

PHÂN TÍCH TẦN SUẤT MỰC NƯỚC CỰC ĐOAN CHO THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH CÓ XEM XÉT ĐẾN TÍNH KHÔNG DỪNG TRONG CHUỖI SỐ LIỆU

Lê Thị Hòa Bình¹, Đặng Đồng Nguyên¹

Tóm tắt: Gần đây, dưới sự biến đổi khí hậu liên quan đến các hoạt động của con người, khái niệm về tính không dừng trong chuỗi số liệu được áp dụng rộng rãi và thường xuyên hơn trong các phân tích tần suất của mực nước cực đoan. Trong nghiên cứu này, chuỗi giá trị mực nước cực đoan sẽ được mô phỏng dựa trên tính không dừng với biến số là thời gian. Kết quả từ nghiên cứu chỉ ra rằng, mô hình GEV-4 là phù hợp để mô phỏng mực nước cực đoan tại Phú An. Bên cạnh đó, giá trị thiết kế của mực nước dựa trên giả thiết về tính dừng nhỏ hơn đáng kể so với các giá trị mực nước dựa trên giả thiết về tính không dừng trong dữ liệu mực nước cho hầu hết các chu kỳ lặp lại khác nhau.

Từ khóa: Mực nước cực đoan, Tp.HCM, mực nước thiết kế, tính không dừng, Phú An.

1. TỔNG QUAN

Vài thập kỷ trở lại đây, ngập lụt đô thị được xem là một thách thức toàn cầu liên quan mật thiết đến quy luật của tự nhiên và cả tác động của con người (Ashley và nnk, 2005; Ishak và nnk, 2013; Ozdemir và nnk, 2013). Sự gia tăng về tần suất và cường độ của các trận mưa, tốc độ đô thị hóa nhanh và gia tăng mực nước biển được xem là các nhân tố làm trầm trọng thêm vấn đề ngập lụt ở đô thị (Ashley và nnk, 2005; Wu và nnk, 2017; Yin và nnk, 2015). Tuy nhiên, dựa trên các báo cáo về thiệt hại do ngập lụt gây ra, có thể thấy rằng sự biến đổi khó lường của thiên tai, lũ lụt đã vượt qua khả năng bảo vệ của các công trình phòng, chống thiên tai hiện nay (Duy và nnk, 2017).

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, hiểu rõ các đặc tính ngẫu nhiên của mực nước cực đoan là yếu tố rất cần thiết cho việc lập quy hoạch cũng như thiết kế các công trình phòng, chống thiên tai (Arns và nnk, 2013; Katz, 2013). Và việc xem xét, đánh giá các giá trị cực đoan của mực nước thông thường sẽ dựa vào một số phương pháp thống kê

liên quan đến lý thuyết phân tích tần suất cực trị (Extreme value theory) (Arns và nnk, 2015; Bulteau và nnk, 2015; Mudersbach & Jensen, 2010). Thông thường, các phương pháp thống kê dựa trên thuyết giá trị cực đoan sẽ dựa trên việc giả định chuỗi số liệu (ví dụ như mực nước, lượng mưa v.v.) sẽ có tính dừng (stationary). Tuy nhiên, dưới sự biến đổi khó lường của khí hậu, giả định về tính dừng trong chuỗi số liệu khí tượng thủy văn có thể không còn phù hợp nữa. Thay vào đó, tính không dừng (nonstationary) ngày càng được quan tâm xem xét trong nhiều nghiên cứu, nhất là trong phân tích tần suất của mực nước cực đoan tại các vùng thường diễn ra ngập lụt (Arns và nnk, 2015; Menéndez & Woodworth, 2010; Mudersbach & Jensen, 2010; Serafin & Ruggiero, 2014).

