TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá tiềm năng năng lượng gió cho phát triển năng lượng tái tạo trên khu vực Biển Đông, Việt Nam

Nguyễn Việt Hằng[1], Phạm Duy Huy Bình[1], Phạm Quang Nam[1], Nguyễn Bách Tùng[1], Trịnh Tuấn Long[1]*

[1] Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; viethang1485@gmail.com; phambinh@hus.edu.vn; nampq@hus.edu.vn; bachtung_cefd@hus.edu.vn; trinhtuanlong@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: trinhtuanlong@hus.edu.vn; Tel: +84–969622708

Ban Biên tập nhận bài: 5/10/2022; Ngày phản biện xong: 1/11/2023; Ngày đăng bài: 25/12/2023

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, mô hình khí hậu khu vực RegCM4 (RCM) được sử dụng để mô phỏng trường gió từ đó xác định năng lượng gió tiềm năng cho khu vực Biển Đông trong giai đoạn 20 năm (2000-2019). Trường vận tốc gió được mô phỏng từ mô hình RCM khi so sánh với số liệu tái phân tích ERA5 sử dụng dữ liệu quan trắc gió từ 13 trạm khí tượng hải văn ven biển và đảo của Việt Nam cũng như 10 trạm đo gió mực cao 80 m. Kết quả khi so sánh với dữ liệu quan trắc gió cho thấy RCM mô phỏng tốt và phù hợp hơn so với sử dụng số liệu từ ERA5. Phân bố không gian của kết quả tính toán năng lượng gió từ mô hình RCM cũng có sự tương đồng so với dữ liệu được công bố trong "Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam" của Bộ Tài nguyên và Môi trường và báo cáo của Ngân hàng thế giới năm 2009. Mặc dù, nghiên cứu vẫn còn có một số hạn chế tuy nhiên, kết quả của nghiên cứu cũng là nguồn thông tin sử dụng tham khảo tốt trong việc quy hoạch và xây dựng các dự án điện gió trên biển.

Từ khóa: Năng lượng gió; Biển Đông; Việt Nam; RegCM4.

1. Mở đầu

Năng lượng tái tạo (NLTT) đang được xem là giải pháp thay thế tiềm năng cho những nguồn năng lượng hóa thạch đang dần cạn kiệt do tác động của biến đổi khí hậu trên toàn cầu [1]. Các giải pháp sử dụng năng lượng tái tạo sẽ giúp giảm thiểu khí thải gây ô nhiễm môi trường, giảm sự phụ thuộc vào năng lượng hóa thạch và góp phần quan trọng trong việc chuyển đổi sang một hệ thống năng lượng sạch, giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi tường và sức khỏe con người. Trong bối cảnh xã hội càng phát triển thì vai trò của năng lượng tái tạo lại càng được thể hiện rõ, việc đảm bảo nguồn cung cấp năng lượng tái tạo bền vững và ổn định đang là mục tiêu quan trọng của toàn nhân loại [2].

Các nguồn năng lượng tái tạo bao gồm năng lượng sinh học, thủy điện, nhiệt địa cầu, năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng sóng và năng lượng thủy triều. Đứng trước bài toán lớn về năng lượng của thế giới và khủng hoảng điện năng, năng lượng gió được xem là một trong những giải pháp tiềm năng đáp ứng nhu cầu một cách bền vững [3]. Năng lượng gió đang là một trong những hình thức năng lượng tái tạo phổ biến nhất với một trong những điểm mạnh là tính sạch sẽ và không gây khí thải. Một trong những ưu điểm khác của năng lượng gió là khả năng tái tạo và tiềm năng còn rất lớn. Điều này giúp đảm bảo rằng năng lượng gió có thể sử dụng trong suốt thời gian dài mà không cần lo ngại về cạn kiệt nguồn tài nguyên. Tuy nhiên, việc xác định tiềm năng gió cũng rất quan trọng, bởi đó là nền tảng giúp

các nhà hoạch định chính sạch và hỗ trợ nhà đầu tư đưa ra các quyết định đầu tư và phát triển các dự án năng lượng gió.

Hiện nay, trên thế giới xác định tiềm năng năng lượng gió nói riêng và năng lượng tái tạo nói chung vẫn luôn là chủ đề lớn được các nhà khoa học và các nhà quản lý quan tâm. Theo báo cáo của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC) [4], cho đến năm 2050, 80% nguồn cung cấp năng lượng cả thế giới có thể đến từ các nguồn năng lượng tái tạo và năng lượng gió sẽ đóng vai trò tạo điện vào năm 2050. Cùng với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ, các dự án năng lượng gió ngoài khơi đã trở thành một xu hướng nghiên cứu tiềm năng tại nhiều quốc gia [5]. Tại Tây Ban Nha cũng như một số nước Châu Âu như Đan Mạch, Hà Lan, Thụy Điển…, việc sản xuất năng lượng gió ngoài khơi đã trải qua sự tăng trưởng đáng kể trong 5 năm với công suất lắp đặt lên tới gần 8000 MW, tuy nhiên sự phát triển của công nghệ này đang bị hạn chế với một số đặc điểm về địa hình xã hội cũng như thiếu sự ổn định về môi trường nhằm đảm bảo đầu tư [6]. Tại Nhật Bản, tiềm năng năng lượng gió tại bờ biển khu vực Kanto được ước tính dựa trên các tiêu chí kinh tế và xã hội thông qua Hệ thống thông tin địa lý (GIS) [7]. Nếu không xem xét bất kỳ yếu tố kinh tế hoặc xã hội nào, tổng tiềm năng năng lượng gió dọc bờ biển khu vực này sẽ đạt 287 TWh/năm.

Việt Nam là một trong những quốc gia được biết đến có tiềm năng lớn trong việc phát triển năng lượng gió. Không chỉ dọc đường bờ biển trải dài từ Bắc xuống Nam mà ngay cả các vùng đồi núi, thung lũng, và khu vực ngoài khơi đều là những nơi có khả năng xem xét việc khai thác năng lượng gió hiệu quả. Việt Nam cũng đã và đang có rất nhiều những nghiên cứu về mặt kĩ thuật để phát triển năng lượng gió. Trong báo cáo "Tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam" [8] của bộ Tài nguyên và Môi trường công bố tháng 3 năm 2022 nhận định rằng các khu vực có khả năng khai thác năng lượng gió tốt nhất ở nước ta là khu vực Bình Định, Ninh Thuận, Bình Thuận đến Cà Mau và một phần vùng biển trung tâm Vịnh Bắc Bộ. Báo cáo trên đã sử dụng số liệu tái phân tích tại độ cao 100 m để tính toán, kết quả cho thấy tiềm năng năng lượng gió ở mức tốt đến rất tốt tại một số khu vực biển Ninh Thuận đến Bà Rịa - Vũng Tàu với tốc độ trung bình từ 8-10 m/s và mật độ năng lượng trung bình phổ biến từ 600 đến 700 W/m^2. Ngoài ra, phê duyệt Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến 2050, gọi tắt là Quy hoạch điện VIII (PDP8) [9] được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt theo Quyết định 500/QĐ-TTg ngày 15/5/2023 cũng đã cung cấp nhiều thông tin về khả năng phát triển điện gió tại Việt Nam, bao gồm điện gió khu vực đất liền và điện gió ngoài khơi theo từng giai đoạn cho đến năm 2045. Trong đó tại khu vực điện gió trên bờ và gần bờ, tổng quy mô tiềm năng điện gió khá lớn khoảng 217 GW và chủ yếu là tiềm năng gió thấp (4,5-5,5 m/s) khoảng 163 GW. Chi phí đầu tư điện gió trong tương lai có xu hướng giảm dần, đặt trong bối cảnh giai đoạn 2045, mặc dù nhiều nhận định cho rằng chỉ có khu vực tiềm năng gió cao (trên 6 m/s) và gió tiềm năng gió trung bình (5,5-6 m/s) mới có hiệu quả về mặt kinh tế tuy nhiên tổng năng lượng gió tiềm năng của hai khu vực này tại vùng trên bờ và gần bờ Việt Nam tương đối thấp (lần lượt là 24 GW và 30 GW) và tập chung chủ yếu tại Tây Nam Bộ, Tây Nguyên và Nam Trung Bộ. Trong khi đó điện gió ngoài khơi tại Việt Nam có tổng tiềm năng kỹ thuật khoảng 160 GW và khu vực có tiềm năng gió cao và tiềm lực kinh tế tốt nằm ở phía Nam Trung Bộ (Bình Thuận, Ninh Thuận, Khánh Hòa) với tổng tiềm năng khoảng 80 GW với tốc độ gió trên 7-9 m/s, ngoài ra, khu vực còn lại ở Trà Vinh, Hà Tĩnh và Quảng Ninh có tốc độ gió thấp hơn (6-7 m/s). Bên cạnh đó, dự thảo này cũng đưa ra một số giải pháp nhằm tăng cường phát triển điện gió tại Việt Nam, như chú trọng đầu tư vào các cơ sở hạ tầng, phát triển các dự án điện gió quy mô lớn, tăng cường năng lực kỹ thuật và tăng cường quản lý, giám sát các hoạt động điện gió.

