

So sánh hiệu quả của mười một phương pháp số trong phân bố tốc độ gió trên cơ sở đánh giá mức độ phù hợp cho nghiên cứu chế độ gió khu vực tỉnh Bến Tre

Performance comparison of eleven numerical methods of wind speed distribution with a novel goodness of fit metric for studying wind regime in Ben Tre province.

Trần Văn Chung^{a*}, Cao Văn Nguyễn^a, Lâm Văn Tân^b
Tran Van Chung^{a*}, Cao Van Nguyen^a, Lam Van Tan^b

^a*Viện Hải dương học - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*
^a*Institute of Oceanography, Vietnam Academy of Science and Technology*

^b*Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Bến Tre*

^b*Department Of Science & Technology Of Ben Tre Province*

(Ngày nhận bài: 06/4/2023, ngày phản biện xong: 14/4/2023, ngày chấp nhận đăng: 28/4/2023)

Tóm tắt

Bộ dữ liệu gió 10m trên mặt biển được cung cấp bởi dữ liệu khí tượng NCEP CFRS tương ứng với khoảng thời gian 44 năm (1979-2022), với tần suất hàng giờ. Mục đích của bài báo này là cung cấp phương pháp số hiệu quả nhất cho phân bố chế độ gió ở khu vực tỉnh Bến Tre trên cơ sở phân tích và so sánh hiệu quả của mười một phương pháp số. Phân bố tốc độ gió được lựa chọn cuối cùng dựa trên nhiều tiêu chí và phân bố được đề xuất vượt trội hơn so với các mô hình tham số khác được thử nghiệm và mô tả một cách tối ưu. Theo kết quả phân tích, phân bố Gauss nghịch đảo cho kết quả phân tích không tốt, không nên sử dụng cho phân bố chế độ gió khu vực Bến Tre. Trong khi đó, phân bố chuẩn thường cho kết quả tốt nhất cho tháng 1; phân bố cực trị cho kết quả tốt nhất cho tháng 2 và phân bố Rician tốt nhất cho các tháng: 3, 7, 11 và 12; phân bố Nakagami tốt nhất cho các tháng 5, 10 và phân bố Weibull tốt nhất cho các tháng: 4, 8, 9 và cả năm.

Từ khóa: Trường gió; hoa gió; phân bố xác suất gió; NCEP CFRS.

Abstract

The wind data set of 10 m on the sea surface is provided by meteorological data NCEP CFRS corresponding to a period of 44 years (1979-2022), with hourly frequency. The purpose of this paper is to provide the most effective numerical method for the distribution of wind regimes in Ben Tre province on the basis of analyzing and comparing the effectiveness of eleven numerical methods. The final wind speed distribution was selected based on multiple criteria and the proposed distribution outperformed the other parametric models tested and optimally described. According to the analysis results, the inverse Gaussian distribution gives poor analytical results, and should not be used for the distribution of wind regimes in Ben Tre area. Meanwhile, the normal distribution usually gives the best results for January; extreme distribution gives best results for February and best Rician distribution for months: March, July, November and December; the best Nakagami distribution for the months of May, October and the best Weibull distribution for the months: April, August, September and the whole year.

Keywords: Wind field; Wind rose; Wind probability distribution; NCEP CFRS.

**Tác giả liên hệ:* Trần Văn Chung; Viện Hải dương học - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Email: tvanchung@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Đặc điểm nổi bật nhất của gió là tính biến đổi của nó, cả về mặt địa lý và thời gian. Sự thay đổi này tồn tại trên quy mô rất rộng, cả về không gian và thời gian. Năng lượng có sẵn trong gió thay đổi theo bậc ba của tốc độ gió. Tầm quan trọng của điều này được khuếch đại bởi mối quan hệ bậc ba với năng lượng có sẵn. Ở quy mô lớn, sự thay đổi không gian mô tả thực tế là có nhiều vùng khí hậu khác nhau trên thế giới, một số nơi có nhiều gió hơn những vùng khác. Các khu vực này phần lớn được quyết định bởi vĩ độ, ảnh hưởng đến lượng ánh sáng mặt trời. Trong bất kỳ một vùng khí hậu nào, có rất nhiều biến đổi ở quy mô nhỏ hơn, phần lớn được quyết định bởi địa lý tự nhiên - ví dụ như tỷ lệ đất và biển, kích thước của các khối đất và sự hiện diện của núi hoặc đồng bằng. Loại thảm thực vật cũng có thể có ảnh hưởng đáng kể thông qua tác động của nó đối với sự hấp thụ hoặc phản xạ bức xạ mặt trời, ảnh hưởng đến nhiệt độ bề mặt và độ ẩm. Ở mức độ quy mô địa phương, địa hình có ảnh hưởng lớn đến chế độ gió. Ví dụ, gió thổi nhiều hơn trên các đỉnh đồi và núi hơn là ở nơi khuất gió trên mặt đất cao hoặc trong các thung lũng có mái che, ngoài ra vận tốc gió bị giảm đáng kể bởi các chướng ngại vật như cây cối hoặc tòa nhà.

