ỨNG DỤNG COPULA TRONG XÁC ĐỊNH PHÂN BỐ ĐỒNG THỜI ĐA THIÊN TAI DO BÃO KÈM MƯA LỚN VÀ MƯA SAU BÃO

Trần Thanh Thủy[(1)], Trần Thục[(1)], Huỳnh Thị Lan Hương[(1)], Nguyễn Xuân Hiển[(1)], Lê Văn Tuấn[(2)], Nguyễn Thành Công[(3)]

[(1)]Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

[(2)]Trường Đại học Thương mại

[(3)]Cục Biến đổi khí hậu

Ngày nhận bài 5/5/2020; ngày chuyển phản biện 6/5/2020; ngày chấp nhận đăng 27/5/2020

Tóm tắt: *Các thiên tai thường xảy ra đồng thời hoặc nối tiếp. Xác suất xuất hiện đồng thời đa thiên tai đóng vai trò quan trọng trong công tác đánh giá rủi ro thiên tai. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu ở Việt Nam không xem xét đến xác suất xảy ra đồng thời của các thiên tai. Nghiên cứu này phân tích, xác định xác suất xảy ra đồng thời của các thiên tai bão kèm mưa lớn và mưa sau bão bằng hàm Copula. Số liệu quan trắc tốc độ gió mạnh trong bão và lượng mưa ngày lớn nhất trong và sau bão giai đoạn 1961-2017 của 15 trạm khí tượng được sử dụng trong nghiên cứu. Nghiên cứu đã tìm ra hàm Gumbel-Hougaard Copula là hàm phù hợp cho đa thiên tai bão kèm mưa lớn và mưa sau bão khu vực ven biển Trung Trung Bộ. Kiểm định Kolmogorov-Smirnov và tiêu chuẩn thông tin Akaike được sử dụng để kiểm định sự phù hợp của các hàm Copula.*

Từ khóa: *Xác suất, Copula, đa thiên tai, bão, mưa lớn.*

1. Giới thiệu

Khu vực Trung Trung Bộ trải dài từ 14°32’ đến 18°05’ vĩ độ Bắc và từ 105°37’ đến 109°04’ kinh độ Đông, bao gồm 06 tỉnh: Quảng Bình, Quảng Trị, Thừa Thiên Huế, Đà Nẵng, Quảng Nam và Quảng Ngãi. Trung Trung Bộ là khu vực thường xuyên chịu những tác động bất lợi của thiên tai điển hình như bão, lũ, mưa lớn. Lịch sử đã ghi nhận được một số cơn bão kèm mưa lớn, kết hợp mưa sau bão điển hình gây thiệt hại nặng nề cho khu vực. Bão Xangsane năm 2006, đổ bộ vào các tỉnh miền Trung, đã làm 76 người chết và mất tích, 532 người bị thương, làm sập hơn 24.000 ngôi nhà, thiệt hại lên tới 10.000 tỷ đồng, các tỉnh chịu thiệt hại nặng nhất là Đà Nẵng, Thừa Thiên Huế và Quảng Nam [1], [2], [3], [4], [44]. Bão Ketsana năm 2009, gây mưa lớn trên diện rộng từ Nghệ An đến Bình Định, Tây Nguyên, bão và lũ sau bão làm 179 người chết, 8 người mất tích, 9.770 ngôi nhà bị đổ, thiệt hại ước tính khoảng 14.000 tỷ đồng. Năm 1996 có tới 5 cơn bão và 4 ATNĐ đổ bộ và ảnh hưởng trực tiếp đến các tỉnh miền Trung, xảy ra 14 đợt mưa lớn, diện rộng, tập trung dồn dập, vượt trung bình nhiều năm cả về lượng và thời gian mưa. Tại thị xã Quảng Ngãi, tổng lượng mưa 4 tháng (IX-XII) xếp hàng thứ hai trong vòng 80 năm trở lại, chỉ sau năm 1917 [34]. Mưa lớn là hệ quả của một số loại hình thời tiết đặc biệt như: Bão, áp thấp nhiệt đới hay dải hội tụ nhiệt đới, không khí lạnh,... Đặc biệt hơn là khi có sự kết hợp của chúng sẽ càng nguy hiểm hơn gây nên mưa to đến rất to trong một thời gian dài trên phạm vi rộng,… [4], [44].

Copula là phân phối đồng thời hay hàm phân phối hiệp biến từ các hàm phân phối biên của các biến ngẫu nhiên 1-chiều và để mô tả sự phụ thuộc giữa các biến ngẫu nhiên. Lí thuyết Copula bắt nguồn từ định lí Sklar vào những năm 1950 [20]. Trong những năm gần đây, Copula được cộng đồng các nhà khoa học sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về thiên tai, cực đoan khí hậu, thủy văn,... Năm 2003, ứng dụng đầu tiên

Liên hệ tác giả: Trần Thanh Thủy
Email: thuybk77@gmail.com

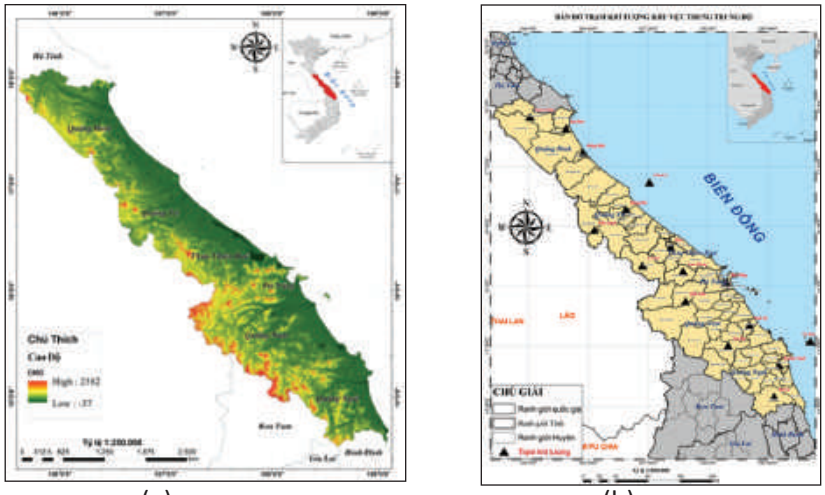
của Copula trong thủy văn được De Michele và cộng sự thực hiện [14]. Hu và cộng sự (2010) đã ứng dụng Gumbel-Hougaard để phân tích xác suất hiệp biến bão và mưa lớn trong lưu vực hồ Taihu [16]. Kwon và cộng sự (2017) đã phân tích mối tương quan giữa tốc độ gió và lượng mưa lớn nhất năm trong khu vực chịu ảnh hưởng của bão bằng Copula [19]. Dong và cộng sự (2017) ứng dụng Copula xác định phân bố 2 chiều tốc độ gió và lượng mưa cực trị hàng năm ở dải ven biển của Thượng Hải [15]. Xu và cộng sự (2018) đã ứng dụng Copula để xác định phân bố hiệp biến của bão, mưa lớn trong bão và nước dâng do bão cho dải ven biển đảo Haidian [21],...

