

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

# HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC

*THIẾT BỊ VÀ CÔNG TRÌNH DẦU KHÍ VỚI XU HƯỚNG  
CHUYỂN DỊCH NGUỒN NĂNG LƯỢNG*



**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**

---

**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**

Địa chỉ: Số 8 phố Tăng Bạt Hổ, phường Phạm Đình Hổ, quận Hai Bà Trưng, TP. Hà Nội

ĐT: 024.39423346 - 024.39424620 \* Fax: 024.38224784

Website: [www.nxbgtvt.vn](http://www.nxbgtvt.vn) \* Email: [nxbgtvt@fpt.vn](mailto:nxbgtvt@fpt.vn)

**CHỊU TRÁCH NHIỆM XUẤT BẢN, NỘI DUNG:**

**GIÁM ĐỐC - TỔNG BIÊN TẬP:**

**Nguyễn Minh Nhật**

**BIÊN TẬP:**

**Dương Hồng Hạnh**

**THIẾT KẾ:**

**Linh Lan**

**ĐỐI TÁC LIÊN KẾT XUẤT BẢN:**

**Trường Đại học Mở - Địa chất**

---

In 200 cuốn khổ 19 x 27cm tại Công ty TNHH Dịch vụ Văn phòng Đức Hải.

Địa chỉ: số 264 Nguyễn Trãi, Từ Liêm, Hà Nội

Số xác nhận đăng ký xuất bản: 934-2024/CXBIPH/1-23/GTVT.

Mã số sách tiêu chuẩn quốc tế - ISBN: 978-604-76-2909-1.

Quyết định xuất bản số: 20 LK/QĐ-XBGT ngày 19 tháng 4 năm 2024.

In xong và nộp lưu chiểu năm 2024.

## **BAN TỔ CHỨC**

- |  |                |
|--|----------------|
| 1. GS.TS Trần Thanh Hải, Trường Đại học Mở - Địa chất        | Trưởng ban     |
| 2. PGS.TS Triệu Hùng Trường, Trường Đại học Mở - Địa chất    | Phó Trưởng ban |
| 3. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, Trường Đại học Mở - Địa chất          | Phó Trưởng ban |
| 4. PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, Trường Đại học Mở - Địa chất      | Phó Trưởng ban |
| 5. TS Lê Quang Duyệt, Trường Đại học Mở - Địa chất           | Phó Trưởng ban |
| 6. PGS.TS Tống Thị Thanh Hương, Trường Đại học Mở - Địa chất | Phó Trưởng ban |
| 7. TS Lê Đức Vinh, Trường Đại học Mở - Địa chất              | Phó Trưởng ban |
| 8. PGS.TS Nguyễn Văn Thịnh, Trường Đại học Mở - Địa chất     | Ủy viên        |
| 9. TS Công Ngọc Thắng, Trường Đại học Mở - Địa chất          | Ủy viên        |
| 10. PGS. TS Phan Thiên Hương, Trường Đại học Mở - Địa chất   | Ủy viên        |
| 11. TS Phạm Văn Tuấn, Trường Đại học Mở - Địa chất           | Ủy viên        |
| 12. Ths Vũ Thiết Thạch, Trường Đại học Mở - Địa chất         | Ủy viên        |

## **BAN KHOA HỌC**

1. GS.TS Trần Thanh Hải, Trường Đại học Mở - Địa chất, Trưởng ban
2. PGS.TS Triệu Hùng Trường, Trường Đại học Mở - Địa chất, Phó Trưởng ban
3. PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, Trường Đại học Mở - Địa chất, Phó Trưởng ban
4. PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, Trường Đại học Mở - Địa chất, Phó Trưởng ban
5. PGS.TS Tống Thị Thanh Hương, Trường Đại học Mở - Địa chất, Phó Trưởng ban
6. TS Lê Quang Duyệt, Trường Đại học Mở - Địa chất, Phó Trưởng ban
7. TS Lê Đức Vinh, Trường Đại học Mở - Địa chất, Phó Trưởng ban
8. PGS.TS Trần Đình Kiên, Trường Đại học Mở - Địa chất, Ủy viên
9. GVC Trần Văn Bản, Hội Công nghệ Khoan-Khai thác Việt Nam, Ủy viên
10. TS Nguyễn Văn Giáp, Hội Công nghệ Khoan-Khai thác Việt Nam, Ủy viên
11. PGS.TS Nguyễn Văn Thịnh, Trường Đại học Mở - Địa chất, Ủy viên
12. PGS.TS Phan Thiên Hương, Trường Đại học Mở - Địa chất, Ủy viên
13. TS Hoàng Anh Dũng, Trường Đại học Mở - Địa chất, Ủy viên
14. TS Nguyễn Thị Hải Yến, Trường Đại học Mở - Địa chất, Ủy viên
15. TS Đào Thị Uyên, Trường Đại học Mở - Địa chất, Ủy viên
16. TS Công Ngọc Thắng, Trường Đại học Mở - Địa chất, Ủy viên
17. TS Phạm Văn Tuấn, Trường Đại học Mở - Địa chất, Ủy viên



## **BAN BIÊN TẬP**

1. PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, Trưởng ban
2. PGS.TS Nguyễn Văn Thịnh, Phó trưởng ban
3. PGS.TS Nguyễn Việt Nghĩa, Phó trưởng ban
4. TS Hoàng Anh Dũng, Ủy viên
5. TS Đào Thị Uyên, Ủy viên
6. TS Nguyễn Tiến Hùng, Ủy viên
7. TS Nguyễn Khắc Long, Ủy viên
8. TS Trần Hữu Kiên, Ủy viên
9. TS Tô Hữu Toàn, Ủy viên
10. TS Nguyễn Trần Tuấn, Ủy viên
11. TS Nguyễn Thị Hải Yến, Ủy viên
12. ThS Nguyễn Thanh Tuấn, Ủy viên
13. ThS Vũ Cúc Phương, Ủy viên
14. ThS Trương Văn Từ, Ủy viên
15. ThS Vũ Thiết Thạch, Ủy viên
16. ThS Nguyễn Văn Thành, Ủy viên
17. ThS Doãn Thị Trâm, Ủy viên

## **BAN THƯ KÝ**

1. PGS.TS Nguyễn Văn Thịnh, Trưởng ban
2. TS Hoàng Anh Dũng, Phó Trưởng ban
3. TS Nguyễn Thị Hải Yến, Ủy viên
4. ThS Nguyễn Thanh Tuấn, Ủy viên
5. ThS Vũ Cúc Phương, Ủy viên