Bến Tre là tỉnh thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long, có diện tích tự nhiên là 2.360 km², được hợp thành bởi cù lao An Hóa, cù lao Bảo, cù lao Minh và do phù sa của 4 nhánh sông Cửu Long bồi tụ thành (sông Tiền, sông Ba Lai, sông Hàm Luông, sông Cổ Chiên). Để nghiên cứu các quá trình thủy động lực tác động lên vùng biển Bến Tre, tác động của chế độ gió là một trong những tham số chính được quan tâm. Như đã biết, gió trên bề mặt biển là một tham số điều khiển quan trọng để xác định các thông số của nhiều quá trình tương tác giữa khí-biển như thông lượng ẩn nhiệt và cảm nhiệt biển-khí

và tốc độ chuyển giao biển – khí của carbon dioxide, dòng động lượng và ứng suất gió trên lớp bề mặt biển. Gió gây sóng bề mặt, các dòng chảy biển và các hiện tượng trôi bề mặt. Gió còn là nhân tố quan trọng trong quá trình xói mòn và thành tạo địa hình. Trong các mô hình động lực học biển, tham số ứng suất gió được đưa vào và là nhân tố chính quyết định khả năng trao đổi động lực học trên bề mặt biển.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

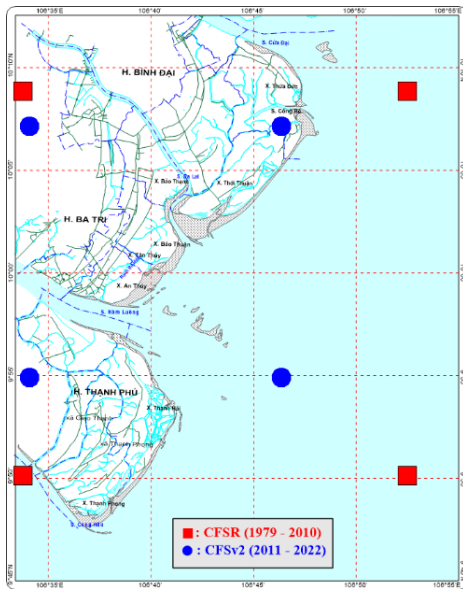
Nguồn số liệu gió dùng cho phân tích được cập nhật từ bộ dữ liệu Phân tích lại Hệ thống Dự báo Khí hậu (CFRS- Climate Forecast System Reanalysis) thuộc Trung tâm Dự báo Môi Trường Quốc gia (NCEP - National Centers for Environmental Prediction) (NCEP CFRS) [1]. Theo các công trình công bố, kết quả dự báo hồi cố và dự báo thời gian của NCEP (CFSv2) [2] đã giúp cho các nhà quản lý đưa ra các quyết định phù hợp trong các lĩnh vực như quản lý nước của các lưu vực sông, nông nghiệp, giao thông vận tải, năng lượng, khai thác nguồn năng lượng sạch (gió...), các nguồn năng lượng bền vững khác, cũng như dự báo tai biến thiên nhiên như dự báo mùa mưa, bão. Bộ số liệu này cũng đã được sử dụng trong nghiên cứu chế độ gió cho khu vực đảo hòn Yến - Phú Yên (Trần Văn Chung và cs. (2021) [3]).

Khu vực nghiên cứu số liệu hiện có cho khu vực tỉnh Bến Tre được thể hiện trên Hình 1, thời gian cho chuỗi dữ liệu gió được sử dụng từ 1979 - 2020 (42 năm), tần suất số liệu là 1 giờ/số liệu, với tổng số liệu được sử dụng trong 44 năm cho phân tích là 1.542.816 số với phân bố. Cụ thể, chuỗi số liệu theo 02 nguồn chính:

(1) NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFRS) Selected Hourly Time-Series Products, January 1979 to December 2010 (ds093.1): số liệu được sử dụng từ 1979 - 2010

với tần suất 01 giờ/số liệu, có độ phân giải theo phương ngang 0,3°. Với bộ số liệu này, tại khu vực Bến Tre có thể sử dụng được 04 điểm số liệu lấy trung bình, với tổng số liệu được sử dụng cho tính toán 1.222.048 số cho 32 năm.

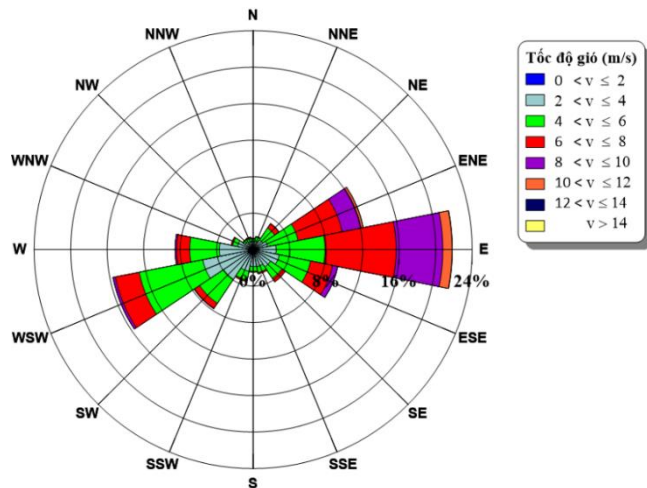
(2) NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) Selected Hourly Time-Series Products (ds094.1): sử dụng chuỗi số liệu từ năm 2011 – 2022 với tần suất 01 giờ/số liệu, có độ phân giải theo phương ngang 0,2°. Khu vực nghiên cứu đã sử dụng được 04 điểm số liệu lấy trung bình, với tổng số liệu được sử dụng cho tính toán 420.768 số cho 12 năm.



Hình 1. Vị trí điểm trích xuất dữ liệu cho khu vực Bến Tre

2.2. Phương pháp tiếp cận

Để tìm quy luật phân bố chế độ gió tại khu vực Bến Tre, chúng tôi đã sử dụng 11 hàm phân bố có 02 tham số điển hình với hình dạng phân bố tốc độ gió vùng nghiên cứu và dựa vào các tiêu chí thống kê để đánh giá độ chính xác nhằm tìm 01 hàm phân bố tối ưu có thể thỏa mãn quy luật phân bố gió tại khu vực. Phương pháp này cũng đã ứng dụng trong nghiên cứu chế độ gió tại Vịnh Nha Trang (Trần Văn Chung và cs., 2022 [4]). Dưới đây là tổng quan ngắn gọn về các loại hàm phân bố và giá trị của 2 tham số thể hiện trên các hàm phân bố được thể hiện trên Bảng 1.