Trong các bài toán phân tích thống kê, xu hướng tuyến tính (linear trend) thường được sử dụng để mô hình hóa các sự kiện cực đoan có tính không dừng. Ví dụ, Wi (2016) đã xây dựng hàm phân phối xác suất Generalized Extreme Value (GEV) và Generalized Pareto distribution (GPD) để mô tả dữ liệu cực đoan, trong đó, tác giả sử dụng xu hướng tuyến tính để mô tả tham số location (μ) và scale (σ). Villafuerte và nnk

¹ Bộ môn Kỹ thuật Tài nguyên nước và Môi trường, Đại học Thủy lợi phân hiệu Bình Dương

(2015) đánh giá về sự thay đổi của mưa cực đoan tại Philippines bằng cách sử dụng hàm phân phối GEV và tham số location (μ) được giả định tuân theo xu hướng tuyến tính. Tương tự, Cheng và AghaKouchak (2014) đã xây dựng đường cong IDF (intensity-duration-frequency curves) bằng cách sử dụng hàm phân phối xác suất GEV có xét đến tính không dừng của chuỗi dữ liệu mưa cực đoan và xu hướng tuyến tính của tham số location (μ). Tuy nhiên, Agilan và Umamahesh (2016a) khuyến nghị rằng việc sử dụng dạng tuyến tính dựa trên hiệp biến thời gian sẽ làm gia tăng sự thiên lệch của mô hình có tính không dừng. Hơn thế nữa, Um và nnk (2017) cho rằng hàm phi tuyến sẽ là lựa chọn phù hợp hơn để áp dụng phân tích tần suất của các giá trị cực đoan. Do đó, các phương trình phi tuyến ngày càng được áp dụng nhiều hơn trong việc mô hình hóa các sự kiện khí tượng, thủy văn cực đoan (Agilan & Umamahesh, 2016b; Panagoulia và nnk, 2014; Sugahara và nnk, 2009).

Được ví như là một trung tâm kinh tế đứng đầu cả nước, thành phố Hồ Chí Minh (Tp. HCM) đang phải đối mặt với rất nhiều thách thức liên quan đến sự gia tăng về dân số, đô thị hóa và tình trạng ngập lụt ngày càng nghiêm trọng (Hanson và nnk, 2011; Storch & Downes, 2011). Nằm ở hạ lưu hệ thống sông Sài Gòn- Đồng Nai kết hợp với địa hình tương đối thấp trũng và một mạng lưới sông ngòi phức tạp, tình trạng ngập lụt diễn ra khá thường xuyên tại Tp.HCM với rất nhiều tác nhân như mưa lớn, triều cường, tốc độ đô thị hóa quá nhanh, cùng với lượng nước đổ về từ các hồ thượng nguồn. (ADB, 2010; Lasage và nnk, 2014; Storch & Downes, 2011; World Bank, 2010). Ngập lụt diễn ra thường xuyên và nghiêm trọng hơn vào mùa mưa, từ tháng 5 đến tháng 11. Tình trạng này có khả năng sẽ trở nên tồi tệ và ảnh hưởng sâu rộng hơn đến đời sống người dân khi dân số không ngừng gia tăng kết hợp với sự biến đổi về mưa cực đoan và gia tăng mực nước biển (ADB, 2010). Đến năm 2070, Tp.HCM

được dự báo sẽ là một trong 5 đô thị chịu ảnh hưởng nặng nề nhất do ngập lụt gây ra (Hanson và nnk, 2011; Storch & Downes, 2011).

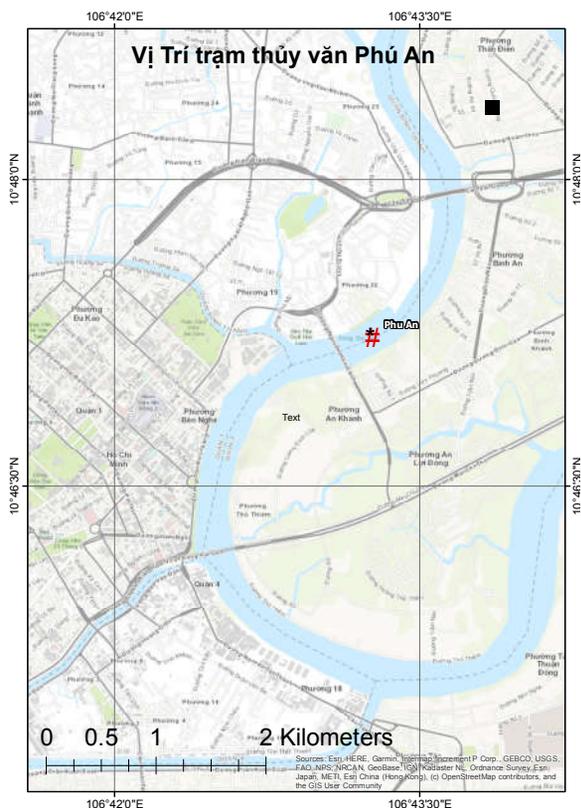
Có thể thấy rằng, ngập lụt đã và đang trở thành vấn đề cấp bách ở Tp.HCM. Do đó, việc mô phỏng, đánh giá về mực nước cực đoan có thể hữu ích cho quá trình thiết kế, quản lý các công trình phòng, chống thiên tai. Mục tiêu chính của bài báo này là mô phỏng mực nước cực đoan tại Tp. HCM dựa trên giả thiết về tính không dừng của chuỗi số liệu mực nước. Bên cạnh đó, một số hàm phi tuyến dựa trên biến thời gian sẽ được áp dụng cho hàm phân phối xác suất. Mô hình tốt nhất cho mô phỏng mực nước cực đoan sẽ được lựa chọn thông qua các chỉ số Akaike Information Criterion và Bayesian Information Criterion. Cuối cùng, giá trị mực nước cực đoan ứng với chu kỳ lặp lại là 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 và 500 năm sẽ được dự đoán dựa trên mô hình tốt nhất.