Nhìn chung, các nghiên cứu về tiềm năng điện gió đã cung cấp những thông tin có giá trị về hiện trạng năng lượng gió tại Việt Nam cũng như đưa ra nhận định về các khu vực tiềm năng để phát triển. Bên cạnh đó, nhằm phục vụ cho việc tiếp cận dễ hơn các thông tin về tiềm năng năng lượng gió đối với các bên liên quan, tập bản đồ (Atlas) gió và năng lượng gió được

coi là một công cụ hỗ trợ hữu ích và đem lại hiệu quả. Sáng kiến về bộ atlas năng lượng gió đầu tiên trên thế là của Cộng đồng Châu Âu được xây dựng từ những năm giữa thế kỷ XX. Ngoài ra, tại một số nước phát triển như Mỹ, Châu Âu, Trung Quốc… các bộ atlas về năng lượng gió đã được xây dựng từ những năm cuối của thế kỉ XX. Ở khu vực Châu Á, atlas năng lượng gió đã được nhiều nước trong khu vực xây dựng và phát triển như Nhật Bản, Hàn Quốc, Trung Quốc. Đặc biệt, trong dự án đánh giá tài nguyên năng lượng gió do Ngân hàng thế giới (WB) tài trợ, công ty TrueWind của Hoa Kỳ (2021) [10] đã xây dựng tập atlas năng lượng gió cho khu vực Đông Nam Á, trong đó có Việt Nam. Tuy vậy bộ atlas này mới chỉ thể hiện những tiềm năng chung về năng lượng gió mà chưa xem xét tới các yếu tố về địa hình, phân loại sử dụng đất... để xác định cụ thể khu vực có khả năng xây dựng các nhà máy điện gió. Và đứng trước những bài toán đặt ra về năng lượng gió đối với sự phát triển năng lượng tại Việt Nam, cần thiết có cách xây dựng một bộ dữ liệu chuẩn và đánh giá nhằm khai thác và phát triển hiệu quả tiềm năng năng lượng gió trong tương lai, nhất là khu vực ven biển và ngoài khơi.

2. Khu vực, nguồn số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu này tập trung chủ yếu vào khu vực Biển Đông, nhất là khu vực ven bờ và ngoài khơi nhằm mục tiêu xây dựng và đánh giá một bộ cơ sở tiềm năng năng lượng gió ven bờ. Biển Đông là vùng biển lớn thứ tư trên thế giới, nơi có tuyến hằng hải nhộn nhịp đứng thừ hai thế giới, nằm giữa lục địa Đông Nam Á và chuỗi các đảo từ Đài Loan ở phía bắc, Philipine ở phía Đông đến Borneo ở phía nam, là phần rìa phía tây của vành đai Thái Bình Dương. Theo phương Bắc - Nam, Biển Đông trải dải từ vĩ độ 25° xuống đến vĩ độ 5° Bắc và từ kinh độ 100° đến 120° kinh độ Đông. Biển Đông nằm trọn trong khu vực nhiệt đới bắc bán cầu, là vành đai nhận được lượng bức xạ mặt trời trực tiếp nhiều nhất so với các vành đai khác. Biển Đông có chế độ khí hậu mang tính chất gió mùa nhiệt đới hải dương và được chia thành hai khu vực khí hậu phía bắc và phía nam cùng với nhiều đặc điểm riêng không giống với đặc điểm khí hậu trên đất liền.

Bên cạnh đó, biển Đông cũng là khu vực có tiềm năng năng lượng gió biển lớn. Tại khu vực từ Bình Thuận đến Cà Mau, khoảng cách từ bờ ra đến 300 km là nơi có tốc độ gió đạt từ 7-11 m/s, cũng là nơi tiềm năng năng lượng gió rất lơn. Ngoài ra trên bản đồ phân bố tiềm năng gió trung bình ở độ cao 100 m cho thấy trên Biển Đông, vùng kéo dài dọc hướng Đông Bắc - Tây Nam từ eo biển Đài Loan tới vùng biển khu vực Đông Nam Bộ nước ta có tiềm năng năng lượng khá cao, hàng năm đạt 600-800 W/m^2. Còn phân tích theo độ sâu, địa hình và tốc độ gió trung bình năm dựa vào chuỗi số liệu 10 năm gần đây, khu vực biển ven bờ Việt Nam được phân chia thành 5 khu vực như sau: Quảng Ninh - Quảng Trị (biển thoải, nông, mật độ năng lượng gió vừa); Quảng Bình - Quảng Ngãi (Biển thoải, hẹp, mật độ năng lượng gió thấp); Bình Định - Ninh Thuận (biển nông hẹp, mật độ năng lượng gió thấp); Bình Thuận - Mũi Cà Mau (biển thoải, nông, mật độ năng lượng gió cao); Mũi Cà Mau - Kiên Giang (biển nông, mật độ năng lượng gió vừa). Dựa trên một số đặc điểm cơ bản về khu vực Biển Đông tại Việt Nam, có thể thấy đây là khu vực có tiềm năng phát triển năng lượng gió rất lớn cho đất nước [11].

2.2 Số liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, năng lượng gió được tính toán sử dụng kết quả mô phỏng trường gió từ mô hình khí hậu khu vực RegCM4 (RCM) [12], sử dụng các điều kiện biên và điều kiện ban đầu từ dữ liệu tái phân tích toàn cầu ERA5 nhằm mô phỏng trường gió cho giai đoạn 20 năm từ năm 2000 đến hết năm 2019. Do mục tiêu xây dựng bản đồ phân bố gió ngoài khơi khu vực Biển Đông, các biến gió mực bề mặt 10 m và mực cao 80 m từ kết quả mô hình RCM cùng với số liệu tái phân tích ERA5 sẽ được đánh giá với số liệu quan trắc tương ứng.