Hình 2. Hoa gió điển hình khu vực Bến Tre từ nguồn dữ liệu NCEP CFSR (1979 – 2022)

Bảng 1: Mô tả tóm tắt 11 loại hàm phân bố đặc trưng

Tên hàm	Hàm mật độ xác suất	Hàm phân bố tích lũy	Các tham số (A, B) ⁽¹⁾
Phân bố chuẩn (normal distribution)	$f(x \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	$F(x \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$	μ : giá trị trung bình σ : độ lệch chuẩn
Phân bố loga chuẩn (LogNormal distribution)	$f(x \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$	$F(x \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{t} \exp\left\{-\frac{(\log t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dt$	μ : giá trị trung bình của lôgarit σ : độ lệch chuẩn của các giá trị lôgarit

Phân bố Gamma	$f(x a, b) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{b}}$	$F(x a, b) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} \int_0^x t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}} dt$	a: tham số hình dạng; b: tham số tỷ lệ
Phân bố Weibull	$f(x a, b) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$	$F(x a, b) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$	a: tham số tỷ lệ; b: tham số hình dạng
Phân bố Birnbaum-Saunders	$f(x) = \frac{\left(\sqrt{\frac{x}{\beta}} + \sqrt{\frac{\beta}{x}}\right)}{2\gamma x} \phi\left(\frac{\left(\sqrt{\frac{x}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x}}\right)}{\gamma}\right)$	$F(x) = \Phi\left(\frac{\sqrt{x} - \sqrt{\frac{1}{x}}}{\gamma}\right)$	β : tham số tỷ lệ; γ : tham số hình dạng
Phân bố Gaussian nghịch đảo (Inverse Gaussian Distribution)	$f(x \mu, \lambda) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi x^3}} \exp\left\{-\frac{\lambda}{2\mu^2 x}(x - \mu)^2\right\}$	$F(x \mu, \lambda) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[\sqrt{\frac{\lambda}{2x}} \left(\frac{x}{\mu} - 1 \right) \right] \right\} + \frac{1}{2} e^{2\lambda/\mu} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left[\sqrt{\frac{\lambda}{2x}} \left(\frac{x}{\mu} + 1 \right) \right] \right\}$	μ : tham số tỷ lệ; λ : tham số hình dạng
Phân bố Logistic	$f(x \mu, \sigma) = \frac{\exp\left\{\frac{x-\mu}{\sigma}\right\}}{\sigma \left(1 + \exp\left\{\frac{x-\mu}{\sigma}\right\}\right)^2}$	$F(x \mu, \sigma) = \frac{1}{1 + \exp\left\{\frac{x-\mu}{\sigma}\right\}}$	μ : giá trị trung bình; σ : tham số tỷ lệ
Phân bố Log-Logistics	$f(x \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \frac{1}{(1+e^z)^2}; x \geq 0,$ trong đó: $z = \frac{\log(x) - \mu}{\sigma}$	$F(x \mu, \sigma) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{\sigma}\right)^{-\mu}}$	μ : giá trị trung bình của lôgarit; σ : tham số tỷ lệ của giá trị lôgarit
Phân bố "Rician"	$f(x s, \sigma) = I_0\left(\frac{xs}{\sigma^2}\right) \frac{x}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{x^2+s^2}{2\sigma^2}\right)}$	$F(x s, \sigma) = 1 - Q_1\left(\frac{s}{\sigma}, \frac{x}{\sigma}\right)$	s: tham số không trung tâm; σ : tham số tỷ lệ
Phân bố Nakagami	$f(x \mu, \omega) = 2 \left(\frac{\mu}{\omega}\right)^\mu \frac{1}{\Gamma(\mu)} x^{(2\mu-1)} e^{-\frac{\mu}{\omega} x^2}$	$F(x \mu, \omega) = \frac{\gamma(\mu, \frac{\mu}{\omega} x^2)}{\Gamma(\mu)}$	μ : tham số hình dạng; ω : tham số tỷ lệ
Phân bố giá trị cực trị (Extreme Value Distribution)	$f(x \mu, \sigma) = \sigma^{-1} \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)$	$F(x \mu, \sigma) = 1 - \exp\left(-e^{\frac{x-\mu}{\sigma}}\right)$	μ : tham số vị trí; σ : tham số tỷ lệ

*) *Ghi chú*: ⁽¹⁾A, B được ký hiệu là các tham số cho hàm phân bố, tương ứng là tham số 1 và 2 của hàm phân bố; x đại diện tốc độ gió 10m so với mực nước biển, trong khu vực tỉnh Bến Tre x dao động từ $0 < x \leq 15,2$ (m/s) (trên cơ sở phân tích số liệu gió 44 năm).

2.3. Ước lượng các tham số

Chúng tôi sử dụng cách thức thực hiện đã được giới thiệu bởi Dookie và cs (2018) [5] với một số kỹ thuật được đưa ra để ước lượng tham

số (điền hình Carta và cs., 2009 [6]). Trong công trình này, các tham số cho các phân bố khác nhau này được ước tính bằng cách sử dụng phương pháp khả năng xảy ra tối đa, phương pháp này chọn làm giá trị ước tính của nó

là giá trị tham số tối đa hóa xác suất của dữ liệu quan sát (Leon-Garcia, 2008 [7]). Phương pháp này được sử dụng phổ biến vì các công cụ ước lượng kết quả thường không chệch và phù hợp về mặt tiệm cận. Phương pháp này cũng cung cấp lợi thế của sự đơn giản trong thực hiện.