## MỤC LỤC

<b>1. Nghiên cứu phương án lắp đặt hệ thống thiết bị cho kế hoạch phát triển mỏ Thiên Nga-Hải Âu</b>	<b>1</b>
<i>Nguyễn Văn Thịnh, Triệu Hùng Trường, Vũ Thiết Thạch</i>	
<b>2. Năng lượng gió ngoài khơi Việt Nam: xác định tiềm năng và phân tích phân bố địa lý</b>	<b>8</b>
<i>Trần Anh Quân, Vũ Cúc Phương, Trịnh Tuấn Long</i>	
<b>3. Hydro - giải pháp năng lượng sạch cho tương lai và tiềm năng sản xuất từ nguồn năng lượng tái tạo tại Việt Nam: một nghiên cứu với trường hợp nhà máy Đạm Cà Mau</b>	<b>17</b>
<i>Ngô Hà Sơn</i>	
<b>4. Nghiên cứu khả năng sử dụng bơm ly tâm điện ngầm trong khai thác dầu tại mỏ Nam rồng - Đồi mồi</b>	<b>27</b>
<i>Lê Đức Vinh, Nguyễn Quốc Dũng, Ngô Tuấn Nam, Nguyễn Mai Hà, Nguyễn Đức Huy</i>	
<b>5. Đặc điểm quá trình biến đổi thứ sinh đá Cacbonat tuổi Mioxen bể phủ khánh</b>	<b>33</b>
<i>Nguyễn Thị Minh Hồng</i>	
<b>6. Nghiên cứu hạ tầng và hệ thống thiết bị của các mỏ dầu khí ở Việt Nam nhằm phục vụ cho kết nối các mỏ cận biên</b>	<b>45</b>
<i>Nguyễn Văn Thịnh, Nguyễn Thanh Tuấn, Nguyễn Thị Hải Yến, Lê Văn Nam</i>	
<b>7. Nghiên cứu lựa chọn hàm lượng chất bít nhét đối với dung dịch polymer sét khi khoan trong tầng đá móng mỏ Bạch Hổ</b>	<b>54</b>
<i>Nguyễn Thị Hải, Trương Văn Từ, Nguyễn Tiến Hùng, Lê Văn Nam</i>	
<b>8. Ứng dụng kỹ thuật bảo trì tiên đoán để nâng cao hiệu quả hoạt động của các thiết bị quay tại Nhà máy đạm Cà Mau</b>	<b>64</b>
<i>Nguyễn Đức Trung, Nguyễn Văn Thịnh</i>	
<b>9. Nghiên cứu ảnh hưởng của tải trọng sóng bề mặt chất lỏng tác dụng lên thành bể cầu chứa khí hóa lỏng chịu tải trọng động đất</b>	<b>70</b>
<i>Ngô Xuân Hùng, Nguyễn Thế Vinh, Tăng Văn Lâm, Bulgakov Boris Igorevich</i>	
<b>10. Đánh giá khả năng ứng dụng hệ thống đầu giếng ngầm thi công bằng giàn khoan tự nâng cho các mỏ dầu &amp; khí khai thác tận thu, mỏ cận biên tại vùng nước nông ngoài khơi Việt Nam</b>	<b>78</b>
<i>Nguyễn Trọng Tài, Triệu Hùng Trường, Nguyễn Trần Tuấn, Trương Văn Từ</i>	
<b>11. Nghiên cứu áp dụng trí tuệ nhân tạo hỗ trợ ra quyết định tách phao neo và tàu FSO-Queen bể Nam Côn Sơn, ngoài khơi Việt Nam</b>	<b>88</b>
<i>Nguyễn Hải An, Nguyễn Đình Tuấn, Nguyễn Văn Thịnh</i>	
<b>12. Giải pháp làm sạch đường ống vận chuyển dầu khí từ các giàn cố định (MSP) đến giàn công nghệ trung tâm tại mỏ Bạch Hổ trong giai đoạn suy giảm sản lượng</b>	<b>97</b>
<i>Hoàng Anh Dũng, Vũ Cúc Phương</i>	



# Năng lượng gió ngoài khơi Việt Nam: xác định tiềm năng và phân tích phân bố địa lý

Trần Anh Quân<sup>1</sup>, Vũ Cúc Phương<sup>2</sup>, Trịnh Tuấn Long<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

<sup>2</sup> Khoa Dầu khí và Năng lượng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

<sup>3</sup> Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc Gia Hà Nội, Việt Nam

## Tóm tắt

Với hơn 3.260 km bờ biển và hơn 3.000 hải đảo, Việt Nam có nhiều lợi thế để khai thác năng lượng tái tạo từ gió. Đối với sự phát triển và tiêu thụ năng lượng ngày càng tăng, việc nghiên cứu và đánh giá tiềm năng năng lượng tái tạo là điều thiết yếu. Nhiều quốc gia đã đạt được thành tựu đáng kể trong lĩnh vực này, nhưng ở Việt Nam, nghiên cứu về năng lượng tái tạo vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu này nhằm đánh giá tiềm năng năng lượng gió tại Việt Nam và phân tích vùng địa lý có tiềm năng năng lượng gió vùng biển ngoài khơi trên biển Đông. Nghiên cứu sử dụng mô hình RegCM4 và dữ liệu tái phân tích phiên bản thứ 5 (ERA5) bao gồm các biến khí hậu và thời tiết toàn cầu của Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF) để đánh giá sự phân bố của năng lượng gió. Dữ liệu trạm quan trắc cũng được sử dụng để kiểm định độ chính xác và độ tin cậy của dữ liệu tái phân tích. Tiềm năng năng lượng gió cho Việt Nam được đánh giá sử dụng dữ liệu khí tượng giai đoạn 2010 – 2019. Kết quả nghiên cứu cho thấy, Việt Nam có tài nguyên năng lượng gió trên biển phân bố không đồng đều theo không gian và thời gian. Vùng ven biển từ Bắc vào Nam, phía Nam của Bắc Trung Bộ và một số khu vực ở Tây Nguyên có tiềm năng cao. Tiềm năng năng lượng gió càng cao càng lên cao và vùng tiềm năng mở rộng hơn. Ở ngoài khơi, ở độ cao 100 m, vùng biển có tiềm năng năng lượng gió tốt nhất nằm tại Bắc Biển Đông, ven bờ Bình Định-Ninh Thuận, Bình Thuận-Cà Mau và một phần vùng biển trung tâm vịnh Bắc Bộ. Đặc biệt, khu vực biển Ninh Thuận đến Bà Rịa-Vũng Tàu có tiềm năng năng lượng gió tốt đến rất tốt, với tốc độ gió trung bình từ 8 đến 10 m/s và mật độ năng lượng từ 500 đến trên 700 W/m<sup>2</sup>. Bằng cách thúc đẩy sự hiểu biết về tiềm năng và phân bố không đều của nguồn năng lượng này, nghiên cứu cung cấp cơ sở cho quyết định chính trị và chiến lược phát triển năng lượng bền vững tại Việt Nam.

Từ khóa: Năng lượng gió, ERA-5, Việt Nam, năng lượng tái tạo, RegCM4

## 1. Mở đầu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nhu cầu năng lượng ngày càng gia tăng, năng lượng tái tạo đang trở thành xu thế mới của thế giới nhằm giảm thiểu phát thải khí nhà kính và phát triển bền vững hơn. Việt Nam là một trong những quốc gia có tiềm năng lớn về năng lượng tái tạo, đặc biệt là năng lượng gió, nhờ vị trí địa lý thuận lợi với bờ biển dài và khí hậu nhiệt đới (Nguyễn Thế Hùng, 2007). Trong những năm gần đây, Việt Nam đã có những bước tiến đáng kể trong lĩnh vực phát triển điện gió. Nhiều cánh đồng điện gió đã được xây dựng tại một số địa phương như Sóc Trăng, Ninh Thuận và đóng góp đáng kể vào tổng sản lượng điện tái tạo của đất nước (Bhattacharya, 2019).