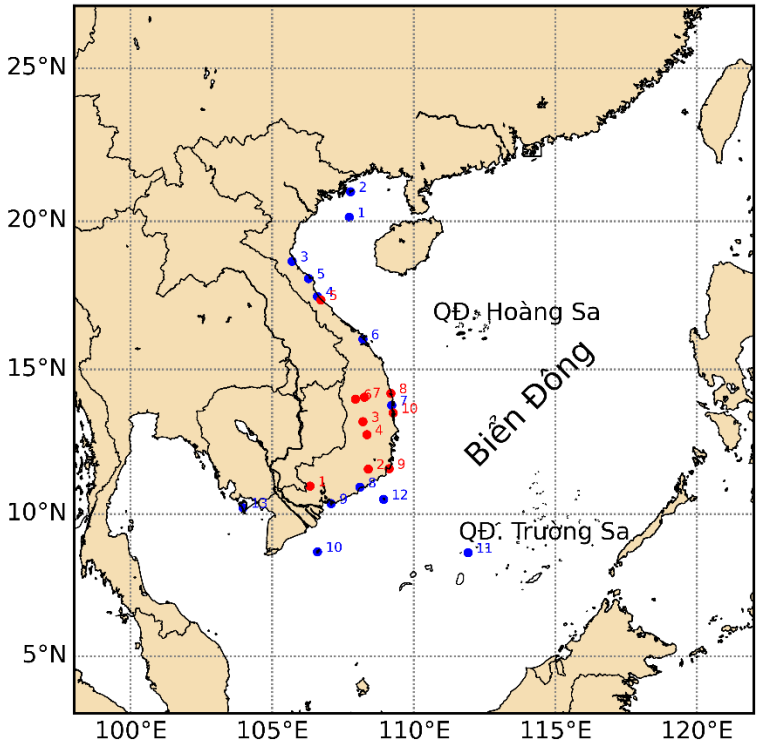
Sau đó, dựa trên các kết quả đánh giá, tốc độ gió tại mực 100 m sẽ được sử dụng làm đầu vào xây dựng nên bản đồ năng lượng gió tiềm năng cho khu vực biển Đông.

2.2.1. Số liệu quan trắc gió

Trong nghiên cứu này sử dụng hai bộ dữ liệu gió quan trắc gồm: (1) Số liệu quan trắc gió cực đại ngày (V_{max}) tại 13 trạm khí tượng ven biển được sử dụng để so sánh, đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình ở mực thấp. Đây đều là các trạm khí tượng ven biển hoặc ở đảo, đo gió ở độ cao tiêu chuẩn mực 10 m, do vậy ảnh hưởng của địa hình hoặc các công trình xây dựng, vật cản là không đáng kể so với các trạm khí tượng nằm sâu trong đất liền. Số liệu V_{max} hàng ngày thu thập được có từ năm 1961 đến nay, tuy nhiên nghiên cứu này chỉ sử dụng dữ liệu trong 20 năm, giai đoạn 2000-2019. Vị trí của 13 trạm được thể hiện trên bảng 1 và được đánh dấu bằng chấm tròn màu xanh trên hình 1; (2) Số liệu từ 10 trạm quan trắc gió tại các cột đo gió tầng cao tại mực độ cao 80 m thu thập từ gói thầu "Đo gió phục vụ xây dựng quy hoạch điện gió và các dự án điện gió" thuộc khuôn khổ dự án "Xây dựng khung pháp lý và hỗ trợ kỹ thuật cho kết nối lưới điện và phát triển điện gió ở Việt Nam". Chương trình được tài trợ bởi Bộ Môi trường, Bảo tồn Thiên nhiên và An toàn Hạt nhân Liên bang (BMU), Cộng hòa Liên bang Đức do *Deutsche Gesellschaft International Zusammenarbeit* (GIZ) [13] và Bộ Công Thương (MoIT) Việt Nam phối hợp thực hiện. Mục tiêu của chương trình là hỗ trợ chính quyền địa phương triển khai quy hoạch điện gió tại các tỉnh, đồng thời hỗ trợ các nhà phát triển tư nhân trong các dự án điện gió. Số liệu gió từ dự án GIZ có trong giai đoạn năm 2012-2017, tùy thuộc vào từng điểm đo với tần suất mỗi 10 phút. Thông tin về các trạm đo được thể hiện trên bảng 1, vị trí các điểm đo được đánh dấu bằng đường chấm đỏ trên hình 1.

Bảng 1. Danh sách và thông tin các trạm đo gió mực 10 m (13 trạm) và 80 m (10 trạm).

STT	Tên Trạm (Mực 10 m)	Kinh Độ	Vĩ Độ	STT	Tên Trạm (Mực 80 m)	Kinh Độ	Vĩ Độ
1	Bạch Long Vĩ	107,717	20,133	1	An Ninh Đông	10,973	106,332
2	Cô Tô	107,767	20,983	2	Đà Loan	11,562	108,391
3	Vinh	105,700	18,667	3	Ea Drăng	13,206	108,205
4	Đồng Hới	106,600	17,483	4	Ea Phê	12,758	108,344
5	Kỳ Anh	106,283	18,083	5	Hải Ninh	17,358	106,721
6	Đà Nẵng	108,200	16,033	6	Ia Dêr	13,984	108,256
7	Quy Nhơn	109,217	13,767	7	Kon Dơng	14,045	108,256
8	Phan Thiết	108,100	10,933	8	Mỹ Thanh	14,177	109,190
9	Vũng Tàu	107,083	10,367	9	Thanh Hải	11,580	109,128
10	Côn Đảo	106,600	8,683	10	Xuân Hòa	13,508	109,273
11	Trường Sa	111,917	8,650				
12	Phú Quý	108,933	10,517				
13	Phú Quốc	103,967	10,217				



Hình 1. Ví trị đo gió mực 10 m tại các trạm khí tượng (màu xanh) và các trạm đo gió mực cao 80 m (màu đỏ).

2.2.2. Số liệu tái phân tích ERA5

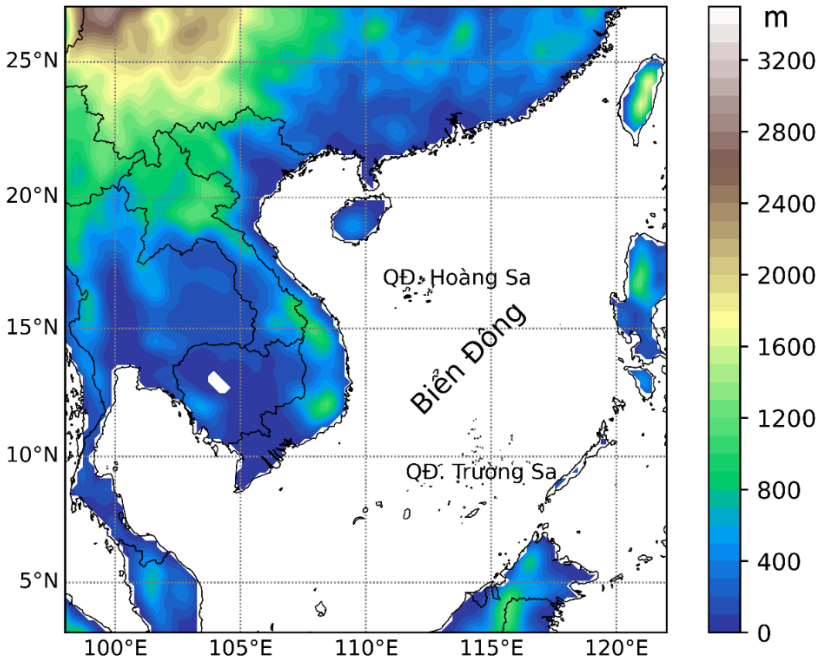
ERA5 là số liệu tái phân tích thế hệ thứ 5 của Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF). Đây là bộ số liệu toàn cầu có độ phân giải cao và được sử dụng phổ biến nhất trong cộng đồng hiện nay, với độ phân giải ngang là 0,25 × 0,25 độ kinh vĩ, có từ năm 1979 cho đến nay. ERA5 có số liệu với độ phân giải thời gian cao nhất là từng giờ được tính toán và nội suy từ kết quả tổ hợp mô hình độ phân giải thời gian 3 giờ và phương ngang 0,5 độ kinh vĩ [14]. Kỹ thuật đồng hóa 4D-Var được sử dụng với hệ thống IFS (*Integrated Forecasting System*) [15] để tạo ra ERA5.