Ở Việt Nam, Copula chủ yếu được sử dụng trong ngành tài chính, ngân hàng như các nghiên cứu của Nguyễn Thị Liên Hoa và Lương Thị Thúy Hường (2014), Trần Ngọc Thơ và Hồ Thị Lam (2015), Nguyễn Thu Thủy (2018),...[8] Mặc dù Copula đã và đang được sử dụng rất phổ biến trong lĩnh vực thiên tai trên thế giới nhưng tác giả chưa tiếp cận được nghiên cứu nào ở Việt Nam ứng dụng Copula trong lĩnh vực này. Bài báo này ứng dụng Copula trong tính toán phân bố hiệp biến gió mạnh trong bão, mưa lớn trong và sau bão. Mục đích của nghiên cứu là xác định được hàm Copula phù hợp để tính xác suất xảy ra đồng thời của các thiên tai. Số liệu quan trắc tốc độ gió mạnh trong bão và tổng lượng mưa ngày lớn nhất trong và sau bão giai đoạn 1961-2017 được sử dụng trong nghiên cứu. Kiểm định Kolmogorov–Smirnov và tiêu chuẩn thông tin Akaike được sử dụng để kiểm định sự phù hợp của các Copula.

2. Khu vực nghiên cứu và số liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực ven biển Trung Trung Bộ là dải đất ở miền Trung Việt Nam. Phía Bắc giáp với tỉnh Hà Tĩnh; phía Tây giáp với Lào; phía Tây Nam giáp với tỉnh Kon Tum; phía Nam giáp với tỉnh Bình Định; phía Đông giáp với Biển Đông. Khu vực ven biển Trung Trung Bộ (lấy theo phạm vi Đài Khí tượng thủy văn khu vực Trung Trung Bộ) bao gồm các tỉnh: Quảng Bình, Quảng Trị, Thừa Thiên Huế, Đà Nẵng, Quảng Nam và Quảng Ngãi (Hình 1a).



(a) (b)

Hình 1. Khu vực nghiên cứu và mạng lưới trạm khí tượng

Địa hình các tỉnh khu vực Trung Trung Bộ có đặc trưng chung là địa hình dốc, bị chia cắt mạnh bởi mạng lưới sông suối dày đặc. Địa hình thấp dần từ Tây sang Đông, hầu như toàn bộ vùng phía Tây là núi cao, kế tiếp là vùng đồi thấp, phía Đông có các dải đồng bằng nhỏ, hẹp xen kẽ và sau cùng là những tràng cát ven biển. Địa hình núi, đồi và đồng bằng chạy dài theo hướng Tây Bắc - Đông Nam. Về khí hậu, các tỉnh Trung Trung Bộ nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa, là vùng chuyển tiếp giữa hai miền khí hậu. Miền khí hậu phía Bắc có mùa đông lạnh và phía Nam nóng ẩm quanh năm. Mùa bão ở khu vực Trung Trung Bộ thường diễn ra từ tháng 9 đến tháng 11. Theo số liệu thống kê từ 1961-2019, có 80 cơn bão/ATNĐ ảnh hương đến khu vực. Tỷ lệ mưa do bão và

áp thấp nhiệt đới gây ra chiếm tới 40-50% tổng lượng mưa trong các tháng 7-10 [6].

2.2. Số liệu

Quỹ đạo bão, số liệu quan trắc tốc độ gió lớn nhất trong bão và tổng lượng mưa ngày lớn nhất trong đất liền giai đoạn 1961-2017 được kế thừa từ [9], [11], [13] và [17]. Khu vực nghiên cứu nằm trong bán kính 500km kể từ tâm bão được coi là ảnh hưởng của bão [21]. Trong giai đoạn 1961-2017, 80 cơn bão đã ảnh hưởng đến khu vực nghiên cứu (năm 2018 không có bão ảnh hưởng khu vực Trung Trung Bộ). Tổng lượng mưa ngày lớn nhất trong và sau bão được xác định như sau:

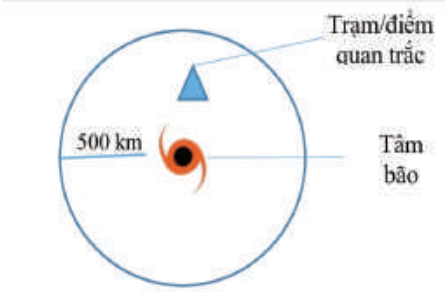
a) Phương pháp xác định mưa trong bão

Dựa vào chuỗi số liệu mưa ngày lớn nhất của tháng có bão đổ bộ, xác định lượng mưa ngày lớn nhất. Dựa vào quỹ đạo đường đi của bão, xác định khoảng cách từ các tâm bão đến vị trí các trạm khí tượng, trạm thủy văn và điểm đo mưa của ngày hôm đó. Vùng chịu ảnh hưởng của mưa lớn trong bão thường nằm trong bán kính 500km kể từ tâm bão [21]. Nếu trạm khí tượng nằm trong vòng bán kính 500km tính từ tâm bão (Hình 2), số liệu quan trắc tại ngày hôm đó của trạm đó được coi là số liệu mưa ngày lớn nhất trong bão [5], [21]. Khoảng cách giữa tâm bão đến điểm/trạm quan trắc được xác định theo công thức Vincenty, như sau:

$$d = r\Delta\sigma \quad (1)$$

$$\Delta\sigma = \arctan\frac{\sqrt{(\cos\varnothing_2 * \sin(\Delta\lambda))^2 * (\cos\varnothing_1 * \sin\varnothing_2 - \sin\varnothing_1 * \cos\varnothing_2 * \cos(\Delta\lambda))^2}}{\sin\varnothing_1 * \sin\varnothing_2 + \cos\varnothing_1 * \cos\varnothing_2 * \cos(\Delta\lambda)} \quad (2)$$

Trong đó: d=khoảng cách giữa 2 điểm; r = 6.378,14km, là bán kính trái đất; $\varnothing_1$, $\varnothing_2$ là vĩ độ/ kinh độ giữa 2 điểm.