2.4. Tiêu chí thống kê được sử dụng để đánh giá tính phù hợp

Để đánh giá mức độ phù hợp của các hàm phân bố nói trên trong việc mô tả xác suất tốc độ gió, bốn (4) thông số kiểm định được sử dụng và mô tả ngắn gọn như sau:

- Sai số độ lệch tuyệt đối trung bình (MABE)

MABE cung cấp đại lượng trung bình của tổng sai số độ lệch tuyệt đối giữa tần số ước tính và quan sát của tốc độ gió được đưa ra bởi:

$$MABE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_i - O_i|$$

- Căn bậc hai của sai số bình phương trung bình (RMSE)

RMSE đại diện cho độ chính xác của phân bố bằng cách đo sự không phù hợp trung bình giữa các giá trị của tần suất ước tính và quan sát của tốc độ gió. Nó được đưa ra bởi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}$$

Giá trị cao của RMSE cho biết phân bố ước tính có vấn đề và giá trị nhỏ cho thấy phân bố ước tính phù hợp với dữ liệu.

- Hệ số xác định (R^2)

Hệ số xác định R^2 xác định mối quan hệ tuyến tính giữa các giá trị tính toán từ các phân bố gió và các giá trị tính toán từ dữ liệu đo được. Giá trị hệ số (R^2) cho thấy dữ liệu đủ gần để khớp với đường hồi quy. Mối tương quan có thể được viết là:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 - \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)(O_i - \sigma)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \sigma)^2}$$

Giá trị của R^2 tiến tới giá trị 1 (đạt đến tương quan hoàn hảo), trong khi giá trị 0 cho thấy hai tập dữ liệu hoàn toàn khác nhau.

- Kiểm định Chi-bình phương (χ^2)

Kiểm định Chi-bình phương (χ^2) được sử dụng để xác định xem có tồn tại bất kỳ sự khác biệt nào giữa tần số mong đợi và tần số quan sát được hay không. Trong kiểm định giả thuyết thống kê này, phân bố là phân bố chi-bình phương khi giả thuyết rỗng là đúng. Biểu thức chi-square như được hiển thị bên dưới trong phương trình: $\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(E_i - O_i)^2}{O_i} \right]$

3. Kết quả nghiên cứu

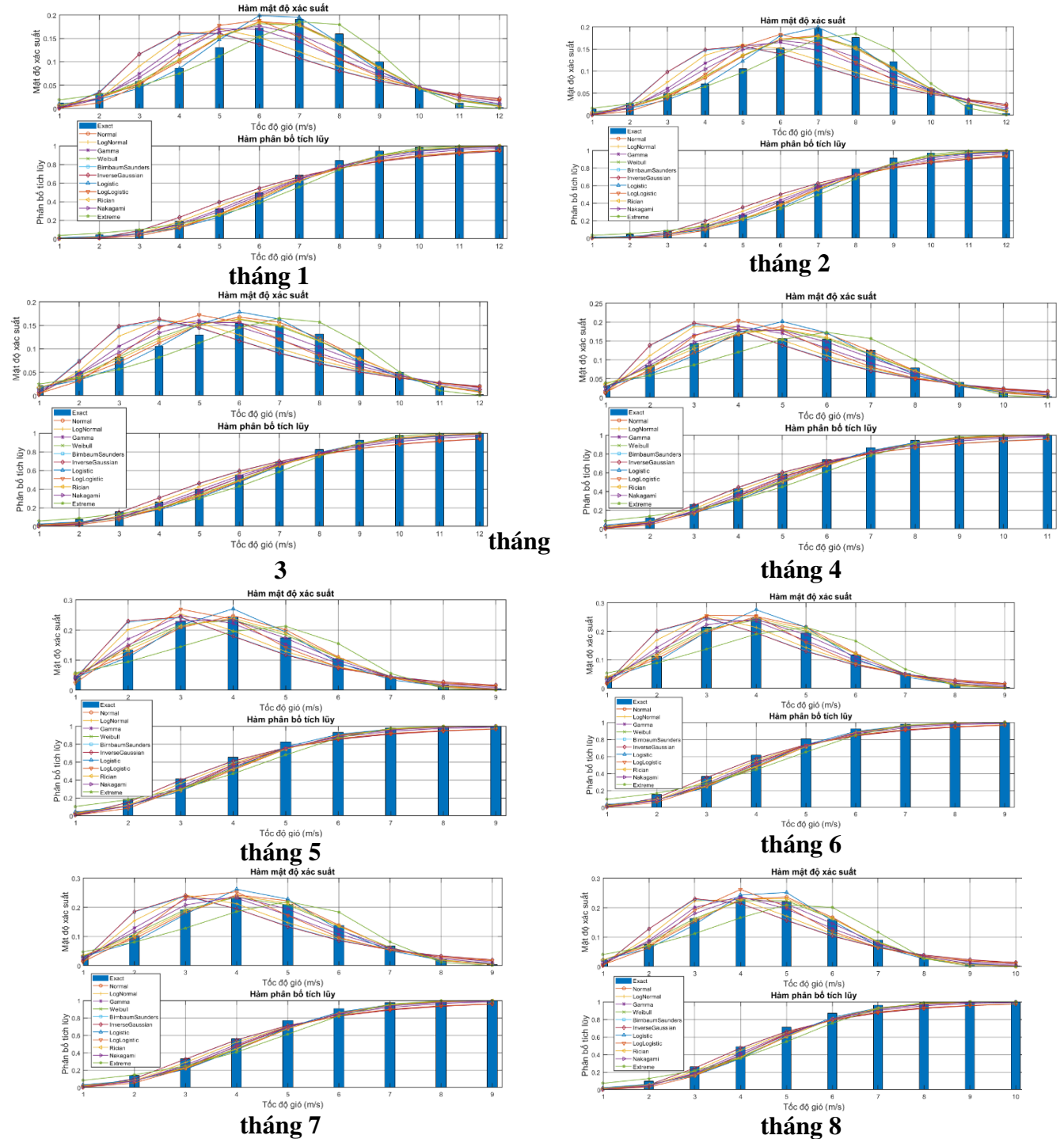
Chúng tôi đã phân tích bộ số liệu gió, sử dụng 02 nguồn dữ liệu, NCEP CFSR (01/01/1979 – 31/12/2010) và NCEP CFSv2 (01/01/2011 – 31/12/2022) cho tần suất 01 giờ/số liệu (tương ứng với 44 năm) (Hình 1). Theo kết quả phân tích, có 2 khoảng tốc độ gió có tần suất xuất hiện nhiều nhất (trên 28%), đó là ($4 < v \leq 6$) (m/s) chiếm 32,9%; tiếp theo là tốc độ gió ($2 < v \leq 4$) (m/s) chiếm 28,5%. Các loại gió xuất hiện thường xuyên này từ 10 m/s trở xuống, chiếm tới 98,65% số liệu được phân tích. Về đặc trưng hướng gió phổ biến, chế độ gió khu vực Bến Tre chịu ảnh hưởng tính gió mùa khá rõ qua các hướng gió thường xuyên xuất hiện. Cụ thể, khi chịu sự tác động của mùa gió Đông Bắc, khu vực Bến Tre chiếm ưu thế với 03 hướng gió là gió Đông (E) (21,8%); Đông Đông Bắc (ENE) (12,3%) và Đông Đông Nam (ESE) (9,5%), trong khi tác động của mùa gió Tây Nam thể hiện qua 03 hướng gió, đó là Tây Tây Nam (WSW) (15,7%), Tây (W) (8,6%) và Tây Nam (SW) (7,8%). Trong phân tích chuỗi số liệu dài 44 năm, tốc độ gió mạnh nhất cũng chỉ đạt 15,2 m/s. Ghi nhận khá đặc biệt là chỉ có 11 lần tốc độ gió đạt trên 14m/s (Bảng 2), trong đó có đến 7 lần thuộc về tháng 12/2017, đây là năm được ghi nhận **Bến Tre hứng chịu nhiều vụ sạt lở nghiêm trọng [8]**; 3 thời điểm tốc độ gió mạnh xảy ra trong ngày 25/11/2018 là do chịu ảnh hưởng của cơn bão số 9 [9].

