



ƯỚC LƯỢNG CÁC PHÂN BỐ TỐC ĐỘ GIÓ CHO NGHIÊN CỨU CHẾ ĐỘ GIÓ VÙNG BIỂN CÙ LAO CHÀM

Trần Văn Chung, Nguyễn Văn Long

Viện Hải Dương Học, Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST)

Tóm tắt: Bộ dữ liệu gió 10 m trên mặt biển được cung cấp bởi dữ liệu khí tượng NCEP CFSR tương ứng với khoảng thời gian 41 năm (1979-2019), với tần suất hàng giờ. Thông thường, dữ liệu gió được phân tích theo phân bố Weibull, tuy nhiên, một số phân bố khác đã được phân loại để tìm luật phân bố gió địa phương cho vùng biển Cù Lao Chàm. Trong bài báo này, bốn loại phương pháp số được sử dụng để ước tính các tham số (hình dạng và tỷ lệ) được xem xét. Chế độ gió khu vực Cù Lao Chàm thể hiện độ chính xác cao nhất theo quy luật phân bố Gamma, nhưng phân bố Weibull cho thấy độ chính xác cao đối với trường gió có tốc độ dưới 4 m/s, đặc biệt là gần 100% ở tốc độ gió 2 m/s.

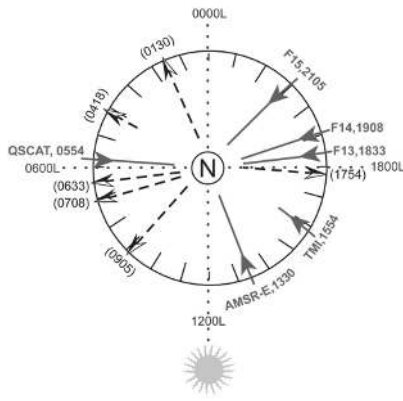
Từ khóa: Trường gió, hoa gió, phân bố xác suất gió, NCEP CFSR

1. Đặt vấn đề

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 biển-khí như thông lượng ẩn 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. Trong các mô hình động lực học biển, tham số ứng suất gió được là nhân tố chính quyết định khả năng trao đổi động lực học trên bề mặt biển. Đặc biệt chế độ gió phản ảnh đúng tính chất cục bộ khu vực nghiên cứu quyết định tính thành bại của kết quả mô phỏng.

Hiện nay, có rất nhiều thông tin về trường gió toàn cầu từ các ảnh viễn thám. Một cơ sở dữ liệu được tìm thấy thỏa mãn những yêu cầu đặt ra về trường gió như NOAA/NCDC Blended 6-Hourly 0.25-degree Sea Surface Winds, sử dụng Gió biển

pha trộn bao gồm lưới toàn cầu, các véc-tơ gió bề mặt biển và ứng suất gió độ phân giải cao trên một lưới toàn cầu 0,25°, và độ phân giải theo đa thời gian với ôp 6 giờ. Tốc độ gió được tạo ra bằng cách kết hợp những quan sát từ nhiều vệ tinh (lên đến sáu vệ tinh kể từ tháng sáu năm 2002). Các hướng gió đến từ hai nguồn phụ thuộc vào các sản phẩm: dành cho các sản phẩm nghiên cứu nguồn là NCEP Reanalysis 2 (NRA-2) và cho sản phẩm gần như tức thời nguồn là ECMWF NWP. Sự pha trộn của nhiều quan sát vệ tinh lấp đầy khoảng trống dữ liệu (cả thời gian và không gian) của các mẫu vệ tinh riêng rẽ và loại bỏ bớt các mẫu phụ không rõ ràng và các lỗi ngẫu nhiên. Sự phát triển của các sản phẩm này là để đáp ứng các nhu cầu về độ phân giải ngày càng cao hơn bộ dữ liệu toàn cầu, dự báo chính xác hơn về điều kiện đại dương và thời tiết (hình 1, hình 2).