Hình 2. Ngưỡng khoảng cách xác định mưa trong bão

b) Phương pháp xác định mưa sau bão

Khi vào đất liền, do ảnh hưởng của địa hình và đặc biệt là do không được cung cấp đầy đủ hơi ẩm nên bão nhanh chóng bị bị suy yếu và tan rã. Trong vòng 7 ngày tiếp theo kể từ khi bão tan, số liệu mưa ngày lớn nhất tại các trạm khí tượng trong đất liền được coi là số liệu mưa sau bão. Hai hình thế chủ đạo gây mưa lớn tại khu vực Trung Trung Bộ là do dải hội tụ nhiệt đới và không khí lạnh. Thời gian gây mưa trung bình từ 5-7 ngày [10]. Do đó, để nắm bắt được mưa ngày lớn nhất sau thời gian xảy ra bão, khoảng thời gian 7 ngày được lựa chọn.

2.2. Phương pháp xác định phân bố đồng thời đa thiên tai

Để xác định phân bố đồng thời đa thiên tai (PBĐTT), cần thực hiện hiện theo 05 bước sau:

- Bước 1. Xây dựng phân bố hiệp biến thực nghiệm dựa trên số liệu quan trắc tại các trạm khí tượng: Số liệu quan trắc tại từng trạm được sắp xếp theo thứ tự tăng dần, xác suất hiệp biến được tính theo công thức sau [22]:

$$F(x_1,x_2,x_3) = P\{X_1 \le x_1, X_2 \le x_2, X_3 \le x_3\} = \frac{\sum_{m=1}^{i}\sum_{l=1}^{i}\sum_{k=1}^{i} N_{mpl}}{N+1} \quad (3)$$

Trong đó: F (x_1, x_2, x_3): Xác suất hiệp biến của x_1, x_2, x_3; N_{mpl}: Số thứ tự của x_1, x_2, x_3 trong chuỗi số liệu quan trắc đã được sắp xếp theo thứ tự từ bé đến lớn; N: Dung lượng mẫu.

- Bước 2. Lựa chọn các hàm Copula để nghiên cứu: Các hàm Copula được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về thiên tai gồm Gaussian, Frank, Clayton và Gumbel-Hougaard. Do đó, các hàm Copula 3 biến này được lựa chọn để nghiên cứu. Công thức các Copula được thể hiện trong bảng sau:

Trong đó, các giá trị u_1, u_2, u_3 là xác suất biên của các thiên tai gió trong bão, mưa trong bão

Bảng 1. Các hàm Copula 3 biến sử dụng trong nghiên cứu [21]

Copula	Công thức	STT
Gaussian	$C(u_1,u_2,u_3) = \int_{-\infty}^{\Phi-1(u_1)}\int_{-\infty}^{\Phi-1(u_2)}\int_{-\infty}^{\Phi-1(u_3)} \frac{1}{(2\pi)^{3/2}\left\|\sum\right\|^{1/2}} \exp(-\frac{1}{2}\mathrm{w}^T\sum^{-1}\mathrm{w})d\mathrm{w}$	(4)
Gumbel-Hougaard	$C(u_1,u_2,u_3) = \exp(-((-\ln u_1)^\theta + (-\ln u_2)^\theta + (-\ln u_3)^\theta)^{1/\theta})$	(5)
Clayton	$C(u_1,u_2,u_3) = (u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} + u_3^{\theta})^{-1/\theta}$	(6)
Frank	$C(u_1,u_2,u_3) = \frac{1}{\theta}\ln(\frac{(e^{-\theta u_1}-1)(e^{-\theta u_1}-1)(e^{-\theta u_1}-1)}{(e^{-\theta}-1)^2})$	(7)

và mưa sau bão. Xác suất biên của các thiên tai được xác định bằng hàm phân bố cực trị Gumbel kiểu I.

- Bước 3. Ước lượng tham số của các hàm Copula:

Tham số của các hàm Copula được ước lượng bằng phương pháp ước tính giá trị cực đại MLE (Maximum likelyhood estimation). Giả sử biến ngẫu nhiên X liên tục, tuân theo một phân bố nào đó được mô tả bởi bộ tham số theta θ ($\theta_1,\theta_2,...,\theta_k$), θ chưa biết. Hàm hợp lý (Likehood funtion) có dạng sau [21]:

$$L(\theta) = f(x_1,x_2,...,x_n|\theta_1,\theta_2,...,\theta_k) \quad (8)$$

Hàm hợp lý có thể được hiểu là xác suất để với tập mẫu quan sát được x_1, x_2, ..., x_n cùng xảy ra (xác suất đồng thời), với điều kiện θ_1, θ_2, ..., θ_k. Vì x_1, x_2, ..., x_n là các sự kiện đã xảy ra, nên ước lượng bộ tham số θ cũng chính là tìm bộ tham số θ để xác suất đồng thời xảy ra là cao nhất theo công thức sau:

$$\hat{\theta} = \arg\max L(\theta,x) \quad (9)$$

Phần mềm R được sử dụng để ước lượng tham số theta θ. Code lệnh ước lượng tham số được chỉ ra trong phụ lục.

- Bước 4. Xác định XSXHVN đa thiên tai theo các Copula đã lựa chọn: Sau khi ước lượng được tham số θ, XSXHVN đa thiên tai được tính theo các hàm Copula bằng phần mềm excel.

- Bước 5. Kiểm định mức độ phù hợp của các Copula: Nghiên cứu sử dụng 2 phép kiểm định sau:

+ Kiểm định Kolmogorov–Smirnov

Kiểm định Kolmogorov–Smirnov được sử dụng để kiểm định sự phù hợp về phân bố xác suất giữa Copula lựa chọn so với phân bố thực nghiệm. Giả thiết rỗng là phân bố theo hàm lý thuyết đã chọn phù hợp nhất với phân bố thực nghiệm, kết quả thể hiện qua giá trị kiểm định "D" được tính theo công thức sau [21]:

$$D = Maximum\left\{\left|P_i(C_k) - \frac{i}{n}\right|, \left|P_i(C_k) - \frac{i-1}{n}\right|\right\} \quad (10)$$

Trong đó, D: Giá trị kiểm định; $P_i(C_k)$: Xác suất theo hàm phân bố lý thuyết C_k; n: Dung lượng mẫu; i: Số thứ tự trong chuỗi số liệu (sắp xếp theo thứ tự tăng dần). Nếu giá trị $D > \Delta_{th}$ thì giả thuyết rỗng bị bác bỏ, phân bố lý thuyết không phù hợp với phân bố thực nghiệm. Δ_{th} là giá trị tới hạn, được xác định theo dung lượng mẫu và mức ý nghĩa mong muốn. Bảng tra Δ_{th} được chỉ ra trong [12] và [18].

