

## **ĐÁNH GIÁ MỐI QUAN HỆ THEO KHÔNG GIAN CỦA MƯA CỰC TRỊ VÀ TÍNH TOÁN HỆ SỐ CHUYỂN ĐỔI TỪ MƯA ĐIỂM SANG MƯA DIỆN: ỨNG DỤNG CHO CÁC TRẠM MƯA PHÍA BẮC VIỆT NAM**

**Lê Phương Đông<sup>1</sup>**

**Tóm tắt:** *Mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị cung cấp thông tin liên quan đến sự xuất hiện đồng thời hay không đồng thời của mưa cực trị tại các khu vực khác nhau trong một lưu vực. Sự thiếu hụt những thông tin này sẽ dẫn đến những sai sót trong các tính toán liên quan đến mô phỏng dòng chảy lũ, ví dụ như xác định hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện (areal reduction factors – ARFs) cho một lưu vực. Hiện nay cũng đang có sự không thống nhất về việc liệu rằng mưa cực trị mang thuộc tính của cực trị tiệm cận phụ thuộc (asymptotic dependence) hay là cực trị tiệm cận độc lập (asymptotic independence). Bài báo này đã chỉ ra rằng mưa cực trị ở khu vực phía Bắc Việt Nam mang thuộc tính của loại hình cực trị tiệm cận độc lập (asymptotic independence), do đó loại mô hình cực trị tiệm cận độc lập (asymptotic independence model) được lựa chọn để tiến hành mô phỏng mưa cực trị cho khu vực nghiên cứu. Kết quả tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện ARFs từ số liệu mưa mô phỏng và mưa quan trắc rất phù hợp cho các mức thời gian lặp lại dài (20, 50, và 100 năm), và hệ số ARFs tính toán từ dữ liệu mô phỏng rất hữu ích cho việc ngoại suy hệ số này cho các tần suất hiếm hơn. Bài báo cũng khuyến cáo các nghiên cứu trong tương lai nên dùng mô hình cực trị tiệm cận độc lập để mô phỏng mưa cực trị cho khu vực nghiên cứu.*

**Từ khóa:** Hệ số chuyển đổi mưa điểm sang mưa diện, Tiệm cận phụ thuộc, Tiệm cận độc lập, Mưa cực trị, Quá trình nghịch đảo cực trị ổn định, Quá trình cực trị ổn định.

### **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Các phương pháp truyền thống tính toán lũ từ mưa hiện tại giả thiết rằng mưa cực trị xảy ra đồng thời trên toàn lưu vực với cùng một tần suất xuất hiện. Tuy nhiên giả thiết này không chính xác vì trên một lưu vực tại cùng một thời điểm sẽ có những khu vực có mưa trong khi những khu vực khác không có mưa, và mức độ cực trị của trận mưa ở các khu vực khác nhau cũng sẽ khác nhau. Sự không chính xác này dẫn đến những sai sót trong các tính toán liên quan đến mô phỏng dòng chảy lũ, ví dụ như xác định hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện (areal reduction factors – ARFs) cho một lưu vực. Hệ số này được tính bằng tỷ số giữa độ sâu lượng mưa không gian của

toàn lưu vực với lượng mưa cực trị tại một điểm đại diện cho lưu vực đó. Rõ ràng việc giả thiết mưa cực trị xảy ra đồng thời trên toàn lưu vực sẽ làm kết quả tính toán hệ số này sai lệch đi rất nhiều. Do đó, việc nghiên cứu mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị (spatial dependence) là cần thiết để làm rõ thông tin về sự xuất hiện đồng thời hay không đồng thời của mưa cực trị tại các điểm khác nhau trong một lưu vực, góp phần vào việc tính toán rủi ro của lũ do mưa cực trị gây ra chính xác hơn.

Hiện nay, việc nghiên cứu mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị đang nhận được rất nhiều sự quan tâm của cộng đồng khoa học quốc tế, đồng thời cũng còn nhiều bất đồng về việc lựa chọn loại mô hình (spatial dependence model) để mô phỏng mưa cực trị theo không gian. Theo lý