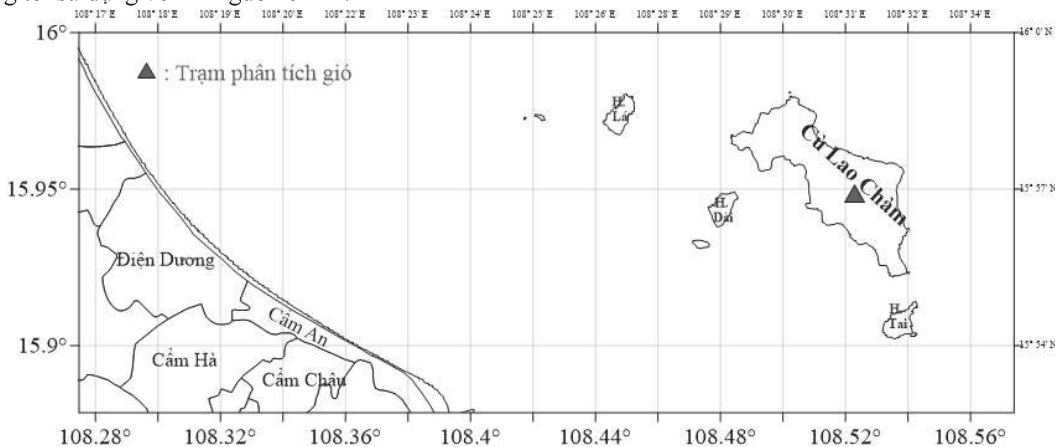
Hình 1. Số lần các vệ tinh qua xích đạo, màu đỏ đi lên và màu đen đi xuống. (theo Zhang và cs., 2006)

Ngoài ra, sản phẩm dữ liệu gió đầy đủ có thể được cập nhật từ cơ sở dữ liệu hồi cố lịch sử của mô hình khí hậu toàn cầu CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) thuộc trung tâm dự báo môi trường NCEP (National Centers for Environmental Prediction) (NCEP CFSR). Theo các công trình công bố, kết quả dự báo hồi cố và dự báo thời gian của NCEP (CFSv2) đã giúp cho các nhà quản lý khi đưa ra các quyết định phù hợp trong các lĩnh vực như: quản lý nước các lưu vực sông, nông nghiệp, giao thông vận tải, năng lượng, việc 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 (Saha và cs., 2014).

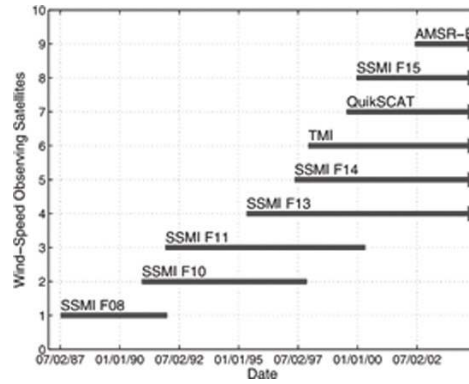
2. Đối tượng, dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu cho khu vực Cù Lao Chàm

Dữ liệu gió cho nghiên cứu khu vực Cù Lao Chàm được sử dụng theo 02 giai đoạn từ 1979 – 2011, tần suất số liệu là 1 giờ/số liệu với bước lưới theo kinh độ $0,3125^{\circ}$ và theo vĩ độ $0,3122^{\circ}$ và sau năm 2011 đến nay (2019) là theo lưới $0,2^{\circ}$ theo phương ngang. Chuỗi số liệu NCEP CFSR được chúng tôi sử dụng với 02 nguồn chính:



Hình 3. Vị trí nghiên cứu đặc trưng gió cho khu vực Cù Lao Chàm



Hình 2. Tiến trình thời gian mà các vệ tinh đo tốc độ gió bề mặt sử dụng trong nghiên cứu (theo Zhang và cs., 2006)

1. NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) Selected Hourly Time-Series Products (ds094.1): NCEP CFS cung cấp 04 lần trong ngày (0000, 0600, 1200, và 1800 UTC). Nâng cấp NCEP CFS cho phiên bản 2 vào ngày 30 tháng 3, năm 2011. Đây là mô hình tương tự đã được sử dụng để tạo ra các NCEP CFSR. Sản phẩm CFS được cho ở các mức có độ phân giải theo phương ngang tốt nhất $0,2$ theo khoảng thời gian hàng giờ.

2. NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) Selected Hourly Time-Series Products, January 1979 to December 2010 (ds093.1): NCEP CFSR bước đầu đã được hoàn thành trong giai đoạn 31 năm 1979-2009 và đã được mở rộng đến tháng ba năm 2011. Các sản phẩm được lựa chọn chuỗi thời gian CFSR có sẵn tại độ phân giải theo phương ngang tốt nhất $0,3$ và khoảng thời gian hàng giờ.