Tuy Việt Nam đã có những bước tiến đáng kể trong việc phát triển điện gió nhưng quá trình phát triển này vẫn diễn ra một cách tự phát, thiếu tầm nhìn chiến lược. Phần lớn các dự án điện gió hiện nay đang tập trung tại một vài tỉnh có điều kiện tự nhiên thuận lợi ở Nam Trung bộ và Nam Bộ mà chưa có sự đánh giá, lựa chọn dựa trên cơ sở khoa học về tiềm năng năng lượng gió trên phạm vi cả nước. Điều này dẫn đến tình trạng đầu tư dàn trải, chưa tập trung vào những khu vực thực sự có tiềm năng lớn cho phát triển điện gió. Bên cạnh đó, các nghiên cứu đánh giá tiềm năng điện gió tại Việt Nam còn khá hạn chế. Hầu hết các nghiên cứu hiện nay mới dừng lại ở mức độ đánh giá sơ bộ tiềm năng lý thuyết tại một vài khu vực cụ thể hoặc dựa trên số liệu quan trắc có phạm vi hẹp (Nguyễn Thị Mỹ và nnk., 2019). Chưa có nghiên cứu chi tiết và toàn diện đánh giá tiềm năng điện gió trên phạm vi cả nước để xác định rõ các khu vực ưu tiên. Do đó, việc lựa chọn địa điểm đầu tư các dự án điện gió

\* Tác giả liên hệ

E-mail: trinhluanlong@hus.edu.vn



hiện nay chủ yếu dựa trên kinh nghiệm và điều kiện thực tế chứ chưa phải dựa trên cơ sở khoa học. Nhìn chung, sự phát triển điện gió ở nước ta đang thiếu tầm nhìn chiến lược dài hạn, còn mang tính tự phát và chưa dựa trên nền tảng nghiên cứu khoa học đầy đủ. Đây là thách thức cần khắc phục để đưa ngành điện gió phát triển một cách bền vững và hiệu quả hơn trong thời gian tới.

Do đó, việc tiến hành một nghiên cứu chi tiết và toàn diện về tiềm năng điện gió trên phạm vi cả nước là vô cùng cần thiết. Nghiên cứu này sẽ cung cấp cơ sở khoa học cho việc hoạch định chiến lược và kế hoạch phát triển điện gió tại Việt Nam một cách bài bản, hiệu quả và bền vững hơn. Kết quả nghiên cứu sẽ xác định được những khu vực có tiềm năng lớn về năng lượng gió để ưu tiên đầu tư xây dựng các nhà máy điện gió. Điều này sẽ giúp tối ưu hóa hiệu quả khai thác nguồn năng lượng sạch và tái tạo, đóng góp lớn hơn nữa vào an ninh năng lượng quốc gia cũng như mục tiêu giảm phát thải của Việt Nam và thế giới.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Phương pháp tính toán tiềm năng năng lượng 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, trên thế giới nói chung và ở nước ta nói riêng, số trạm quan trắc cao không nhiều, nên những nơi không có thiết bị quan trắc gió trên cao, phải xác định gió cho các độ cao một cách gián tiếp dựa vào tốc độ gió mặt đất quan trắc được từ các trạm khí tượng 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. Do đó, nhiều nghiên cứu trên thế giới đã sử dụng phương pháp ngoại suy dựa trên quy luật logarit để ước tính gián tiếp tốc độ gió ở độ cao dựa vào giá trị quan trắc tại mặt đất (Justus et al., 1978; Hogue et al., 2000). Công thức tính như sau:

Nếu 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:

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

$$V_z = V_1 \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_1/z_0)} \quad (2)$$

Trong đó,  $V_z$  là tốc độ gió ở độ cao cần tính  $Z$ ,  $V_1$  là tốc độ gió quan trắc mặt đất,  $Z_0$  là độ gồ ghề của mặt đệm, mức  $Z_1$  là độ cao của máy đo gió mặt đất ( $Z_1 = 10$  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.

Đánh giá tiềm năng năng lượng gió được tính toán bằng hàm phân bố Weibull. Đây là hàm phân bố đang được ứng dụng rộng rãi ở nhiều quốc gia trên thế giới trong đó có Việt Nam. Hàm phân bố Weibull hai tham số không những cho xấp xỉ tốt với dãy số liệu thực nghiệm mà còn là công cụ rất hữu ích và thuận tiện cho việc nghiên cứu mật độ năng lượng gió (Celik, 2004; Akdağ and Dinler, 2009). Hàm mật độ xác suất và hàm phân bố tích lũy của Weibull 2 tham số lần lượt được biểu diễn như sau:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[ -\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad (3)$$

$$P(v) = 1 - \exp \left[ -\left(\frac{v}{c}\right)^k \right] \quad (4)$$

Trong đó,  $c$  và  $k$  lần lượt là tham số kích thước và hình dạng. Các tham số này có thể ước lượng dựa trên tần suất các cấp gió quan trắc bằng phương pháp bình phương tối thiểu (Akdağ and Dinler, 2009). Mật độ năng lượng gió trung bình  $E$  được tính bằng công thức:

$$E = 0.5\rho c^3 \Gamma\left(\frac{k+3}{k}\right) \quad (5)$$

Trong đó với  $\Gamma$  là hàm gamma và  $\rho$  là mật độ không khí.

### 2.2. Dữ liệu đầu vào

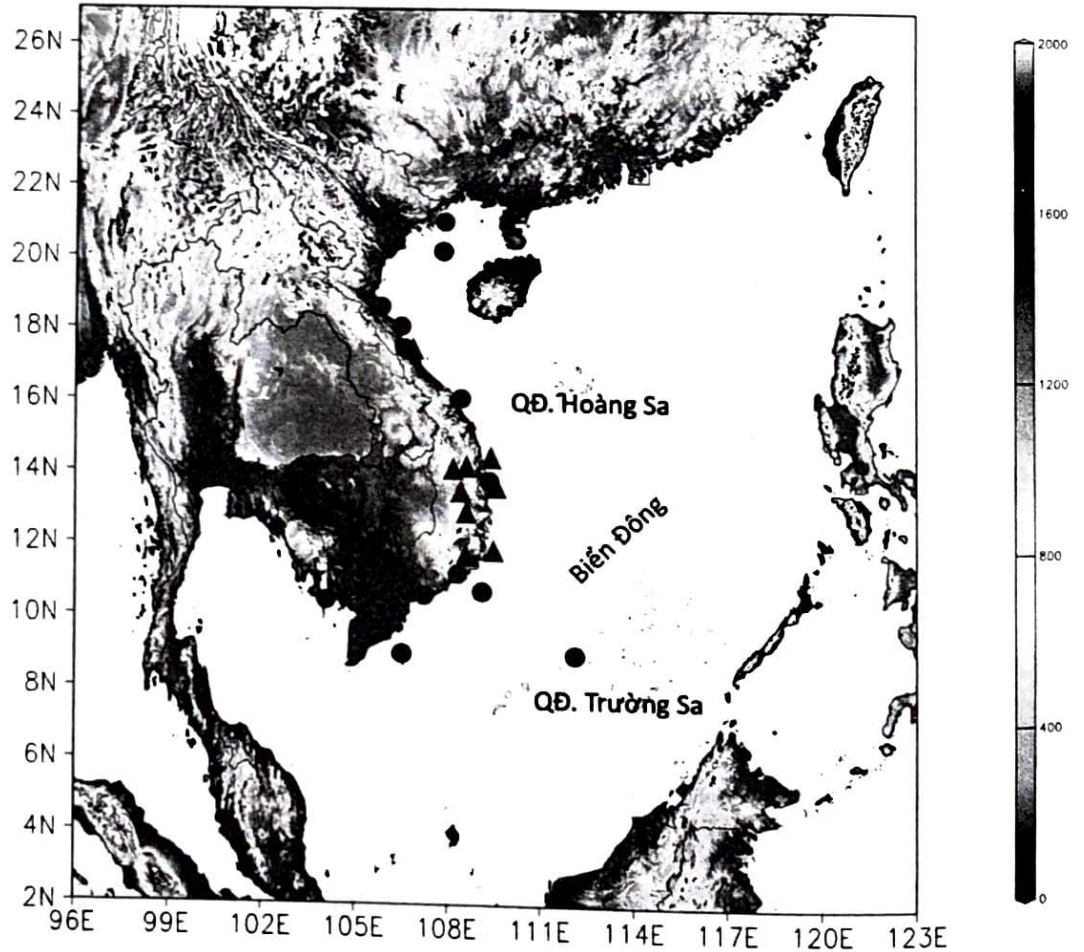
Trong nghiên cứu này, năng lượng gió được tính toán sử dụng kết quả mô phỏng trường gió từ mô hình khí hậu khu vực RegCM4 (RCM), sử dụng các điều kiện biên và điều kiện ban đầu từ bộ dữ