2.3 Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Mô hình RCM

Trong nghiên cứu này phiên bản thứ tư của mô hình khí hậu khu vực RegCM được sử dụng. RCM [16] sử dụng dữ liệu địa hình như độ cao, sử dụng đất, bề mặt biển,…cũng như các điều kiện ban đầu và điều kiện biên. RCM có thể chạy với điều kiện biên từ các mô hình khí hậu toàn cầu GCM (*Global climate model*) [17]. Trong nghiên cứu này, số liệu tái phân tích ERA5 được sử dụng làm điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho mô hình RCM [18]. So với các phiên bản trước, phiên bản RCM thế hệ thứ tư được cải tiến hơn, bao gồm: một số sơ đồ tham số hóa mới như sơ đồ quá trình đất bề mặt *CML*, sơ đồ lớp biên hành tinh *UW*, lớp biên *Holtslag*, sơ đồ chuyển đổi phát xạ và một số cấu hình mới linh hoạt và dễ áp dụng hơn với các trình biên dịch khác nhau [19].

Trong nghiên cứu này, RCM được chạy với độ phân giải là 10 km, sử dụng sơ đồ tham số hóa đối lưu *Kain-Fritsch*, sơ đồ lớp biên hành tinh *UW*, sơ đồ ẩm *SUBEX*. Đây là bộ cấu hình phù hợp nhất cho mô phỏng hoàn lưu khí quyển cho khu vực Đông Nam Á cũng như Biển Đông Việt Nam [12]. Sản phẩm trường gió kinh hướng và vĩ hướng đầu ra từng giờ được sử dụng để so sánh trực tiếp với quan trắc cũng như làm đầu vào tính toán năng lượng gió tiềm năng.



Hình 2. Miền tính và bản đồ địa hình cho mô hình RCM mô phỏng trường gió.

2.3.2. Phương pháp tính toán năng lượng từ trường gió

Để đánh giá tiềm năng năng lượng gió tại một độ cao nào đó của khu vực, cần phải biết giá trị tốc độ gió ở độ cao đó. Tuy nhiên, các trạm khí tượng tiêu chuẩn hiện nay đo gió ở mực 10 m, các trạm đo gió ở độ cao lớn như các trạm quan trắc cao không không nhiều, nên để xác định đặc trưng gió ở độ cao lớn phải tính toán một cách gián tiếp dựa vào tốc độ gió quan trắc được từ các trạm khí tượng bề mặt bằng một hàm phân bố gió theo độ cao.

Phân bố gió theo độ cao ở từng khu vực, từng thời điểm cụ thể phụ thuộc không chỉ vào độ gồ ghề của mặt đệm mà cả tầng kết nhiệt của khí quyển và một số yếu tố khác. Hiện nay, phần lớn các nghiên cứu trên thế giới cũng như ở Việt Nam đều sử dụng quy luật loga để ước lượng gián tiếp phân bố gió theo độ cao. Các nghiên cứu cho thấy sử dụng hàm phân bố loga mặc dù đơn giản nhưng phù hợp với tính toán tốc độ gió trong khí quyển từ mặt đến đến độ cao khoảng 150 m. Vì vậy, nghiên cứu này lựa chọn hàm loga để tính toán thông qua một công cụ chuyển đổi trong mô hình RCM: Về mặt lý thuyết, khi biết tốc độ gió V_1 ở độ cao Z_1 có thể tính được tốc độ gió V_z ở độ cao Z theo công thức sau [20]:

$$\frac{V_z}{V_1} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_1/z_0)} \quad (1)$$

Suy ra: $V_z = V_1 \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_1/z_0)}$

Trong đó V_z là tốc độ gió ở độ cao cần tính Z (ví dụ tai 100 m, 150 m), V_1 là tốc độ gió quan trắc bề mặt, Z_0 là độ gồ ghề của mặt đệm, mức Z_1 là độ cao của thiết bị đo gió (Z_1 = 10 m).

Do độ cao cần tính thường lớn hơn độ cao đo gió mặt đất ($Z > Z_1$) nên $V_z > V_1$ hay tốc độ gió tăng theo độ cao. Ngoài ra, mức độ tăng lên của tốc độ gió theo độ cao phụ thuộc vào độ gồ ghề của mặt đệm (Z_0). Khi độ gồ ghề của mặt đệm càng lớn thì tốc độ gió ở độ cao cần tính (V_z) càng tăng nhanh.

2.3.3. Phương pháp ước lượng năng lượng gió qua mật độ không khí và tốc độ gió

Mật độ năng lượng gió trung bình E (W/m^2) tại một nơi trong thời gian T nào đó (năm, mùa, tháng …) được tính theo công thức:

$$E = \frac{1}{2}\rho\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i^3 \quad (2)$$

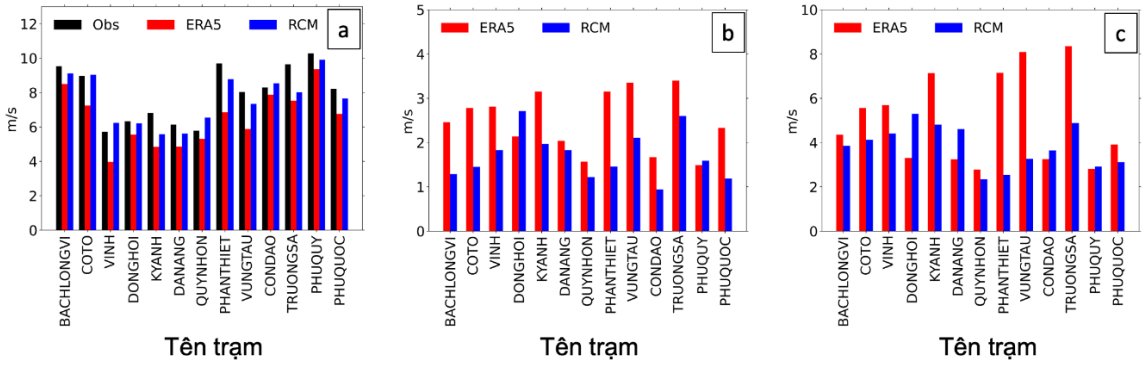
Trong đó ρ là mật độ không khí được giả định là hằng số 1,225 kg/m^3, v_i là tốc độ gió tức thời (m/s), N là dung lượng mẫu.

Như vậy, năng lượng gió tiềm năng là đại lượng được tính toán từ tốc độ gió tuyệt đối mà không xem xét đến hướng gió, do vậy, đặc trưng về tốc độ gió là cơ sở để đánh giá tiềm năng của gió trên lãnh thổ.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá khả năng mô phỏng tốc độ gió cực đại ngày

Kết quả so sánh giá trị mô phỏng tốc độ gió cực đại ngày (V_{max}) trung bình của RCM và ERA5 so với trạm quan trắc tại 13 trạm khí tượng ven biển được thể hiện trên biểu đồ hình 3a. Một điểm cần chú ý khi các trạm được lựa chọn đều là các trạm nằm tại khu vực ven biển, tốc độ gió ít chịu ảnh hưởng bởi địa hình hơn so với các trạm khác. Biểu đồ trên so sánh độ giá trị trung bình của 20 năm (2000-2019) của bộ dữ liệu tái phân tích ERA5 và dữ liệu mô hình khí hậu khu vực RCM trích xuất và so với dữ liệu quan trắc tại điểm trạm (Obs). Kết quả cho thấy, tốc độ gió cực đại ngày trung bình ở các trạm phía Nam lớn hơn phía Bắc, ngoại trừ tại hai trạm đảo Bạch Long Vĩ và Cô Tô với trung bình dao động từ 9,1 đến 9,7 m/s. Trong khi đó các trạm dọc khu vực biển miền Trung từ Vinh đến Quy Nhơn có tốc độ gió cực đại ngày trung bình không quá lớn, phổ biến trong khoảng từ 5,9 đến 7,4 m/s. Ở khu vực Phan Thiết trở vào khu vực biển phía Nam, tốc độ gió cực đại ngày trung bình khá lớn, phổ biến trong khoảng 8,2 đến 10,4 m/s. Phần lớn đây đều là những trạm đảo, ít bị ảnh hưởng bởi địa hình và có mặt thoáng của biển, do vậy cường độ gió ổn định và thường lớn hơn so với các trạm ven biển ở đất liền. RCM mô phỏng tốc độ gió cực đại ngày trung bình tốt, và nắm bắt được sự biến thiên giữa các trạm, bao gồm cả các trạm đảo và các trạm ven biển. Trong khi đó, ERA5 có xu hướng thiên thấp hơn so với quan trắc, đặc biệt tại một số trạm như Vinh, Phan Thiết, Vũng Tàu. Như vậy có thể thấy RCM có thể mô phỏng giá trị gió cực đại trung bình tốt hơn so với ERA5, đặc biệt là ở các trạm ven biển.



