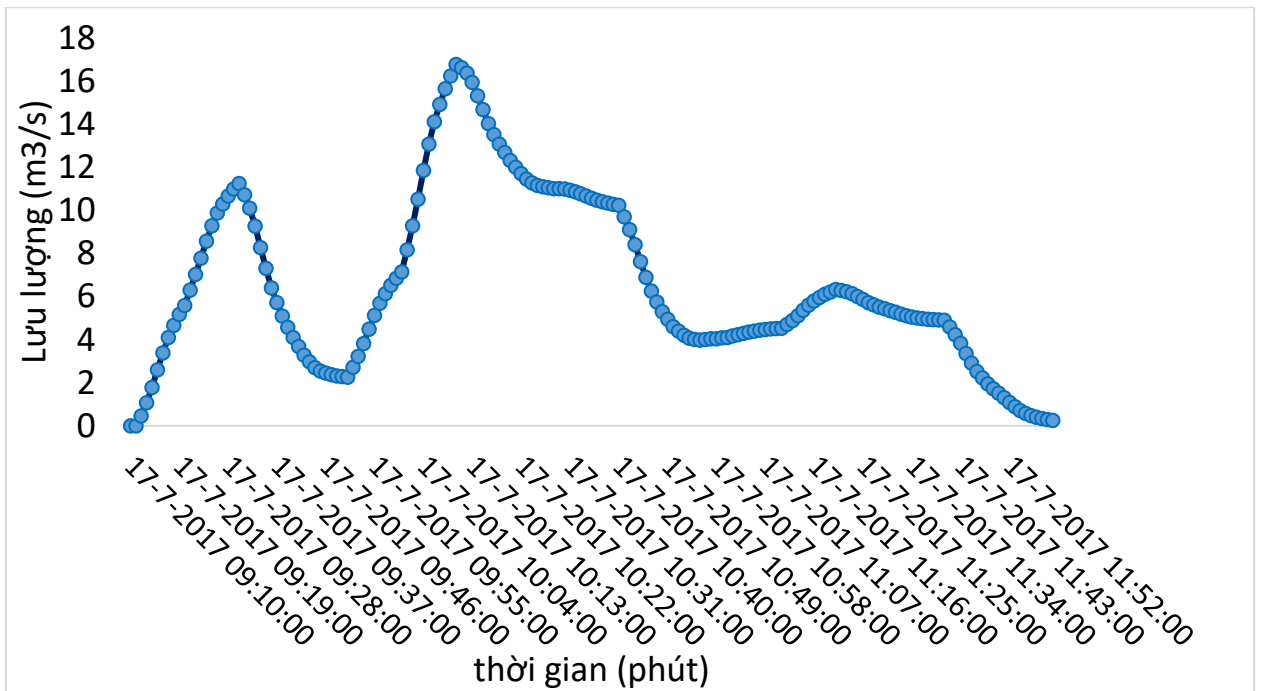
Hình PL4.25. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2014