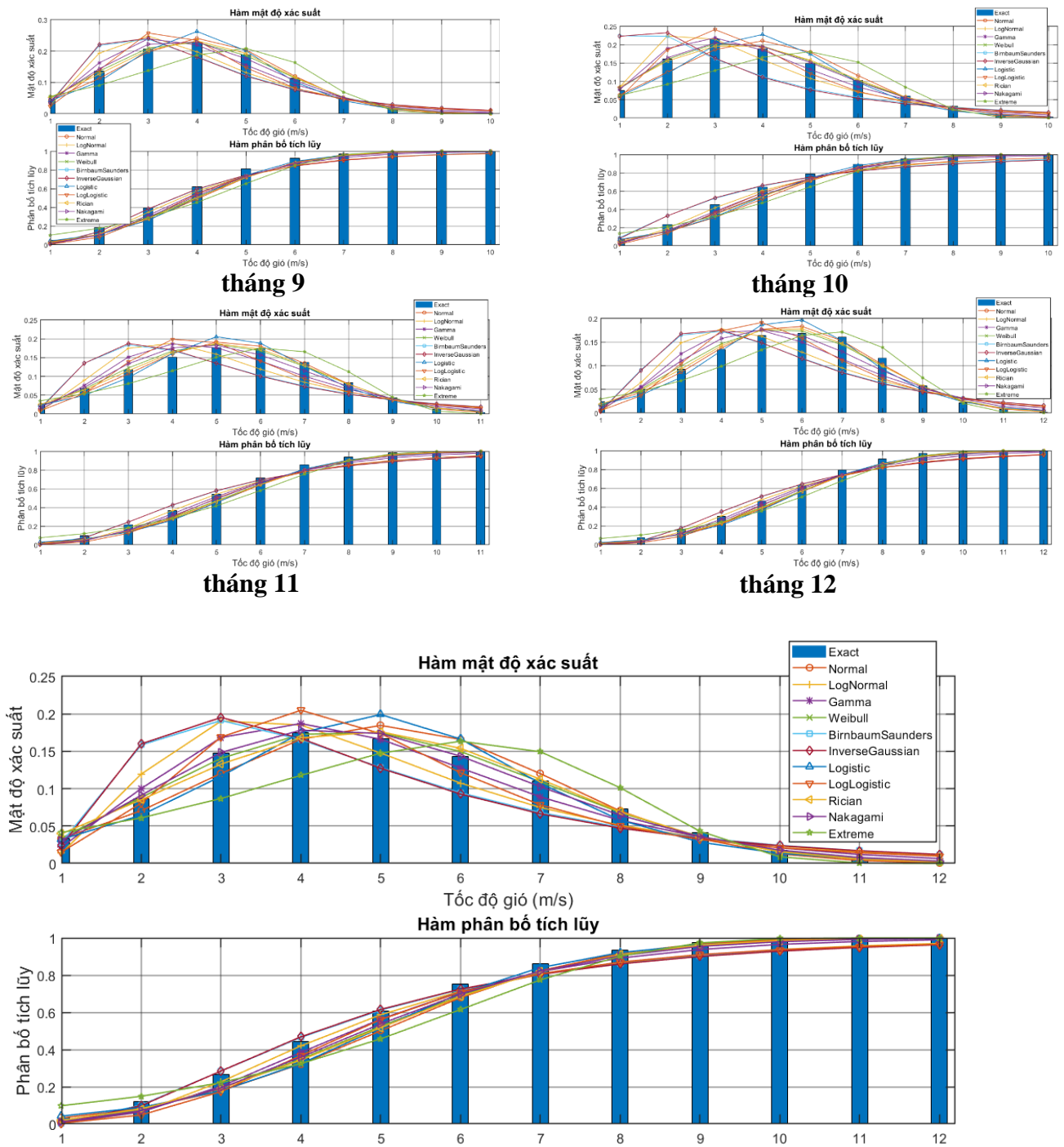
Bảng 2. Giá trị thời điểm tốc độ gió vượt quá 14 m/s trong lịch sử