Hình 3. So sánh các chỉ số thống kê vận tốc gió V_{max} trung bình (a) và sai số MAE (b) và RMSE (c) của RCM và ERA5 so với giá trị quan trắc tại 13 trạm khí tượng.

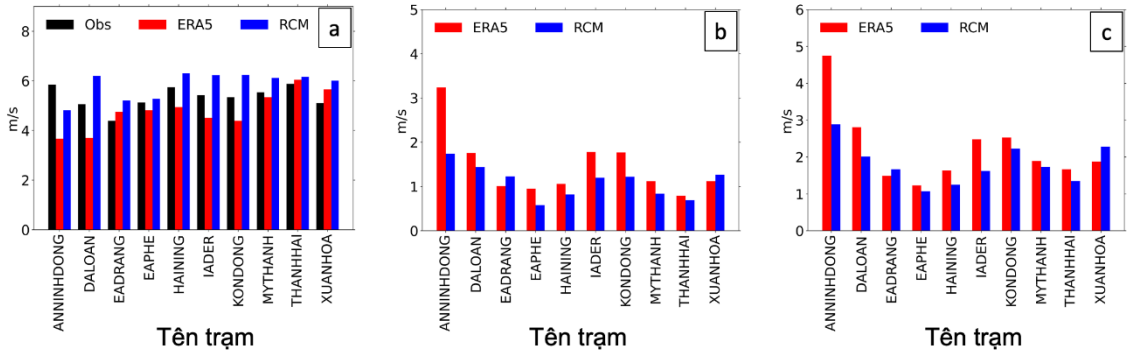
Biểu đồ so sánh sai số trung bình tuyệt đối (MAE) và sai số quân phương (RMSE) của vận tốc gió cực đại trung bình ngày từ hai nguồn dữ liệu tái phân tích ERA5 và dữ liệu xây dựng từ mô hình RCM so với giá trị quan trắc tại 13 trạm khí tượng ven biển được thể hiện trên hình 3b và 3c. Kết quả cho thấy hầu hết các giá trị sai số của RCM thấp hơn so với sai số từ dữ liệu tái phân tích ERA5. Sự khác biệt của sai số trung bình tuyệt đối của dữ liệu tái phân tích ERA5 lớn nhất so với dữ liệu từ mô hình RCM tại trạm Phan Thiết khoảng 2 m/s. Tại một số ít trạm như trạm Phú Quý, dữ liệu RCM có chênh lệch sai số trung bình tuyệt đối

cao hơn kết quả dữ liệu ERA5 khoảng 0,1 m/s hay trạm Đồng Hới cao hơn xấp xỉ 0,5 m/s. Ngoài ra, biểu đồ cũng thống kê sai số trung bình tuyệt đối lớn nhất MAE của dữ liệu tái phân tích ERA5 nằm tại trạm Trường Sa với xấp xỉ 3,5 m/s, trong khi đó sai số nhỏ nhất của dữ liệu mô hình RCM nằm tại trạm Côn Đảo với xấp xỉ 1 m/s.

Phần lớn kết quả sai số quân phương ghi nhận các giá trị V_{max} từ dữ liệu ERA5 cao hơn so với các giá trị được xây dựng từ mô hình RCM, đặc biệt chênh lệch lớn nhất tại các trạm Phan Thiết, Vũng Tàu, Trường Sa từ 4-4,5 m/s. Tuy nhiên cũng có một số trạm có sai số quân phương V_{max} từ dữ liệu mô hình RCM lớn hơn dữ liệu tái phân tích ERA5 như các trạm Đồng Hới, Đà Nẵng chênh lệch xấp xỉ 3 m/s, trạm Phú Quý, Côn Đảo chênh lệch từ 0,1-0,5 m/s. Ngoài ra, có thể thấy trong biểu đồ, sai số V_{max} lớn nhất từ dữ liệu tái phân tích ERA5 nằm tại trạm Trường Sa là xấp xỉ 8,5 m/s và sai số nhỏ nhất từ dữ liệu mô hình RCM ở tại trạm Quy Nhơn xấp xỉ 2,5 m/s.

3.2. Đánh giá khả năng mô phỏng tốc độ gió trung bình mực 80 m

Biểu đồ so sánh độ chính xác của vận tốc gió trung bình (V_{tb}) trong hai bộ dữ liệu tái phân tích ERA5 và dữ liệu xây dựng từ mô hình RCM với dữ liệu quan trắc Obs của 10 trạm đo mực cao thuộc dự án GIZ được thể hiện trên hình 4. Có thể thấy, có sự khác biệt giữa kết quả tốc gió trung bình từ dữ liệu tái phân tích ERA5 và mô hình RCM với dữ liệu quan trắc. Một số trạm có kết quả dữ liệu vận tốc gió trung bình ERA5 thấp hơn đáng kể so với dữ liệu quan trắc như trạm An Ninh Đông, thấp hơn xấp xỉ 2 m/s; trạm Đà Loan thấp hơn xấp xỉ 1,5 m/s; trạm IaDer, Kon Dơng thấp hơn xấp xỉ 1 m/s,...Bên cạnh đó, cũng có một số trạm dữ liệu từ RCM lớn hơn dữ liệu quan trắc như các trạm: Đà Loan cao hơn xấp xỉ 3 m/s; trạm IaDer, Kon Dơng cao hơn xấp xỉ 2 m/s; trạm Hải Ning cao hơn xấp xỉ 1,5 m/s, trạm My Thanh cao hơn xấp xỉ 1 m/s. Ngoài ra, tại một số trạm như EaDrang, trạm Xuân Hòa, trạm Thanh Hải, kết quả vận tốc gió trung bình từ cả hai nguồn dữ liệu ERA5 và RCM đều ghi nhận có sai số nhỏ khi so với kết quả quan trắc. Có thể thấy, so với số liệu quan trắc, hầu hết các kết quả vận tốc gió trung bình từ mô hình RCM đều có độ chênh lệch ít hơn kết quả của dữ liệu ERA5.

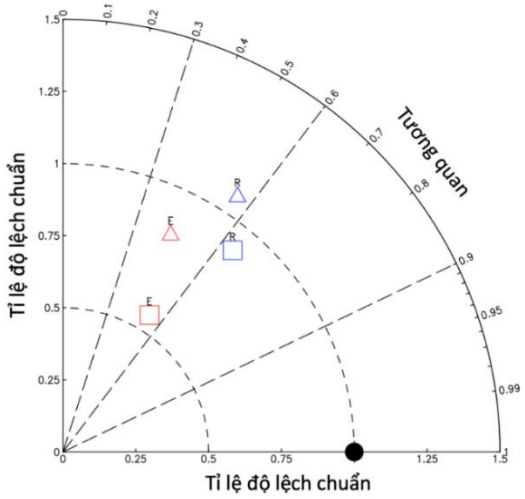


Hình 4. So sánh các chỉ số thống kê vận tốc gió trung bình (V_{tb}) (a), sai số MAE (b) và sai số RMSE (c) của RCM và ERA5 với quan trắc tại 10 trạm đo gió mực cao 80 m.