---

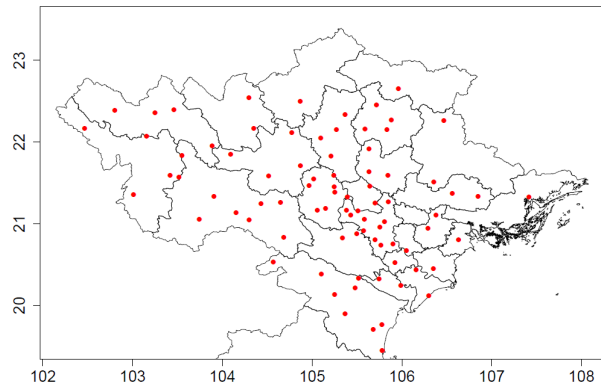
<sup>1</sup> Đại học Thủy lợi

thuyết, mọi biến cực trị được phân thành hai loại, bao gồm: (a) tiệm cận phụ thuộc (asymptotic dependence), và (b) tiệm cận độc lập (asymptotic independence) (Wadsworth and Tawn, 2012). Đối với loại hình (a), mức độ phụ thuộc trong không gian giữ nguyên khi mức độ cực trị tăng lên. Trong khi đó đối với loại hình (b), mức độ phụ thuộc trong không gian giảm đi tương ứng với sự gia tăng của mức độ cực trị. Một số nghiên cứu trước đây sử dụng mô hình tiệm cận phụ thuộc (asymptotic dependence model) để mô phỏng mưa cực trị, trong khi một số nghiên cứu khác lại sử dụng mô hình tiệm cận độc lập (asymptotic independence model). Sự không thống nhất này bắt nguồn từ việc không biết chính xác mưa cực trị tuân theo đặc điểm của loại hình cực trị nào. Việc lựa chọn sai loại mô hình mô phỏng mưa cực trị sẽ dẫn tới việc mô phỏng sai thuộc tính phụ thuộc trong không gian của mưa cực trị, từ đó dẫn tới sai sót trong tính toán rủi ro lũ.

Hiện tại, đã có một nghiên cứu về mối quan hệ của mưa theo không gian ở Thụy Sĩ (Thibaud et al., 2013) và một nghiên cứu tương tự ở Australia (Le et al., 2018), tuy nhiên ở Việt Nam chưa có nghiên cứu nào về vấn đề này. Do đó, nghiên cứu này sẽ đánh giá mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị cho các trạm mưa phía Bắc Việt Nam, từ đó đề xuất loại mô hình cực trị không gian phù hợp để tính toán mô phỏng mưa cực trị cho khu vực này nhằm hỗ trợ cho việc tính toán rủi ro lũ do mưa cực trị gây ra. Trong đó một ứng dụng đầu tiên sẽ là mô phỏng mưa cực trị để tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện ARFs cho khu vực nghiên cứu. Hiện nay chưa có một tài liệu nào tính toán hệ số này cho Việt Nam cả, dẫn đến các nghiên cứu tính toán dòng chảy lũ ở Việt Nam thường phải tham khảo hệ số này từ các tài liệu của nước ngoài, việc này sẽ gây nên nhiều sự sai sót do đặc trưng mưa ở các khu vực sẽ khác nhau liên quan đến khí hậu, địa hình,... Do vậy việc tính toán hệ số ARFs cho vùng nghiên cứu là rất cần thiết.

Nghiên cứu đã thu thập dữ liệu mưa ngày của

hầu hết các trạm đo mưa phía Bắc Việt Nam, bao gồm 135 trạm với chuỗi số liệu của tất cả các trạm đều dài hơn 30 năm. Tuy nhiên, do đặc điểm của việc nghiên cứu phụ thuộc không gian là sự xảy ra đồng thời theo thời gian, do đó nghiên cứu chỉ chọn sử dụng dữ liệu của 83 trạm với một giai đoạn chung từ năm 1980 đến năm 2013 (xem hình 1).



Hình 1. Vị trí trạm mưa sử dụng trong nghiên cứu

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ VÙNG NGHIÊN CỨU

Việc đánh giá mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị và tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện được thực hiện theo các bước sau:

- Bước 1: Mô phỏng hai chuỗi số liệu cực trị nhân tạo (synthetic data) từ hai mô hình cực trị không gian: mô hình quá trình cực trị ổn định (max-stable process) Brown-Resnick đại diện cho loại hình cực trị tiệm cận phụ thuộc, và mô hình nghịch đảo quá trình cực trị ổn định (inverted max-stable process), nghịch đảo Brown-Resnick đại diện cho loại hình cực trị tiệm cận độc lập. Các vị trí được mô phỏng trong không gian chính là vị trí của các trạm đo mưa của khu vực nghiên cứu. Dữ liệu cực trị mô phỏng tại tất cả các vị trí được sinh ngẫu nhiên dựa trên một cấu trúc phụ thuộc không gian cho trước. Sau đó, tính toán các đặc trưng thống kê của hai chuỗi số liệu này để tìm ra sự khác biệt giữa chúng, từ đó đề ra các tiêu chí để đánh giá loại hình quan hệ theo không gian của các loại biến cực trị khác nhau. Các đặc trưng

thống kê cần tính toán bao gồm: các hệ số cực trị  $\theta$  theo cặp số liệu tại hai vị trí khác nhau (pairwise extremal coefficients), và các hệ số phụ thuộc đuôi  $\eta$  cũng cho cặp số liệu đó (pairwise residual tail dependence coefficients). Mô tả chi tiết toán học của các mô hình Brown-Resnick và mô hình nghịch đảo Brown-Resnick có thể được tìm thấy trong Kabluchko et al. (2009). Cách thức tính toán các hệ số cực trị và các hệ số phụ thuộc đuôi theo cặp số liệu có thể tìm thấy trong Thibaud et al. (2013) và Le et al. (2018).