liệu tái phân tích toàn cầu ERA5 nhằm mô phỏng trường gió khí hậu cho giai đoạn 10 năm từ năm 2010 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 từ kết quả mô hình RegCM cùng với số liệu tái phân tích ERA5 sẽ được đánh giá với số liệu quan trắc tại 13 trạm ven biển. Sau đó, dựa trên kết quả đánh giá, các đặc trưng gió tại các mực 100 m và 150 m sẽ được sử dụng làm đầu vào xây dựng nên trường năng lượng gió cho khu vực biển Đông.

### 2.2.1. Dữ liệu quan trắc

Trong nghiên cứu này sử dụng hai bộ dữ liệu gió quan trắc gồm: (1) Số liệu quan trắc gió cực đại ngày (Vmax) 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 Vmax hàng ngày thu thập được có từ năm 1961 đến nay, tuy nhiên nghiên cứu này chỉ sử dụng dữ liệu trong 10 năm, giai đoạn 2010–2019. 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 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”. Số liệu gió có trong giai đoạn năm 2012-2017, tùy thuộc vào từng điểm đo với tần suất mỗi 10 phút. Thông tin về vị trí các điểm đo được đánh dấu bằng đường chấm đỏ trên Hình 1. Danh sách chi tiết các trạm đo gió ở cả hai mực 10 m và 80m được thể hiện tại Bảng 1.



Hình 1. Vị trí đo gió mực 10 m tại các trạm khí tượng (màu tím) và các trạm đo gió mực cao 80 m (màu đỏ) trên nền miền tính của mô hình RegCM với lớp nền địa hình SRTM.

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

Danh sách các trạm khí tượng mực 10m	Danh sách các trạm đo gió mực 80m
Bạch Long Vĩ, Cô Tô, Vinh, Đồng Hới, Kỳ Anh, Đà Nẵng, Quy Nhơn, Phan Thiết, Vũng Tàu, Côn Đảo, Trường Sa, Phú Quý, Phú Quốc	An Ninh Đông, Đà Loan, Ea Drăng, Ea Phê, Hải Ninh, Ia Dêr, Kon Dong, Mỹ Thanh, Thanh Hải, Xuân Hòa



### 2.2.2. Dữ liệu tái phân tích

Số liệu tái phân tích ERA5 được sử dụng trong nghiên cứu này là phiên bản mới nhất về khí hậu và thời tiết toàn cầu do Trung tâm Dự báo thời tiết Châu Âu (ECMWF) công bố. Đây là tập hợp số liệu khí tượng khí hậu cho từng giờ có độ phân giải cao bậc nhất hiện nay với các giá trị cứ sau 0,25 độ kinh vĩ (Hersbach et al., 2020). ERA5 bao trùm giai đoạn từ năm 1979 cho đến nay. Bên cạnh các giá trị trung bình, ERA5 cũng cung cấp các ước tính về độ không chắc chắn thống kê cho mỗi thông số. Các giá trị trong ERA5 được tính toán bằng phương pháp đồng hóa 4D-Var sử dụng hệ thống IFS (Hệ thống Dự báo Tích hợp) của ECMWF. Nhờ vậy, ERA5 không chỉ đơn thuần là tái phân tích mà còn là kết quả tổng hợp tối ưu từ mô hình dự báo thời tiết kết hợp với dữ liệu quan trắc.

### 2.2.3. Dữ liệu mô hình

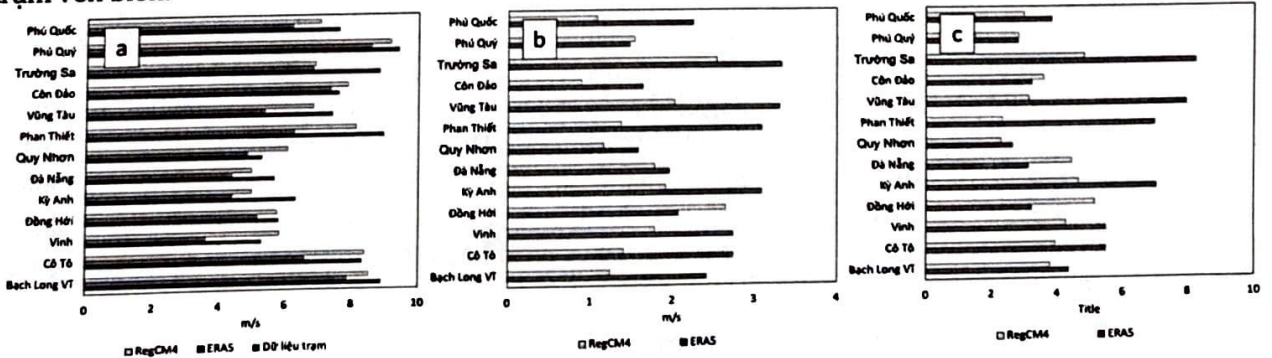
Mô hình khí hậu khu vực RegCM4 của Trung tâm Nghiên cứu Giám định Quốc gia của Ý (Wu et al., 2021) được sử dụng để chi tiết hoá dữ liệu trường gió cho khu vực ven biển Việt Nam. RegCM4 cho phép chi tiết hoá dữ liệu khí hậu từ độ phân giải thô toàn cầu về độ phân giải cao ở quy mô địa phương, trong đó vẫn đảm bảo độ chính xác của các thông số vật lý và các quá trình động lực khí quyển – mặt đất. Các mô hình khí hậu toàn cầu cung cấp điều kiện biên cho mô hình RegCM4 (Wedi et al., 2015). Trong nghiên cứu này, điều kiện biên và điều kiện ban đầu của mô hình khí hậu vùng được lấy từ bộ dữ liệu tái phân tích ERA5 (Wu and Wang, 2012). Qua nhiều giai đoạn cải tiến, mô hình RegCM4 đã được điều chỉnh với sơ đồ tham số hoá mới như quá trình tương tác bề mặt CML, sơ đồ lớp biên hành tinh UW và biến trính SST (Bộ TNMT, 2020). Một số thay đổi đáng kể trong mô hình RegCM4 gồm lớp biên Holtslage và sơ đồ chuyển hoá bức xạ.