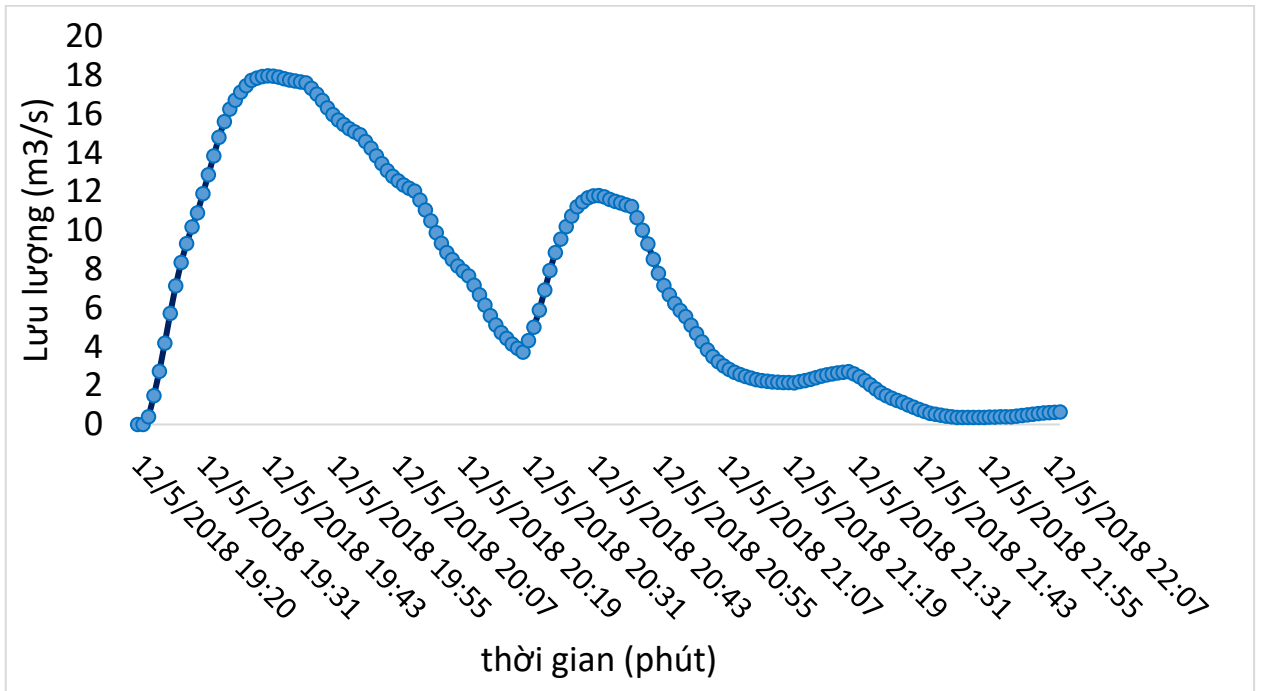
Hình PL4.26. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2015



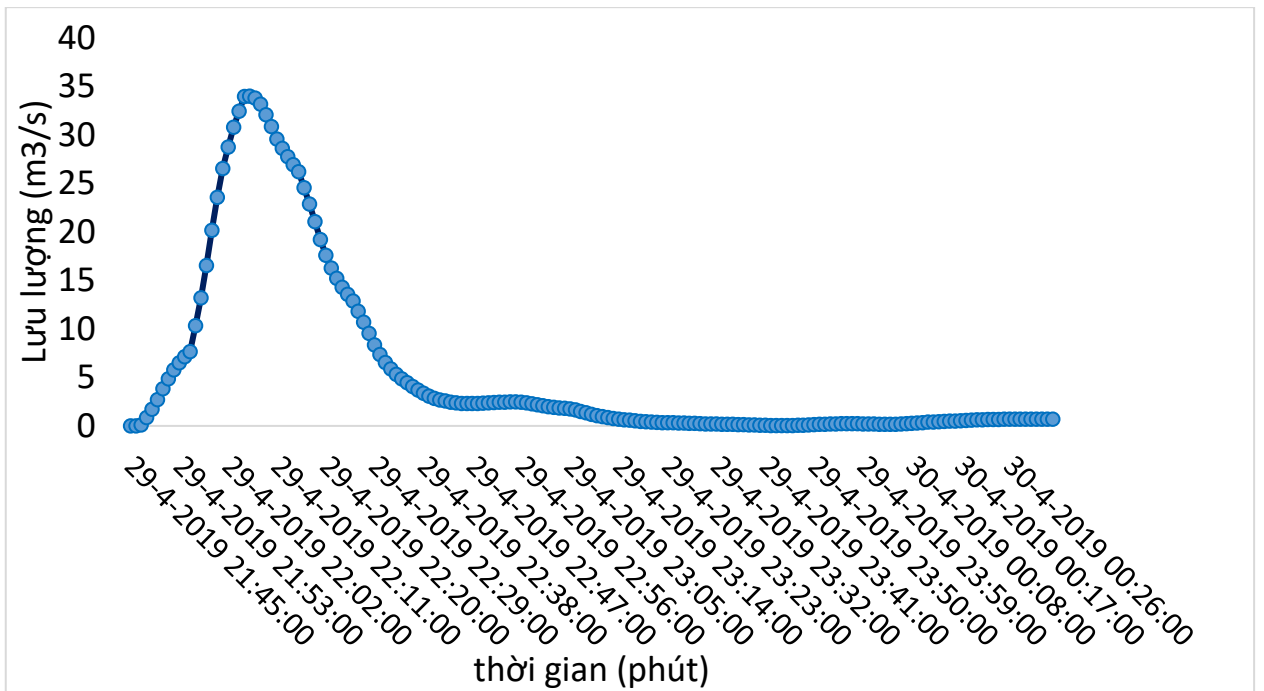
Hình PL4.27. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2016