2. GIỚI THIỆU VÙNG NGHIÊN CỨU VÀ DỮ LIỆU

Trong nghiên cứu này, số liệu mực nước tại trạm Phú An từ năm 1980 đến 2014 thu thập từ Trung tâm tư liệu Khí tượng Thủy văn Quốc gia sẽ được sử dụng để phân tích tần suất xét đến tính không dừng trong mẫu thống kê. Hình 1 thể hiện vị trí của trạm đo mực nước Phú An.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu trong bài báo này được thực hiện theo trình tự như sau: đầu tiên, tính không dừng trong chuỗi số liệu mực nước sẽ được xem xét trong hàm phân phối xác suất Generalized Extreme Value (GEV). Trong đó, tham số location (μ) - tham số vị trí - được biểu diễn theo các hàm phi tuyến khác nhau. Tiếp theo, các chỉ số Akaike Information Criterion (AICc) và Bayesian Information criterion (BIC) được dùng để lựa chọn mô hình phù hợp nhất. Cuối cùng giá trị mực nước cực đoan ứng với chu kỳ lặp lại là 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 và 500 năm sẽ được dự đoán dựa trên mô hình tốt nhất.



Hình 1. Vị trí trạm đo mực nước Phú An

3.1. Hàm phân phối xác suất GEV

Hiện nay có rất nhiều hàm phân phối xác suất được sử dụng để mô tả dữ liệu khí tượng, thủy văn, ví dụ như hàm Gumbel, Log-Normal, Pearson, GEV, Pareto, v.v. Trong đó, hàm GEV và Pareto thường được sử dụng nhiều nhất trong phân tích tần suất của các hiện tượng thời tiết cực đoan như mưa, bão và lũ lụt. Do đó, trong nghiên cứu này, hàm phân phối xác suất GEV được sử dụng để phân tích dữ liệu mực nước lớn nhất cho trạm đo mực nước Phú An. Giả sử $x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ thể hiện mực nước lớn nhất hàng năm của n biến ngẫu nhiên độc lập và phân phối giống nhau, hàm phân phối lũy tích của GEV được thể hiện ở phương trình (1) như sau:

$$G(x; \mu, \sigma, \xi) = \exp\left\{-\left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}\right\}, \quad 1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) > 0, \sigma > 0 \quad (1)$$

Trong đó, μ (tham số vị trí), σ (tham số tỷ lệ) và ξ (tham số hình dạng) thể hiện các tham số thống kê của hàm GEV (thông tin chi tiết về các tham số μ , σ và ξ vui lòng có thể tham khảo trong Coles và nnk 2001).