Trong nghiên cứu này, RegCM4 được thiết lập với độ phân giải không gian 10km với sơ đồ tham số hoá đối lưu Kain-Fritsch, sơ đồ lớp biên hành tinh HW và sơ đồ chuyển hoá độ ẩm SUBEX (Subgrid Explicit Moisture Scheme-SUBEX) (Bộ TNMT, 2020). Đây là thiết lập mô hình đã được chứng minh phù hợp cho việc lai tạo hoàn lưu khí quyển cho khu vực Đông Nam Á (Hagspiel et al., 2012). Kết quả mô phỏng về hướng và tốc độ gió từ RegCM4 được sử dụng không chỉ cho hiệu chỉnh mô hình mà còn để tính toán năng lượng gió tiềm năng của khu vực. Hình 2 thể hiện khu vực miền tính chi tiết của mô hình RegCM4 trên nền địa hình.

## 3. Kết quả và thảo luận

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

Hình 2a so sánh tốc độ gió cực đại ngày trung bình giữa kết quả mô phỏng từ mô hình khí hậu khu vực RegCM4, dữ liệu tái phân tích ERA5 và dữ liệu thực đo tại 13 trạm khí tượng ven biển trong giai đoạn 2010–2019. Kết quả chỉ ra rằng tốc độ gió cực đại ngày tại các trạm phía Nam lớn hơn so với phía Bắc, với mức dao động từ 9,1 đến 9,7 m/s tại hai trạm đảo Bạch Long Vĩ và Cô Tô. Các trạm dọc khu vực biển miền Trung có tốc độ gió trung bình từ 5,9 đến 7,4 m/s, trong khi khu vực Phan Thiết và biển phía Nam có tốc độ gió trung bình khoảng 8,2 đến 10,4 m/s. RegCM4 mô phỏng tốt và nắm bắt sự biến thiên giữa các trạm, đặc biệt là ở các trạm ven biển và hải đảo. Trong khi đó, ERA5 thường có xu hướng thấp hơn so với quan trắc, đặc biệt là tại Vinh, Phan Thiết, và Vũng Tàu. Nhìn chung, RegCM4 có kết quả mô phỏng giá trị gió cực đại trung bình tốt hơn dữ liệu tái phân tích ERA5, đặc biệt là ở các trạm ven biển.



Hình 2. 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.

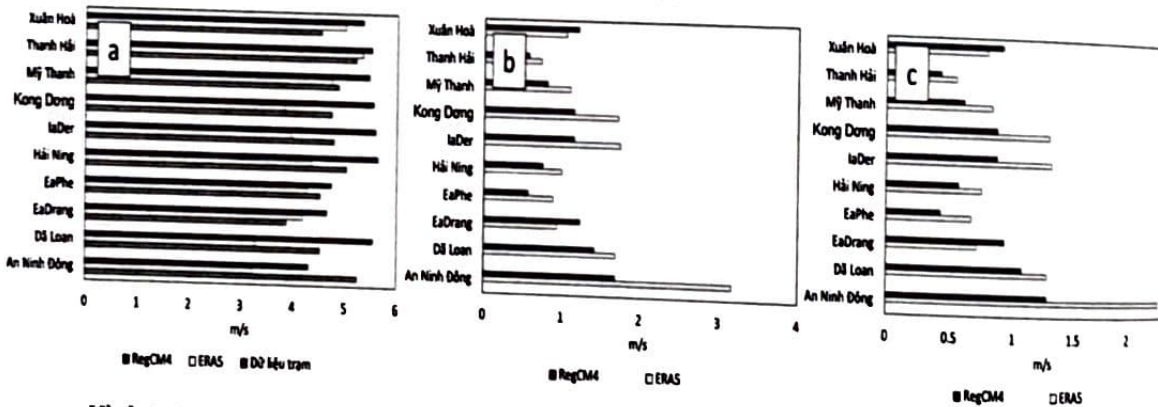


Biểu đồ 2b và 2c so sánh sai số trung bình tuyệt đối (MAE) và sai số quân phương (RMSE) của vận tốc gió cực đại trung bình ngày của dữ liệu tái phân tích ERA5 và mô hình RegCM4. Kết quả mô phỏng cho thấy RegCM4 thường có MAE thấp hơn so với ERA5, với chênh lệch lớn nhất tại trạm Phan Thiết khoảng 2 m/s. Tại một số trạm như Phú Quý và Đồng Hới, dữ liệu RegCM4 có MAE cao hơn ERA5 khoảng 0,1–0,5 m/s. Trạm Trường Sa có MAE lớn nhất từ ERA5 (khoảng 3,5 m/s), trong khi trạm Côn Đảo có MAE nhỏ nhất từ RCM (khoảng 1 m/s).

Với sai số quân phương, ERA5 thường cho giá trị Vmax cao hơn RegCM4, đặc biệt ở các trạm Phan Thiết, Vũng Tàu và Trường Sa với chênh lệch lớn nhất khoảng 4–4,5 m/s. Tuy nhiên, ở một số trạm như Đồng Hới và Đà Nẵng, kết quả mô phỏng bằng mô hình RegCM4 có RMSE lớn hơn khoảng 3m/s, trong khi Phú Quý và Côn Đảo có chênh lệch từ 0,1–0,5 m/s. Trạm Trường Sa có RMSE lớn nhất từ ERA5 (khoảng 8,5 m/s), trong khi trạm Quy Nhơn có RMSE nhỏ nhất từ RCM (khoảng 2,5 m/s). Nhìn chung kết quả mô phỏng tốc độ gió cực đại bằng mô hình RegCM4 không chỉ có độ chi tiết cao hơn so với ERA5 mà còn có sai số thấp hơn.

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

Biểu đồ trên Hình 3 so sánh độ chính xác của vận tốc gió trung bình (Vtb) giữa dữ liệu tái phân tích ERA5 và dữ liệu mô hình RegCM4 với dữ liệu quan trắc từ 10 trạm đo mực cao thuộc dự án GIZ. Kết quả phân tích cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa ERA5 và RegCM4 so với dữ liệu quan trắc. Ở một số trạm như An Ninh Đông, Đà Loan, IaDer, Kon Dong, ghi nhận kết quả Vtb từ ERA5 thấp hơn đáng kể so với dữ liệu thực đo, với mức sai lệch khoảng 1–2 m/s. Trái lại, một số trạm như Đà Loan, IaDer, Kon Dong, Hải Ninh, Mỹ Thanh có kết quả Vtb từ RegCM4 cao hơn giá trị thực đo, từ 1–3 m/s. Tuy nhiên, tại một số trạm như EaDrang, Xuân Hòa, Thanh Hải, cả ERA5 và RCM đều cho kết quả Vtb có sai số nhỏ hơn quan trắc. Đối với kết quả tại tạo trường gió mực 80m so với dữ liệu quan trắc, kết quả Vtb từ mô hình RegCM4 thường có độ chênh lệch ít hơn so với ERA5.