Sai số V_{tb} của RCM đều thấp hơn ERA5 từ 0,5-1 m/s, đặc biệt tại trạm An Ninh Đông, chênh lệch lên tới xấp xỉ 2m/s. Bên cạnh đó cũng có một số trạm có sai số V_{tb} từ dữ liệu mô hình RCM cao hơn so với dữ liệu ERA5 như trạm EaDrang cao hơn xấp xỉ 0,3 m/s, trạm Xuân Hòa cao hơn 0,1 m/s. Ngoài ra, trong biểu đồ cũng thấy, sai số trung bình tuyệt đối MAE lớn nhất của dữ liệu tái phân tích ERA5 ở trạm An Ninh Đông với xấp xỉ 3,5 m/s, trong khi đó sai số nhỏ nhất của dữ liệu mô hình RCM tại trạm EaPhe với xấp xỉ 0,75 m/s. Sự chênh lệch đáng kể giữa sai số quân phương RMSE của hai bộ dữ liệu tái phân tích ERA5 và dữ liệu mô hình RCM được thể hiện trên biểu đồ hình 4c. Với sai số quân phương, tại trạm An Ninh Đông, dữ liệu ERA5 có sai số lớn nhất, xấp xỉ 5 m/s và có sự chênh lệch lớn nhất

so với dữ liệu mô hình RCM (xấp xỉ 2 m/s). Đa số tại các trạm, kết quả sai số từ dữ liệu tái phân tích ERA5 đều lớn hơn dữ liệu mô hình RCM. Tuy nhiên bên cạnh đó, tại một số trạm như EaDrang, Xuân Hòa, dữ liệu từ mô hình RCM có sai số lớn hơn dữ liệu tái phân tích ERA5 với chênh lệch nhỏ từ 0,1-0,5 m/s. Ngoài ra, sai số của mô hình RCM nhỏ nhất ở tại trạm EaPhe với xấp xỉ 1,5 m/s.

Như vậy, tùy thuộc trạm kết quả mô phỏng RCM và ERA5 lại cho sai số với quan trắc là khác nhau, do đó, để đánh giá được toàn diện khả năng sử dụng kết quả mô phỏng gió từ mô hình RCM so với sử dụng trực tiếp dữ liệu tái phân tích ERA5, biểu đồ Taylor được sử dụng với tập dữ liệu được nội suy về 13 trạm đo gió 10 m (hình tam giác) và 10 trạm đo gió mực cao 80 m (hình vuông). Các điểm thông tin về trạm và điểm đo đã được cung cấp chi tiết trong bảng 1 và hình 1. Kết quả so sánh từng cặp giữa RCM và ERA5 cho thấy trong cả 2 trường hợp RCM đều cho kết quả mô phỏng gió tốt hơn đáng kể so với ERA5. Độ lệch chuẩn của ERA5 trong cả 2 trường hợp so sánh gió tại mực 10 m và 80 m đều nhỏ hơn so với giá trị quan trắc. Trong khi đó sử dụng RCM với độ phân giải cao hơn đã nắm bắt được tính biến động của số liệu gió tốt hơn trong cả 2 trường hợp với hệ số tương quan cao hơn và độ lệch chuẩn xấp xỉ so với giá trị quan trắc. Ngoài ra, kết quả đánh giá cũng cho thấy ERA5 và RCM cho mô phỏng gió trung bình tốt hơn so với gió V_{max} (hình vuông tốt hơn hình tam giác tại Hình 5). Điều này có thể lý giải do cách mô phỏng liên tục hóa trường gió từ mô hình chưa thể hiện hết được các nhiễu động ngẫu nhiên trong khí quyển. Do vậy, kết quả mô phỏng chưa thể nắm bắt chính xác được các giá trị gió cực đại.



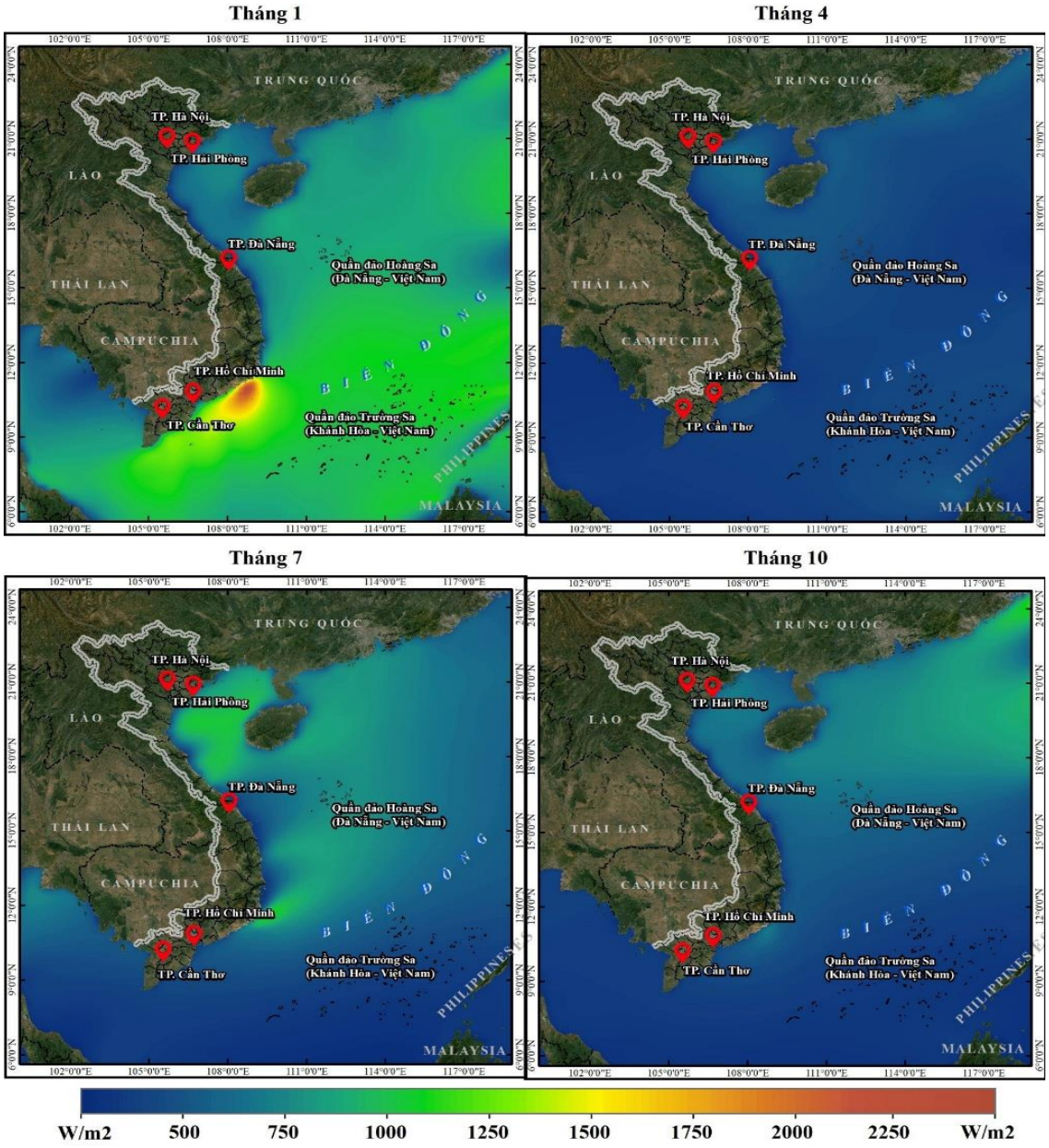
Hình 5. Biểu đồ Taylor so sánh số liệu gió mô phỏng từ mô hình RCM (màu xanh) và ERA5 (màu đỏ) với số liệu quan trắc, Hình tam giác tính cho tập giá trị gió V_{max} mực 10 m, còn hình vuông tính toán cho tập giá trị gió trung bình mực 80 m.