Khi chuỗi số liệu được xem là có tính dừng, giá trị của các tham số là hằng số. Hàm phân phối xác suất GEV dựa trên giả thiết về tính dừng trong chuỗi số liệu được thể hiện như sau:

$$\text{GEV-0: } \mu(t) = \mu, \sigma(t) = \sigma, \xi(t) = \xi \quad (2)$$

Trong trường hợp chuỗi số liệu được coi là không dừng, giá trị của tham số sẽ biến đổi theo biến số (ví dụ như thời gian, hoặc yếu tố khí hậu). Trong nghiên cứu này, 5 mô hình dựa trên hàm phân phối xác suất GEV sẽ được thiết lập dựa trên giả thiết về tính không dừng trong số liệu mực nước cực đoan. Tham số vị trí (μ) được biểu diễn theo các hàm phi tuyến khác nhau và xem xét thời gian như là biến số:

$$\text{GEV-1: } \mu(t) = \mu_0 + \mu_1 \times t, \quad \sigma(t) = \sigma, \xi(t) = \xi \quad (3)$$

$$\text{GEV-2: } \mu(t) = \mu_0 + \mu_1 \times t^2, \quad \sigma(t) = \sigma, \xi(t) = \xi \quad (4)$$

$$\text{GEV-3: } \mu(t) = \mu_0 + \mu_1 \times \text{sqrt}(t), \quad \sigma(t) = \sigma, \xi(t) = \xi \quad (5)$$

$$\text{GEV-4: } \mu(t) = \mu_0 + \mu_1 \times t + \mu_2 \times t^2, \quad \sigma(t) = \sigma, \xi(t) = \xi \quad (6)$$

$$\text{GEV-5: } \mu(t) = \mu_0 + \mu_1 \times t + \mu_2 \times t^2 + \mu_3 \times t^3, \quad \sigma(t) = \sigma, \xi(t) = \xi \quad (7)$$

Các tham số của hàm GEV sẽ được tính toán qua phương pháp ước lượng Bayes (Bayesian estimation). Phương pháp ước lượng Bayes có thể tóm tắt như sau:

- Gọi X là biến ngẫu nhiên cần nghiên cứu, có phân phối xác suất phụ thuộc vào tham số θ
- Tham số θ cần ước lượng như một giá trị cụ thể của biến ngẫu nhiên Θ , và Θ được ước lượng

dựa vào phân phối xác suất hậu nghiệm của nó với điều kiện đã biết mẫu dữ liệu cụ thể $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ của mẫu ngẫu nhiên $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$.

- Θ có phân phối xác suất thống kê tiên nghiệm (prior) với hàm mật độ xác suất $f_{\Theta}(\theta)$.

- Hàm mật độ xác suất của X với điều kiện θ , ký hiệu $f_{X|\theta}(x, \theta)$, được gọi là hàm hợp lý, được xác định bởi:

$$f_{X|\theta}(x, \theta) = \prod_{i=1}^n f_{X_i|\theta}(x_i, \theta) \quad (8)$$

- Dựa vào mẫu của X , phân phối xác suất của θ được cập nhật. Phân phối xác suất của Θ với điều kiện X được gọi là phân phối hậu nghiệm (posterior), với hàm mật độ xác suất $f_{\Theta|X}(x, \theta)$ được xác định bởi:

$$f_{\Theta|X}(x, \theta) = \frac{f_{\Theta X}(\theta, x)}{f_X(x)} = \frac{f_{X|\theta}(x, \theta) f_{\Theta}(\theta)}{\int f_{X|\theta}(x, \theta) f_{\Theta}(\theta) d\theta} \quad (9)$$

- Ước lượng tham số của X , là hàm của Θ , được xác định dựa vào phân phối hậu nghiệm của Θ , được gọi là ước lượng Bayes (thông tin chi tiết về phương pháp ước lượng Bayes, vui lòng tham khảo Tse, 2009).

3.2. Lựa chọn mô hình phù hợp nhất

Trong nghiên cứu này, chỉ số AIC (Akaike,

Khi $\xi \neq 0$,

$$L(\mu, \sigma, \xi | X) = -$$

$$-n \log \sigma - \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) \sum_{i=1}^n \log \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - (\mu_0 + \mu_1 \times t)}{\sigma}\right)\right] - \sum_{i=1}^n \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - (\mu_0 + \mu_1 \times t)}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}, 1 + \xi \left(\frac{x_i - (\mu_0 + \mu_1 \times t)}{\sigma}\right) > 0 \quad (12)$$

Khi $\xi = 0$,

$$L(\mu, \sigma | X) = -n \log \sigma - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - (\mu_0 + \mu_1 \times t)}{\sigma}\right) - \sum_{i=1}^n \exp \left[-\left(\frac{x_i - (\mu_0 + \mu_1 \times t)}{\sigma}\right)\right] \quad (13)$$