- Bước 2: Tính toán các đặc trưng thống kê của mưa cực trị cho khu vực phía Bắc Việt Nam. Các đặc trưng thống kê bao gồm: các hệ số cực trị  $\theta$  theo cặp số liệu của hai trạm đo mưa (pairwise extremal coefficients), và các hệ số phụ thuộc đuôi  $\eta$  cũng cho cặp số liệu của cùng hai trạm mưa đó (pairwise residual tail dependence coefficients). Việc tính toán này được tiến hành cho các ngưỡng cực trị khác nhau nhằm xác định xu hướng thay đổi của các đặc trưng thống kê này khi mức độ cực trị thay đổi. Các mô tả chi tiết toán học về cách dùng mô hình ngưỡng cực trị (threshold) có thể tìm thấy trong Coles (2001).

- Bước 3: Đánh giá xem các đặc trưng thống kê của mưa cực trị cho khu vực phía Bắc Việt Nam đã tính ở Bước 2 phù hợp với loại cực trị không gian nào đã chỉ ra ở Bước 1. Từ đó, đưa ra kết luận về loại hình mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị ở khu vực nghiên cứu, và đề xuất loại mô hình cực trị không gian phù hợp để mô phỏng mưa cực trị ở khu vực này nhằm hỗ trợ cho việc tính toán rủi ro lũ.

- Bước 4: Từ kết quả ở Bước 3, tiến hành lựa chọn mô hình phù hợp để mô phỏng mưa, và tính toán ARFs cho vùng nghiên cứu.

Sau đây là một số nội dung tóm lược về các loại mô hình và phương pháp tính toán được sử dụng trong bài báo này.

### 2.1. Sơ lược về các loại mô hình phụ thuộc không gian để mô phỏng mưa không gian

Xét một miền không gian  $X$ , với một quá trình ngẫu nhiên ổn định (a stationary stochastic

process)  $\{Y(x): x \in X \subset \mathbb{R}^2\}$  để biểu thị lượng mưa trong không gian. Chúng ta phát biểu rằng  $Y(x)$  mang thuộc tính tiệm cận phụ thuộc (asymptotically dependent) nếu  $\lim_{y \rightarrow \infty} P\{Y(x_1) > y | Y(x_2) > y\} > 0$  với mọi  $x_1, x_2$ ; và cấu trúc phụ thuộc (the dependence structure) ổn định ở ngưỡng cực trị cao (high thresholds). Mặt khác, nếu  $\lim_{y \rightarrow \infty} P\{Y(x_1) > y | Y(x_2) > y\} = 0$  với mọi  $x_1 \neq x_2$ , chúng ta phát biểu rằng  $Y(x)$  mang thuộc tính tiệm cận độc lập (asymptotically independent): cấu trúc phụ thuộc của nó trở nên yếu hơn khi ngưỡng cực trị tăng lên, do đó phạm vi không gian của một sự kiện cực đoan có thể giảm đi khi mức độ hiếm của nó tăng lên.

### 2.2. Sơ lược về mô hình cực trị tiệm cận phụ thuộc và các đặc trưng thống kê

Các quá trình cực trị ổn định (max-stable process) là các giới hạn không suy biến (non-degenerate limits) đối với các giá trị cực trị của các quá trình ngẫu nhiên sau khi được chuẩn hóa tuyến tính (linearly rescaled maxima). Max-stable processes đại diện cho loại hình cực trị tiệm cận phụ thuộc. Theo thuật ngữ đơn giản, khi giá trị cực trị trở nên cực đoan hơn, phân phối xác suất của chúng vẫn giữ nguyên hình dạng sau khi được chuẩn hóa (rescaling), như được biểu diễn trong công thức (1). Giả sử rằng  $Y_k(x), x \in X \subset \mathbb{R}^2$  ( $k = 1, \dots, m$ ) đại diện cho  $m$  bản sao độc lập của một quá trình liên tục phụ thuộc vào biến  $x$  trong một miền không gian. Nếu giới hạn tồn tại chung với mọi  $x \in X \subset \mathbb{R}^2$  và không suy biến đối với một số hằng số chuẩn hóa  $a_m(x) > 0$  và  $b_m(x)$  thì  $Z(x)$  là một quá trình cực trị ổn định (max-stable process) (de Haan, 1984).

$$Z(x) = \lim_{m \rightarrow +\infty} \frac{\max_{k=1}^m Y_k(x) - b_m(x)}{a_m(x)} \quad (1)$$

Để thuận tiện hơn về mặt toán học, chúng ta xem xét các quá trình cực trị ổn định đơn giản (simple max-stable processes), có phân phối xác suất biên theo dạng phân phối đơn vị Fréchet; các phân phối biên có thể dễ dàng được chuyển đổi

sang thang đo cực trị thông thường theo phân phối Pareto tổng quát. Tất cả các quá trình cực trị ổn định đơn giản trên miền không gian  $X$  đều có thể được biểu diễn dưới dạng

$$Z(x) = \max_{i \geq 1} W_i(x)/U_i, \quad x \in X, \quad (2)$$

trong đó  $U_i$  là các điểm của một quá trình Poisson đơn vị trên miền  $(0, \infty)$  và  $W_i(x)$  là các bản sao độc lập của quá trình ngẫu nhiên liên tục, không âm  $W(x)$  được xác định trên  $X$ , với  $E[W(x)] = 1$  đối với mọi  $x \in X$ . Công thức (2) có thể được hiểu là một quá trình mô phỏng mưa bão (a rainfall-storm process) trong đó  $W_i(x)$  đại diện cho các hình dạng cơn bão, và  $1/U_i$  đại diện cho cường độ tại tâm của mỗi cơn bão.