+ Kiểm định tiêu chuẩn thông tin Akaike:

Kiểm định tiêu chuẩn thông tin Akaike (Akaike information criterion-AIC) cho phép xác định chất lượng tương đối của phân bố lý thuyết và được xác định bằng công thức sau:

$$AIC = N * \log(MSE) + 2k \quad (11)$$

Trong đó: AIC: Giá trị thông tin tiêu chuẩn Akaike; N: Dung lượng mẫu; MSE: Sai số toàn phương trung bình; k: Số tham số của hàm phân bố lý thuyết. Các Copula sử dụng trong nghiên cứu đều có 1 tham số.

$$MSE = \frac{1}{N}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \hat{x}_l)^2} \quad (12)$$

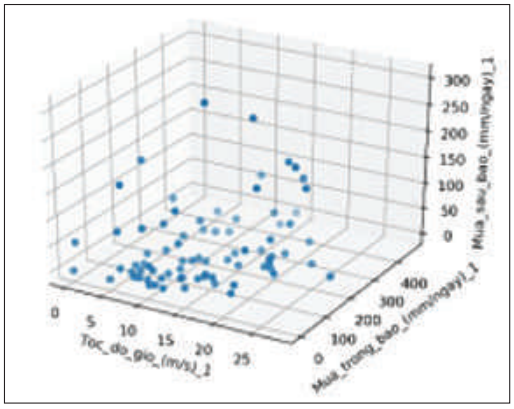
Trong đó: MSE: Sai số toàn phương trung bình; N: Dung lượng mẫu; x_i: Giá trị xác suất thứ i theo phân bố lý thuyết; $\hat{x}$: Giá trị xác suất thứ i tính theo Copula.

Kiểm định K-S đánh giá sự phù hợp giữa phân bố lý thuyết và phân bố thực nghiệm (với một tập dữ liệu nhất định). Kiểm định KS cho biết liệu hàm phân bố lý thuyết có phù hợp với phân bố thực nghiệm không. Trong khi đó AIC cho phép xác định phân bố lý thuyết nào có mức độ khớp tốt nhất so với phân bố thực nghiệm. Việc chỉ áp dụng một trong hai phương pháp kiểm định trên, không đủ cơ sở để lựa chọn ra phân bố phù hợp nhất. Sau khi xác định được các phân bố lý thuyết phù hợp với phân bố thực nghiệm thông qua kiểm định K-S, phân bố nào cho giá trị AIC nhỏ hơn, phân bố đó phù hợp với phân bố thực nghiệm hơn và ngược lại. Do đó, để lựa chọn được hàm phân bố lý thuyết phù hợp hơn, cần tiến hành cả hai bước kiểm định trên.

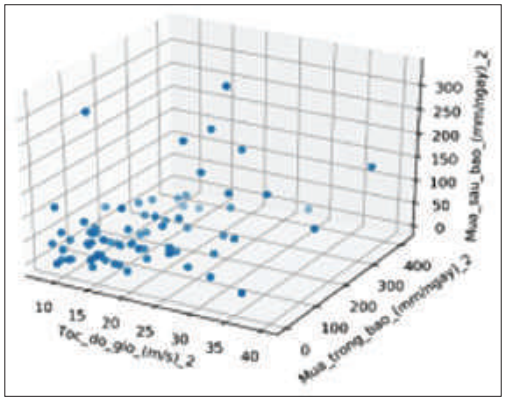
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân bố giá trị quan trắc đa thiên tai tại các trạm

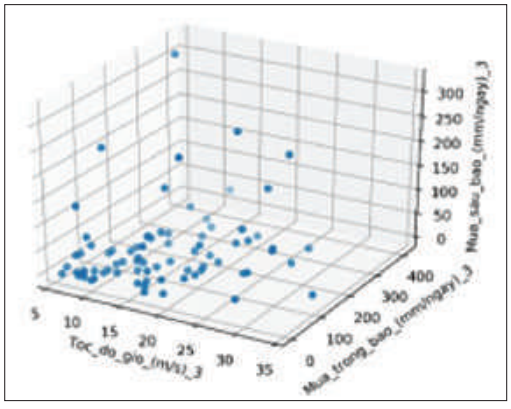
Phân bố giá trị quan trắc gió trong bão, mưa trong và sau bão tại các trạm trong từng cơn bão khá rời rạc (Hình 3). 20% các trạm chưa quan trắc được gió mạnh trên cấp 8 (trên 17,2m/s) xảy ra đồng thời cùng mưa lớn trong bão và sau bão, bao gồm: A Lưới, Đà Nẵng, Tam Kỳ, Quảng Ngãi. Các trạm ở phía Bắc Trung Trung Bộ như Tuyên Hóa, Đồng Hới, Ba Đồn có tỷ lệ xảy ra đồng thời cả 3 thiên tai cao hơn. Trong đó cao nhất là trạm Đồng Hới, trên 14% cơn bão có tốc độ gió lớn nhất trong đất liền trên 17,2m/s kèm theo mưa lớn trong bão kết hợp mưa lớn sau bão đã quan trắc được trong giai đoạn 1961-2017.



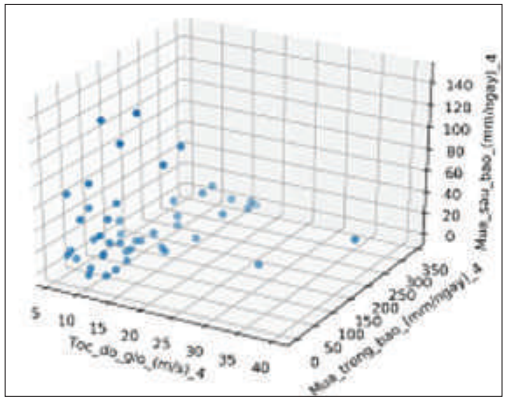
Tuyên Hóa



Đồng Hới

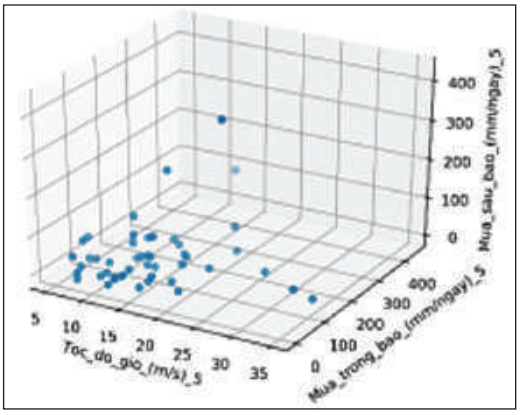


Ba Đồn

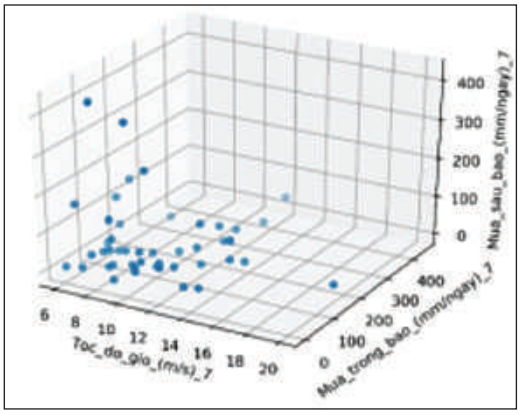


Khe Sanh

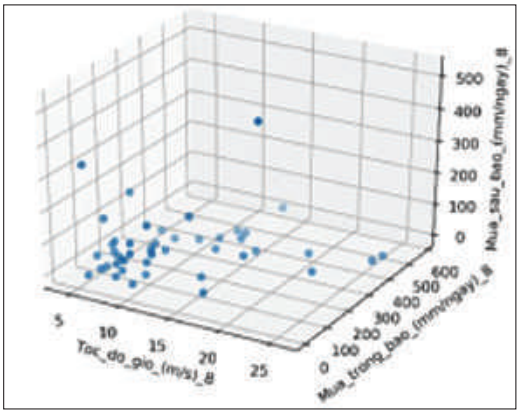
Hình 3. Phân bố giá trị quan trắc đa thiên tai