3.3. Tính toán giá trị mực nước tần suất thiết kế

Sau khi mô hình phù hợp nhất cho mô phỏng mực nước cực đoan được lựa chọn, các giá trị mực nước cực đoan (Z_T) tương ứng với chu kỳ lặp lại (T -year) 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 và 500 năm sẽ được tính toán. Đối với mô hình dựa trên giả thiết về tính không dừng của chuỗi số liệu, các tham số vị trí (μ) của hàm phân phối xác suất sẽ biến đổi theo thời gian. Vì vậy, các tác giả đề xuất lấy

1974), BIC (Schwarz, 1978) sẽ được dùng để lựa chọn mô hình thích hợp nhất. Mô hình với giá trị của AIC, BIC nhỏ hơn thì được xem là mô hình tốt hơn được lựa chọn để mô tả mực nước cực đoan. Tuy nhiên, nghiên cứu của Hurvich và Tsai (1995) đã chỉ ra rằng chỉ số AIC không phù hợp với các chuỗi số liệu ngắn, do đó các tác giả đã đề nghị sử dụng chỉ số AICc sẽ tránh được sự thiên lệch và phù hợp hơn với các chuỗi số liệu ngắn. Do đó, chỉ số AICc sẽ được dùng thay cho chỉ số AIC.

Hai chỉ số AICc và BIC được thể hiện trong phương trình (10) và (11):

$$AICc = -2(\text{loglikelihood}) + 2k + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad (10)$$

$$BIC = -2(\text{loglikelihood}) + k \ln(n) \quad (11)$$

Trong đó k là số lượng tham số độc lập trong mô hình, n là độ lớn mẫu.

Ví dụ khi xem xét mô hình mang tính không dừng GEV-1, hàm likelihood có thể được biểu diễn dưới dạng hàm của các tham số $\mu_0, \mu_1, \sigma, \xi$. Giả sử x_1, x_2, \dots, x_n là chuỗi số liệu mực nước giờ lớn nhất của n năm, hàm loglikelihood có thể được viết như sau:

trung vị (50 percentiles) các giá trị của tham số vị trí (μ) để tính toán giá trị mực nước cực đoan ứng với các chu kỳ lặp lại trong nghiên cứu này.

$$\hat{\mu}_{50} = Q_{50}(\hat{\mu}_{t1}, \hat{\mu}_{t2}, \dots, \hat{\mu}_{tm}) \quad (14)$$

Giá trị mực nước cực đoan tương ứng với chu kỳ lặp lại T được đưa ra bởi Coles và nnk (2001) như sau:

$$z_{T=} \begin{cases} \hat{\mu} - \frac{\hat{\sigma}}{\xi} \left[1 - \left\{-\log\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right\}^{-\xi}\right], & \text{for } \xi \neq 0 \\ \hat{\mu} - \hat{\sigma} \log\left\{-\log\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right\}, & \text{for } \xi = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Các tính toán trong nghiên cứu này (như AICc, BIC, ước lượng tham số, giá trị mực nước cực đoan tương ứng với các chu kỳ lặp lại khác nhau) được xử lý bằng phần mềm R Studio với ngôn ngữ lập trình R.

Kết quả

Bảng 1 thể hiện giá trị AICc và BIC cho mô hình phân phối xác suất dựa trên giả thiết về tính dừng (GEV-0) và không dừng (GEV-1, GEV-2, GEV-3, GEV-4 và GEV-5). Có thể thấy rằng, mô hình GEV-4 có giá trị AICc và BIC là nhỏ nhất, vì vậy, mô hình GEV-4 được xem là phù hợp để mô

phỏng giá trị mực nước cực đoan trong nghiên cứu này. Giá trị các tham số của 2 mô hình GEV-0 và GEV-4 thông qua ước lượng Bayesian được thể hiện trong Bảng 2.

Trong bài báo này, biểu đồ xác suất chuẩn được sử dụng để kiểm tra sự phù hợp của mô hình được chọn. Kết quả so sánh biểu đồ xác suất chuẩn cho thấy rằng, hàm phân phối xác suất GEV-4 (Hình 2b) cho kết quả giữa số liệu thực đo và mô hình tương đối phù hợp hơn so với mô hình GEV-0 (Hình 2a).