### 2.3. Sơ lược về mô hình cực trị tiệm cận độc lập và các đặc trưng thống kê

Quá trình nghịch đảo cực trị ổn định (inverted max-stable process) là một ví dụ về mô hình tiệm cận độc lập (Wadsworth and Tawn, 2012). Xem xét  $Z(x)$  là một quá trình cực trị ổn định như trong công thức (2), và xác định

$$\tilde{\Omega}(x) = 1/Z(x) = \min_{i \geq 1} U_i/W_i, \quad x \in X. \quad (3)$$

Khi đó  $\tilde{\Omega}$  là một quá trình tiệm cận độc lập với phân phối xác suất biên theo hàm mũ tiêu chuẩn (standard exponential margins). Để chuyển đổi quá trình biên này thành đơn vị biên Fréchet, phép chuyển đổi sau được sử dụng:

$$\Omega(x) = -\frac{1}{\log(1 - e^{-\tilde{\Omega}(x)})}, \quad x \in X, \quad (4)$$

thì  $\Omega(x)$  sẽ là một quá trình tiệm cận độc lập với phân phối xác suất biên theo phân phối Fréchet đơn vị.

Từ công thức (2) và (3), các mô hình khác nhau cho  $W$  cung cấp các quá trình cực trị ổn định và nghịch đảo cực trị ổn định khác nhau. Nghiên cứu này tập trung vào loại hình phổ biến nhất và dễ dàng mô phỏng nhất trong các quá trình cực trị ổn định: quá trình Brown-Resnick, trong đó  $W$  là một quá trình log-Gaussian process (Asadi et al., 2015; Huser and Davison, 2013; Kabluchko et al., 2009; Oesting et al., 2017).

### 2.4. Phương pháp tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện

Phương pháp của Bell (Siriwardena and Weinmann, 1996) sử dụng cách tiếp cận cố định diện tích (fixed-area approach) để tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện ARFs. Phương pháp này coi các hệ số chuyển đổi này là tỷ lệ giữa lượng mưa không gian với lượng mưa điểm đại diện ở những khoảng thời gian lặp lại bằng nhau. Nghiên cứu sử dụng phương pháp này vì nó tính đến các dạng mưa theo không gian và đã được sử dụng trong các nghiên cứu gần đây (Jordan et al., 2013; Bennett et al., 2016; Li et al., 2015). Để tính toán hệ số chuyển đổi ARFs cho miền không gian  $X$  với khu vực  $A$ , tần suất  $F$  và thời đoạn mưa  $d$ , ta sử dụng công thức

$$ARF_{(A,F,d)} = \frac{C(A,d)_F}{R(d)_F}, \quad (5)$$

trong đó  $C(A,d)_F$  là độ sâu lượng mưa trong không gian của lưu vực và, và  $R(d)_F$  là lượng mưa điểm cực trị đại diện được tính bằng giá trị trung bình không gian của các giá trị lượng mưa điểm cực trị trong lưu vực.

Các bước tính toán hệ số chuyển đổi ARFs theo công thức (5) như sau:

Bước 1 – Tính toán độ sâu lượng mưa trong không gian: Để  $R$  biểu thị tập hợp độ sâu lượng mưa của điểm trong một thời đoạn  $d$  nhất định cho tất cả các điểm  $x$  trong miền không gian  $X$  và cho tất cả các khoảng thời gian  $t$  trong chuỗi số liệu quan trắc có độ dài  $\Theta$  với bước thời gian tăng dần chính là thời đoạn mưa  $d$ , như vậy  $R = \{R(x,t): x \in X, t = 1, \dots, \Theta/d\}$ . Đối với khoảng thời gian thứ  $t$ , độ sâu lượng mưa trong không gian cho một lưu vực được xác định là

$$C_t(A,d) = \frac{1}{A} \int_X R(x,t) dx. \quad (6)$$

Phân tích tần suất sau đó được áp dụng cho  $C(A,d) = \{C_1(A,d), \dots, C_{\Theta/d}(A,d)\}$  để tính toán  $C(A,d)_F$ .