Hình 3. So sánh các chỉ số thống kê vận tốc gió trung bình (Vtb) (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 Vtb của RegCM4 thường thấp hơn ERA5 từ 0,5–1 m/s, đặc biệt ở trạm An Ninh Đông với chênh lệch lên tới khoảng 2m/s. Tuy nhiên, có một số trạm, như EaDrang, Xuân Hòa, Thanh Hải, ghi nhận sai số Vtb từ RegCM4 cao hơn, với mức chênh lệch thấp từ 0,1–0,5 m/s. MAE lớn nhất của ERA5 xuất hiện tại trạm An Ninh Đông với khoảng 3,5 m/s, trong khi MAE nhỏ nhất của RegCM4 xuất hiện tại trạm EaPhe với khoảng 0,75 m/s.

Sự chênh lệch đáng kể giữa sai số quân phương RMSE của RegCM4 và ERA5 được thể hiện trên biểu đồ hình 3c. Tại trạm An Ninh Đông, ERA5 có RMSE lớn nhất, xấp xỉ 5 m/s và sai số cao hơn rất nhiều so với sai số của mô hình RegCM4 (xấp xỉ 2 m/s). Đa số các trạm, kết quả RMSE từ ERA5 đều lớn hơn so với RegCM4. Tuy nhiên, ở một số trạm như EaDrang, Xuân Hòa, dữ liệu mô phỏng bằng RegCM4 có RMSE lớn hơn dữ liệu ERA5 với sai số cao hơn từ 0,1–0,5 m/s. Sai số của mô hình khí hậu khực thấp nhất xuất hiện tại trạm EaPhe với khoảng 1,5 m/s. Nhìn chung, kết quả mô phỏng gió từ mô hình RegCM4 thường cho độ chính xác cao hơn so với dữ liệu ERA5, tùy thuộc vào trạm đo cụ thể và không có quy luật.

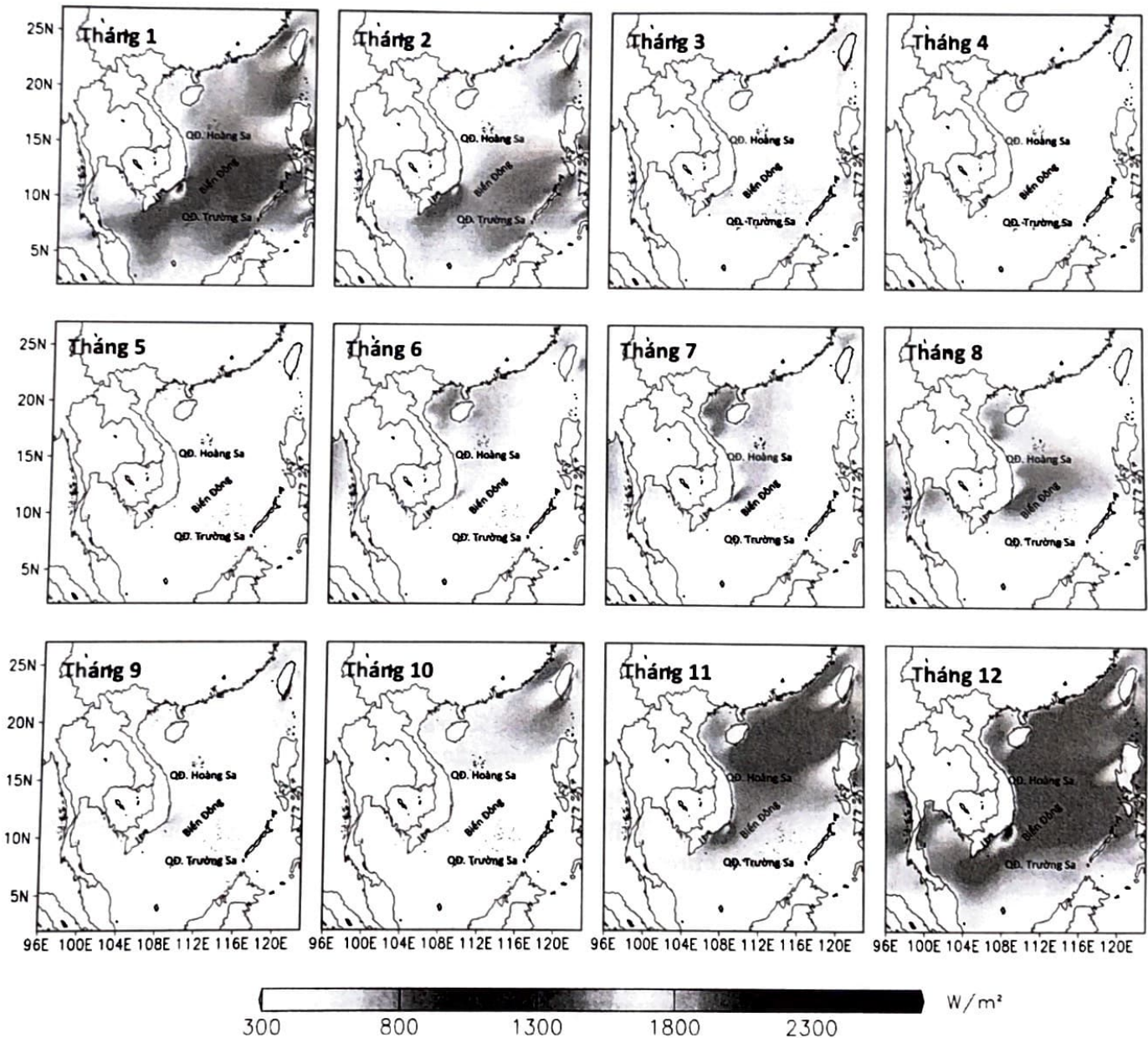
### 3.3. Tính toán tiềm năng năng lượng gió ngoài khơi

Tiềm năng năng lượng gió được tính toán dựa trên kết quả mô phỏng trường gió trong giai đoạn 2010 – 2019 từ mô hình RegCM4. Trên quy mô mùa, tiềm năng năng lượng gió trên Biển Đông tại độ cao 80 m đạt giá trị cao nhất vào tháng 1 và giảm nhẹ vào tháng 4 (Hình 4). Kết quả tính toán