Bảng 1. Giá trị AICc và BIC của các mô hình

Chỉ số	GEV-0	GEV-1	GEV-2	GEV-3	GEV-4	GEV-5
AICc	-14.46	-92.74	-92.74	-74.56	-124.44	-121.81
BIC	-38.59	-57.95	-65.24	-40.04	-94.05	-91.45

Bảng 2. Giá trị của các tham số trong mô hình GEV-0 và GEV-4

Mô hình/Khoảng tin cậy		Tham số				
		μ			σ	ξ
		μ_0	μ_1	μ_2		
GEV-0		1.36			-2.15	-0.37
GEV-4	50%	1.37	0.75	0.23	-3.60	-0.33
	25%	1.37	0.73	0.21	-3.60	-0.33
	95%	1.38	0.76	0.24	-3.60	-0.33

Các giá trị mực nước cực đoan tương ứng với chu kỳ lặp lại 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 và 500 năm ứng với các khoảng tin cậy (25%, 50% và 95%) được thể hiện ở Bảng 3. Kết quả cho thấy rằng, giá trị mực nước cực đoan được dự đoán từ mô hình tốt nhất GEV-4 lớn hơn so với mô hình GEV-0 trong hầu hết các chu kỳ lặp lại. Điều này có nghĩa là giả thiết về tính dừng trong chuỗi số liệu có thể dẫn đến việc đánh giá thấp các sự kiện mực nước cực đoan, và có khả năng ảnh hưởng đến việc quy hoạch, thiết kế các công trình phòng, chống ngập lụt.

Bảng 3. Giá trị mực nước cực đoan tương ứng với các chu kỳ lặp lại

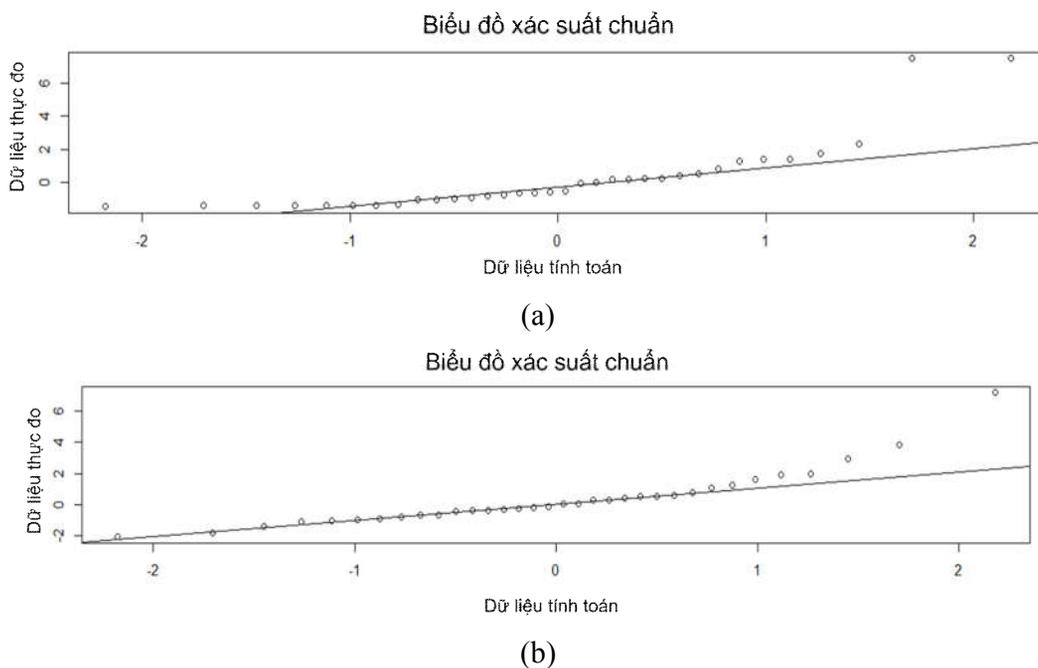
Chu kỳ lặp lại (năm)	Giá trị mực nước (m)			
	GEV-0	GEV-4		
		25%	50%	95%
2	1.40	1.58	1.60	1.62
5	1.50	1.60	1.63	1.64
10	1.54	1.61	1.64	1.65
20	1.57	1.62	1.65	1.66
50	1.60	1.63	1.65	1.67
100	1.62	1.64	1.66	1.67
200	1.63	1.64	1.66	1.68
500	1.65	1.64	1.67	1.68