Bước 2 – Tính toán lượng mưa tại điểm cực trị

đại diện cho lưu vực: Lượng mưa điểm đại diện của một tần suất nhất định, ký hiệu bởi  $R(d)_F$ , là giá trị trung bình trong không gian của các giá trị lượng mưa điểm cực trị trong miền lưu vực,

$$R(d)_F = \frac{1}{A} \int_{\mathcal{X}} R(x, d)_F dx, \quad (7)$$

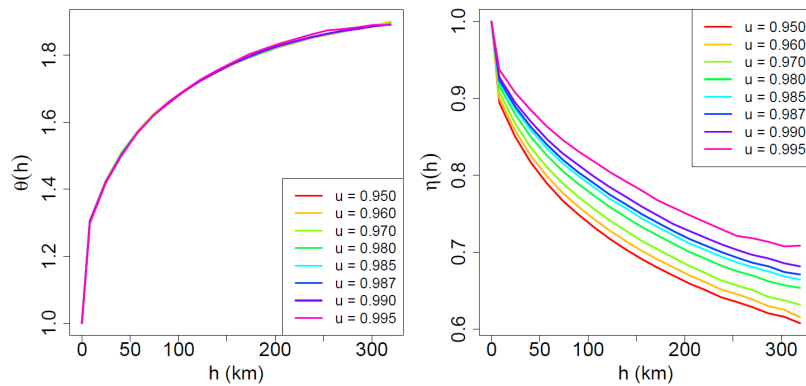
trong đó  $R(x, d)_F$  biểu thị độ sâu lượng mưa tương ứng với thời đoạn  $d$  cho một vị trí cụ thể  $x$  và tần suất  $F$ .

Bài báo này tính toán mưa trung bình có phân tích trọng số cho từng trạm mưa. Khu vực nghiên cứu được chia thành các ô lưới hình vuông, sau đó phương pháp Voronoi diagram/Delaunay triangulation được sử dụng để xác định trọng số cho từng trạm mưa có liên quan.

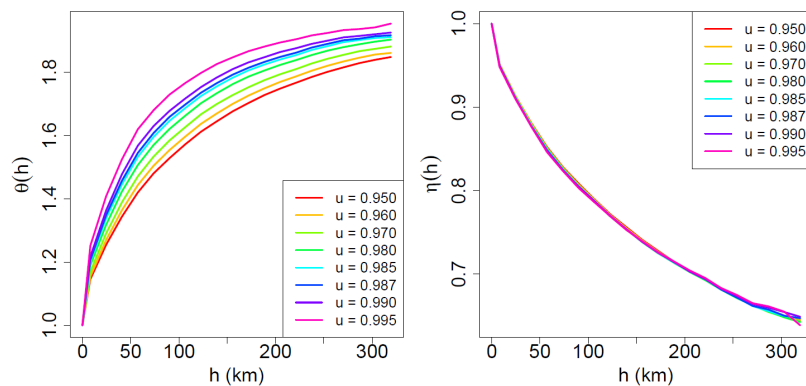
### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

#### 3.1. Đánh giá mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị

Hình 2 dưới đây trình bày kết quả tính toán các đặc trưng thống kê cho số liệu cực trị nhân tạo được mô phỏng từ mô hình tiệm cận phụ thuộc Brown-Resnick. Hình 3 là kết quả tính toán cho số liệu cực trị nhân tạo mô phỏng từ mô hình tiệm cận độc lập nghịch đảo Brown-Resnick. Từ Hình 2 chúng ta thấy rằng đối với biến cực trị tiệm cận phụ thuộc thì giá trị  $\theta$  không thay đổi khi thay đổi ngưỡng cực trị, trong khi  $\eta$  tăng khi ngưỡng cực trị tăng. Trong khi đó đối với biến cực trị tiệm cận độc lập (Hình 3), khi ngưỡng cực trị tăng thì  $\theta$  tăng còn  $\eta$  không thay đổi. Kết quả này hoàn toàn có thể dùng được như là một tiêu chuẩn để phân loại biến cực trị và hoàn toàn có thể ứng dụng để đánh giá mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị.



Hình 2. Kết quả tính toán đặc trưng thống kê cho số liệu cực trị nhân tạo mô phỏng từ mô hình tiệm cận phụ thuộc (mô hình Brown-Resnick).

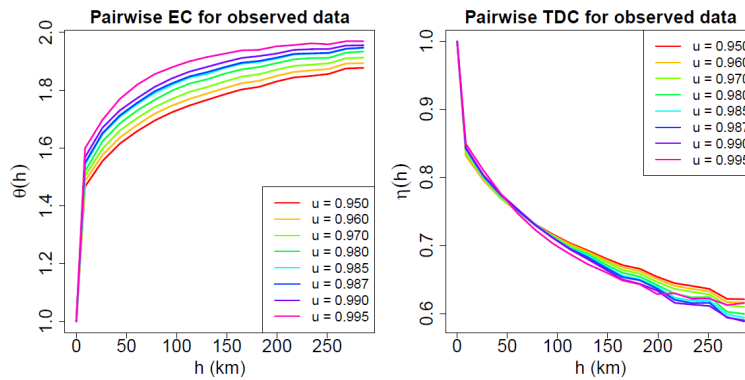


Hình 3. Kết quả tính toán đặc trưng thống kê cho số liệu cực trị nhân tạo mô phỏng từ mô hình tiệm cận độc lập (mô hình nghịch đảo Brown-Resnick).