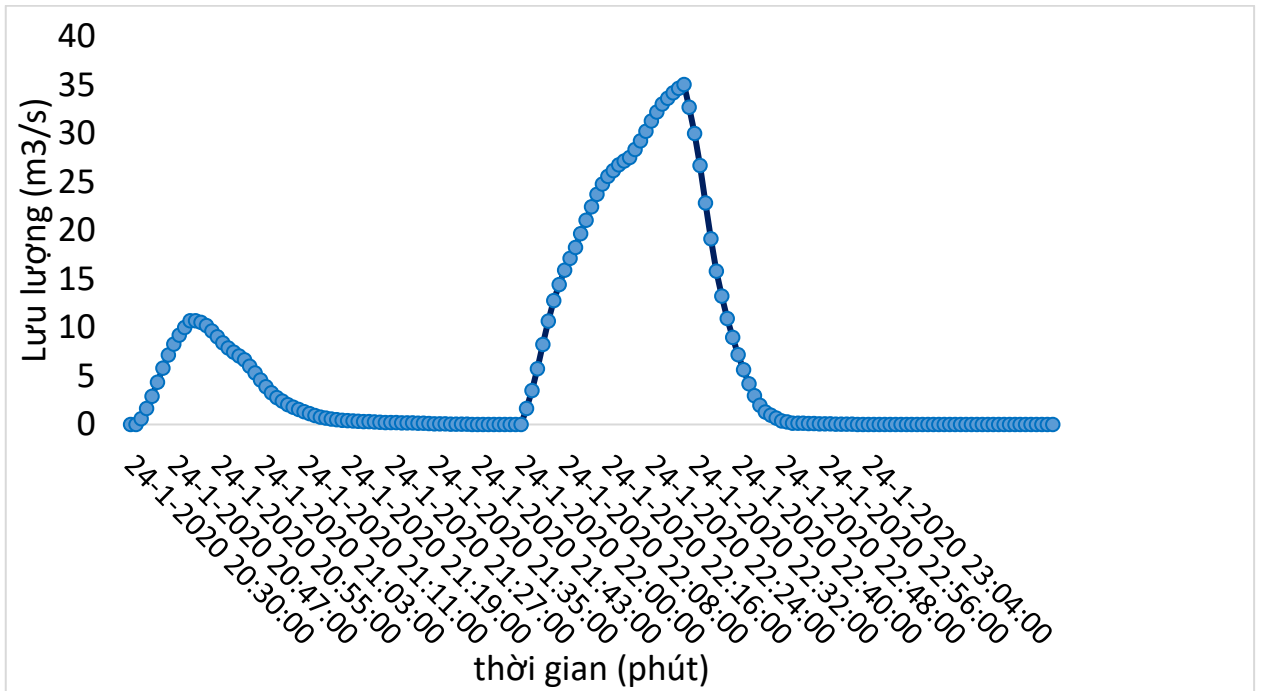
Hình PL4.28. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2017