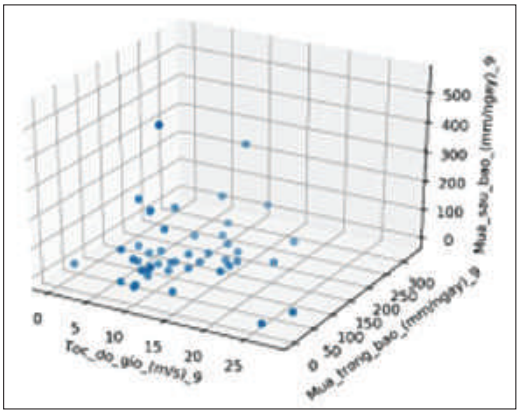
Đông Hà



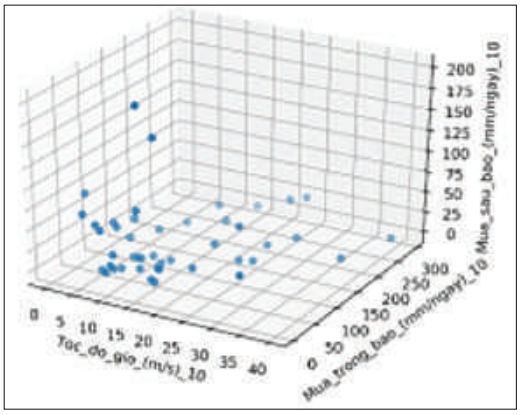
A Lưới



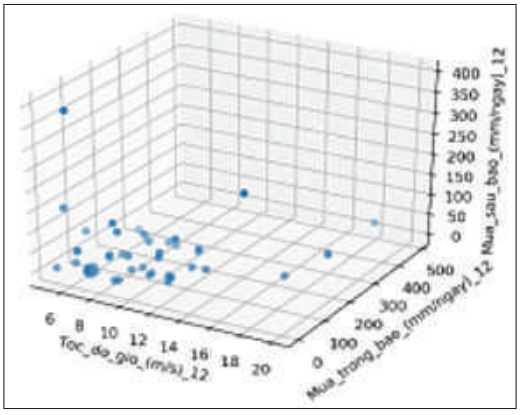
Nam Đông



Huế

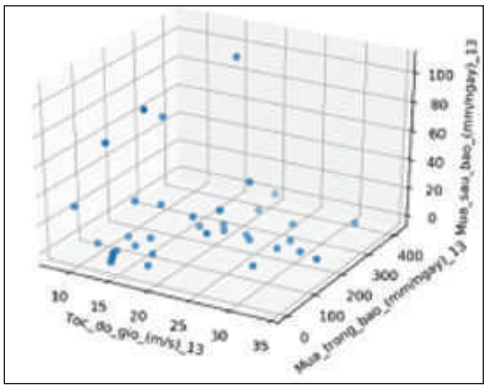


Đà Nẵng

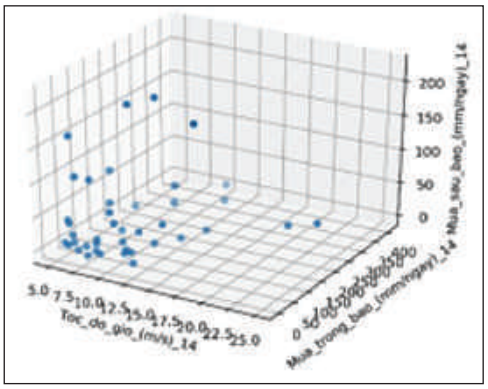


Tam Kỳ

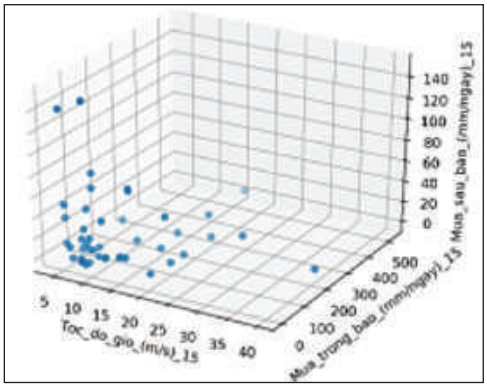
Hình 3. Phân bố giá trị quan trắc đa thiên tai (tiếp)



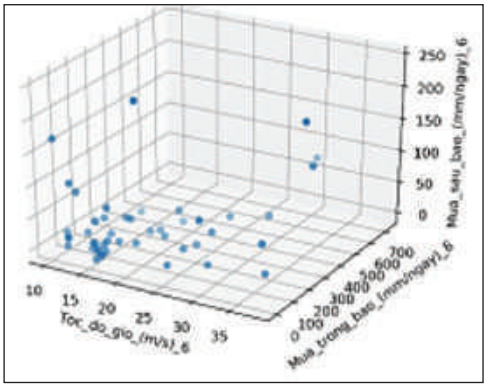
Lý Sơn



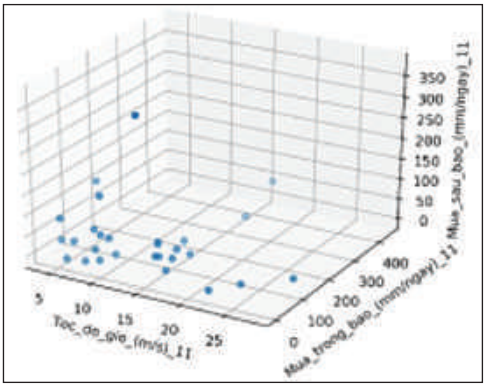
Ba Tơ



Quảng Ngãi



Cồn Cỏ



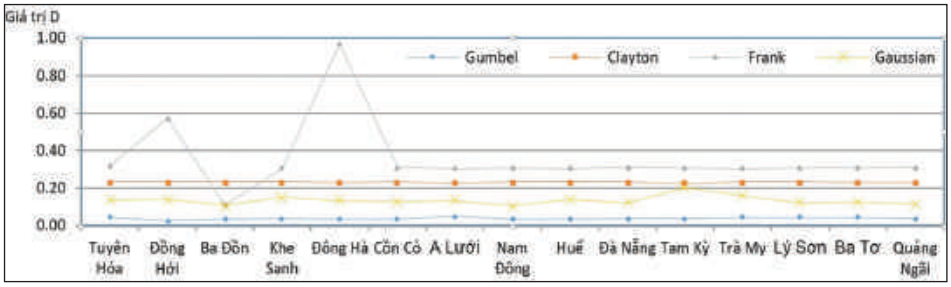
Trà My

Hình 3. Phân bố giá trị quan trắc đa thiên tai (tiếp)