Vị trí nghiên cứu trường gió tại khu vực Cù Lao Chàm được trích xuất từ chuỗi số liệu gió ở độ cao 10 m so với mặt nước biển, với mục đích phân ảnh được đặc trưng địa phương của khu vực thể hiện trên hình 3.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Hàm phân bố thường được sử dụng phổ biến cho phân tích gió là phân bố Weibull, do nó mô tả và cung cấp các trường hợp dữ liệu gió khá tốt so với các hàm phân bố khác. Tuy nhiên, có vài trường hợp phân bố Weibull này tỏ ra chưa phù hợp khi chế độ gió khu vực mang đặc tính khu vực nổi bật. Trong bài báo này, bốn loại phương pháp số được sử dụng để tìm ra các phân bố gió tối ưu cho khu vực Cù Lao Chàm.

2.2.1. Phân bố chuẩn (normal distribution)

Hàm mật độ phân bố chuẩn được xác định:

$$y = f(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

trong đó μ là giá trị trung bình, σ là độ lệch chuẩn (Johnson và cs., 2002). Được xác định cụ thể như sau:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \sigma = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

Hàm phân bố tích lũy chuẩn:

$$p = F(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

Kết quả, p là xác suất là một quan sát đơn lẻ từ một phân bố chuẩn với các tham số, và sẽ rơi vào khoảng $(-\infty, x]$. Phân bố chuẩn chính tắc có $\mu = 0$ và $\sigma = 1$.

Hàm nghịch đảo chuẩn được xác định dưới dạng: $x = F^{-1}(p|\mu, \sigma) = \{x: F(x|\mu, \sigma) = p\}$

trong đó p là hàm phân bố xác suất chuẩn

Kết quả, x , là nghiệm của phương trình tích phân ở trên khi cung cấp xác suất mong muốn p .

2.2.2. Phân bố Gamma (Gamma Distribution)

- Hàm mật độ phân bố gamma được xác định:

$$y = f(x|a, b) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-\frac{x}{b}}$$

trong đó $\Gamma(\cdot)$ là hàm Gamma (Olver, 2010), (Hogg và cs., 2005).

Hàm gamma được xác định bởi tích phân:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt$$

- Ước tính tham số: Hàm khả năng xảy ra là hàm mật độ xác suất được xem như một hàm của các tham số. Các ước tính khả năng xảy ra tối đa là các ước tính tham số tối đa hóa hàm khả năng cho các giá trị cố định của x . Các ước lượng khả năng xảy ra tối đa của a và b đối với phân bố gamma là các lời giải cho các phương trình đồng thời

$$\log \hat{a} - \psi(\hat{a}) = \log(\bar{x} / (\prod_{i=1}^n x_i)^{1/n}); \hat{b} = \frac{\bar{x}}{\hat{a}}$$

Trong đó \bar{x} là trung bình mẫu cho mẫu x_1, x_2, \dots, x_n ; \hat{a} và \hat{b} là các ước lượng không chệch của các tham số a và b . Hàm ψ là hàm digamma, là đạo hàm logarit của hàm gamma.

$$\psi(x) = \frac{d(\log(\Gamma(x)))}{dx} = \frac{d(\Gamma(x))/dx}{\Gamma(x)}$$

Hàm phân bố tích lũy gamma: $p =$

$$F(x|a, b) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} \int_0^x t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}} dt$$

Kết quả, p là xác suất mà một quan sát đơn lẻ từ phân bố gamma với tham số a và b sẽ rơi vào khoảng $[0, x]$.