Hình 4 trình bày kết quả tính toán các đặc trưng thống kê cho số liệu mưa ngày của khu vực phía Bắc Việt Nam. Mặc dù kết quả tính toán cho số liệu mưa thực đo nhiều hơn nhiều so với số liệu mô phỏng nhân tạo do chuỗi số liệu thực đo ngắn, tuy nhiên xu hướng biến đổi của các đặc trưng thống kê khá rõ ràng. Cụ thể, khi ngưỡng cực trị tăng thì  $\theta$  tăng còn  $\eta$  xấp xỉ

bằng nhau, điều này thể hiện rất rõ rệt ở khoảng cách ngắn (từ 0-100 km) khi mà mức độ phụ thuộc không gian cao hơn. Điều này chỉ ra rằng mưa cực trị ở khu vực phía Bắc Việt Nam tuân theo đặc điểm của loại hình cực trị tiệm cận độc lập, và phải dùng mô hình cực trị không gian tiệm cận độc lập để mô phỏng mưa cực trị ở khu vực này.



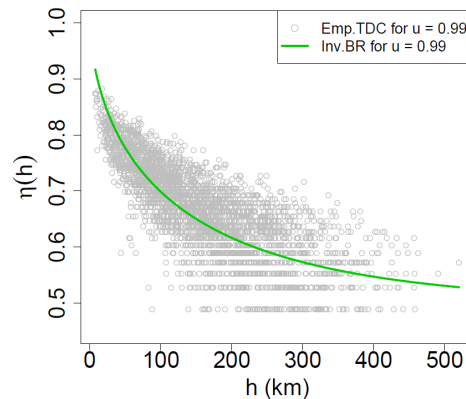
Hình 4. Kết quả tính toán đặc trưng thống kê cho số liệu mưa ngày khu vực nghiên cứu

### 3.2. Mô phỏng, tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện

Dựa vào kết quả phân tích ở trên, bài báo này lựa chọn một mô hình tiệm cận độc lập phổ biến để tiến hành mô phỏng mưa cực trị không gian cho khu vực nghiên cứu, đó là mô hình nghịch đảo Brown-Resnick. Trước khi tiến hành mô phỏng thì mô hình này phải được hiệu chỉnh dựa trên dữ liệu mưa quan trắc. Quá trình hiệu chỉnh dựa trên đặc trưng thống kê của mô hình nghịch đảo Brown-Resnick, hệ số phụ thuộc đuôi  $\eta$ , có thể tìm thấy trong Thibaud et al. (2013) và Le et al. (2018). Kết quả hiệu chỉnh được trình bày ở Hình 5.

Sau khi mô hình nghịch đảo Brown-Resnick được hiệu chỉnh, bài báo tiến hành mô phỏng mưa cực trị không gian cho khu vực nghiên cứu. Sau đó, hệ số chuyển đổi ARFs được tính toán bằng cách sử dụng cả dữ liệu quan trắc và dữ liệu mô phỏng, cho các quy mô diện tích khác nhau và thời gian lặp lại khác nhau. Dữ liệu tiệm cận độc lập được mô phỏng từ mô hình nghịch đảo Brown-Resnick (inverted Brown-Resnick models). Trên Hình 6, hệ số ARFs

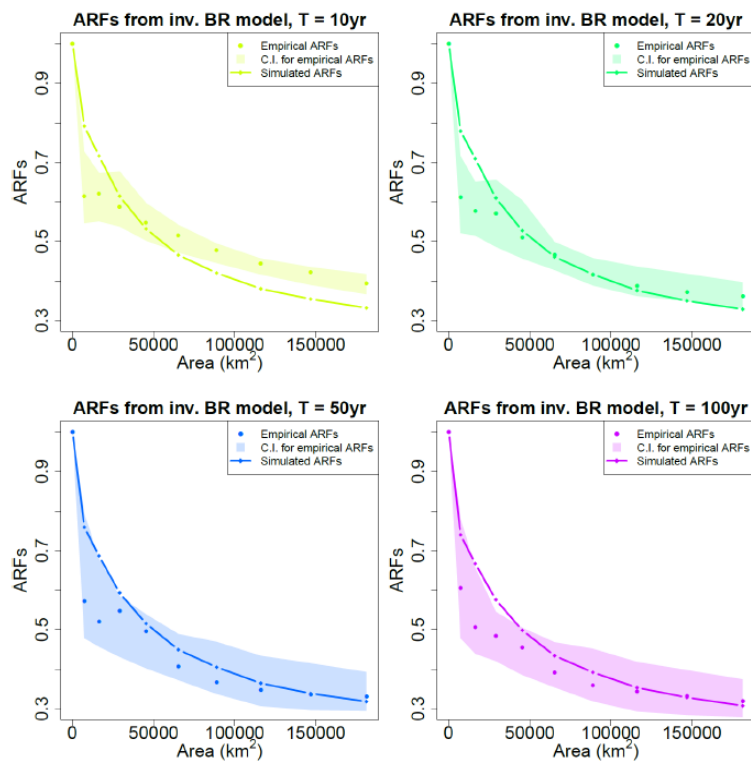
tính toán từ dữ liệu quan trắc và dữ liệu mô phỏng được vẽ cho các loại quy mô diện tích khác nhau với cùng một thời gian lặp lại nhất định. Khoảng tin cậy 95% cho các hệ số ARFs tính toán từ dữ liệu quan trắc được xác định theo thuật toán Bootstrap, nghĩa là sắp xếp lại và có thay thế dữ liệu quan trắc từ tất cả 83 trạm mưa một cách đồng thời (simultaneously resampling with replacement the observed data).