3.2. Kết quả kiểm định Copula

Gaussian Copula và các Copula họ Archimedean được nghiên cứu để xác định hàm Copula phù hợp nhất. Giá trị Δ_{th} phụ thuộc dung lượng mẫu và mức ý nghĩa. Với mức ý nghĩa 0,02, giá trị Δth của phần lớn các trạm nằm trong khoảng 0,17-0,23. Với mức ý nghĩa 0,05, Δ_{th} nằm trong khoảng 0,15-0,22. Kết quả kiểm định KS cho thấy 100% các trạm có giá trị $D < \Delta_{th}$ với mức ý nghĩa 0,02 theo phân bố theo Gumbel-Hougaard và Gaussian Copula. 40% các trạm thỏa mãn theo phân bố Clayton Copula, 20% các trạm thỏa mãn theo phân bố Frank copula. Với mức ý nghĩa 0,05, Gumbel Copula và

Gaussian Copula thỏa mãn giá trị $D < \Delta_{th}$ tại tất cả các trạm. Clayton Copula và Frank Copula thỏa mãn lần lượt 33% và 20% số trạm. Giá trị D theo các Copula được thể hiện trong Hình 4. Như vậy phân bố đồng thời các thiên tai gió mạnh trong bão, mưa lớn trong và sau bão đều thỏa mãn theo phân bố Gumbel-Hougaard và Gaussian Copula. Trong đó phân bố theo Gumbel-Hougaard Copula cho giá trị D nhỏ nhất tại tất cả các trạm.



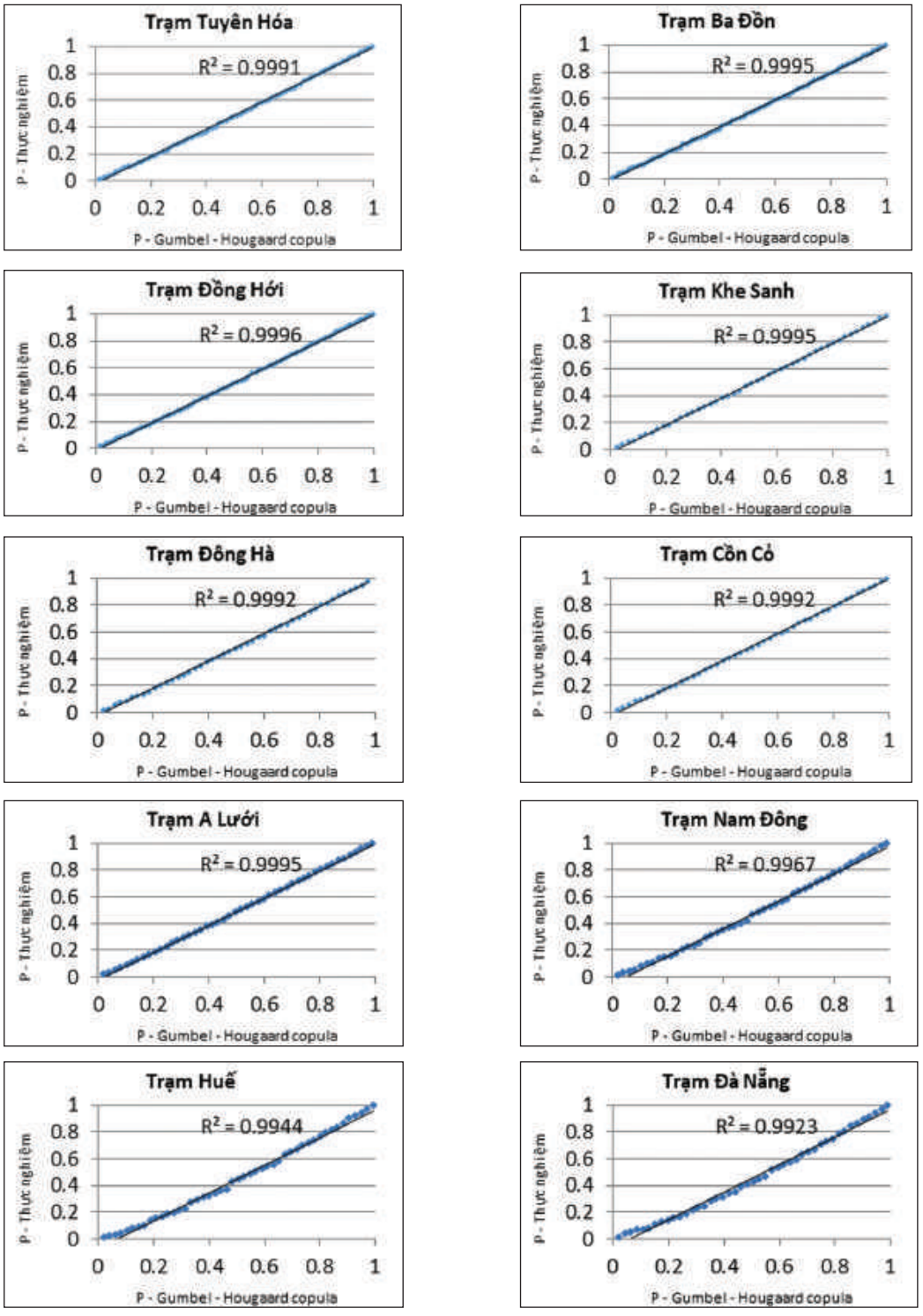
Hình 4. Kết quả kiểm định KS

Kết quả kiểm định tiêu chuẩn thông tin Akaike (Bảng 3) cho thấy, chỉ số AIC theo Gumbel-Hougaard Copula thấp hơn các Copula khác tại tất cả các trạm. Chênh lệch mức độ khớp giữa các Copula có sự khác biệt đáng kể. Gumbel-Hougaard Copula cho chỉ số AIC thấp hơn 2-10 lần so với các Copula khác. Do đó, trong số các Copula được nghiên cứu, Gumbel-Hougaard có mức độ khớp tốt nhất với phân bố thực nghiệm. Từ kết quả kiểm định KS và AIC, Gumbel-Hougaard Copula là hàm phân bố lý thuyết phù hợp nhất đối với gió mạnh trong bão, mưa lớn trong và sau bão.