Hàm nghịch đảo phân bố tích lũy gamma:

$$x = F^{-1}(p|a, b) = \{x: F(x|a, b) = p\}$$

trong đó p là hàm phân bố tích lũy gamma

2.2.3. Phân bố Weibull

Hàm phân bố Weibull chỉ dương đối với các giá trị dương của x và khác 0. Đối với các giá trị dương hoàn toàn của tham số hình dạng b và tham số tỷ lệ a , được viết là (Johnson và cs., 1994):

$$y = f(x|a, b) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$$

Ước tính tham số a, b : Hàm khả năng xảy ra là hàm mật độ xác suất được xem như một hàm của các tham số. Các ước tính khả năng xảy ra tối đa là các ước tính tham số tối đa hóa hàm khả năng cho các giá trị cố định của x . Các ước lượng khả năng xảy ra lớn nhất của a và b đối với phân phối Weibull là nghiệm của các phương trình đồng thời:

$$\hat{a} = \left[\frac{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i^b \right]^{\frac{1}{b}}; \hat{b} = \frac{1}{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i^b \log x_i - \sum_{i=1}^n \log x_i}$$

\hat{a} và \hat{b} là các ước lượng không chệch của các tham số a và b .

Hàm phân bố tích lũy Weibull:

$$p = F(x|a, b) = \int_0^x b a^{-b} t^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} dt = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} I_{(0, \infty)}(x)$$

Hàm nghịch đảo phân bố tích lũy Weibull

$$x = F^{-1}(p|a, b) = -a[\ln(1-p)]^{\frac{1}{b}} I_{[0,1]}(p)$$

2.4. Phân bố giá trị cực trị (Extreme Value Distribution)

Hàm mật độ xác suất đối với phân bố giá trị cực trị (Coles và cs., 2001) với tham số vị trí μ , tham số tỉ lệ σ là

$$y = f(x|\mu, \sigma) = \sigma^{-1} \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)$$

Phân bố giá trị cực trị thường được sử dụng để mô hình hóa giá trị nhỏ nhất hoặc lớn nhất trong số một tập hợp lớn các giá trị ngẫu nhiên độc lập, phân bố giống nhau đại diện cho các phép đo hoặc quan sát. Phân bố giá trị cực trị thích hợp để lập mô hình giá trị nhỏ nhất từ một phân bố có phân đuôi giảm

nhanh theo cấp số nhân, chẳng hạn như phân bố chuẩn (giới thiệu ở trên). Nó cũng có thể mô hình hóa giá trị lớn nhất từ một phân bố, chẳng hạn như phân bố chuẩn hoặc theo hàm mũ, bằng cách sử dụng giá trị âm của các giá trị ban đầu.

Mặc dù phân bố giá trị cực trị thường được sử dụng làm mô hình cho các giá trị cực trị, cũng có thể sử dụng nó làm mô hình cho các loại dữ liệu liên tục khác. Ví dụ, phân bố giá trị cực đoạn có liên quan chặt chẽ với phân phối Weibull. Nếu T có phân bố Weibull với tham số a và b, thì log (T) có phân bố giá trị cực trị loại I, với tham số $\mu = \log a$ và $\sigma = 1/b$. (gio)

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

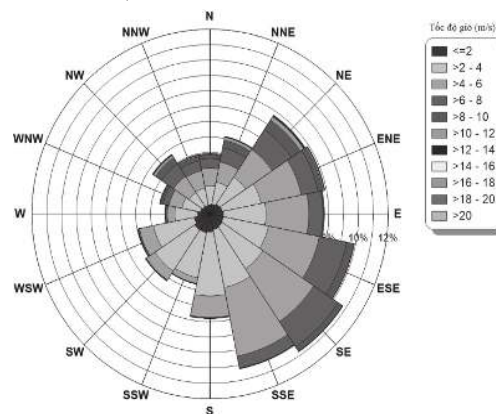
Để phân tích bộ số liệu gió, sử dụng 02 nguồn dữ liệu, NCEP CFSR (01/01/1970 – 31/12/2010) và NCEP CFSv2 (01/01/2011 – 31/12/2018) với tần suất 01 giờ/số liệu liên tục trong 41 năm. Để có thể nhìn thấy trực quan về kết quả phân tích, chúng tôi đã phân tích tốc độ gió theo 11 cấp độ và hướng theo 16 hướng được thể hiện đầy đủ trên bảng 1 với dạng hoa gió trên hình 4. Ngoài ra, các dạng biểu đồ chi tiết về phân bố hướng và tốc độ gió được thể hiện trên hình 5.