Hình 5. Hệ số phụ thuộc đuôi  $\eta$  tính từ số liệu quan trắc (chấm đen) và hệ số phụ thuộc đuôi  $\eta$  lý luận theo mô hình nghịch đảo Brown-Resnick (đường xanh)

Hình 6 cho thấy hệ số chuyển đổi ARFs được tính toán từ dữ liệu mô phỏng của mô hình nghịch đảo Brown-Resnick cho các mức thời gian lặp lại dài (20, 50, và 100 năm) khá sát với giá trị hệ số ARFs được tính toán từ dữ liệu quan sát. Bên cạnh đó, với mức thời gian lặp lại ngắn hơn là 10 năm thì kết quả tính toán ARFs từ dữ liệu mô phỏng cho quy mô diện tích lớn hơn 50.000 km<sup>2</sup> thấp hơn đáng kể so với hệ số ARFs được tính toán từ dữ liệu quan trắc. Tuy nhiên với bài toán tính toán rủi ro lũ thì chúng ta

tập trung chủ yếu vào các mức thời gian lặp lại dài, nên từ kết quả này chúng ta có thể thấy rằng kết quả mô phỏng mưa không gian từ mô hình nghịch đảo Brown-Resnick là chấp nhận được cho khu vực nghiên cứu. Hình 6 cũng chỉ ra rằng mô hình nghịch đảo Brown-Resnick cung cấp đườn quan hệ ARFs với các mức quy mô diện tích khá là trơn, kể cả cho thời gian lặp lại dài, ví dụ 100 năm, điều này rất hữu ích cho việc ngoại suy hệ số chuyển đổi cho các tần suất hiếm hơn.



Hình 6. Hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện ARFs tính toán từ dữ liệu mô phỏng của mô hình nghịch đảo Brown-Resnick (dạng đường), và từ dữ liệu quan trắc (dạng điểm) với khoảng tin cậy 95% với cùng mức thời gian lặp lại 10, 20, 50, và 100 năm

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã xác định tiêu chí để phân loại biến cực trị dựa trên số liệu nhân tạo mô phỏng từ hai loại hình mô hình cực trị không gian khác nhau bao gồm mô hình tiệm cận phụ thuộc và mô hình tiệm cận độc lập. Dựa trên tiêu chí này, nghiên đã tiến hành đánh giá mối quan hệ theo không gian của mưa cực trị cho khu vực phía Bắc Việt Nam, từ đó lựa chọn loại mô hình thích

hợp để tiến hành mô phỏng mưa cực trị không gian và tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện cho khu vực nghiên cứu, sau đó so sánh hệ số này với hệ số tính toán trực tiếp từ số liệu quan trắc tại các trạm mưa.

Kết quả phân tích cho thấy mưa cực trị ở khu vực phía Bắc Việt Nam mang tính chất của biến cực trị tiệm cận độc lập, do đó nghiên cứu đã tiến hành lựa chọn một đại diện của mô hình tiệm cận

độc lập, đó là mô hình nghịch đảo Brown-Resnick, để tiến hành mô phỏng mưa cực trị không gian cho khu vực nghiên cứu. Kết quả tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện ARFs từ số liệu mô phỏng từ mô hình nghịch đảo Brown-Resnick rất sát với hệ số ARFs được tính toán trực tiếp từ số liệu quan trắc cho các mức thời gian lặp lại dài (20, 50, 100 năm), còn hệ số ARFs từ dữ liệu mô phỏng cho mức thời gian lặp lại ngắn hơn (10 năm) ở các cấp quy mô diện tích lưu vực lớn hơn 50000 km<sup>2</sup> thì thấp hơn rõ rệt so với hệ số tính toán trực tiếp từ dữ liệu quan trắc.