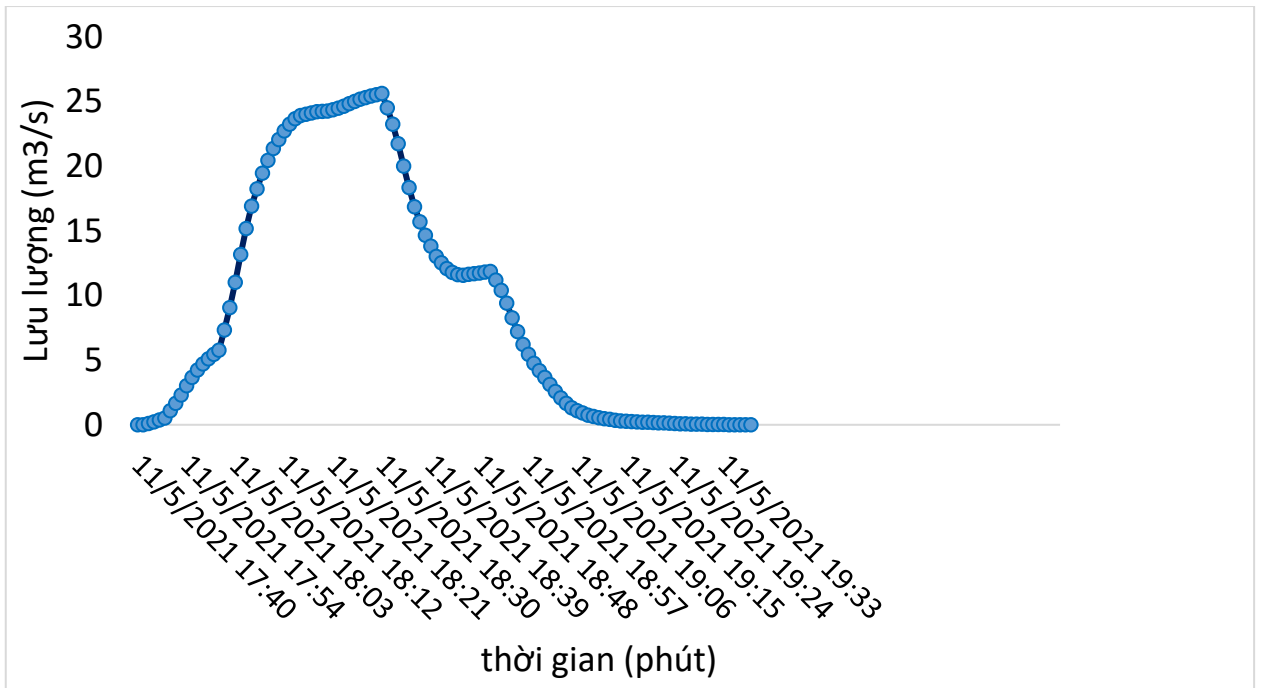
Hình PL4.29. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2018



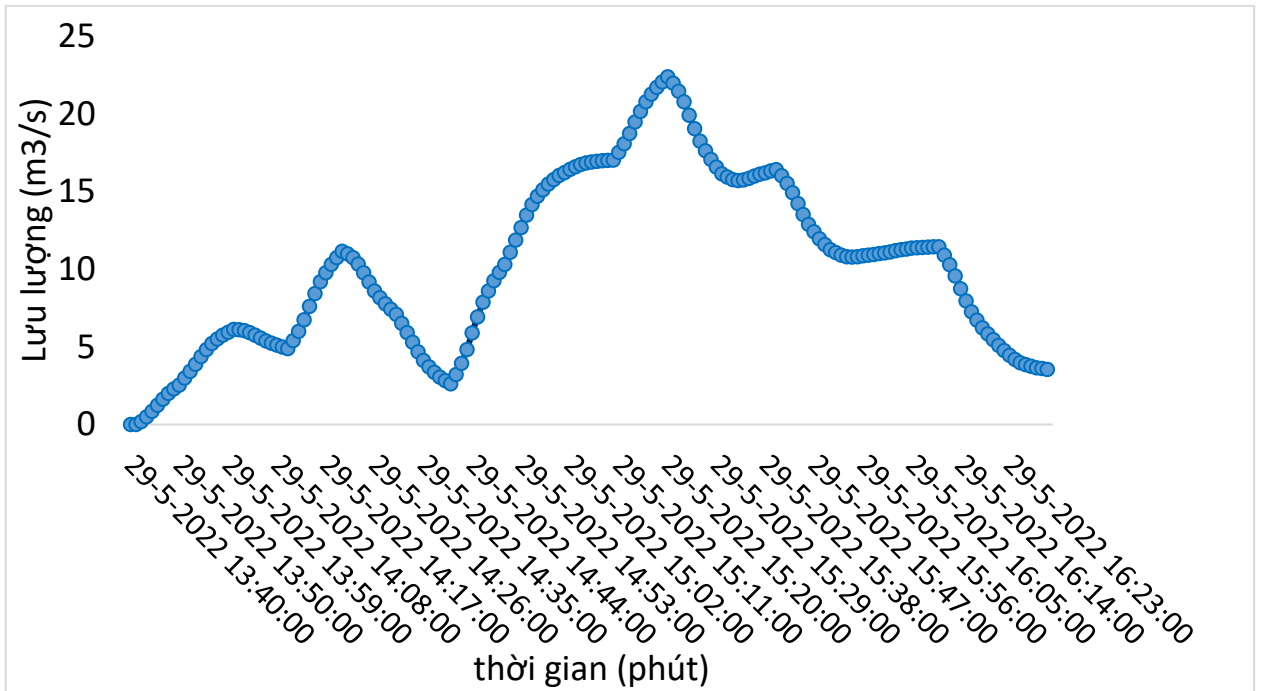
Hình PL4.30. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2019