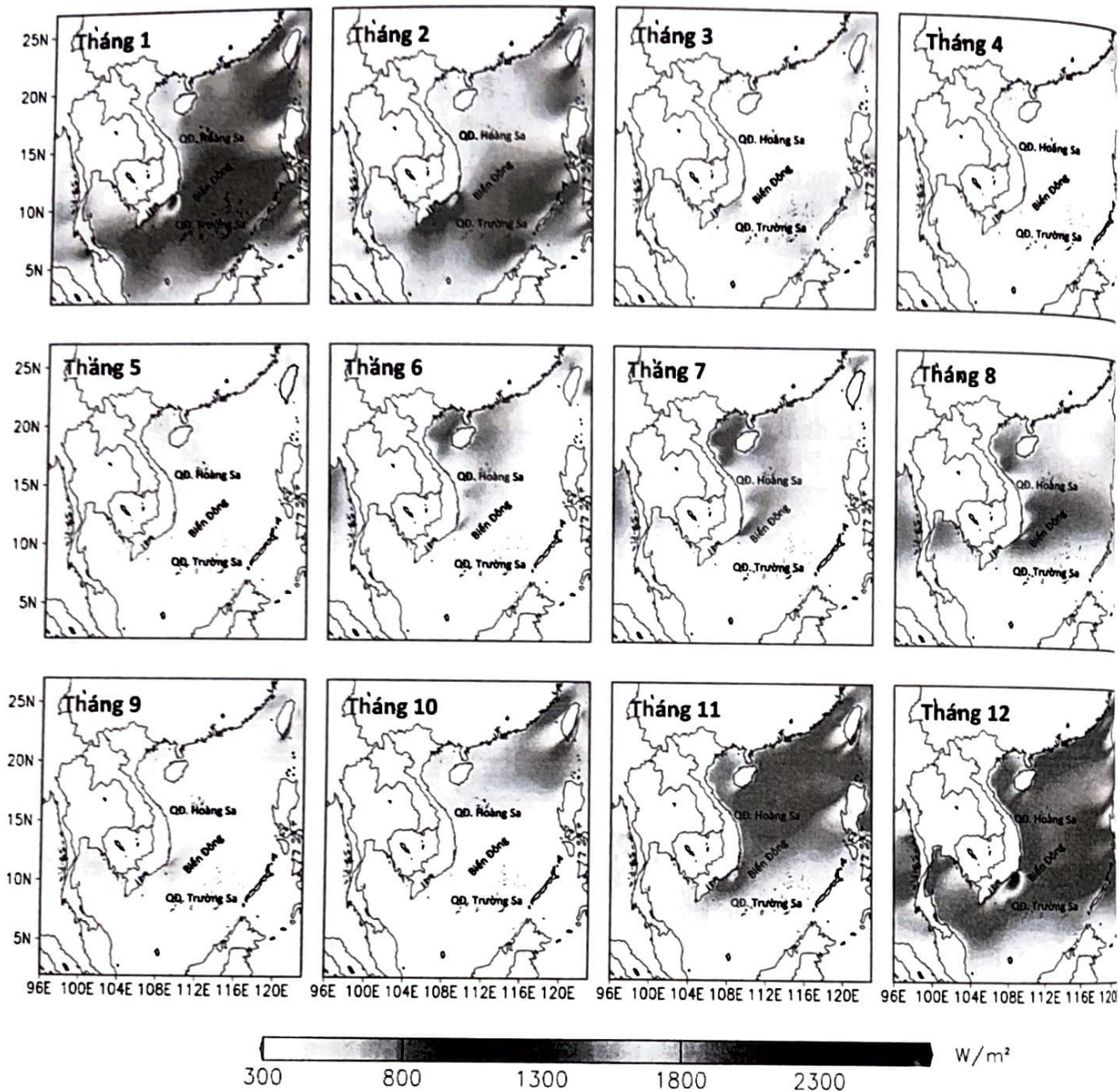
này tuy tương đồng với đánh giá do Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022) nhưng giá trị mô phỏng của mô hình RegCM4 có xu hướng cao hơn so với kết quả công bố. Ví dụ, vào tháng 1, mật độ năng lượng gió trung bình trên Biển Đông từ mô hình RegCM4 dao động từ 600–1,800 W/m<sup>2</sup>, so với kết quả công bố là 300–1300 W/m<sup>2</sup>. Ngược lại, vào tháng 4, mật độ năng lượng gió trung bình từ RegCM4 là dưới 200–600 W/m<sup>2</sup>, thấp hơn so với kết quả công bố là dưới 100–500 W/m<sup>2</sup>.

Ở các vùng biển trên Vịnh Bắc Bộ, Quảng Trị - Quảng Ngãi và Bắc Biển Đông, mật độ năng lượng gió lớn nhất trong các tháng 1 và 7 là từ 300–600 W/m<sup>2</sup> và 800–1,200 W/m<sup>2</sup>, trong khi thấp nhất trong các tháng 4 và 10 là dưới 650 W/m<sup>2</sup> và dưới 750 W/m<sup>2</sup>. Tương tự, tại các vùng biển Bình Định về phía Nam Biển Đông, mật độ năng lượng gió lớn nhất trong các tháng mùa đông và thấp hơn trong các tháng mùa hè. Mật độ năng lượng gió trung bình cho các tháng 1, 4, 7 và 10 lần lượt là từ 1,200–1,800 W/m<sup>2</sup>, 300–600 W/m<sup>2</sup>, 400–1200 W/m<sup>2</sup> và 400–600 W/m<sup>2</sup>. Ở độ cao 150m so với mặt nước biển, phân bố tiềm năng năng lượng gió (Hình 5) không có nhiều khác biệt so với ở độ cao 100m, tuy nhiên năng lượng tiềm năng có giá trị lớn hơn do tốc độ gió ở độ cao này lớn hơn.



Hình 4. Bản đồ năng lượng gió tại độ cao 100 m được tính toán dựa trên mô hình RegCM4 trung bình từng tháng cho giai đoạn 2010–2019.

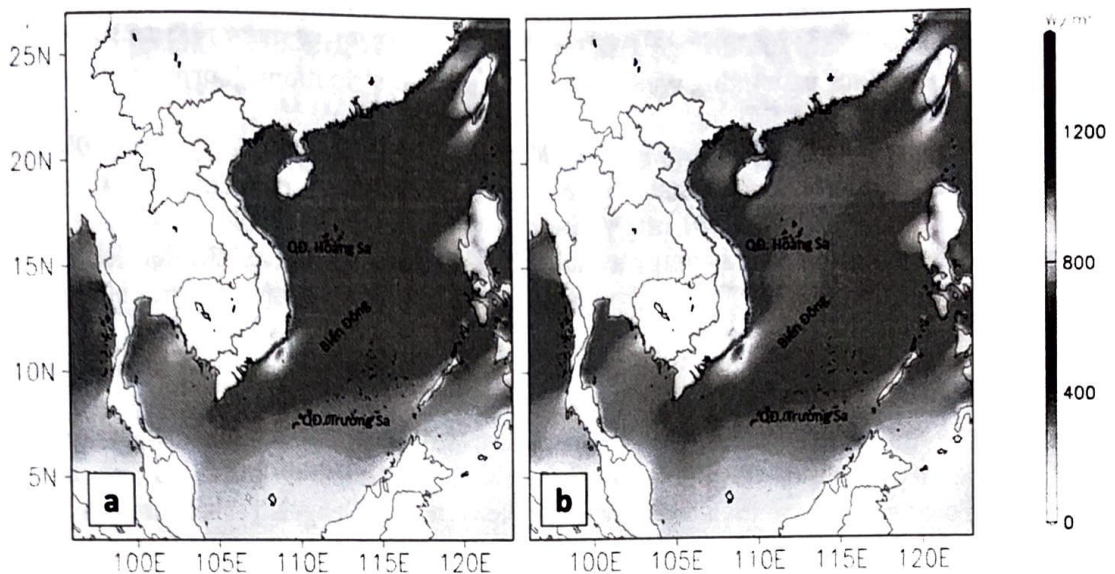




**Hình 5. Bản đồ năng lượng gió tại độ cao 150 m được tính toán dựa trên mô hình RegCM4 trung bình từng tháng cho giai đoạn 2010–2019**

Kết quả tính toán năng lượng gió trung bình hàng năm cho giai đoạn 2010–2019 ở độ cao 100 m và 150 m từ mô hình RegCM4 (Hình 6) được so sánh với tiềm năng năng lượng gió của Ngân hàng Thế giới (WB) cho thấy sự tương đồng trong phân bố không gian. Các vùng ven biển, đặc biệt là Bắc vịnh Bắc Bộ và Ninh Thuận đến Bà Rịa - Vũng Tàu, có tiềm năng năng lượng gió lớn nhất. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng của RegCM4 có xu hướng thiên cao hơn tại một số điểm so với WB. Ví dụ, khu vực Bình Thuận, theo WB (2021), có mật độ năng lượng gió từ 400–500 W/m<sup>2</sup>, trong khi mô phỏng của RegCM4 đưa ra kết quả trung bình trên 1000 W/m<sup>2</sup>. Tại phía Bắc vịnh Bắc Bộ, mật độ năng lượng gió tính toán từ mô hình là 500–750 W/m<sup>2</sup>, trong khi WB công bố chỉ từ 300–500 W/m<sup>2</sup>. Các kết quả thu được cũng khá đồng nhất với nghiên cứu của Hằng và cộng sự (2023) mặc dù sử dụng giai đoạn nghiên cứu ngắn hơn và cập nhật hơn. Với mực 150 m, kết quả mật độ năng lượng gió tính toán từ RegCM4 là 550–830 W/m<sup>2</sup> và có phân bố không gian tương đồng đối với mực 100 m.