Bảng 1. Bảng phân cấp chế độ gió theo 16 hướng và 11 cấp độ gió tại Cù Lao Chàm (1979 – 2019)

Hướng	$0 \leq ws < 2$	$2 \leq ws < 4$	$4 \leq ws < 6$	$6 \leq ws < 8$	$8 \leq ws < 10$	$10 \leq ws < 12$	$12 \leq ws < 14$	$14 \leq ws < 16$	$16 \leq ws < 18$	$18 \leq ws < 20$	$ws \geq 20$	Tốc độ trung bình (m/s)	Tổng số liệu	Tỷ lệ (%)
N	2019	4269	3953	2205	745	223	82	26	7	1	1	4,49	13531	3,9
NNE	2225	5103	4579	3213	1739	684	148	22	7	0	0	4,98	17720	5,1
NE	2647	7270	7432	5323	2522	969	314	94	17	0	0	5,19	26588	7,7
ENE	2864	9166	9458	3987	1155	323	106	41	10	1	0	4,49	27111	7,9
E	3118	9859	9906	3375	267	46	14	0	0	0	0	4,09	26585	7,7
ESE	3173	10587	11948	6517	1822	111	4	0	0	0	0	4,62	34162	9,9
SE	3385	11219	14161	7005	1310	118	18	8	2	0	6	4,58	37232	10,8
SSE	3566	13100	15650	2858	150	17	8	1	0	0	0	4,04	35350	10,3
S	4031	14144	4797	187	33	9	5	3	0	0	0	3,12	23209	6,7
SSW	4219	10228	1317	116	22	22	3	4	0	0	0	2,68	15931	4,6
SW	4261	10986	2435	233	38	4	1	5	0	0	0	2,87	17963	5,2
WSW	3721	9660	3433	323	66	21	9	3	4	0	0	3,09	17240	5,0
W	2841	5358	1773	399	126	33	19	2	6	0	0	3,06	10557	3,1
WNW	2261	4351	3093	1465	457	162	55	23	4	3	6	4,05	11880	3,4
NW	2046	3755	4337	3256	1646	611	165	43	13	3	10	5,2	15885	4,6
NNW	1984	3896	3976	2287	927	275	76	23	14	14	8	4,66	13480	3,9
													344424	100,0

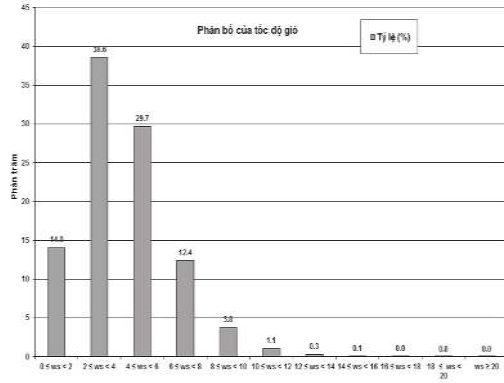
Tổng số liệu	48361	132951	102248	42749	13025	3628	1027	298	84	22	31			
Tỷ lệ (%)	14,0	38,6	29,7	12,4	3,8	1,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0		

Ghi chú: ws: tốc độ gió 10 m trên mực nước biển



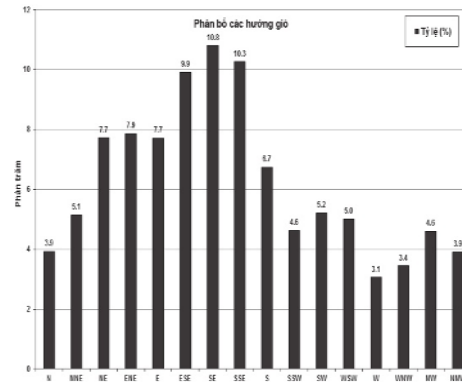
Hình 4. Hoa gió tại khu vực Cù Lao Chàm theo số liệu NCEP CFSR (1979 – 2019)

Phân tích trên bảng 1, đã thể hiện đầy đủ số lượng số liệu cho các tần suất xuất hiện của hướng và tốc độ gió. Có 2 phân loại tốc độ gió chính có tần suất xuất hiện nhiều nhất là trong khoảng [2, 4)



(a)

(m/s) với 132.951 số liệu chiếm 38,6 %; tiếp theo là tốc độ gió trong khoảng [4, 6) với 102.248 số liệu, chiếm 29,7 %.