Thứ bậc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tốc độ (m/s)	15.2	15.1	15.1	14.7	14.7	14.6	14.6	14.6	14.4	14.4	14.4
Hướng	E	NNE	NNW	NW	NW	NW	E	NNE	NNW	E	E
Thời gian	23h 25/12/20 17	22h 25/12/20 17	06h 25/12/20 17	01h 25/11/20 18	02h 25/11/20 18	06h 25/11/20 18	0h 26/12/20 17	21h 25/12/20 17	11h 25/12/20 17	19h 17/02/20 20	01h 26/12/20 17

Các phân tích cho 11 hàm phân bố theo 2 dạng đặc trưng là hàm mật độ xác suất và phân

bố tích lũy theo tốc độ gió cho trung bình tháng và năm được thể hiện đầy đủ trên Hình 2.





Hình 3. Các dạng hàm phân bố của tốc độ gió điển hình theo trung bình tháng và năm

Tuy nhiên, để có thể phản ánh đúng quy luật gió, các phân tích cho từng phương pháp trích lọc tham số theo các hàm phân bố đã được thực hiện. Kết quả của các loại phân bố thể hiện trên mật độ xác suất và phân bố tích lũy so với số

liệu quan sát được trình bày trên Hình 3. Để đánh giá cho tính phù hợp của các phương pháp sử dụng, các tiêu chí kiểm định đã được thực hiện trên Bảng 3.

Bảng 3. Đánh giá tính phù hợp qua các hàm phân bố theo các tiêu chí thống kê

Tháng	Tham số	Normal	LogNormal	Gamma	Weibull	BirnbaumSaunders	Inverse Gaussian	Logistic	LogLogistic	Rician	Nakagami	Extreme
1	MABE	0,010	0,033	0,024	0,010	0,038	0,038	0,011	0,024	0,011	0,018	0,010
	RMSE	0,041	0,139	0,105	0,042	0,162	0,164	0,047	0,099	0,045	0,077	0,043
	R ²	0,966	0,608	0,778	0,965	0,469	0,455	0,955	0,801	0,959	0,881	0,962
	χ ²	0,002	0,0194	0,011	0,002	0,026	0,027	0,002	0,009	0,002	0,006	0,002
2	MABE	0,012	0,035	0,027	0,012	0,039	0,040	0,011	0,026	0,013	0,021	0,010
	RMSE	0,051	0,151	0,116	0,052	0,172	0,174	0,047	0,105	0,055	0,089	0,042
	R ²	0,946	0,525	0,717	0,944	0,382	0,367	0,953	0,770	0,936	0,835	0,962
	χ ²	0,003	0,0236	0,014	0,003	0,030	0,031	0,002	0,011	0,003	0,008	0,002
3	MABE	0,010	0,029	0,022	0,010	0,034	0,035	0,014	0,023	0,0096	0,015	0,013
	RMSE	0,041	0,121	0,088	0,044	0,139	0,142	0,057	0,096	0,040	0,062	0,055
	R ²	0,946	0,529	0,750	0,937	0,378	0,348	0,894	0,702	0,948	0,877	0,901
	χ ²	0,001	0,0140	0,007	0,002	0,019	0,020	0,003	0,008	0,002	0,004	0,003
4	MABE	0,010	0,024	0,016	0,007	0,028	0,029	0,016	0,021	0,008	0,009	0,020
	RMSE	0,049	0,094	0,060	0,031	0,112	0,116	0,068	0,080	0,034	0,037	0,090
	R ²	0,937	0,769	0,905	0,975	0,670	0,646	0,878	0,832	0,970	0,964	0,787
	χ ²	0,003	0,0075	0,003	0,001	0,011	0,012	0,005	0,006	0,001	0,001	0,007
5	MABE	0,010	0,028	0,015	0,005	0,031	0,033	0,013	0,018	0,006	0,004	0,033
	RMSE	0,040	0,103	0,054	0,020	0,130	0,134	0,049	0,066	0,025	0,019	0,124
	R ²	0,976	0,837	0,955	0,994	0,739	0,721	0,963	0,933	0,990	0,994	0,762
	χ ²	0,002	0,0106	0,003	0,000	0,019	0,020	0,002	0,004	0,001	0,000	0,016
6	MABE	0,008	0,029	0,016	0,004	0,035	0,036	0,013	0,018	0,005	0,006	0,030
	RMSE	0,031	0,102	0,057	0,015	0,131	0,134	0,047	0,068	0,018	0,022	0,115
	R ²	0,986	0,842	0,951	0,996	0,742	0,729	0,967	0,930	0,995	0,993	0,798
	χ ²	0,001	0,0099	0,003	0,000	0,017	0,018	0,002	0,004	0,000	0,000	0,014
7	MABE	0,007	0,028	0,020	0,007	0,035	0,036	0,011	0,022	0,006	0,013	0,014
	RMSE	0,028	0,121	0,084	0,032	0,144	0,147	0,050	0,090	0,029	0,055	0,061
	R ²	0,982	0,674	0,842	0,977	0,535	0,516	0,944	0,821	0,982	0,933	0,917
	χ ²	0,001	0,0137	0,006	0,001	0,020	0,021	0,003	0,007	0,001	0,003	0,003
8	MABE	0,005	0,027	0,017	0,003	0,034	0,034	0,011	0,020	0,003	0,008	0,022
	RMSE	0,023	0,103	0,063	0,012	0,126	0,128	0,048	0,072	0,015	0,031	0,098
	R ²	0,992	0,846	0,943	0,998	0,771	0,762	0,967	0,925	0,997	0,986	0,862
	χ ²	0,001	0,0101	0,004	0,000	0,015	0,016	0,002	0,004	0,000	0,001	0,010
9	MABE	0,008	0,027	0,015	0,002	0,030	0,032	0,012	0,018	0,004	0,005	0,027
	RMSE	0,033	0,105	0,060	0,006	0,127	0,131	0,052	0,078	0,014	0,022	0,110
	R ²	0,984	0,838	0,948	0,999	0,764	0,747	0,961	0,910	0,997	0,993	0,821
	χ ²	0,001	0,0107	0,004	0,000	0,017	0,018	0,003	0,006	0,000	0,001	0,012
10	MABE	0,016	0,021	0,010	0,004	0,050	0,052	0,017	0,017	0,006	0,004	0,032
	RMSE	0,063	0,090	0,040	0,018	0,206	0,211	0,068	0,062	0,026	0,016	0,131
	R ²	0,922	0,843	0,969	0,993	0,177	0,142	0,909	0,926	0,987	0,995	0,670
	χ ²	0,004	0,0088	0,002	0,000	0,050	0,050	0,005	0,003	0,001	0,000	0,018
11	MABE	0,006	0,029	0,019	0,006	0,037	0,038	0,012	0,022	0,005	0,011	0,017