Từ phân tích các chỉ số thống kê cũng như phân tích từ biểu đồ Taylor cho thấy mặc dù chưa mô phỏng được hoàn toàn chính xác tốc độ gió trung bình và tốc độ gió cực đại ngày tại tất cả các điểm đo, tuy nhiên RCM cho thấy độ chính xác cao hơn trong cả hai trường hợp tại mực 10 m và mực độ cao 80 m so với số liệu ERA5. Do đó với mục tiêu sử dụng một bộ số liệu tốc độ gió xây dựng bản đồ tiềm năng năng lượng gió có độ phân giải cao, nghiên cứu này đề xuất sử dụng kết quả mô phỏng từ mô hình RCM.

3.3. Phân tích đánh giá tiềm năng năng lượng gió

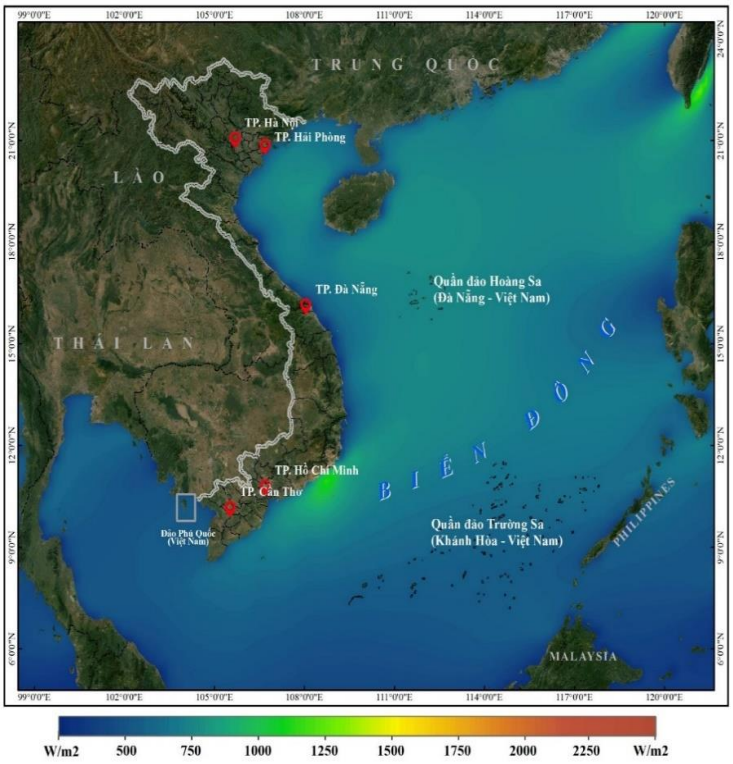
Tốc độ gió mô phỏng từ mô hình RCM được sử dụng để tính toán tiềm năng lượng gió sử dụng phương pháp như đã được trình bày trong mục 3.2.3. Về quy mô mùa, tiềm năng năng lượng gió trên toàn Biển Đông ở độ cao 100 m lớn nhất vào tháng 1 và thấp nhất vào tháng 4 (Hình 6), đây cũng là kết quả có sự tương đồng khi so sánh với kết quả đánh giá tiềm

năng năng lượng gió được công bố trong "*Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khởi tại các vùng biển Việt Nam*" [8] của Bộ TM&MT. Tuy nhiên so với kết quả được công bố của Bộ TM&MT, các giá trị được mô phỏng bởi mô hình RCM có xu hướng thiên cao hơn. Cụ thể vào tháng 1, năng lượng gió trên toàn Biển Đông được mô phỏng bởi RCM có mật độ năng lượng gió trung bình từ 600-1800 W/m^2, trong khi kết quả được công bố trong "*Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khởi tại các vùng biển Việt Nam*" là 300-1300 W/m^2, bên cạnh đó, cũng trong báo cáo này, mật độ năng lượng gió trung bình vào tháng 4 được công bố từ dưới 100-500 W/m^2 và thiên thấp hơn so với kết quả mô phỏng trong tháng 4 của mô hình RCM là dưới 200-600 W/m^2. Ở các vùng biển phía Bắc (Vịnh Bắc Bộ, Quảng Trị - Quảng Ngãi và Bắc Biển Đông), mật độ năng lượng gió lớn nhất trong các tháng 1, 7 với các giá trị lần lượt là 300-600 W/m^2 và 800-1200 W/m^2, thấp nhất trong các tháng 4, 10 với giá trị lần lượt dưới 650 W/m^2 và dưới 750 W/m^2. Tương tự tại các vùng biển ven bờ phía Nam (Bình Định trở vào, Giữa và Nam Biển Đông), mật độ năng lượng gió lớn nhất trong các tháng chính đông và thấp hơn trong các tháng chính hè, mật độ năng lượng gió trung bình các tháng 1, 4, 7, 10 lần lượt là: từ 1200-1800 W/m^2; 300-600 W/m^2; 400-1200 W/m^2 và 400-600 W/m^2.



Hình 6. Bản đồ năng lượng gió tại độ cao 100 m từ mô hình RCM các tháng chính mùa (tháng 1, 4,7 10).

Kết quả tính toán năng lượng gió trung bình năm tại độ cao 100 m của mô hình RCM với độ phân giải 10 km được thể hiện trên hình 7, so sánh kết quả tính này với tiềm năng năng lượng gió của WB cho thấy: Phân bố không gian tiềm năng năng lượng gió sử dụng mô phỏng RCM khá tương đồng với kết quả của WB, về cơ bản các vùng ven biển có tiềm năng năng lượng gió lớn nhất là Bắc vịnh Bắc Bộ, Ninh Thuận đến Bà Rịa - Vũng Tàu, trong đó đáng chú ý nhất là vùng biển Ninh Thuận - Bình Thuận. Tuy nhiên về mặt trị số, kết quả mô phỏng bằng RCM thiên cao hơn tại một số vị trí so với WB. Trong kết quả công bố mới nhất của WB (2021), khu vực Bình Thuận có mật độ năng lượng gió trung bình từ 400-500W/m^2 thì kết quả tính toán sử dụng RCM lại có mật độ năng lượng gió trung bình trên 1000 W/m^2. Bên cạnh đó, tại phía Bắc vịnh Bắc Bộ, mật độ năng lượng gió tính toán từ mô hình RCM trung bình từ 500-750 W/m^2, trong khi theo kết quả công bố của WB, tại khu vực này chỉ từ 300-500 W/m^2.



Hình 7. Bản đồ năng lượng gió trung bình năm tại độ cao 80 m từ mô hình RCM.