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, 5 mô hình dựa trên hàm phân phối xác suất GEV và giả thiết về tính không dừng trong chuỗi số liệu được thiết lập để mô phỏng mực nước cực đoan cho Tp. HCM. Bên cạnh đó, mô hình dựa trên giả thiết về tính dừng của chuỗi số liệu mực nước cũng được thiết lập để so sánh. Mô hình tốt nhất được lựa chọn thông qua chỉ số AICc và BIC. Kết quả cho thấy rằng, mô hình GEV-4 được xem là mô hình tốt nhất để mô phỏng mực nước cực đoan cho trạm Phú An. Các giá trị mực nước dựa trên mô hình tốt nhất

(GEV-4) lớn hơn so với các giá trị mực nước của mô hình GEV-0 trong hầu hết các chu kỳ lặp lại khác nhau.

Tóm lại, ngập lụt đã và đang trở thành vấn đề cấp bách của Tp. HCM dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng, tạo áp lực rất lớn lên chiến lược phòng chống và thích ứng với ngập lụt của thành phố. Từ kết quả nghiên cứu này, mô hình GEV-4 được kiến nghị sử dụng trong các tính toán mực nước thiết kế cho các công trình phòng, chống ngập tại Tp.HCM, và có thể áp dụng cho các vùng phụ cận trong lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai.



Hình 2. So sánh biểu đồ xác suất chuẩn giữa (a) GEV-0 và (b) GEV-4

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- ADB. (2010). *Ho Chi Minh City Adaptation to Climate Change: Summary Report*. Retrieved from <https://www.adb.org/publications/ho-chi-minh-city-adaptation-climate-change-summary-report>
- Agilan, V., & Umamahesh, N. (2016a). *Modelling nonlinear trend for developing non-stationary rainfall intensity-duration-frequency curve*. International Journal of Climatology. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.4774>
- Agilan, V., & Umamahesh, N. (2016b). *What are the best covariates for developing non-stationary rainfall intensity-duration-frequency Relationship?* Advances in water resources. doi:<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.12.016>
- Akaike, H. (1974). *A new look at the statistical model identification*. IEEE transactions on automatic control, 19(6), 716-723.

- Arns, A., Wahl, T., Dangendorf, S., & Jensen, J. (2015). *The impact of sea level rise on storm surge water levels in the northern part of the German Bight*. Coastal Engineering, 96, 118-131.
- Arns, A., Wahl, T., Haigh, I., Jensen, J., & Pattiaratchi, C. (2013). *Estimating extreme water level probabilities: a comparison of the direct methods and recommendations for best practise*. Coastal Engineering, 81, 51-66.
- Ashley, R. M., Balmforth, D. J., Saul, A. J., & Blanskby, J. (2005). *Flooding in the future—predicting climate change, risks and responses in urban areas*. Water Science and Technology, 52(5), 265-273.
- Bulteau, T., Idier, D., Lambert, J., & Garcin, M. (2015). *How historical information can improve estimation and prediction of extreme coastal water levels: application to the Xynthia event at La Rochelle (France)*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 15(6), 1135-1147.
- Cheng, L., & AghaKouchak, A. (2014). *Nonstationary precipitation intensity-duration-frequency curves for infrastructure design in a changing climate*. Scientific reports, 4. doi:<https://doi.org/10.1038/srep07093>
- Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., & Dorazio, P. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values* (Vol. 208): Springer.
- Duy, P., Chapman, L., Tight, M., Thuong, L., & Linh, P. (2017). *Urban Resilience to Floods in Coastal Cities: Challenges and Opportunities for Ho Chi Minh City and Other Emerging Cities in Southeast Asia*. Journal of Urban Planning and Development, 144(1), 05017018.
- Hanson, S., Nicholls, R., Ranger, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Herweijer, C., & Chateau, J. (2011). *A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes*. Climatic change, 104(1), 89-111.
- Hurvich, C. M., & Tsai, C.-L. (1995). *Model selection for extended quasi-likelihood models in small samples*. Biometrics, 1077-1084. doi:DOI: 10.2307/2533006
- Ishak, E., Rahman, A., Westra, S., Sharma, A., & Kuczera, G. (2013). *Evaluating the non-stationarity of Australian annual maximum flood*. Journal of Hydrology, 494, 134-145.
- Katz, R. W. (2013). *Statistical methods for nonstationary extremes*. In *Extremes in a Changing Climate* (pp. 15-37): Springer.
- Lasage, R., Veldkamp, T., De Moel, H., Van, T., Phi, H., Vellinga, P., & Aerts, J. (2014). *Assessment of the effectiveness of flood adaptation strategies for HCMC*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14(6), 1441-1457.
- Menéndez, M., & Woodworth, P. L. (2010). *Changes in extreme high water levels based on a quasi-global tide-gauge data set*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 115(C10).
- Mudersbach, C., & Jensen, J. (2010). *Nonstationary extreme value analysis of annual maximum water levels for designing coastal structures on the German North Sea coastline*. Journal of Flood risk management, 3(1), 52-62.
- Ozdemir, H., Sampson, C., de Almeida, G. A., & Bates, P. (2013). *Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data*. Hydrology and Earth System Sciences, 10, 5903-5942.
- Panagoulia, D., Economou, P., & Caroni, C. (2014). *Stationary and nonstationary generalized extreme value modelling of extreme precipitation over a mountainous area under climate change*. Environmetrics, 25(1), 29-43. doi:<https://doi.org/10.1002/env.2252>
- Schwarz, G. (1978). *Estimating the dimension of a model*. The annals of statistics, 6(2), 461-464.
- Serafin, K. A., & Ruggiero, P. (2014). *Simulating extreme total water levels using a time-dependent, extreme value approach*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 119(9), 6305-6329.