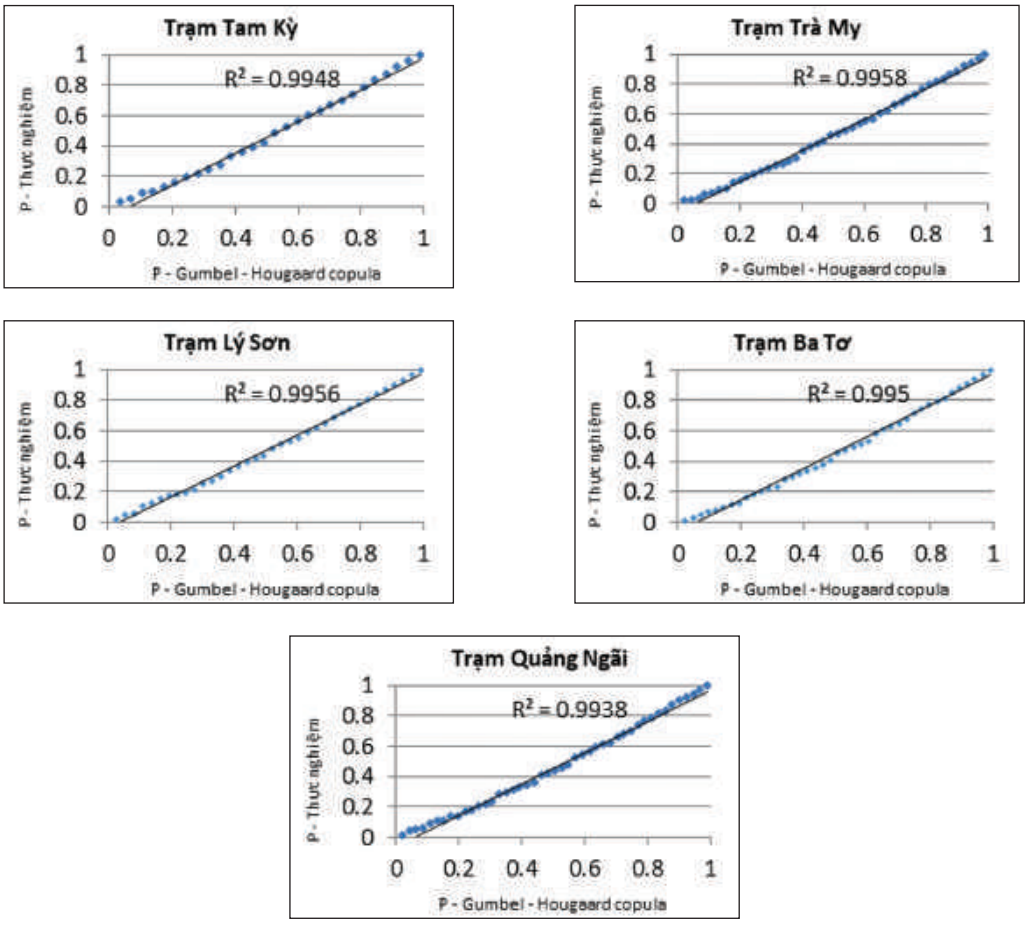
Tương quan giữa xác suất hiệp biến thực nghiệm và xác suất hiệp biến theo Gumbel-Hougaard Copula đạt trên 99% tại tất cả các trạm khí tượng trong khu vực nghiên cứu (Hình 5). Kết quả này cho thấy, phân phối đồng thời của đa thiên tai bão kèm mưa lớn và mưa sau bão theo hàm lý thuyết Gumbel-Hougaard Copula có tính tương quan cao so với phân bố lý thuyết.

Bảng 3. Kết quả kiểm định AIC

Trạm	Gaussian	Gumbel	Clayton	Frank
Tuyên Hóa	-427	-612	-293	-235
Đồng Hới	-445	-683	-285	-230
Ba Đồn	-465	-711	-285	-230
Khe Sanh	-251	-406	-175	-141
Đông Hà	-256	-389	-177	-143
Cồn Cỏ	-256	-389	-172	-139
A Lưới	-256	-401	-184	-148
Nam Đông	-267	-296	-172	-139
Huế	-145	-266	-174	-141
Đà Nẵng	-73	-83	8	40
Tam Kỳ	-135	-170	-104	-84
Trà My	-236	-267	-165	-133
Lý Sơn	-185	-239	-133	-106
Ba Tơ	-213	-237	-148	-119
Quảng Ngãi	-250	-267	-166	-133



Hình 5. Tương quan giữa phân bố xác suất hiệp biến thực nghiệm và lý thuyết của gió mạnh trong bão, mưa lớn trong và sau bão



Hình 5. Tương quan giữa phân bố xác suất hiệp biến thực nghiệm và lý thuyết của gió mạnh trong bão, mưa lớn trong và sau bão (tiếp)

5. Kết luận

Bài báo đã xây dựng được quy trình xác định phân bố đồng thời đa thiên tai bão kèm mưa lớn và mưa sau bão. Quy trình gồm 05 bước, được phân tích chi tiết trong mục 2. Nghiên cứu đã xác định được hàm Copula phù hợp với phân bố đồng thời đa thiên tai bão kèm mưa lớn và mưa sau bão bằng các phép kiểm định Kolmogorov-Smirnov và tiêu chuẩn thông tin Akaike. Kết quả nghiên cứu cho thấy không phải tất cả các Copula đều phù hợp với phân bố đồng thời của đa thiên tai bão kèm mưa lớn và mưa sau bão. Với mức ý nghĩa 0,05, phân bố đồng thời của đa thiên tai tuân theo phân bố Gaussian và Gumbel-Hougaard. Trong đó, hàm Gumbel-Hougaard Copula cho phân bố đồng thời đa thiên tai có mức độ khớp lớn nhất so với phân bố thực nghiệm. Tương quan giữa phân bố lý thuyết theo Gumbel-Hougaard và phân bố thực nghiệm đạt trên 99% tại tất cả các trạm. Ngoài ra, nghiên cứu cũng đã xây dựng được các câu lệnh ước tính tham số theta của các copula bằng ngôn ngữ R. Kết quả nghiên cứu có thể sử dụng làm tiền đề cho việc đánh giá, phân vùng nguy cơ xảy ra đồng thời các thiên tai phục vụ công tác quy hoạch phát triển, phòng chống và giảm nhẹ rủi ro thiên tai. Việc ứng dụng Copula có thể được tiếp tục nghiên cứu, mở rộng cho các đối tượng khác trong lĩnh vực khí tượng, thủy văn nhằm xác định được các nghiên cứu tiếp theo có thể ứng dụng.