4. Kết luận và kiến nghị

Trong nghiên cứu này đã sử dụng mô hình khí hậu khu vực RCM để mô phỏng trường gió trên khu vực Biển Đông cho giai đoạn 20 năm, từ 2000 đến 2019. Kết quả mô phỏng được so sánh với số liệu tái phân tích ERA5 và dữ liệu quan trắc tại 13 trạm khí tượng mực tiêu chuẩn 10 m cũng như dữ liệu gió tại độ cao 80 m từ dự án đo gió của GIZ. Trường gió mô phỏng bởi RCM sau đó được sử dụng để tính toán năng lượng gió tiềm năng cho khu vực Biển Đông tại nhiều mực độ cao, trong đó kết quả tại mực 100 m được phân tích và so sánh với một số dữ liệu tương tự. Một số kết quả chính của nghiên cứu được tóm tắt như sau: (1) Tốc độ gió mô phỏng bởi RCM có độ chính xác cao hơn với sai số MAE và RMSE đều nhỏ hơn so với sai số từ ERA5 ở phần lớn các trạm, cả ở mực 10 m và mực 80 m. Khi so sánh tương quan và độ lệch chuẩn, mô phỏng từ RCM cũng thể hiện tốt hơn đáng kể so với ERA5. (2) Có sự tương đồng về phân bố không gian năng lượng gió trên Biển Đông giữa kết quả sử dụng trường gió từ mô hình RCM với dữ liệu từ *"Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khởi tại các vùng biển Việt Nam*" [8] của Bộ TM&MT cũng như dữ liệu từ *"Global Wind Atlas"* tài trợ bởi WB. Về mặt giá trị, năng lượng gió tính toán từ mô phỏng trường gió

bởi RCM nhìn chung thiên cao hơn so với kết quả trong *"Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khởi tại các vùng biển Việt Nam"* của Bộ TM&MT.

Mặc dù vậy, nghiên cứu này vẫn tồn tại một số hạn chế như: (1) Các tính toán từ tốc độ gió sang năng lượng gió mới chỉ sử dụng công thức lý thuyết mà chưa xét đến những giả thiết như ảnh hưởng chi tiết mặt đệm và tương tác với các công trình…; (2) Số liệu để so sánh, đánh giá còn thiếu và chủ yếu ở khu vực đất liền, ven biển. Tuy vẫn còn một số tồn tại như đã đề cập ở trên, song kết quả của nghiên cứu này cũng là một nguồn tham khảo đối với phát triển quy hoạch và xây dựng dự án điện gió trên biển trong tương lai.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.L., N.V.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.D.H.B., N.V.H., P.Q.N.; Xử lý số liệu: N.V.H., P.Q.N., N.B.T.; Viết bản thảo bài báo: N.V.H., T.T.L.; Chỉnh sửa bài báo: T.T.L.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số TN.22.17.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Dincer, I. Renewable energy and sustainable development: acrucial review. *Renew. Sustain. Energy Rev*. **2000**, *2*, 157–175. https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00011-8.
2. Tâm, T.M. Tìm hiểu về năng lượng tái tạo. *Tạp chí khoa học Đại học Văn Lang* **2021**, 61–66.
3. Archer, C.L.; Jacobson, M.Z. Evaluation of global wind power. *J. Geophys. Res.* **2005**, *110*, 1–20. https://doi.org/10.1029/2004JD005462.
4. IPCC. Climate Change 2022_ Impacts, Adaptation and Vulnerability_Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernamental Panel on Climate Change, 2022. doi: 10.1017/9781009325844.
5. Nguyên, Đ.V.; Nhiên, N.T.T. Vì sao nên phát triển điện gió ngoài khơi ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam* **2020**, *11*, 20–22.
6. De Palacio, C.R.; Santos, A.C.; Perez, J.; Diez, D. Offshore wind energy: A review of the current status, challenges and future development in Spain. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *64*, 1–18. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.087.
7. Yamaguchi, A.; Ishihara, T. Assessment of offshore wind energy potential using mesoscale model and geographic information system. *Renew. Energy* **2014**, *69*, 506–515. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.024.
8. Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam, Hà Nội, 2022, tr. 105.
9. Viện Năng Lượng. Quy hoạch phát triển Điện Lực Quốc gia thời kỳ 2021–2030 tầm nhìn đến 2045. Hà Nội, 2021, tr. 851.
10. AWS. Truepower, Wind Resource Atlas of Vietnam. 2011, pp. 17.
11. Tiềm năng phát triển năng lượng gió biển ở Việt Nam. 2017. Trực tuyến: https://tietkiemnangluong.com.vn/tin-tuc/kinh-nghiem/t26058/tiem-nang-phat-trien-nang-luong-gio-bien-o-viet-nam.html.
12. Duc, T.N.; Tangang, F.T.; Santisirisomboon, J.; Cruz, F.; Tuan, L.T.; Nguyen-Xuan, T., Aldrian, E. Performance evaluation of RegCM4 in simulating extreme rainfall and temperature indices over the CORDEX-Southeast Asia region. *Int. J. Climatol.* **2017**, *37(3)*, 1634–1647.
13. Bộ Công Thương, Bộ Môi trường, Bảo tồn Thiên nhiên và An toàn Hạt nhân Liên bang, Cộng Hòa Liên bang Đức. Chương trình Hỗ trợ Năng lượng GIZ. 2021, tr. 24.

14. Ruiz, S.G.; Eduardo, J.; Barriga, C. Wind power assessment in the Caribbean region of Colombia, using ten–minute wind observations and ERA5 data. *Energy Rev.* **2021**, *172*, 158–176. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.033.
15. Wedi, N.P.; Bauer, P.; Deconinck, W.; Diamantakis, M.; Hamrud, M.; Kühnlein, C.; Malardel, S.; Mogensen, K.; Mozdzynski, G.; Smolarkiewicz, P.K .The modelling infrastructure of the Integrated Forecasting System: Recent advances and future challenges. Tech. Memorandum 2015, pp. 50.
16. Wu, J.; Han, Z.Y.; Yan, Y.P.; Sun, C.Y.; Xu,Y.; Shi, Y. Future changes in wind energy potential over China using RegCM4 under RCP emission scenarios. *Adv. Clim. Chang. Res.* **2021**, *12*, 596–610. https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.06.005.
17. Koné, B.; Diedhiou, A.; Touré, N.D.E.; Sylla, M.B.; Giorgi, F.; Anquetin, S.; Bamba, A. Diawara. Sensitivity study of the regional climate model RegCM4 to different convective schemes over West Africa. *ESD* **2018**, *9*, 1261–1278. http://dx.doi.org/10.5194/esd-2018-44.
18. Gu, H.; Wang, G. Assessing future climate changes and extreme indicators in east and south Asia using the RegCM4 regional climate model. *Clim. Chang*. **2012**, *3317*, 1–114. https://doi.org/10.1007/s10584-012-0411-y
19. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản Biến đổi Khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2020.
20. Hagspiel, S.; Antonis, P.; Schmid, M.; Andersson, G. Copula - based modeling of stochastic wind power in Europe and implications for the Swiss power grid. *Appl. Energy* **2012**, *96*, 33–44. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.039.

Assessment of wind energy potential for renewable energy development in the East Sea, Vietnam

Nguyen Viet Hang[1], Pham Duy Huy Binh[1], Pham Quang Nam[1], Nguyen Bach Tung[1], Trinh Tuan Long[1]*

[1] Center for Environmental Fluid Dynamics, University of Science, Vietnam National University, Hanoi; viethang1485@gmail.com; phambinh@hus.edu.vn; nampq@hus.edu.vn; bachtung_cefd@hus.edu.vn; trinhtuanlong@hus.edu.vn

Abstract: In this study, the Regional Climate Model version 4 (RCM) is used to simulate the wind field, allowing for the determination of potential wind energy in the Vietnam East Sea region during the 20-year period (2000-2019). The wind speed is simulated using the RCM, then compared with the reanalysis data (ERA5) using wind observations at 13 coastal and island meteorological stations, at 10 meters and 10 wind measurement stations at 80 meters. The comparison between RCM simulation and ERA5 to wind speed observation shows that the RCM model performs well and is more suitable than using ERA5 data. The spatial distribution of calculated wind energy results from the RCM also exhibits similarities to the data published in the "Potential Wind Energy and Offshore Wave Reports over Vietnam Coastal Areas" by the Ministry of Natural Resources and Environment and the World Bank's 2009 report. However, the study still has limitations, such as the use of theoretical formulas and not considering boundary layer effects. Nevertheless, the study's results provide valuable reference information for offshore wind energy project planning and development.

Keywords: Wind Energy; Vietnam East Sea; RegCM4.