- Storch, H., & Downes, N. K. (2011). *A scenario-based approach to assess Ho Chi Minh City's urban development strategies against the impact of climate change*. *Cities*, 28(6), 517-526.
- Sugahara, S., Da Rocha, R. P., & Silveira, R. (2009). *Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in Sao Paulo, Brazil*. *International Journal of Climatology*, 29(9), 1339-1349. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.1760>
- Tse, Y.-K. (2009). *Nonlife actuarial models: theory, methods and evaluation*: Cambridge University Press.
- Um, M.-J., Kim, Y., Markus, M., & Wuebbles, D. J. (2017). *Modeling nonstationary extreme value distributions with nonlinear functions: An application using multiple precipitation projections for US cities*. *Journal of Hydrology*, 552, 396-406. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.007>
- Villafuerte, M. Q., Matsumoto, J., & Kubota, H. (2015). *Changes in extreme rainfall in the Philippines (1911–2010) linked to global mean temperature and ENSO*. *International Journal of Climatology*, 35(8), 2033-2044. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.4105>
- World Bank. (2010). *Climate risks and adaptation in Asian coastal megacities: a synthesis report*. Washington DC: The World Bank. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/866821468339644916/Climate-risks-and-adaptation-in-Asian-coastal-megacities-a-synthesis-report>
- Wu, X., Wang, Z., Guo, S., Liao, W., Zeng, Z., & Chen, X. (2017). *Scenario-based projections of future urban inundation within a coupled hydrodynamic model framework: A case study in Dongguan City, China*. *Journal of Hydrology*, 547, 428-442.
- Wi S, Valdés JB, Steinschneider S, Kim T-W (2016) *Non-stationary frequency analysis of extreme precipitation in South Korea using peaks-over-threshold and annual maxima*. *Stochastic environmental research and risk assessment* 30:583-606
- Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Wang, J., & Xu, S. (2015). *Modelling the anthropogenic impacts on fluvial flood risks in a coastal mega-city: a scenario-based case study in Shanghai, China*. *Landscape and Urban Planning*, 136, 144-155.

Abstract:

NONSTATIONARY EXTREME VALUE ANALYSIS FOR ESTIMATION OF DESIGN WATER LEVEL OF PHUAN STATION, HO CHI MINH CITY

Recently, under changing of climate related to human activities, the concept of nonstationary extreme value analysis has been improved and is used more frequently in analysis of extreme water level. In this study, the extreme water level timeseries is modelled under nonstationary condition by taking time as covariate. The results show that the GEV-4 is the best nonstationary model for modelling extreme water level for Phuan station. Besides, the water level estimates under the stationary condition are lower than those under the nonstationary condition for most of the return periods.

Key words: Extreme water level, stationary, design water level, nonstationary, Phuan station

Ngày nhận bài: 03/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 20/6/2022