Kết quả của bài báo có ý nghĩa lớn trong việc tính toán chính xác mưa cực trị phục vụ cho việc tính toán rủi ro lũ. Bài báo đã chỉ ra mưa cực trị ở khu vực phía Bắc Việt Nam mang đặc điểm của loại hình cực trị độc lập tiệm cận, nghĩa là mức độ

phụ thuộc theo không gian của mưa cực trị giảm dần khi mức độ cực trị tăng lên. Do đó, các nghiên cứu trong tương lai được khuyến cáo nên dùng mô hình cực trị không gian tiệm cận độc lập để mô phỏng mưa cực trị ở khu vực này. Bài báo cũng đồng thời cung cấp kết quả tính toán hệ số chuyển đổi từ mưa điểm sang mưa diện cho khu vực phía Bắc Việt Nam, các hệ số này có thể là một cơ sở tham khảo cho các nghiên cứu liên quan trong tương lai ở Việt Nam. Kết quả này cũng rất hữu ích cho việc ngoại suy hệ số chuyển đổi cho các tần suất hiếm hơn.

Bài báo chỉ giới hạn phân tích cho số liệu mưa ngày của một số trạm mưa phía Bắc Việt Nam, tuy nhiên phương pháp nghiên cứu được trình bày ở đây có thể được ứng dụng cho số liệu mưa với thời đoạn bất kỳ ở các khu vực khác nhau.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Asadi, P., Davison, A. C., and Engelke, S.: *Extremes on river networks*, Ann. Appl. Stat., 9, 2023-2050, 10.1214/15-AOAS863, 2015.
- Bennett, B., Lambert, M., Thyer, M., Bates, B. C., and Leonard, M.: *Estimating Extreme Spatial Rainfall Intensities*, Journal of Hydrologic Engineering, 21, 04015074, doi:10.1061/ (ASCE) HE.1943-5584.0001316, 2016.
- Coles, S.: *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer Series in Statistics, Springer, 2001.
- de Haan, L.: *A Spectral Representation for Max-stable Processes*, The Annals of Probability, 12, 1194-1204, 10.2307/2243357, 1984.
- Huser, R., and Davison, A. C.: *Composite likelihood estimation for the Brown-Resnick process*, Biometrika, 100, 511-518, 10.1093/biomet/ass089, 2013.
- Jordan, P., Weinmann, E., and Hill, P., Wiesenfeld, C.: *Australian Rainfall & Runoff Revision Project: Project 2-Collation and Review of Areal Reduction Factors from Applications of the CRC-FORGE Method in Australia.*, 2013.
- Kabluchko, Z., Schlather, M., and de Haan, L.: *Stationary Max-Stable Fields Associated to Negative Definite Functions*, The Annals of Probability, 37, 2042-2065, 2009.
- Le, P. D., Davison, A. C., Engelke, S., Leonard, M., and Westra, S.: *Dependence properties of spatial rainfall extremes and areal reduction factors*, Journal of Hydrology, 565, 711-719, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.061>, 2018.
- Li, J., Sharma, A., Johnson, F., and Evans, J.: *Evaluating the effect of climate change on areal reduction factors using regional climate model projections*, Journal of Hydrology, 528, 419-434, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.067>, 2015.



- Oesting, M., Schlather, M., and Friederichs, P.: *Statistical post-processing of forecasts for extremes using bivariate Brown-Resnick processes with an application to wind gusts*, *Extremes*, 20, 309-332, 10.1007/s10687-016-0277-x, 2017.
- Siriwardena, L., and Weinmann, P.: *Derivation of areal reduction factors for design rainfalls in Victoria for Rainfall Durations 18–120 hours*, Report, 96, 60, 1996.
- Thibaud, E., Mutzner, R., and Davison, A. C.: *Threshold modeling of extreme spatial rainfall*, *Water Resources Research*, 49, 4633-4644, 10.1002/wrcr.20329, 2013.
- Wadsworth, J. L., and Tawn, J. A.: *Dependence modelling for spatial extremes*, *Biometrika*, 99, 253-272, 10.1093/biomet/asr080, 2012.

**Abstract:**

**DEPENDENCE PROPERTIES OF SPATIAL RAINFALL EXTREMES  
AND AREAL REDUCTION FACTORS: AN APPLICATION FOR RAIN STATIONS  
IN THE NORTH OF VIETNAM**

*Dependence properties of spatial rainfall extremes provides information regarding the simultaneous or non-simultaneous occurrence of extreme rainfall at different locations in a catchment. The lack of this information will lead to inaccuracies in flood studies, such as the estimation of the area reduction factors (ARFs) for a given catchment. Currently, there is also an disagreement about whether extreme rainfall has the properties of asymptotic dependence or asymptotic independence. This paper has shown that the extreme rainfall in the northern region of Vietnam has the properties of asymptotic independence, so the asymptotic independence model has been selected to conduct extreme rainfall simulation for the study area. The results of calculating the area reduction factors (ARFs) from simulated and observed rainfall data are very suitable for long return periods (20, 50, and 100 years), and ARFs calculated from simulated rainfall are also useful for extrapolating to rarer frequencies. The paper also recommends that future studies should use asymptotic independence models to simulate extreme rainfall for the study area.*

**Keywords:** Areal reduction factor, Asymptotic dependence, Asymptotic independence, Extreme rainfall, Inverted max-stable process, Max-stable process.

---

*Ngày nhận bài:* 18/02/2022

*Ngày chấp nhận đăng:* 25/3/2022