Tháng	Tham số	Normal	LogNormal	Gamma	Weibull	BirnbaumSaunders	Inverse Gaussian	Logistic	LogLogistic	Rician	Nakagami	Extreme
	RMSE	0,026	0,113	0,076	0,025	0,147	0,151	0,049	0,087	0,021	0,045	0,073
	R ²	0,984	0,691	0,861	0,985	0,479	0,453	0,943	0,820	0,989	0,951	0,872
	χ^2	0,001	0,0125	0,006	0,001	0,022	0,023	0,002	0,007	0,000	0,002	0,005
12	MABE	0,007	0,028	0,020	0,007	0,035	0,036	0,011	0,022	0,006	0,013	0,014
	RMSE	0,028	0,121	0,084	0,032	0,144	0,147	0,050	0,090	0,029	0,055	0,061
	R ²	0,982	0,674	0,842	0,977	0,535	0,516	0,944	0,821	0,982	0,933	0,917
	χ^2	0,001	0,014	0,006	0,001	0,020	0,021	0,003	0,007	0,001	0,003	0,003
cả năm	MABE	0,010	0,021	0,011	0,003	0,027	0,028	0,012	0,016	0,005	0,004	0,023
	RMSE	0,046	0,084	0,044	0,015	0,117	0,122	0,059	0,063	0,024	0,016	0,104
	R ²	0,954	0,844	0,958	0,995	0,697	0,673	0,924	0,911	0,988	0,994	0,760
	χ^2	0,002	0,0064	0,002	0,000	0,014	0,015	0,003	0,003	0,001	0,000	0,011

*) **Ghi chú:** Chữ **in đậm gạch chân** là thỏa mãn tốt nhất và **chữ in nghiêng** là ít thỏa mãn nhất

Căn cứ vào kết quả đánh giá sai số trên Bảng 3, Hình 3 qua các tính toán được phân tích theo tháng và năm cho 11 phương pháp số. Chúng ta có thể chọn lựa chọn được phương pháp thích hợp cho nghiên cứu phân bố gió cho khu vực Bến Tre, trên cơ sở 4 tiêu chí đánh giá. Theo căn cứ trên bảng tiêu chí (Bảng 3), phân bố Gaussian nghịch đảo không thỏa mãn tốt cho

tất cả các tiêu chí trên nên để đảm bảo không nên sử dụng cho dự báo phân bố chế độ gió cho khu vực Bến Tre. Hàm mật độ xác suất và hàm phân bố tích lũy có thể được tìm thấy trên Bảng 1 với các tham số cho khu vực Bến Tre (Bảng 4), trong đó biến x là tốc độ gió 10m so với mực nước biển (m/s).