Hình 6. Bản đồ năng lượng gió trung bình năm tại độ cao (a) 100 m và (b) 150 m từ mô hình RegCM4 cho giai đoạn 2010–2019

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này tính toán tiềm năng điện gió trên vùng biển ngoài khơi Việt Nam dựa trên dữ liệu trường gió được mô phỏng từ mô hình RegCM4 trong giai đoạn 2010–2019 với các điều kiện biên được lấy từ bộ dữ liệu tái phân tích ERA5. Kết quả mô phỏng được so sánh với dữ liệu quan trắc ở các độ cao 10 và 80m cho thấy có độ chính xác cao với sai số MAE và RMSE thấp. Các khu vực biển ở Vịnh Bắc Bộ và Bắc Biển Đông có mật độ năng lượng gió cao nhất trong tháng 1 và 7 từ 300–600 W/m<sup>2</sup> và 800–1200 W/m<sup>2</sup>. Trong khi đó, mật độ thấp nhất xuất hiện vào tháng 4 và 10, là dưới 650 W/m<sup>2</sup> và dưới 750 W/m<sup>2</sup>. Tương tự, ở các khu vực biển từ Bình Định về phía Nam Biển Đông, mật độ năng lượng gió đạt giá trị cao nhất trong các tháng mùa đông và giảm xuống trong các tháng mùa hè. Mật độ năng lượng gió trung bình cho các tháng 1, 4, 7 và 10 lần lượt là từ 1,200–1,800 W/m<sup>2</sup>, 300–600 W/m<sup>2</sup>, 400–1,200 W/m<sup>2</sup> và 400–600 W/m<sup>2</sup>.

Kết quả của nghiên cứu tuy mới chỉ được thực hiện dựa trên một khoảng thời gian nghiên cứu giới hạn và cũng chưa tính đến các yếu tố khác có ảnh hưởng tới tiềm năng điện gió ngoài lý thuyết. Tuy nhiên, kết quả của nghiên cứu là cơ sở cho các nghiên cứu và ứng dụng trong lĩnh vực phát triển và quy hoạch năng lượng tái tạo, đặc biệt là năng lượng gió trên Biển Đông. Kết quả của nghiên cứu có thể được sử dụng để đưa ra quyết định thông minh và bền vững về việc triển khai dự án điện gió trong khu vực.

#### Tài liệu tham khảo

- Akdağ & Dinler (2009). A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. *Energy Conversion and Management*, 50(7), 1761-1766.
- Bhattacharya, S. (2019). Năng lượng tái tạo ở Việt Nam: Thực trạng, thách thức và giải pháp. *Tạp chí Năng lượng Tái tạo*, 30(3), 339-346.
- 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.
- Celik (2004). On the distributional parameters used in assessment of the suitability of wind speed probability density functions. *Energy Conversion and Management*, 45(11-12), 1735-1747.
- 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>
- 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>.
- Hogue et al. (2000). A method for extrapolating Weibull distribution parameters and confidence limits. *Wind Engineering*, 24(4), 241-251.



- Hàng, N.V., Binh, P.D.H.; Nam, P.Q.; Tùng, N.B.; Long, T.T. Đánh giá tiềm năng năng lượng gió cho phát triển năng lượng tái tạo trên khu vực Biển Đông, Việt Nam. Tạp chí Khí tượng Thủy văn 2023, 756, 70-82. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2023\(756\).70-82](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2023(756).70-82) Justus et al. (1978). Methods for estimating wind speed frequency distributions. Journal of Applied Meteorology, 17(3), 350-353.
- 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>.
- Manwell et al. (2009). Wind energy explained: Theory, design and application. John Wiley & Sons.
- Nguyễn Thế Hùng (2007). Tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam. Tạp chí Chính sách Năng lượng 35(5), 2837-2845.
- Nguyễn Thị Mỹ và cs. (2019). Đánh giá tiềm năng năng lượng gió tại Việt Nam sử dụng dữ liệu viễn thám. Tạp chí Sản xuất Sạch hơn, 210, 634-644.
- Wedi, N.P., Bauer, P., Deconinck, W., Diamantakis, M., Hamrud, M., Kühnlein, C., Malardel, S., Mogensen, K., Mozdzyński, G., Smolarkiewicz, P.K. The modelling infrastructure of the Integrated Forecasting System: Recent advances and future challenges. Tech. Memorandum 2015, pp. 50.
- 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>.

## ABSTRACT

# Offshore wind energy in Vietnam: assessing the potential and analyzing the geographic distribution

Tran Anh Quan <sup>1</sup>, Vu Cuc Phuong <sup>2</sup>, Trinh Tuan Long <sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Environment, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

<sup>2</sup> Faculty of Petroleum and Energy, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

<sup>3</sup> Center for Environmental Fluid Dynamics, University of Science, Vietnam National University Hanoi, Viet

*Vietnam's expansive coastline and island archipelago present a distinctive opportunity for renewable wind energy development. However, renewable energy research in Vietnam remains limited despite growing global demands for sustainable energy. This study evaluates Vietnam's wind energy potential, focusing on the spatial and temporal distribution of offshore resources in the East Sea. Utilizing the regional climate model RegCM4 and the weather data from the latest ERA5 reanalysis, wind and solar distribution patterns are discerned. Observational records are incorporated to validate reanalysis accuracy. Wind energy potential across Vietnam is analyzed using the reanalysis meteorological data from 2010-2019. The results reveal uneven offshore distribution, with heightened prospects along northern to southern coastal regions, southward from North Central Vietnam, and within the Central Highlands. As altitude increases, wind energy potential and suitable geographic areas expand. Offshore, at 100 meter elevation, optimal resources emerge within northern East Sea zones encompassing Binh Thuan to Ca Mau, the central Gulf of Tonkin, and most notably from Ninh Thuan to Ba Ria-Vung Tau. This region exhibits outstanding wind speeds up to 10 m/s and energy density beyond 700 W/m<sup>2</sup>. By clarifying the potential and heterogeneity of this resource, this study establishes a foundation to inform policy and strategic planning for sustainable energy development in Vietnam.*

**Keywords:** Wind energy, ERA-5, Vietnam, renewable energy, RegCM4.

---

\* Corresponding author  
E - mail: [trinhantuanlong@hus.edu.vn](mailto:trinhantuanlong@hus.edu.vn)



ISBN: 9786047628902



9 786047 628902

SÁCH KHÔNG BÁN