(b)

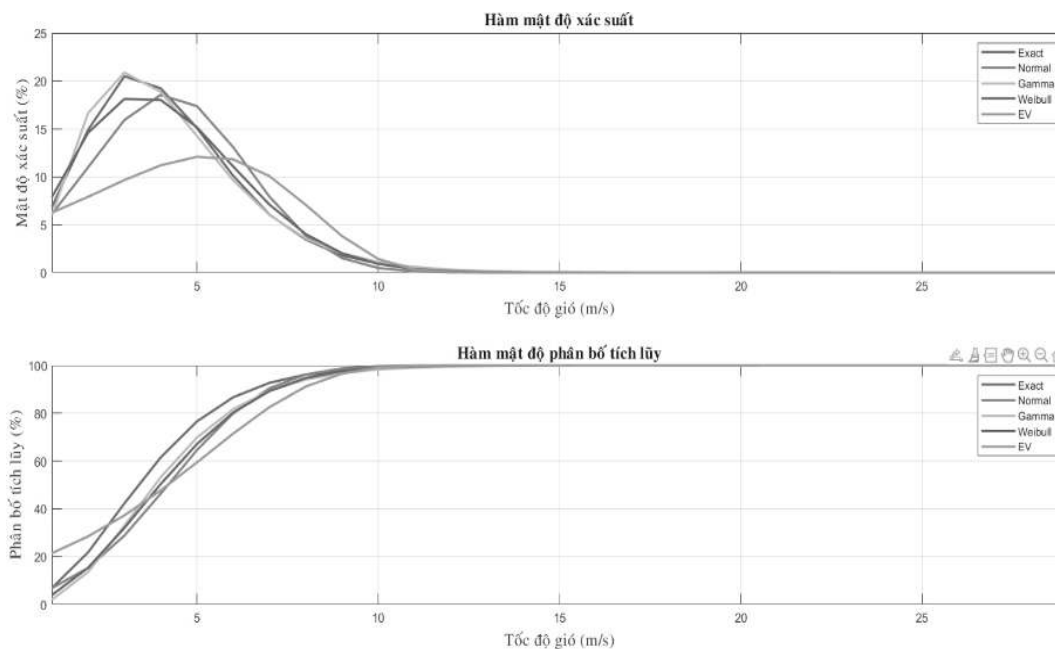
Hình 5. Tần suất xuất hiện (a: tốc độ, b: hướng) tại khu vực Cù Lao Chàm

Bảng 2. Tốc độ gió điển hình và thời điểm xảy ra cực trị trong khu vực nghiên cứu

Tháng	Tốc độ gió đạt lớn nhất			Tốc độ trung bình (m/s)
	Tốc độ (m/s)	Hướng (°)	Thời gian	
1	13,7	NE	05 h 12/01/2018	4,1
2	16,1	NW	05 h 19/02/2014	4,1
3	14,3	NW	05 h 24/03/2012	4,4
4	16,2	NE	08 h 07/04/2018	4,4
5	13,0	SE	14 h 04/05/1990	4,1
6	16,5	WNW	17 h 27/06/1992	3,8
7	11,8	SSW	18 h 16/07/2010	3,7
8	16,0	W	18 h 21/08/1987	3,6
9	24,3	NW	05 h 18/09/1990	3,6
10	29,0	NNW	20 h 14/10/2013	4,2
11	21,9	WNW	07 h 10/11/2013	4,9
12	16,5	NE	12 h 16/12/2014	4,9

Chế độ gió ảnh hưởng tính khu vực thể hiện khá rõ qua ba hướng gió chính chiếm xấp xỉ 10% trở lên với Đông Nam (10,8 %), Nam Đông Nam (10,2%) và Đông Đông Nam (9,9%) (thể hiện trên hình 5b).

Từ kết quả phân tích bảng 3, hình 6, quy luật phân bố tốc độ gió tại Cù Lao Chàm thể hiện khá tốt ở phân bố Gamma trên toàn bộ chuỗi tốc độ gió. Phân bố Weibull thể hiện khá tốt ở trường hợp tốc độ gió 2 m/s (chính xác gần 100%).