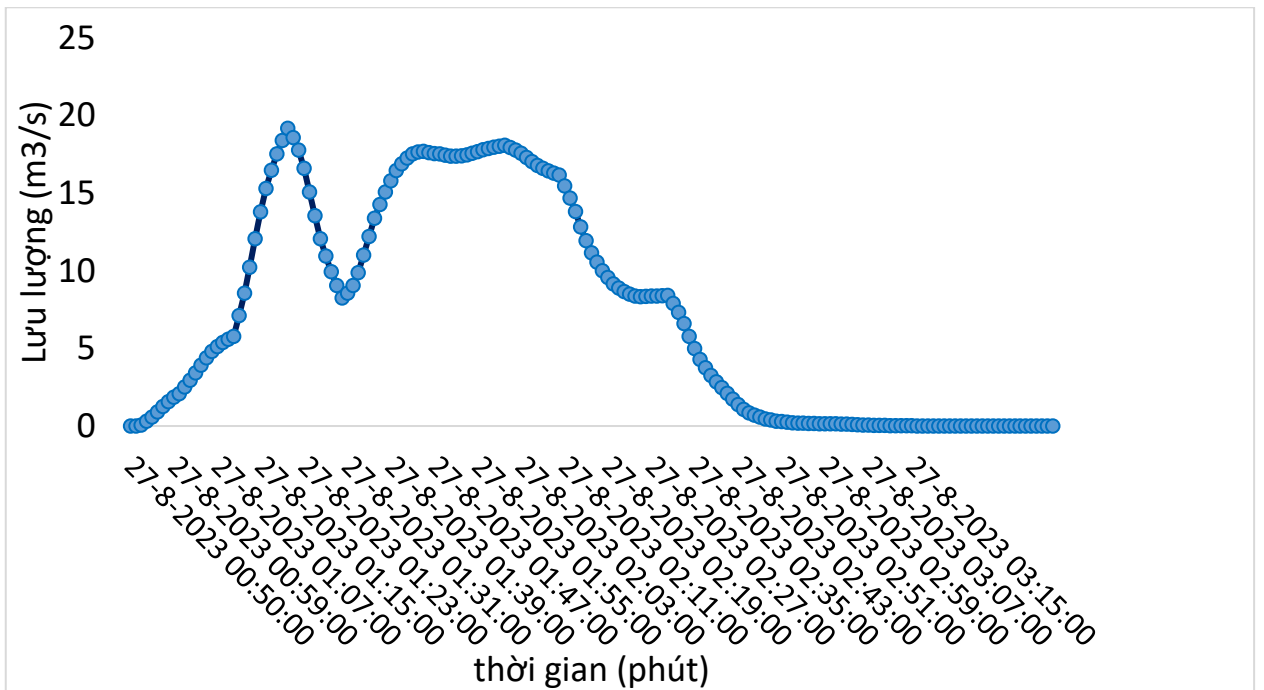
Hình PL4.31. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2020



Hình PL4.32. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2021



Hình PL4.33. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2022



Hình PL4.34. Quá trình lưu lượng dòng chảy trận mưa năm 2023