***Lời cảm ơn**: Kết quả bài báo này được hỗ trợ bởi Đề tài "Nghiên cứu các giải pháp khoa học và công nghệ quản lý đa thiên tai, xây dựng công cụ hỗ trợ ra quyết định ứng phó với đa thiên tai, áp dụng thí điểm cho khu vực ven biển Trung Trung Bộ" (KC.08.24/16-20) thuộc Chương trình khoa học và công nghệ cấp quốc gia giai đoạn 2016-2020: "Nghiên cứu khoa học và công nghệ phục vụ bảo vệ môi trường và phòng tránh thiên tai" (KC.08/16-20).*

Tài liệu tham khảo

Tài liệu tiếng Việt

1. Ban chỉ đạo Phòng chống lụt bão Trung ương (1998), *Tổng hợp tình hình thiên tai gây ra trong năm 1998*.
2. Ban chỉ đạo Phòng chống lụt bão Trung ương (1999), *Tổng hợp tình hình thiên tai gây ra trong năm 1999*.
3. Ban chỉ đạo Phòng chống lụt bão Trung ương (2006), *Tổng hợp tình hình thiên tai gây ra trong năm 2006*.
4. Ban chỉ đạo Phòng chống lụt bão Trung ương (2009), *Báo cáo về bão số 9 Ketsana*.
5. Nguyễn Trọng Đức (2016), *Luận văn Thạc sĩ Khảo sát mưa trong bão trên khu vực Việt Nam*, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên.
6. Huỳnh Thị Lan Hương (2020), *Đề tài "Nghiên cứu các giải pháp khoa học và Công nghệ quản lý đa thiên tai, xây dựng công cụ hỗ trợ ra quyết định ứng phó với đa thiên tai, áp dụng thí điểm cho khu vực ven biển Trung Trung Bộ"* (đang thực hiện).
7. Thủ tướng Chính phủ (2020), *Quyết định số 03/2020/QĐ-TTg Quy định về dự báo, cảnh báo và truyền tin thiên tai*.
8. Nguyễn Thu Thủy (2018), *Nghiên cứu cấu trúc phụ thuộc giữa các thị trường tài chính và ứng dụng trong đo lường rủi ro trên thị trường tài chính Việt Nam*, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Kinh tế quốc dân.
9. Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, *Đặc điểm khí tượng thủy văn năm 2016-2017*.
10. Phạm Ngọc Toàn và Phan Tất Đắc (1978), *Khí hậu Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
11. Tổng cục Khí tượng Thủy văn (2018), *Đặc điểm khí tượng thủy văn năm 2017*.
12. Ngô Đình Tuấn, *Phân tích thống kê trong thủy văn*, Nhà xuất bản Nông nghiệp (1998)
13. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu (2016), *Dự án Cập nhật, ban hành phân vùng bão, trong đó có phân vùng gió cho các vùng ở sâu trong đất liền khi bão mạnh, siêu bão đổ bộ*.

Tài liệu tiếng Anh

14. De Michele, C.; Salvadori, G. (2003), *A generalized Pareto intensity-duration model of storm rainfall exploiting.* Journal of Geophysical Research: Atmospheres 108.D2.
15. Dong, S.; Jiao, C.S.; Tao, S.S. (2017), *Joint return probability analysis of wind speed and rainfall intensity in typhoon-affected sea area*, Nat. Hazards 86, 1193–1205. [CrossRef]
16. Hu, S.Y.;Wang, Z.Z.;Wang, Y.T.;Wu, H.Y.; Jin, J.L.; Feng, X.C.; Liang, C. (2010), *Encounter probability analysis of typhoon and plum rain in the Taihu Lake Basin*, Sci. China Technol. Sci. 53, 3331–3340.
17. http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon;
18. https://i1.wp.com/www.real-statistics.com/wp-content/uploads/2012/11/one-sample-ks-table.png
19. Kwon, T.; Yoon, S. (2017), *Analysis of extreme wind speed and precipitation using copula*, In Proceedings of the EGU General Assembly Conference, Vienna, Austria, 23–28 April.
20. Nelsen, R. B. (2007), *An introduction to copulas*, Springer Science & Business Media. Book.
21. Xu, H., Xu, K., Bin, L., Lian, J., & Ma, C. (2018), "Joint Risk of Rainfall and Storm Surges during Typhoons in a Coastal City of Haidian Island, China"*, International journal of environmental*

research and public health, 15(7), 1377.
22. Zhang, L., & Singh, V. P. (2007), "Gumbel-Hougaard copula for trivariate rainfall frequency analysis"*, Journal of Hydrologic Engineering*, 12(4), 409-419.

Phụ lục. Câu lệnh ước lượng tham số copula hiệp 3 biến trong R

```
### Cài đặt thêm thư viện này để fit các phân phối biên duyên gumbel
install.packages('ismev')
--------------------------------
### Gọi các thư viện
library(copula)
library(ismev)
--------------------------------
### Xử lí dữ liệu
tram<-read.csv("D:/data/copula/tram1.csv", header=TRUE)
typhoon<-tram$Typhoon_Rainfall_1
nontyphoon<-tram$Nontyphoon_rainfall_1
wind<-tram$Wind_speed_1
n<- length(wind)
pseudoData<-apply(tram, 2, rank,ties.method = "random")/(n+1)
---------------------------------
### fit các phân phối biên duyên bằng hàm gumbel
gum.fit(typhoon)
      gum.fit(nontyphoon)
gum.fit(wind)
### fit copula gumbel (làm tương tự với các copula khác)
fitCopula(gumbelCopula(dim = 3), pseudoData, method = "mpl")
####alpha 9.116
### khởi dựng copula gumbel
dataCop <- gumbelCopula(para=9.116, dim = 3)
```

APPLICATION OF COPULA FOR CO-OCCURRENCE PROBABILITY ANALYSIS OF MULTI-HAZARD OF TYPHOON-WIND, TYPHOON AND NON-TYPHOON PRECIPITATION

Tran Thanh Thuy[(1)], Tran Thuc[(1)], Huynh Thi Lan Huong[(1)], Nguyen Xuan Hien[(1)], Le Van Tuan[(2)], Nguyen Thanh Cong[(3)]

[(1)]Viet Nam Institute of Meteororlogy, Hydrology and Environment

[(2)]Thuongmai University

[(3)]Department of Climate Change

Received: 5/5/2020; Accepted: 27/5/2020

Abstract*: Natural disasters often occur simultaneously, cascadingly or cumulatively. Although co-occurrence probability of multi-hazard plays an important role in disaster risk assessment, most of*