Hình 6. Các dạng hàm phân bố của tốc độ gió tại Cù Lao Chàm

Bảng 3. Giá trị ước tính của các hàm phân bố thể hiện qua tốc độ gió điển hình

Tốc độ gió (m/s)	Phân bố từ số liệu (%)	Phân bố chuẩn (%)	Phân bố Gama (%)	Phân bố Weibull (%)	Phân bố cực trị (%)
1	6,75	6,28	7,12	8,36	6,3
2	14,99	11,18	17,27	14,99	7,97
3	20,49	16,03	20,48	18,2	9,71
4	19,02	18,51	18,13	17,82	11,24
5	14,88	17,21	13,67	14,85	12,1
6	9,83	12,89	9,31	10,78	11,79
7	5,91	7,77	5,91	6,91	9,98
8	3,41	3,77	3,57	3,94	6,96
9	1,72	1,48	2,07	2	3,7
10	0,91	0,46	1,17	0,91	1,35
11	0,48	0,12	0,64	0,37	0,29
12	0,28	0,02	0,34	0,14	0,03

Sai số tương đối	0%	62,31 %	32,34 %	47,19 %	77,87 %

4. Kết luận

Kết quả phân tích chế độ gió cho khu vực Cù Lao Chàm trong 41 năm, thể hiện tốc độ gió điển hình trong khu vực thường nằm trong khoảng < 6 m/s chiếm đến 82,6% và hướng gió chủ đạo dao động từ Đông Đông Nam đến Nam Đông Nam chiếm đến 39,9% hướng gió toàn khu vực.

Chế độ gió tại khu vực Cù Lao Chàm mang tính địa phương khá rõ ràng và thể hiện độ chính xác cao nhất theo quy luật phân bố Gamma, tuy nhiên phân bố Weibull thể hiện độ chính xác cao cho các

trường gió có tốc độ dưới 4 m/s, đặc biệt gần 100% ở tốc độ gió 2 m/s.

Từ nguồn dữ liệu đo gió 41 năm với tần suất 01 giờ/số liệu, cùng với việc chỉnh lý số liệu và đo đạc được thực hiện đồng bộ và hợp lý, đáng tin cậy. Dữ liệu này là cơ sở quan trọng là nguồn dữ liệu đầu vào cho các mô hình số trong nghiên cứu các tác động trao đổi biên-khí trong khu vực Cù Lao Chàm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., Dorazio, P.: An introduction to statistical modeling of extreme values, vol. 208. Springer, New York (2001)
2. Hogg, R.V., McKean, J.W., Craig, A.T.: Introduction to mathematical statistics. Pearson Education, Prentice Hall (2005)
3. Johnson, N.L., Kotz, S., Balakrishnan, N.: Continuous multivariate distributions, vol. 1, models and applications, vol. 59. Wiley, New York (2002).
4. Johnson, N.L., Kotz, S., Balakrishnan, N.: Continuous univariate distributions, vol. 1. Wiley, New York, p. 163 (1994)
5. Olver, F.W.: NIST Handbook of Mathematical Functions Hardback and CD-ROM. Cambridge University Press, Cambridge (2010).
6. Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y.-T., Chuang, H.-y., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., van den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., Becker, E.: The NCEP Climate Forecast System Version 2. *J. Climate*, 27, 2185–2208 (2014).
7. Zhang, H.-M., R.W. Reynolds, and J.J. Bates: Blended and Gridded High Resolution Global Sea Surface Wind Speed and Climatology from Multiple Satellites: 1987-Present. American Meteorological Society 2006 Annual Meeting, Paper #P2.23, Atlanta, GA, January 29-February 2, 2006.

EVALUATING WIND SPEED PROBABILITY DISTRIBUTION MODELS WITH SUITABLE FOR STUDYING WIND REGIME FOR CU LAO CHAM WATERS.

Tran Van Chung, Nguyen Van Long

Institute of Oceanography, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract: *The wind data set of 10 m on the sea surface is provided by meteorological data NCEP CFSR corresponding to a period of 41 years (1979–2019), with hourly frequency. Typically, wind data are analyzed as Weibull distributions, however, a number of other candidate distributions have been catalogued to find the local wind distribution laws for the Cu Lao Cham waters. In this paper, four types of numerical methods used to estimate parameters (shape and scale) are considered. The Cu Lao Cham wind regime shows the highest accuracy according to the Gamma distribution rule, but the Weibull distribution shows high accuracy for wind fields with speeds below 4 m/s, especially close to 100 % at 2 m/s wind speed.*

Keywords: *Wind field, Wind rose, Wind probability distribution, NCEP CFSR*