Bảng 4. Tham số đánh giá tốt nhất theo hàm phân bố được sử dụng trong nghiên cứu chế độ gió khu vực Bến Tre

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	cả năm
A	2,115	1,978	2,565	2,571	18,242	2,804	2,306	3,051	2,613	19,061	2,249	2,306	2,473
B	6,376	7,776	5,462	5,676	1,557	4,614	5,098	5,124	4,548	1,143	4,661	5,098	5,632
Hàm	Normal	Extreme	Rician	Weibull	Nakagami	Weibull	Rician	Weibull	Weibull	Nakagami	Rician	Rician	Weibull

*) **Ghi chú:** A, B là các tham số của phân bố được thể hiện trên bảng 2

4. Thảo luận

Phân tích chế độ gió nhiều năm tại khu vực tỉnh Bến Tre cho thấy khi chịu tác động của mùa gió Đông Bắc, 03 hướng gió là gió Đông (E) (21,8%); Đông Đông Bắc (ENE) (12,3%) và Đông Đông Nam (ESE) (9,5%), trong khi tác động của mùa gió Tây Nam thể hiện qua 03 hướng gió, đó là Tây Tây Nam (WSW) (15,7%), Tây (W) (8,6%) và Tây Nam (SW) (7,8%). Có 2 khoảng tốc độ gió có tần suất xuất hiện nhiều nhất (trên 28%), đó là trong khoảng ($4 < v \leq 6$) (m/s) chiếm 32,9% và khoảng

($2 < v \leq 4$) (m/s) chiếm 28,5%. Trong khu vực nghiên cứu, tốc độ gió dưới 10 m/s chiếm tới 98,65%. Tốc độ gió cao bắt đầu từ sự kiện năm 2017 cần được nghiên cứu chi tiết hơn với các tham số khí tượng liên quan khác, để có những câu trả lời rõ ràng hơn về sự biến đổi khí hậu.

Trên cơ sở phân tích và so sánh hiệu quả của các phương pháp số, kết quả thu được: phân bố Gaussian nghịch đảo hầu như không thỏa mãn các tiêu chí đánh giá. Do vậy, không nên dùng phân bố này trong phân tích chế độ gió cho khu

vực Bến Tre. Trong khi đó, các phân bố chuẩn cho kết quả tốt cho tháng 1; phân bố cực trị cho kết quả tốt cho tháng 2; phân bố Rician tốt cho các tháng: 3, 7, 11 và 12; phân bố Nakagami tốt cho các tháng 5, 10 và phân bố Weibull tốt nhất cho các tháng: 4, 8, 9 và cả năm so với các phân bố khác. Tùy vào mức độ ứng dụng các tương tác gió mà chọn lựa các tham số phù hợp cho mục đích nghiên cứu. Tuy nhiên, phân tích cho thấy các dự báo về gió nên sử dụng các hàm phân bố gió theo tháng sẽ đạt kết quả chính xác cao. Đây là cơ sở quan trọng khi đặt vấn đề nghiên cứu chế độ gió cho khu vực tỉnh Bến Tre.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin cảm ơn đề tài: "Nghiên cứu thử nghiệm quy trình nuôi vỗ béo nghêu (*Meretrix lyrata*) và hào (*Malgallana belcheri*) và sản xuất thu giống hào trong ao nuôi vỗ tại tỉnh Bến Tre" (2023 – 2024) đã cung cấp một phần kinh phí cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Saha, S., S. Nadiga, C. Thiaw, J. Wang, W. Wang, Q. Zhang, H.M. van den Dool, H.-L. Pan, S. Moorthi, D. Behringer, D. Stokes, M. Peña, S. Lord, G. White, W.P. Ebisuzaki, W. Peng and P. Xie. (2006). "The NCEP Climate Forecast System". *Journal of Climate*, 19 (15), 3483–3517.
- [2] Saha, S., S. Moorthi, X. Wu, J. Wang, S. Nadiga, P. Tripp, D. Behringer, Y.-T. Hou, H.-y. Chuang, M. Iredell, M. Ek, J. Meng, R. Yang, M. P. Mendez, H. van den Dool, Q. Zhang, W. Wang, M. Chen and E. Becker .(2014). "The NCEP Climate Forecast System Version 2". *Journal of Climate*, 27(6), 2185–2208.
- [3] Trần Văn Chung, Ngô Mạnh Tiến và Cao Văn Nguyễn (2021). "Các đặc trưng chế độ gió cho khu vực đảo hòn Yến (tỉnh Phú Yên) từ phân tích bộ dữ liệu NCEP CFSR (1979 – 2020)". *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, 21(4A), ISSN 1859 – 3097, 11-26.
- [4] Trần Văn Chung, Ngô Mạnh Tiến, Nguyễn Hoàng Thái Khang .(2022). "So sánh mười một phương pháp phân bố tốc độ gió khác nhau trên cơ sở đánh giá mức độ phù hợp cho nghiên cứu chế độ gió vịnh Nha Trang". *Kỷ yếu hội nghị quốc tế "Biển Đông 2022"*, Nha Trang 13-14/9/2022, 792 -804.
- [5] Dookie, I., Roche, S., Singh, A., Ramlal, C. J. (2018). "Evaluating wind speed probability distribution models with a novel goodness of fit metric: a Trinidad and Tobago case study". *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 9(3), 323-339.
- [6] Carta, J.A., Ramirez, P., Velazquez, S. (2009). "A review of wind speed probability distributions used in wind energy analysis: Case studies in the Canary Islands". *Sustain. Energy Rev.*, 13(5), 933-966.
- [7] Leon-Garcia, A. (2008). *Probability, statistics and random processes for electrical engineering*, 3rd edition. Publisher: Pearson, 832p, ISBN-10: 0131471228; ISBN-13: 9780131471221.
- [8] **Báo Tài nguyên và Môi trường. (2017). Năm 2017, Bến Tre hứng chịu nhiều vụ sạt lở nghiêm trọng.** <http://vnmha.gov.vn/tin-tuc-bdkh-112/nam-2017-ben-tre-hung-chiu-nhieu-vu-sat-lo-nghiem-trong-2106.html> (đăng ngày 17/12/2017).
- [9] **Tin thời sự (2018). Bão số 9 đang áp sát Vũng Tàu, Bến Tre.** <https://tuoitre.vn/bao-so-9-dang-ap-sat-vung-tau-ben-tre-2018112505341126.htm> (đăng 25/11/2018).